



## شیمی کانی و دما-فشارسنجی زینولیت‌های دمای بالا در حاشیه توده ریوداسیتی منطقه‌ی آستانه (جنوب غرب اراک)

زهرا طهماسبی\*، احمد احمدی خلجی، عارفه حیدریان منش

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه لرستان

(دریافت مقاله: ۹۴/۱۱/۱۳، نسخه نهایی: ۹۵/۳/۳)

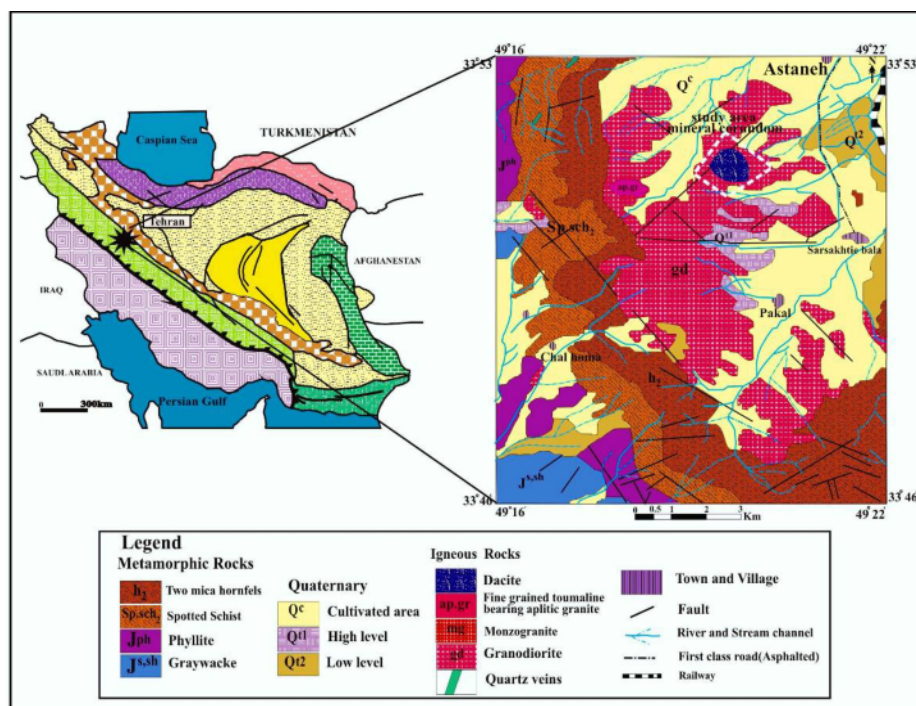
**چکیده:** در منطقه‌ی آستانه، (جنوب غرب اراک) و در حاشیه‌ی توده‌ی ریوداسیتی، زینولیت‌هایی با ترکیب رخساره‌ی پیروکسن هورنفلس دیده شده‌اند. این سنگ‌ها دارای مجموعه کانیایی کوندوم + اسپینل + آندالوزیت + فلدسپارتاسیم‌دار + پلاژیوکلاز + مسکوویت + بیوتیت + کلریت بوده و حاوی بافت‌های گرانوبلاستیک، لپیدوپورفیروبلاستیک، پورفیروپلیدوبلاستیک، سیمپلکتیت و پوئی کیلوبلاستیک هستند. در این مجموعه بافت واکنشی (سیمپلکتیک)، کانی‌های اسپینل-پلاژیوکلاز-بیوتیت جایگزین آندالوزیت شده است. شواهد سنگ‌نگاری در این سنگ‌ها بیانگر این است که بافت واکنشی حاشیه‌ی آندالوزیت در شرایط ذوب‌بخشی ایجاد شده است. شواهد زمین‌شناسی و کانی‌شناسی نیز حاکی از این است که پیرومتامورفیسم مسئول پیدایش این مجموعه کانی‌های شاخص بوده است. بررسی‌های صحرایی، شواهد سنگ‌نگاری و دما-فشارسنجی (گستره‌ی دمایی  $718^{\circ}\text{C}$  و فشار ۲/۸ kbar) این سنگ‌ها نشان می‌دهد که علت پایداری آندالوزیت تا منطقه‌ی کوندوم-اسپینل در زینولیت‌های مورد بررسی، نرخ گرم‌شدگی سریع این سنگ‌ها و برهم‌چینی پله‌ای (overstepping) است. انتشار گرمای ناشی از شبه آتشفشانی‌های ریوداسیتی سبب فرآیند پیرومتامورفیسم شده است به طوری که دوره دمایی تحمیل شده به این زینولیت‌ها کم و نرخ گرم‌شدگی زیاد بوده است.

**واژه‌های کلیدی:** کوندوم؛ پیرومتامورفیسم؛ بافت‌های واکنشی؛ اراک.

### مقدمه

دگرگونی مجاورتی به صورت شیست‌های لکه‌دار و هورنفلس شده است [۳]. سنگ‌های دگرگونی موجود در منطقه شامل سنگ‌های دگرگونی پلیتی بود که از دو گروه سنگ‌های دگرگون ناحیه‌ای (اسلیت، فیلیت و میکاشیست) در حد رخساره‌ی شیست‌سبز و سنگ‌های دگرگون مجاورتی (شیست‌های لکه‌دار تا هورنفلس) در حد رخساره‌ی هورنبلند هورنفلس هستند [۴]. در جنوب غرب اراک در حاشیه توده‌ی ریوداسیتی (شکل ۲)، زینولیت‌هایی با ترکیب کانی‌شناسی رخساره‌ی پیروکسن هورنفلس وجود دارد که در اینجا مورد توجه قرار گرفته‌اند. بررسی‌های کانی‌شناسی و دما-فشارسنجی در تعیین شرایط دما و فشار حاکم بر دگرگونی، یکی از روش‌های مهم و

منطقه‌ی مورد بررسی در استان مرکزی و در ۴۰ کیلومتری جنوب غرب شهرستان اراک و ۶ کیلومتری جنوب آستانه بین طول‌های جغرافیایی  $15^{\circ} 16' 49''$  تا  $22^{\circ} 00' 49''$  شرقی و عرض‌های جغرافیایی  $10^{\circ} 46' 33''$  تا  $53^{\circ} 33'$  شمالی با وسعت تقریبی ۳۰ کیلومتر مربع قرار گرفته است (شکل ۱). این منطقه از نظر زمین‌ساختی بخشی از پهنه‌ی سندج-سیرجان بوده که جایگیری توده‌های گرانیتوئیدی در تکامل ساختاری آن نقش بسزایی داشته است [۱] (شکل ۱). تزریق توده‌های گرانیتوئیدی آستانه به سن ژوراسیک میانی [۲] در سنگ‌های رسوبی دگرگون شده‌ی تریاس فوقانی-ژوراسیک زیرین سبب



شکل ۱ نقشه‌ی ساده شده‌ی زمین‌شناسی منطقه (برگرفته از نقشه‌ی ۱:۱۰۰۰۰۰ شازند، [۵] و موقعیت آن در پهنه‌ی سنج-سیرجان).



شکل ۲ تصویر صحرایی از توده‌ی ریوداسیتی منطقه آستانه (دید به سمت جنوب غرب).

سنگ‌شناختی و ویژگی‌های فیزیکی، بیش از ۴۰ نمونه برداشت شده‌اند و برای بررسی بافت‌ها و کانی‌ها از نمونه‌ها مقطع‌نازک و برای پی‌بردن به نوع کانی‌های موجود در سنگ‌ها و تعیین دما - فشار آنها مقطع نازک‌صیقلی تهیه شد و آنالیز نقطه‌ای با JXA-8200 Super Prob در آزمایشگاه دانشگاه هلوا اسپانیا به عمل آمد (جدول ۱ تا ۸). فرمول کانی‌ها برای کلریت براساس ۱۴ اکسیژن، کربنوم ۶ اکسیژن، اسپینل ۳۲ اکسیژن، بیوتیت ۱۱ اکسیژن، مسکوویت ۱۱ اکسیژن، آندالوزیت ۵ اکسیژن و پلاژیوکلاز برپایه ۸ اکسیژن محاسبه شدند.

اساسی در بررسی سنگ‌های دگرگون و بررسی شرایط ترمودینامیکی حاکم بر رخداد‌های دگرگونی است. لذا هدف از ارائه‌ی این مقاله بررسی رخداد دگرگونی، شکل‌گیری‌های سنگ‌شناسی و تعیین شرایط دما و فشار حاکم بر زینولیت‌های موجود در حاشیه‌ی توده‌ی ریوداسیتی آستانه با استفاده از شیمی کانی‌های کربنوم، اسپینل، آندالوزیت، مسکوویت، بیوتیت، کلریت، فلدسپار پتاسیم‌دار و پلاژیوکلاز است.

### روش بررسی

طی بررسی‌های صحرایی منطقه‌ی آستانه، با توجه به تغییرات

جدول ۱ نتایج بررسی نقطه‌ای گردوم در زینولیت‌های منطقه‌ی آستانه.

Sampel	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS12-37	AS12-37	AS17-7	AS17-7
Analysis	113	114	147	67	68	3	4
mineral	Crn	Crn	Crn	Crn	Crn	Crn	Crn
SiO <sub>2</sub>	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۱۸	۰٫۴۱۷	۰٫۱۶۹	۰٫۰۲۵	۰٫۰۳۳
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۹۹٫۷۱	۹۸٫۸۶	۹۹٫۰۴	۱۰۱٫۰۷	۱۰۰٫۱۴	۹۸٫۴۵	۹۷٫۹۸
TiO <sub>2</sub>	۰٫۵۰	۰٫۴۴	۱٫۱۵	۰٫۰۳	۰٫۰۷	۰٫۰۷	۰٫۱۳
FeO	۰٫۵۱	۰٫۳۸	۰٫۳۱	۰٫۲۷	۰٫۳۰	۰٫۲۸	۰٫۲۶
Total	۱۰۰٫۷۳۸	۹۹٫۶۹۳	۱۰۰٫۶۸۲	۱۰۱٫۷۸۵	۱۰۰٫۶۷۴	۹۸٫۸۲	۹۸٫۴۰۳
O #	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶
Si	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۵	۰٫۰۱۲	۰٫۰۰۵	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱
Al	۳٫۳۳۱	۳٫۳۱۴	۳٫۲۸۹	۳٫۳۱۳	۳٫۳۲	۳٫۳۲۶	۳٫۳۲۴
Ti	۰٫۰۱۱	۰٫۰۰۹	۰٫۰۲۴	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۳
Fe <sup>2+</sup>	۰٫۰۱۲	۰٫۰۰۹	۰٫۰۰۷	۰٫۰۰۶	۰٫۰۰۷	۰٫۰۰۷	۰٫۰۰۶
Total	۳٫۳۳۴	۳٫۳۳۳	۳٫۳۲۶	۳٫۳۳۱	۳٫۳۳۴	۳٫۳۳۵	۳٫۳۳۴

ادامه جدول ۱

Sampel	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7
Analysis	3	4	80	82	84	85	92	96	109	110	112
mineral	Crn	Crn	Crn	Crn	Crn	Crn	Crn	Crn	Crn	Crn	Crn
SiO <sub>2</sub>	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۰	۰٫۰۶	۰٫۱۵	۰٫۰۶	۰٫۰۴	۰٫۰۰
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۹۸٫۴۵	۹۷٫۹۸	۹۹٫۰۵	۹۹٫۲۸	۹۸٫۹۴	۹۹٫۰۵	۹۸٫۷۳	۱۰۰٫۰۱	۱۰۰٫۱۱	۹۹٫۵۰	۹۹٫۵۳
TiO <sub>2</sub>	۰٫۰۷	۰٫۱۳	۰٫۱۷	۰٫۰۷	۰٫۳۵	۰٫۰۱	۰٫۰۸	۰٫۰۲	۰٫۱۴	۰٫۵۱	۰٫۳۴
FeO	۰٫۲۸	۰٫۲۶	۰٫۳۰	۰٫۲۳	۰٫۳۷	۰٫۲۰	۰٫۶۵	۰٫۲۲	۰٫۴۱	۰٫۴۶	۰٫۴۲
Total	۹۸٫۸۳	۹۸٫۴	۹۹٫۵۲	۹۹٫۵۸	۹۹٫۶۷	۹۹٫۲۶	۹۹٫۵۲	۱۰۰٫۴۲	۱۰۰٫۷۲	۱۰۰٫۵۱	۱۰۰٫۳۱
O #	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶
Si	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۴	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰
Al	۳٫۳۳	۳٫۳۱	۳٫۳۲	۳٫۳۳	۳٫۳۲	۳٫۳۳	۳٫۳۲	۳٫۲۴	۳٫۳۲	۳٫۳۱	۳٫۳۲
Ti	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۴	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۷	۰٫۰۰	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰	۰٫۰۰۳	۰٫۰۱۱	۰٫۰۰۷
Fe <sup>2+</sup>	۰٫۰۰۷	۰٫۰۰۶	۰٫۰۰۷	۰٫۰۰۵	۰٫۰۰۹	۰٫۰۰۵	۰٫۰۱۵	۰٫۰۰۵	۰٫۰۱	۰٫۰۱۱	۰٫۰۱
Total	۳٫۳۳۶	۳٫۳۲۳	۳٫۳۳۵	۳٫۳۳۵	۳٫۳۳۴	۳٫۳۳۵	۳٫۳۳۷	۳٫۳۳۴	۳٫۳۳۵	۳٫۳۳۳	۳٫۳۳۴

جدول ۲ نتایج آنالیز نقطه‌ای آندالوزیت در زینولیت‌های منطقه‌ی آستانه.

Sampel	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-3	AS17-3
Analysis	31	141	142	143	144	165	166	168	172	143	144
mineral	And	And	And	And	And	And	And	And	And	And	And
SiO <sub>2</sub>	۳۶٫۴۳	۳۶٫۲۲	۳۶٫۵۲	۳۶٫۷۱	۳۶٫۵۵	۳۶٫۵۵	۳۶٫۲۱	۳۹٫۳۰	۳۶٫۵۶	۳۶٫۷۱	۳۶٫۵۵
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۶۲٫۹۲	۶۳٫۵۰	۶۳٫۸۱	۶۳٫۱۹	۶۳٫۲۱	۶۴٫۱۳	۶۴٫۰۷	۵۹٫۶۲	۶۴٫۲۵	۶۳٫۱۹	۶۳٫۲۱
FeO	۰	۰٫۲۲	۰٫۲۲	۰٫۲۲	۰٫۱۶	۰٫۲۱	۰٫۳۶	۰٫۴۹	۰٫۳۱	۰٫۲۲	۰٫۱۶
Total	۹۹٫۶۷	۱۰۰٫۱۴	۱۰۱	۱۰۰٫۳۲	۱۰۰٫۱۲	۱۰۱٫۰۶	۱۰۰٫۹۰	۱۰۱٫۴۰	۱۰۱٫۲۴	۱۰۰٫۳۲	۱۰۰٫۱۲
O #	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵
Si	۰٫۹۹	۰٫۹۸	۰٫۹۸	۰٫۹۹	۰٫۹۹	۰٫۹۸	۰٫۹۷	۱٫۰۶	۰٫۹۸	۰٫۹۹	۰٫۹۹
Al	۲٫۰۱	۲٫۰۲	۲٫۰۲	۲٫۰۱	۲٫۰۱	۲٫۰۲	۲٫۰۳	۱٫۸۹	۲٫۰۲	۲٫۰۱	۲٫۰۱
Total	۳	۳٫۰۱	۳٫۰۲	۳	۳٫۰۱	۳٫۰۱	۳٫۰۲	۳٫۰۳	۳٫۰۱	۳	۳٫۰۱

جدول ۳ نتایج آنالیز نقطه‌ای اسپینل در زینولیت‌های منطقه‌ی آستانه.

Sampel	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS12-37	AS12-37	AS12-37	AS17-3
Analysis	16	17	18	19	30	32	48	49	39	40	44	63
mineral	Spl	Spl	Spl	Spl	Spl	Spl	Spl	Spl	Spl	Spl	Spl	Spl
SiO <sub>2</sub>	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰	۰٫۰۲	۰	۰٫۰۵	۰	۰٫۰۱	۱٫۸۵
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۵۸٫۲۲	۵۸٫۵۰	۵۸٫۴۴	۵۸٫۴۸	۶۱٫۲۸	۵۸٫۶۲	۵۸٫۹۹	۵۹٫۵۲	۶۰٫۲۳	۶۰٫۱۷	۶۰٫۱۵	۶۱٫۱۷
FeO	۳۳٫۶۹	۳۳٫۸۲	۳۴٫۰۸	۳۳٫۴۸	۳۱٫۷۳	۳۴٫۴۳	۳۴٫۹۹	۳۴٫۸۱	۳۳٫۸۵	۳۳٫۷۲	۳۳٫۷۲	۳۱٫۵۳
MnO	۰٫۴۵	۰٫۴۳	۰٫۴۱	۰٫۴۱	۰٫۴۳	۰٫۴۰	۰٫۴۲	۰٫۳۸	۰٫۴۵	۰٫۳۸	۰٫۳۷	۰٫۵۷
MgO	۵٫۵۳	۵٫۵۳	۵٫۵۳	۵٫۶۰	۶٫۰۹	۴٫۹۸	۴٫۰۶	۴٫۰۱	۵٫۲۰	۵٫۰۸	۵٫۰۳	۵٫۱۲
Total	۹۸٫۳۸	۹۸٫۷۰	۹۸٫۹۹	۹۸٫۴۴	۱۰۰٫۰۹	۹۸٫۹۳	۹۹٫۰۶	۹۹٫۴۶	۱۰۰٫۱۹	۹۹٫۷۱	۹۸٫۷۶	۱۰۰٫۸۸
O #	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲
Si	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰	۰	۰٫۰۱	۰	۰٫۰۱	۰	۰	۰٫۴۱
Al	۱۵٫۵۷	۱۵٫۶۱	۱۵٫۵۷	۱۵٫۶۲	۱۵٫۹۷	۱۵٫۶۵	۱۵٫۸۱	۱۵٫۸۸	۱۵٫۸۰	۱۵٫۸۰	۱۶٫۰۰	۱۵٫۹۱
Fe <sup>(iii)</sup>	۰٫۳۳	۰٫۳۳	۰٫۳۶	۰٫۲۹	۰	۰٫۲۸	۰٫۱۱	۰٫۰۲	۰٫۱۰	۰٫۰۸	۰	۰
Fe <sup>(ii)</sup>	۶٫۰۶	۶٫۰۸	۶٫۰۸	۶٫۰۵	۵٫۸۷	۶٫۲۵	۶٫۵۵	۶٫۵۷	۶٫۲۱	۶٫۲۳	۶٫۱۷	۵٫۸۱
Mn	۰٫۰۹	۰٫۰۸	۰٫۰۸	۰٫۰۸	۰٫۰۸	۰٫۰۸	۰٫۰۸	۰٫۰۷	۰٫۰۹	۰٫۰۷	۰٫۰۷	۰٫۱۰
Mg	۱٫۸۷	۱٫۸۷	۱٫۸۶	۱٫۸۹	۲٫۰۱	۱٫۶۸	۱٫۳۸	۱٫۳۵	۱٫۷۲	۱٫۶۹	۱٫۶۹	۱٫۶۸
Total	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴

جدول ۴ نتایج آنالیز نقطه‌ای فلدسپار پتاسیم‌دار در زینولیت‌های منطقه‌ی آستانه.

Sampel	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7
Analysis	67	99	103	122	126	167
mineral	Kfs	Kfs	Kfs	Kfs	Kfs	Kfs
SiO <sub>2</sub>	۶۴٫۶۳	۶۲٫۹۵	۶۳٫۰۲	۶۳٫۷۲	۶۴٫۷۵	۶۳٫۴۵
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۱۸٫۳۶	۱۸٫۷۹	۱۹	۱۹٫۱۹	۱۸٫۹۵	۱۹٫۳۵
CaO	۰	۰	۰٫۱۲	۰٫۰۲	۰٫۰۹	۰٫۰۵
Na <sub>2</sub> O	۰٫۵۸	۰٫۲۹	۰٫۷۶	۱٫۳۶	۳٫۲۹	۱٫۴۹
K <sub>2</sub> O	۱۶٫۲۴	۱۶٫۳۳	۱۵٫۸۲	۱۵٫۰۳	۱۱٫۹۶	۱۴٫۷۳
Total	۱۰۰٫۰۹	۹۹٫۰۴	۹۹٫۳۴	۱۰۰٫۱۱	۹۹٫۸۷	۹۹٫۵۷
O #	۸	۸	۸	۸	۸	۸
Si	۲٫۹۹	۲٫۹۶	۲٫۹۵	۲٫۹۶	۲٫۹۵	۲٫۹۵
Al	۱٫۰۰	۱٫۰۴	۱٫۰۶	۱٫۰۴	۱٫۰۵	۱٫۰۶
Ca	۰	۰	۰	۰	۰٫۰۱	۰
Na	۰٫۰۵	۰٫۰۳	۰٫۱۳	۰٫۰۳	۰٫۰۷	۰٫۱۳
K	۰٫۹۶	۰٫۹۸	۰٫۸۷	۰٫۹۸	۰٫۹۵	۰٫۸۷
X <sub>ab</sub>	۰٫۰۵	۰٫۰۳	۰٫۱۳	۰٫۰۳	۰٫۰۷	۰٫۱۳
X <sub>An</sub>	۰	۰	۰	۰	۰٫۰۱	۰
X <sub>or</sub>	۰٫۹۵	۰٫۹۷	۰٫۸۶	۰٫۹۷	۰٫۹۳	۰٫۸۶

جدول ۵ نتایج بررسی نقطه‌ای پلاژیوکلاز در زینولیت‌های منطقه‌ی آستانه.

Sampel	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS12-37	AS12-37	AS17-3	AS17-3	
Analysis	75	76	77	78	79	105	118	121	152	163	173	45	64	13	14
mineral	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl
SiO <sub>2</sub>	۵۶٫۴	۵۸٫۹	۶۲٫۳	۵۸٫۳	۶۰٫۱	۶۶٫۹	۶۷٫۲	۶۵٫۷	۶۵٫۳	۶۶٫۹	۶۶٫۲	۴۴٫۱	۵۵٫۵	۵۰٫۲	۵۰٫۹
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۲۷٫۲	۲۵٫۸	۲۳٫۳	۲۵٫۹	۲۴٫۶	۲۰٫۴	۲۰٫۷	۲۰٫۲	۲۱٫۲	۲۰٫۶	۲۰٫۵	۳۵٫۴	۲۸٫۲	۳۱٫۹	۳۲٫۶
CaO	۹٫۵	۷٫۴	۴٫۷	۷٫۷	۶٫۵	۰٫۶	۰٫۶	۰٫۳	۱٫۵	۰٫۴	۰٫۵	۱۸٫۸	۹٫۶	۱۴٫۲	۱۴٫۹
Na <sub>2</sub> O	۶٫۱	۷٫۴	۹٫۰	۶٫۹	۷٫۶	۱۱٫۵	۱۱٫۲	۱۱٫۶	۱۰٫۶	۱۱٫۵	۱۱٫۶	۰٫۸	۶٫۳	۳٫۲	۲٫۹
K <sub>2</sub> O	۰٫۲	۰٫۲	۰٫۲	۰٫۴	۰٫۵	۰٫۲	۰٫۲	۰٫۲	۰٫۴	۰٫۲	۰٫۲	۰	۰٫۱	۰٫۲	۰٫۱
Total	۹۹٫۶	۱۰۰٫۰	۹۹٫۸	۹۹٫۵	۹۹٫۶	۹۹٫۹	۱۰۰٫۱	۹۸٫۲	۹۹٫۶	۹۹٫۹	۹۹٫۷	۹۹٫۵	۱۰۰٫۳	۱۰۰	۱۰۱٫۸
O #	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸
Si	۲٫۵	۲٫۶	۲٫۸	۲٫۶	۲٫۷	۲٫۹	۲٫۹	۲٫۹	۲٫۹	۲٫۹	۲٫۹	۲٫۱	۲٫۵	۲٫۳	۲٫۳
Al	۱٫۴	۱٫۴	۱٫۲	۱٫۴	۱٫۳	۱٫۱	۱٫۱	۱٫۱	۱٫۱	۱٫۱	۱٫۱	۱٫۹	۱٫۵	۱٫۷	۱٫۷
Ca	۰٫۵	۰٫۴	۰٫۲	۰٫۴	۰٫۳	۰	۰	۰	۰٫۱	۰	۰	۰٫۹	۰٫۵	۰٫۷	۰٫۷
Na	۰٫۵	۰٫۶	۰٫۸	۰٫۶	۰٫۷	۱٫۰	۱٫۰	۱٫۰	۰٫۹	۱٫۰	۱٫۰	۰٫۱	۰٫۵	۰٫۳	۰٫۳
K	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
X <sub>ab</sub>	۰٫۵	۰٫۶	۰٫۸	۰٫۶	۰٫۷	۱٫۰	۱٫۰	۱٫۰	۰٫۹	۱٫۰	۱٫۰	۰٫۱	۰٫۵	۰٫۳	۰٫۳
X <sub>An</sub>	۰٫۵	۰٫۴	۰٫۲	۰٫۴	۰٫۳	۰	۰	۰	۰٫۱	۰	۰	۰٫۹	۰٫۵	۰٫۷	۰٫۷
X <sub>or</sub>	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰

ادامه جدول ۵

Sampel	AS17-11	AS17-12	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7
Analysis	13	14	20	41	42	50	51	53	66	70	71	72	73	74
mineral	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl
SiO <sub>2</sub>	۵۰٫۲۴	۵۰٫۹۰	۴۴٫۰۲	۴۵٫۰۳	۴۳٫۹۹	۴۴٫۰۸	۴۴٫۴۶	۴۴٫۲۴	۵۹٫۹۱	۵۹٫۷۱	۵۸٫۵۳	۵۸٫۰۸	۵۸٫۳۴	۶۰٫۰۲
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۳۱٫۹۰	۳۲٫۵۸	۳۵٫۴۵	۳۴٫۷۳	۳۵٫۴۵	۳۴٫۰۱	۳۳٫۷۹	۳۵٫۵۹	۲۴٫۹۱	۲۵٫۰۱	۲۵٫۸۷	۲۶٫۱۶	۲۵٫۸۳	۲۴٫۷۹
CaO	۱۴٫۱۶	۱۴٫۹۰	۱۹٫۳۰	۱۸٫۴۸	۱۹٫۱۰	۱۷٫۷۶	۱۷٫۸۲	۱۹٫۰۳	۶٫۵۱	۷٫۰۴	۷٫۷۶	۸٫۳۳	۷٫۷۴	۶٫۵۹
Na <sub>2</sub> O	۳٫۲۲	۲٫۹۲	۰٫۵۱	۰٫۹۲	۰٫۶۰	۱٫۱۲	۱٫۱۷	۰٫۵۵	۷٫۷۳	۷٫۳۹	۶٫۸۲	۶٫۸۱	۷٫۰۹	۷٫۴۹
K <sub>2</sub> O	۰٫۱۶	۰٫۰۷	۰	۰٫۰۱	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۰٫۰۱	۰٫۲۳	۰٫۴۳	۰٫۴۱	۰٫۳۲	۰٫۴۲	۰٫۵۰
Total	۱۰۰٫۰۵	۱۰۰٫۰۵	۱۰۰٫۰۲	۹۹٫۴۳	۹۹٫۸۲	۹۹٫۸۲	۹۹٫۵۷	۹۹٫۹۰	۹۹٫۵۲	۹۹٫۸۴	۹۹٫۶۹	۱۰۰٫۰۵	۹۹٫۶۵	۹۹٫۷۹
O #	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸
Si	۲٫۲۹	۲٫۲۸	۲٫۰۴	۲٫۰۹	۲٫۰۴	۲٫۰۸	۲٫۰۹	۲٫۰۵	۲٫۶۸	۲٫۶۷	۲٫۶۳	۲٫۶۱	۲٫۶۲	۲٫۶۸
Al	۱٫۷۱	۱٫۷۲	۱٫۹۴	۱٫۹۰	۱٫۹۴	۱٫۸۹	۱٫۸۸	۱٫۹۴	۱٫۳۲	۱٫۳۲	۱٫۳۷	۱٫۳۸	۱٫۳۷	۱٫۳۱
Ca	۰٫۶۹	۰٫۷۲	۰٫۹۶	۰٫۹۲	۰٫۹۵	۰٫۹۰	۰٫۹۰	۰٫۹۴	۰٫۳۱	۰٫۳۴	۰٫۳۷	۰٫۴۰	۰٫۳۷	۰٫۳۲
Na	۰٫۲۸	۰٫۲۵	۰٫۰۵	۰٫۰۸	۰٫۰۵	۰٫۱۰	۰٫۱۱	۰٫۰۵	۰٫۶۷	۰٫۶۴	۰٫۵۹	۰٫۵۹	۰٫۶۲	۰٫۶۵
K	۰٫۰۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۳
X <sub>ab</sub>	۰٫۲۹	۰٫۲۶	۰٫۰۵	۰٫۰۸	۰٫۰۵	۰٫۱۰	۰٫۱۱	۰٫۰۵	۰٫۶۷	۰٫۶۴	۰٫۶۰	۰٫۵۹	۰٫۶۱	۰٫۶۵
X <sub>An</sub>	۰٫۷۰	۰٫۷۴	۰٫۹۵	۰٫۹۲	۰٫۹۴	۰٫۹۰	۰٫۸۹	۰٫۹۵	۰٫۳۱	۰٫۳۴	۰٫۳۸	۰٫۴۰	۰٫۳۷	۰٫۳۲
X <sub>or</sub>	۰٫۰۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۳

جدول ۶ نتایج بررسی نقطه‌ای مسکوویت در زینولیت‌های منطقه‌ای آستانه.

Sampel	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS-12-37
Analysis	86	87	100	108	119	127	128	164	41	
mineral	Ms	Ms	Ms	Ms	Ms	Ms	Ms	Ms	Ms	
SiO <sub>2</sub>	۴۲٫۰۰	۴۴٫۱۷	۴۳٫۹۰	۴۴٫۴۸	۴۵٫۱۸	۴۴٫۴۸	۴۴٫۰۶	۴۴٫۷۴	۴۴٫۵۲	
TiO <sub>2</sub>	۰٫۱۵	۰٫۹۲	۰٫۴۳	۰٫۵۱	۰٫۰۴	۰٫۱۵	۰٫۴۱	۰٫۱۶	۰٫۰۲	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۳۴٫۸۵	۳۶٫۳۰	۳۶٫۲۴	۳۵٫۶۸	۳۶٫۳۸	۳۷٫۱۰	۳۸٫۲۸	۳۷٫۷۱	۳۶٫۳۱	
FeO <sub>t</sub>	۳٫۳۱	۰٫۹۲	۱٫۴۸	۱٫۵۸	۱٫۳۶	۰٫۵۱	۰٫۴۲	۱٫۲۴	۱٫۱۸	
MgO	۱٫۵۹	۰٫۲۵	۰٫۷۷	۰٫۷۰	۰٫۸۱	۰٫۲۸	۰٫۰۲	۰٫۴۷	۰٫۲۶	
Na <sub>2</sub> O	۰٫۴۲	۰٫۵۸	۰٫۷۴	۰٫۹۴	۰٫۳۴	۰٫۵۲	۰٫۷۴	۰٫۶۴	۰٫۱۲	
K <sub>2</sub> O	۱۰٫۵۶	۱۰٫۲۷	۱۰٫۵۲	۱۰٫۱۷	۱۰٫۸۷	۱۰٫۸۲	۱۰٫۴۶	۱۰٫۳۳	۱۰٫۶۰	
Total	۹۳٫۵۰	۹۳٫۸۵	۹۴٫۷۴	۹۴٫۴۴	۹۵٫۴۲	۹۴٫۰۶	۹۴٫۸۵	۹۵٫۷۳	۹۳٫۴۹	
O #	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱	
Si	۳٫۳۳	۳٫۴۸	۳٫۴۳	۳٫۴۸	۳٫۴۹	۳٫۴۹	۳٫۴۳	۳٫۴۴	۳٫۵۱	
Al <sup>IV</sup>	۰٫۶۷	۰٫۵۲	۰٫۵۷	۰٫۵۲	۰٫۵۱	۰٫۵۱	۰٫۵۷	۰٫۵۶	۰٫۴۸	
Al <sup>VI</sup>	۲٫۵۸	۲٫۸۵	۲٫۷۷	۲٫۷۸	۲٫۸۱	۲٫۹۲	۲٫۹۴	۲٫۸۵	۲٫۸۹	
Ti	۰٫۰۱	۰٫۰۵	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۰۱	
Fe <sup>2+</sup>	۰٫۱۹	۰٫۰۵	۰٫۰۸	۰٫۰۹	۰٫۰۸	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۰۷	۰٫۰۶	
Mg	۰٫۱۹	۰٫۰۳	۰٫۰۹	۰٫۰۸	۰٫۰۹	۰٫۰۳	۰	۰٫۰۵	۰٫۰۳	
Na	۰٫۰۶	۰٫۰۹	۰٫۱۱	۰٫۱۴	۰٫۰۵	۰٫۰۸	۰٫۱۱	۰٫۱۰	۰٫۰۱	
K	۱٫۰۷	۱٫۰۳	۱٫۰۵	۱٫۰۲	۱٫۰۷	۱٫۰۸	۱٫۰۴	۱٫۰۱	۰٫۹۹	
Total	۴٫۱۱	۴٫۱۱	۴٫۱۵	۴٫۱۵	۴٫۱۱	۴٫۱۶	۴٫۱۵	۴٫۱۰	۵٫۰۷	
X <sub>Mg</sub>	۰٫۴۹	۰٫۳۶	۰٫۵۲	۰٫۴۸	۰٫۵۵	۰٫۵۳	۰٫۰۷	۰٫۴۴	۰٫۳۲	

جدول ۷ نتایج بررسی نقطه‌ای بیوتیت در زینولیت‌های منطقه‌ی آستانه.

Sampel	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7
Analysis	15	22	23	37	38	56	57	63	64	106
mineral	Bt	Bt	Bt	Bt	Bt	Bt	Bt	Bt	Bt	Bt
SiO <sub>2</sub>	۳۳٫۶۸	۳۳٫۴۰	۳۳٫۲۴	۳۳٫۸۱	۳۳٫۵۵	۳۴٫۷۹	۳۳٫۹۸	۳۵٫۵۳	۳۵٫۵۳	۳۴٫۰۳
TiO <sub>2</sub>	۴٫۱۹	۳٫۳۰	۲٫۹۴	۰٫۵۰	۰٫۴۷	۴٫۵۹	۴٫۱۱	۲٫۹۴	۳٫۰۵	۳٫۶۱
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۲۰٫۱۶	۲۰٫۱۹	۲۰٫۳۱	۲۰٫۳۹	۲۱٫۰۶	۱۷٫۷۳	۱۸٫۶۸	۱۶٫۶۷	۱۶٫۴۹	۲۱٫۶۸
FeO <sub>t</sub>	۱۹٫۳۱	۱۸٫۳۷	۱۸٫۱۱	۱۷٫۳۲	۱۷٫۲۶	۱۹٫۱۳	۱۹٫۰۴	۱۹٫۰۵	۱۸٫۹۱	۱۸٫۰۴
MnO	۰٫۱۵	۰٫۱۰	۰٫۱۱	۰٫۱۰	۰٫۰۶	۰٫۱۵	۰٫۱۴	۰٫۱۶	۰٫۱۲	۰٫۱۴
MgO	۸٫۰۶	۹٫۸۴	۹٫۷۱	۱۱٫۶۶	۱۱٫۰۰	۹٫۷۲	۹٫۴۳	۱۱٫۲۰	۱۱٫۴۰	۷٫۸۹
Na <sub>2</sub> O	۰٫۲۷	۰٫۱۸	۰٫۱۶	۰٫۱۰	۰٫۰۹	۰٫۲۴	۰٫۱۶	۰٫۱۱	۰٫۰۹	۰٫۱۹
K <sub>2</sub> O	۹٫۴۶	۹٫۸۴	۹٫۸۹	۹٫۷۸	۹٫۹۱	۹٫۵۹	۹٫۸۱	۹٫۸۹	۹٫۹۵	۹٫۷۹
Total	۹۶٫۰۳	۹۵٫۶۵	۹۵٫۶۵	۹۴٫۰۷	۹۳٫۹۶	۹۶٫۳۷	۹۵٫۶۶	۹۶٫۱۲	۹۶٫۱۸	۹۳٫۹۶
O #	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱
Si	۲٫۶۵	۲٫۶۰	۲٫۶۱	۲٫۶۲	۲٫۶۲	۲٫۷۱	۲٫۶۷	۲٫۷۵	۲٫۷۵	۲٫۶۶
Al <sup>IV</sup>	۱٫۳۵	۱٫۴۰	۱٫۳۹	۱٫۳۸	۱٫۳۸	۱٫۲۹	۱٫۳۳	۱٫۲۵	۱٫۲۵	۱٫۳۴
Al <sup>VI</sup>	۰٫۵۲	۰٫۴۵	۰٫۴۹	۰٫۴۹	۰٫۵۵	۰٫۳۴	۰٫۴۰	۰٫۳۷	۰٫۲۶	۰٫۶۷
Ti	۰٫۲۵	۰٫۱۹	۰٫۱۷	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۲۷	۰٫۲۴	۰٫۱۷	۰٫۱۸	۰٫۲۱
Fe <sup>2+</sup>	۱٫۲۳	۱٫۱۷	۱٫۱۶	۱٫۱۱	۱٫۱۱	۱٫۲۲	۱٫۲۲	۱٫۲۱	۱٫۲۰	۱٫۱۴
Mn	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱
Mg	۰٫۹۵	۱٫۱۴	۱٫۱۴	۱٫۳۵	۱٫۲۸	۱٫۱۳	۱٫۱۰	۱٫۲۹	۱٫۳۲	۰٫۹۲
K	۰٫۹۵	۰٫۹۸	۰٫۹۹	۰٫۹۷	۰٫۹۹	۰٫۹۵	۰٫۹۸	۰٫۹۸	۰٫۹۸	۰٫۹۸
Total	۳٫۹۶	۳٫۹۸	۳٫۹۹	۳٫۹۸	۳٫۹۹	۳٫۹۶	۳٫۹۸	۳٫۹۷	۳٫۹۸	۳٫۹۷
XMg	۰٫۴۳	۰٫۴۹	۰٫۴۹	۰٫۵۵	۰٫۵۳	۰٫۴۸	۰٫۴۸	۰٫۵۲	۰٫۵۲	۰٫۴۵

ادامه جدول ۷

Sampel	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS12-37	AS17-3	AS17-3	AS17-3	AS17-3	AS17-3
Analysis	107	169	175	46	65	66	11	12	15
mineral	Bt	Bt	Bt	Bt	Bt	Bt	Bt	Bt	Bt
SiO <sub>2</sub>	۳۳٫۳۳	۳۳٫۴۱	۳۳٫۶۰	۳۳٫۷۷	۳۴٫۶۳	۳۳٫۳۵	۳۳٫۱۶	۳۳٫۶۲	۳۳٫۶۸
TiO <sub>2</sub>	۳٫۹۳	۲٫۶۰	۱٫۱۸	۳٫۷۷	۲٫۹۶	۴٫۱۶	۳٫۷۲	۴٫۰۵	۴٫۱۸
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۲۱٫۸۵	۲۲٫۵۶	۲۳٫۷۴	۱۹٫۱۸	۲۲٫۴۶	۲۱٫۴۷	۱۹٫۷۴	۱۸٫۷۸	۲۰٫۱۶
FeO <sub>t</sub>	۱۸٫۲۲	۱۵٫۸۷	۱۶٫۳۰	۱۷٫۵۴	۱۴٫۸۲	۱۷٫۳۷	۱۹٫۰۸	۱۸٫۱۴	۱۹٫۳۱
MnO	۰٫۱۸	۰٫۱۷	۰٫۱۴	۰٫۱۲۳	۰٫۱۴	۰٫۱۶۹	۰٫۱۴۹	۰٫۱۳۷	۰٫۱۵۱
MgO	۸٫۱۰	۹٫۹۹	۹٫۶۴	۱۰٫۲۴	۱۰٫۳۹	۹٫۲۵	۸٫۳۴	۸٫۷۹۴	۸٫۰۶۲
Na <sub>2</sub> O	۰٫۱۸	۰٫۱۱	۰٫۱۳	۰٫۱۴۸	۰٫۴۱۹	۰٫۱۲۲	۰٫۱۸۹	۰٫۲۳۷	۰٫۲۶۸
K <sub>2</sub> O	۹٫۸۵	۹٫۷۸	۹٫۹۲	۹٫۷۵	۹٫۴۲	۹٫۹۰	۹٫۶۳	۹٫۵۷	۹٫۴۶
Total	۹۳٫۹۶	۹۳٫۹۶	۹۳٫۹۶	۹۴٫۷۷	۹۵٫۹۷	۹۶٫۱۷	۹۴٫۵۹	۹۳٫۸۲	۹۶٫۰۳
O #	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱
Si	۲٫۶۰	۲٫۵۹	۲٫۶۰	۲٫۶۴	۲٫۶۴	۲٫۵۸	۲٫۶۴	۲٫۶۹	۲٫۶۴
Al <sup>IV</sup>	۱٫۴۰	۱٫۴۱	۱٫۴۰	۱٫۳۵	۱٫۳۵	۱٫۴۱	۱٫۳۵	۱٫۳۰	۱٫۳۵
Al <sup>VI</sup>	۰٫۶۱	۰٫۶۵	۰٫۷۶	۰٫۴۲	۰٫۶۷	۰٫۵۵	۰٫۵۰	۰٫۴۷۶	۰٫۵۲
Ti	۰٫۲۳	۰٫۱۵	۰٫۰۷	۰٫۲۲	۰٫۱۷	۰٫۲۴	۰٫۲۲	۰٫۲۴	۰٫۲۴
Fe <sup>2+</sup>	۱٫۱۵	۱	۱٫۰۳	۱٫۱۲	۰٫۹۲	۱٫۱۰	۱٫۲۳	۱٫۱۸	۱٫۲۳
Mn	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۰۸	۰٫۰۰۹	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۰۹	۰٫۰۱
Mg	۰٫۹۴	۱٫۱۵	۱٫۱۱	۱٫۱۹	۱٫۱۸	۱٫۰۶	۰٫۹۹	۱٫۰۵	۰٫۹۴
Na	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۶	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۰٫۰۳۷	۰٫۰۴
K	۰٫۹۸	۰٫۹۷	۰٫۹۸	۰٫۹۷	۰٫۹۲	۰٫۹۸	۰٫۹۸	۰٫۹۸	۰٫۹۵
Total	۳٫۹۷	۳٫۹۶	۳٫۹۷	۳٫۹۷	۳٫۹۷	۳٫۹۶	۳٫۹۷	۳٫۹۸	۳٫۹۵
X <sub>Mg</sub>	۰٫۴۵	۰٫۵۳	۰٫۵۲	۰٫۵۵	۰٫۵۶	۰٫۴۹	۰٫۴۴	۰٫۴۷	۰٫۴۳

جدول ۸ نتایج آنالیز نقطه‌ای کلریت در زینولیت‌های منطقه‌ای آستانه.

Sample	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS12-37
Analysis	9	44	62	89	90	1	2	4	10	43
Mineral	Chl	Chl	Chl	Chl	Chl	Chl	Chl	Chl	Chl	Chl
SiO <sub>2</sub>	۲۴,۱۸	۲۹,۳۰	۲۲,۴۶	۲۳,۰۸	۲۳,۰۱	۱۸,۷۴	۱۹,۳۸	۱۹,۸۸	۲۲,۲۳	۲۳,۴۹
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۳۱,۶۹	۴۴,۱۱	۲۴,۳۰	۲۴,۹۲	۲۴,۸۶	۳۰,۴۴	۲۹,۶۶	۳۲,۲۸	۲۶,۴۷	۲۴,۶۱
FeO	۱۶,۸۴	۳,۷۳	۳۰,۸۱	۲۶,۷۳	۲۶,۱۶	۲۹,۱۴	۳۱,۳۴	۲۲,۳۸	۲۸,۶۹	۲۵,۱۷
MnO	۰,۱۹	۰,۰۳	۰,۱۹	۰,۲۴	۰,۲۲	۰,۲۰	۰,۲۳	۰,۱۵	۰,۳۵	۰,۱۷
MgO	۹,۵۵	۰,۷۱	۷,۸۰	۱۱,۲۶	۱۱,۲۳	۷,۲۸	۵,۵۱	۱۲,۷۹	۹,۸۳	۱۲,۹۲
CaO	۲,۴۹	۱۰,۰۱	۰,۱۳	۰,۰۲	۰,۰۱	۰,۰۵	۰,۰۲	۰,۰۴	-	۰,۲۰
Na <sub>2</sub> O	۰,۵۴	۰,۸۶	۰,۰۱	۰	۰,۰۱	۰,۰۱	-	۰,۰۲	۰,۰۲	-
Total	۸۶,۴۱	۸۹,۸۴	۸۶,۶۰	۸۶,۶۴	۸۵,۸۱	۸۶,۵۳	۸۶,۷۵	۸۷,۸۹	۸۷,۷۲	۸۶,۸۳
O #	۲۸	۲۸	۲۸	۲۸	۲۸	۲۸	۲۸	۲۸	۲۸	۲۸
Si	۴,۸۷	۵,۲۸	۴,۹۶	۴,۹۶	۴,۹۸	۴,۱۹	۴,۲۸	۴,۱۱	۴,۷۶	۵
Al <sup>IV</sup>	۳,۱۲	۲,۷۱	۳,۰۳	۳,۰۳	۳,۰۱	۳,۸۰	۳,۷۱	۳,۸۰	۳,۲۳	۳
Al <sup>VI</sup>	۴,۵۲	۶,۸۰	۳,۳۲	۳,۲۹	۳,۳۴	۴,۰۲	۴,۰۴	۴	۳,۴۷	۳,۱۸
Fe <sup>(iii)</sup>	۰,۶۶	۰,۵۶	۰,۱۶	۰,۱۶	۰,۱۹	۰,۰۹	۰,۲۰	۰,۰۷	۰,۱۳	۰,۱۰
Fe <sup>(ii)</sup>	۲,۱۷	۰	۵,۵۴	۴,۶۵	۴,۵۵	۵,۲۶	۵,۶۰	۳,۸۰	۵,۰۲	۴,۳۸
Mn	۰,۰۳	۰	۰,۰۴	۰,۰۴	۰,۰۴	۰,۰۴	۰,۰۴	۰,۰۳	۰,۰۶	۰,۰۳
Mg	۲,۸۶	۰,۱۹	۲,۵۷	۳,۶۱	۳,۶۲	۲,۳۸	۱,۸۱	۳,۹۴	۳,۱۴	۴,۰۹
Ca	۰,۵۳	۱,۹۳	۰,۰۳	۰	۰	۰,۰۱	۰	۰,۰۱	۰	۰,۰۵
Na	۰,۴۲	۰,۵۹	۰,۰۱	۰	۰,۰۱	۰,۰۱	۰	۰,۰۱	۰,۰۲	۰
Total	۱۹,۳۶	۱۸,۱۶	۱۹,۸۱	۱۹,۷۸	۱۹,۷۴	۱۹,۸۷	۱۹,۷۴	۱۹,۸۱	۱۹,۸۳	۱۹,۸۶

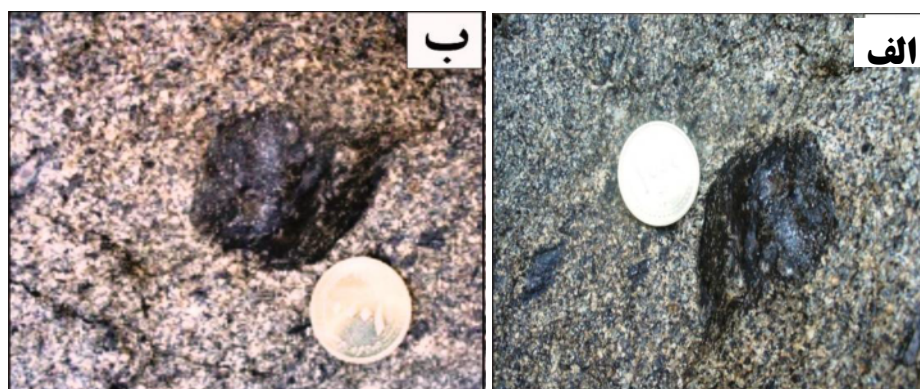
## ویژگی‌های صحرایی و سنگ‌نگاری

مجموعه سنگ‌های آذرین آستانه (جنوب غرب اراک) شامل توده‌ی گرانیتوئیدی با ترکیب تونالیت و گرانودیوریت (با ترکیب غالب گرانودیوریتی) همراه با سنگ‌های ریوداسیتی هستند [۶]. در حاشیه‌ی توده‌ی ریوداسیتی، زینولیت‌هایی با قطر ۱۰ تا ۲۵ سانتی متر وجود دارد (شکل ۳) که مجموعه‌ی کانیایی آن‌ها شامل کربنوم + اسپینل + آندالوزیت + فلدسپارپتاسیم دار + پلاژیوکلاز + مسکوویت + بیوتیت + کلریت با بافت‌های گرانوبلاستیک، لپیدوپورفیروبلاستیک، پورفیرولپیدوبلاستیک، سیمپلکتیت و پوئی کیلوبلاستیک است. این سنگ‌ها دارای کربنوم (۲۰-۱۰٪)، آندالوزیت (۱۰-۵٪)، اسپینل (۱۵-۱۰٪)، مسکوویت (۱۰-۵٪)، بیوتیت (۱۰-۵٪)، پلاژیوکلاز (۱۵-۱۰٪)، فلدسپارپتاسیم‌دار (۱۰-۵٪) و بقیه شامل کلریت و کانی‌های کدر هستند.

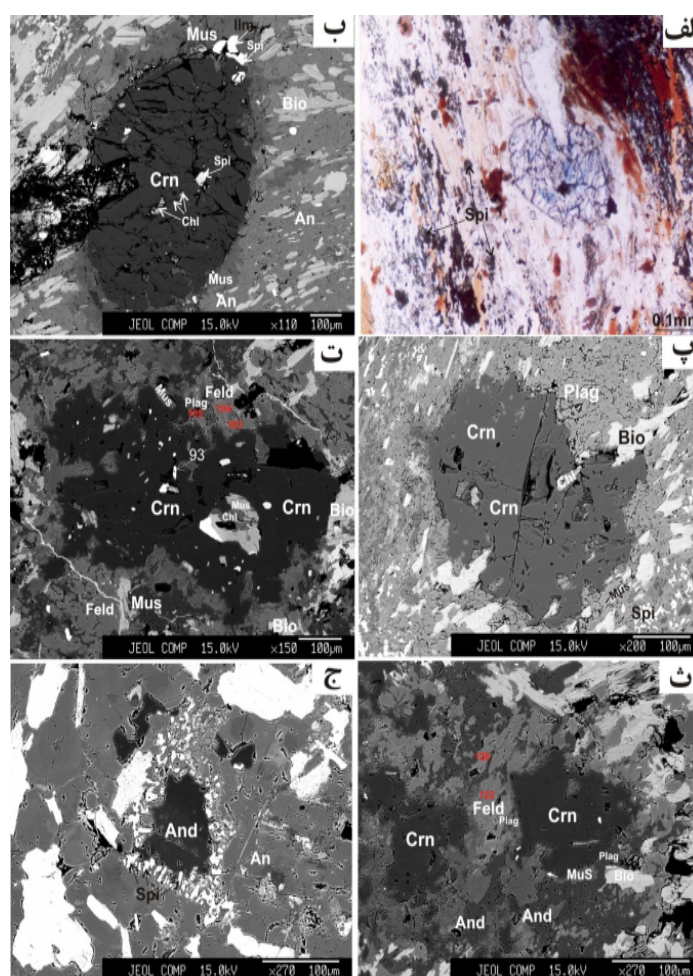
این سنگ‌ها در برخی حالات دچار ذوب بخشی شده‌اند. مقیاس ذوب‌بخشی وسیع نبوده و در حد مزوسکوپی تا میکروسکوپی است. از نظر ماکروسکوپی بخش‌های ذوب شده به شکل قطره‌اند. از نظر میکروسکوپی اندازه به صورت میانبار یا

حفره‌هایی شکل گرفته در کانی‌های اسپینل و پلاژیوکلاز مشاهده می‌شود. وجود کانی‌های دمای بالا (اسپینل و کربنوم) نشان می‌دهد که فرآیند ذوب‌بخشی بدون شاره در این سنگ‌ها رخ داده است. همچنین حضور گدازه نشان می‌دهد که بافت حاشیه‌ای اسپینل-پلاژیوکلاز و بیوتیت به جای آندالوزیت در شرایط ذوب‌بخشی رخ داده است.

کربنوم کانی شاخص در زینولیت‌های مورد بررسی است که در مقاطع میکروسکوپی به صورت درشت بلورهای شکل‌دار و نیمه شکل‌دار، وجود دارند (شکل‌های ۴ الف تا ۵ الف و پ). بلورهای کربنوم به رنگ آبی و به صورت بیضوی و تکه تکه با برجستگی شدید نسبت به آندالوزیت و کانی‌های دیگر مشاهده می‌شوند. این کانی دارای حاشیه‌ی گرد شده بوده و به وسیله‌ی کانی‌های مسکوویت، آندالوزیت، فلدسپارپتاسیم‌دار، پلاژیوکلاز و بیوتیت احاطه شده است (شکل ۴ الف، پ، ت و ث). آندالوزیت کانی آلومینوسیلیکات زینولیت‌های مورد بررسی است که به صورت بلورهای نیمه شکل‌دار تا بی‌شکل دیده می‌شوند.

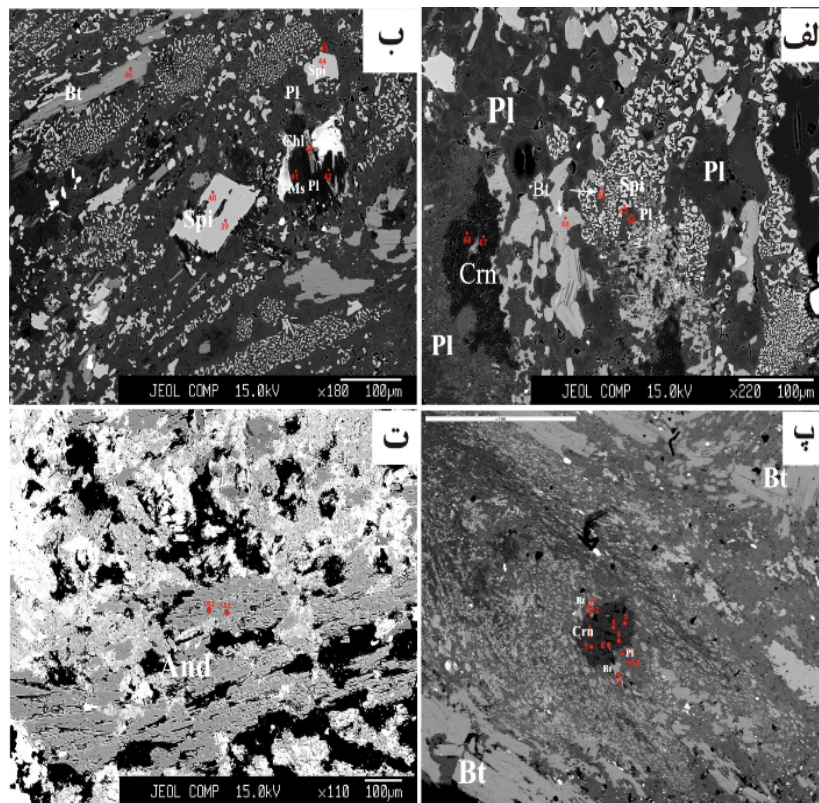


شکل ۳ تصاویر ماکروسکوپی از زینولیت‌های موجود در حاشیه توده‌ی ریوداسیتی منطقه آستانه.



شکل ۴ (الف) تصویر میکروسکوپی از زینولیت‌های منطقه آستانه، به برجستگی گردنوم توجه شود، (نور XPL) (ب) تصویر (Back BSE) Scattered Electron Image) (با مقیاس ۱۰۰ میکرون) از زینولیت‌های منطقه آستانه که کلریت به صورت ادخال و اسپینل به صورت میانبار یا ادخال درون گردنوم حضور دارد که ممکن است ناشی از تبلور ماده‌ی گدازه به تله افتاده در گردنوم باشد (پ) تصویر BSE (با مقیاس ۱۰۰ میکرون) از زینولیت‌های منطقه‌ی آستانه که گردنوم به صورت نیمه شکل‌دار با برجستگی بالا مشاهده می‌شود، (ت) تصویر BSE (با مقیاس ۱۰۰ میکرون) از زینولیت‌های منطقه آستانه که گردنوم به صورت نیمه شکل دار به‌وسیله‌ی کانی‌های مسکوویت، بیوتیت، فلدسپارپتاسیم‌دار و پلاژیوکلاز احاطه شده است، (ث) تصویر BSE (با مقیاس ۱۰۰ میکرون) از زینولیت‌های منطقه‌ی آستانه که گردنوم و آندالوزیت در زمینه‌ی فلدسپارپتاسیم-دار و پلاژیوکلاز دیده می‌شوند، (ج) تصویر BSE (با مقیاس ۱۰۰ میکرون) از زینولیت‌های منطقه‌ی آستانه که در آن آندالوزیت به‌وسیله‌ی اسپینل احاطه شده و در زمینه‌ی پلاژیوکلاز و فلدسپارپتاسیم‌دار مشاهده می‌شود.





شکل ۵ تصاویر BSE (Back Scattered Electron Image) (با مقیاس ۱۰۰ میکرون) از زینولیت‌های منطقه آستانه الف) بافت سیمپلکتیت (Symplectite) اسپینل در اطراف بیوتیت و پلاژیوکلاز، به کرنندوم به صورت خوشه‌ای توجه شود، ب) رشد کرمی شکل کانی اسپینل و تشکیل بافت سیمپلکتیت در اطراف کانی‌های بیوتیت، مسکوویت و کلریت، پ) رشد درشت بلور کرنندوم در حاشیه کانی‌های مسکوویت، بیوتیت و پلاژیوکلاز به برگواهی اطراف کرنندوم توجه شود، ت) آندالوزیت به صورت بلور کشیده (vermicular).

افتاده در کرنندوم باشد (شکل‌های ۴ الف، ب، پ، ت، ث و ۵ الف و پ). پلاژیوکلاز در هم‌رشدی‌های سیمپلکتیت با اسپینل به همراه بیوتیت، فلدسپارتاسیم‌دار و کلریت دیده شود (شکل ۴ ج و ۵ الف و ب). این بافت‌ها معمولاً وقتی ایجاد می‌شوند که تعادل بین چند کانی از بین رفته و سیستم با تشکیل کانی‌های جدید تلاش می‌کند تا دوباره به حالت تعادل برسد [۷]. گدازه به صورت حفره‌ها یا میانبار (ادخال) در کانی‌های اسپینل و پلاژیوکلاز دیده می‌شود. پلاژیوکلاز در هم‌رشدی‌های سیمپلکتیت با اسپینل به همراه بیوتیت، فلدسپارتاسیم‌دار و کلریت دیده می‌شود (شکل ۴ ج و ۵ الف، ب). در این بافت به احتمال، افزایش دما و ناپایداری کرنندوم، ترکیبات لازم برای تشکیل اسپینل همراه با بافت سیمپلکتیت را فراهم می‌کند. (واکنش‌های احتمالی ۲، ۱ و ۳):

- 1)  $7\text{Cor} + \text{Clin}/\text{Ames} = 3\text{And} + 5\text{Sp} + \text{Melt}$
- 2)  $3\text{Cor} + \text{Phl} = 3\text{Sp} + \text{San} + \text{Melt}$
- 3)  $10\text{Cor} + 2\text{Ann} + \text{Ames} = 4\text{And} + 6\text{Sp} + 2\text{East} + \text{Melt}$

این کانی به صورت بلورهای کشیده در زمینه‌ای از کانی‌های پلاژیوکلاز و فلدسپارتاسیم‌دار قرار گرفته است و در برخی موارد نیز به‌وسیله‌ی اسپینل احاطه شده است و در زمینه‌ای از پلاژیوکلاز، فلدسپارتاسیم‌دار و بیوتیت مشاهده می‌شود (شکل های ۴ ث، ج و ۵ ت). در دسترس نبودن سیلیس و یا جدا شدن آندالوزیت از زمینه‌ی دارای سیلیس به‌وسیله‌ی پلاژیوکلاز، فلدسپارتاسیم‌دار و بیوتیت در حاشیه آندالوزیت سبب بوجود آمدن مناطق کم سیلیس در سنگ شده است. بنابراین بلورهای اسپینل در این مناطق و در حاشیه آندالوزیت رشد کرده است.

اسپینل کانی متداول دیگر زینولیت‌های مورد بررسی است که به صورت شکل‌دار، نیمه شکل‌دار، بی شکل (در زمینه‌ای از پلاژیوکلاز و فلدسپارتاسیم‌دار) و با دانه‌های هم اندازه به رنگ سبز زیتونی و قهوه‌ای و گاهی در حاشیه آندالوزیت و گاهی به صورت ادخال یا میانبار در کانی کرنندوم مشاهده می‌شود که ممکن است ناشی از تبلور گدازه‌ی به تله

مسکوویت به صورت ادخال و همراه با کانی‌های فلدسپار پتاسیم‌دار، آندالوزیت، پلاژیوکلاز، بیوتیت و به ندرت کلریت در اطراف کزندوم دیده می‌شود که براساس تصاویر میکروسکوپی و واکنش‌های KFMASH، کانی کزندوم بر اثر رخداد فرایندهای دگرگونی پیشرونده بدون کوارتز رشد کرده است.

کلریت به صورت ادخال در کانی کزندوم و به همراه مسکوویت و پلاژیوکلاز مشاهده می‌شود. بنابر بررسی‌های میکروسکوپی، هیچ‌گونه دگرسانی و تجزیه‌ای در کلریت‌ها مشاهده نمی‌شود و حتی همراه با بافت سیمپلکتیت به صورت مستطیل بلند مشاهده می‌شود

### شیمی کانی

براساس بررسی‌های نقطه‌ای از کانی‌های مختلف موجود در زینولیت‌های مورد بررسی، شیمی آنها مورد بررسی قرار گرفت: کزندوم: نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی نشان می‌دهد که کانی یاد شده بیشتر از  $Al_2O_3$  (۱۰۰/۱۱wt% - ۹۷/۹۸) و مقادیر ناچیزی FeO (۰/۲۰-۰/۶۵wt%) تشکیل شده است (جدول ۱).

آندالوزیت: براساس تجزیه‌ی شیمیایی، مقدار  $Al_2O_3$  این کانی ۵۹/۶۲ تا ۶۴/۱۲ درصد و  $SiO_2$  بین ۳۹/۳ - ۳۶/۲۱٪ است (جدول ۲).

اسپینل: تجزیه‌ی شیمیایی اسپینل‌ها نشان می‌دهد که از نوع آلومینیوم و آهن‌دار (هرسینیت) هستند. مقدار  $Al_2O_3$  این کانی ۵۷/۰۷ تا ۶۱/۲۸ درصد، FeO بین ۳۴/۹۹ - ۳۱/۷۳٪ و  $SiO_2$  بین صفر تا ۰/۰۳٪ که بسیار ناچیز و قابل چشم پوشی است (جدول ۳).

فلدسپارپتاسیم‌دار: نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی فلدسپارپتاسیم‌دار نشان می‌دهد که این کانی از نوع ارتوکلاز است (شکل ۶ الف و جدول ۴).

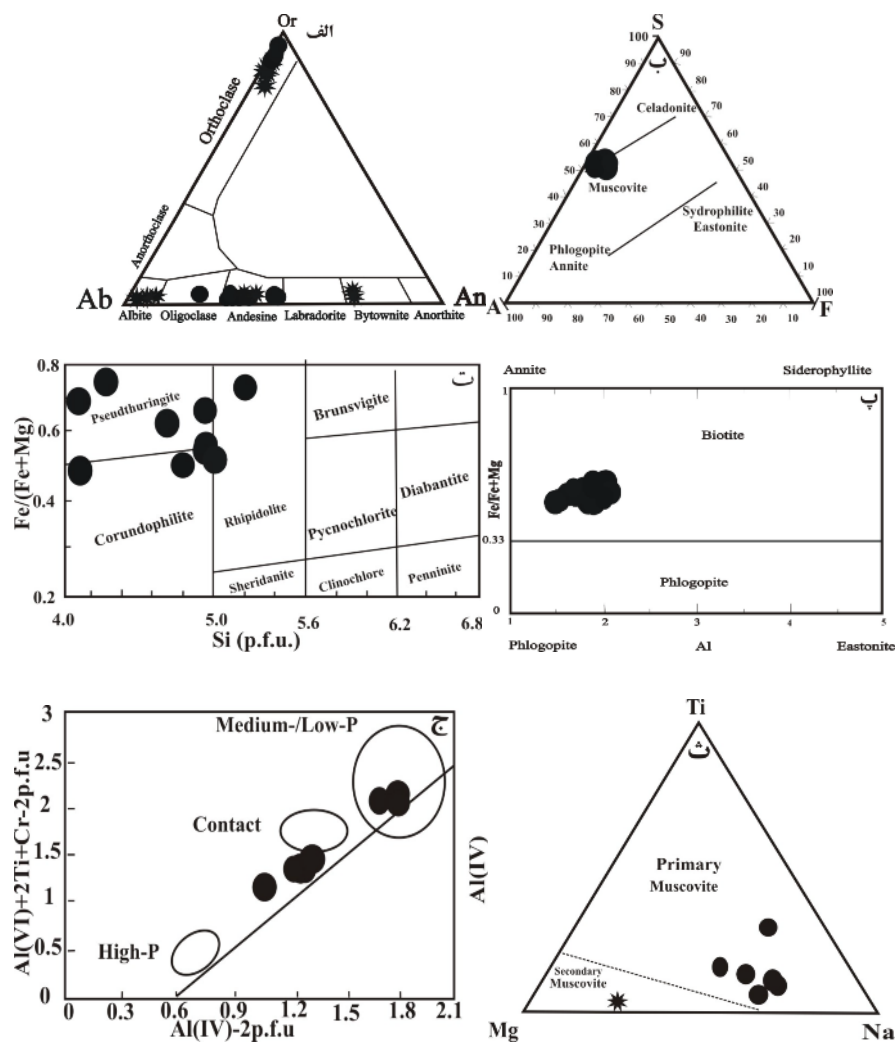
پلاژیوکلازها: نتایج حاصل از تجزیه‌ی شیمیایی پلاژیوکلازها نشان می‌دهد که ترکیب پلاژیوکلازها از آلبیت تا بیتونیت متغیر است و بیشتر در گستره‌ی آلبیت و آندزین بوده است (شکل ۶ الف و جدول ۵). نکته قابل توجه از نظر ترکیب شیمیایی در پلاژیوکلازهای این زینولیت‌ها بدین صورت است که در برخی مقاطع که دارای بافت ساده‌ساز هستند تفاوت زیادی در ترکیب پلاژیوکلازها مشاهده می‌شود. تغییرات ترکیبی این کانی بستگی به جانشینی Ca+Al به جای Na+Si دارد. این جانشینی شامل شکستن پیوندهای شدید

Al-O و Si-O است و احتمالاً بیانگر این است که در کل بدنه-ی بلور بندرت تعادل شیمیایی وجود دارد. این عملکرد ممکن است نماینده (۱) تغییرات علامت‌دار در چگونگی حین رشد، نظیر تغییری از رشد منظم و آهسته به رشدی سریع‌تر مانند رشد خانه خانه یا بافت سلولی و یا رشد شبه درختی یا (۲) بازجذب منطقه‌های انتخابی به عنوان نتیجه‌ای از ناپایداری به واسطه جابه‌جایی شدید بلور در درون ماگمایی که با تبلور بخشی گدازه‌ی به دام افتاده تعقیب شود [۸]. مقدار CaO و  $Na_2O$  این کانی به ترتیب ۱۹/۳۰ - ۰/۰۵ و ۱۱/۶۰ - ۰/۲۹٪ و آنورتیت آن ۳ تا ۹۵ درصد است (جدول ۵).

مسکوویت: بر اساس نمودارهای سه تایی SiO<sub>2</sub>-FeO-(SAF) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (شکل ۶ ب)، عضو نهایی بیشتر مسکوویت است. مسکوویت در زینولیت‌های مورد بررسی بیشتر از ۸۶ تا ۹۷ درصد قطب مسکوویت و ۳ تا ۱۴ درصد قطب پاراگونیت تشکیل شده است. مقدار  $Al_2O_3$  این کانی به ۳۸/۲۸ درصد می‌رسد. کسر مولی منیزیم این کانی از ۰/۰۷ تا ۰/۵۵ است. بنابر بررسی‌های میکروسکوپی و آنالیزهای شیمیایی، مسکوویت‌ها اولیه‌اند و تنها مسکوویت در مقطع با بافت سیمپلکتیت ثانویه است (شکل ۶ ث) (جدول ۶).

بیوتیت: بیوتیت موجود در زینولیت‌های مورد بررسی از خود جهت یافتگی نشان می‌دهد. بر اساس رده‌بندی [۱۰، ۹]، بیوتیت‌ها در محدوده بین آنیت و فلوگوپیت قرار می‌گیرند (شکل ۶ پ) به طوری که جانشینی قابل توجه  $Mg=Fe^{2+}$  در موقعیت هم‌ارایی هشت‌وجهی ترکیب فلوگوپیت را به سمت آنیت تغییر می‌دهد. کسر مولی منیزیم این کانی در زینولیت‌های بررسی شده ۰/۴۳ تا ۰/۵۵ و مقدار  $TiO_2$  در آن بین ۰/۵۰ تا ۴/۵۹ درصد تغییر است (جدول ۷).

کلریت: براساس رده‌بندی [۱۱]، کلریت‌های پیشرونده منطقه از نوع پسودوتورونژیت و کزندوفیلیت است که به سمت رپیدولیت تمایل پیدا می‌کنند (شکل ۶ ت). و بر اساس نمودار  $Al^{(IV)}+2Ti+Cr-2(a.p.f.u)$  در برابر  $Al^{(IV)}-2(a.p.f.u)$  [۱۲]، کلریت‌های آنالیز شده در گستره‌ی دگرگونی مجاورتی تا دگرگونی فشار پایین - متوسط قرار می‌گیرند (شکل ۶ ج). دمای تبلور کلریت‌های مورد بررسی براساس رابطه  $T = 321,9772(Al^{IV}) - 61,9229$  [۱۳] در گستره‌ی ۲۷۰ تا ۵۱۸ درجه‌ی سانتی‌گراد است که میانگین دمای تبلور آن‌ها ۴۰۳/۰۱ درجه سانتی‌گراد است.



شکل ۶ الف) ترکیب فلدسپارها در زینولیت های منطقه ی آستانه روی نمودار Ab-Or-An [۱۴] ب) ترکیب شیمیایی مسکوویت روی نمودار سه تایی  $(\text{SAF})\text{SiO}_2\text{-FeO-Al}_2\text{O}_3$  [۱۵] پ) رده بندی شیمیایی میکاها در سنگ های مورد بررسی [۱۰، ۱۴] ت) نمودار  $\text{Fe}^{+2}/\text{Fe}^{+2}+\text{Mg}$  نسبت به Si در کلریت ها [۱۱] ث) موقعیت ترکیب شیمیایی موسکوویت های مورد مطالعه [۱۶] ج) ترکیب شیمیایی کلریت ها روی نمودار  $\text{Al}^{(\text{VI})}+2\text{Ti}+\text{Cr}-2$  در برابر  $\text{Al}^{(\text{IV})}-2$ ، خط ربط نشان دهنده جانشینی چرماک در منطقه های مختلف دگرگونی است [۱۲].

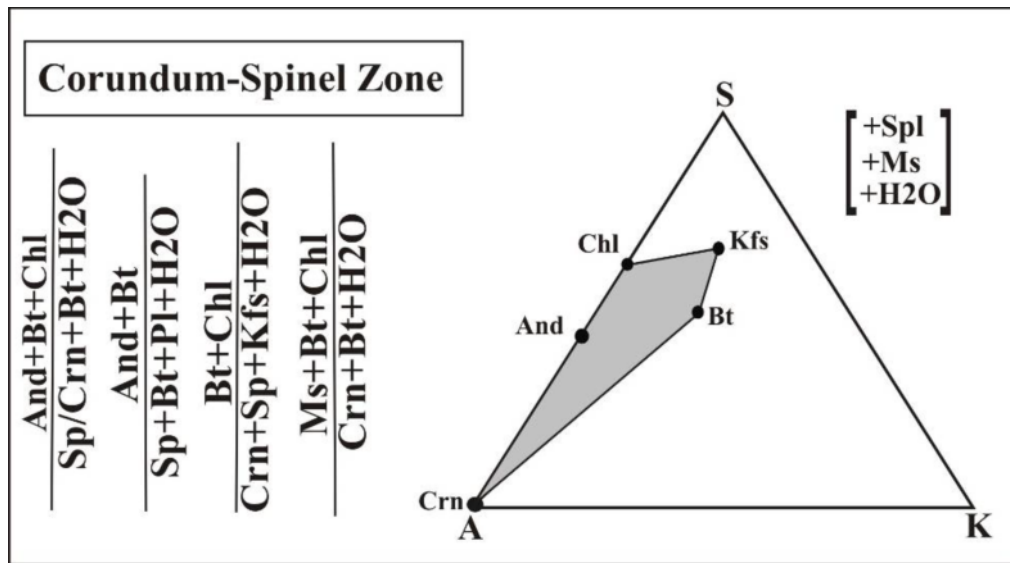
می باشد. کربنوم و اسپینل به عنوان کانی شاخص دگرگونی رخساره پیروکسن هورنفلس از کانی های آلومینیوم دار تحت اشباع از سیلیس پدید آمده اند و در زمینه های از کانی های پلاژیوکلاز، فلدسپارتاسیم دار و بیوتیت قرار گرفته اند.

بر اساس روابط بافتی می توان منطقه ی کربنوم- اسپینل را برای زینولیت های مورد بررسی در نظر گرفت و امکان واکنش- های زیر که با استفاده از نرم افزار ترموکالک [۱۷] پیشنهاد شده وجود داشته است. روابط فازی و واکنش های دگرگونی کانی های KFMASH نمونه های بررسی شده منطقه آستانه، در نمودار ASK (شکل ۷) نشان داده شده اند.

بر اساس نتایج تجزیه شیمیایی، کسر مولی منیزیم برای این کانی ۰٫۳۸ تا ۰٫۴۵ است. کاتیون Si از ۴٫۱۱ تا ۵٫۲۸، Al از ۶٫۱۸ تا ۹٫۵۲، Mn از ۰٫۱۰۴ تا ۰٫۰۶۳، Na از صفر تا ۰٫۵۹ و Ti در این کانی از ۰٫۰۰۹ تا صفر یا در حد چشم پوشی تغییر می کند (جدول ۸).

#### منطقه ی کانی شناسی و واکنش های دگرگونی

در اینجا به منطقه ها و واکنش های احتمالی موثر در پیدایش دانه های و پورفایروبلست های کربنوم حاصل، با استفاده از تشکیل مجموعه کانیایی زینولیت های منطقه آستانه پرداخته شده است. مجموعه این سنگ ها شامل کانی های  $\text{Crn} + \text{Spl} + \text{And} + \text{Kfs} + \text{Pl} + \text{Ms} + \text{Bt} + \text{Chl}$



شکل ۷ روابط فازی و واکنش‌های دگرگونی در زینولیت‌های منطقه آستانه.

#### رخساره‌ی دگرگون و خاستگاه زمین‌شناسی

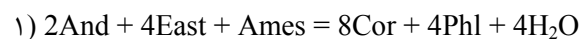
زینولیت‌های مورد بررسی در واقع سنگ‌های رسی (آلمینیوم داری) بوده‌اند که درون ماگمای داغ ریوداسیتی افتاده و به اصطلاح فرایند پیرومتامرفیسم (افتادن رسوب‌های غنی از آلمینیوم داخل ماگمای داغ ریوداسیتی) رخ داده است که شواهد آن را می‌توان در ویژگی‌های آندزیتی داخل ریوداسیت‌ها دانست به طوری که وجود آمفیبول پاراگازیتی و پلاژیوکلاز نوع آنورتیتی بیانگر خاستگاه عمیق و داغ بودن ماگمای این منطقه هستند [۱۸].

وجود کانی‌های دمای بالا (اسپینل و کزندوم) نشان می‌دهد که فرآیند ذوب‌بخشی بدون شاره در این سنگ‌ها رخ داده است. همچنین حضور گذاره نشان می‌دهد که بافت حاشیه‌ای اسپینل-پلاژیوکلاز و بیوتیت به جای آندالوزیت در شرایط ذوب بخشی رخ داده است.

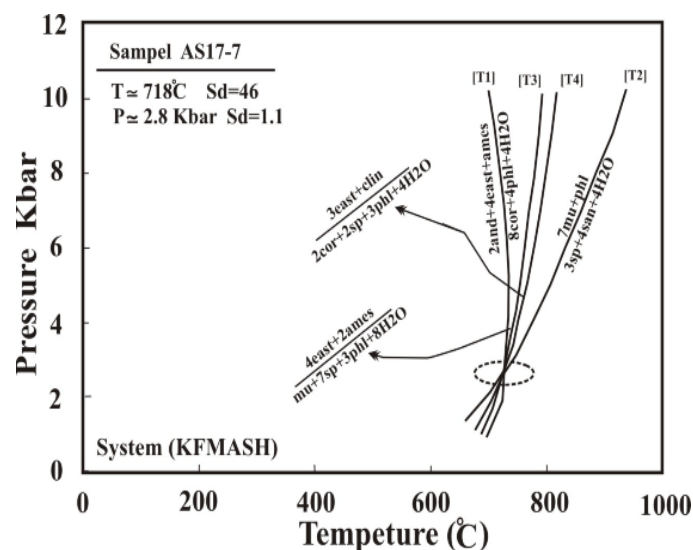
در این زینولیت‌ها بافت حاشیه‌ای (سیمپلکتیک) اسپینل+پلاژیوکلاز+بیوتیت به جای آندالوزیت دیده می‌شود که به احتمال در شرایط ذوب بخشی حاصل شده است (واکنش-های ۱ و ۲). ذوب بخشی در پوسته‌ی میانی و پایینی در پاسخ به شکسته شدن کانی‌های آبدار نظیر مسکوویت، بیوتیت و آمفیبول ممکن است رخ دهد [۱۹، ۲۰]. در بسیاری موارد، مقدار گذاره‌ی تولید شده با میزان کانی‌های آبدار ارتباط دارند [۲۰]. ذوب بخشی، به دلیل محتوای آب گذاره، به وسیله واکنش آیزدایی مسکوویت آیزدا می‌شود [۲۱].

#### دما-فشارسنجی با منحنی‌های تعادلی چندگانه

یکی از مهم‌ترین روش‌های دما-فشارسنجی، استفاده از منحنی‌های تعادلی چندگانه بین کانی‌های موجود در یک سنگ در نمودار P-T است. در این روش نخست واکنش‌های دگرگونی در سنگی که بالاترین کانی‌های دگرگون در حالت تعادل کانی‌شناسی را دارد (پایین‌ترین درجه‌ی آزادی) پیدا می‌شود. سپس با استفاده از ترکیب شیمیایی کانی‌ها (نتایج حاصل از تجزیه‌ی ریزکاوی الکترونی) منحنی‌های نشان دهنده واکنش را در یک نمودار P-T رسم کرده و با استفاده از پیوندگاه منحنی‌ها، دما و فشار به دست می‌آیند. دما و فشار به دست آمده بر اساس مجموعه کانی‌های در حال تعادل با استفاده از نرم‌افزار ترموکالک (Thermocalc (v.2.4) [۱۷] واکنش‌های (۱ تا ۴) نشان‌دهنده‌ی دمای تقریبی ۷۱۸ درجه‌ی سانتی‌گراد و فشار حدود ۲٫۸ کیلوبار است ( $SdT = 46^{\circ}C$ ) و  $SdP = 1.1$  Kbar) (شکل ۸). (محاسبات بر اساس مقطع دارای بیشترین کانی‌های پاراژنری و بدون بافت سیمپلکتیت هستند).



$$P = 2.8 \text{ kbar (sd = 1.1)}, T = 718 \text{ }^{\circ}C \text{ (sd = 46)}$$



شکل ۸ نمودار دما-فشار واکنش‌های بدست آمده با نرم افزار ترموکالک (v.2.4) [۱۷] در سیستم KFMASH که دمای ۷۱۸ درجه سانتی گراد و فشار ۲٫۸ کیلو بار را برای سنگ‌های مورد بررسی نشان می‌دهد.

آندالوزیت در گستره‌ی سیلیمانیت است. پایداری نمونه‌های دارای آندالوزیت در گستره‌ی سیلیمانیت در هاله‌های دگرگونی مجاورتی گزارش شده است [۲۲] که برهم‌چینی پله‌ای آندالوزیت نامیده می‌شود [۲۳]. ظاهراً هر قدر دوره‌ی دمای تحمل شده به سنگ کم‌تر باشد دامنه‌ی برهم‌چینی پله‌ای بیشتر خواهد شد و به همین دلیل است که میزان آن در زینولیت‌ها، بیش‌تر از تمام موارد است [۲۳، ۲۴]. باتوجه به شکل ۹ و گرما و فشار محاسبه شده، به نظر می‌رسد که علل حضور پایدار کانی آندالوزیت در گستره‌ی سیلیمانیت در زینولیت‌های آستانه به دلیل انتقال سریع گرمای بالا از توده‌ی داسیتی به این سنگ‌ها است که سبب دگرگونی مجاورتی درجه بالا در آنها شده است و به علت انتقال سریع گرما و زمان کم، فرصت کافی برای تبدیل آندالوزیت به سیلیمانیت فراهم نبود، لذا کانی آندالوزیت به صورت پایدار در این زینولیت‌ها مشاهده می‌شود.

#### بحث و برداشت

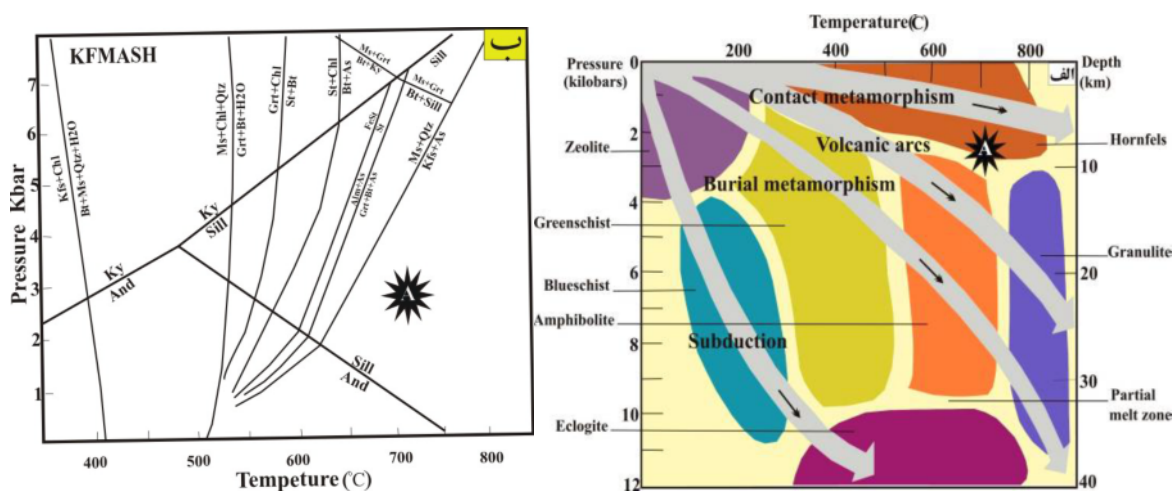
مجموعه‌ی سنگ‌های آذرین آستانه (جنوب غرب اراک) شامل توده‌ی گرانیتوئیدی با ترکیب تونالیت و گرانودیوریت (با ترکیب غالب گرانودیوریتی) و توده‌ی ریوداسیتی است. از نکات قابل توجه در سنگ‌های ریوداسیتی وجود برون‌بوم‌های آندزیتی حاوی اورتوپیروکسن (هیپرستن) و آمفیبول پارگازیتی است [۱۸].

در شرایط یکسان P-T و سنگ مادر (پروتولیت)، جریان آب تأثیر چشمگیری بر رفتار ذوب می‌گذارد. بنابراین با توجه به واکنش‌های KFMASH زیر (۱ و ۲) و بررسی‌های میکروسکوپی، ذوب پیش‌رونده آب زدایی مسکوویت و بیوتیت به همراه کانی‌های آندالوزیت، فلدسپارپتاسیم‌دار، پلاژیوکلاز و کلریت، شکل‌گیری کندوم و اسپینل را نمایان می‌سازد.

- 1)  $And + Bt + Chl = Sp / Crn + Bt + Melt$
- 2)  $And + Bt = Sp + Bt + Pl + Melt$
- 3)  $Bt + Chl = Crn + Spl + Kfs + Melt$
- 4)  $Ms + Bt + Chl = Crn + Bt + Melt$

کاهش مقدار  $SiO_2$  و یا جدا شدن کانی آندالوزیت از مناطق غنی از  $SiO_2$  در اثر رشد پلاژیوکلاز، فلدسپارپتاسیم‌دار و بیوتیت سبب ایجاد مناطقی در پیرامون بلور آندالوزیت می‌شود که از  $SiO_2$  فقیر است و همین عامل سبب رشد کندوم و نیز اسپینل در حاشیه آندالوزیت شده است (واکنش‌های ۱ و ۲) که عامل اصلی ایجاد گدازه و بافت حاشیه‌ای در این زینولیت-هاست. بر اساس نتایج سنگ‌نگاری و واکنش‌های احتمالی، رشد کندوم به دو صورت همراه با گدازه و در غیاب گدازه در این زینولیت‌ها صورت گرفته است. بنابراین این زینولیت‌ها احتمالاً به دو صورت تشکیل شده‌اند: (۱) باقیمانده‌ی دیرگداز ذوب بخشی هنگام تشکیل برخی از ماگماهای گرانیتی آتانکسی (۲) حاصل هضم سنگ‌های متاپلیتی (شیست‌های پلیتی و هورنفلس) پیرامون توده‌های گرانیتی می‌باشند.

نکته‌ی قابل توجه در این زینولیت‌ها، پایداری کانی



شکل ۹ الف) انواع رخساره‌های دگرگون [۲۵] که قرارگیری زینولیت‌ها در گستره‌ی رخساره‌ی پیروکسن هورنفلس را نشان می‌دهد. ب) مسیر P-T در سیستم KFMASH زینولیت‌های منطقه‌ی آستانه، منحنی‌های واکنش از [۲۶] است.

شیمی کانی، واکنش‌های ذوب و دمای- فشارسنجی نشان می‌دهد که علت پایداری آندالوزیت در منطقه‌ی سیلیمانیت در زینولیت‌های منطقه‌ی آستانه، نرخ گرم شدگی سریع است. به عبارت دیگر این حادثه طی دگرگونی سریع رخ داده است. انتشار گرمای ناشی از توده‌ی ریوداسیتی سبب فرآیند دگرگونی گرمایی شده است به طوری که دوره‌ی دمایی تحمیل شده به این زینولیت‌ها کم و نرخ گرم شدگی زیاد بوده است.

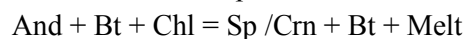
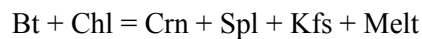
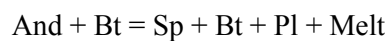
#### قدردانی

نویسندگان مقاله از حمایت‌های مالی معاونت پژوهشی دانشگاه لرستان به صورت طرح درون دانشگاهی با کد ۹۴۴۰۳۳۲۹۵ تشکر و سپاسگزاری می‌نمایند.

#### مراجع

- [۱] محجل م، سهندی م، "تکامل تکتونیکی پهنه‌ی سندج-سیرجان در نیمه‌ی شمال باختری و معرفی زیرپهنه‌های جدید در آن"، فصلنامه علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، شماره ۳۲-۳۱ (۱۳۷۸) ص ۴۹-۲۸.
- [2] Mahmoudi S., Corfu F., Masoudi F., Mehrabi B., Mohajjel M., "U-Pb dating and emplacement history of granitoid plutons in the northern Sanandaj-Sirjan Zone, Iran", Journal of Asian Earth Sciences 41 (2011) 238-249.

در زینولیت‌های حاشیه‌ی توده‌ی ریوداسیتی مجموعه کانی‌های کاردوم + اسپینل + آندالوزیت + فلدسپار پتاسیم‌دار + پلاژیوکلاز + مسکوویت + بیوتیت + کلریت با بافت‌های گرانوبلاستیک، لپیدوپورفیروبلاستیک، پورفیرولپیدوبلاستیک، سیمپلکتیت و پوئی کیلوبلاستیک دیده می‌شود. با توجه به این مجموعه کانی‌ها، منطقه‌ی کاردوم-اسپینل را می‌توان برای این سنگ‌ها در نظر گرفت. وجود کانی‌های کاردوم-اسپینل در این سنگ‌ها نشان دهنده رخساره پیروکسن-هورنفلس است که با فرآیندهای ذوب‌بخشی بدون شاره در ارتباط است. وجود گدازه نشان می‌دهد که سیمپلکتیک اسپینل-پلاژیوکلاز-بیوتیت به جای آندالوزیت در شرایط ذوب‌بخشی رخ داده است. واکنش‌های



مهم‌ترین واکنش‌های گسترش گدازه‌ی در زینولیت‌های دگرگون شده منطقه‌ی آستانه است. نتایج دما-فشارسنجی حاصل از نرم‌افزار ترموکالک گستره‌ی دمایی  $718^{\circ}\text{C}$  و فشار ۲٫۸ kbar را نشان می‌دهد که نمایانگر شکل‌گیری این سنگ‌ها در یک هاله‌ی مجاورتی و تشکیل رخساره‌ی پیروکسن-هورنفلس است. بررسی‌های صحرایی، شواهد سنگ‌نگاری،

- [13] Cathelineau M., "Cation site occupancy in chlorites and illites as a function of temperature", *Clay Minerals* 23 (1988) 471-485.
- [14] Deer W.A., Howie R. A., Zussman J., "Rock-forming minerals", 3rd Volume, Sheet silicates, Longman, London (1962).
- [15] Vidal O., Parra T., "Exhumation paths of high pressure metapelites obtained from local equilibria for chlorite- phengite assemblages", *Geological Journal* 35 (314) (2000) 139-161.
- [16] Feenstra A., "An EMP and TEM-AEM study of margarite, muscovite and f paragonite in polymetamorphic metabauxites of Naxos (Cyclades, Greece) and the implications of fine-scale mica interlayering and multiple mica generations", *Journal of Petrology* 37 (1996) 201-233.
- [17] Holland T.J.B., Powell R., "An internally consistent thermodynamic data set for phases of petrological interest", *Journal of Metamorphic Geology* 16 (1998) 309-343.
- [18] [۱۸] طهماسبی ز، خلیلی م، احمدی خلجی ا، مکی زاده م.ع، "مقایسه انواع آمفیبول ها و ژئوترموبارومتری توده نفوذی آستانه (زون سنندج- سیرجان)"، مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران، شماره ۲ (۱۳۸۸) ص ۲۹۰-۲۷۹.
- [19] Nedelec A., Minyem D., Barbey P., "High-P-high-T anatexis of Archean tonalitic grey gneisses: the Eseka migmatites, Cameroon", *Precambrian Research* 62 (1993) 191-205.
- [20] Brown M., "The generation, segregation, ascent and emplacement of granite magma: the migmatite-to-crustally-derived granite connection in thickened orogens", *Earth Science Review* 36 (1994) 83-130.
- [21] Le Breton N., Thompson A. B., "Fluid-absent (dehydration) melting of biotite in metapelite in the early stages of crustal anatexis", *Contribution to Mineralogy and Petrology* 99 (1988) 226-237.
- [22] Pattison D. R. M., "Stability of andalusite and sillimanite and the  $Al_2SiO_5$  triple point: constraints from the Ballachulish aureole Scotland", *Journal of Geology* 100 (1992) 423-446.
- [۳] رادفر ج، "بررسی های زمین شناسی و پترولوژی سنگ های گرانیتوئیدی ناحیه آستانه- گوشه"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه تهران (۱۳۶۶)، ۱۵۹ ص.
- [۴] سپهوند ف، "ژئوشیمی و تعیین محیط تکتونیکی سنگ های دگرگونی منطقه آستانه (جنوب غرب اراک)"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه لرستان (۱۳۹۲)، ۱۱۹ ص.
- [۵] سهندی م.ر، رادفر ج، حسینی دوست س.ج، مجل م، نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰۰ زمین شناسی شازند، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، برگ شماره ۵۸۵۷ (۱۳۸۵).
- [۶] طهماسبی ز، خلیلی م، احمدی خلجی ا، مکی زاده م.ع، "پترولوژی توده گرانیتوئیدی جنوب شازند (جنوب غرب اراک)"، پترولوژی، شماره ۱ (۱۳۸۹) ص ۱۰۲-۸۷.
- [7] Tabatabaei manesh S.M., "Petrology of a polymetamorphic rocks in the central Zone of the Limpopo high-grade terrain, South Africa", Ph.D.Thesis, Moscow State University (2006) 184.
- [8] Nakamura M., Shimakita S., "Dissolution origin and Syn-entrapment compositional change of melt inclusions in plagioclase". *Earth and Planetary Science Letters* 161 (1998) 119-33
- [9] Deer W.A., Howie R.A., Zussman J., "An introduction to the rock-forming minerals", 17th, Longman, Ltd(1991) 528.
- [10] Speer J.A., "Micas in igneous rocks", *Review in Mineralogy* 13 (1984) 299-356.
- [11] Pflumio C., "Evidences for polyphased oceanic alteration of the extrusive sequence of the Semail ophiolite from the Salahi Block (Oman)", in: Peters, T.J.(Eds), *Ophiolite genesis and evolution in the oceanic lithosphere* (1991) 313-351.
- [12] Laird J., "Chlorites: metamorphic petrology, In: *Hydrous phyllosilicates* (e.d Bailey, S. W.)". *Reviews in Mineralogy* 19 (1988) 405-453.

- [25] Vernon R.H., Clarke G.L., "Principles of Metamorphic petrology", Cambridge university Press, New York (2008) 446.
- [26] Spear F.S., Cheney J.T., "A Petrogenetic grid for pelitic schist in the system  $SiO_2-Al_2O_3-FeO-MgO-K_2O-Na_2O$ ", Contribution to Mineralogy and Petrology (1989) 149-164.
- [23] Cesare B., Gomez-Pugnaire M.T., Sanchez-Navas A., Grobety B., "Andalusite – sillimanite replacement (Mazarrn - SE Spain): microstructural and TEM study", American Mineralogy 87 (2002) 433-444.
- [24] Cesare B., "Multi-Stage pseudo orphic replacement of garnet during polymetamorphism: 2. Algebraic analysis of mineral assemblages", Journal of metamorphic geology 17 (1999) 735-746.