



## سنگ‌شناسی، شیمی کانی‌ها و دما‌سنجی توده‌ی گرانیتی سفیدکوه و برونبوم‌های ریزدانه‌ای فلزیک آن، باخترنه‌بندان، خاور ایران

عبدالله طولابی نژاد<sup>\*</sup>، حبیب بیابان‌گرد<sup>۱</sup>، احمد احمدی خلجی<sup>۲</sup>

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان

۲- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه لرستان

(دریافت مقاله: ۹۲/۴/۲۲، نسخه نهایی: ۹۲/۸/۷)

چکیده: توده‌ی گرانیت‌وئیدی سفیدکوه در باختر شهرستان نه‌بندان، استان خراسان جنوبی واقع شده و از دیدگاه زمین‌شناسی ایران در بخش خاوری پهنه‌ی لوت قرار دارد. این توده دارای طیف ترکیبی گرانیت (مونزو- سینو- گرانیت)، گرانو- یوریت و تونالیت بوده و دارای برونبوم‌های ریزدانه‌ای فلزیک با کانی‌شناسی مشابه توده اصلی است که ترکیب کانی‌های اصلی آن کوارتز، پلازیوکلاز، میکروکلین، ارتوز و بیوتیت است که به منظور تعیین شیمی کانی‌ها و دما‌سنجی با ریزپردازش الکترونی (EPMA) آنالیز شدند. پلازیوکلازها در توده‌ی گرانیت‌وئیدی اغلب دارای ترکیب آندزینی و گاهی آلبیتی و در برونبوم‌ها بیشتر آندزینی هستند، مقدار آنورتیت پلازیوکلازها از بخش‌های مرکزی به حاشیه کاهش نشان می‌دهد که بیانگر منطقه‌بندی عادی در آن‌هاست. فلدسپات‌های قلیایی برونبوم‌ها در گستره‌ی سانیدین و در توده‌ی گرانیتی در گستره‌ی ارتوز قرار می‌گیرند. بیوتیت‌های گرانیت‌ها از نوع اولیه ماقمایی، آهن دار و در گریزندگی پایین اکسیژن و شرایط احیایی تشکیل شده‌اند در حالی که بیوتیت‌های برونبوم‌ها در گریزندگی بالای اکسیژن، شرایط اکسایش تشکیل و از نوع منیزیم‌دار و اولیه ماقمایی می‌باشند. زمین‌دماسنجی فلدسپات‌ها و بیوتیت‌ها در دمای بین ۵۰۰ تا ۷۵۰ درجه‌ی سانتیگراد برای واحد گرانیتی و دمای ۶۵۰ تا ۹۵۰ درجه‌ی سانتیگراد را برای برونبوم‌ها نشان می‌دهند. بررسی‌های شیمی کانی‌ها نشان می‌دهد که گرانیت‌ها (ماگمایی پرآلومین) و برونبوم‌ها از یک ماگمای آهکی - قلیایی وابسته به حواشی فعال قاره‌ای تشکیل شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: سفیدکوه؛ نه‌بندان؛ زمین‌دماسنجی؛ گرانیت‌وئیدی؛ برونبوم.

چگونگی سنگ‌زایی و زمین‌ساختی ناحیه‌ای دارد [۱۱-۱]. شناخت ویژگی‌های برونبوم‌ها، به منظور پی بردن به خاستگاه گرانیت‌ها امری لازم و ضروری بوده و عکس آن نیز صادق است. به عقیده‌ی دیدیر [۱۲] بررسی بیشتر ترکیب شیمیایی برونبوم‌ها و سنگ‌های آذرین در برگیرنده‌شان، برای پی بردن به رابطه‌ی بین آن‌ها مفید خواهد بود. در این مقاله سعی شد تا براساس تجزیه ریزپردازشی کانی‌های موجود در گرانیت‌وئید سفیدکوه و برونبوم‌های آن، برای نخستین بار جنبه‌های سنگ‌شناسی، زمین‌شیمی کانی‌ها و دما‌سنجی به تفصیل مورد بررسی قرار گیرد.

### مقدمه

گرانیت‌وئیدها سازندگان اصلی کمربندهای کوه‌زایی بوده و دارای تنوع ترکیبی وسیعی هستند [۱]. لذا شناخت صحیح گرانیت‌وئیدها از نظر ترکیبی به گسترش و تکمیل اطلاعات لازم در ارتباط با تکامل پوسته‌ی قاره‌ای کمک شایانی می‌کنند [۲]. با گسترش امکان تجزیه‌ی کانی‌ها، توانایی قابل توجه تک کانی‌ها در تعیین خصوصیات ماقمایی گرانیت‌وئیدها در سالهای اخیر مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. ترکیب کانی‌ها نشان‌دهنده‌ی شرایط فشار- دما و ماهیت ماقمای حین جایگیری گرانیت‌ها بوده و ماهیت توده نقش مهمی در

خاموشی مستقیم و موجی و رنگ خاکستری روشن تا تیره دارند، اندازه‌ی آن‌ها تا ۵ میلیمتر می‌رسد و ۳۵ تا ۴۵ درصد حجمی کانی‌های سازنده سنگ را تشکیل می‌دهند. پلازیوکلازها به صورت بلورهای خود شکل و نیمه شکل‌دار همراه با ماکل کارلسپاد و پلی سنتیک با نوارهای ماکلی ظرفی و پهنه هستند (شکل ۲-الف) تجزیه شدگی به سریسیت و اپیدوت دارند، اندازه‌ی آن‌ها به ۴ میلیمتر می‌رسد و ۲۰ تا ۳۵ درصد حجمی این سنگ‌ها را تشکیل می‌دهند. میکروکلین‌ها ردی مشیک دارند و بیشتر به صورت بی‌شکل و نیمه شکل دارند و بیشتر فضاهای بین کانی‌ها را در بر گرفته‌اند. ارتوزها دارای رد شاخص کارلسپاد هستند و به صورت درشت بلور و ریز بلور در این سنگ‌ها دیده می‌شوند و به همراه میکروکلین ۲۵ تا ۳۰ درصد حجمی این سنگ‌ها را تشکیل می‌دهند. بیوتیت‌ها به صورت بلورهای صفحه‌ای نیمه شکل‌دار و بی‌شکل و به رنگ قهوه‌ای کم رنگ و سبزند، به کلریت و سریسیت تجزیه شده و در حدود ۵ تا ۶ درصد حجمی کانی‌های سازنده‌ی سنگ‌ها را تشکیل می‌دهند و ادخال‌هایی از کانی‌های زیرکن با حاشیه‌ی سوخته در آن‌ها دیده می‌شود (شکل ۲-پ). موسکوویت‌ها عموماً به صورت بلورهای صفحه‌ای نیمه شکل‌دار همراه با یک دسته رخ واضح هستند (شکل ۲-ب). گارنت یکی از مهمترین کانی‌های فرعی در تونالیت‌هاست و بیشتر به صورت نیمه شکل‌دار دیده می‌شود (شکل ۲-ث) و ۳ تا ۴ درصد حجمی این سنگ‌ها را تشکیل می‌دهد. ترکیب سنگ شناختی برونبوم‌ها که مشابه توده‌ی اصلی و گرانودیوریتی است، تقریباً میان بلور تا ریزبلورند، بافت متراکم و دانه‌ای دارند (شکل ۲-ج)، و کانی‌های آن‌ها عبارتند از کوارتز، پلازیوکلاز، میکروکلین و بیوتیت و کانی‌های فرعی آن‌ها عبارتند از موسکوویت، کلریت، سریسیت، زیرکن و گارنت. پلازیوکلازها ۵۰٪ - (۳۵٪) به صورت بلورهای خودشکل تا نیمه شکل‌دار، دارای ردهای مکرر و دوتایی هستند و گاه به سریسیت و اپیدوت تجزیه شده و خیلی کم به صورت منطقه‌بندی دیده می‌شوند. کوارتزها (تقریباً ۳۰٪) اغلب متوسط بلور و بی‌شکل‌اند و فضای میان فلدسپات‌ها را پر کرده‌اند. فلدسپارهای قلیایی (۱۰٪) از نوع میکروکلین‌اند و اغلب به صورت بی‌شکل تا نیمه شکل‌دار و بیشتر در زمینه‌ی ریزدانه سنگ، فضای میان دیگر کانی‌ها را پر کرده‌اند. بیوتیت‌ها به صورت بلورهای صفحه‌ای بی‌شکل تا نیمه شکل‌دارند و برخی از آن‌ها تجزیه شدگی به کلریت دارند (شکل ۲-ج).

### روش بررسی

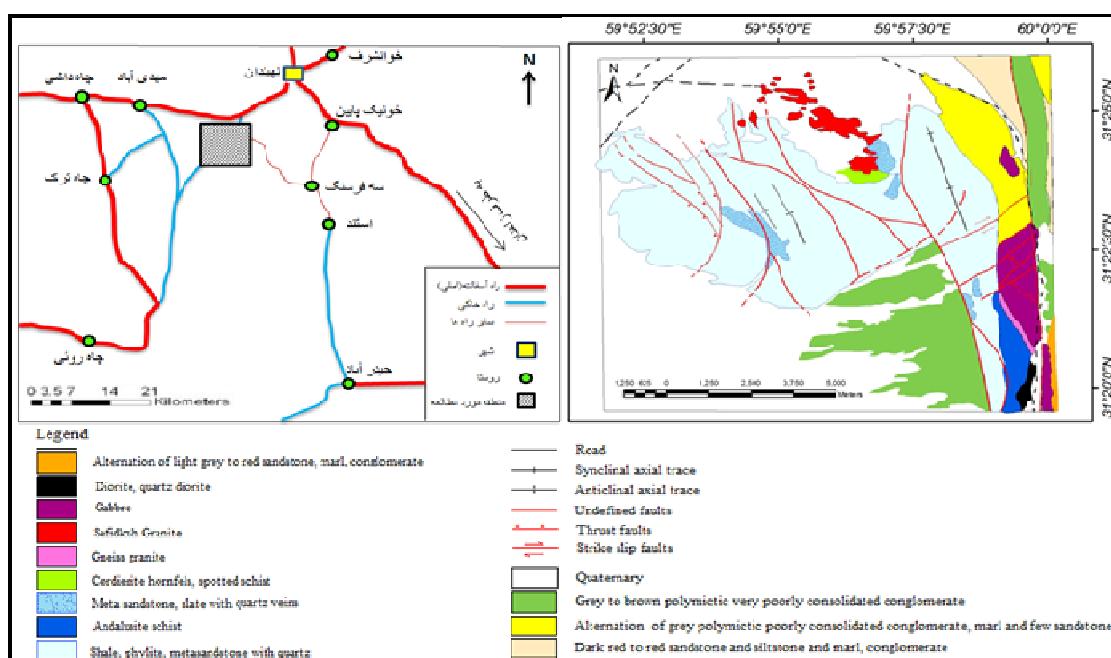
پس از چند مرحله بررسی صحرایی و نمونه‌برداری از توده‌ی گرانیت‌وئیدی سفیدکوه و برونبوم‌های فلسیک ریزدانه‌ی آن، ۴۰ مقطع نازک تهیه و مورد بررسی سنگنگاری قرار گرفتند. سپس ترکیب شیمیایی کانی‌های پلازیوکلاز، فلدسپار پتانسیم و بیوتیت در نمونه‌های سالم و نادگرسان با یک ریزپردازندۀ (EPMA) مدل Phillipse-8600 با ولتاژ شتاب‌دهنده ۲۰ کیلوولت و شدت جریان ۱۰ نانوآمپر در دانشگاه یاماگاتای ژاپن آنالیز شدند. اکسید آهن به صورت آهن کل گزارش شده و برای جدایش  $\text{Fe}^{+3}$  از  $\text{Fe}^{+2}$  از روش عنصرسنجی و معادله‌ی [۱۳] استفاده شد.

### بحث و بررسی زمین‌شناسی

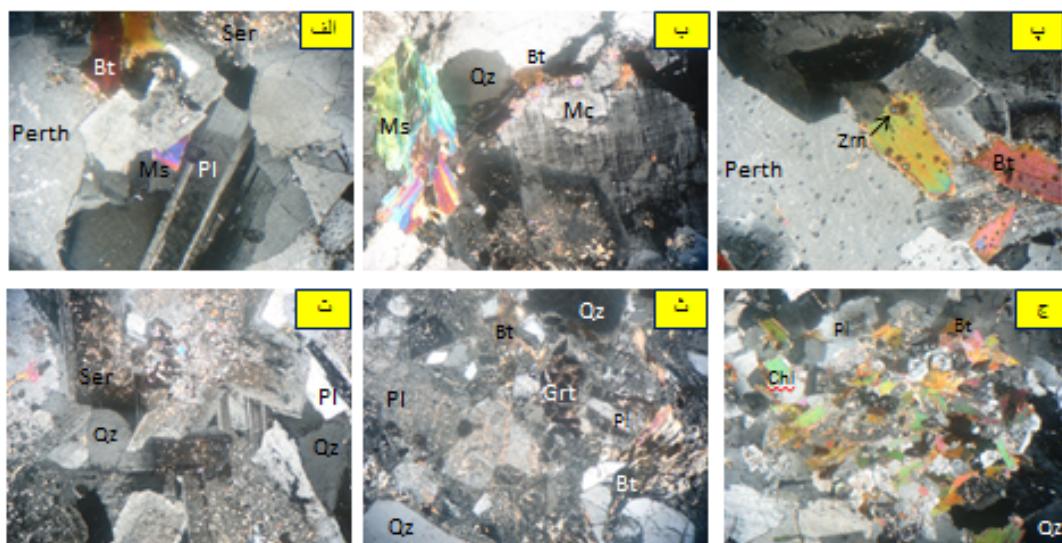
منطقه‌ی مورد بررسی در ۱۷ کیلومتری باخته شهرستان نهیندان، خاور روتای چاه داشی بین عرض‌های شمالی  $۴۹^{\circ} ۲۳' ۳۱''$  تا  $۴۹^{\circ} ۲۵' ۳۱''$  و طول‌های شرقی  $۵۹^{\circ} ۵۴' ۵۷''$  در مسیر جاده‌ی نهیندان-شهداد قرار گرفته (شکل ۱) و از نظر رده‌بندی‌های زمین‌شناسی ایران در بخش خاوری پهنه‌ی لوت قراردارد. از ویژگی‌های چشمگیر این زون فعالیت‌های گستردۀ آتش‌شانی ترشیری در آن است که با پیدایش نفوذی‌های گرانیت‌وئیدی همراه است. قدیمی‌ترین واحدهای سنگی منطقه مجموعه‌ی شیلی و ماسه‌سنگی شمشک است (شکل ۱) که توده‌ی گرانیت‌وئیدی سفیدکوه (ژوراسیک بالایی) در داخل این مجموعه نفوذ کرد و باعث ایجاد دگرگونی مجاورتی در آن‌ها شده است. بخش مرکزی توده‌ی گرانیت‌وئیدی سفیدکوه ترکیب مونزو تا سینوگرانیت و بخش حاشیه‌ای آن ترکیب گرانودیوریتی تا تونالیتی دارد. کانی‌های کوارتز، پلازیوکلاز، فلدسپات قلیایی و بیوتیت سازنده‌گان اصلی توده به شمار می‌روند.

### سنگ‌شناسی توده و برونبوم‌های فلسیک

سینوگرانیت، گرانیت، مونزوگرانیت، گرانودیوریت و تونالیت بیوتیت‌دار و میلونیتی شده مهم‌ترین حجم سنگ‌های گرانیت‌وئیدی سفیدکوه را به خود اختصاص می‌دهند که در نمونه‌های دستی، به رنگ خاکستری روشن تا تیره با بافت دانه‌ای تا پگماتیتی بوده و بلورهای نسبتاً درشت پلازیوکلاز و کانی‌های تیره بیوتیت در آن‌ها به چشم می‌خورد. کانی‌های اصلی توده نفوذی، کوارتز، پلازیوکلاز، فلدسپار پتانسیم و بیوتیت و بافت غالب آن دانه‌دار است (شکل ۲). کوارتزها



شکل ۱ بخشی از نقشه ساده زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰ منطقه مورد بررسی اقتباس از [۱۴] و نقشه موقعیت جغرافیایی و راههای دسترسی به منطقه مورد بررسی. گرانیت سفیدکوه با رنگ قرمز در میان رسوبات کواترنری و تشکیلات شمشک مشخص است.



شکل ۲ (الف) پلازیوکلاز سالم با رد پلی سنتیک، بیوتیت، موسکوویت و بافت پرتیتی در گرانیت سفیدکوه. (ب) کانی‌های کوارتز، میکروگلین، پلازیوکلاز، بیوتیت و موسکوویت در مونزوگرانیت‌های سفیدکوه. (پ) ادخال زیرکن در کانی بیوتیت. (ت) پلازیوکلازهای تجزیه شده به سریسیت و کوارتز در گرانوئدیوریت‌های سفیدکوه. (ث) بلور گارنت همراه با شکستگی، پلازیوکلاز با دارکارلسbadی و پلازیوکلازهای سریسیتی شده، بیوتیت‌های در حال تجزیه به کلریت و کوارتزهای خردشده در تونالیت‌های میلیونیتی شده. (ج) لخته‌های غنی از بیوتیت در برونبوم‌های ریزدانه‌ای فلسیک (تمام تصاویر در نور قطبیده متقطع، بزرگنمایی ۴۰ برابر و عرض میدان دید ۵ میلیمتر گرفته شده‌اند).

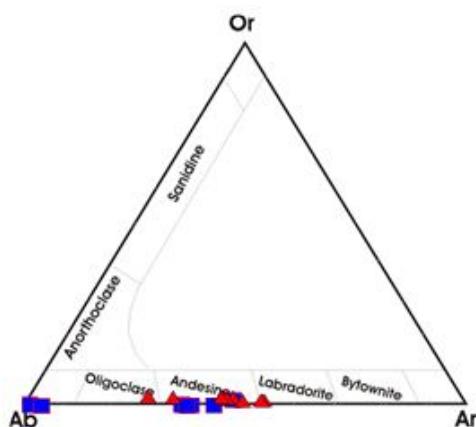
(شکل ۳) [۱۵]. تجزیه‌های ریزپردازشی انجام شده از نقاط مختلف پلازیوکلازهای منطقه‌بندی نشان می‌دهند که از بخش‌های مرکزی به حاشیه مقدار An کاهش و مقادیر Ab و Or افزایش یافته است به گونه‌ای که مقدار An در ترکیب

### شیمی کانی‌ها

پلازیوکلاز: ترکیب این کانی در سنگ‌های تجزیه شده‌ی ریز پردازشی گرانیتی اغلب از نوع آندزین و آلبیت و در برونبوم‌ها پیشتر از نوع آندزین است و گاهی تا حد الیگوکلاز نیز می‌رسند

تغییر است که این نشان دهندهی منطقه‌بندی عادی در این پلازیوکلازهاست [۱۶-۱۷]. ورود آب به مخازن ماقمایی یا افزایش درصد آب در ماقمای باقی‌مانده به موازات تبلور و آهسته‌تر بودن سرعت شکل‌گیری تعادل نسبت به سرعت تبلور را عامل منطقه‌بندی پلازیوکلازها می‌دانند.

پلازیوکلازهای برونبوم‌های ریزدانه‌ای فلسیک از  $An_{48/72}$  (در مرکز) تا  $An_{32/0.8}$  (در حاشیه) (نمونه‌های ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، برونبوم‌ها در جدول ۲) و در پلازیوکلازهای نوع الیگوکلاز گرانیت‌ها از  $An_{37/82}$  (در مرکز) تا  $An_{25/61}$  (در حاشیه) (نمونه‌های ۲ در جدول ۱) و از نوع آلبیتی آن از  $An_{5/28}$  (در مرکز) تا  $An_{2/53}$  (در حاشیه) (نمونه‌های ۷ در جدول ۱) در



شکل ۳ موقعیت پلازیوکلازهای مورد بررسی در نمودار رده‌بندی فلدسپات‌ها (نمودار پایه از [۱۵]). علامت مثلث پلازیوکلازهای تجزیه‌شده برونبوم‌ها و مربع پلازیوکلازهای تجزیه‌شده بخش گرانیتی سفیدکوه را نشان می‌دهند.

جدول ۱ آنالیز ریزپردازش الکترونی پلازیوکلازهای (wt%) بخش گرانیتی سفیدکوه و فرمول ساختاری (بر اساس ۳۲ اکسیژن) آن‌ها.

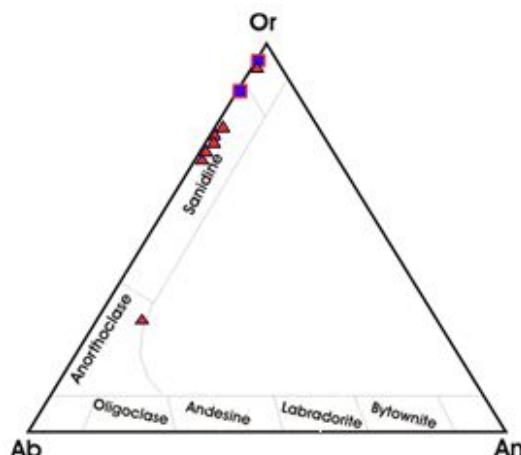
Sample No.	gr-1	gr-2	gr-3	gr-4	gr-5	gr-6	gr-7
$SiO_2$	58.98	59.90	58.44	71.32	60.14	68.66	68.90
$TiO_2$	0.03	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00
$Al_2O_3$	25.23	25.19	26.36	17.30	25.60	19.84	19.61
$FeO_t$	0.00	0.06	0.06	0.03	0.00	0.00	0.03
$MnO$	0.01	0.04	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
$MgO$	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	0.03
$CaO$	7.70	7.38	8.69	1.67	7.69	1.11	0.52
$Na_2O$	6.90	7.23	6.33	8.97	7.17	11.10	11.27
$K_2O$	0.14	0.18	0.11	0.10	0.07	0.10	0.20
$BaO$	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
Total	99.00	100.02	100.00	99.43	100.89	100.81	100.58
Si	10.67	10.71	10.50	10.33	10.69	11.95	12.01
Al	5.38	5.31	5.58	5.65	5.36	4.07	4.03
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe	0.00	0.01	0.01	0.04	0.00	0.00	0.00
Mn	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	1.49	1.41	1.67	1.84	1.46	0.21	0.10
Na	2.42	2.51	2.20	2.05	2.47	3.75	3.81
K	0.03	0.04	0.03	0.09	0.02	0.02	0.04
Sum cat.	19.99	20.01	19.99	20.00	20.00	20.00	20.00
$X_{An}$	37.82	35.61	42.82	46.23	36.96	52.8	2.53
$X_{Ab}$	61.42	63.38	56.41	51.51	62.03	94.22	96.46
$X_{Or}$	0.76	1.01	0.77	2.26	0.51	0.50	1.01

جدول ۲ داده‌های آنالیز ریزپردازشی الکترونی (wt%) پلازیوکلازهای برونبومهای سفیدکوه و فرمول ساختمانی (بر اساس ۳۲ اکسیژن) آن‌ها.

Sample	Enclaves	Enclaves	Enclavs							
SiO <sub>2</sub>	۵۷,۱۹	۵۷,۸۶	۵۷,۳۱	۵۵,۰۴	۵۷,۳۶	۶۲,۶۸	۵۵,۵۵	۵۶,۶۸	۵۷,۵۵	۵۹,۶۲
TiO <sub>2</sub>	۰,۰۲	۰,۰۳	۰,۰۵	۰,۰۸	۰,۰۴	۰,۰۰	۰,۰۲	۰,۰۰	۰,۰۵	۰,۰۰
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۲۶,۵۴	۲۶,۰۳	۲۶,۱۸	۲۷,۵۸	۲۶,۵۴	۲۳,۸۸	۲۷,۶۰	۲۶,۹۳	۲۵,۷۳	۲۳,۷۶
FeO	۰,۲۷	۰,۲۵	۰,۳۶	۰,۲۶	۰,۳۰	۰,۲۵	۰,۲۲	۰,۱۴	۰,۲۷	۰,۲۸
MnO	۰,۰۱	۰,۰۳	۰,۰۰	۰,۰۳	۰,۰۵	۰,۰۶	۰,۰۳	۰,۰۰	۰,۰۲	۰,۰۲
MgO	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۳	۰,۰۰
CaO	۹,۵۳	۹,۰۰	۹,۰۶	۱۱,۰۸	۹,۴۲	۵,۸۰	۱۰,۶۵	۹,۸۱	۹,۰۰	۶,۶۴
Na <sub>2</sub> O	۵,۸۴	۶,۱۵	۵,۹۸	۵,۱۹	۶,۱۴	۸,۱۵	۵,۱۴	۵,۵۷	۶,۲۱	۷,۱۷
K <sub>2</sub> O	۰,۳۸	۰,۴۲	۰,۳۱	۰,۲۸	۰,۳۳	۰,۴۳	۰,۲۶	۰,۲۳	۰,۳۷	۰,۴۱
BaO	۰,۰۰	۰,۰۹	۰,۰۳	۰,۰۰	۰,۰۲	۰,۰۹	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰
Total	۹۹,۷۸	۹۹,۸۸	۹۹,۲۸	۹۹,۵۴	۱۰۰,۲۰	۱۰۱,۳۴	۹۹,۴۹	۹۹,۳۷	۹۹,۲۴	۹۷,۹۰
Si	۱۰,۳۳	۱۰,۴۳	۱۰,۴۰	۹,۹۹	۱۰,۳۰	۱۱,۰۳	۱۰,۱۰	۱۰,۲۹	۱۰,۴۳	۱۰,۹۰
Al	۵,۶۵	۵,۵۳	۵,۶۰	۵,۹۰	۵,۶۲	۴,۹۵	۵,۹۱	۵,۷۶	۵,۵۰	۵,۱۲
Ti	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
Fe	۰,۰۴	۰,۰۴	۰,۰۵	۰,۰۴	۰,۰۴	۰,۰۴	۰,۰۳	۰,۰۲	۰,۰۴	۰,۰۴
Mn	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
Mg	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰
Ba	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
Ca	۱,۸۴	۱,۷۴	۱,۷۶	۲,۱۶	۱,۸۱	۱,۰۹	۲,۰۷	۱,۹۱	۱,۷۵	۱,۳۰
Na	۲,۰۵	۲,۱۵	۲,۱۰	۱,۸۳	۲,۱۴	۲,۷۸	۱,۸۱	۱,۹۶	۲,۱۸	۲,۵۴
K	۰,۰۹	۰,۱۰	۰,۰۷	۰,۰۶	۰,۰۸	۰,۱۰	۰,۰۶	۰,۰۵	۰,۰۹	۰,۰۹
Sum cat.	۲۰,۰۰	۲۰,۰۱	۱۹,۹۹	۲۰,۰۰	۲۰,۰۱	۲۰,۰۱	۱۹,۹۸	۱۹,۹۹	۲۰,۰۰	۱۹,۹۹
X <sub>An</sub>	۴۶,۲۳	۴۳,۶۱	۴۴,۷۸	۵۳,۳۳	۴۴,۹۱	۲۷,۴۶	۵۲,۵۴	۴۸,۷۲	۴۲,۵۳	۳۲,۰۸
X <sub>Ab</sub>	۵۱,۵۱	۵۳,۸۸	۵۲,۴۴	۴۵,۱۹	۵۳,۱۰	۷۰,۰۳	۴۵,۹۴	۵۰,۰۰	۵۴,۲۳	۶۴,۶۳
X <sub>Or</sub>	۲,۲۶	۲,۵۱	۱,۷۸	۱,۴۸	۱,۹۹	۲,۵۲	۱,۵۲	۱,۲۸	۲,۲۴	۲,۲۹

قرارگرفته‌اند و برخی از فلدسپات‌های آن ترکیب نزدیک به ارتوز و آنورتوکلاز دارند (شکل ۴). فلدسپات‌های قلیایی بخش گرانیتی در مقایسه با برونبومهای ریزدانه‌ای فلزیک ارتوز بیشتر و آنورتیت و آلبیت کمتری دارند (جدول ۳).

فلدسپات‌های قلیایی: نتایج حاصل از تجزیه ریز کاوش الکترونی روی فلدسپات‌های قلیایی توده‌ی گرانیتی سفیدکوه و برونبومهای آن (جدول ۳ و شکل ۴) نشان می‌دهد که ترکیب شیمیایی آن‌ها در گرانیتها در گستره‌ی ارتوز و سانیدین (نزدیک مرز با ارتوز) و در برونبومها در گستره‌ی سانیدین



شکل ۴ فلدسپات‌های قلیایی مورد بررسی در نمودار رده‌بندی فلدسپات‌های قلیایی (نمودار پایه از [۱۵]). علاوه مشابه (شکل ۳).

جدول ۳ داده‌های آنالیز ریزپردازشی الکترونی (wt %) فلدسپات‌های آلکالن برونبوم‌های میکروگرانولار فلزیک و بخش گرانیتی سفیدکوه و فرمول ساختاری (بر اساس اکسیژن) آن‌ها.

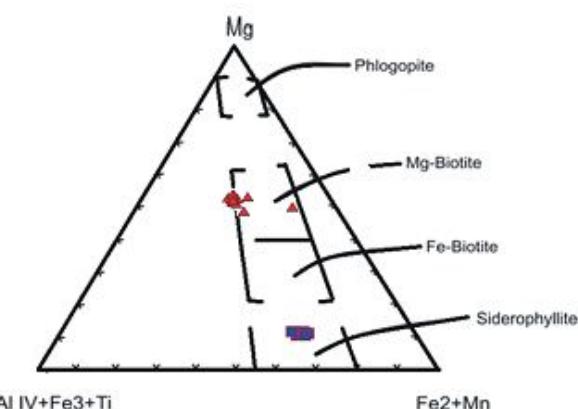
Sample No.	gr-1	gr-2	Enclaves-1	Enclaves-2	Enclaves-3	Enclaves-4	Enclaves-5	Enclaves-6	Enclaves-7
SiO <sub>2</sub>	۶۵,۰۶	۶۵,۵۵	۶۶,۱۱	۶۵,۹۳	۶۵,۵۶	۶۴,۸۴	۶۴,۹۵	۶۵,۹۷	۶۵,۱۸
TiO <sub>2</sub>	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۶	۰,۰۷	۰,۰۶	۰,۰۳	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۰
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۱۸,۱۰	۱۸,۰۳	۱۸,۲۶	۱۸,۰۸	۱۷,۹۲	۱۷,۸۱	۱۸,۰۳	۱۸,۱۱	۲۰,۳۶
FeO	۰,۰۲	۰,۰۰	۰,۰۶	۰,۱۲	۰,۰۹	۰,۰۷	۰,۳۲	۰,۰۷	۰,۲۱
MnO	۰,۰۲	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۷	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۴	۰,۰۰
MgO	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۴
CaO	۰,۰۳	۰,۰۳	۰,۲۵	۰,۱۶	۰,۲۰	۰,۰۲	۰,۲۷	۰,۱۸	۲,۲۷
Na <sub>2</sub> O	۰,۵۵	۱,۴۲	۲,۳۱	۲,۶۶	۲,۲۵	۰,۶۵	۲,۳۵	۲,۶۳	۶,۷۳
K <sub>2</sub> O	۱۵,۶۲	۱۴,۵۲	۱۱,۷۳	۱۲,۸۴	۱۱,۸۹	۱۵,۶۲	۱۳,۲۲	۱۲,۴۱	۴,۸۱
BaO	۰,۰۰	۰,۱۹	۰,۲۱	۰,۰۳	۰,۰۱	۰,۰۲	۰,۰۷	۰,۰۶	۰,۰۵
Total	۹۹,۳۹	۹۹,۷۵	۱۰۰,۰۰	۹۹,۸۹	۹۹,۰۴	۹۹,۰۷	۹۹,۲۲	۹۹,۴۷	۹۹,۶۵
Si	۱۲,۱۱	۱۲,۱۲	۱۲,۰۸	۱۲,۰۸	۱۲,۰۸	۱۲,۱۰	۱۲,۰۱	۱۲,۱۶	۱۱,۷۴
Al	۳,۹۷	۲,۹۳	۲,۹۳	۳,۹۱	۳,۸۹	۳,۹۲	۳,۹۳	۳,۹۳	۴,۳۲
Ti	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
Fe	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۲	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۵	۰,۰۱	۰,۰۳
Mn	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰
Mg	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱
Ba	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۲	۰,۰۰	۰,۰۴	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۰
Ca	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۵	۰,۰۳	۱,۱۶	۰,۰۰	۰,۰۵	۰,۰۴	۰,۴۴
Na	۰,۲۰	۰,۵۱	۱,۱۷	۰,۹۴	۲,۷۹	۰,۲۴	۰,۸۴	۰,۹۴	۲,۳۵
K	۳,۷۱	۲,۴۲	۲,۷۳	۳,۰۰	۱۹,۹۹	۳,۷۲	۳,۱۲	۲,۹۲	۱,۱۰
Sum cat.	۲۰,۰۰	۲۰,۰۰	۱۹,۹۹	۱۹,۹۹	۰,۰۰	۱۹,۹۹	۲۰,۰۱	۲۰,۰۱	۱۹,۹۹
X <sub>An</sub>	۰,۱۷	۰,۱۵	۱,۲۲	۰,۸۰	۰,۹۸	۰,۱۰	۱,۳۳	۰,۹۳	۱۱,۳۱
X <sub>Ab</sub>	۵,۰۴	۱۲,۹۴	۲۹,۶۷	۲۳,۷۳	۲۹,۰۹	۵,۹۷	۲۰,۹۶	۲۴,۱۰	۶۰,۴۱
X <sub>or</sub>	۹۴,۷۹	۸۶,۹۱	۶۹,۱۱	۷۵,۴۷	۹۳,۶۹	۹۳,۹۳	۷۷,۷۱	۷۴,۹۸	۲۸,۲۸

کاملاً حساس‌اند [۲۳]. عوامل یادشده امکان جانشینی در چهار موقعیت ساختاری بیوتیت‌ها را ممکن ساخته است. ترکیب بیوتیت در سنگ‌های گرانیت‌وئیدی تابع ماقمای مولد، گریزندگی اکسیژن [۲۵,۲۴] دمای گدازه [۲۶] و خاستگاه گرانیت‌هاست [۲۹-۲۷]. بر اساس رده‌بندی [۳۰] مقدار منیزیم در بیوتیت برونبوم‌ها (به طور متوسط ۳/۱۲) بیشتر از مقدار آن در بیوتیت گرانیت‌ها (به طور متوسط ۰,۷۲) است (شکل ۵). در چهار ضلعی آنیت، سیدروفیلیت، فلوگوپیت و ایستونیت، بیوتیت‌های برونبوم‌ها با داشتن مقدار محتوای Al کل بین ۲,۰۹ تا ۲,۷۲ در هر واحد فرمولی و با مقدار نسبت (Fe/(Fe+Mg)) ۰,۴۰ تا ۰,۴۴ بالای خط ۰,۳۳ (جدول ۵) در گستره‌ی بیوتیت‌های غنی از منیزیم و بیوتیت‌های گرانیت‌ها با داشتن محتوای Al کل ۳,۵۵ تا ۳,۹۵ در هر واحد فرمولی و نسبت Fe/(Fe+Mg) ۰,۸۳ تا ۰,۸۵ (جدول ۴)، نزدیک به

میکاها: بیوتیت تنها کانی فرومینیزین موجود در برونبوم‌ها و گرانیت‌های سفیدکوه است، مقدار آن در برونبوم‌ها ۱۲ تا ۲۰ درصد و در گرانیت‌ها ۵ تا ۶ درصد است. این کانی در برونبوم‌ها قهقهه‌ای و سبز و در گرانیت‌ها به رنگ قهقهه‌ای کم رنگ تا پررنگ، قهقهه‌ای مایل به قرمز و سبز دیده می‌شود. تغییر ترکیب شیمیایی آن‌ها عامل موثر در تغییر رنگ آن‌هاست [۲۰]. معتقدند که علت رنگ قهقهه‌ای تیره به دلیل بالا بودن میزان Mg, Si, Na, Ba و پایین بودن K و Al در ترکیب بیوتیت‌هاست. بخش زیادی از Al در موقعيت‌های چهاروجهی میکاها وارد شده و Al<sup>VII</sup> در بیشتر بیوتیت‌های برونبوم صفر تا نزدیک به صفر است که از ویژگی‌های بیوتیت‌های ماقمایی است [۲۲]. بیوتیت‌ها در سیستم‌های ماقمایی، دگرگونی و دگرنهادی، به تغییرات دما، فشار و فعالیت‌های سازنده‌هایی چون F, H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub> و SiO<sub>2</sub> می‌باشند.

شیمیایی بیوتیت‌ها بررسی کرده‌اند. بنابر نمودار [۲۸] ترکیب بیوتیت‌های برونبوم‌ها در گستره‌ی کوه‌زایی شبکه‌ای (SA) و بیوتیت‌های گرانیت‌ها در گستره‌ی پرآلومین (P) قرار می‌گیرند (شکل ۶-ب).

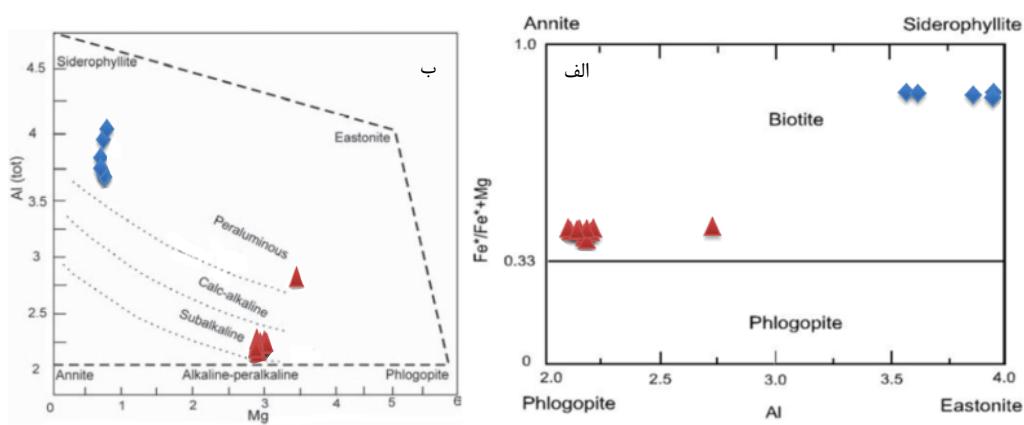
قطب سیدروفیلیت قرار می‌گیرند (شکل ۶-الف). اباشت بیوتیت‌های برونبوم‌ها (شکل ۶-الف) نشانه‌ای از عدم آلوگی یا آلوگی ناچیز پوسته‌ای آن‌هاست [۳۱]. پژوهشگران مختلفی مانند [۲۸,۲۷,۲۲] ارتباط بین سری ماقمایی را با ترکیب



شکل ۵ موقعیت بیوتیت‌های موجود در برونبوم‌ها و گرانیت‌های سفیدکوه در نمودار رده‌بندی میکاها با استفاده از ترکیب شیمیایی آن‌ها (نمودار پایه از [۳۰]). علائم مشابه (شکل ۳).

جدول ۴ داده‌های آنالیز ریزپردازش الکترونی (wt%) بیوتیت‌های گرانیت سفیدکوه و فرمول ساختاری (براساس ۲۴ اکسیژن) آن‌ها.

Sample No.	gr-1	gr-2	gr-3	gr-4	gr-5	gr-6	gr-7
SiO <sub>2</sub>	۲۴,۹۶	۲۵,۰۲	۲۴,۴۰	۲۵,۲۸	۲۳,۶۹	۲۴,۲۷	۲۴,۵۶
TiO <sub>2</sub>	۲,۴۴	۲,۳۲	۱,۹۲	۰,۶۹	۰,۸۱	۲,۵۱	۲,۵۶
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۱۸,۱۳	۱۸,۰۴	۱۸,۹۴	۱۹,۶۲	۱۹,۶۸	۱۷,۹۳	۱۸,۱۷
FeO	۲۸,۶۴	۲۷,۸۵	۲۹,۴۲	۲۸,۵۸	۲۸,۸۳	۲۸,۵۰	۲۸,۰۱
MnO	۰,۶۲	۰,۶۵	۰,۷۴	۰,۷۰	۰,۶۶	۰,۵۹	۰,۶۰
MgO	۳,۰۰	۲,۸۰	۲,۷۵	۲,۸۸	۳,۰۵	۲۹۰	۲۷۱
CaO	۰,۰۲	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۳	۰,۰۳	۰,۰۰
Na <sub>2</sub> O	۰,۰۹	۰,۰۶	۰,۰۸	۰,۰۳	۰,۰۵	۰,۰۳	۰,۰۷
K <sub>2</sub> O	۹,۲۲	۹,۲۴	۹,۲۸	۹,۲۴	۹,۰۶	۹,۱۰	۹,۴۴
BaO	۰,۴۹	۰,۴۲	۰,۰۵	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۳۴	۰,۴۶
Cl	۰,۴۷	۰,۴۹	۰,۳۷	۰,۳۰	۰,۲۹	۰,۵۱	۰,۴۶
F	۰,۷۳	۰,۲۶	۰,۶۶	۰,۵۹	۰,۳۱	۰,۶۶	۰,۴۷
Total	۹۸,۸۱	۹۷,۱۵	۹۸,۶۰	۹۷,۹۱	۹۶,۴۶	۹۷,۳۷	۹۷,۵۳
Si	۵,۸۱	۵,۸۵	۵,۷۲	۵,۸۹	۵,۷۴	۵,۷۸	۵,۸۵
Al <sup>IV</sup>	۲,۱۹	۲,۱۵	۲,۲۸	۲,۱۱	۲,۲۶	۲,۲۲	۲,۱۵
Al <sup>VI</sup>	۱,۳۶	۱,۴۵	۱,۴۳	۱,۷۵	۱,۶۹	۱,۳۵	۱,۴۷
Ti	۰,۳۱	۰,۳۰	۰,۲۴	۰,۰۹	۰,۱۰	۰,۲۲	۰,۳۳
Fe <sup>2+</sup>	۳,۷۷	۳,۹۳	۳,۷۲	۳,۸۱	۳,۷۵	۳,۸۲	۳,۸۶
Fe <sup>3+</sup>	۰,۲۱	۰,۰۸	۰,۳۶	۰,۱۸	۰,۳۶	۰,۲۰	۰,۱۰
Mn	۰,۰۹	۰,۰۹	۰,۱۰	۰,۱۰	۰,۰۹	۰,۰۸	۰,۰۹
Mg	۰,۷۴	۰,۷۲	۰,۶۸	۰,۷۲	۰,۷۷	۰,۷۳	۰,۶۸
Ba	۰,۰۳	۰,۰۳	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۲	۰,۰۳
Ca	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۰
Na	۰,۰۳	۰,۰۲	۰,۰۳	۰,۰۱	۰,۰۲	۰,۰۱	۰,۰۲
K	۱,۹۵	۲,۰۳	۱,۹۷	۱,۹۷	۱,۹۷	۱,۹۶	۲,۰۴
F	۰,۳۸	۰,۱۴	۰,۳۴	۰,۳۱	۰,۱۷	۰,۳۵	۰,۲۵
Cl	۰,۱۳	۰,۱۴	۰,۱۱	۰,۰۸	۰,۰۸	۰,۱۵	۰,۱۳
Sum Cat.	۱۷,۰۰	۱۶,۹۳	۱۶,۹۹	۱۷,۰۲	۱۷,۰۰	۱۷,۰۰	۱۷,۰۱
Mg/(Mg+Fe)	۰,۱۶	۰,۱۵	۰,۱۵	۰,۱۶	۰,۱۷	۰,۱۶	۰,۱۵
Fe/(Fe+Mg)	۰,۸۴	۰,۸۵	۰,۸۵	۰,۸۴	۰,۸۳	۰,۸۴	۰,۸۵



شکل ۶ (الف) موقعیت بیوتیت‌های موجود در برونبومها و گرانیت‌های سفیدکوه در نمودار رده‌بندی شیمیایی میکاها (نمودار پایه از [۲۹، ۱۵]). (ب) تعیین سری ماقمایی برونبومها و گرانیت‌های سفیدکوه بر اساس ترکیب شیمیایی بیوتیت‌ها (نمودار پایه از [۲۸]). بیوتیت‌های تجزیه شده برونبوم‌های ریزدانه با علامت مثلث و بیوتیت‌های موجود در گرانیت‌ها با علامت لوزی نشان داده شده‌اند.

جدول ۵ داده‌های آنالیز ریزپردازش الکترونی (wt %) بیوتیت‌های برونبوم‌های فلسیک سفیدکوه و فرمول ساختاری (بر اساس ۲۴ اکسیژن) آن‌ها.

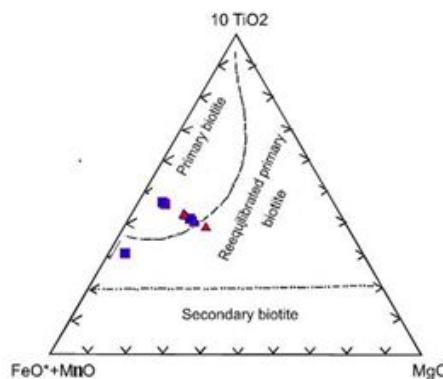
Sample No.	En-1	En-2	En-3	En-4	En-5	En-6	En-7	En-8	En-9	En-10	En-11	En-12
$\text{SiO}_2$	۳۵.۰۲	۲۶.۶۸	۳۸.۹۶	۳۸.۴۱	۳۸.۵۵	۳۸.۹۱	۳۹.۰۳	۳۸.۱۴	۳۸.۹۴	۳۹.۳۵	۳۹.۰۲	۳۹.۵۵
$\text{TiO}_2$	۲.۶۸	۴.۰۸	۴.۳۳	۴.۴۴	۴.۳۰	۴.۳۶	۴.۲۹	۴.۲۴	۴.۲۲	۴.۲۷	۴.۲۴	۴.۳۰
$\text{Al}_2\text{O}_3$	۱۳.۹۷	۱۲.۰۸	۱۲.۰۶	۱۲.۱۶	۱۲.۰۱	۱۱.۹۱	۱۱.۹۳	۱۲.۱۹	۱۲.۱۵	۱۱.۸۰	۱۲.۳۰	۱۲.۱۸
$\text{FeO}$	۲۰.۳۲	۱۷.۸۵	۱۷.۱۰	۱۷.۸۲	۱۷.۵۴	۱۶.۳۰	۱۸.۹	۱۸.۰	۱۸.۱۳	۱۸.۳۷	۱۸.۲۵	۱۸.۱۵
$\text{MnO}$	۰.۳۰	۰.۱۸	۰.۱۲	۰.۱۶	۰.۱۴	۰.۱۳	۰.۰۸	۰.۲۳	۰.۱۶	۰.۳۱	۰.۲۰	۰.۲۵
$\text{MgO}$	۱۴.۷۰	۱۳.۵۵	۱۲.۹۶	۱۳.۷۴	۱۳.۷۲	۱۳.۷۳	۱۲.۷۳	۱۲.۷۳	۱۲.۲۱	۱۲.۵۰	۱۲.۴۹	۱۲.۵۰
$\text{CaO}$	۰.۲۹	۰.۰۰	۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۰	۰.۰۶	۰.۰۴	۰.۰۷	۰.۰۰	۰.۰۵	۰.۰۴	۰.۰۶
$\text{Na}_2\text{O}$	۰.۱۵	۰.۴۰	۰.۳۸	۰.۲۸	۰.۳۶	۰.۳۱	۰.۴۰	۰.۳۸	۰.۳۹	۰.۴۲	۰.۴۰	۰.۳۹
$\text{K}_2\text{O}$	۴.۷۲	۹.۳۳	۹.۲۶	۹.۲۳	۹.۳۴	۸.۹۴	۹.۰۶	۹.۲۱	۹.۲۱	۹.۱۶	۹.۱۹	۹.۲۲
$\text{BaO}$	۰.۰۴	۰.۰۰	۰.۰۷	۰.۱۰	۰.۱۱	۰.۰۷	۰.۰۶	۰.۰۲	۰.۰۰	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۳
$\text{Cl}$	۰.۳۹	۰.۵۸	۰.۴۸	۰.۶۳	۰.۴۷	۰.۵۰	۰.۵۳	۰.۴۸	۰.۵۴	۰.۵۴	۰.۵۲	۰.۵۱
$\text{F}$	۰.۹۳	۲.۱۴	۲.۲۲	۱.۹۸	۲.۱۹	۲.۰۷	۲.۶۷	۲.۱۹	۲.۶۲	۲.۳۱	۲.۴۵	۲.۵۵
Total	۹۳.۵۱	۹۸.۸۷	۹۸.۹۵	۹۸.۹۶	۹۸.۷۳	۹۷.۳۰	۹۹.۹۱	۹۸.۳۵	۹۹.۸۶	۱۰۰.۰۸	۱۰۰.۱۲	۱۰۰.۷۹
Si	۵۷.۹	۵۸.۹	۵۹.۱	۵۸.۷	۵۸.۸	۶۰.۲	۵۸.۳	۵۸.۵	۵۸.۳	۵۹.۲	۵۸.۵	۵۸.۸
$\text{AL}^{IV}$	۲.۲۱	۲.۱۱	۲.۰۹	۲.۱۳	۲.۱۲	۱.۹۸	۲.۱۰	۲.۱۵	۲.۱۴	۲.۰۸	۲.۱۵	۲.۱۲
$\text{AL}^{VI}$	۰.۵۱	۰.۰۶	۰.۰۷	۰.۰۶	۰.۰۴	۰.۱۹	۰.۰۰	۰.۰۵	۰.۰۰	۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۱
Ti	۰.۳۳	۰.۴۷	۰.۴۹	۰.۵۱	۰.۴۹	۰.۵۱	۰.۴۸	۰.۴۹	۰.۴۷	۰.۴۸	۰.۴۷	۰.۴۸
$\text{Fe}^{2+}$	۲.۷۲	۱.۲۲	۱.۲۳	۱.۲۴	۱.۲۱	۱.۴۷	۱.۱۵	۱.۲۶	۱.۱۵	۱.۳۳	۱.۲۳	۱.۲۵
$\text{Fe}^{3+}$	۰.۰۹	۱.۰۵	۰.۹۴	۰.۹۴	۱.۰۳	۰.۶۴	۱.۱۱	۱.۰۴	۱.۱۲	۰.۹۸	۱.۰۶	۱.۰۰
Mn	۰.۰۴	۰.۰۲	۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۱	۰.۰۳	۰.۰۲	۰.۰۴	۰.۰۳	۰.۰۳
Mg	۲.۶۲	۳.۰۷	۳.۱۶	۳.۱۳	۳.۱۲	۳.۱۷	۳.۰۶	۳.۰۲	۳.۰۱	۳.۰۳	۳.۰۲	۳.۰۱
Ba	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰
Ca	۰.۰۵	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۰	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱
Na	۰.۰۵	۰.۱۲	۰.۱۱	۰.۰۸	۰.۱۱	۰.۰۹	۰.۱۲	۰.۱۱	۰.۱۱	۰.۱۲	۰.۱۲	۰.۱۱
K	۱.۰۰	۱.۸۱	۱.۷۹	۱.۸۰	۱.۸۲	۱.۷۶	۱.۷۳	۱.۸۰	۱.۷۶	۱.۷۶	۱.۷۶	۱.۷۵
F	۰.۴۸	۱.۰۳	۱.۰۷	۰.۹۶	۱.۰۵	۱.۰۱	۱.۲۶	۱.۰۶	۱.۲۴	۱.۱۰	۱.۱۶	۱.۳۰
Cl	۰.۱۱	۰.۱۵	۰.۱۲	۰.۱۶	۰.۱۲	۰.۱۳	۰.۱۴	۰.۱۲	۰.۱۴	۰.۱۴	۰.۱۳	۰.۱۳
Sum Cat.	۱۶.۹۹	۱۷.۰۰	۱۶.۹۹	۱۷.۰۱	۱۷.۰۱	۱۷.۰۰	۱۷.۰۰	۱۷.۰۰	۱۶.۹۹	۱۷.۰۰	۱۷.۰۱	۱۶.۹۹
$\text{Mg}(\text{Mg}+\text{Fe})$	۰.۵۶	۰.۵۷	۰.۵۹	۰.۵۸	۰.۵۸	۰.۶۰	۰.۵۸	۰.۵۷	۰.۵۷	۰.۵۷	۰.۵۷	۰.۵۷
$\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg})$	۰.۴۴	۰.۴۳	۰.۴۱	۰.۴۲	۰.۴۲	۰.۴۰	۰.۴۲	۰.۴۳	۰.۴۳	۰.۴۳	۰.۴۳	۰.۴۳

قليايی مقدار آن ۱/۷۶ در نظر گرفته شده است. در اين رده‌بندی تمامي بیوتیت‌های غني از  $\text{Al}$  با نسبت بالاي  $\text{Fe}/\text{Mg}$  وابسته به مagmaي پرآلومينوس در نظر گرفته شده‌اند. بررسی‌ها

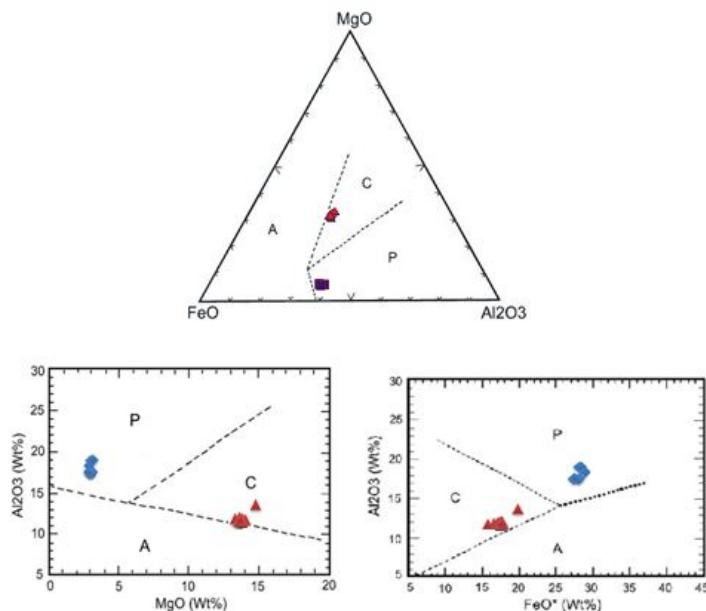
در رده‌بندی  $\text{FeO}^*/\text{MgO}$  (Abdel-Rahman) [۲۷] نسبت  $\text{FeO}^*/\text{MgO}$  در بیوتیت‌های سنگ‌های قليايی برابر با ۷/۰۴، در بیوتیت‌های سنگ‌های پرآلومينوس برابر با ۳/۸۴ و در بیوتیت‌های كالک -

نوع بیوتیت‌های اولیه و محصول تبلور ماقما هستند و از هر کدام تنها یک نمونه به دلیل کلریتی شدن در گستره بیوتیت‌های دگرسان قرار گرفته است. برای درجه اشباع آلومینیوم بیوتیت‌ها از نمودار [۳۳] استفاده شد. بر این اساس همه بیوتیت‌های گرانیت‌ها در گستره گرانیت‌های پرآلومین جای می‌گیرند (شکل ۹) و بیوتیت‌های برونبومها در گستره پرآلومینوس و در نزدیکی خط A/CNK (A:CNK ۱:۱) قرارگرفته‌اند. قرارگیری آن‌ها در این گستره بیانگر وابستگی این برونبوم‌ها به ماقماهای از نوع I است که به احتمال با پوسته آلایش یافته‌اند.

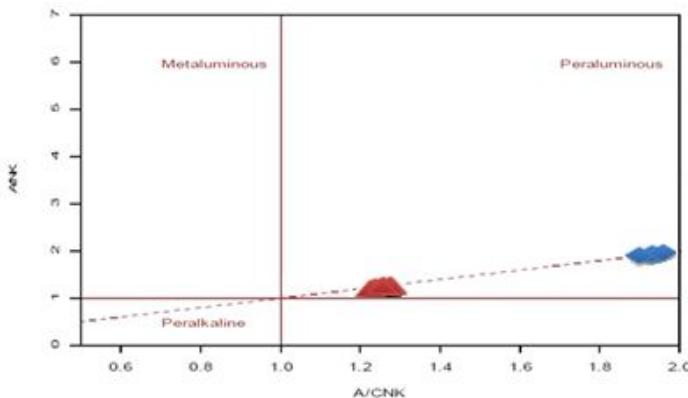
نشان می‌دهند که قلمرو پایداری بیوتیت‌های غنی از آلومینیوم در دماهای پایین بسیار گسترده است، در حالی که پایداری بیوتیت‌های غنی از Mg و Ti با افزایش دما افزایش می‌یابد [۳۲]. بر اساس این رده‌بندی، بیوتیت‌های نمونه‌های برونبوم‌های ریزدانه‌ای فلزیک در گستره محیط‌های کوهزایی برخوردي آهکی - قلیایی (C) و نمونه‌های گرانیت در گستره گرانیتوئیدهای با خاستگاه ماقماهای پرآلومین (P) که در محیط کوهزایی برخوردي تشکیل شده‌اند، قرار می‌گیرند (شکل ۸). در نمودار سه‌تایی  $10\text{TiO}_2$ - $(\text{Fe}+\text{Mn})\text{O}$ - $\text{MgO}$  [۲۲] بیوتیت‌های موجود در توده گرانیتی و برونبوم‌ها (شکل ۷) از



شکل ۷ موقعیت بیوتیت‌های مورد بررسی در نمودار رده بندی انواع بیوتیت‌ها؛ بیوتیت‌های اولیه، بیوتیت‌های دگرسان و بیوتیت‌های باز تبلور یافته (نمودار پایه از [۲۲]). به غیر از یک نمونه از هر واحد، تمامی بیوتیت‌های گرانیت‌ها و برونبوم‌ها در موقعیت بیوتیت‌های اولیه قرار می‌گیرند. علامت مشابه (شکل ۳) انتخاب شده‌اند.



شکل ۸ نمودارهای مختلف تعیین سری ماقمایی با استفاده از ترکیب شیمیایی بیوتیت [۲۷]. تمامی بیوتیت‌های گرانیت سفیدکوه در موقعیت پرآلومین (P) و تمامی بیوتیت‌های برونبوم‌ها در موقعیت آهکی - قلیایی (C) قرار می‌گیرند. علامت مشابه با (شکل‌های ۳ و ۶) انتخاب شدند.



شکل ۹ موقعیت بیوپتیت‌های مورد بررسی در نمودار (A/CNK) نسبت به  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  (نمودار پایه از [۳۳]). بیوپتیت‌های گرانیت‌ها کاملاً در گسترهٔ پرآلومینوس و بیوپتیت‌های برونبوم‌ها در محدوده خط جداکننده ماقماهای پرآلومینوس و آهکی‌قلیایی (خط ۱:۱) در سمت گسترهٔ پرآلومینوس قرار گرفته‌اند. علائم مشابه (شکل ۶) هستند.

است (شکل ۱۱ ب). بر این اساس دمای شروع تبلور سنگ‌های گرانیتی سفیدکوه در حدود ۶۵۰ و برونبوم‌های آن در حدود ۹۰۰ درجهٔ سانتیگراد است.

#### دماسنجدی بیوپتیت‌ها

کانی بیوپتیت از میزبان‌های مهم تیتانیم محسوب می‌شود. از این رو از زمین‌دماسنچ  $\text{Ti}$  در بیوپتیت برای تعیین دمای تشکیل بیوپتیت‌ها استفاده می‌شود. میزان  $\text{Ti}$  موجود در بیوپتیت وابسته به تغییرات دما، فشار، شیمی بلور بیوپتیت و مجموعهٔ کانی‌های همزیست است [۴۰، ۳۹] دما بیشترین تأثیر را بر مقدار  $\text{Ti}$  در بیوپتیت دارد و افزایش فشار تأثیر متضادی نشان می‌دهد، به این معنی که مقدار  $\text{Ti}$  جایگزین شده با افزایش فشار کاهش می‌یابد [۴۲، ۴۱]. میزان  $\text{Ti}$  در بیوپتیت به طور کلی با افزایش مقدار  $\text{Fe}$ ، افزایش می‌یابد [۴۲]. دمای حاصل از روش زمین‌دماسنچ  $\text{Ti}$  در کانی بیوپتیت با استفاده از رابطهٔ  $T = \{[\ln(\text{Ti}) - a - c(X_{\text{Mg}})^3]/b\}^{0.333}$  قابل محاسبه است. این روش دماسنجدی فقط در شرایط  $1.0 \text{ Ti} = 0.04 - 0.6 \text{ (Apfu)}$ ،  $X_{\text{Mg}} = 0.257 - 0.550$  و  $T = 480 - 800 \text{ }^{\circ}\text{C}$  قابل اعتماد است. بنابراین با توجه به مقدار بالای  $X_{\text{Mg}}$  بیوپتیت‌های برونبوم‌ها، از این روش نمی‌توان برای دماسنجدی بیوپتیت‌های آن‌ها استفاده کرد ولی تمام موارد فوق در مورد بیوپتیت‌های گرانیت‌ها صدق می‌کند. مقادیر ثابت مورد استفاده در زمین‌دماسنجدی براساس میزان  $\text{Ti}$  بیوپتیت  $a = -2.3594$ ،  $b = -1.7283$ ،  $c = 4.6482 - \text{E}09$  تعیین می‌شوند و داده‌های حاصل از دماسنجدی آن در (جدول ۶) آورده شده‌اند.

#### فوگاسیته اکسیژن

در نمودار [۳۴] از کاتیون‌های  $\text{Fe}^{3+}$ ،  $\text{Fe}^{2+}$  و  $\text{Mg}$  جهت تعیین فوگاسیته اکسیژن استفاده شده و در آن محدوده بافرهای NNO، HM و QFM مشخص شده است. بیوپتیت‌های برونبوم‌ها بین بافرهای NNO (نیکل-اکسید نیکل) و HM (هماتیت-مگنتیت) و بالای بافر HM قرار می‌گیرند که بیانگر تبلور ماقما در شرایط با فوگاسیته بالای اکسیژن می‌باشد (شکل ۱۰). مقدار بالای فوگاسیته اکسیژن از ویژگی‌های ماقماهای نوع I-type است. همان طور که در (شکل ۱۰) مشاهده می‌شود به نظر می‌رسد توده گرانیتوئیدی سفیدکوه در محیط با گریزندگی پایین اکسیژن و شرایط احیایی (نوع S) و برونبوم‌ها در شرایط با گریزندگی بالاتر اکسیژن تشکیل شده‌اند.

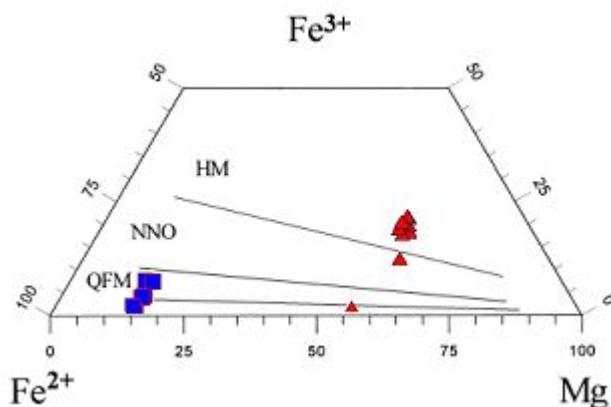
#### دماسنجدی توده‌ی گرانیتی سفیدکوه و برونبوم‌های آن

##### دماسنجدی با استفاده از فلدسپارها

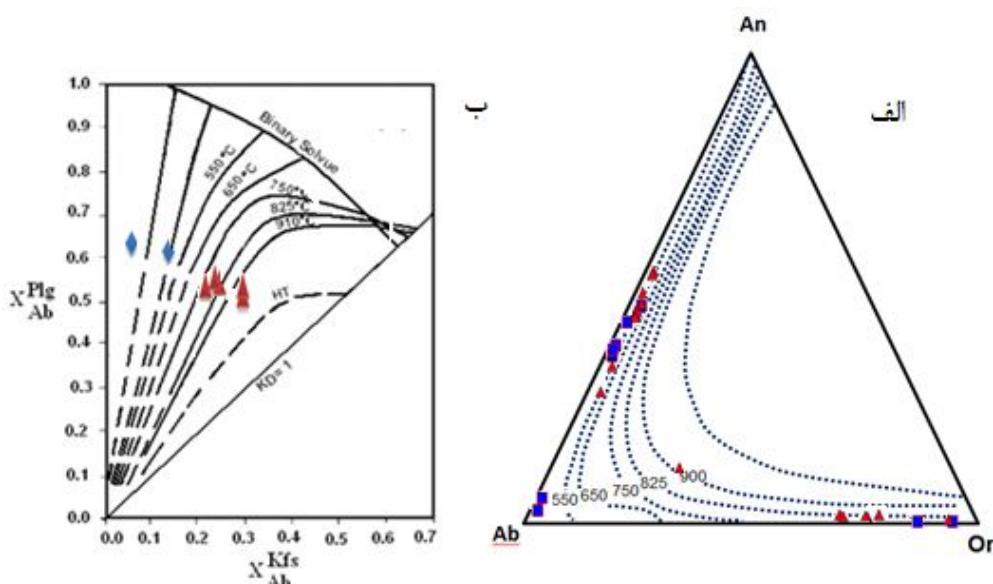
به منظور دماسنجدی توده‌ی گرانیتی سفیدکوه و برونبوم‌های آن، از دماسنجدی‌های [۳۸-۳۵] استفاده شد. در نمودار سه‌تایی آلبیت-آنورتیت-ارتوز [۳۶، ۳۷] دمای توده‌ی گرانیتی ۵۵۰ تا ۷۵۰ و برونبوم‌های آن با دمای در حدود ۵۵۰ تا ۹۰۰ درجهٔ سانتیگراد ارزیابی می‌شود (شکل ۱۱-الف). علت پایین بودن دمای محاسبه شده به این روش می‌تواند شکل گیری زیر نقطه‌ای انجام‌داد ترکیب فلدسپارها در طول سرد شدن توده باشد [۳۸]. در مدل پیشنهادی [۳۸] به تعیین دمای سنگ‌هایی تعیین می‌شود که تواما حاوی پلازیوکلاز و فلدسپار پتاسیم باشند. با استفاده از این روش دمای تشکیل برونبوم‌ها ۸۰۰ تا ۹۵۰ و گرانیت‌ها حدود ۵۰۰ درجهٔ سانتیگراد ارزیابی شده

بیوتیت‌ها استفاده شد که براساس این نمودار، برونبوم‌ها دمای تقریبی ۸۲۵ درجه‌ی سانتیگراد و گرانیت‌ها دمای کمتر از ۳۰۰ تا ۶۵۰ درجه‌ی سانتیگراد را نشان می‌دهند (شکل ۱۲).

بر اساس (جدول ۶) بیوتیت‌های موجود در توده‌ی گرانیتی سفیدکوه دمای بین ۵۰۵ تا ۷۴۱ درجه‌ی سانتیگراد را نشان می‌دهند. همچنین از دماسنج تیتان برای تعیین دمای تبلور



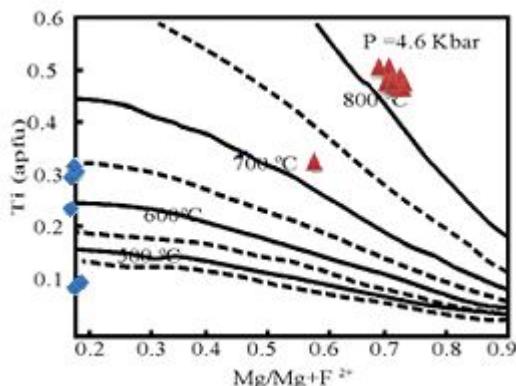
شکل ۱۰ نمودار  $\text{Fe}^{+2}$  -  $\text{Fe}^{+3}$  -  $\text{Mg}$  به منظور تعیین گریزندگی اکسیژن [۳۴]. علائم مشابه (شکل ۳) انتخاب شوند.



شکل ۱۱ (الف) نمودار سیستم آلبیت-آنورتیت-ارتوز [۳۷,۳۸] برای تعیین دمای تعادلی کانی‌های فلدسپار بر حسب درجه سانتیگراد. علائم مشابه (شکل ۳) هستند. (ب) تعیین دمای تشکیل گرانیت‌ها و برونبوم‌های آن‌ها با استفاده از درصد فلدسپارها [۳۸]. علائم مشابه (شکل ۶) انتخاب شدند.

جدول ۶ داده‌های حاصل از زمین‌دماسنجی محتوای  $\text{Ti}$  در بیوتیت‌های گرانیت سفیدکوه.

$\text{Ti}$	$X_{\text{Mg}}$	T (°C)
۰,۳۱	۰,۷۴	۷۴۱
۰,۳	۰,۷۲	۷۲۹
۰,۲۴	۰,۶۸	۶۸۲
۰,۰۹	۰,۷۲	۵۰۵
۰,۱	۰,۷۷	۵۶۷
۰,۳۲	۰,۷۳	۷۴۱
۰,۳۳	۰,۶۸	۷۲۸



شکل ۱۲ تعیین دمای تشکیل بیوتیت با استفاده از دماسنجد تیتان، علائم مشابه (شکل ۶) می‌باشد.

گرانیتی در دمای ۵۰۰ تا ۷۵۰ و برونبومها در دمای بین ۶۵۰ تا ۹۵۰ درجه سانتیگراد تشکیل شده‌اند.

۷- قرارگیری بیوتیت‌های برونبومها بین جلادهنده‌های NNO و HM و بالای جلادهنده HM بیانگر تبلور ماقمای سازنده آن‌ها در شرایط با گریزندگی بالای اکسیژن (ماقماهای نوع I) است و قرارگیری بیوتیت‌های گرانیت‌ها بین جلادهنده QFM و QFM و زیر جلادهنده QFM تبلور ماقمای سازنده آن‌ها را در شرایط با گریزندگی پایین اکسیژن و احیایی (ماقماهای نوع S) نشان می‌دهد.

#### قدرتانی

از زحمات سرکار خانم دکتر زاهدی به خاطر آنالیز کانی‌ها سپاسگزاریم.

#### مراجع

- [1] Kaygusuz. A., Siebel. W., Sen C., and Satir M., "Petrochemistry and petrology of I-type granitoids in an arc setting: the composite Torul pluton, Eastern Pontides, NE Turkey", International Journal of Earth Sciences 97, (2008) 739-764.
- [2] Barbarin. B., "A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments", Lithos 46, (1999) 605–626.
- [3] Abdel-Rahman A., "Nature of biotites from alkaline, calc-alkaline, and peraluminous magmas", Journal of Petrology 35(2) (1994) 525-541.
- [4] Shabani A.A.T., Lalonde A.E., Whalen J., "Composition of biotite from granitic rocks of the Canadian Appalachian orogen: A potential tectonomagmatic indicator?", The Canadian Mineralogist 41, (2003) 1381-1396.

برداشت از بررسی‌های به عمل آمده روی توده‌ی گرانیتوئیدی سفیدکوه و برونبوم‌های آن، نتایج زیر حاصل شده‌اند.

- ۱- ترکیب سنگ شناختی توده‌ی گرانیتوئیدی سفیدکوه شامل گرانیت، مونزوگرانیت، سینوگرانیت، گرانودیوریت و توپولیت و ترکیب برونبوم‌های ریزدانه‌ای فلزیک آن گرانودیوریتی است.
- ۲- کانی‌های پلازیوکلاز، فلدسپار پتاسیم، کوارتز و بیوتیت کانی‌های اصلی سازنده‌ی توده و برونبوم‌های آن هستند.
- ۳- ترکیب پلازیوکلازهای برونبوم‌ها از نوع آندزین و گاهی تا حد الیگوکلاز و در پلازیوکلازهای موجود در توده گرانیتوئیدی از نوع آندزین و آلبیت هستند.

۴- مقدار An پلازیوکلازهای گرانیت‌ها از An<sub>۴۲/۸۲</sub> (در مرکز) تا An<sub>۳۵/۶</sub> (در حاشیه) و در برونبوم‌های ریزدانه‌ای فلزیک از An<sub>۴۸/۷۲</sub> (در مرکز) تا An<sub>۳۳/۰.۸</sub> (در حاشیه) در تغییر است.

- ۵- بیوتیت تنها کانی فرومیزین موجود در گستره‌ی بیوتیت‌های منیزیم دار و در بیوتیت‌های واحد گرانیتی در گستره‌ی بیوتیت‌های آهن‌دار قرار می‌گیرد و در هر دو واحد از نوع اولیه ماقمایی هستند. نمودارهای مختلف ترکیب شیمیایی، تکتونوماقمایی و تعیین خاستگاه وابسته به بیوتیت‌ها نشان می‌دهد، بیوتیت‌های برونبوم‌ها در محدوده محیط‌های کوهزایی برخوردي آهکی-قلیایی و نمونه‌های گرانیتی در گستره‌ی گرانیتوئیدهای با خاستگاه ماقمای پرآلومین در محیط کوهزایی برخوردي تشکیل شده‌اند.

۶- نمودارهای دماسنجدی فلدسپارها و بیوتیت‌های موجود در گرانیتوئید سفیدکوه و برونبوم‌ها نشان می‌دهند که توده

- [15] Deer W.A., Howie R.A., Zussman J., "An introduction to the Rock – forming minerals", Longman, London, (1991) 528 p.
- [16] Hall A., "Igneous Petrology (2nd ed)", Longman New York, (1996) 537.
- [17] Shelley D., "Igneous and metamorphic rocks under the microscope", Chapman and Hall, (1993) 405.
- [۱۹] کریم پور م.ح، "ژئوشیمی، پترولوجی سنگهای آذرین و کانسراهای ماقمایی، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، چاپ اول (۱۳۸۸) ص ۵۴۵
- [19] Rieder M., Cavazzini G., Yakonov Y.D., Frank-Kanetskii V.A., Gottardi G., Guggenheim S., Koval P.V., Muller G., Neiva A.M.R., Radoslovich E.W., Robert J.L., Sassi F.P., Takeda H., Weiss Z., Wones D.R., "Nomenclature of the micas," Canadian Mineralogist 36 (3) (1998) 905–912.
- [20] Lalonde A. E., Bernard P., "Composition and color of biotite from granites: two useful Properties in the characterization of plutonic suites from the Hepburn internal zone of Wopmay orogeny", Northwest Territories. Canadian Mineralogist 31: (1993) 203–217.
- [21] De Pieri R., Jobstraibizer P. G., "Crystal chemistry of biotite from dioritic to granodioritic rock type of Adamello massif (Northern Italy)", Neues Jahrbuch Min Abb 148 (1983) 58-82.
- [22] Nachit H., Ibhi A., Abia E.H., Ohoud M.B., "discrimination between primary magmatic biotites, reequilibrated biotites and neofomed biotites", Geomateriala (Mineralogy), Comptes Rendus, Geosciences 337 (2005) 1415-1420
- [23] Wones D. R, Eugster H.P., " Stability of biotite: experiment, theory, and application", American Mineralogist, 50: (1965) 1228-1272.
- [24] Wones D.R, Burns R.G, Carroll B.M., "Stability and properties of synthetic annite", American Geophysical Union Transactions, 52: (1971) 369.
- [25] Partin E, Hewitt D. A, Wones D. R., "Quantification of ferric iron in biotite", Geological Society of American. Abstract with Program, 15: (1983) 656.
- [26] Abbot R. N., Clarke D. B., "Hypothetical liquids relationships in the subsystem  $Al_2O_3$ - $FeO$ - $MgO$  projected from quartz, alkali feldspar and plagioclase for  $(H_2O) < 1$ ". Canadian Mineralogist 17: (1979) 549-560.
- [27] Abdel-Rahman A., "Nature of biotites from alkaline, calc-alkaline, and peraluminous
- [5] Moazzen M., Droop G. T. R., "Application of mineral thermometers and barometers to granitoid igneous rocks: the Etive Complex, W Scotland", Mineralogy and Petrology, Volume 83, (2005) 27-53.
- [6] Gomes M.E.P., Neiva A.M.R., "Geochemistry of granitoids and their minerals from Rebordelo-Agrochao area, northern Portugal", Lithos 81, (2005) 235-254.
- [7] Zhang S. H., Zhao1 Y., Song B., "Hornblende thermobarometry of the Carboniferous granitoids from the Inner Mongolia Paleo-uplift: implications for the tectonic evolution of the northern margin of North China block", Mineralogy and Petrology 87, (2006) 123–141.
- [8] Mazhari S.A., Bea F., Amini S., Ghalamghash J., "Estimation of pressure and temperature of intrusive rocks crystallization: A case study of Naqadeh, Pasveh and Delkeh plutons, W Iran", Journal of Applied Sciences 8(6), (2008) 934-945.
- [9] Shabani A.A.T., Masoudi F., Tecce F., "An Investigation on the Composition of Biotite from Mashhad Granitoids, NE Iran", Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran 21(4), (2010) 321-331.
- [10] Sahin S.Y., Orgün Y., güngör Y., Goker A.F., Gültekin A.H., Karacik Z., "Mineral and whole-rock geochemistry of the Kestanbol granitoid (Ezine-Çanakkale) and its mafic microgranular enclaves in northwestern Anatolia: evidence of felsic and mafic magma interaction", Turkish Journal of Earth Sciences 19, (2010) 101-122.
- [11] Masoudi F., Jamshidi Badr M., "Biotite and Hornblende Composition Used to Investigate the Nature and Thermobarometry of Pichagchi Pluton", Northwest Sanandaj-Sirjan Metamorphic Belt, Iran, Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran 19 (4), (2008), 329-338.
- [12] Didier J., "Granites and their Enclaves", Developments in petrology, Elsevier, Amsterdam, London (1973) 393p.
- [13] Droop G.T.R., "A general equation for estimating  $Fe^{3+}$  Concentration in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analysis, using stoichiometric criteria", Mineralogical Magazine 51 (1987) 431-435.
- [۱۴] نادری میقان ن، اکرمی م، "نقشه زمین‌شناسی چاهداشی، مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی کشور، (۱۳۸۵)

- [36] Anderson J. L., "Status of thermo-barometry in granitic batholiths", *Earth Science Review* 87: (1996) 125- 138.
- [37] Brown W.L., Parsons I., "Towards a more practical two - feldspar geothermometer", *Contributions to mineralogy and Petrology* 76, (1981) 369 – 377.
- [38] Henry D. J., Guidotti C. V., Thomson J. A., "The Ti-saturation surface for low to medium pressure metapelitic biotite: Implications for Geothermometry and Ti-substitution Mechanisms": *American Mineralogist* 90 (2005) p. 316.
- [39] Guidotti C. V., Sassi F. P., Constraints on studies on metamorphic K-Na white micas. In: A. Mottana, F.P. Sassi, J.B. Thompson, and S. Guggenheim, (Eds), *Micas: "Crystal Chemistry and Metamorphic Petrology. Mineralogical Society of America, Reviews in Mineralogy and Geochemistry"*, 46, (2002) p. 413–448.
- [40] Forbes W. C., Flower M. F. J., "phase relations of titan-phlogopite,  $K_2Mg_4TiAl_2Si_6O_{20}(OH)_4$ : A refractory phase in the upper mantle". *Earth and Planetary Science Letters*. 22, (1974), 60-66.
- [41] Arima M., Edgar A.D., "Substitution mechanisms and solubility of titanium in phlogopites from rocks of probable mantle origin". *Contributions to mineralogy and Petrology*. 77, (1981), p. 288-295.
- [42] Abrecht J., Hewitt D.A., "Experimental evidence on the substitution of Ti in biotite". *American Mineralogist*. 73, (1988), 1275-1284.
- magmas*", *Journal of Petrology* 35(2) (1994) 525-541.
- [28] Nachit H., "Contribution a l'étude analytique et experimental des biotite des granitoids Applications typologiques", These de Doctorat De L'universite de Bretagne occidentale (1986) 236p.
- [29] Speer J. A., "Mica in igneous rocks", In: *Micas*, Bailey S. W. (ed); Mineralogical Society of America, *Reviews in Mineralogy and Geochemistry* 13 (1984) 299-356.
- [30] Foster M. D., "Interpretation of the composition of trioctahedral micas", U.S. Geological Survey Professional Paper. 354-B (1960) 49.
- [31] Patino Douce A.E., "Titanium substitution in biotite: an empirical model with applications to thermometry,  $O_2$  and  $H_2O$  barometries, and consequences form biotite stability", *Chemical Geology* 108, (1993) 133-162.
- [32] Shand S. J., "The Eruptive Rocks", 2nd edn. New York: John Wiley, (1943) 444 p.
- [33] Wones D.R., Eugster, H.P., "Stability of biotite: experiment, theory, and application". *American Mineralogist*. 50(1965) 1228-1272.
- [34] Nockolds S. R., "The relation between chemical composition and paragenesis in the biotite micas of igneous rocks". *American Journal of Science*, 245, 7, (1947) 401-420.
- [35] Koroll H., Evangelakis C., Voll G., "Two feldspar Geothermometry: a review and revision for slowly cooled rocks". *Contributions to Mineralogy and Petrology* (1993) 510–518.