

بررسی شیمی فلدسپار پتاسیم و میکاها در پگماتیت ابراهیم عطار، واقع در جنوب غرب قروه، استان کردستان

مریم محمدی زاده*^۱، سید حسین مجتهدزاده^۱، فریماه آیتی^۲

۱- گروه مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

۲- گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام نور، ایران

(پژوهشی)

پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۳/۱۹ تأیید نهایی مقاله: ۱۴۰۱/۹/۲۶

چکیده

پگماتیت ابراهیم عطار که در ارتباط با توده‌ی نفوذی مشیرآباد تشکیل شده است با تمرکزهایی از بریل همراه است. در این مقاله، کانی‌های فلدسپار پتاسیم، موسکوویت و بیوتیت در زون‌های حاشیه‌ای این پگماتیت توسط ریزکاو الکترونی آنالیز شده و ترکیب شیمیایی آن‌ها، شامل اکسیدهای اصلی و برخی عناصر کمیاب از قبیل Rb, Sr, Ba, F, Cs, Ta, Cl، با هدف بررسی فرآیندهای موثر بر تمرکز کانی‌ها و تعیین میزان تفریق ماگمای مادر مورد بررسی قرار گرفته است. محتوی پایین Rb و Cs و نسبت K/Rb بالا گواه این است که درجه تفریق ماگمای مادر در بخش حاشیه بسیار پایین بوده است. همچنین، طبق نمودار K/Rb در برابر Rb، تبلور بیوتیت در مراحل پایانی تشکیل موسکوویت اتفاق افتاده است که می‌تواند دال بر واکنش ماگما با مواد مافیک واقع در مسیر باشد. در کانی‌های مورد مطالعه از فلدسپار پتاسیم تا بیوتیت، مقدار سیلیس و اکسیدهای پتاسیم و سدیم سیر کاهشی و مقدار اکسیدهای آهن، منیزیم، کلسیم، منگنز و تیتان سیر افزایشی داشته است. عدم حضور کانی‌های آلومینیوم‌دار متداول مانند تورمالین و یا گارنت در زون حاشیه پگماتیت ابراهیم عطار، گواه این است که محتوای آلومینیوم در ماگمای مولد بالا نبوده است. تانتالیم تنها در ساختار فلدسپار پتاسیم و میکاها جای گرفته و کانی‌های متداول میزبان آن تشکیل نشده‌اند.

واژه‌های کلیدی: پگماتیت ابراهیم عطار، پگماتیت نوع لیتیم-سزیم-تانتالیم، شیمی کانی (فلدسپار پتاسیم، موسکوویت و بیوتیت)، کانی‌سازی بریل.

مقدمه

پگماتیت‌های بارور منابع اولیه و اقتصادی عناصر کمیاب هستند (Gunn, 2014) که با توده گرانیتی مادر ارتباط ژنتیکی دارند و در فاصله تا ده کیلومتری از آن تشکیل می‌شوند (Breaks and Tindle, 1997; Cerny et al, 2012). این واحدهای گرانیتی درشت‌دانه براساس نوع کانی‌سازی، توسط سرنی (Cerny, 1989)، به دو گروه حاوی لیتیم - سزیم - تانتالیم (LCT) و حاوی نیوبیم - ایتریم - فلوئور (NYF) تفکیک شده‌اند. گروه اول می‌تواند غنی از عناصر کمیابی از قبیل بریلیم، لیتیم، تانتالیم، نیوبیم و یا سزیم باشند، در حالی که گروه دوم مستعد میزبانی کانی‌سازی‌های نیوبیم، ایتریم، فلوئور، اورانیم، توریم و یا عناصر نادر خاکی هستند (Cerny and Meintzer, 1988; Cerny, 1989 and) (Ercit, 2005; 1991). پگماتیت‌های نوع LCT عموماً ماهیت پرآلومین تا بسیار پرآلومین دارند، از نوع S و در مواردی I هستند (Selway et al, 2005) و در حوالی توده‌های گرانیتی‌ایی که در محل برخورد دو پوسته‌ی قاره‌ای و از ذوب سنگ‌های رسوبی یا آذرین موجود از قبل در پوسته تشکیل شدند، یافت می‌شوند (Barbarin, 1999). این نوع پگماتیت‌ها، دارای ترکیب کانی‌شناسی مشابه موسکوویت گرانیت شامل کوارتز، فلدسپار پتاسیم، به مقدار کمتری پلاژیوکلاز و بیوتیت هستند و کانی‌های آلومینیوم‌دار از قبیل گارنت، موسکوویت و نیز تورمالین در آن‌ها فراوان است. فراوانی موسکوویت بر بیوتیت غالب است. آپاتیت، زیرکن و به مقادیر خیلی کمتر مونازیت، ایلمنیت و آلانیت از دیگر کانی‌های فرعی در این نوع پگماتیت‌ها هستند. کانی‌های اقتصادی براساس فاصله واحد پگماتیتی از توده گرانیتی مادر دارای زون‌بندی بوده و به ترتیب شامل بریل، کانی‌های نیوبیم - تانتالیم‌دار مانند تانتالیت، کلمبیت، پیروکلر و

میکرولیت، کانی‌های لیتیم‌دار از قبیل اسپودمن و پتالیت و کانی حاوی سزیم یعنی پلوسیت می‌باشند (Breaks and Tindle, Selway et al, 2005) (1997, 2003 and 2005). کانی‌های فلدسپار پتاسیم و میکاها شامل موسکوویت و بیوتیت، نه تنها در ترکیب کانی‌شناسی گرانیت عقیم بلکه در گرانیت بارور و پگماتیت حاوی عناصر کمیاب نیز حضور دارند. این کانی‌ها می‌توانند میزبان عناصر کلیدی از قبیل Rb, Sr, Ba, Li, Cs, F, Sn, Zn, Sc, Nb و Ta باشند (Deer et al, 2003). ناهنجاری در مقدار این گروه از عناصر، ابزار اکتشافی خوبی جهت شناسایی واحدهای گرانیتی بارور از عقیم است (Ercit, 1992, 2003 and 2003; Selway et al, 2005). به علاوه، نسبت K/Rb و میزان عناصری شامل Rb, Li, Cs, F, Sn و Zn در کانی‌های مذکور، شاخص‌های مفیدی برای تعیین درجه تفریق مذاب گرانیتی است (Foord et al, 1995; Wise 1995; Pesquera et al, 1999). این کانی‌ها، همچنین، برای طبقه‌بندی و مطالعه ژنز پگماتیت‌ها استفاده می‌شوند؛ زیرا ترکیب شیمیایی، تنوع رنگ و اندازه بلور آن‌ها مشخصه نوع پگماتیت‌ها و مراحل مختلف تحولات مذاب گرانیتی هستند (Cerny and Burt, 1984; Larens, 2002; Selway et al, 2005; Marchal et al, 2014; Rosing-Schow et al, 2018). مطالعه پتانسیل عناصر کمیاب و شاخص‌های ژئوشیمیایی پگماتیت‌های نوع LCT، اولین بار و به صورت گسترده توسط سرنی در سال‌های ۱۹۸۸ و ۱۹۸۹ میلادی (Cerny, 1988 and 1989) صورت گرفت. پس از آن، بریکس و همکاران در سال‌های ۱۹۹۷، ۲۰۰۱ و ۲۰۰۳ (Breaks et al, 2001 and 2003) تیپیک‌ترین پگماتیت‌های LCT جهان یعنی پگماتیت‌های ایالت سوپریور، واقع در آنتاریو، را بررسی کردند. اهمیت اقتصادی و ژئوشیمیایی سیستم‌های گرانیت-پگماتیت بارور از عناصر کمیاب موجب شد پژوهشگران به بازنگری

فرآیندهای موثر بر تمرکز کانی‌ها و تعیین میزان تفریق ماگمای مادر مورد اندازه‌گیری قرار گرفته است. این در حالی است که طی دو دهه گذشته، بررسی ترکیب شیمی کانی‌های تشکیل شده در واحدهای گرانیتی رخ داده در پهنه‌های رسوبی-ساختاری ایران، با هدف مطالعه پتروگرافی، ژئوشیمی نظری و پتروژنز این گرانیت‌ها صورت گرفته است و در زمینه رفتار ژئوشیمیایی عناصر اصلی و کمیاب در کانی‌های شاخص و تأثیر آن بر کانی‌سازی عناصر استراتژیک در خود گرانیت‌ها مقاله‌ای منتشر نشده است.

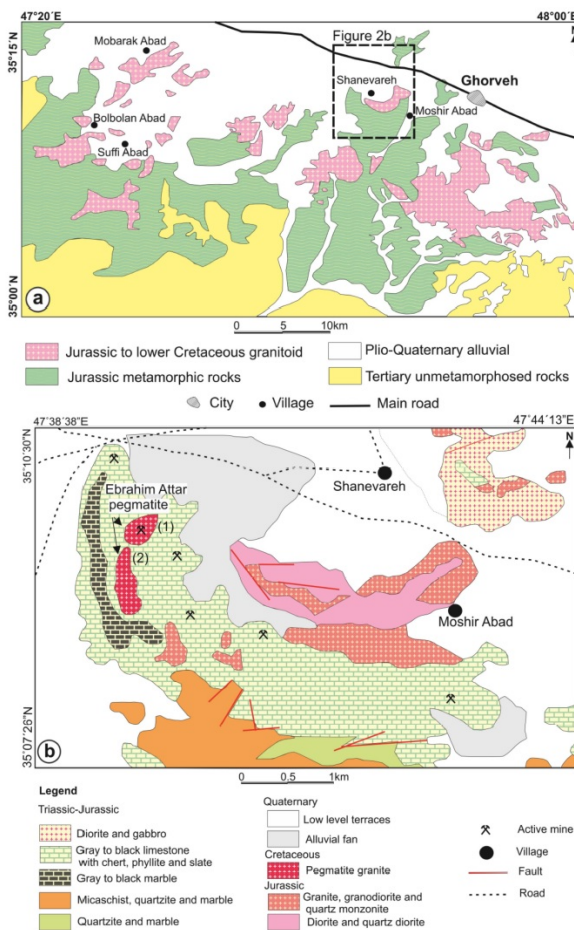
منطقه مورد مطالعه

پگماتیت ابراهیم عطار به صورت رخنمون‌هایی با ابعاد کوچک، طول ۷۰۰ متر و عرض ۲۰۰ متر، در فاصله چند کیلومتری از غرب توده نفوذی مشیرآباد، واقع در جنوب غرب قروه و نواحی شمال-غربی زون سنندج-سیرجان، تشکیل شده (شکل-های ۱ و ۲) و در واحدهای کربناته‌ی تریاس-ژوراسیک شامل مرمیت سفید تا کرم رنگ و مرمیت خاکستری تا تیره رنگ نفوذ کرده است. مرمیت‌های روشن استخراج شده‌اند. در حالی که، مرمیت‌های تیره به علت عدم قواره‌دهی مورد بهره‌برداری قرار نگرفته‌اند. واحدهای آذرین توده مشیرآباد شامل دیوریت، مونزودیوریت، کوارتزیدیوریت، کوارتزمونزودیوریت، گرانودیوریت-تونالیت (بخش حجیم توده)، گرانیت و و دایک‌های میکرودیوریتی هستند (آلیانی و همکاران، ۱۳۹۶). همچنین، میانبارهایی با ماهیت میکروتونالیت-میکروگرانودیوریت، ناشی از انجماد سریع ماگمای مادر، در حاشیه توده و داخل واحد تونالیتی-گرانودیوریتی تشکیل شده است (Sepahi et al, 2012) (شکل ۱). توده نفوذی مشیرآباد طی ماگماتیسیم متالومین تا کمی پراآلومین نوع I

و جمع‌بندی مطالعات انجام شده در این زمینه بپردازند. از جمله آن‌ها می‌توان به مقالات مروری سلوای و همکاران (Selway et al, 2005) در زمینه گرانیت‌های بارور نوع LCT، ارکیت (Ercit, 2005) درباره گرانیت‌های بارور نوع NYF، عبدالله (Abdallah, 2009) در ارتباط با گرانیت‌های بارور مصر و ملکر و همکاران (Melcher et al, 2015) در زمینه گرانیت-پگماتیت‌های بارور از عناصر کمیاب در آفریقا اشاره کرد. پگماتیت‌های ایران مرکزی شامل شیرکوه، پشت بادام، چادرملو و شرق جندق (علمدار و همکاران، ۱۳۹۱)، پگماتیت‌های جنوب مشهد (Didar et al, 2014) و پگماتیت ابراهیم عطار در پهنه سنندج-سیرجان (سلامی و همکاران، ۱۳۸۹)، نیز، از جمله پگماتیت‌های نوع LCT در ایران هستند. ماهیت، منشأ و ترکیب سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی پگماتیت ابراهیم عطار، اولین بار توسط سلامی (۱۳۸۹) و در قالب پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد مطالعه گردید. ایشان، پگماتیت مذکور را از نوع پگماتیت‌های موسکوویت‌دار حاوی عناصر کمیاب دانست که حاوی تمرکزهایی از کانی بریل در زون‌های میانی و مرکزی است (سلامی و همکاران، ۱۳۸۹). همچنین، سلامی و همکاران (۱۳۸۹) و دانشور (۱۳۸۹)، اسکارن‌های قلع-تنگستن وابسته به این پگماتیت را بررسی کردند. الگوی عناصر نادر خاکی در پگماتیت ابراهیم عطار توسط عزیزی و محمدی (۱۳۹۴) مطالعه شد. رفتار ژئوشیمیایی این پگماتیت و ارتباط ژنتیکی آن با توده‌ی مشیرآباد، نیز، توسط محمدی‌زاده و همکاران (۱۳۹۹) تحلیل گردید. در مقاله حاضر، کانی‌های فلدسپار پتاسیم، موسکوویت و بیوتیت برای پگماتیت ابراهیم عطار به روش ریزکاو الکترونی (EMPA) تجزیه شده و ترکیب شیمیایی آن‌ها، شامل عناصر اصلی و برخی عناصر کمیاب از قبیل Cl, Ta, Cs, Rb, Sr, Ba, F، با هدف بررسی

پگماتیت ابراهیم عطار نشان داده است (Azizi et al, 2016). براساس سلامی و همکاران (۱۳۹۲) پگماتیت ابراهیم عطار ماهیت پرآلومین تا کمی متآلومین دارد و در گروه پگماتیت‌های موسکوویت‌دار حاوی عناصر کمیاب قرار می‌گیرد. تشکیل بریل در این پگماتیت، کانی‌سازی نوع LCT محسوب می‌شود. واحدهای پگماتیتی ابراهیم عطار که در مراحل پایانی تفریق مذاب گرانیتی توده مشیرآباد تشکیل شده‌اند (محمدی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۹)، دارای زون‌بندی کانیاپی هستند (جدول ۱) و در مرز آن‌ها با واحدهای آهکی و شیستی تریاس-ژوراسیک میزبان، اسکارن‌های قلع-تنگستن رخ داده‌اند (سلامی و همکاران، ۱۳۹۲).

قوس‌های آتشفشانی (VAG) حاشیه فعال قاره‌ای به وجود آمده و از پروتولیت‌های پوسته زیرین نشأت گرفته است. گرمای لازم برای ذوب بخشی مواد پوسته‌ای توسط گدازه‌های گوشته‌ای ناشی از فرورانش تأمین شده است (گردیده و همکاران، ۱۳۸۹). احتمال دارد پلوتون مشیرآباد طی تزریق‌های مکرر ماگما تشکیل شده باشد. دما، فشار و عمق تشکیل این توده به ترتیب برابر با ۷۱۶-۵۵۶ درجه سانتیگراد، ۶-۲/۳ کیلوپا و ۲۰-۷ کیلومتر است (Sepahi et al, 2012). سن زمین-شناسی وقوع این پلوتون ۱۵۷ میلیون سال است (Yajam et al, 2015). مطالعات سن‌سنجی Rb-Sr، سن $102/5 \pm 6/1$ میلیون سال را برای



شکل ۱: نقشه زمین‌شناسی منطقه مشیرآباد (Daneshvar et al, 2021).

مواد و روش‌ها

پتروگرافی

پگماتیت ابراهیم عطار مرمیت‌های ژوراسیک را قطع کرده و از حاشیه به سمت مرکز، دانه‌درشت‌تر می‌شود. زون‌های کانیاپی پگماتیت مذکور شامل حاشیه، دیواره، میانی و مرکزی است (جدول ۱).

علی‌رغم سایر زون‌ها، در زون مرکزی فراوانی کوارتز بر فلدسپار پتاسیم غلبه کرده، بریل در بخش میانی و مرکزی دایک‌ها رخ داده، موسکوویت بر بیوتیت غالب است و فراوانی بیوتیت از حاشیه به سمت مرکز، به تدریج، کمتر شده است.



شکل ۲: تصویری از پگماتیت ابراهیم عطار که در واحدهای کربناته‌ی میزبان نفوذ کرده است.

جدول ۱: منطقه‌بندی کانیاپی توده‌های پگماتیتهی ابراهیم عطار (سلامی و همکاران، ۱۳۹۲).

زون	ترکیب کانی‌شناسی
حاشیه	فلدسپار پتاسیم (۴۵٪)، کوارتز (۳۵٪)، موسکوویت (۱۰٪)، بیوتیت (۹٪)، تیتانیت (۱٪)
دیواره	فلدسپار پتاسیم (۴۰٪)، کوارتز (۴۰٪)، موسکوویت (۱۵٪)، بیوتیت (۳٪)، گارنت (۲٪)
میانی	فلدسپار پتاسیم (۴۰٪)، کوارتز (۳۰٪)، موسکوویت (۸٪)، بیوتیت (۲٪)، بریل (۲۰٪)
مرکزی	کوارتز دودی (۷۰٪)، فلدسپار پتاسیم (۳۰٪)، بریل

جمع‌آوری داده و آنالیز

از بخش‌های حاشیه‌ای دو رخنمون از توده‌های پگماتیتهی ابراهیم عطار که به نسبت بزرگ‌تر هستند (شکل ۱) طی عملیات صحرایی نمونه‌برداری شد (شکل ۲ و جدول ۲). از بین نمونه‌های برداشت شده در هر رخنمون، دو نمونه معرف و غیرهوازده جهت تهیه مقاطع نازک صیقلی انتخاب گردید. طی مطالعات کانی‌شناسی، روی هر مقطع نازک صیقلی، کانی‌های فلدسپار پتاسیم، موسکوویت و بیوتیت

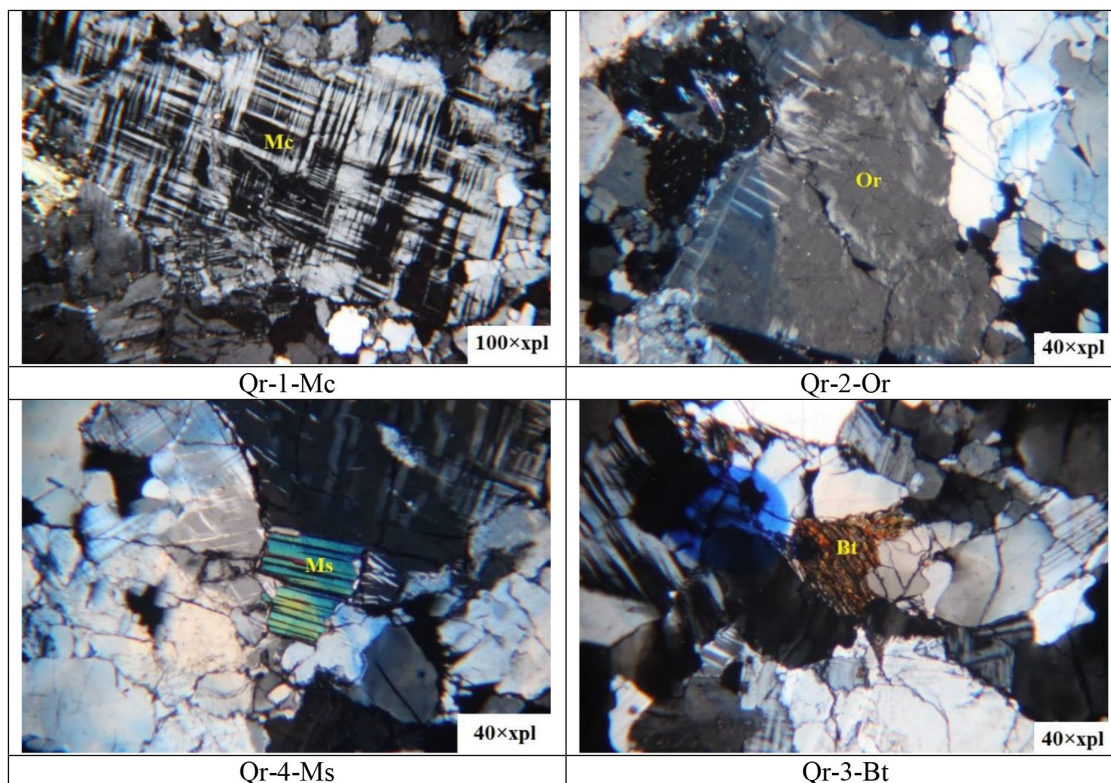
دانشور و همکاران (Daneshvar et al, 2021) پگماتیت ابراهیم عطار را براساس توالی کانی‌ها و اندازه بلور به دو بخش کلی تقسیم کرده‌اند: بخش حاشیه که شامل لوکوگرانیت با بلورهای هم اندازه است و عمدتاً از فلدسپار پتاسیم (ارتوکلاز و میکروکلین)، کوارتز و موسکوویت تشکیل شده و بخش میانی که بافت گرافیکی دارد و از فلدسپار پتاسیم، کوارتز و موسکوویت درشت تشکیل شده است و حاوی بیوتیت و تورمالین کمتری است.

نانوآمپر، قطر بیم الکترونی در حد میکرون، حد تشخیص‌های ۱۵۰ ppm (برای عناصر اصلی) و ۱۰ ppm (برای عناصر کمیاب) و برنامه تصحیح گر ZAF صورت گرفت. پس از دریافت نتایج و بررسی ترکیب شیمیایی کانی‌ها، برخی از نقاط مورد آنالیز که در آن‌ها سدیم بالا بوده به علت آلبیتی شدن احتمالی حذف گردید. داده‌های EMPA که در تحلیل‌ها مورد استفاده قرار گرفتند، در جدول ۳ آورده شده‌اند.

شناسایی و از هر کانی دو نقطه شامل حاشیه و مرکز علامت‌دار گردید (شکل ۳). مقاطع، جهت اندازه-گیری محتوای عناصر اصلی و برخی عناصر کمیاب شامل Ta, Cs, Rb, Sr, Ba, F و Cl به روش EMPA به انستیتو زمین‌شناسی کانسارها، پتروگرافی، کانی‌شناسی و ژئوشیمی آکادمی علوم روسیه (IGEM-RAS) ارسال شد. آنالیز مایکروپروب توسط دستگاه مایکروپروب مدل JEOL-JXA8200 در شرایط ولتاژ شتاب دهنده ۱۵ تا ۲۰ کیلوولت و شدت جریان ۱۰ تا ۲۰

جدول ۲: مختصات جغرافیایی نمونه‌های برداشت شده از پگماتیت ابراهیم عطار

کد نمونه	Qr-1	Qr-2	Qr-3	Qr-4
طول جغرافیایی	47 39 24 E	47 39 15 E	47 39 30 E	47 39 41 E
عرض جغرافیایی	35 08 49 N	35 08 43 N	35 08 52 N	35 09 41 N



شکل ۳: تصاویری از کانی‌های فلدسپار پتاسیم (میکروکلین (Mc) یا ارتوکلاز (Or))، موسکویت (Ms) و بیوتیت (Bt) در ترکیب کانی‌شناسی پگماتیت ابراهیم عطار. علائم اختصاری کانی‌ها براساس استاندارد جهانی تعریف شده است (Whitney and Evans, 2010).

جدول ۳: نتایج آنالیز EMPA برای کانی‌های فلدسپار پتاسیم (Kfs)، موسکوویت (Ms) و بیوتیت (Bt) تشکیل شده در پگماتیت ابراهیم عطار. مقادیر عناصر کمیاب از Rb تا Cs برحسب ppm است.

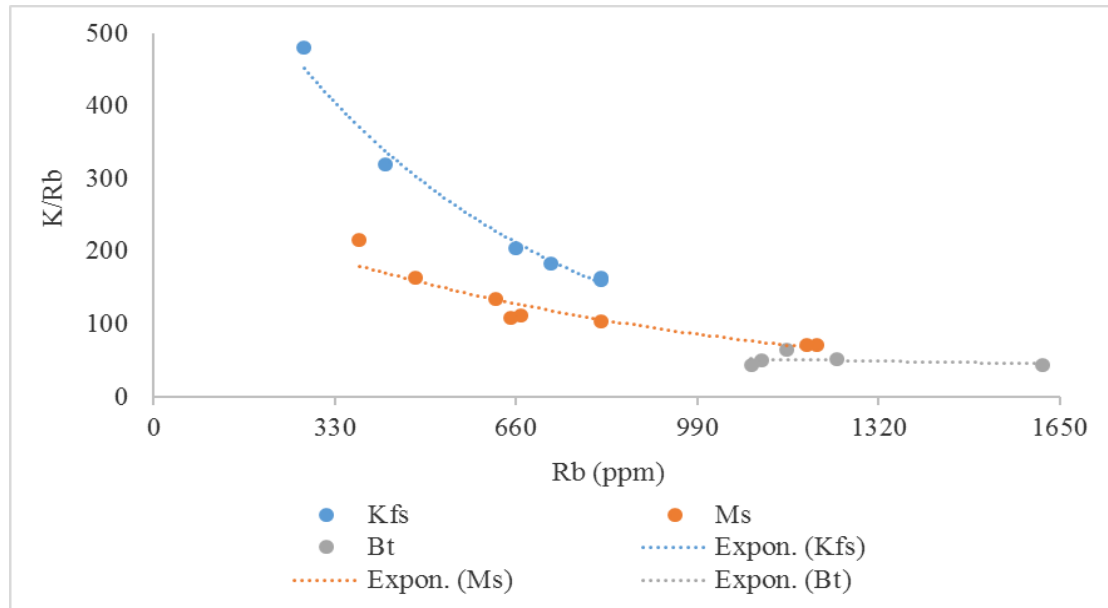
Minerals Code	Kfs						Ms						Bt								
	Qr-1		Qr-2		Qr-3		Qr-1		Qr-2		Qr-3		Qr-4		Qr-1		Qr-2		Qr-3		
	Core	Rim	Core	Rim	Core	Rim	Core	Rim	Core	Rim	Core	Rim	Core	Rim	Core	Rim	Core	Rim	Core	Rim	
Elements (%)																					
SiO ₂	65.33	65.29	65.07	64.98	66.16	66.25	46.09	46.68	46.71	48.35	46.20	46.04	46.11	45.80	35.11	34.13	34.58	36.37	30.60*		
Al ₂ O ₃	18.33	18.49	18.59	18.50	18.59	18.47	32.87	32.03	29.95	28.98	32.84	32.70	32.56	32.21	15.97	15.73	15.85	16.03	18.34		
TiO ₂	0.02	0.02	0.03	0.02	0.00	0.01	0.36	0.53	1.10	0.71	0.77	0.71	0.77	0.74	1.72	1.73	1.85	2.18	1.22		
FeO	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.01	3.85	3.91	4.28	4.86	3.36	3.06	4.13	3.83	23.85	25.23	22.53	22.34	30.56		
MnO	0.03	0.00	0.03	0.01	0.01	0.00	0.08	0.05	0.14	0.14	0.08	0.12	0.08	0.10	0.77	0.92	0.89	0.74	0.32		
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.81	1.06	1.78	1.97	1.13	1.10	1.13	1.10	7.19	6.15	8.31	8.65	2.02		
CaO	0.02	0.00	0.00	0.06	0.01	0.05	0.01	0.00	0.13	0.07	0.04	0.03	0.03	0.01	0.41	0.19	0.08	0.08	0.60		
K ₂ O	15.91	15.81	16.03	15.88	16.17	16.18	9.77	9.42	8.49	8.93	10.13	10.26	10.26	10.17	6.58	8.96	7.70	8.57	5.66		
Na ₂ O	0.78	0.74	0.65	0.71	0.78	0.71	0.24	0.25	0.11	0.08	0.23	0.23	0.15	0.27	0.06	0.05	0.03	0.03	0.00		
Cl	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02		
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.24	0.22	0.26	0.55	0.48	0.49	0.52	0.68	0.64	1.02	1.18	0.43		
Rb	722	814	814	274	421	658	375	475	649	668	622	1207	1189	814	1106	1152	1244	1619	1088		
Sr	0	0	0	254	101	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Ba	0	618	1415	2033	0	0	287	2123	72	349	0	170	54	215	394	0	511	152	672		
Ta	0	0	0	729	0	25	57	0	0	0	278	57	0	221	516	164	0	0	0		
Cs	0	0	94	94	0	0	19	0	0	0	0	0	0	0	170	85	0	321	509		
Total	100.50	100.56	100.69	100.56	101.79	101.79	94.38	94.36	92.95	94.38	95.26	94.70	95.66	94.71	92.36	93.67	92.65	95.94	89.93		

*: احتمالاً مقدار سیلیس به علت حضور انکلوژیون کانی‌های دیگر کمتر از مقدار معمول شده است. از آنجایی که بقیه مقادیر آنالیز شده در این نقطه با مقادیر سایر نقاط سازگار است، داده‌های آن حذف نشده است.

بحث و نتایج

پگماتیت ابراهیم عطار که در ادامه فعالیت‌های ماگمایی توده نفوذی مشیرآباد تشکیل شده (محمدی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۹)، دارای ناهنجاری‌های مثبتی در محتوای عناصر کمیاب از قبیل نیوبیم، تانتالیم و گالیم بوده (محمدی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۹) و میزبان کانی بریل در زون‌های مرکزی و میانی خود است (سلامی و همکاران، ۱۳۹۲). ویژگی‌های این توده پگماتیته که به عنوان یک پگماتیت موسکوویت‌دار حاوی عناصر کمیاب شناخته شده است (سلامی و همکاران، ۱۳۹۲)، مشابه پگماتیت‌های نوع LCT می‌باشد. نمودار K/Rb در برابر Rb در کانی‌های مورد بررسی که میزان جایگزینی Rb با K ضمن پیشرفت فرآیند تفریق ماگما را به تصویر می‌کشد، ابزار مفیدی برای

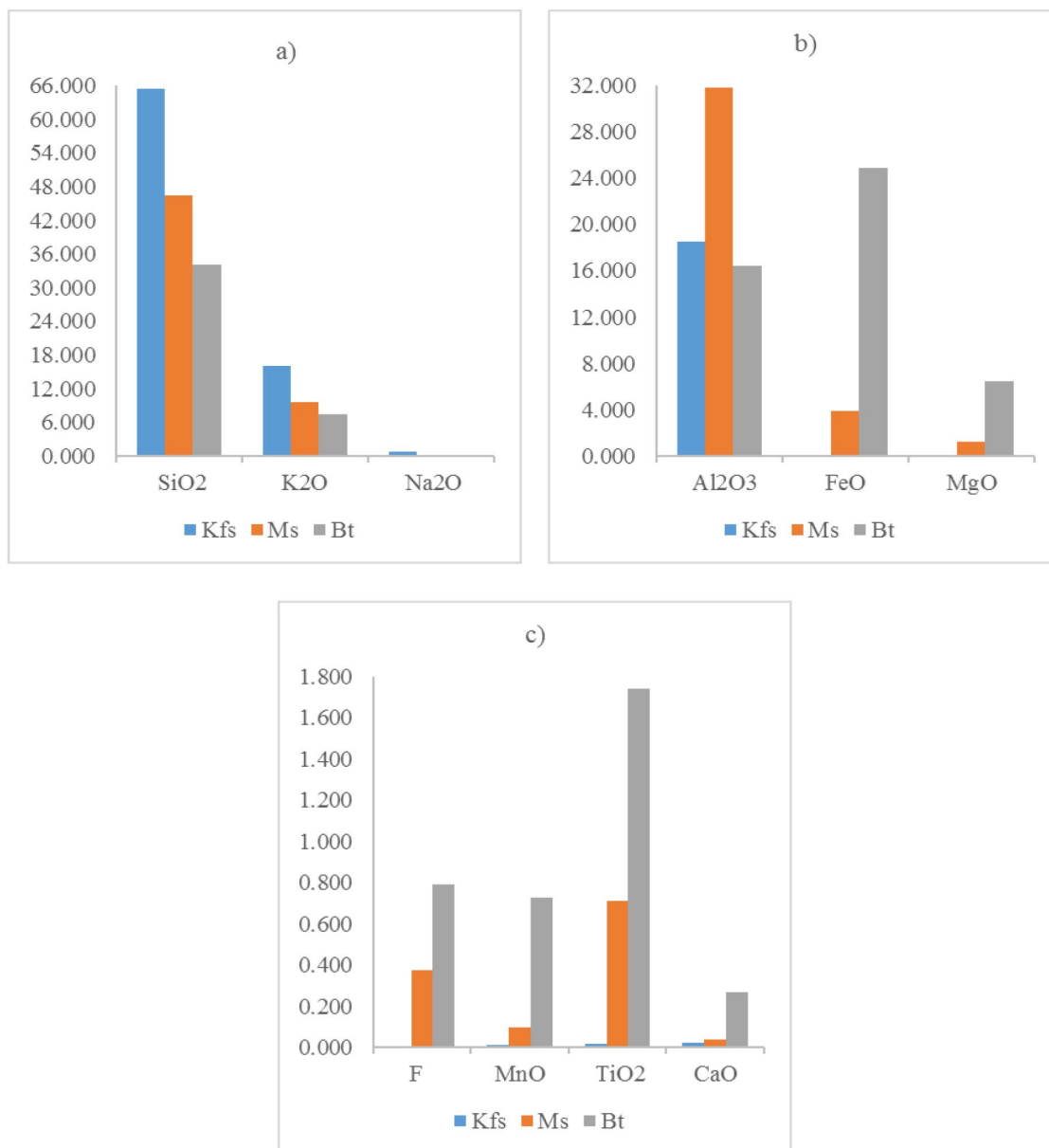
بررسی توالی تفریق کانی‌ها و همچنین تعیین درجه تفریق سنگ‌ها است (Cerny et al, 1985; Goad, 1990; Larens, 2002; Breaks et al, 2003; Rosing-Schow et al, 2018). نمودار K/Rb در برابر Rb برای کانی‌های فلدسپار پتاسیم، موسکوویت و بیوتیت در زون‌های حاشیه‌ای پگماتیت ابراهیم عطار (شکل ۴) نشان می‌دهد که موسکوویت با کمی تأخیر بعد از فلدسپار پتاسیم شروع به متبلور شدن کرده و بیوتیت در مراحل پایانی تبلور موسکوویت تشکیل شده است. اگرچه در سری واکنشی باون برای تبلور تفریقی کانی‌ها از یک ماگمای در حال سرد شدن، کانی بیوتیت قبل از موسکوویت و حتی قبل از فلدسپار پتاسیم تشکیل می‌گردد.



شکل ۴: توزیع K/Rb در برابر Rb برای کانی‌های فلدسپار پتاسیم (Kfs)، موسکوویت (Ms) و بیوتیت (Bt) تشکیل شده در پگماتیت ابراهیم عطار.

گواه این است که محتوای آلومینیوم در ماگمای مولد پگماتیت به اندازه کافی بالا نبوده است. این موضوع، مانع تبدیل ماهیت ماگمای پگماتیستی از پرآلومین به بسیار پرآلومین شده است (محمدی-زاده و همکاران، ۱۳۹۹). ترکیب کانی‌شناسی زون‌های مختلف پگماتیت ابراهیم عطار از حاشیه به سمت مرکز که کانی‌ها جوان‌تر و پگماتیت دانه درشت‌تر می‌شوند (سلامی و همکاران، ۱۳۹۲)، حاکی از آن است که محتوای سیلیس و آلکالی‌ها در ماگمای مادر در حین تشکیل زون‌های مرکزی بالا بوده است. این امر گواه آن است که ماگمای بازماندی از مرحله قبلی تفریق ماگما، یعنی مرحله تشکیل زون‌های حاشیه‌ای، غنی از عناصر مذکور بوده است. در واقع، جایگزینی کمتر سیلیس و آلکالی‌ها در ساختار میکاها نسبت به فلدسپار پتاسیم در حاشیه پگماتیت، یک ماگمای بازماندی غنی از این عناصر را برای تشکیل کوارتز و فلدسپار پتاسیم فراوان‌تر در مرکز فراهم کرده است.

به علاوه، محتوای عناصر اصلی کانی‌های مورد مطالعه حاکی از آن است که در حین تشکیل زون‌های حاشیه‌ای پگماتیت و طی تشکیل کانی‌ها از فلدسپار پتاسیم تا بیوتیت، مقدار سیلیس و اکسیدهای پتاسیم و سدیم نسبتاً کمتری در ساختار بلوری کانی‌ها جای گرفته است (شکل ۵ a). در حالی که، مقدار اکسیدهای آهن، منیزیم، کلسیم، منگنز و تیتان بیشتر شده (شکل‌های ۵ b و ۵ c) و مقدار اکسید آلومینیوم ابتدا زیاد و سپس کم شده است (شکل ۵ b). در واقع، تغییرات مذکور شرایط را برای تبلور کانی‌هایی با ترکیب شیمیایی میکاها فراهم کرده‌اند. تبلور بیوتیت می‌تواند گواه آلوده شدن ماگمای پگماتیستی به مواد پوسته‌ای واقع در مسیر با ماهیت مافیک باشد. بالا رفتن مقدار کلسیم نیز می‌تواند به خاطر واکنش ماگما با سنگ‌های کربناته‌ای میزبان اتفاق افتاده باشد. عدم حضور کانی‌های آلومینیوم‌دار متداول مانند تورمالین و یا گارنت در پگماتیت ابراهیم عطار، نیز،



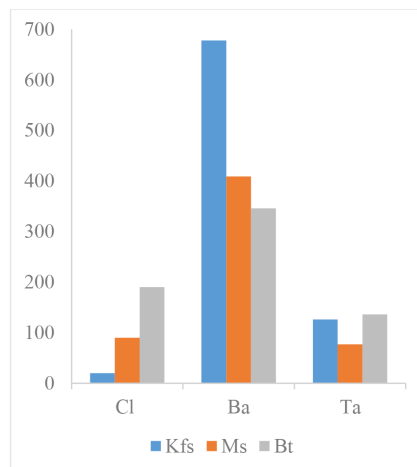
شکل ۵: میانگین مقدار اکسیدهای اصلی و فلئوئور در کانی‌های فلدسپار پتاسیم (Kfs)، موسکوویت (Ms) و بیوتیت (Bt) تشکیل شده در پگماتیت ابراهیم عطار. مقادیر برحسب درصد می‌باشند.

شده است (شکل ۶). از این رو، می‌توان نتیجه گرفت که تبلور کانی‌ها منجر به افت محتوی فلئوئور در ماگمای بازماندی و کاهش انحلال پذیری تانتالیم شده است. اما، از آنجا که محتوای تانتالیم ماگمای مادر چندان بالا نبوده است، این عنصر تنها در ساختار فلدسپار پتاسیم و میکاها جای گرفته و کانی‌های متداول میزبان آن تشکیل نشده‌اند.

طبق پژوهش‌های لینن (Linnen, 1998)، بالا رفتن مقدار فلئوئور در ماگما، منجر به افزایش انحلال-پذیری تانتالیم می‌شود و تبلور یا قرارگیری آن در ساختار کانی‌ها را به تأخیر می‌اندازد. در سه کانی مورد مطالعه از پگماتیت ابراهیم عطار، مقدار فلئوئور و کلر سیر افزایشی داشته است (شکل ۵ c و شکل ۶) و عنصر تانتالیم نیز در ساختار کانی‌ها متمرکز

(به ویژه بیوتیت)، روی خروج استرانسیم از مذاب مادر نیز تاثیر داشته است (جدول ۳). مطالعه ترکیب کل سنگ پگماتیت ابراهیم عطار نشان داده است که واحد گرانیتهی مادر این پگماتیت، نیز، فقیر از استرانسیم بوده است (محمدی زاده و همکاران، ۱۳۹۹).

ترکیب شیمیایی فلدسپار پتاسیم حاکی از آن است که ماگمای پگماتیتهی، غنی از باریم (شکل ۶) و فقیر از استرانسیم (جدول ۳) بوده است. مقدار این عناصر در گرانیتهی بارور، به ترتیب به ۹۰۰ و ۴۴۵ پی پی ام می رسد و طی پیشرفت فرآیند تفریق کاهش می یابد (Cerny, 1989). پدیده احتمالی واکنش با مواد پوسته ای در مراحل تشکیل میکاها



شکل ۶: میانگین کلر و اکسیدهای باریم و تانتالیم در کانی های فلدسپار پتاسیم (Kfs)، موسکوویت (Ms) و بیوتیت (Bt) تشکیل شده در پگماتیت ابراهیم عطار. مقادیر برحسب ppm می باشند.

پگماتیت ابراهیم عطار با مقدار آن ها در پگماتیت های بارور شناخته شده ی هم نوع مانند Separation Rapids و Tanco بسیار فاصله دارد. از آنجا که بالا بودن محتوای Rb و Cs و همچنین پایین بودن نسبت K/Rb معرف بالا بودن درجه تفریق ماگمای مادر است (Selway et al, 2005)، مقادیر این شاخص ها در پگماتیت ابراهیم عطار حاکی از آن است که درجه تفریق ماگمای مادر این پگماتیت پایین بوده است.

میانگین مقدار Rb، Cs و K/Rb در کانی فلدسپار پتاسیم تشکیل شده در حاشیه پگماتیت ابراهیم عطار به ترتیب برابر با ۶۱۷ ppm، ۳۱ ppm و ۲۵۲ است. این در حالی است که مقدار این شاخص ها در کانی فلدسپار پتاسیم پگماتیت های بارور از عناصر کمیاب به ترتیب بالای ۳۰۰۰ ppm، بالای ۱۰۰ ppm و کمتر از ۳۰ است (جدول ۴) (Selway et al, 2005). همچنین، مقدار فاکتورهای مذکور در

جدول ۴: مقایسه محتوای Rb، Cs و K/Rb برای کانی فلدسپار پتاسیم تشکیل شده در پگماتیت ابراهیم عطار و مقدار این شاخص ها در پگماتیت های بارور از عناصر کمیاب.

K/Rb	Cs (ppm)	Rb (ppm)	
<۳۰	>۱۰۰	>۳۰۰۰	پگماتیت حاوی عناصر کمیاب (Selway et al, 2005)
۳۵/۲	۱۶۸	۲۹۳۴	پگماتیت بارور Separation Rapids (Breaks et al, 2001)
۱۱	۸۰۲	۱۱۱۵۵	پگماتیت بارور Tanco (Cerny et al, 1996)
۲۵۲	۳۱	۶۱۷	پگماتیت ابراهیم عطار

انطباق با مقدار شاخص‌های پگماتیت‌های بریل‌دار نشان می‌دهد که کانی بریل نمی‌تواند به صورت اقتصادی در زون‌های حاشیه‌ای تشکیل شده باشد. لازم به یادآوری است که به علت ناهمگنی در توزیع بلورها در پگماتیت‌ها، نمی‌توان نتایج حاصل از مطالعه بخشی از توده یا دایک پگماتیتهای را به کل آن یا سایر پگماتیت‌های منطقه نسبت داد.

از طرفی، کانی بریل در زون میانی و مرکزی پگماتیت ابراهیم عطار تشکیل شده است. مقایسه مقدار میانگین Rb، Cs، Ta و K/Rb در کانی موسکوویت از این پگماتیت و محتوای این شاخص‌ها در پگماتیت‌های بارور از بریل حاکی از آن است که مقدار Rb و Cs در حاشیه پگماتیت ابراهیم عطار بسیار کمتر، مقدار Ta به صورت جزئی بیشتر و نسبت K/Rb بسیار بالاتر است (جدول ۵). این عدم

جدول ۵: مقایسه محتوای Rb، Cs، Ta و K/Rb برای کانی موسکوویت تشکیل شده در پگماتیت ابراهیم عطار و مقدار این شاخص‌ها در پگماتیت‌های بارور از بریل.

K/Rb	Ta (ppm)	Cs (ppm)	Rb (ppm)	
۵۰-۲۰	>۶۵	۵۰۰-۱۰۰	۱۰۰۰-۱۵۰۰	پگماتیت بارور از بریل (Selway et al, 2005)
۱۲۳	۷۷	۲	۷۵۰	پگماتیت ابراهیم عطار

متداول در یک پگماتیت نوع LCT در زون‌های حاشیه‌ای پگماتیت مورد مطالعه تشکیل نشده‌اند. فقر استرانسیم در ماگمای مادر پگماتیت‌ها نیز در این مسئله بی‌تأثیر نبوده است. عدم انطباق مقدار شاخص‌های Rb، Cs، Ta و K/Rb در پگماتیت ابراهیم عطار با پگماتیت‌های بریل‌دار نشان می‌دهد که کانی بریل نمی‌تواند به صورت اقتصادی در زون‌های حاشیه‌ای تشکیل شده باشد. تشکیل بریل در زون‌های میانی و مرکزی پگماتیت تأییدی بر این موضوع است که به علت ناهمگنی در توزیع بلورها در پگماتیت‌ها، نمی‌توان نتایج حاصل از مطالعه بخشی از توده یا دایک پگماتیتهای را به کل آن یا سایر پگماتیت‌های منطقه نسبت داد.

نتیجه‌گیری

نواحی حاشیه‌ای پگماتیت ابراهیم عطار درجه تفریق نسبتاً پایینی دارند و در حین تشکیل، ماگمای مادر آن‌ها با مواد پوسته‌ای مافیک واقع در مسیر و سنگ‌های کربناته‌ی میزبان واکنش داده است. افزایش محتوای فلئور، کلر و اکسیدهای آهن، منیزیم، کلسیم، منگنز و تیتان که حاصل آلودگی با مواد پوسته‌ای است، شرایط را برای تبلور میکاها، به ویژه بیوتیت، تسهیل کرده است و مانع تشکیل سایر کانی‌های آلومینیوم‌دار متداول در حاشیه پگماتیت شامل گارنت و تورمالین و تبدیل ماهیت پگماتیت ابراهیم عطار از پرآلومین به بسیار پرآلومین شده است. در نتیجه، کانی‌های اقتصادی

منابع

- قروه، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم، تهران.
- سلامی، س.، سپاهی، ع.ا. و معانی‌جو، م.، ۱۳۸۹. مطالعه بریل‌های موجود در پگماتیت‌های ابراهیم عطار واقع در قروه، کردستان، پنجمین همایش ملی زمین‌شناسی و محیط‌زیست.
- آلیانی، ف.، معانی‌جو، م.، صبوری، ز. و میری، م.، ۱۳۹۶. پترولوژی و ژئوشیمی برخی گرانیتوئیدها و سنگ‌های حدواسط در جنوب غرب قروه (کردستان)، پترولوژی، شماره ۳۳، ص ۲۱-۴۴.
- دانشور، ن.، ۱۳۸۹. بررسی لیتوژئوشیمیایی کانی‌سازی تنگستن در ابراهیم عطار، جنوب غرب

ژئوشیمیایی، نشریه علوم زمین دانشگاه خوارزمی، شماره ۲، ص ۲۴۷-۲۷۰.

-گردیده، س.، سپاهی، ع.ا. و آلیانی، ف.، ۱۳۸۹ (a). پترولوژی منطقه آذرین-دگرگونی مشیرآباد-تازه-آباد (جنوب قروه، کردستان)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بوعلی سینا، دانشکده علوم، گروه زمین شناسی.

-گردیده، س.، سپاهی، ع.ا. و آلیانی، ف.، ۱۳۸۹ (b). پترولوژی و ژئوشیمی گرانیتوئید مشیرآباد (جنوب قروه)، مجله کانی شناسی و بلورشناسی ایران، شماره ۱۷، ص ۵۶۳-۵۸۰.

-محمدی زاده، م.، مجتهدزاده، س.ح. و آیتی، ف.، ۱۳۹۹. بررسی رفتار ژئوشیمیایی عناصر کمیاب در سیستم گرانیت-پگماتیت مشیرآباد، جنوب غرب قروه، کردستان، پترولوژی.

-سلامی، س.، ۱۳۸۹. مطالعه پگماتیت های ابراهیم عطار به ویژه انواع بریل دار، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بوعلی سینا، دانشکده علوم، گروه زمین شناسی.

-سلامی، س.، سپاهی، ع.ا. و معانی جو، م.، ۱۳۹۲. مطالعه پگماتیت های ابراهیم عطار و اسکارن های مرتبط (جنوب غرب قروه). مجله کانی شناسی و بلورشناسی، شماره ۲۲، ص ۳۰۹-۳۲۲.

-علمدار، ک.، انصاری، ا.ح. و کوهساری، ا.ح.، ۱۳۹۱. بررسی اولیه پتانسیل لیتیم در پگماتیت های ایران، شانزدهمین کنفرانس کانی شناسی و بلورشناسی ایران.

-عزیزی، ح. و محمدی، ک.، ۱۳۹۴. نقش اثر تتراد در الگوی عناصر نادر خاکی گرانیتوئیدهای ابراهیم عطار، جنوب غرب قروه، تاکید بر دوقلوهای

-Abdalla, H.M. Helba, H. and Matsueda, H., 2009. Chemistry of Zircon in Rare Metal Granitoids and Associated Rocks, Eastern Desert, Egypt. *Journal of Resource Geology*, v. 59(1), p. 51-68.

-Azizi, H., Asahara, Y., Mehrabi, B. and Chung, S.L., 2011. Geochronological and geochemical constraints on the petrogenesis of high-K granite from the Suffi abad area, Sanandaj-Sirjan Zone, NW Iran. *Chem. Erde Geochem*, v. 71, p. 363-376.

-Azizi, H., Mohamadi, K., Asahara, Y., Tsuboi, M., Daneshvar, M. and Mehrabi, B., 2016. Strongly peraluminous leucogranite (Ebrahim Attar granite) as evidence for extensional tectonic regime in the Cretaceous, Sanandaj-Sirjan zone, northwest of Iran, *Chem. Erde Geochem*, v. 76, p. 529-541.

-Barbarin, B., 1999. A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments. *Lithos*, v. 46, p. 605-626.

-Breaks, F.W. and Tindle, A.G., 1997. Rare-metal exploration potential of the

Separation Lake area: an emerging target for Bikita-type mineralization in the Superior Province of Ontario. In *Summary of Field Work and Other Activities 1997*. Ontario Geological Survey, Miscellaneous Paper, v. 168, p. 72-88.

-Breaks, F.W. and Tindle, A.G., 2001. Rare-element mineralization of the Separation Lake area, northwest Ontario: characteristics of a new discovery of complex-type, petalite-subtype, Li-Rb-Cs-Ta pegmatite. *Industrial Minerals in Canada*, v. 53, p. 159-178.

-Breaks, F.W., Selway, J.B. and Tindle, A.G., 2003. Fertile peraluminous granites and related rare element mineralization in pegmatites, Superior province, northwest and northeast Ontario. *Operation Treasure Hunt*. Ontario Geological Survey, Open File Report 6099, 179 p.

-Breaks, F.W., Selway, J.B. and Tindle, A.G., 2005. Fertile peraluminous granites and related rare element mineralization in pegmatites, Superior

- province, northwest and northeast Ontario. Geological Association of Canada, p. 87-125.
- Cerny, P. Meintzer, R.E. and Anderson, A.J., 1985. Extreme fractionation in rare-element granitic pegmatites: selected examples of data and mechanisms, Canadian Mineralogist, v. 23, p. 381-421.
- Cerny, P. and Meintzer, R.E., 1988. Fertile granites in the Archean and Proterozoic fields of rare-element pegmatites: crustal environment, geochemistry and petrogenetic relationships. Recent Advances in the Geology of Granite-Related Mineral Deposits. Edited by Taylor, R.P. and Strong, D.F., CIM Special, v. 39, p. 170-207.
- Cerny, P., 1989. Exploration strategy and methods for pegmatite deposits of tantalum. In Lanthanides, Tantalum, and Niobium. Edited by Moller, Cerny and Saupe, Springer-Verlag, New York, p. 274-302.
- Cerny, P., 1991. Fertile granites of Precambrian rare-element pegmatite fields: is geochemistry controlled by tectonic setting or source lithologies. Precambrian Research, v. 51, p. 429-468.
- Cerny, P., Ercit, T.S. and Vantson, P.T., 1996. Petrology and mineralization of Tanco Rare-element pegmatite, Southeastern Manitoba. Field trip guidebook.
- Cerny, P. and Burt, D.M., 1984. Paragenesis, crystallochemical characteristics, and geochemical evolution of micas in granite pegmatites. Reviews in Mineralogy, v. 13, p. 257-297.
- Cerny, P., London, D. and Novak, M., 2012. Granitic pegmatites as reflections of their sources. Elements, v. 8, p. 289-294.
- Daneshvar, N., Azizi, H., Asahara, Y., Tsuboi, M., Minami, M. and Mohamad, Y., 2021. Geochemistry and genesis of beryl crystals in the LCT pegmatite type, Ebrahim Attar mountain, western Iran. Minerals, v. 11, p. 717-734.
- Deer, W.A., Howei, R.A. and Zussiman, J., 2003. Sheet silicates: Micas. Rock-forming minerals. 2nd Edition, Geological Society of London, 758 p.
- Didar, P., Nezafati, N., Emami, M.H. and Solgi, A., 2014. Geology and mineralogy of South of Mashhad pegmatites with special attitude on Li mineralization. Journal of Earth Sciences, v. 94, p. 209-218.
- Ercit, S.T., 2005. REE-Enriched Granitic Pegmatites. In Linnen, R.L. and Samson, I.M., eds., Rare Element Geochemistry and Mineral Deposits: Geological Association of Canada, GAC Short Course Notes, v. 17, p. 175-199.
- Ercit, T.S., Groat, L.A. and Gault, R.A., 2003. Granitic pegmatites of the O'Grady batholith, N.W.T., Canada: a case study of the evolution of the elbaite subtype of rare-element granitic pegmatite. Canadian Mineralogist, v. 41, p. 117-137.
- Ercit, T.S., 1992. Oxide mineralogy of the Mattawa pegmatite district-extreme Ta fractionation for muscovite class pegmatites. Geological Association of Canada / Mineralogical Association of Canada, Program with Abstracts, v. 17, p. 32-51.
- Foord, E., Cerny, P., Jackson, L.L., Sherman, D.M. and Eby, R.K., 1995. Mineralogical and geochemical evolution of micas from miarolitic pegmatites of the anorogenic Pikes-Peak batholith, Colorado. Mineralogy and Petrology, v. 55, p. 1-26.
- Goad, B.E., 1990. Granitic pegmatites of the Bancroft area, southeastern Ontario: Ontario Geological Survey, Open File Report 5717, 459 p.
- Gunn, G., 2014. Critical metals handbook. Published in collaboration with the British Geological Survey, A

- co-publication between the American Geophysical Union and Wiley, 451 p.
- Larens, R., 2002. The distribution of Rare-Earth Elements in K-feldspars as an indicator of petrogenetic processes in granitic pegmatites: examples from two pegmatite fields in Southern Norway. *The Canadian Mineralogist*, v. 40, p. 137-151.
- Linnen, R.L., 1998. The solubility of Nb-Ta-Zr-Hf-W in granitic melts with Li and Li+F: Constraints for mineralization in rare metal granites and pegmatites. *Economic Geology*, v. 93, p. 1013-1025.
- Mahmoudi, Sh., Corfu, F., Masoudi, F., Mehrabi, B. and Mohajjel, M., 2011. U-Pb dating and emplacement history of granitoid plutons in the northern Sanandaj-Sirjan Zone, Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, v. 41, p. 238-249.
- Marchal, K.L., Simmons, W.B., Falster, A.U., Webber, K.L. and Roda-Robles, E., 2014. Geochemistry, mineralogy, and evolution of Li-Al micas and feldspars from the Mount Mica Pegmatite, Maine, USA. *Canadian Mineralogist*, v. 52, p. 221-233.
- Melcher, F., Graupner, T., Gäbler, H., Sitnikova, M., Henjes-Kunst, F., Oberthür, T., Gerdes, A. and Dewaele, S., 2015. Tantalum-(niobium-tin) mineralisation in African pegmatites and rare metal granites: Constraints from Ta-Nb oxide mineralogy, geochemistry and U-Pb geochronology. *Journal of Ore Geology Reviews*, v. 64, p. 667-719.
- Pesquera, A., Torres-Ruiz, J., Gil-Crespo, P.P. and Velilla, N., 1999. Chemistry and genetic implications of tourmaline and Li-F-Cs micas from the Valdeflores area (Caceres, Spain). *American Mineralogist*, v. 84, p. 55-69.
- Rosing-Schow, N., Muller, A. and Friis, H., 2018. A comparison of the mica geochemistry of the pegmatite fields in southern Norway. *The Canadian Mineralogist*, v. 56, p. 463-488.
- Selway, J.B., Breaks, F.W. and Tindle, A.G., 2005. A Review of Rare-Element (Li-Cs-Ta) Pegmatite Exploration Techniques for the Superior Province, Canada, and Large Worldwide Tantalum Deposits. *Journal of Exploration and Mining Geology*, v. 14(1-4), p. 1-30.
- Sepahi, A.A., Maanijou, M., Salami, S., Gardideh, S. and Khaksar, T., 2012. Mineral chemistry and geothermobarometry of Moshirabad pluton, Qorveh, Kurdistan, western Iran. *Island Arc*, v. 21, p. 170-187.
- Whitney, D.L. and Evans, B.W., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, v. 95, p. 185-187.
- Wise, M.A., 1995. Trace-element chemistry of lithium-rich micas from rare-element granitic pegmatites. *Mineralogy and Petrology*, v. 55, p. 203-215.
- Yajam, S., Scarrow, J.H., Ghalamghash, J. and Bea, F., 2015. The spatial and compositional evolution of Late Jurassic Ghorveh-Dehgolan plutons of the Zagros Orogen, Iran: SHRIMP zircon U-Pb and Sr and Nd isotope evidence. *Geologica Acta*, v. 13, p. 25-43.