



بررسی منطقه‌بندی پگماتیت‌های منطقه‌ی ابراهیم عطار و شیمی کانی‌های تشکیل دهنده‌ی آن‌ها (جنوب شرقی کردستان)

صدیقه سلامی^{*}، علی‌اصغر سپاهی‌گرو، محمدمعانی‌جو، کاظم بروزئی

گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پویا‌لی سینا، همدان

(دریافت مقاله: ۹۰/۴/۲۵، نسخه نهایی: ۹۰/۷/۶)

چکیده: منطقه‌ی مورد بررسی در شمال غربی ایران (۳۸ کیلومتری جنوب غربی شهرستان قروه) واقع شده است که در تقسیمات زمین‌شناسی بخشی از زون ستندج-سیرجان به حساب می‌آید. لیتلولوژی مجموعه‌ی پگماتیتی مورد نظر از سینو گرانیت تا گرانودیبوریت پگماتیتی متغیر است، که در مرمرهای دولومیتی منطقه نفوذ کرده‌اند. مشاهدات صحرایی، بررسی مقاطع نازک و آزمایش‌های انجام شده به روش‌های ICP-XRF و XRD روی کانی‌ها و سنگ‌های منطقه، نشان می‌دهد که ترکیب این پگماتیت‌ها از حاشیه به مرکز تغییر می‌کند. هر چه به مرکز این دایک‌های پگماتیتی نزدیک می‌شویم دانه بندی درشت‌تر و تمرکز کوارتز و فلدسپات بیشتر می‌شود در عوض از تمرکز میکا کاسته می‌شود. بررسی‌های ژئوشیمیایی صورت گرفته روی کانی‌ها حاکی از مقدار بالای پگماتیت‌ها و Sn (۸۵-۸۷ ppm) و W (۳۳-۴۰ ppm)، Ga (۲۱۲-۲۱۴ ppm)، Ti (۵۲۷۵ ppm)، Tl (۹ ppm)، Ta (۹۲-۹۳/۵ ppm) در موسکوویت‌هاست. همچنین گارنت‌های موجود در پگماتیت‌ها که از نوع آلماندین-اسپسارتین هستند، نسبت به REE/LREE نیز در این گارنت‌ها بالا است. در بریل‌های آنالیز شده نیز مقدار عناصر V (۹-۱۲ ppm)، Ni (۱۵-۱۷ ppm) و Cu (۲۲-۲۹ ppm) با است.

واژه‌های کلیدی: پگماتیت؛ زون‌بندی؛ ابراهیم عطار؛ کردستان.

مقدمه

از مواد فرار در دمای زیر خط گذار و شرایط دور از منحنی تعادلی تشکیل می‌شوند [۲]، مواد فرار می‌توانند زمان نیمه پایداری مذاب را افزایش دهد و موجب افزایش زمان هسته‌بندی و رشد بلورها شود. یکی از پدیده‌های مورد توجه در پگماتیت‌ها وجود زون‌بندی در آن‌هاست، نظرهای ارائه شده در این زمینه شامل موارد زیرند: ۱- جدایش شاره‌های ابر بحرانی از گدازه‌های سیلیکاتی [۱]. ۲- تبلور ماگما در یک سیستم آبدار بسته؛ جدایش‌های پی در پی در این سیستم باعث تمرکز بخار آب در زون‌های درونی و درشت دانه شدن هسته‌پگماتیت‌ها می‌شود [۴,۳]. ۳- تشکیل شاره‌های غیرقابل

پگماتیت‌ها سنگ‌های تمام بلورینی هستند که نسبت به سنگ‌های پلوتونیک وابسته به خود بسیار درشت دانه‌ترند. تاکنون در مورد چگونگی تشکیل پگماتیت‌ها و شرایط تبلور آن‌ها نظرهای متفاوتی ارائه شده‌اند، برخی از این نظرهای عبارتند از: ۱- پگماتیت‌ها زمانی تشکیل می‌شوند که ماغماهای غنی از مواد فرار در زیر نقطه بحرانی دستخوش جوشش ثانویه شوند [۱]. ۲- در اثر این جوشش، دو فاز شاری تشکیل می‌شود، که فاز رقیق-تر فضای لازم برای رشد بلورها را فراهم می‌آورد. ۲- پگماتیت‌ها در اثر هسته‌زایی آرام بلورها در محیط سرشار

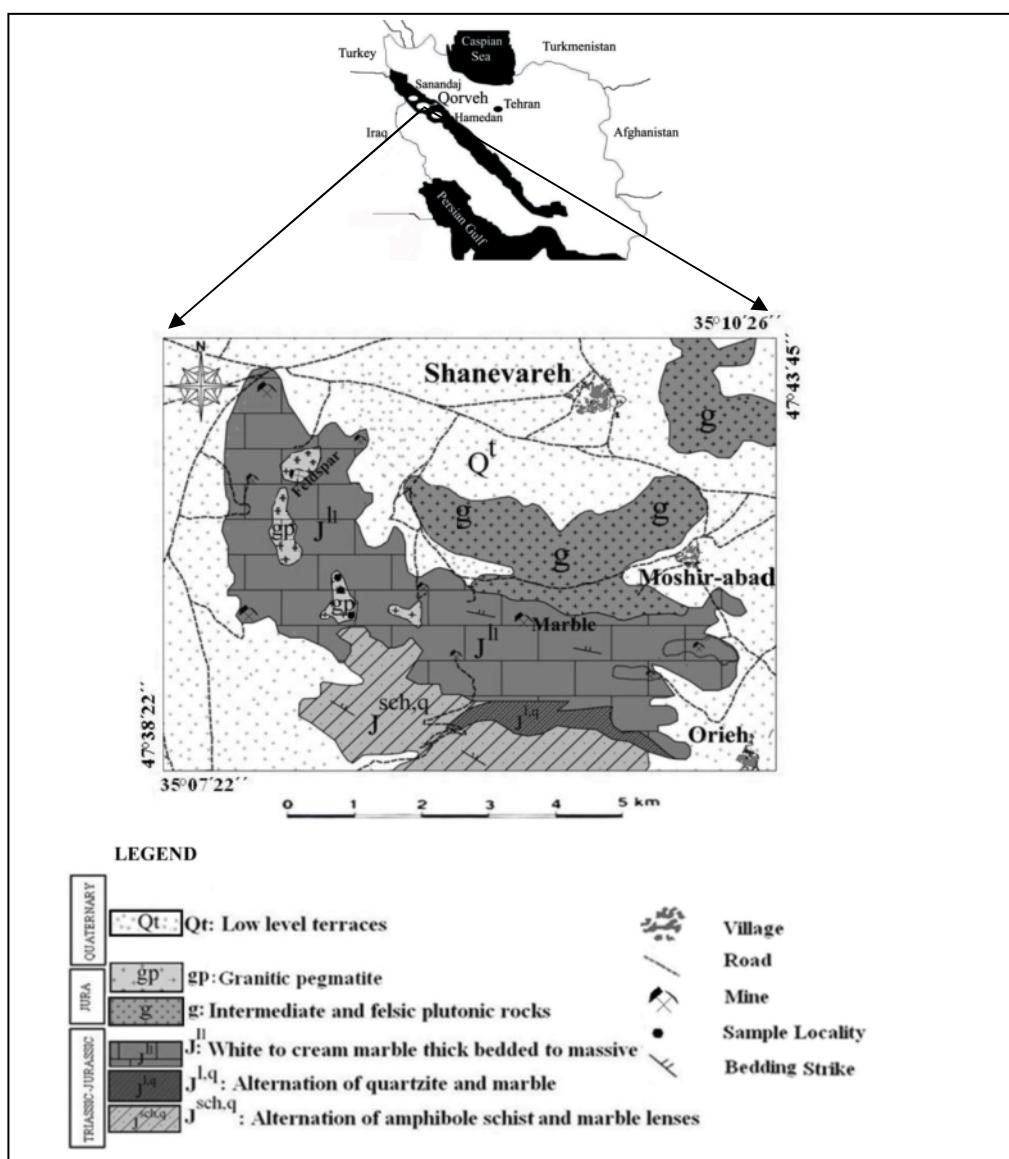
* نویسنده مسئول، تلفن-نمبر: ۰۸۱۱ (۸۲۵۳۴۶۷)، پست الکترونیکی: ss171358@yahoo.com

گرفته است، در این پژوهش سعی شد تا با گردآوری مشاهدات صحرایی، سنگنگاری و آنالیزهای شیمیایی صورت گرفته روند تبلور، شرایط تشکیل بافت‌ها، محدوده حضور هر یک از کانی‌ها (زون بندی) و ژئوشیمی آن‌ها مورد بررسی قرار گیرد.

موقعیت زمین‌شناسی

منطقه‌ی مورد بررسی (ابراهیم عطار) در جنوب شرقی استان کردستان و در ۳۸ کیلو متری جنوب غربی شهرستان قروه، واقع شده است. این منطقه در حد فاصل عرض جغرافیای $40^{\circ}45'$ - $47^{\circ}08'$ و طول جغرافیای $35^{\circ}35'$ - $35^{\circ}58'$ شرقی قرار دارد (شکل ۱). در زون بندی ساختاری ایران این منطقه بخشی از زون سندنج - سیرجان

اختلاط در گدازه، در دمای زیر خط‌گذار [۵]. نخستین بررسی‌های سنگنگاری در منطقه روی سنگ‌های آذرین جنوب قروه توسط [۶] صورت گرفته است. سپس [۷] سنگ‌شناسی مجموعه گرانیتوئیدی مشیرآباد (جنوب قروه) را مورد بررسی قرار داده است. همچنین [۸] به بررسی ماقمatisیم توده‌ی گرانوپیوریتی جنوب قروه پرداخته است و [۹] نیز در مورد لیتولوژی پگماتیت‌های منطقه‌ی مورد نظر بررسی‌های انجام داده است و پگماتیت‌های موجود را ادامه‌ی تبلور جدایشی ماقمای باقی مانده از گرانیت‌ها فرض کرده است. با این حال با توجه به اینکه مسئله‌ی زون بندی موجود در این پگماتیت‌ها و شیمی کانی‌های تشکیل دهنده‌ی آن‌ها کمتر مورد توجه قرار



شکل ۱ نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد بررسی (با تغییر از حامی، ۱۳۸۲).

یک نمونه بریل نیز برای بررسی XRD به شرکت کانپژو فرستاده شد. برای تعیین دقیق‌تر ترکیب تک کانی‌ها ۹ نمونه تک کانی (۲ نمونه بیوتیت، ۲ نمونه موسکوویت، ۲ نمونه گارنت، ۳ نمونه بریل) برای آنالیز به روش‌های ICP-MS و ICP-AES به شرکت SGS کانادا فرستاده شدند. چون در این آنالیزها مقدار عنصر Be اندازه‌گیری نمی‌شود؛ برای تعیین میزان این عنصر در کانی بریل، ۳ نمونه بریل از سوی سازمان انرژی هسته‌ای با روش جذب اتمی آنالیز شدند.

مشاهدات صحرایی

در منطقه‌ی مورد بررسی دایک‌های پگماتیتی، با راستای شمال غربی-جنوب شرقی، در طول کوه ابراهیم عطار کشیده شده‌اند و در دو قله متواالی این کوه در ارتفاع ۲۵۰۰ متری و ۲۷۰۰ متری بروزند دارند (شکل ۲ الف، ۲ ب). طول بیرون زدگی‌های پگماتیتی حدود ۷۰۰ متر و عرض آن حدود ۲۰۰ متر است. به نظر می‌رسد که وسعت این توده‌ی پگماتیتی خیلی بیشتر از این مقدار باشد، اما به علت ریخت مشابه با مرمرهای منطقه، از نظر پنهان مانده است. در حاشیه‌ی پگماتیت‌ها یک لایه سفید و خالص دولومیتی، با ضخامت ۱۰ الی ۱۵ متر وجود دارد، که دایک‌های پگماتیتی موردنظر در آن نفوذ کرده‌اند. بین دولومیت‌ها و دایک‌های پگماتیتی یک لایه‌ی اسکارن اپیدوتیتی سبز رنگ با ضخامت ۱ تا ۲ متر تشکیل شده است که حاصل فعل و انفعال بین توده‌ی پگماتیتی و دولومیت‌های منطقه در زمان جای‌گیری است (شکل ۳). توده‌ی پگماتیتی موردنظر منفرد نبوده بلکه توده‌های پگماتیتی دیگری نیز در مناطق مجاور بالوانه، کامشگران، لاله‌ای، پرپیشه، مشیرآباد و شانوره گزارش شده‌اند که با هم تشکیل یک میدان پگماتیتی را می‌دهند.

به حساب می‌آید [۱۰]. بیرون زدگی‌های موجود در کوه ابراهیم عطار را از نظر تنوع لیتولوژی به مجموعه‌های زیر تقسیم می‌کنند [۱۱]: ۱- مجموعه سنگ آهک، آهک ماسه‌ای، چرت، کوارتزیت و شیست: در این مجموعه آهک خاکستری با لایه بنده منظم و میان لایه‌های ماسه سنگ، فیلیت و شیست دیده می‌شود. این آهک به‌طور محلی دارای بافت برگه‌ای ظرفی ناشی از تمرکز موادآلی است. نوارها و کنکرسیون‌های پراکنده چرت نیز در این مجموعه دیده می‌شوند. ۲- مجموعه آهکی-دولومیتی در حاشیه‌ی پگماتیت‌ها: این مجموعه کربناتی به صورت ضخیم لایه، توده‌ای و با درجه‌ی خلوص بالا در حاشیه پگماتیت‌ها دیده می‌شود. حاشیه‌های پگماتیت‌های این مجموعه آهکی تبلور دوباره‌ی مشخصی را نشان می‌دهند، به نحوی که بلورهای دولومیت در نمونه‌ی دستی به روشنی دیده می‌شوند. ۳- دایک‌های گرانیتی-پگماتیتی کوه ابراهیم عطار: این دایک‌های پگماتیتی در مناطق مختلف دارای ترکیب کانی-شناسی متفاوتی هستند و لیتولوژی غالب آن شامل سینوگرانیت تا گرانوپوریت پگماتیتی است. بر اساس بررسی‌های سال‌سنگی که به‌روش U-Pb ژوراسیک بالایی ($156,5 \pm 0,6$ Ma) و مجموعه‌های گرانیت‌وئیدی موجود را به ژوراسیک نسبت داده‌اند [۱۲].

روش کار

در طی پژوهش صحرایی، تعداد ۷۰ نمونه از سنگ‌های توده پگماتیتی و گرانیت‌های مجاور نمونه برداری و از ۳۰ نمونه آن-ها مقطع نازک تهیه و بررسی، و سپس تک کانی‌های موجود در سنگ‌های پگماتیتی به صورت دستی جداسازی شدند. ۸ نمونه از تک کانی‌ها (۲ نمونه کوارتز، ۲ نمونه موسکوویت، ۱ نمونه بیوتیت، ۲ نمونه فلدسپار، ۱ نمونه بریل) برای بررسی XRF و



شکل ۲ الف) پگماتیت نفوذی که به شکل دایک دیده می‌شود جهت دید به سمت غرب. ب) نمایی از بیرون زدگی‌های پگماتیتی در دو قله متواالی کوه ابراهیم عطار جهت دید به سمت شرق.



شکل ۳ لایه اسکارنی بین پگماتیت‌ها و دولومیت‌های حاشیه‌ی آن.

منطقه تقسیم کرد (جدول ۱)، (شکل ۴) که به ترتیب عبارتند از:
 ۱- منطقه‌ی حاشیه‌ای ۲- منطقه‌ی دیواره‌ای ۳- منطقه‌ی میانی ۴- منطقه‌ی مرکزی. تغییرات موجود در این مناطق به شرح زیرند:
 منطقه‌ی حاشیه‌ای: با کانی‌های فلدسپار ۴۵٪، کوارتز ۳۵٪، مسکوویت ۱۰٪، بیوتیت ۹٪ و اسفن ۱٪ است (شکل ۴ الف).
 ۴ ب). اندازه‌ی کانی‌ها در نمونه‌ی دستی در حدود یک تا دو میلیمتر است. از جمله بافت‌های موجود در این زون شامل: بافت آپلیتی که حاصل انجامد سریعتر و هسته بندی بیشتر کانی‌هاست، بافت نگاره‌ای که نشان دهنده‌ی تبلور فلدسپار پتاسیم و کوارتز در بالای نقطه یونکتیک و نیز در شرایط اشباع از بخار آب است [۱۳].

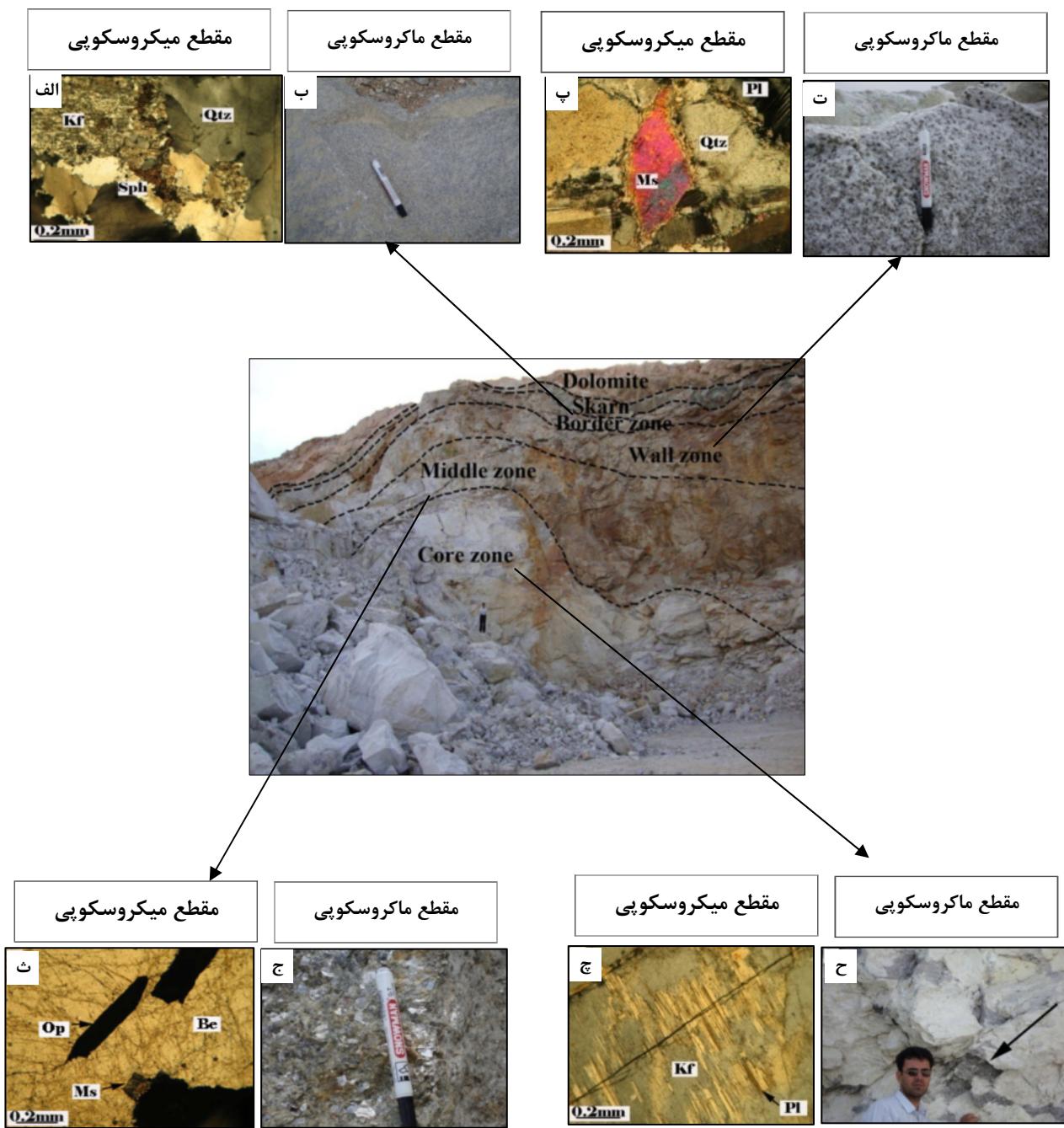
این توده پگماتیتی، به سمت مشیرآباد در دامنه‌های کوه به تدریج به توده‌های گرانیتی ختم می‌شود. با توجه به تغییرات بافتی و کانی‌شناسی که از حاشیه به سمت مرکز توده دیده می‌شود، نخست زون‌ها و بافت‌های موجود در توده‌ی پگماتیتی را بررسی می‌کنیم و سپس به بررسی کانی‌شناسی و ژئوشیمی تعدادی از کانی‌های آنالیز شده می‌پردازیم.

منطقه‌بندی در پگماتیت‌های منطقه

کانی‌های موجود در این توده‌ی پگماتیتی شامل کوارتز، فلدسپار پتاسیم، پلازیوکلاز، بیوتیت، مسکوویت، گارنت و بریل است. با توجه به بررسی‌های ماکروسکوپی و میکروسکوپی و بر اساس تغییرات بافتی و کانی‌شناسی که از حاشیه به مرکز توده دیده می‌شود، می‌توان توده پگماتیتی مورد بررسی را به چهار

جدول ۱ مقایسه‌ی مناطق مختلف موجود در پگماتیت‌های مورد بررسی از نظر وسعت، کانی‌شناسی، بافت و ارزش اقتصادی.

اهمیت اقتصادی	بافت	ترکیب کانی‌شناسی		وسعت	مناطق از خارج به داخل
		کانی فرعی	کانی اصلی		
کانی‌های این منطقه به علت ریز دانه بودن ارزش اقتصادی چندانی ندارند.	آپلیتی، گرافیکی و کاتاکلاستی	اسفن	فلدسپات، کوارتز، مسکوویت بیوتیت	کم	مناطق حاشیه‌ای
کانی‌های اقتصادی این منطقه عبارتند از مسکوویت و بیوتیت.	دانه درشت تر از منطقه فوق	گارنت	پلازیوکلاز، بیوتیت، کوارتز مسکوویت، بیوتیت	از منطقه قبلي ضخیم تر است	مناطق دیواره‌ای
کانی‌ها به علت درشت بودن مجزا می‌شوند که شامل فلدسپات، مسکوویت، بیوتیت و بریل می‌باشند.	دانه درشت تر از دو منطقه فوق، دارای لایه بندی	بریل	کوارتز، بیوتیت، مسکوویت درشت بلور، بیوتیت درشت بلور	بخوبی توسعه یافته است	مناطق میانی
فلدسپات و کوارتز درشت بلور با درجه خلوص بالا و دارای اهمیت اقتصادی.	بسیار دانه درشت	-	کوارتز دودی و سفید فلدسپات‌های درشت بلور	از تمام مناطق فوق توسعه یافته تر است	مناطق مرکزی



شکل ۴ مقایسه‌ی تصاویر ماکروسکوپی و میکروسکوپی در زون‌های مختلف دایک پگماتیتی (الف) مقطع میکروسکوپی پگماتیت حاشیه‌ای (ب) نمونه‌ی سنگ حاشیه‌ی توده (پ) مقطع میکروسکوپی پگماتیت دیواره‌ای (ث) نمونه‌ی سنگ زون دیواره‌ای (ت) مقطع میکروسکوپی بریل برداشت شده از زون میانی با میانبار موسکوویت و کانی‌های کدر (ج) نمونه‌ی سنگ دارای موسکوویت‌های درشت بلور وابسته به زون میانی (ج) مقطع میکروسکوپی ارتوکوهای پرتیتی (ح) عدسی‌های کوارتز در هسته پگماتیت. کوارتز (Qtz)، فلدسپار پاتاسیم (Kf)، اسفن (Sph)، پلازیوکلار (Pl)، مسکوویت (Ms)، کانی کدر (Op)، بریل (Be). برای توضیحات بیشتر به جدول ۱ مراجعه شود.

تر است (شکل ۴ پ، ۴ ت)، اندازه‌ی کانی‌ها در این منطقه از ۲ میلیمتر تا بیش از ۴ میلیمتر متغیر است. در برخی قسمت‌های این زون بافت‌های دگرشکلی نیز دیده می‌شوند.

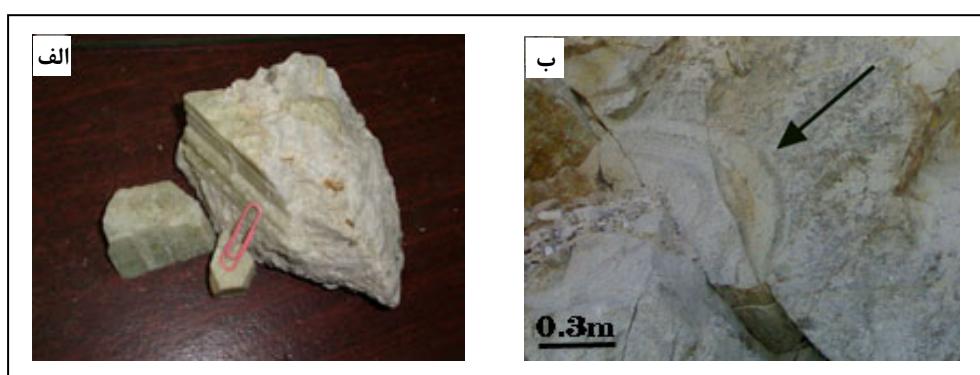
منطقه‌ی دیواره‌ای: دارای کانی‌های کوارتز ۴۰٪، فلدسپار ۴۰٪، مسکوویت ۱۵٪، بیوتیت ۳٪ و گارنت ۲٪ است. این منطقه دارای بافت دانه‌ای بوده و نسبت به منطقه‌ی قبلی درشت دانه-

ترین سازوکارهای نوسان فشار بخار آب داخلی پگماتیت‌ها، از دست دادن پراکنده و نامنظم بخار در فشارهای بالا از طریق گسترشی و شکستگی‌های دایک‌ها معرفی شده است [۵]. منطقه‌ی مرکزی: کانی‌های موجود در این منطقه، بسیار درشت بلورند که شامل عدسی‌های بزرگی از کوارتز دودی و سفید (٪۷۰) و فلدسپارپاتاسیم (٪۳۰) هستند که، قطر آنها گاهی به چند متر نیز می‌رسد. این کانی‌ها محصول نهایی تبلور در مرکز توده‌ی پگماتیتی هستند (جدول ۱)، (شکل ۴ ج، ۴ ح).

به طور کلی در این توده‌ی پگماتیتی از حاشیه به مرکز توده، مقدار بیوتیت نسبت به مسکوویت کمتر می‌شود و علت آن کاهش Mg در طول تبلور جدایشی ماقماست [۲۱]. به نظر می‌رسد که این منطقه‌بندی ناشی از تبلور جدایشی ماقمای اولیه در منطقه باشد، البته در برخی مناطق توده با تمرکز غیر عادی بیوتیت به صورت رگه دیده می‌شود که احتمالاً ناشی از تزریق بعدی ماقما در منطقه است. در مجاورت بالافصل توده‌ی پگماتیتی نیز حجم زیادی از فلدسپارهای ارتوکلاز خالص با حدود ۵۰ متر ضخامت دیده می‌شود. علت تشکیل این فلدسپارها به صورت مستقل، جدایش فلدسپارهای قلیایی در دمای بالا از گدازه‌های سیلیکاتی اشباع از مواد فرار است، پاتاسیم به علت دارا بودن شعاع یونی بزرگتر نسبت به سدیم، تمایل بیشتری دارد که وارد فاز گازی شود، لذا به سرعت از ترکیب ماقما جدا شده و به صورت مستقل تشکیل توده‌ی فلدسپار پاتاسیم می‌دهد [۱]، بنابراین سنگ‌هایی که از ماقمای باقی‌مانده متبلور می‌شوند دارای محتواهای فلدسپار پاتاسیم کمتری هستند.

منطقه‌ی میانی: دارای کانی‌های کوارتز ۴۰٪، فلدسپار ۳۰٪، بریل ۲۰٪، درشت بلورهای مسکوویت ۸٪ و بیوتیت ۲٪ است (شکل ۴ ث، ۴ ج)، در این زون رگه‌ای بریل دار در حد فاصل بین پگماتیت‌های غنی از ارتوکلاز و پگماتیت‌های غنی از پلاژیوکلاز و ارتوکلاز (مرز بین زون دیواره‌ای و میانی) تشکیل شده است. این رگه‌ای بریل دار به ضخامت ۲۵ الی ۳۵ سانتی‌متر و طول ۵۰ متر با شبی قائم و در راستای شمالی-جنوبی قرار دارد. بریل‌های تشکیل شده در این زون دارای اندازه‌های متفاوتی از حدود ۱۰ سانتی‌متر تا بیش از یک متر هستند (شکل ۵ الف). یکی از بافت‌های تشکیل شده در این زون بافت نواری است، در این بافت لایه‌های با ترکیب کانی‌شناسی متفاوت و تنوع رنگی به صورت متوالی دیده می‌شود (شکل ۵ ب).

در مورد علل تشکیل این نوع بافت، نظرهای متفاوتی وجود دارند از جمله: جانشینی کانی‌ها به جای کانی‌های دیگر در سنگ‌های قدیمی‌تر و به ارث رسیدن لایه بندی موجود در سنگ مادر [۱۴]، انجاماد و هسته بندی کانی‌ها در یک مایع چسبنده و غلیظ اسیدی [۱۵]، تشکیل کانی‌ها از گدازه‌های اشبع از بخار آب [۱۷، ۱۶]، شکل‌گیری لایه‌بندی در اثر مهاجرت کوتکتیک کوارتز-feldspar قلیایی، در اثر نوسان فشار بخار آب داخلی پگماتیت‌ها و تغییر ناگهانی در نرخ هسته‌بندی کانی‌ها [۱۸، ۱۶]، و نیز لایه‌بندی ممکن است در اثر واکنش‌های نوسانی بین قسمت در حال تبلور با لایه‌های گدازه‌ی مرزی تازه تزریق شده، ایجاد شود [۱۹]؛ بلورهایی که در این فرایندها بر جای گذاشته می‌شوند به مقدار چسبنده‌ی گدازه در دماهای مختلف وابسته باشد و تغییر مقدار مواد فرار آن‌ها ممکن است دارای حالت بلوری کامل باشند [۱۵، ۲۰]. از مهم-



شکل ۵ (الف) نمونه‌هایی از بریل‌های برداشت شده از زون میانی پگماتیت. (ب) بافت نواری تشکیل شده در منطقه میانی پگماتیت.

۲- مسکوویت: مسکوویت‌های موجود در توده‌ی پگماتیتی در مناطق مختلف توده دارای تنوع رنگی هستند بیشتر مسکوویت‌های موجود به رنگ زرد روشن دیده می‌شوند، ولی گاهی به رنگ سبز روشن، احتمالاً ناشی از وجود Fe^{+2} [۲۲] و نیز به رنگ زرد نخودی، احتمالاً ناشی از وجود Fe^{+3} [۲۲] دیده می‌شوند. دو نمونه از مسکوویت‌های برداشت شده از زون میانی آنالیز شیمیایی شده (جدول ۲)، با توجه به فرمول عمومی میکاها که قبلًاً گفته شد و نتایج حاصل از آنالیزها فرمول میانگین مسکوویت‌های مورد بررسی به صورت زیرند:

$$W = 0.845K + 0.0915Na = 0.936$$

$$X,Y = 0.15\text{Fe} + 0.02\text{Mg} + 0.002\text{Mn} + 0.0004\text{Ti} + 1.835$$

$$[\text{Al}]^6 = 2.007$$

$$Z = 0.851[\text{Al}]^4 + 3.1485\text{Si} = 3.99 (\text{K}, \text{Na})_{0.936}(\text{Fe}, \text{Mg}, \text{Mn}, \text{Ti}, [\text{Al}]^6)_{2.007}([\text{Al}]^4, \text{Si})_{3.99}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$$

مقدار Sn(۸۵-۸۷ ppm) و W(۳۳-۴۰ ppm) در مسکوویت بیشتر از کانی‌های آنالیز شده، دیگر است، زیرا با افزایش جدایش در پگماتیت‌های مسکوویت‌دار، این عناصر به طور ترجیحی در مسکوویت متتمرکز می‌شوند [۲۷، ۲۵]، همچنین مقدار Ga گزارش شده از این آنالیزها (۲۱۲-۲۱۴ ppm) است که با توجه به جانشینی این عنصر به جای Al، فراوانی آن با محتوای بالای Al موجود در مسکوویت‌ها همخوانی دارد.

۳- گارنت: گارنت‌ها در نمونه‌ی دستی به رنگ سرخ روشن تا تیره دیده می‌شوند (شکل ۷ الف). دو رشته آنالیز شیمیایی روی گارنت‌های برداشت شده از زون دیواره صورت گرفته‌اند (جدول ۲) این گارنت‌ها دارای ترکیب آلماندین- اسپسارتین- Grs_{0.51}- هستند و ترکیب محلول جامد آن‌ها به صورت (Alm_{77.48}-Sps_{20.88}-Prp_{1.35}) است (شکل ۷ ب). با توجه به فرمول عمومی گارنت‌ها و نتایج حاصل از آنالیزها، ترکیب شیمیایی آن‌ها به صورت زیرند:

فرمول عمومی گارنت‌ها:



فرمول میانگین گارنت‌های مورد مطالعه:

$$A = 2.34\text{Fe}^{+2} + 0.631\text{Mn} + 0.041\text{Mg} + 0.016\text{Ca} = 3.028$$

$$B = 1.9\text{Al} + 0.001\text{Ti} = 1.901$$

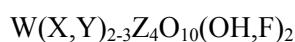
$$(\text{Fe}^{+2}, \text{Mn}, \text{Mg}, \text{Ca})_{3.028}(\text{Al}, \text{Ti})_{1.901}\text{Si}_{3.045}\text{O}_{12}$$

کانی‌شناسی و شیمی کانی‌ها

به‌منظور بررسی شیمی تک کانی‌های جدا شده از توده، به بررسی آنالیزهای مربوط پرداخته می‌شود.

۱- بیوتیت: بیوتیت‌های موجود در توده مورد نظر در نمونه دستی به رنگ سیاه و زیر میکروسکوپ به رنگ قهوه‌ای مایل به سرخ دیده می‌شوند که احتمالاً به علت محتوای آهن و تیتانیم بالای موجود در آن‌هاست. دو نمونه از بیوتیت‌های جدا شده از پگماتیت‌های منطقه تجزیه شیمیایی شدن (جدول ۲). با ترسیم این آنالیزها در نمودارهای وابسته به ترکیب شیمیایی بیوتیت‌ها [۲۲، ۲۳]، معلوم شد که دارای ترکیب سیدروفلیت هستند (شکل ۶ الف، ۶ ب). با توجه به فرمول عمومی میکاها ترکیب شیمیایی بیوتیت‌های مورد بررسی به صورت زیر است:

فرمول عمومی میکاها:



فرمول میانگین بیوتیت‌های مورد بررسی:

$$W = 0.875K + 0.02Na = 0.895 \\ X,Y = 2\text{Fe} + 0.141\text{Mg} + 0.04\text{Mn} + 0.05\text{Ti} + 0.014\text{Ca} + 0.585[\text{Al}]^6 = 2.825$$

$$Z = 1.325[\text{Al}]^4 + 2.685\text{Si} = 4.01 (\text{K}, \text{Na})_{0.895}(\text{Fe}, \text{Mg}, \text{Mn}, \text{Ti}, \text{Ca}, [\text{Al}]^6)_{2.825}([\text{Al}]^4, \text{Si})_{4.01}\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \\ \cdot \text{Tl}(9 \text{ ppm}), \text{Ta}(92-93/5 \text{ ppm}) \text{ به طور کلی مقدار عناصر (Ag)(29-33 ppm), Zn(668-724 ppm), Ti(5275 ppm)}$$

و (Nb)(1620-1710 ppm) در بیوتیت‌ها بیشتر از دیگر کانی‌های آنالیز شده‌اند، این عناصر جانشین Fe و Mg به صورت هشت وجهی می‌شوند که در بیوتیت‌ها ظرفیت این جانشینی، بیشتر از کانی‌های موجود دیگر است [۲۴].

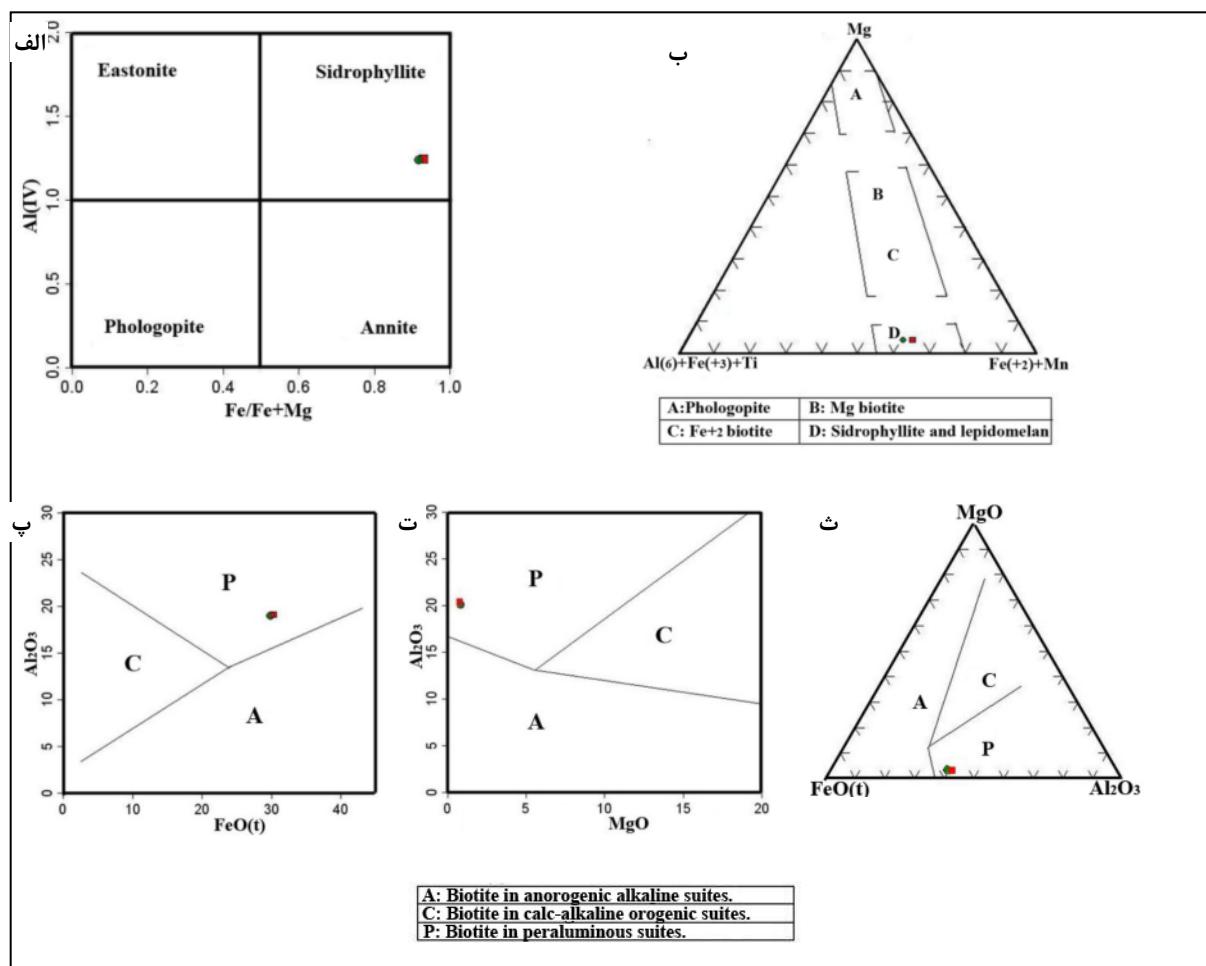
مقدار Rb گزارش شده از آنالیز بیوتیت‌ها (۳۳۸۰ ppm) است، که جانشین پتاسیم بین لایه‌ای در میکا می‌شود. از آنجا که موقعیت پتاسیم بین لایه‌ای در بیوتیت بزرگتر از مسکوویت است، توانایی این جانشینی در بیوتیت از بیوتیت بسیار بیشتر است [۲۵]. با ترسیم ترکیب شیمیایی بیوتیت‌ها در نمودارهای [۲۶]، می‌توان سری مآگماهای تشکیل دهنده‌ی این بیوتیت‌ها را تشخیص داد که در این نمودارها سری پرآلومین را نشان می‌دهند (شکل ۶ پ، ۶ ت و ۶ ث). این امر با بررسی‌های ژئوشیمیایی که قبلًاً روی این توده‌ی پگماتیتی صورت گرفته است، همخوانی دارد [۹].

جدول ۲ نتایج آنالیز و مقدار کاتیون‌های کانی‌های پگماتیتی آنالیز شده کوه ابراهیم عطار، به روش ICP-MS و ICP-AES. بریلیم گزارش شده در این واکافتها از سوی سازمان انرژی هسته‌ای با روش Atomic Absortion گارنت‌های آنالیز شده از زون دیواره‌ای، بیوتیت، موسکوویت و بریل‌های آنالیز شده از زون میانی برداشت شده‌اند. کاتیون‌ها در بیوتیت و مسکوویت بر مبنای ۱۱ اکسیژن، در گارنت بر مبنای ۱۲ اکسیژن و در بریل بر مبنای ۱۸ اکسیژن محاسبه شده‌اند.

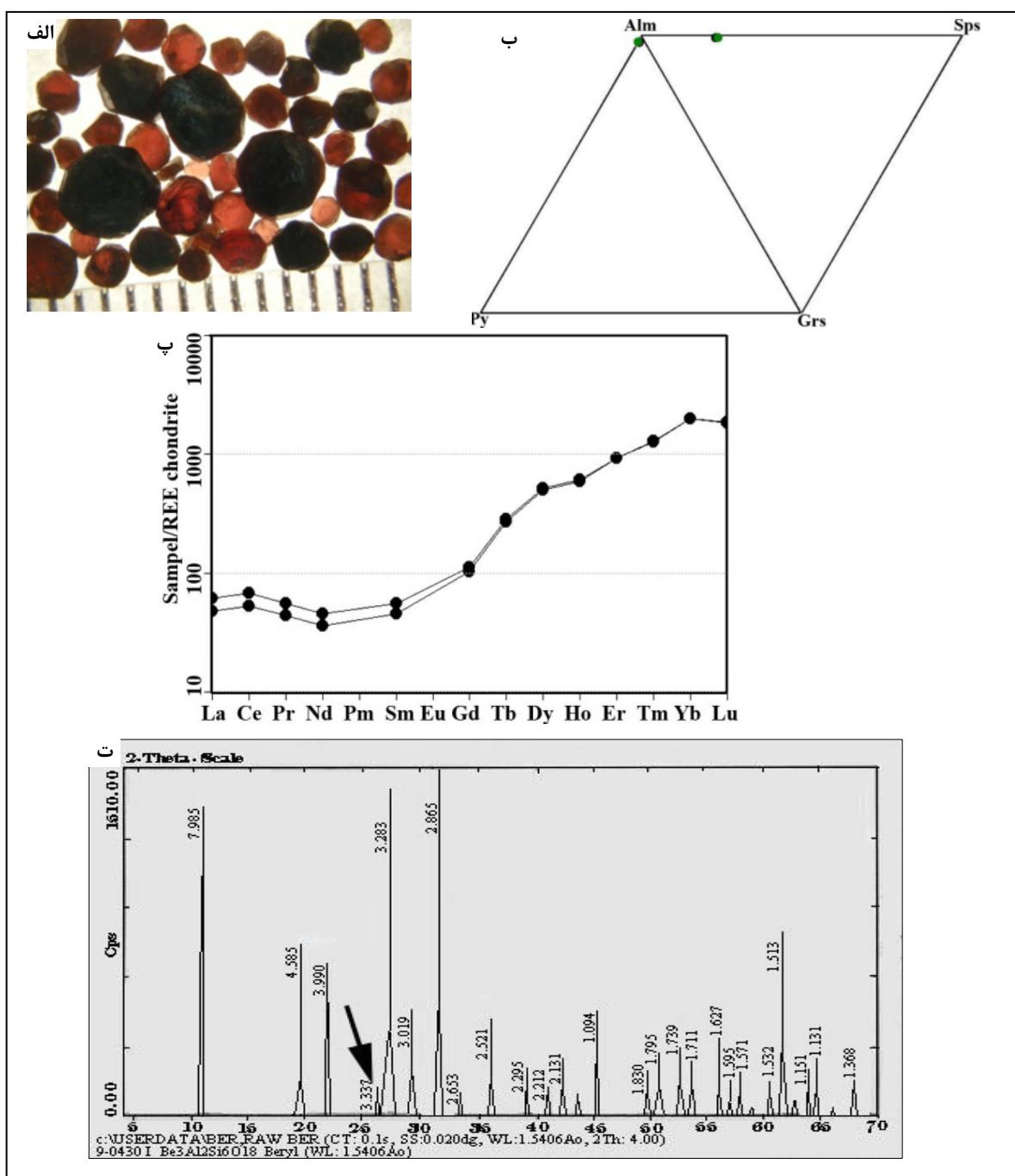
Sampel Oxide	Bt1	Bt2	Ms1	Ms2	Grt1	Grt2	Ber1	Ber2	Ber3
Major elements (Wt %)									
SiO ₂	۲۳,۰	۲۳,۲	۴۵,۷	۴۴,۷	۳۵,۸	۳۵,۷	۶۳,۶	۶۳,۴	۶۳,۲
TiO ₂	۰,۸۸	۰,۸۸	۰,۰۹	۰,۰۹	۰,۰۳	۰,۰۳	۰,۰۱	<۰,۰۱	۰,۰۱
Al ₂ O ₃	۲۰,۲	۲۰,۳	۳۳,۴	۳۲,۳	۱۸,۹	۱۹,۲	۱۷,۵	۱۷,۳	۱۷,۴
Cr ₂ O ₃	<۰,۰۱	<۰,۰۱	<۰,۰۱	<۰,۰۱	<۰,۰۱	<۰,۰۱	<۰,۰۱	<۰,۰۱	<۰,۰۱
Fe ₂ O ₃ *	۲۹,۳	۲۹,۹	۲,۷۰	۲,۶۶	۳۳,۱	۳۲,۸	۱,۲۹	۱,۳۸	۲,۱۸
MgO	۱,۱۷	۱,۲۰	۰,۲۳	۰,۲۲	۰,۳۳	۰,۳۳	۰,۰۴	۰,۰۳	۰,۰۴
MnO	۰,۶۹	۰,۷۱	۰,۰۵	۰,۰۴	۸,۷۸	۸,۸۰	<۰,۰۱	<۰,۰۱	۰,۰۱
CaO	۰,۱۵	۰,۲۴	<۰,۰۱	۰,۰۴	۰,۱۸	۰,۱۹	۰,۰۶	۰,۰۸	۰,۰۹
BeO	-	-	-	-	-	-	۱۲,۱	۱۱,۷۶	۱۲,۷
K ₂ O	۸,۵۹	۸,۵۱	۱,۰۱	۹,۷۲	۰,۳۳	۰,۳۶	۰,۰۴	۰,۱۲	۰,۰۶
Na ₂ O	۰,۲	۰,۲	۰,۸	۰,۸	<۰,۱	<۰,۱	۰,۳	۰,۳	۰,۳
P ₂ O ₅	<۰,۰۱	<۰,۰۱	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۴	۰,۰۳	<۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱
LOI	۲,۱۱	۱,۸۴	۴,۶۳	۴,۷۶	<۰,۰۱	<۰,۰۱	۱,۴۳	۱,۴۰	۱,۳۵
total	۹۶,۳	۹۶,۹	۹۸,۰	۹۵,۵	۹۵,۳	۹۵,۴	۹۶,۳	۹۵,۷۶	۹۷,۳
No. of cations per formula									
Si	۲,۶۷	۲,۶۸	۳,۱۴۷	۳,۱۵	۳,۰۵۱	۳,۰۴	۹,۰۶۸	۶,۰۹۳	۶,۰۰۴
Ti	۰,۰۵	۰,۰۵	۰,۰۰۴۱	۰,۰۰۴	۰,۰۰۱	۰,۰۰۱	۰,۰۰۰۵	-	۰,۰۰۶
Al	۱,۹۲	۱,۹۳	۲,۷	۲,۶۸	۱,۸۹	۱,۹۲۸	۱,۹۶۱	۱,۹۵۸	۱,۹۴۲
Fe ⁺	۱,۹۸	۲,۰۲	۰,۱۵۳۲	۰,۱۵۲	۲,۳۵	۲,۳۳	۰,۰۹۷	۰,۱۰۹	۰,۱۷۱
Mg	۰,۱۴۱	۰,۱۴۱	۰,۰۲۰۷	۰,۰۲۹	۰,۰۴۱	۰,۰۴۱	۰,۰۰۵	۰,۰۰۴	۰,۰۰۵
Mn	۰,۰۴	۰,۰۴۸	۰,۰۰۲۸	۰,۰۰۲	۰,۶۳	۰,۶۳۵	-	-	۰,۰۰۷
Ca	۰,۰۰۹	۰,۰۱۹	-	۰,۰۰۲	۰,۰۱۶	۰,۰۱۶	۰,۰۰۵	۰,۰۰۸	۰,۰۰۹
Be	-	-	-	-	-	-	۲,۷۸	۲,۷۱۴	۲,۸۵۶
K	۰,۸۸	۰,۸۷	۰,۸۲۸۲	۰,۸۷	۰,۰۳۵	۰,۰۳۸	۰,۰۰۰۴	۰,۰۱۳	۰,۰۰۶۸
Na	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۸۲۸	۰,۱۰۱	-	-	۰,۰۰۴۸	۰,۰۰۵۵	۰,۰۰۵۴
P	-	-	۰,۰۰۰۸۲	۰,۰۰۰۸	۰,۰۰۰۲	۰,۰۰۰۲	-	۰,۰۰۰۸	۰,۰۰۰۷
Trace elements (ppm)									
Ag	۲۹	۳۳	۹	۹	۳	۱	<۱	<۱	<۱
Ba	<۱۰	<۱۰	<۱۰	۱۰	<۱۰	<۱۰	<۱۰	<۱۰	<۱۰
Ce	۰,۶	۰,۳	۲,۰	۱,۲	۴۲,۴	۵۴,۸	۰,۴	۱,۰	۰,۸
Co	۲,۰	۲,۱	<۰,۵	<۰,۵	۱,۹	۱,۶	۱,۰	۰,۹	۱,۶
Cs	۵۶,۸	۵۶,۵	۶,۸	۶,۹	۲,۰	۱,۲	۱۱۱	۱۰۸	۱۲۳
Cu	۱۰	۱۱	۱۲	<۵	۲۴	۲۱	۲۲	۲۲	۳۹
Dy	<۰,۰۵	<۰,۰۵	۱,۱۲	۰,۳۵	۱۶۲	۱۶۷	۰,۱۱	۰,۰۳	۰,۱۶
Er	<۰,۰۵	<۰,۰۵	۰,۶۶	۰,۲۱	۱۹۶	۱۹۶	<۰,۰۵	۰,۰۹	<۰,۰۵
Eu	<۰,۰۵	<۰,۰۵	<۰,۰۵	<۰,۰۵	<۰,۰۵	<۰,۰۵	<۰,۰۵	<۰,۰۵	<۰,۰۵
Ga	۱۰۳	۱۰۱	۲۱۲	۲۱۴	۳۲	۳۲	۲۹	۲۸	۳۱
Gd	<۰,۰۵	<۰,۰۵	۰,۶۵	۰,۲۴	۲۶,۵	۲۸,۸	۰,۱۴	۰,۶۲	۰,۱۹
Hf	۱	<۱	۱	<۱	۷	۷	<۱	<۱	<۱
Ho	<۰,۰۵	<۰,۰۵	۰,۲۰	۰,۰۵	۴۲۷	۴۳۵	<۰,۰۵	<۰,۰۵	<۰,۰۵
La	۲,۶	۱,۶	۱,۹	۱,۶	۱۴,۹	۱۸,۹	۱,۲	۲,۴	۲,۲
Lu	<۰,۰۵	<۰,۰۵	۰,۱۵	<۰,۰۵	۵۹,۲	۵۹,۷	<۰,۰۵	<۰,۰۵	<۰,۰۵
Mo	۳	۳	<۲	<۲	<۲	<۲	۳	<۲	۴
Nb	۱۶۲۰	۱۷۱۰	۴۰۸	۴۰۹	۱۳۴	۴۴	۸	۷	۱۵
Nd	۰,۲	<۰,۱	۱,۱	۰,۶	۲۱,۵	۲۷,۰	۰,۲	۰,۵	۰,۴

ادامه جدول ۲

	۰.۲	<۰.۱	<۰.۵	۰	۱۱	۱۲	۱۵	۱۰	۱۷
Ni	۰.۲	<۰.۱	<۰.۵	۰	۱۱	۱۲	۱۵	۱۰	۱۷
Pr	<۰.۶	<۰.۰۵	۰.۲۸	۰.۱۵	۵۳۹	۶۷۵	<۰.۰۵	۰.۱۱	۰.۱۰
Rb	۲۴۸۰	۳۳۷۰	۱۶۳۰	۱۶۴۰	۶۳۷۴	۶۶۰	۲۰۰۶	۲۳۸	۱۵۹
Sm	<۰.۱	<۰.۱	۰.۴	۰.۱	۸۸	۱۰۸	<۰.۱	۰.۴	<۰.۱
Sn	۷۸	۷۸	۸۵	۸۷	۴	۳	۱	۱	۳
Sr	<۱۰	<۱۰	<۱۰	<۱۰	<۱۰	<۱۰	<۱۰	<۱۰	<۱۰
Ta	۹۲۰	۹۳۵	۱۴۴	۱۴۴	۷۹	۲۷	۱۹	۲۲	۴۲
Tb	<۰.۰۵	<۰.۰۵	۰.۱۴	<۰.۰۵	۱۲۷	۱۳۴	<۰.۰۵	۰.۱۰	<۰.۰۵
Th	۰.۲	<۰.۱	۲۵	۱۰	۳۶۳	۴۴۶	۰.۲	۰.۸	۰.۶
Tl	۹۰	۹۰	۲۵	۲۹	<۰.۵	<۰.۵	<۰.۵	<۰.۵	<۰.۵
Tm	<۰.۰۵	<۰.۰۵	۰.۱۲	<۰.۰۵	۴۲۰	۴۱۴	<۰.۰۵	<۰.۰۵	<۰.۰۵
U	۱۸۱	۱۴۳	۰.۷۹	۰.۲۷	۱۳۰	۱۷۰	۰.۱۲	۱۲۱	۰.۳۷
V	۱۱	۷	۸	۱۰	۸	۷	۹	۱۱	۱۲
W	۱۰	۹	۴۰	۳۳	۴	۳	<۱	<۱	<۱
Y	<۱۰	<۱۰	<۱۰	<۱۰	۱۱۲۰	۱۱۵۰	<۱۰	<۱۰	<۱۰
Yb	<۰.۱	<۰.۱	۱۳	۰.۵	۴۱۷	۴۱۷	<۰.۱	<۰.۱	<۰.۱
Zn	۵۶۸	۷۲۴	۸۲	۴۹	۹۱	۸۹	۷۹	۸۰	۶۷
Zr	۴۰.۸	۵۶	۱۷.۵	۷.۱	۱۳۰	۱۲۴	۲.۵	۴.۴	۱۰.۷



شکل ۶ (الف) ترکیب بیوتیت‌های آنالیز شده از پگماتیت مورد نظر [۲۲]، (ب) ترکیب شیمیابی بیوتیت‌های آنالیز شده [۲۳]. (پ، ت، ث) تعیین سری ماگما بر اساس ترکیب شیمیابی بیوتیت‌ها [۲۶]. بیوتیت‌های مورد بررسی در گستره‌ی پرآلومین قرار می‌گیرند.



شکل ۷ (الف) بلورهای گارنت جدا شده از منطقه‌ی دیواره‌ای پگماتیت. (ب) ترکیب گارنت‌های آنالیز شده در نمودار عنکبوتی گارنت‌های بهنجار شده با کندریت‌ها [۲۸] (ت) نمودار طیف XRD نمونه بریل برداشت شده از زون میانی پگماتیت، قله‌ی اضافی مشخص شده وجود ناخالصی در بریل را نشان می‌دهد.

دارند [۲۹]. در گارنت‌های موجود در پگماتیت‌ها که از نوع آلماندین- اسپسارتین هستند، مقدار بالای Y (۱۱۵۰ ppm)، Mn (۱۱۲۰)، ناشی از جانشینی این عنصر به جای Hf موجود در اسپسارتین است [۲۲]. همچنین مقدار عناصر (Y ppm)

با توجه به نمودار عنکبوتی وابسته به گارنت‌های آنالیز شده، مقدار عناصر HREE غنی شدگی شدیدتری نسبت به عناصر LREE نشان می‌دهند [۲۸] (شکل ۷ ب)، این یکی از ویژگی‌های ذاتی گارنت‌هاست که تمایل به تمرکز عناصر HREE

موسکوویت) این بریل‌ها مشابه بریل‌های موجود در لوکوگرانیت‌های کوه آنترو در کلرادوی آمریکا هستند [۳۲]. مقدار Cs اندازه‌گیری شده حدود (۱۰۸-۱۲۳ ppm) است، با توجه به شعاع یونی بالای این عنصر (۱۶/۷ nm)، در ساختار بریل تنها می‌تواند در کانال‌های باز ششگوشی موجود در شبکه جایگزین شود [۳۳]، مقدار عنصر (۹-۱۲ ppm V) است، این عنصر عامل ایجاد رنگ سبز در بریل است، V به همراه Ni جایگزین Al می‌شوند، مقدار عنصر Cu نیز (۲۲-۲۹ ppm) گزارش شده است، این عنصر می‌تواند جانشین Be در موقعیت چار وجهی بشود [۳۴].

۵-فلدسپات: با توجه به بررسی‌های میکروسکوپی بیشتر فلدسپات موجود در توده از نوع فلدسپار پتاسیم پرتیتی هستند، نتایج آنالیزهای صورت گرفته (جدول ۳) نیز موبد ناخالصی آلبیت در نمونه‌های فلدسپار پتاسیم است. درصدهای اجزای تشکیل دهنده‌ی این فلدسپات‌ها به صورت زیرند:

$$\text{Or} = ۶۰,۱\% \quad \text{Ab} = ۳۹,۹\% \quad \text{Kf}_1 \text{ نمونه } \text{ و }$$

$$\text{Or} = ۴۸,۶۹\% \quad \text{Ab} = ۵۱,۳۱\% \quad \text{Kf}_2 \text{ نمونه }$$

۶-کوارتز: در بررسی‌های میکروسکوپی، کوارتزهای موجود بیشتر دارای خاموشی موجی و بافت کاتاکلاستی هستند، که گواهی بر نیروهای زمین ساختی وارد شده در منطقه است. دو نمونه از کوارتزهای برداشت شده از منطقه مرکزی توده، مورد آنالیز شیمیایی شدند (جدول ۳). چنانکه مشاهده می‌شود درجه‌ی خلوص آن‌ها بسیار بالاست (درصد وزنی ۹۹,۸۲-۹۹,۶۷ % SiO₂). کوارتزهای موجود شامل کوارتز سفید و دودی هستند، رنگ دودی کوارتز احتمالاً ناشی از حضور Al در شبکه بلوری آن‌هاست [۲۲].

برداشت

در زون‌های مختلف دایک‌های پگماتیتی موجود در منطقه تبعو بافتی و کانی‌شناسی به روشنی دیده می‌شود. پیدایش کانی‌های جدید و حذف برخی کانی‌ها به سمت مرکز، منطقه‌بندی موجود در این پگماتیت‌ها را تایید می‌کند. این امر ناشی از تبلور جدایشی بود که با گذشت زمان باعث تغییر تدریجی در ترکیب گدازه‌ی سیلیکاتی و نامتعادل شدن آن نسبت به کانی‌های تبلور یافته قبلى می‌شود. وجود فلدسپار پتاسیم به صورت مجزا نشان دهنده‌ی جدایش پتاسیم از گدازه در فاز گازی در

-۱۳۰ ppm U(۱۳-۱۷ ppm) و (۳۶/۳-۴۴/۶ ppm) Zr (۱۲۴) در گارنت‌ها نسبت به کانی‌ها دیگر، غنی‌شدگی بیشتری نشان می‌دهد، که تمایل گارنت‌ها به انباست عناصر HFS را نشان می‌دهد.

مقدار بسیار اندک (Eu < ۰,۰۵ ppm) در همه‌ی کانی‌های آنالیز شده و عدم وجود پلازیوکلаз نوع آنورتیت در توده‌ی پگماتیتی نشان دهنده جانشینی این عنصر در پلازیوکلازهای غنی از آنورتیت در طول تبلور، قبل از مرحله‌ی پگماتیتی است [۳۰].

۴- بریل: این بلورها در نمونه‌ی دستی به رنگ سبز (بریل معمولی) تا آبی کمرنگ (آکوامارین) دیده می‌شوند. بریل‌های موجود در توده‌ی مورد نظر ابتدا با آزمایش XRD مورد شناسایی قرار گرفتند، قله‌های اضافی به دست آمده در این آنالیز وجود ناخالصی‌های احتمالی به صورت میانبار را در بریل نشان می‌دهد (شکل ۷ ت)، این ناخالصی‌ها در مقاطع میکروسکوپی نیز قابل مشاهده‌اند (شکل ۴ ث). سپس با بررسی‌های XRF، ICP-AES و ICP-MS ترکیب آن‌ها آنالیز شد. چون در آنالیزهای صورت گرفته مقدار عنصر بریلیم تعیین نمی‌شود، اندازه‌گیری عنصر یاد شده از سوی سازمان انرژی هسته‌ای بهروش جذب اتمی انجام شد، و مقدار عنصر Be برای ۳ نمونه بریل آنالیز شده (۴,۲۴-۴,۳۶-۴,۵۸ درصد وزنی) گزارش شده‌اند. با توجه به نتایج آنالیزها (جدول ۲) و فرمول عمومی بریل ترکیب آن‌ها به صورت زیرند:

فرمول عمومی بریل:



فرمول میانگین بریل‌های مورد بررسی:

(2.783Be + 0.005K + 0.054Na)(1.95Al + 0.007Ca + 0.125Fe + 0.004Mg + 0.0005Ti)(6.055Si)O₁₈

$$(Be, K, Na)_{3.33}(Al, Ca, Fe, Mg, Ti)_{2.08}(Si)_{6.055}O_{18}$$

 با توجه به مقدار اندک عناصر قلایی نظیر Li-_{0.2}O, Na₂O, K₂O در این بریل‌ها، بلورهای مربوطه نمی‌توانند خاستگاه گرمابی داشته باشند بلکه ناشی از تبلور ماءگما می‌هستند [۱۶, ۱۸]. تشکیل این بلورها نشان دهنده‌ی پیشرفت بیش از ۹۵ درصد جدایش در گدازه‌های گرانیتی و انباست بریلیم در گدازه‌ی باقی‌مانده است [۳۱]. از نظر شرایط تشکیل (تبلور از گدازه‌ی باقی‌مانده به صورت رگه‌ی پگماتیتی بریل‌دار) و کانی‌های همراه (پلازیوکلاز سدیک، بیوتیت و

عناصر Ga و W هستند که غنی شدگی نشان می‌دهند، در گارنتها نیز عناصر Y، Th، U، Hf، Zr غنی شدگی دارند و مقدار عناصر HREE نسبت به LREE در آن‌ها بالاست. در بریل نیز مقدار عناصر Cu، Ni، V، Cs غنی شدگی نشان می‌دهد. و مقدار Eu در تمامی کانی‌ها بسیار کم است؛ (ppm < ۰.۰۵). با توجه به عدم حضور پلاژیوکلاز نوع کلسیک در توده این نشان دهنده جانشینی این عنصر در پلاژیوکلازهای غنی از آنورتیت در طول تبلور، قبل از مرحله‌ی پگماتیتی است.

دماهای بالاتر و تشکیل توده‌ی مجزای مربوطه است. بیوتیت-های آنالیز شده‌ی توده از نوع سیدروفیلیت و گارنت‌ها از نوع آلماندین- اسپسارتین هستند. با توجه به اینکه در بریل‌های آنالیز شده غلظت عناصر قلیایی کم است، بنابراین دارای خاستگاه گرمابی نیستند و از جدایش ماقماً حاصل شده‌اند. مقایسه‌ی آنالیزهای صورت گرفته روی تک کانی‌ها، موید غنی شدگی و تهی شدگی برخی عناصر در کانی‌های مختلف است از جمله عناصر Ti، Ta، Ag، Zn، Rb و Nb در بیوتیت‌ها غنی شدگی نشان می‌دهند، در حالی‌که در مسکوویت‌ها این

جدول ۳ ترکیب اکسیدهای اصلی و کاتیون‌های آن‌ها در تعدادی از تک کانی‌های آنالیز شده به روش XRF. کاتیون‌ها در بیوتیت و مسکوویت بر مبنای ۱۱ اکسیژن، در بریل بر مبنای ۱۸ اکسیژن محاسبه شده‌اند. به علت پرتیتی بودن فلدسپات‌ها کاتیون‌های وابسته به این آنالیزها محاسبه نشده‌اند.

Sampel Oxide	Qtz1	Qtz2	Ms1	Ms2	Bt	Kf1	Kf2	Ber
	Major elements (Wt%)							
SiO ₂	۹۹,۸۲	۹۹,۶۷	۴۹,۹۵	۵۰,۶۷	۵۰,۵۶	۶۹,۹۳	۶۳,۰۸	۶۶,۶۹
TiO ₂	-	۰,۰۲	۰,۰۶	۰,۱۲۳	۰,۰۴	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۰۷
Al ₂ O ₃	-	۰,۳۱	۳۱,۳۱	۲۶,۱۱	۲۰,۹۷	۱۶,۸۷	۲۱,۷۴	۱۸,۳۵
Fe ₂ O ₃ *	۰,۰۶	۰,۰۲	۲,۵۳	۴,۵۵	۱۴,۵۸	۰,۱۵	۰,۱۳	۱,۰۷
MgO	۰,۰۱	۰,۱۴	۰,۱۹	۱,۴۱	۰,۲۵	-	۰,۰۱	۰,۰۰۱
MnO	-	۰,۰۱	-	۰,۰۴۴	۰,۴۱۵	-	-	۰,۰۰۶
CaO	۰,۱۳	-	۰,۵۷	۲,۷۱	۰,۵۰	۰,۰۲	۰,۰۹	۰,۰۴
BeO	-	-	-	-	-	-	-	۱۳,۳۵
K ₂ O	۰,۰۱	۰,۰۵	۹,۴۰	۷,۷۸	۷,۶۹	۹,۳۷	۱۰,۵۹	۰,۰۸
Na ₂ O	۰,۰۳	۰,۱	۲,۰۸	۱,۱۰	۲,۵۶	۲,۹۶	۳,۲۸	۰,۱۹
P ₂ O ₅	-	-	-	۰,۰۴۱	۰,۰۱۰	-	-	۰,۰۰۵
LOI	۰,۰۰۷	-	۳,۶۸	۶,۴۲	۱,۷۵	۰,۶۸	۰,۸۵	-
total	۱۰۰,۰۶۷	۱۰۰,۳۲	۹۹,۷۷	۹۸,۹۵۸	۹۹,۳۲۵	۹۹,۹۹	۹۹,۷۸	۹۹,۷۸۹
No. of cations per formula								
Si	۰,۹۹۶	۰,۹۹۳	۳,۳	۳,۰۱	۳,۵	-	-	۵,۹۸
Ti	-	۰,۰۰۰۱	۰,۰۰۰۱	۰,۰۱	۰,۰۰۲	-	-	۰,۰۰۰۴
Al	-	۰,۰۰۰۳	۲,۴۴	۱,۹۶	۱,۷	-	-	۱,۹۴
Fe	۰,۰۰۰۶	۰,۰۰۰۲	۳,۲۸	۲,۳۲	۲,۶۹	-	-	۰,۱۵۶
Mg	۰,۰۰۰۱۲	۰,۰۰۰۲	۰,۰۲	۰,۱۵	۰,۰۳	-	-	۰,۰۰۰۱
Mn	-	-	-	۰,۰۰۲	۰,۰۲	-	-	۰,۰۰۰۴
Ca	۰,۰۰۱۲	-	۰,۰۴	۰,۲	۰,۰۴	-	-	۰,۰۰۰۳
Be	-	-	-	-	-	-	-	۲,۸۸
K	۰,۰۰۱	۰,۰۰۲	۰,۷۹	۰,۶۹	۰,۶۸	-	-	۰,۰۰۸
Na	۰,۰۰۰۵	۰,۰۰۰۹	۰,۲۷	۰,۱۵	۰,۳۴	--	--	۰,۰۳۲۴
P	-	-	-	۰,۰۰۰۹	۰,۰۰۰۴	-	-	۰,۰۰۰۳

مراجع

- [13] Pitcher W.S., "The nature and origin of granite", Blackie academic, Glasgow (1993) 320p.
- [14] Jahns R.H., "The study of pegmatites", Econ. Geol 50 (1955) 1025-1130.
- [15] Kleck W.D., Foord E.E., "The chemistry, mineralogy, and petrology of George Ashley Block pegmatite body", Am. Mineral 84 (1999) 695-707.
- [16] Jahns R.H., Tuttle O.F., "Layered pegmatite-aplite intrusive", Miner.Soc. Am. 1 (1963) 78-92.
- [17] Rockhold J.R., Nabelek p.i., Glascock M.D., "Origin of rhythmic layering in the Calamity Peak satellite pluton of the Harney Peak Granite, South Dakota: the role of boron", Geochim. Cosmochim. Acta 51 (1987) 487-496.
- [18] Jahns R.H., "Internal evolution of pegmatite bodies", Mineralogical Association of Canada Short Course Handbook, vol. 8 (1982) 293-327.
- [19] London D., "The application of experimental petrology to the genesis and crystallization of granitic pegmatite", Can. Mineral 30 (1992) 499-540.
- [20] Webber K.L., Falster A.U., Simmons W.B., Foord E.E., "The role of diffusion-controlled oscillatory nucleation in the formation of line rock in pegmatite-aplite dikes", J. Petrol 38 (1997) 1777-1791.
- [21] Viana R.R., Jordt-Evangelista H., Stern W.B., "Geochemistry of muscovite from pegmatites of the Eastern Brazilian pegmatite provinc: a clue to petrogenesis and mineralization potential", Eur. J. Mineral 19 (2007) 745-755.
- [22] Deer W.A., Howie A., Zussman J., "An introduction to the rock-forming minerals", Long man, London (1991) 528p.
- [23] Forster H.J. Tischendorf G., "Reconstruction of the volatile characteristics of granitoidic magmas and hydrothermal solutions on the basis of dark micas: the hercynian post kinematic granites and associated high-temperature mineralizations of the Erzgebirge (G.D.R)", Chemie der Erde 49 (1989) 7-20.
- [۲۴] حسنی پاک ع.ا.. "اصول اکتشافات ژئوشیمیایی، انتشارات دانشگاه تهران (۱۳۸۱) ۶۱۵ ص.
- [25] Neiva A.M.R., Silva M.M.V.G., Gomes M.E.P., Campos T.F.C., "Geochemistry of coexisting biotite and muscovite of Portuguese
- [1] Jahns R.H., Burnham C.W., "Experimental studies of pegmatite genesis: I.A model for the derivation and crystallization of granitic pegmatites", Econ. Geol 64 (1969) 843-864.
- [2] London D., "Granitic pegmatites", Trans. Royal Soc. Edinb.: Earth Sci 87 (1996) 305-319.
- [3] Turner F.J., Verhoogen J., "Igneous and metamorphic petrology", CBS publisher, New Dehli (1987) 694p.
- [۴] شهاب پور ج، "زمین شناسی اقتصادی"، انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان، (۱۳۸۰) ۵۴۳ ص.
- [5] London D., "Granitic pegmatites: an assessment of current concepts and directions for the future", Lithos 80 (2005) 281-303.
- [۶] عمیدی س.م، "تحقیق سنگ شناسی آذین جنوب شهرستان قروه، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تهران، (۱۳۴۵) ۶۰ ص.
- [۷] حسینی م، "شرح نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چهار گوش قروه (پیوست نقشه)"، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی (۱۳۷۶).
- [۸] ترکیان ا، "مطالعه ماقماتیسم توده گرانویوریتی منطقه جنوبی قروه، پایان نامه دکتری، دانشگاه اصفهان (۱۳۸۷) ۱۳۵ ص.
- [۹] گردیده س، "پترولوری مجموعه آذین و دگرگونی منطقه مشیرآباد- تازه آباد (جنوب قروه- کردستان)"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بوعالی سینا (۱۳۸۹) ۱۵۴ ص.
- [۱۰] مجلل م، سهندی م.ر، "تمامی تکتونیکی پهنه سندج- سیرجان در نیمه شمال باختری و معرفی زیر پهنه‌های جدید در آن"، فصلنامه علمی پژوهشی علوم زمین، سال هشتم، شماره ۳۱-۳۲ (۱۳۷۸) ۴۹-۲۸.
- [۱۱] فرهانپور غ، "گزارش کار عملیات اکتشاف کانی بریل در معدن ابراهیم عطار، شرکت سیمین سنگ (۱۳۷۵) ۵۳ ص.
- [12] Mahmoudi Sh., 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 (2011) 238-249.

- [31] London D., Evensen J.M., “*Beryllium in Silicic magmas and the origin of beryl-bearing pegmatite*. In: Grew, E.S. (Ed.), *Beryllium: Mineralogy, Petrology, and Geochemistry*”, Mineralogical Society of America Review in Mineralogy and Geochemistry (2003) 455-486.
- [32] Evensen J.M., London D., “*Experimental silicate mineral/melt partition coefficients for beryllium and the crustal Be cycle from migmatite to pegmatite*”, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 12 (2002) 2239-2265.
- [33] Groat L.A., Giuliani G., Marshall D.D., Turner D., “*Emerald deposit and occurrence: A review*”, *Ore Geology Review* 34 (2008) 87-112.
- [34] Fang W., Zheng W.Ch., “*Studies of the spine-hamiltonian parameters and the defect structure for Cu⁺ at the rhombic Be⁺ site of beryl crystal*”, *Physica B* 404 (2009) 2025-2027.
- peraluminous granitic differentiation series”*, *Chem. Erde* 62 (2002) 197-215.
- [26] Abdel-Rahman A.M., “*Nature of biotites from alkaline, calc-alkaline and peraluminous magma*”, *J. Petrol* 35 (1994) 525-541.
- [27] Shearer C.K., Papike J.J., Simon S.B., “*Pegmatite wall-rock interaction, Black Hill, South Dakota: Interaction between pegmatite-derived fluids and quartz-mica schist wallrock*”, *Amer Mineral* 71 (1986) 518-539.
- [28] Boynton W.V., “*Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies*”, *Rare Earth Elements Geochemistry*. Elsevier, Amsterdam (1984) 63-114.
- [29] Copjakova R., Sulovsky, P., Paterson, B.A., “*Major and trace elements in pyrope- almandine garnets as sediments provenance indicators of the lower carboniferous culm sediments, Drahany Uplands, Bohemian Massif*”, *Lithos* 82 (2005) 51-70.
- [30] Thoni M., Miller Ch., “*Ordovician meta-pegmatite garnet (N-W Ötztal basement, Tayrol, Eastern Alps): preservation of magmatic garnet chemistry and Sm-Nd age during mylonitization*”, *Chemical Geology* 209 (2004) 1-26.