Archive of SID

سومین همایش ملی کوهشناسی و بلورشناسی انجمن بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران
۲۳-۲۲ آبان ۱۳۹۵
3rd National Symposium of Gemology and Crystallography of Iranian Society of Crystallography and Mineralogy
دانشگاه شهید بهشتی

# شواهد کلیدی اکتشاف گوهرهای خانواده بریل با استفاده از مطالعه پگماتیت‌های ایران

رسول شیخی قشلاقی*، دانشجوی دکتری پترولوژی، دانشگاه شهید بهشتی، rasoul sheikhi@yahoo.com

منصور قربانی، دانشیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

## چکیده:

در ۳۸ کیلومتری جنوب غربی شهر قروه و همچنین در جنوب شهر مشهد و در امتداد جاده نیشابور پگماتیت‌های بریل‌داری وجود دارد که ساختار منطقه‌ای و ترکیب کانی‌شناسی پیچیده دارند. این پگماتیت‌ها که محصول پیشرفت تبلور تفریقی ماگمای اولیه هستند، پرآلومین و از تیپ S می‌باشند. در این مطالعه از ویژگی‌های کانی‌شناسی و ژئوشیمی این پگماتیت‌ها برای دستیابی به شواهد اکتشافی گوهرهای خانواده بریل استفاده شده است. بر اساس این پژوهش پگماتیت‌های کم‌عمق با کانی‌شناسی پیچیده و درجه تفریق یافتگی بالا که دارای موسکوویت‌های سبز و درشت، گارنت نوع اسپسارتین و مقادیر بالای Cs و Li و مقدار پایین Fe هستند برای تشکیل گوهرهای خانواده بریل مستعد دانسته شده‌اند.

کلیدواژه: گوهر، بریل، پگماتیت، ایران، مشهد

## مقدمه

پگماتیت‌ها دایک‌های دانه درشتی هستند که معمولاً ترکیب گرانیتی دارند. اکثر ماگمای گرانیتی سرشار از سیال، غنی از عناصری هستند که در طی تبلور یک پلوتون وارد کانی‌های تشکیل دهنده سنگ نشده‌اند (B.R Frost and C.D Frost, 2014). این سنگ‌ها معمولاً مرتبط با گرانیت‌ها و سینیت‌ها می‌باشند، اما پگماتیت‌های گابرویی نزدیک حواشی توده‌های نفوذی مافیک نیز یافت می‌شوند (Gill, 2010).

یکی از جنبه‌های مهم مطالعه پگماتیت‌ها تشکیل کانی‌های گوهری از جمله گوهرهای خانواده بریل در آن‌هاست. گوهرهای این خانواده شامل زمرد، آکوامارین، گوشنیت، مورگانیت و هلیودور است.

کانی‌های خانواده بریل در طبیعت به سه صورت شکل می‌گیرند (حاج علیلو، ۱۳۸۶): ۱. در فازهای پنوماتولیتی و دمای بالای ۳۷۴ درجه سانتی‌گراد همراه با سنگ‌های آذرین پگماتیتی و گرانیتی. در این سنگ‌ها همراه با بریل کانی‌های کوارتز، فلدسپار، موسکوویت، توپاز، تورمالین، اسپودمن و لیپدولیت یافت می‌شود. ۲. در سنگ‌های دگرگونی مثل شیست‌ها که تحت تأثیر فشار و حرارت زیاد شکل گرفته‌اند. ۳. از محلول‌های هیدروترمال در حرارت کمتر از ۳۷۴ درجه سانتی‌گراد شکل می‌گیرند. مانند بریل‌های کلمبیا.



www.SID.ir

Archive of SID



همان‌طور که گفته شد یکی از محیط‌های تشکیل بریل پگماتیت‌ها است. بنابراین مطالعه و بررسی این سنگ‌ها می‌تواند شواهد کلیدی جهت اکتشاف بخش عمده‌ای از گوهرهای خانواده بریل را فراهم آورد. از این رو در این مقاله سعی شده که با استفاده از مطالعه ویژگی‌ها و خصوصیات پگماتیت‌های بریل‌دار ایران به تشخیص شواهد اکتشافی این گوهرها پرداخته شود که خود می‌تواند برای اکتشاف بریل در سایر پگماتیت‌های ایران به‌کار رود.

متأسفانه پگماتیت‌ها از دیدگاه منشأ تشکیل گوهرها در ایران چندان مورد مطالعه قرار نگرفته‌اند و از محدود مطالعاتی که در این زمینه صورت گرفته می‌توان به مطالعات شیخی قشلاقی و احمدی (۱۳۹۴) اشاره کرد که بر روی پگماتیت‌های میکا - سافایردار جنوب همدان انجام شده است. پژوهش نامبردگان نشان می‌دهد که پگماتیت‌های مورد مطالعه ترکیب سینیتی دارند. همچنین این سنگ‌ها از لحاظ درجه اشباع از آلومین، پرآلومین و تیپ S می‌باشند. این پگماتیت‌ها که در محیط‌های همزمان با برخورد حاصل شده‌اند از نوع عمیق هستند که خود دلیلی بر درشت بودن سافایرهای تشکیل شده است.

سایر مطالعات انجام شده در ایران بیشتر بر روی ژئوشیمی و ترکیب کانی‌شناسی پگماتیت‌ها بوده است. از آن جمله می‌توان به مطالعات سپاهی گرو و همکاران (۱۳۹۳) اشاره کرد که ژئوشیمی تورمالین‌های موجود در دایک‌های پگماتیتی مجموعه پلوتونیک الوند را مطالعه کرده‌اند و معتقدند که این تورمالین‌ها دارای ترکیب شورل دراویت هستند. همچنین احمدی بنکدار و احمدی (۱۳۹۲) ترکیب تورمالین در پگماتیت‌های چاه رویی واقع در جنوب غربی نهبندان را مورد مطالعه قرار داده‌اند و اعتقاد دارند که ترکیب این تورمالین‌ها شورل- دراویت است. افزون بر آن احمدی خلجی و طهماسبی (۱۳۹۴) شیمی گارنت در پگماتیت‌های منطقه همدان را بررسی کرده‌اند و نشان داده‌اند که ترکیب این گارنت‌ها از نوع آلماندن و به مقدار کمتر اسپسارتین می‌باشد. اما مهمترین مطالعاتی که در این زمینه انجام شده مطالعات صمدی و همکاران (۱۳۹۴) و دیدار و همکاران (۱۳۹۳) بر روی پگماتیت‌های بریل‌دار جنوب مشهد و سلامی (۱۳۹۰) بر روی پگماتیت‌های بریل‌دار ابراهیم عطار است.

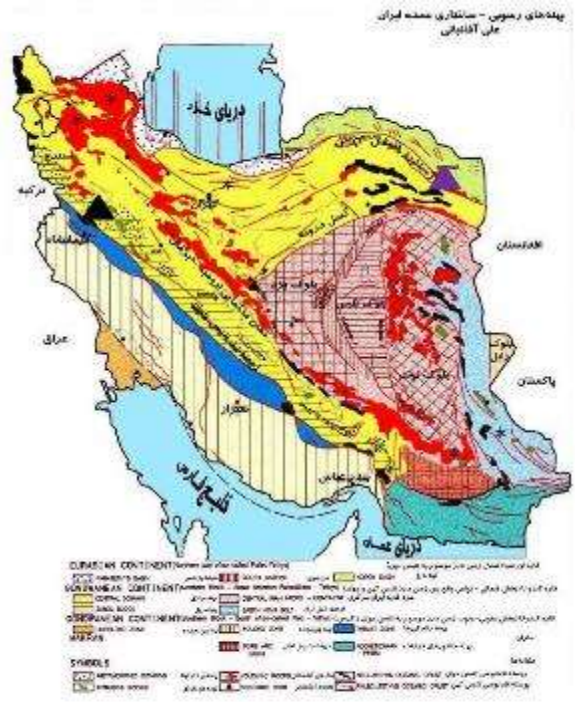
به‌طور کلی مهمترین پگماتیت‌های بریل‌دار ایران در جنوب شهر مشهد و جنوب شرقی کردستان (ابراهیم عطار واقع در جنوب غرب شهر قروه) متمرکز شده‌اند (شکل ۱) که در زیر به سنگ‌نگاری و زمین‌شناسی آن‌ها می‌پردازیم.



www.SID.ir

Archive of SID






شکل ۱. نقشه پهنه‌های ساختاری-رسوبی ایران و موقعیت جغرافیایی مهمترین پگماتیت‌های بریل‌دار بر روی آن (آقانباتی، ۱۳۸۳). مثلث بنفش: پگماتیت‌های بریل‌دار جنوب مشهد. مثلث مشکی: پگماتیت‌های بریل‌دار ابراهیم عطار

## پگماتیت‌های ابراهیم‌آباد (جنوب شرقی کردستان)

این پگماتیت‌ها در جنوب شرقی استان کردستان و در ۳۸ کیلومتری جنوب غربی شهر قروه واقع شده‌اند. این دایک‌های پگماتیتی با راستای شمال غربی- جنوب شرقی، در طول کوه ابراهیم عطار کشیده شده‌اند. در حاشیه پگماتیت‌ها یک لایه‌ی سفید و خالص دولومیتی، با ضخامت ۱۰ الی ۱۵ متر وجود دارد که دایک‌های پگماتیتی مورد نظر در آن نفوذ کرده‌اند. بین دولومیت‌ها و دایک‌های پگماتیتی یک لایه اسکارن اپیدوتی سبز رنگ با ضخامت ۱ تا ۲ متر تشکیل شده است که حاصل فعل و انفعال توده پگماتیتی و دولومیت‌های منطقه در زمان جایگیری است. کانی‌های موجود در این توده پگماتیتی شامل کوارتز، فلدسپار پتاسیم، پلاژیوکلاز، بیوتیت، موسکوویت، گارنت و بریل است. در قسمت جنوب غربی معدن در کنتاکت سنگ‌های غنی از فلدسپات سدیک و پتاسیک رگه‌ای بریل‌دار به صورت دایک با ضخامت ۲۵ الی ۳۵ سانتی‌متر، طول ۵۰ متر، شیب قائم و امتداد شمالی- جنوبی تشکیل شده است. با توجه به بررسی‌های ماکروسکوپی و میکروسکوپی و براساس تغییرات بافت و کانی‌شناسی که از حاشیه به مرکز توده دیده می‌شود، می‌توان توده پگماتیتی مورد بررسی را به چهار منطقه‌ی دیواره‌ای، حاشیه‌ای، میانی و مرکزی تقسیم کرد. هر چه به مرکز این دایک‌های پگماتیتی نزدیک‌تر می‌شویم



www.SID.ir

Archive of SID



دانه‌بندی درشت‌تر و تمرکز کوارتز و فلدسپات بیشتر و در عوض از تمرکز میکا کاسته می‌شود. مقدار پایین (La/Yb)N در این پگماتیت‌ها نشان‌دهنده پیشرفت تبلور جدایشی در ماگمای اولیه است. بر اساس مطالعات ژئوشیمی این پگماتیت‌ها در دسته‌ی پگماتیت‌های موسکوویت‌دار حاوی عناصر کمیاب (MSREL) قرار می‌گیرند (سلامی، ۱۳۹۰).

## پگماتیت‌های جنوب مشهد

پگماتیت‌های مورد مطالعه در بخش جنوبی شهر مشهد و در امتداد جاده نیشابور قرار دارند. این پگماتیت‌ها را با توجه به مطالعات سنگ‌نگاری می‌توان به ۷ رخساره زیر رده‌بندی کرد (دیدار و همکاران، ۱۳۹۳):

۱- کوارتز + فلدسپار پتاسیک (ارتوکلاز + میکروکلین) + پلاژیوکلاز + مسکوویت + لپیدولیت + بیوتیت. ۲- کوارتز + فلدسپار پتاسیک (ارتوکلاز + میکروکلین) + پلاژیوکلاز + مسکوویت + لپیدولیت + بیوتیت + تورمالین. ۳- کوارتز + فلدسپار پتاسیک (ارتوکلاز + میکروکلین) + پلاژیوکلاز + مسکوویت + لپیدولیت + تورمالین. ۴- کوارتز + فلدسپار پتاسیک (ارتوکلاز + میکروکلین) + پلاژیوکلاز + مسکوویت + لپیدولیت + تورمالین + گارنت. ۵- کوارتز + فلدسپار پتاسیک (ارتوکلاز + میکروکلین) + پلاژیوکلاز + مسکوویت + لپیدولیت + گارنت. ۶- کوارتز + تورمالین ± مسکوویت. ۷- کوارتز + فلدسپار پتاسیک (ارتوکلاز + میکروکلین) + پلاژیوکلاز + مسکوویت + بریل (سبز تا آبی). لازم به ذکر است که همه‌ی میکاها و موسکویت‌های این پگماتیت‌ها به رنگ سفید- نقره‌ای تا سبز کمرنگ هستند (دیدار و همکاران، ۱۳۹۳).

بافت رخساره‌های بالا همه پگماتوئیدی و پورفیریتیک بوده و در همه رخساره‌ها به استثنای رخساره ۶ بافت میرمکیتی و پرتیتی (زمینه فلدسپار پتاسیک همراه با رگه های پلاژیوکلاز در آن) دیده می‌شود (دیدار و همکاران، ۱۳۹۳). به عقیده صمدی و همکاران (۱۳۹۴) هم پگماتیت‌های نوع ساده و بدون ساختمان درونی و دارای کانی‌شناسی ساده و هم پگماتیت‌های پیچیده با کانی‌شناسی پیچیده و ساختار منطقه‌ای در ناحیه وجود دارند. پگماتیت‌های مورد مطالعه براساس رده‌بندی Cerny (1995) از نوع LCT هستند و به‌شدت پرآلومین می‌باشند. همچنین بیشتر رخساره‌های پگماتیتی نسبت Mg/Li برابر ۰/۲ تا ۱۰ دارند و هر چه از مقدار نسبت Mg/Li کمتر می‌شود بر مقدار لیتیم نیز افزوده می‌شود. افزون بر آن بر اساس مطالعات ژئوشیمی همه گارنت‌های منطقه از نوع آلماندن - اسپسارتین هستند. میزان منیزیم و کلسیم این گارنت‌ها بسیار پایین و در حد صفر است، بدین ترتیب این گارنت‌ها و در نتیجه پگماتیت‌ها، تفریق یافتگی به نسبت متوسطی داشته و با سنگ‌های مافیک پیرامون آلودگی نشان نمی‌دهند. در نمودار K/Rb-Cs ارائه شده توسط Cerny (1989a) برای تعیین پتانسیل اقتصادی پگماتیت‌ها برای عناصر بریلیم، بریلیم-لیتیم و لیتیم-سزیم- بریلیم-تانتالیم، همان‌گونه که دیده می‌شود تنها برخی از نمونه‌های فلدسپاری رخساره‌های «کوارتز + فلدسپار پتاسیک + پلاژیوکلاز + مسکوویت + لپیدولیت + گارنت» و «کوارتز + فلدسپار پتاسیک + پلاژیوکلاز + مسکوویت + لپیدولیت + بیوتیت» که از نظر سزیم دارای بیشترین

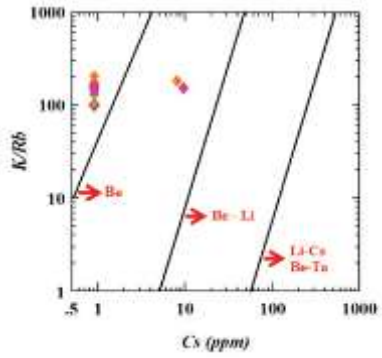


www.SID.ir

Archive of SID



مقادیر بودند در محدوده کانه‌زایی بریلیم واقع شده و ارزش اقتصادی دارند (شکل ۲). لازم به ذکر است که فلدسپارهای پتاسیک این دو رخساره سفید رنگ و درشت هستند، درحالی‌که فلدسپار پتاسیک سایر رخساره‌ها سفید رنگ و متوسط دانه و یا صورتی و درشت دانه است. همچنین طبق تجزیه XRD این پگماتیت‌ها دارای تورمالین نوع شورل (به رنگ سیاه)، البائیت (به رنگ سبز تیره مایل به سیاه) و دراویت (قهوه‌ای مایل به سیاه) هستند (دیدار و همکاران، ۱۳۹۳).
مطالعات صمدی و همکاران (۱۳۹۴) بیانگر این مطلب است که این پگماتیت‌ها مرتبط با مونزوگرانیت‌های نوع S و محصول تفریق مذاب در مراحل پایانی تبلور هستند که در کمربند برخورد قاره‌ای تشکیل شده‌اند.




شکل ۲. نمودار K/Rb-Cs Cerny (1989a) و موقعیت نمونه‌های مورد مطالعه بر روی آن برای تعیین پتانسیل اقتصادی فلدسپارهای درون پگماتیت‌های جنوب مشهد (دیدار، ۱۳۹۳). لوزی نارنجی: رخساره ۱. لوزی صورتی: رخساره ۵. لوزی سبز: رخساره ۴. لوزی آبی: رخساره ۳

## بحث و بررسی

سه محیط اصلی تشکیل بلورهایی با کیفیت گوهری در پگماتیت‌ها عبارتند از (Simmons et al, 2013): ۱. بلورهای متبلور شده در کوارتز توده‌ای یا فلدسپار موجود در هسته یا حاشیه هسته پگماتیت: گوهرهایی مانند آکوامارین و تورمالین در این منطقه تشکیل می‌شوند. ۲. بلورهای حواشی واکنشی اطراف پگماتیت‌ها که درون سنگ‌های مافیک نفوذ کرده‌اند: مانند زمرد و الکساندریت در ذخایر نوع اورال. همچنین به عقیده Brand et al (2009) برلیم مورد نیاز برای ظهور زمرد در اُنتاریوی کانادا از واحد ماگمایی سرچشمه گرفته درحالی‌که منشأ کروم پریدوتیت آلتره شده و کلریت شیست است. ۳. بلورهای موجود در حفرات میارولیتی: مانند انواع بریل، اسپسارتین، اسپودمن، توپاز و تورمالین.

اگر غلظت مواد فرار، به خصوص $H_2O$ در مذاب باقی مانده از حد مجاز قابلیت انحلال آن تجاوز کند، سیالات آبدار در مذاب نامحلول می‌شوند و تشکیل میارول‌ها و حفرات اولیه رواج پیدا می‌کند. بلورهای تقریباً خالص با کیفیت گوهری کانی‌های سیلیکاته B-Li-Be و F (به‌همراه دیگر کانی‌های غیرگوهری) در این حفرات به‌عنوان محصولات نهایی تبلور تشکیل می‌شوند (Simmons et al, 2003; London 2008). در این باره Cerny (2000) سه اصل مکانیسمی که جدایش سیال آبدار فوق



www.SID.ir

Archive of SID



بحرانی را از مذاب پگماتیتی رواج می‌دهد، مورد بحث قرار داده است: ۱. کاهش فشار در ماگمای صعودی ۲. تبلور جزء به جزء طی انجماد در فشار یکسان و ۳. تهی‌شدگی مذاب از B, F , P و Li توسط تبلور کانی‌های حاوی این عناصر (تهی شدگی شیمیایی). بنابراین با توجه به این مطالب پگماتیت‌های کم‌عمق و همچنین پگماتیت‌هایی که درجه تفریق یافتگی بالایی دارند در تشکیل گوهرهای خانواده بریل از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. این افزایش درجه تفریق یافتگی موجب تغییر رنگ و اندازه در بعضی از کانی‌ها خواهد شد که از آن می‌توان به‌عنوان شواهد اکتشافی استفاده کرد. به‌عنوان مثال موسکویت در پگماتیت بارور از لحاظ عناصر کمیاب، درشت و سبز رنگ است. در پگماتیت بسیار تفریق یافته موسکویت سبز ممکن است دارای هاله‌ای از لیپدولیت بنفش باشد Cerny (1989a). همچنین با افزایش درجه تفریق ترکیب تورمالین از شورل (سیاه) به‌سوی البائیت (صورتی، سبز و آبی) می‌رود (London, 1999).

افزون بر مطالب گفته شده در بالا به اعتقاد Cerny et al (2012) به غیر از مورگانیت که تنها در پگماتیت‌های خانواده LCT یافت می‌شود، سایر گوهرهای خانواده بریل در هر دو خانواده LCT و NYF تشکیل می‌شوند.

## نتیجه‌گیری

با توجه به مطالب آورده شده در این مقاله، بر اساس عمق تشکیل پگماتیت‌های کم‌عمق، براساس تقسیم‌بندی کانی‌شناسی پگماتیت‌های پیچیده با کانی‌شناسی و ساختار منطقه‌ای دارای پتانسیل بالایی برای تشکیل گوهرهای خانواده بریل هستند. همچنین پگماتیت‌هایی که داخل سنگ‌های آذرین و دگرگونی مافیک نفوذ کرده‌اند از لحاظ تشکیل این گوهرها از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. افزون بر آن این گوهرها در پگماتیت‌های هر دو خانواده NYF و LCT قابل اکتشاف می‌باشند. همچنین شواهد کانی‌شناسی و ژئوشیمی زیر می‌تواند حاکی از درجه تفریق بالا و وجود کانی‌های غنی از عناصر ناسازگار مانند بریل در پگماتیت‌ها باشد: ۱. وجود آلکالی فلدسپات‌های درشت و مایل به سفید. ۲. دارا بودن موسکوویت‌های سبز رنگ و درشت. ۳. وجود لیپدولیت. ۴. وجود گارنت نوع اسپسارتین. ۵. دارا بودن تورمالین نوع البائیت. ۶. نسبت Mg/Li بالا. ۷. مقدار Cs بالا. ۸. فقیر بودن از Fe و غنی بودن از Li

## منابع

آقانباتی، ع، ( ۱۳۸۳)، زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ ص.

احمدی بنکدار، س.، احمدی، ع.، (۱۳۹۲)، ترکیب تورمالین در پگماتیت‌های چاه رویی، جنوب غربی نهبندان، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره ۳، ۵۴۹-۵۶۰.



www.SID.ir

Archive of SID



احمدی خلجی، الف.، طهماسبی، ز.، (۱۳۹۴)، شیمی کانی گارنت در پگماتیت‌ها و سنگ‌های دگرگونی منطقه همدان، مجله زمین‌شناسی اقتصادی، جلد ۷، شماره ۲، صفحه ۲۴۳ - ۲۵۸.

حاج علیلو، ب.، (۱۳۸۶)، گوهرشناسی، انتشارات پیام نور، ۳۴۰ صفحه.

دیدار، پ.، نظافتی، ن.، امامی، م.، سلگی، ع.، (۱۳۹۳)، زمین‌شناسی و کانی‌شناسی پگماتیت‌های جنوب مشهد با نگرشی ویژه بر کانی‌سازی لیتیم، مجله علوم زمین، شماره ۹۴، صفحه ۲۰۹-۲۱۸.

سپاهی گرو، ع.الف.، سلامی، ص.، تبریزی، م.، (۱۳۹۳)، ژئوشیمی تورمالین‌های موجود در دایک‌های پگماتیتی و آپلیتی مجموعه پلوتونیک الوند و سنگ‌های دگرگون منطقه همدان، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، سال بیست و دوم، شماره سوم، صفحه ۴۹۵ - ۵۰۶.

سلامی، ص.، (۱۳۹۰)، مطالعه پگماتیت‌های منطقه ابراهیم عطار، (جنوب قروه)، با تأکید بر انواع بریل، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بوعلی سینا.

شیخی قشلاقی، ر.، احمدی، م. ه.، (۱۳۹۴)، ویژگی‌های پگماتیت جنوب همدان: با نگرشی بر مطالعات گوهرشناسی سافایرها، مجله ژئوشیمی، سال چهارم، شماره سوم، صفحه ۲۶۹ - ۲۸۲.

صمدی، ر.، شیردشت زاده. ن.، کاواباتا، ه.، (۱۳۹۴)، سنگ‌نگاری و خاستگاه دایک‌های آپلیت -پگماتیت و گرانیتوئید خواجه‌مراد (جنوب خاوری مشهد، ایران)، فصلنامه علوم زمین، سال بیست و پنجم، شماره ۹۷، صفحه ۴۹ - ۶۰.

Brand, A.A, Groat, L.A., Linnen, R.L., Garland, M.A., Breaks, F.B., Giuliani, G., (2009), Emerald mineralization associated with Mavis Lake pegmatite group, near Dryden, Ontario, The Canadian Mineralogist, 47: 315-336.

Cerny, P., (1989a), Mineralogy of Rubidium and Cesium. In: Cerny, P. (ed.) Anatomy and classification of granitic pegmatite in Science and Industry, Mineralogical Assoc, Of Canada, Short Course Handbook, 8: 1-39.

Cerny, P., (2000), Constitution, petrology, affi liations and categories of miarolitic pegmatites. In: Pezzotta F (ed) Mineralogy and Petrology of Shallow Depth Pegmatites, Memorie della Società Italiana di Scienze.

Cerny P., London, D., Novak, M., (2012), Granitic pegmatites as refl ections of their sources, Elements 8: 289-294.

Frost, B.R. & Frost, C.D., (2014), Essentials of igneous and metamorphic petrology, Cambridge university press, 303p.

Gill, R., (2010), Ignous rocks and processes:practical guide, Wily-Blachwell,472p.



www.SID.ir

Archive of SID



London, D., (1999), Stability of tourmaline in peraluminous granite systems: the boron cycle from anatexis to hydrothermal aureoles. Invited keynote lecture for special issue on tourmaline, proceedings of Tourmaline 1997 (Czech Republic), European Journal of Mineralogy, 11, 253-262. Naturali edel Museo Civico di Storia Naturale di Milano, 30: 5-12.

London, D., (2008), Pegmatites, Canadian Mineralogist, speciall publication 10.

Simmons, W.B, Webber, K.L, Falster, A.U, Nizamoff, J.W, (2003), Pegmatology: Pegmatite Mineralogy, Petrology and Petrogenesis, Rubellite Press, New Orleans, LA, 176p.

Simmons, W. B., Pezzotta, F., Shigley, J. E. and Beurlen, H., (2013), Granitic pegmatites as sources of colored gemstones, Elements, 8: 281-287.

www.SID.ir