

سنگ‌شناسی و زمین‌شیمی سنگ‌های گرانیتوئیدی و حدواسط باعچه مریم (جنوب قروه، استان کردستان)

زهره اعلمی‌نیا^۱، فرهاد شیخی^۲، سید محمد حسین رضوی^۲

۱- دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، تهران

۲- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران

(دریافت مقاله: ۹۹/۸/۱۷، نسخه نهایی: ۹۹/۱۰/۲۲)

چکیده: توده گرانیتوئیدی باعچه مریم در جنوب قروه بخشی از توده‌های نفوذی پهنه سنندج- سیرجان است که روند شمال غربی- جنوب شرقی دارد. بر اساس بررسی‌های صحرایی و کانی‌شناسی، مجموعه نفوذی باعچه مریم از دو واحد اسیدی و حدواسط با طیف سنگ‌های دیوریتی، مونزودیوریتی، گرانیتی، سینیتی و آپلیتی تشکیل شده است. بررسی‌های زمین‌شیمیایی نشان می‌دهد که سنگ‌های این مجموعه از نوع متالومین ($A/CNK = 0.81-0.46$) و آهکی‌قلایی هستند. بر پایه نتایج (از جمله غنی‌شدگی از عنصر خاکی نادر سبک و تهی‌شدگی آنها از عناصر خاکی‌نادر سنگین)، این واحدهای سنگی توسط فرایندهای ماقمایی گوناگون ایجاد شده‌اند و وابسته به محیط زمین‌ساختی کرانه فعال قاره‌ای هستند و ویژگی‌های ماقمایی گوناگون ایجاد شده‌اند. با بررسی‌های زمین‌دما فشارسنگی، میانگین دمای نمونه‌ها حدود ۷۰۰ درجه سانتیگراد و عمق حدود ۷ تا ۱۰ کیلومتر برآورد شده است.

واژه‌های کلیدی: سنندج- سیرجان؛ گرانیتوئید؛ باعچه‌مریم؛ زمین‌شیمی.

زدگی‌ها و دگرگونی‌های جنوب قروه انجام شده است که از جمله مهم‌ترین آنها می‌توان به مراجع [۱-۱۰] اشاره کرد. در این پژوهش‌ها، توده‌های نامبرده از دیدگاه ویژگی‌های سنگ‌شناسی و ایزوتوبی بررسی شده‌اند، اما ویژگی‌های عنصرهای خاکی‌نادر و شیمی کانی کمتر بررسی شده است. در این پژوهش، با بررسی‌های اصولی بر توده‌های نفوذی منطقه باعچه‌مریم قروه و به‌کارگیری روابط صحرایی، سنگ‌شناسی و داده‌های تجزیه سنگ کل و کانی، ویژگی‌های گوناگون سنگ-شناسی و زمین‌شیمیایی سنگ‌های گرانیتوئیدی و حدواسط منطقه باعچه مریم شناسایی شد تا وابستگی آنها با هم روشن‌تر گردد.

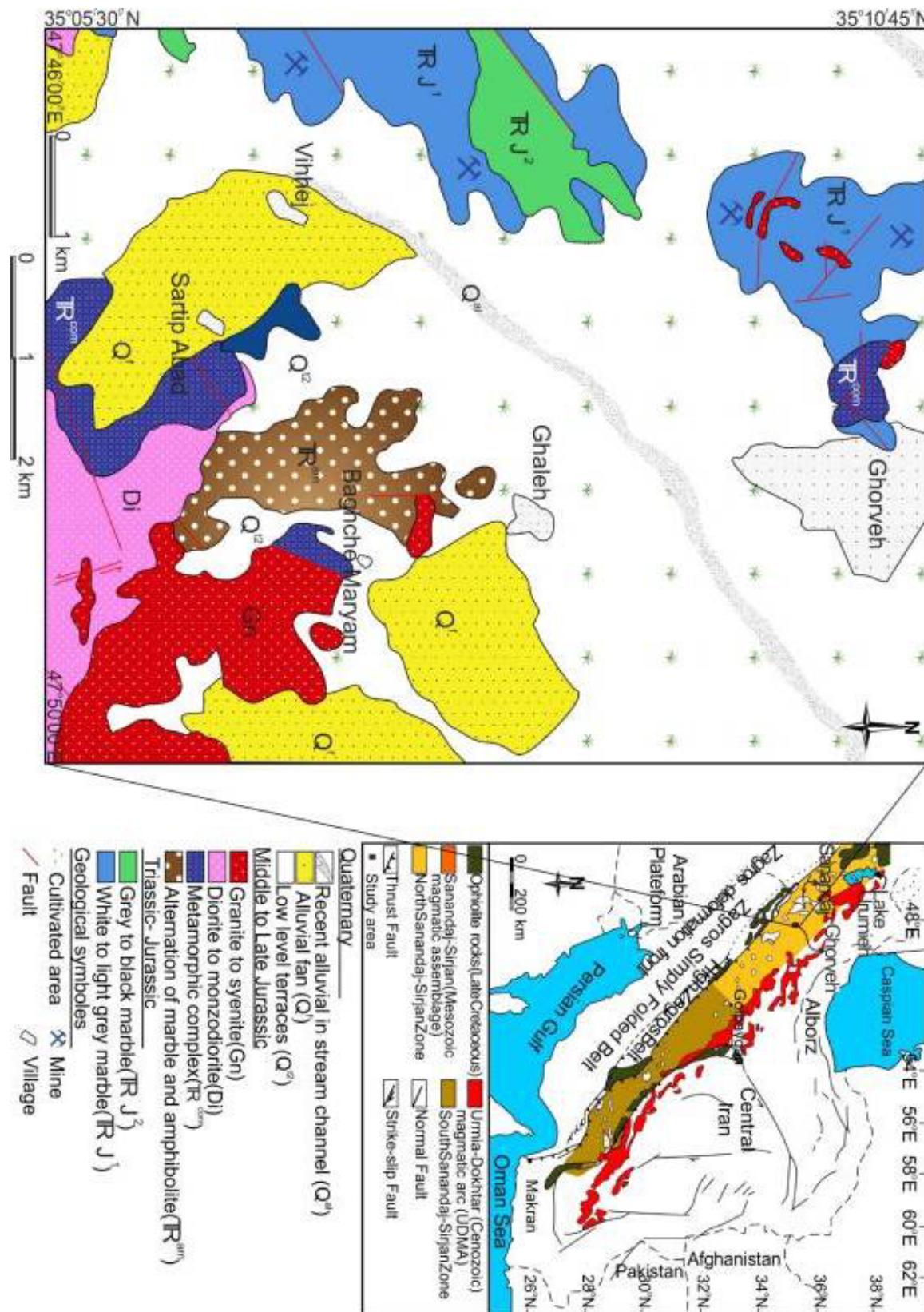
موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی

منطقه مورد بررسی در شمال غربی ایران (استان کردستان) جنوب شهرستان قروه به طول‌های جغرافیایی "۰۹°۴۷' تا ۱۵°۵۱' شرقی و عرض‌های جغرافیایی "۱۰°۰۵' تا ۳۵°۴۷'

مقدمه
پهنه سنندج- سیرجان به عنوان یکی از پیچیده‌ترین پهنه‌های ساختاری ایران، با گسترش وسیع واحدهای دگرگونی و توده-های نفوذی گرانیتوئیدی مشخص می‌شود که بخش بزرگی از غرب ایران را پوشانیده است (شکل ۱ الف).

در این پهنه، واحدهای رسوبی، آتشفسانی و نفوذی پرکامبرین پسین تا مژوزوئیک دستخوش چند فاز کوه‌زایی و دگرگونی شده‌اند. هم‌زمان با این فعالیت‌ها، توده‌های نفوذی بی‌شماری با اندازه متغیر از دایک، سیل و استوک تا مجموعه‌های با تولیتی در سنگ‌های قدیمی‌تر نفوذ کرده‌اند. افزون بر دگرگونی‌های ناحیه‌ای و مجاورتی ناشی از نفوذ توده‌های نفوذی، دگرگونی در پهنه‌های برشی در منطقه سنندج- سیرجان گسترش دارد.

تاکنون بررسی‌های زمین‌شناسی بسیاری بر آتشفسان‌های شمال قروه، توده‌های نفوذی غرب- جنوب غرب قروه و بیرون



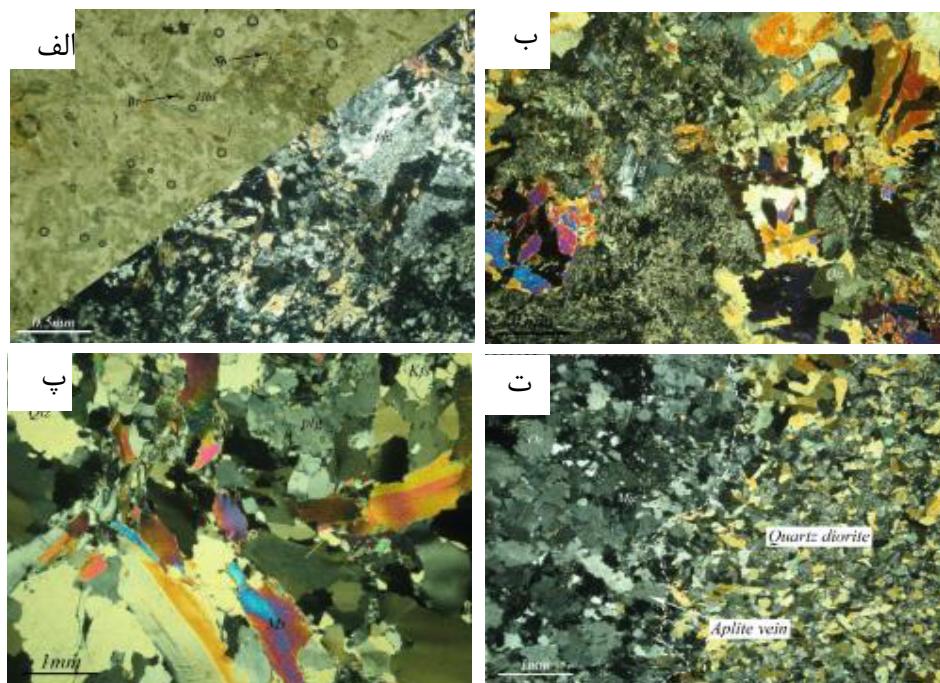
شکل ۱ (الف) جایگاه منطقه مورد بررسی در پهنه سندج-سیرجان [۱۱]، (ب) نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد بررسی بر گرفته از مرجع [۱] با کمی تغییرات.

سنگ‌های گرانیت، سینیت، مونزو‌دیوریت و دیوریت هستند که درون برخی از آن‌ها برونبوهای ریزدانه‌ای مافیک ریز تا متوسط دانه با ترکیب دیوریت تا مونزو‌دیوریت وجود دارد که مرز کاملاً مشخص و ناگهانی را نشان می‌دهد (شکل ۲ ب). این نفوذی‌ها اغلب توسط دایک‌های آپلیتی-پگماتیتی و رگچه‌های کوارتزی به صورت شعاعی قطع می‌شوند. ضخامت این دایک‌ها از ۱۵ سانتی‌متر تا یک متر متغیر است. روابط سنی بین سنگ‌های نفوذی این مجموعه کاملاً روشن نبوده و کنترل زمین‌زمان‌شناسی ممکن نیست. البته با توجه به شواهد صحرایی از جمله وجود برونبوهای دیوریتی و وجود دایک‌های نامنظم گرانیتی که به درون توده‌های دیوریتی نفوذ کرده‌اند، می‌توان سنگ‌های حدواسط را اغلب قدیم‌تر از سنگ‌های اسیدی در نظر گرفت (شکل‌های ۲ پ و ت).



شکل ۲ رخمنونهایی از سنگ‌های آذرین و دگرگونی: (الف) سنگ‌های میزان از جنس مرمر، متاقرت و آمفیبولیت که طی ژوراسیک پسین دگرشکل شده‌اند (دید به سمت شمال شرق)، (ب) برونبوهای ریزدانه‌ای دیوریتی درون سنگ گرانیت (دید به سمت جنوب)، (پ) دایک‌های آپلیتی لوكوگرانیتی که سنگ‌های مونزو‌دیوریتی را قطع کرده‌اند (دید به سمت جنوب غرب) و (ت) رگه‌های کوارتز نشانده‌نده فاز نهایی تزریق در منطقه مورد بررسی (دید به سمت جنوب غرب). تصاویر الف و پ سمت راست تصاویر ب و ت قرار گیرند.

$10^{\circ} 35^{\circ}$ شمالی واقع است (شکل ۱). این منطقه از نظر تقسیم‌بندی پهنه‌های ساختاری ایران، بخشی از پهنه سندج-سیرجان شمالی است که به صورت مجموعه دگرگونی با سن‌تریاس-ژوراسیک و سنگ‌های مرمر، آمفیبولیت، شیست سبز، چرت و کوارتزیت مشخص می‌شود که دگرشکل شدن و ساختارهای دگرگونی چندمرحله‌ای را نشان می‌دهد (شکل ۲ الف). این سنگ‌های دگرگونی با توده نفوذی گرانیت‌وئیدی با سن ژوراسیک میانی تا پسین قطع شده است [۱۲]. توده نفوذی با چه میریم با ریختار حلقوی و روند شمال غربی-جنوب شرقی با سطح هوازدگی هموار مشخص می‌شود. نفوذی‌های مورد بررسی به صورت مجموعه و شامل تنوعی از انواع

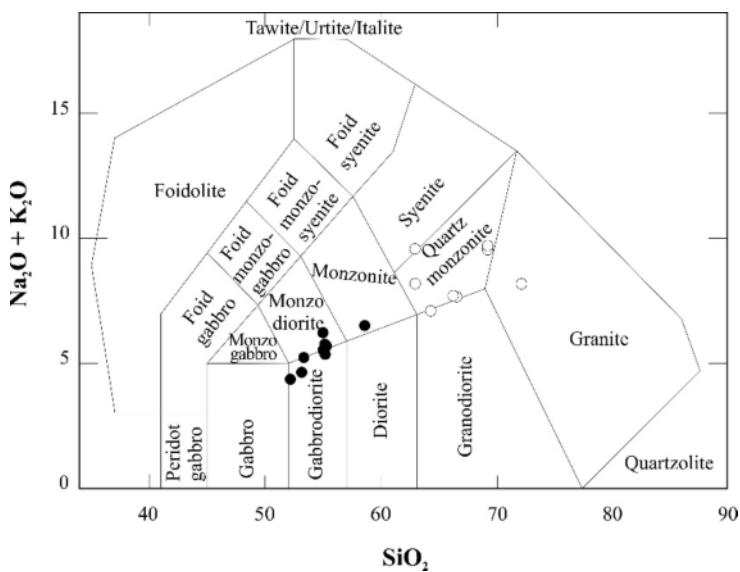


شکل ۳ تصویر میکروسکوپی از نمونه سنگ‌های منطقه مطالعاتی. الف: دیبوریت با بافت دانه‌ای که در آن پلاژیوکلازها با ماکل آلبیتی و برخی از بلورهای هورنبلند دگرسان شده است (تصویر سمت راست پلاژیوکلاز و هورنبلاند در حالت PPL و تصویر سمت راست پایین در حالت XPL)، ب: مونزوزدیبوریت با بافت دانه‌ای، کانی ارتوکلاز به صورت بی‌شکل در فضای بین بلورهای پلاژیوکلاز و هورنبلاند (تصویر XPL)، ج: گرانیت میلیونیتیزه. تبلور دوباره و ایجاد بافت نواری کوارتز و در لوکوگرانیت (تصویر XPL)، د: تصویر میکروسکوپی از رگه آپلیتی که در کوارتز دیبوریت نفوذ نموده است. تصاویر الف و ب سمت راست تصاویر ب و ت قرار گیرند.

آپاتیت و زیرکن و کانی‌های کدر هستند. کانی‌های ثانویه نیز کاولینیت، سریسیت، کلریت و اکتینولیت هستند. آپلیت آخرین فاز نفوذ مagma محسوب می‌شود که به صورت دایک درون فازهای پیش از خود نفوذ کرده است. در شمال منطقه، این سنگ‌ها از مرکز بیشتری برخوردارند. این سنگ به رنگ سفید تا کرم با ترکیب میکروگرانیت و ساخت ریزلولور (آپلیتی) است. ترکیب کانی‌شناسی آن ساده است. بافت آپلیت دانه شکری (آپلیتی) با دانه‌بندی یکنواخت است (شکل ۳ ت). از نظر سنگ‌شناسی، ترکیب بیشتر آنها در حد گرانیت است و بیشتر شامل فلدسپار قلیابی، کوارتز و به مقدار کمتر پلاژیوکلاز هستند. این رگه‌ها از کانی‌های مافیک فقیر هستند. کانی‌های فرعی شامل اسفن، زیرکن، آلانیت و آپاتیت هستند. کانی‌های فرومیزین چون میکای آهن-منیزیم‌دار و گاهی کلریت با میکروکلین (۲-۵ درصد) هستند.

ویژگی‌های زمین‌شیمیایی سنگ کل نتایج داده‌های اکسیدهای اصلی و عناصر نادر و نادر خاکی در جدول‌های ۱ و ۲ ارایه شده است. داده‌های زمین‌شیمیایی

گرانیت غالب‌ترین سنگ ناحیه با غچه مریم است. بافت این سنگ‌ها دانه‌ای، پرتیت و نیز میرمکیت است. بافت تنش‌آواری نیز در برخی از مقاطع وجود دارد که آثار آن به صورت دگرشکلی در بیوتیتها و پلاژیوکلازها و بازتبلور کوارتز دیده می‌شود. گرانیتها متوسط تا درشت دانه هستند (شکل ۳ پ). کانی‌های اصلی آن شامل کوارتز (۴۰-۳۵ درصد حجمی)، پلاژیوکلاز (۳۰-۳۵ درصد حجمی)، فلدسپار پتاسیم (۲۵-۳۰ درصد حجمی) و آمفیبول (۸-۱۵ درصد حجمی)، بیوتیت (۱۵-۱۰ درصد حجمی) و سینیت هستند. کانی‌های فرعی شامل تیتانیت، زیرکن و آپاتیت هستند. کانی‌های ثانویه نیز به صورت سریسیت، اپیدوت و کلریت مشخص می‌شوند. سینیت‌ها مرز تدریجی با توده‌های گرانیتی نشان می‌دهند. بافت این سنگ‌ها دانه‌ای، پرتیتی و خال خال با اندازه دانه متوسط تا ریز است. کانی‌های اصلی شامل فلدسپار پتاسیم (۶۵-۶۰ درصد حجمی)، پلاژیوکلاز (۱۵-۱۰ درصد حجمی)، کوارتز (۱۵-۱۰ درصد حجمی)، آمفیبول (۱۵-۱۰ درصد حجمی)، بیوتیت (۸-۵ درصد حجمی) و کلینوپیروکسن (کمتر از ۵ درصد حجمی) هستند. کانی‌های فرعی شامل تیتانیت،



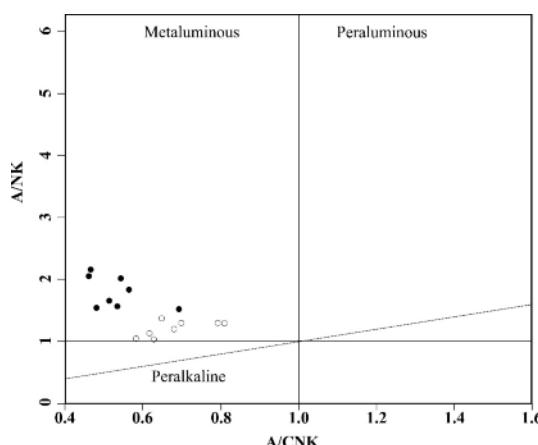
شکل ۴ نمودار SiO_2 نسبت به $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ برای رده‌بندی شیمیایی سنگ‌های نفوذی منطقه مورد بررسی [۱۳] و موقعیت نمونه‌ها بر آن (دایره تو خالی: سنگ‌های اسیدی و دایره تپر: سنگ‌های حدواسط).

تبلور جدایشی است که تغییرات پیوسته سیلیس در جدایش را نشان می‌دهد. البته به طور قطعی نمی‌توان با استفاده از داده‌های عناصر اصلی، مagma می‌برآمده از ذوب بخشی را از magma ناشی از تبلور جدایشی تفکیک نمود. بر اساس شکل ۶ ب، نمونه‌های مورد بررسی در واحدهای گرانیتی در مرز منگنزدار بیشتر مایل به آهن‌دار هستند و واحد دبوریتی در گستره منگنزدار واقع است. بخش‌های فلزی ممکن است در اثر ذوب بخشی از سنگ‌های مافیک طی جدایش بعدی magma مافیک و ورود گرمابه بستر به وجود آمده باشند.

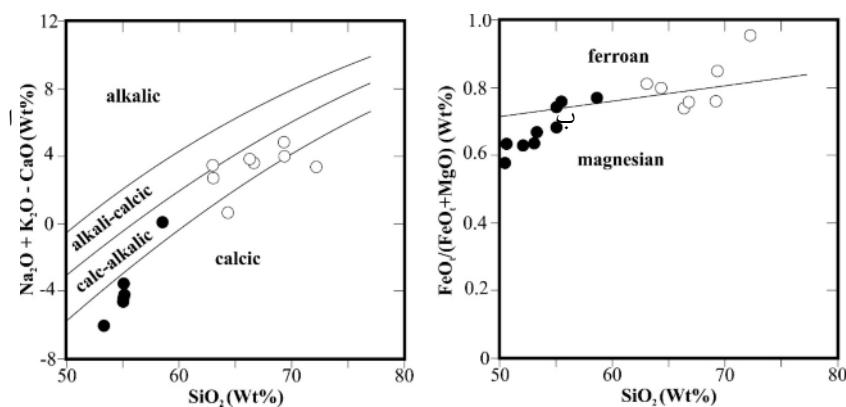
برای بررسی و تفکیک سه فرایند مهم ذوب، تبلور بخشی و آمیختگی magma می‌توان از نمودار تغییرات عنصر ناسازگار نسبت به عنصر کاملاً سازگار بهره برد. اگر نقاط نماینده نمونه‌ها به صورت یک خط راست و تقریباً افقی رسم شود، تبلور بخشی فرایند اصلی است. این در حالی است که نقاط به صورت خط راست و تقریباً قائم نشان‌دهنده ذوب بخشی هستند و در صورتی که روند تغییرات طوری باشد که با افزایش در جهت X، Y، Z یک منحنی کاو را تشکیل دهد، فرایند موثر در دگرگونی magma، آمیختگی magma است (شکل ۷).

چنان که در شکل ۷ دیده می‌شود، داده‌های مربوط به سنگ‌های منطقه مورد بررسی بر این نمودار روند مشابه با روند ۳ بر نمودار مرجع [۱۹] را نشان می‌دهند، یعنی فرایند غالب تشکیل این سنگ‌ها آمیختگی magma است.

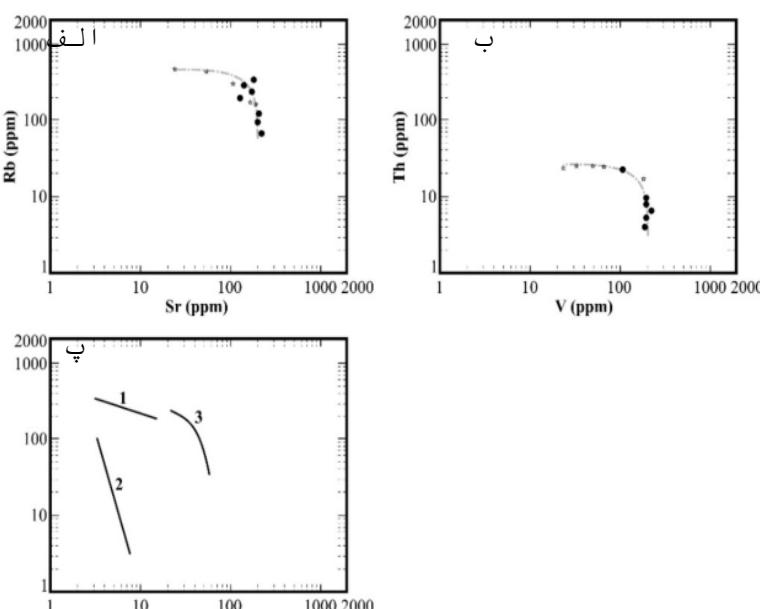
براساس نمودار A/CNK نسبت به A/NK که به نمودار تقسیم‌بندی magma‌ها براساس درجه اشباع از آلومین معروف است [۱۶-۱۴]، سنگ‌های مورد بررسی در مجموعه آذرین نفوذی باعچه مریم در گستره متآلومین قرار دارند (شکل ۵). با توجه به نمودار $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{CaO})$ نسبت به SiO_2 [۱۷]، شاخص اصلاح یافته آهکی-قليایي (MALI) در سنگ‌های نفوذی برآمده از ترکیب کانی‌هاست. این در حالی است که روند جدایش در سنگ‌های آتشفسانی مقادیر MALI را کنترل می‌کند. تبلور جدایشی از مذاب فلدسپاتی منجر به روند موازی با مرزهای MALI می‌شود [۱۸]. فرایندهای انباشتی فلدسپاتی می‌توانند باعث تولید ترکیب‌هایی با مقدار MALI بالا و magma‌های کلسیمی و کلسیمی-قليایی شوند. این در حالی است که جدایش گرانیت ترکیب‌های قليایی کلسیمی و یا قليایی را به وجود می‌آورد. از فرایندهای دیگر قابل فهم می‌توان به آمیختگی magma‌ها اشاره کرد. در روند جدایش magma با افزایش SiO_2 ، مقدار MALI افزایش می‌یابد، در حالی که در چند خاستگاهی بودن magma روند منطقی دیده نمی‌شود و نقاط روی نمودار چندین گستره را نشان می‌دهند. چنان که در شکل ۶ الف دیده می‌شود، نمونه‌های برداشت شده از گرانیت‌های مورد بررسی در گستره کلسیمی قليایی و سنگ‌های دیوریتی در گستره کلسیمی هستند. نسبت FeO/(FeO+MgO) یک شاخص مهم در تاریخ



شکل ۵ نمودار تغییرات A/NK نسبت به A/CNK [۱۵] و موقعیت نمونه‌های مورد بررسی بر آن. (دایره تو خالی: سنگ‌های اسیدی و دایره توپر: سنگ‌های حدواسط).



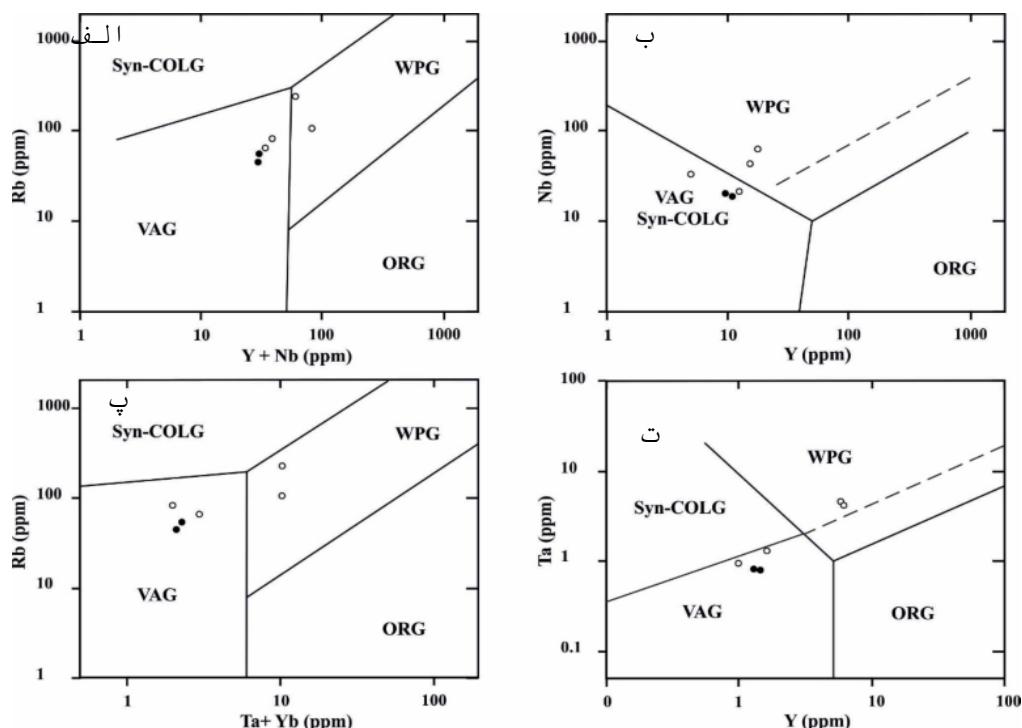
شکل ۶ (الف) نمودار SiO_2 نسبت به $(Na_2O + K_2O - CaO)$ [۱۷] و (ب) نمودار SiO_2 ($FeOt / (FeOt + MgO)$) نسبت به SiO_2 [۱۷] و موقعیت نمونه‌های مورد بررسی بر آن‌ها (دایره تو خالی: سنگ‌های اسیدی و دایره توپر: سنگ‌های حدواسط). تصویر الف سمت راست تصویر ب قرار گیرد.



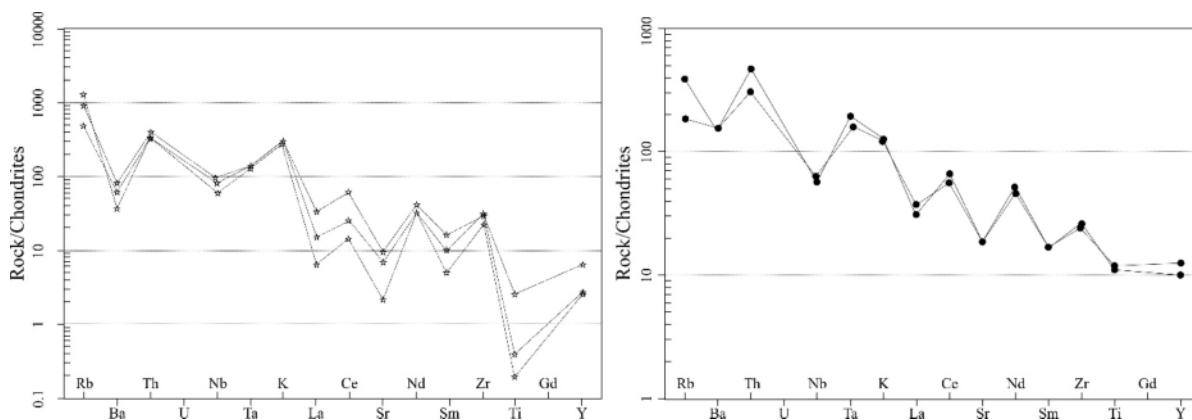
شکل ۷ نمودار لگاریتمی (C1-C2) عناصر سازگار نسبت به عناصر ناسازگار: (الف) نمودار $Th-V$ مربوط به نمونه‌های منطقه مورد بررسی، (ب) روندهای ۱، ۲ و ۳ به ترتیب نشان‌دهنده تبلور بخشی، ذوب جدایشی و آمیختگی ماقمایی است [۱۹]. تصویر الف سمت راست تصویر ب قرار گیرد.

(شکل ۹). با توجه به حضور کانی‌های فرومیزین و فراوانی آن‌ها در نمونه‌های فلزی، افزایش Ta را نمی‌توان از نظر دور دانست و این می‌تواند از عوامل انتقال تعدادی از نمونه‌ها از محیط قوس آتشفسانی به محیط درون صفحه‌ای باشد. افزون بر آن، فرایند دگرنهادی نیز می‌تواند از دیگر عوامل این جابه‌جایی در نظر گرفته شود (شکل‌های ۹ پ و ت).

جاگاه زمین ساختی و خاستگاه مآگما پژوهش‌های بسیاری پیشنهاد می‌کنند که عناصر نادر می‌توانند برای تفکیک مجموعه‌های زمین‌ساختی مختلف مآگمای گرانیتئیدی استفاده شوند [۳۴، ۳۳]. بر اساس نمودارهای زمین ساختی Rb نسبت به Y+Nb و Nb نسبت به Y (شکل ۸ الف و ب)، نمونه‌های فلزی در گستره قوس آتشفسانی، همزمان با برخورد و محیط درون صفحه‌ای (WPG) قرار دارند



شکل ۸ نمودارهای مرجع [۲۰] و موقعیت نمونه‌های مورد بررسی بر آن‌ها (دایره تو خالی: سنگ‌های اسیدی و دایره توبیر: سنگ‌های حدواسط). تصاویر الف و پ سمت راست تصاویر ب و ت قرار گیرند.



شکل ۹ نمودارهای عناصر خاکی نادر سنگ‌های منطقه باگچه‌مریم بهنجارشده نسبت به کندریت [۲۴] (نشانه ★: سنگ‌های اسیدی و ●: سنگ‌های حدواسط).

ماگماتی بازی گوشه‌ای در پی سنگ پوسته زیرین تامین شده است [۴۱، ۴۲]. نفوذ ماگماتی گوشه‌ای و ذوب بخشی پوسته زیرین می‌تواند همراه با فرایندهایی چون آمیختگی ماقمایی و تغییرات ایزوتوپی باشد. دخالت ماگماتی گوشه‌ای در تشکیل ماگماتی دیوریتی با شاخص‌های صحرایی، کانی‌شناسی و ترکیب شیمیایی این توده گرانیتوئیدی پذیرفتنی است.

برداشت

مجموعه نفوذی‌های باغچه مریم در جنوب قروه و در بخش شمالی پهنه آذرین- دگرگونی سندج- سیرجان رخنمون دارد که شامل سنگ‌های دیوریت، مونزودیوریت، گرانیت، سینیت و آپلیت است. بررسی روابط صحرایی بین دو واحد حدواسط و اسیدی نشان می‌دهد که مرز بین واحدهای منطقه تدریجی نیست که بر اساس یافته‌های کانی‌شناسی، سنگ‌شناسی و زمین‌شیمیایی نیز می‌توان ناپیوستگی ناشی از جدایش را در این واحدها دید. نمودارهای زمین‌شیمیایی نشان می‌دهند که بین دو واحد اسیدی و حدواسط وقفه کوچکی وجود دارد که تا حدی پیوستگی آن‌ها را از بین می‌برد. بر پایه نتایج زمین‌شیمیایی و کانی‌شناسی، این سنگ‌ها از نوع I، آهکی قلیایی و متا آلومین هستند. نمودارهای بهنجار شده عناصر نادر و خاکی نادر نشانگر غنی شدگی از عناصر LILE و ناهنجاری منفی Nb، P و Ti هستند که مشابه با الگو مناطق فرورانش و خاستگاه زمین‌ساختی مرز فعل قاره‌ای است. بررسی‌های زمین- فشار سنجی بر هورنبلاندھای موجود در گرانیتوئیدها نشان می‌دهد که ماگماتی سازنده این سنگ‌ها خاستگاه گوشه‌ای با آمیختگی پوسته‌ای دارد که این آمیختگی در مرحله‌های گوناگون و با مقادیر مختلف رخ داده است. بر پایه محاسبات زمین‌دما- فشار سنجی، میانگین دما در بخش دیوریتی ۷۱ درجه سانتی‌گراد و عمق تشکیل حدود ۸ کیلومتر و در بخش گرانیتی ۶۹ درجه سانتی‌گراد و حدود ۵ کیلومتر برآورد شد.

مراجع

- [1] Hoseini M., “Geological map of Qorveh 1:100000”, No.5560, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran.
- [2] Torkian A., Khalili M., Sepahi A. A., “Petrology and geochemistry of the I-type calc-alkaline Qorveh granitoid complex, Sanandaj-Sirjan zone, western Iran”, Neues

در سنگ‌های مجموعه باغچه مریم، الگوی عناصر کمیاب در نمودارهای چند عنصری غنی شدگی از عناصر خاکی نادر سبک (LREE) و تهی شدگی از عناصر خاکی نادر سنگین (HREE) را نشان می‌دهد. بر اساس الگوهای بهنجار شده نسبت به کندریت در واحدهای اسیدی، HREE‌ها با شبیه تندر کاهش می‌یابند و HREE‌ها روند ملایمی دارند، ولی قوسی برای عناصر خاکی نادر متوسط (MREE) دیده می‌شود. این الگو مشابه الگوی فرورانش کرانه قاره است. نمودارهای عنکبوتی واحد اسیدی باغچه مریم (شکل ۹) از نظر عناصر سنگ‌دوست بزرگ یون (LILE) چون La, Th, Ca, K, Rb آنها غنی شدگی آشکاری را نشان می‌دهند و بهطور نسبی از عناصر با شدت میدان بالا (HFSE) مانند Ti, Y, Nb و Yb تهی شدگی بازی دارند. این از ویژگی‌های گرانیتوئیدهای قوس آتسفسانی وابسته به مناطق فرورانش است [۳۵]. با این حال، آلایش با مواد پوسته‌ای نیز می‌تواند این تغییرات را به همراه داشته باشد [۳۶]. این نمونه‌ها یک غنی شدگی در HREE‌ها، یک تهی شدگی در HFSE، نیز ناهنجاری منفی در Eu را نشان می‌دهند. ناهنجاری منفی Nb نیز شاخص مناطق فرورانش و کرانه‌های فعال قاره‌ای است [۱۵]. بر اساس الگوی بهنجار شده عناصر خاکی نادر در واحد دیوریتی نسبت به کندریت [۳۷]، HREE‌ها نیز در مقایسه با HFSE فراوانی و غنی شدگی دارند. دیوریتها با الگوی عناصر خاکی نادر جدایش یافته، نبود ناهنجاری Eu و الگوی HREE تخت مشخص می‌شوند. جدایش ناپیوسته‌ای در این واحد دیده می‌شود که با ویژگی‌های پهنه فرورانش همخوانی دارد.

بر اساس نتایج این پژوهش، پیدایش توده‌های مورد بررسی را نباید به سادگی ناشی از جدایش از یک ماگماتی بازالی در پهنه فرورانش دانست. عدد Mg در مگنزیو هورنبلاندھای مورد بررسی در گسترده ۰,۵۷ - ۰,۷۰ به دست آمد که خاستگاهی با آمیختگی پوسته و گوشه را نشان می‌دهد [۳۹، ۳۸]. فراوانی بالای عناصر Rb, Th, P, Sr و K و کمبودن مقدار عناصر Ti و نمونه‌های مورد بررسی نیز گویای وجود مذاب پوسته‌ای است [۳۴، ۴۰].

با توجه به یافته‌های کانی‌شناسی، سنگ‌شناسی، زمین‌شیمیایی و ویژگی‌های زمین‌شناسی به نظر می‌رسد که توده‌های نفوذی باغچه مریم در اثر ذوب بخشی سنگ‌های مادر پوسته زیرین به وجود آمده‌اند و گرمای لازم برای ذوب از حضور

- peraluminous leucogranite (*Ebrahim-Attar granite*) as evidence for extensional tectonic regime in the Cretaceous, Sanandaj-Sirjan zone, northwest Iran”, *Chemie der Erde- Geochem*, 76 (2016) 529-541.
- [13] Middlemost E.A.K., “Iron oxidation norms and the classification of volcanic rocks”, *Chemical Geology*, 77(1985) 19-26.
- [14] Shand S.J., “Eruptive rocks, thire genesis, composition, classification and thire relation to ore deposite (3rd Ed)”, John Witty and Sons, 488 pp (1997).
- [15] Maniar P.D., Piccoli P.M., “Tectonic discrimination of granitoids”, *Geological Society of America Bulletin*, 101(1989) 635-643.
- [16] Irvin T.N., Baragar W.R.A., “A guide to the chemical classification of the common rocks”, *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8 (1971) 523-548.
- [17] Frost B.R., Barnes C.G., Collins W.J., Arculus R.J., Ellis D.J., Frost C.D., “A geochemical classification for granitic rocks”, *Journal of Petrology*, 42(2001) 2033-2048.
- [18] Harker A., “The natural history of igneous rocks”, Methneu, London, (1909) 344 p.
- [19] Cocherie A., “Geochimie des Terres Rares dans les granitoides”, Thesis, University of Rennes, Rennes, (1987) 116 pp .
- [20] Pearce J.A., Harris N., Tindle A.G., “Trace element discrimination diagrams for tectonic interpretation of granitic rocks”, *Journal of Petrology*, 25 (4) (1984) 956-983.
- [21] Leake B.E., Woolley A.R., Arps C.E.S., Birch W.D., Gilbert M.C., Grice J.D., Hawthorne F.C., Kato A., Kisch H.J., Krivovichev V.G., Linthout K., Laird J., Mandarino J.A., Maresch W.V., Nickel E.H., Rock N.M.S., Schumacher J.C., Smith D.C., Stephenson N.C.N., Ungaretti L., Whittaker E.J.W., Youshi G., “Nomenclature of amphiboles: report of the subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on new minerals and mineral names”, *Canadian Mineralogist*, 35: 219-246.
- [22] Stein E., Dietl C., “Hornblende thermobarometry of granitoids from the Central Odenwald (Germany) and their implications for the geotectonic development of Odenwald. *Mineralogy and Petrology*, 72: 185-207.
- [23] Hammarstrom J.M., Zen E., “Aluminum in hornblende: An empirical igneous geobarometer”, *American Mineralogist*, 71(1986) 1297-1313.

- Jahrbuch für Mineralogie Abhandlungen* 185(2): 131-142.
- [3] Mahmoudi S., Corfu F., Masoudi F., Mehrabi B., Mohajel M., “U-Pb dating and emplacement history of granitoid plutons in the northern Sanandaj-Sirjan Zone, Iran”, *Journal of Asian Earth Sciences* 41(4) (2011) 238-249.
- [4] Sepahi A. A., Maanijou M., Salami S., Gardideh S., Khaksar T., “Mineral chemistry and geothermobarometry of Moshirabad pluton, Qorveh, Kurdistan, western Iran”, *Island Arc* 21: (2012) 170-187.
- [5] Maanijou M., Aliani F., Miri M. M., Lentz D. R., “Geochemistry and petrology of igneous assemblage in the south of Qorveh area, west Iran”. *Chemie der Erde* 73 (2013) 181– 196.
- [6] Torkian A., “Mineral chemistry of the granitoid Ghalilan body (SW-Qorveh, Kurdistan) and its estimates of physicochemical parameters”, *Iranian Journal of Petrology* 5(20): 35-52 (in Persian).
- [7] Azizi H. Asahara, Minami Y., Anma M. R., “Sequential magma injection with a wide range of mixing and mingling in Late Jurassic plutons, southern Ghorveh, western Iran”, *Journal of Asian Earth Sciences* (2020).
- [8] Azizi H., Nouri Sandiani F., Stern B., Azizi M., Lucci F., Asahara Y., Zarinkoub M.H., Chung S.L., “New evidence for Jurassic continental rifting in the northern Sanandaj Sirjan Zone, western Iran: the Ghalaylan seamount, southwest Ghorveh”, *International Geology Review* (2018).
- [9] Nouri Sandiani F., Azizi H., Jan G., Asahara Y., Orihashi Y., Yamamoto K., Tsuboi M., Anma R., “Age and petrogenesis of Na-rich felsic rocks in western Iran: Evidence for closure of the southern branch of the Neo-Tethys in the Late Cretaceous”, *Tectonophysics*, 671(2016) 151-172.
- [10] Yajam S., Montero P., Scarrow J.H., Ghamgħaj J., Razavi S.M.H., Bea F., “The spatial and compositional evolution of the Late Jurassic Ghorveh-Dehgolan plutons of the Zagros Orogen, Iran: SHRIMP zircon U-Pb and Sr and Nd isotope evidence”, *Geologica Acta*, 13 (2015) 25-43.
- [11] Dilek Y., Imamverdiyev N., Altunkaynak S., “Geochemistry and tectonics of Cenozoic volcanism in the Lesser Caucasus (Azerbaijan) and the peri-Arabian region: collision-induced mantle dynamics and its magmatic fingerprint”, *International Geology Review* 2010; 52: 536-578.
- [12] Azizi H., Mohammadi K., Asahara Y., Tsuboi M., Daneshvar N., Mehrabi B., “Strongly

- constrains on their P-T dependence”, European Journal of Mineralogy, 5 (1993) 231-291.*
- [33] Pearce J.A., Harris N., Tindle A.G., “*Trace element discrimination diagrams for tectonic interpretation of granitic rocks*”, *Journal of Petrology*, 25 (4) (1984) 956-983.
- [34] Harris N.B., Pearce J.A., Tindle A.G., “*Geochemical characteristics of collision tectonic*”, *Special Publication of Geological Society of London*, 19 (1986) 67-81.
- [35] Wilson M., “*Igneous Petrogenesis*”, Unwin Hyman, London (1989) 461 pp.
- [36] Rollinson H., “*Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation*”, Longman Scientific and Technical, Harlow, (1993) 352 p.
- [37] Sun S.S., McDonough W.F., “*Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implication for mantle composition and processes*”, In: Saunders, A.D. Norry, J.M. (Eds.), *Magmatism in Ocean Basins*”, Geological Society of London Special publication, 42: 313-345.
- [38] Huaimin X., Shuwen D., Ping J., “*Mineral chemistry, geochemistry and U-Pb SHRIMP zircon data of the Yangxin monzonitic intrusive in the foreland of the Dabie orogen Science in China, Series D, Earth Sciences* 49 (2006) 684-695.
- [39] Xie Y. W., Zhang Y. Q., “*Peculiarities and genetic significance of hornblende from granite in the Hengduansan region*”, *Acta Metallurgica Sinica* 10 (1990) 35-45 (in Chinese).
- [40] Chappell B. W., White A. J.R., “*I and S-type granites in the Lachlan Fold Belt*”, *Earth Sciences* 83: 1–26.
- [41] Gupta A.A., “*Igneous rocks*”, Allied publishers limited, India, New Delhi (1998) 690 pp.
- [42] Clemens J.D., “*S-type granitic magmapetrogenetic issues, model and evidence*”, *Earth sciense. Rev* 61 (2003) 1-18.
- [24] Helmy H.M., Ahmad A.F., El Mahallawi M.M., Ali SM., “*Pressure, Temperature and Oxygen fugacity conditions of calc-alkaline granitoids, Eastern Desert of Egypt and tectonic implications*”, *Journal of African Earth Sciences*, 38: 255-268.
- [25] Blundy J.D., Holland T.J.B., “*Calcic amphibole equilibria and a new amphibole-plagioclase geothermometer: Reply to the comments of Hammarstrom and Zen, and Rutherford and Johnson*”, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 111(1992) 269-272.
- [26] Hollister L.S., Grisson G.C., Peters E.K., Stowell H.H., Sisson V.B., “*Confirmation of the empirical correlation of Al in hornblende with pressure of solidification of calc-alkaline plutons*”, *American Mineralogist*, 72: 231-239.
- [27] Johnson M.C., Rutherford M.J., “*Experimental calibration of an aluminum-in-hornblende geobarometer applicable to calc-alkaline rocks*”, *Geology*, 17 (9) (1989) 837-841.
- [28] Schmidt M.W., “*Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: An experimental calibration of Al in-hornblende barometer*”, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 110(1992) 304-310.
- [29] Ridolfi F., Renzulli A., Puerini M., “*Stability and chemical equilibrium of amphibole in calc-alkaline magmas: an overview, new thermobarometric formulations and application to subduction-related volcanoes*”, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 160(2010) 45-66.
- [30] Vyhnař C.R., McSween H.Y., Speer J.A., “*Hornblende chemistry in southern Appalachian granitoids: implications for aluminum hornblende thermobarometry and magmatic epidote stability*”, *American Mineralogist*, 76 (1991) 167-188.
- [31] Wones D.R., “*Significance of the assemblage titanite+magnetite+quartz in granitic rocks*”, *American Mineralogist*, 74 (1989) 744-749.
- [32] Enami M., Suzuki K., Liou J.G., Bird D.K., “*Al-Fe³⁺ and F-OH substitutions in titanite and*