



ویژگی‌های پگماتیت جنوب همدان: با نگرشی بر مطالعات گوه‌شناسی سافایرها

رسول شیخی قشلاقی*، محمد هادی احمدی^۲

۱- دانشجوی دکتری پترولوژی، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه شهید بهشتی تهران، تهران، ایران

۲- دانشجوی دکتری زمین‌شناسی اقتصادی، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران

* عهده‌دار مکاتبات: rasoul.sheikhi@yahoo.com

دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۶/۱۱، پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۸/۳۰

چکیده

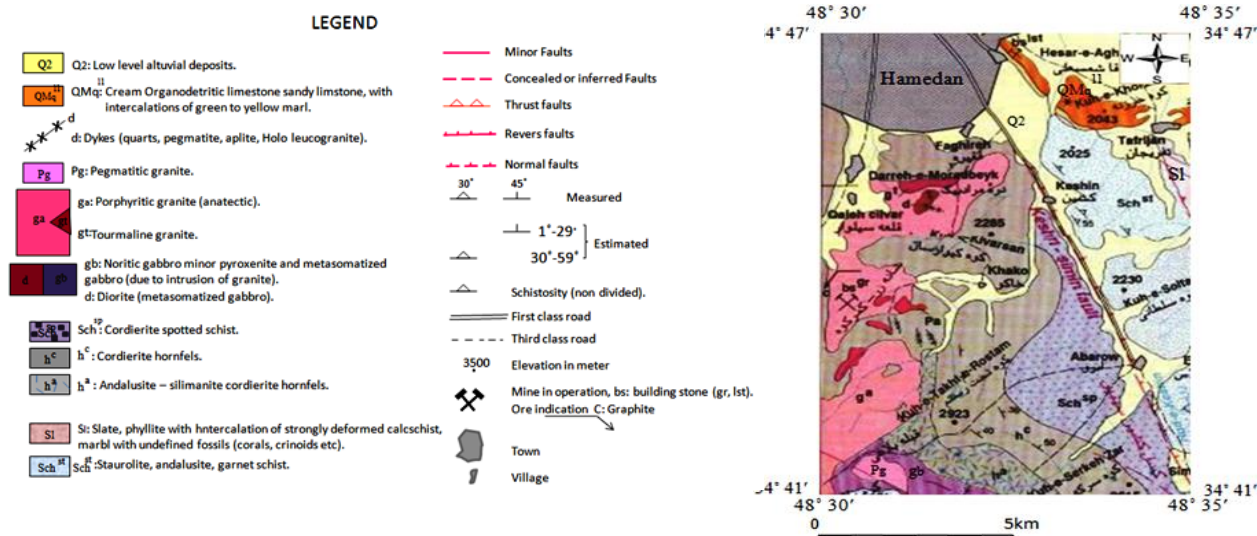
در زون سنندج- سیرجان و در ۵ کیلومتری جنوب شهر همدان پگماتیت‌هایی یافت شده است که در آن کانی قیمتی سافایر وجود دارد. در این پژوهش ویژگی‌ها و شرایط تشکیل پگماتیت‌ها، به‌عنوان کلیدی برای پی‌جویی این کانی با ارزش، بررسی و ارائه شده است. براساس مطالعات سنگ‌نگاری این پگماتیت‌ها از نوع میکا- سافایردار هستند که در تقسیم‌بندی‌های گذشته پگماتیت‌های مجموع پلوتونیک الوند به آن اشاره‌ای نشده است. براساس این پژوهش، سنگ‌های آذرین منطقه با یکدیگر ارتباط زایشی دارند و پگماتیت‌ها در نتیجه تفریق مایعاتی با ترکیب مافیکی تشکیل شده‌اند. نمودارهای تفکیک‌کننده محیط زمین‌ساختی بیانگر محیط‌های هم‌زمان با برخورد برای این سنگ‌هاست. بیشتر این سنگ‌ها از نظر درجه اشباع آلومینیم از نوع پرآلومین و گرانیت تیپ S هستند که این موضوع شرایط را برای تشکیل سافایر مهیا می‌کند. مطالعات ژئوشیمی بیانگر تبلور سافایرها بعد از میکروکلین و پیش از کوارتز است. وجود مسکوویت، زیرکن و تورمالین در پگماتیت‌های جنوب همدان نشان می‌دهد که این پگماتیت‌ها از نوع عمیق هستند و این امر دلیلی بر درشت بودن سافایرهای تشکیل شده است. همچنین دلیل رنگ مایل به تیره سافایرها، آهن‌دار بودن این پگماتیت‌هاست. افزون بر آهن، تیتانیوم و گالیم نیز در رنگ این گوه‌رها نقش دارند. براساس تلفیق مطالعات گوه‌شناسی و آزمایش‌های فرآوری سافایرها، برش در جهت محور C، ضریب شکست، شدت جلا، غلظت رنگ و وزن مخصوص بیشتری نسبت به جهت عمود بر آن ایجاد می‌کند که در تراش این گوه‌رها کاربرد ویژه‌ای دارد.

واژه‌های کلیدی: همدان، پگماتیت، پرآلومین، سافایر، گرانیت

۱- مقدمه

و بخش گابرویی را قدیمی‌تر از بخش گرانیتی دانسته‌اند. همچنین سپاهی‌گرو، (۱۳۷۸) گرانیت‌های پورفیریوید الوند را با منشأ پوسته‌ای و سنگ‌های تونالیتی، گابرویی و دیوریتی مجموعه الوند را با منشأ گوشته‌ای می‌داند. افزون بر این، شهبازی، (۱۳۹۰) مجموعه سنگ‌های آذرین و میگماتیت‌های کمپلکس الوند و توده نفوذی آلموقلاق همدان را مطالعه کرده است. بر اساس این مطالعات کمپلکس الوند دارای ترکیب سنگ‌شناسی گابرو، گرانیت و گرانیتوید لوکوکرات و سری ماگمایی کلسیمی-قلیایی است. این مجموعه از نظر تیپ و جایگاه زمین‌ساختی-ماگمایی از نوع هیبرید (I و S) حاشیه قاره‌ای است. سپاهی‌گرو و معین وزیری، (۱۳۷۹) پگماتیت‌های مجموعه پلوتونیک الوند را به سه گروه پگماتیت‌های تورمالین‌دار (شامل کوارتز، فلدسپار و تورمالین)، پگماتیت‌های دارای تورمالین، مسکوویت و گارنت (حاوی کوارتز، ارتوکلاز پرتیتی، آلبیت، مسکوویت، تورمالین و گارنت) و پگماتیت‌های سیلیکات آلومینیم‌دار (شامل کوارتز، فلدسپار و سیلیکات آلومینیم) تقسیم کرده‌اند اما در مطالعات جدیدتر تبریزی و همکاران، (۱۳۹۳) افزون بر پگماتیت‌های یادشده، از پگماتیت‌های میکادار نیز نام برده شده است که دارای ترکیب کانی‌شناسی کوارتز، ارتوکلاز (گاهی میکروکلین)، پلازیوکلاز، مسکوویت، بیوتیت، آپاتیت، اپیدوت و اسفن هستند.

منطقه مورد مطالعه بخشی از زون سنندج سیرجان است و در ۵ کیلومتری جنوب شهر همدان در محدوده جغرافیایی $30^{\circ} 48'$ تا $35^{\circ} 48'$ طول شرقی و $41^{\circ} 34'$ تا $47^{\circ} 34'$ عرض شمالی قرار دارد. براساس نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ همدان (اقليمی، ۱۳۷۹)، این محدوده از سنگ‌های رسوبی، انواع پگماتیت‌ها و گرانیت‌ها، گابرو، دیوریت، اسلیت، انواع شیست‌ها و هورنفلس‌ها پوشیده شده است (شکل ۱). در این میان پگماتیت‌ها از نظر کانی‌های اقتصادی به‌ویژه انواع گوه‌رها بسیار حائز اهمیت هستند. یکی از گوه‌رهایی که در پگماتیت‌ها تشکیل می‌شود، سافایر است. کربندوم گوه‌ری است که در کشورهای برمه، تایلند، کامبوج، ویتنام، هند، پاکستان، افغانستان، سریلانکا، چین، استرالیا، ایالت متحده آمریکا و بخش‌های مختلف قاره آفریقا گزارش شده است (Donoghue, 2006) اما تاکنون در ایران در مورد کربندوم‌های گوه‌ری، هیچگونه گزارشی منتشر نشده و این مقاله اولین مقاله‌ای است که در این زمینه به نگارش در آمده است. البته در مورد پگماتیت‌ها و گرانیتویدها مطالعاتی در مناطق مجاور به انجام رسیده که می‌توان به مطالعه مجموعه پلوتونیک الوند توسط صادقان و ولی‌زاده، (۱۳۷۵) اشاره کرد. این محققان با در نظر گرفتن ویژگی‌های کانی‌شناسی و ژئوشیمی، سنگ‌های گرانیتی الوند را از نوع S معرفی کردند



شکل ۱- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه (برگرفته از نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ همدان (اقليمی، ۱۳۷۹))

۳- بحث و بررسی

۳-۱- ویژگی های صحرایی و سنگ نگاری

براساس مطالعات صحرایی و سنگ نگاری سنگ های آذرین منطقه مورد مطالعه که همگی از نوع آذرین درونی هستند را می توان به دو دسته پگماتیت ها و سایر گرانیتوئیدها که خود شامل گرانودیوریت ها و سینیت ها می شود، تقسیم کرد. پگماتیت ها به شکل دایک های سفید تا طوسی دیده می شوند و در نقاطی که فلدسپار قلیایی افزایش و میزان سیلیس کاهش می یابد، دارای لکه های آبی سافایر هستند (شکل ۲- الف). این دایک های پگماتیتی، سینیت ها و گرانودیوریت های خاکستری رنگ اطراف خود را قطع کرده اند (شکل ۲- ب). در ادامه به تشریح مطالعات میکروسکوپی این سنگ ها می پردازیم.

۳-۱-۱- پگماتیت ها

در زیر میکروسکوپ دارای بافت دانه ای هستند که در برخی قسمت ها بافت گرافیکی و یا پرتیتی را نیز نشان می دهند (شکل ۳- الف و ب). کانی اصلی آنها فلدسپار قلیایی است. بیوتیت، مسکوویت، کوارتز (که گاهی با فلدسپار قلیایی دارای رشد توأم است و بافت گرافیکی را تشکیل می دهد (شکل ۳- ب))، زیرکن های خودشکل، تورمالین و کزندومهایی که در حواشی به مسکوویت دگرسان شده اند و دارای دو سامانه رخ و شکستگی در متن خود هستند نیز کانی های فرعی این سنگ ها به شمار می روند (شکل ۳- الف و ب). از دگرسانی های مشاهده شده در این سنگ ها می توان به کلریتی شدن بیوتیت ها اشاره کرد. دیگر دگرسانی مشاهده شده در این سنگ ها، رسی شدن فلدسپارهای قلیایی (میکروکلین) است (شکل ۳- ت). با توجه به مطالعات میکروسکوپی می توان گفت که این پگماتیت ها دارای

هدف از انجام این پژوهش مطالعه ویژگی ها و شرایط تشکیل پگماتیت های سافایردار جنوب همدان و استفاده از این مطالعات در پی جوی سافایر در مناطقی با زمین شناسی مشابه است. همچنین مطالعه عامل ایجاد رنگ و دستیابی به بهترین و کم هزینه ترین روش فرآوری سافایرهای منطقه مورد مطالعه که حداکثر کیفیت را برای عرضه در بازار تجارت ایجاد کند از اهداف فرعی تر این پژوهش است.

۲- روش مطالعه

در عملیات صحرایی ۴۵ نمونه سنگی از انواع سینیت ها و پگماتیت ها و ۱۵ نمونه از سافایرها برداشت شد که از این تعداد، ۳۵ مقطع نازک از سنگ های نفوذی و ۲ مقطع نازک از سافایرها تهیه و مورد مطالعه قرار گرفت. پس از مطالعات سنگ نگاری از میان سینیت ها و پگماتیت های فاقد دگرسانی، ۱۲ نمونه انتخاب و برای تجزیه شیمیایی به روش ICP-MS به شرکت مطالعاتی مواد معدنی زرآما ارسال شد. سپس با استفاده از نرم افزار GCDkite رسم نمودارهای ژئوشیمی، بررسی و تفسیر این نمودارها انجام شد. همچنین برای مشخص نمودن عامل یا عوامل رنگ زا پس از انجام مطالعات میکروسکوپی، ۴ نمونه سافایر فاقد دگرسانی برای تجزیه شیمیایی به روش XRF به شرکت مواد معدنی کانساران بینالود ارسال و پس از دریافت نتایج، مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. به منظور مطالعات گوهرشناسی، بررسی نمونه ها از نظر کیفیت صیقل پذیری و انتخاب بهترین روش از لحاظ اقتصادی و کیفیت تراش، ۱۲ نمونه از سافایرهای منطقه به صورت کابوشن تراش داده شد. در نهایت برای مطالعه ویژگی های گوهرشناسی سافایرها، ۵ نمونه از آنها توسط دستگاه شکست سنج (رفرکتومتر) CL-181 (برای مشخص کردن ضریب شکست)، ترازوی هیدرواستاتیک (برای تعیین وزن مخصوص) و دستگاه سختی سنج مورد بررسی قرار گرفت.

ترکیب سینیت قلیایی هستند.

از ۵ درصد کل حجم این سنگ‌ها را تشکیل می‌دهد (شکل ۳-ث).

۳-۱-۲- گرانودیوریت‌ها

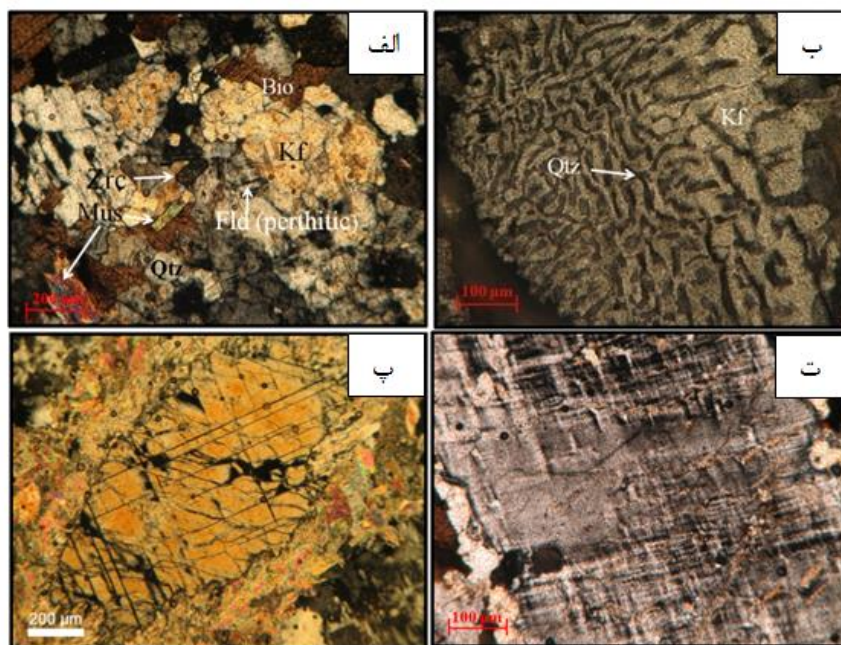
۳-۱-۳- سینیت‌ها

این سنگ‌ها در مقاطع میکروسکوپی بافت دانه‌ای دارند و در برخی قسمت‌ها بافت پرتیتی و گرافیکی را نیز نشان می‌دهند. کانی‌های اصلی آنها پلاژیوکلاز و فلدسپار قلیایی است که همراه با هم در برخی نقاط بافت پرتیتی را به نمایش می‌گذارند. کانی اصلی دیگر که حدود ۲۰ درصد کل حجم مقطع نازک را شامل می‌شود، کوارتز است. کانی فرعی دیگر نیز بیوتیت است که کمتر

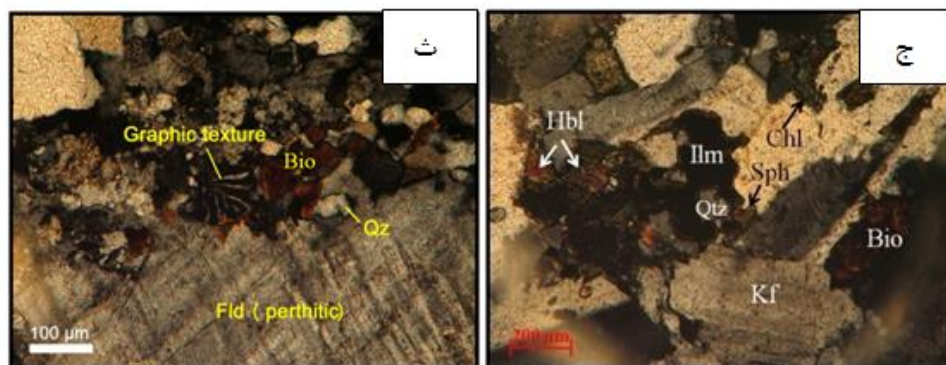
براساس مطالعات میکروسکوپی دارای بافت دانه‌ای هستند. کانی اصلی آنها فلدسپار قلیایی است. به ترتیب فراوانی بیوتیت، هورنبلند و کوارتز کانی‌های فرعی این سنگ‌ها را تشکیل می‌دهند. کلریت و اسفن نیز کانی‌های ثانویه سینیت‌ها هستند که به ترتیب از دگرسانی بیوتیت و ایلمنیت که تنها کانی کدر این سنگ‌هاست حاصل شده‌اند (شکل ۳-ج).



شکل ۲- الف) پگماتیت‌های شیری تا طوسی. کروندوم‌های آبی بیشتر در بخش دارای فلدسپار قلیایی (بخش‌های شیری) دیده می‌شوند (عرض تصویر حدود ۰/۵ متر). بخش‌های طوسی‌رنگ دارای سیلیس بیشتری هستند ب) رگه پگماتی که به صورت دایک، گرانودیوریت‌های مجاور را قطع کرده است (عرض تصویر حدود ۶۰ متر).



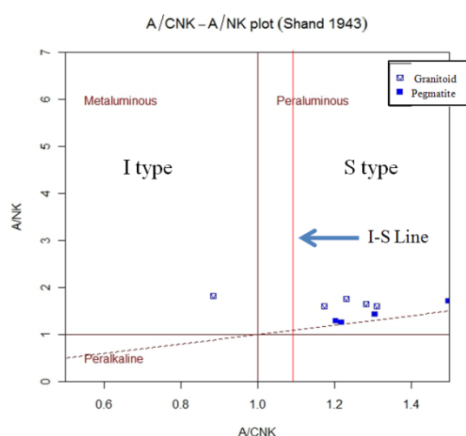
شکل ۳- الف) بافت دانه‌ای، بافت پرتیتی و حضور کانی‌های فلدسپار قلیایی، بیوتیت، مسکوویت، کوارتز و زیرکن در پگماتیت‌ها، ب) رشد توأم فلدسپار قلیایی و کوارتز که تشکیل بافت گرافیکی در پگماتیت‌ها را داده است، پ) حضور کروندوم با دو سامانه رخ و شکستگی در متن که از اطراف در حال تبدیل شدن به مسکوویت است و ت) میکروکلین‌هایی که دگرسانی رسی را تحمل کرده‌اند.



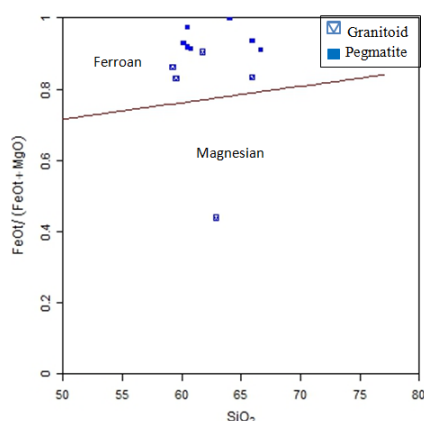
ادامه شکل ۳- ث) بافت دانه‌ای، پرتیتی، گرافیکی و حضور کانی‌های فلدسپار (پلاژیوکلاز و فلدسپار قلیایی)، کوارتز و بیوتیت در گرانودیوریت‌ها. ج) بافت دانه‌ای و حضور کانی‌های فلدسپار قلیایی، بیوتیت، هورنبلند، کوارتز و ایلمنیت در سینیت‌ها. در این تصویر حواشی بیوتیت و ایلمنیت به ترتیب به کلریت و اسفن دگرسان شده است.

۳-۲- ژئوشیمی

FeO^I (Frost et al., 2001) در قسمت آهن‌دار تصویر می‌شوند (شکل ۶).

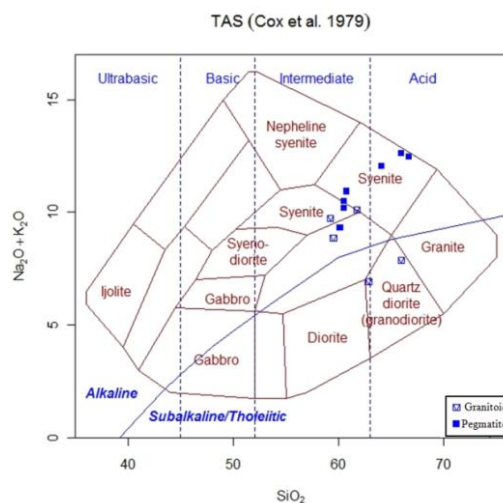


شکل ۵- نمودار A/NK در مقابل A/CNK (Shand, 1943) برای محاسبه شاخص اشباع از آلومینیم نمونه‌های مورد مطالعه



شکل ۶- نمودار SiO₂ در برابر FeO^I/(FeO^I+MgO) (Frost et al., 2001) برای بررسی میزان آهن و منیزیم سنگ‌های مورد مطالعه

نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌های مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. در شکل ۴، نمونه‌های مورد مطالعه با استفاده از نمودار طبقه‌بندی ژئوشیمیایی Na₂O+K₂O در برابر SiO₂ (Cox et al., 1979) نامگذاری شده که نتایج آن بیانگر این است که پگماتیت‌ها دارای ترکیب سینیتی و گرانیتوئیدها دارای ترکیب سینیتی یا گرانودیوریتی هستند. همچنین براساس این نمودار پگماتیت‌ها در محدوده سری قلیایی و گرانیتوئیدها در محدوده سری قلیایی تا نیمه‌قلیایی قرار می‌گیرند (شکل ۴).

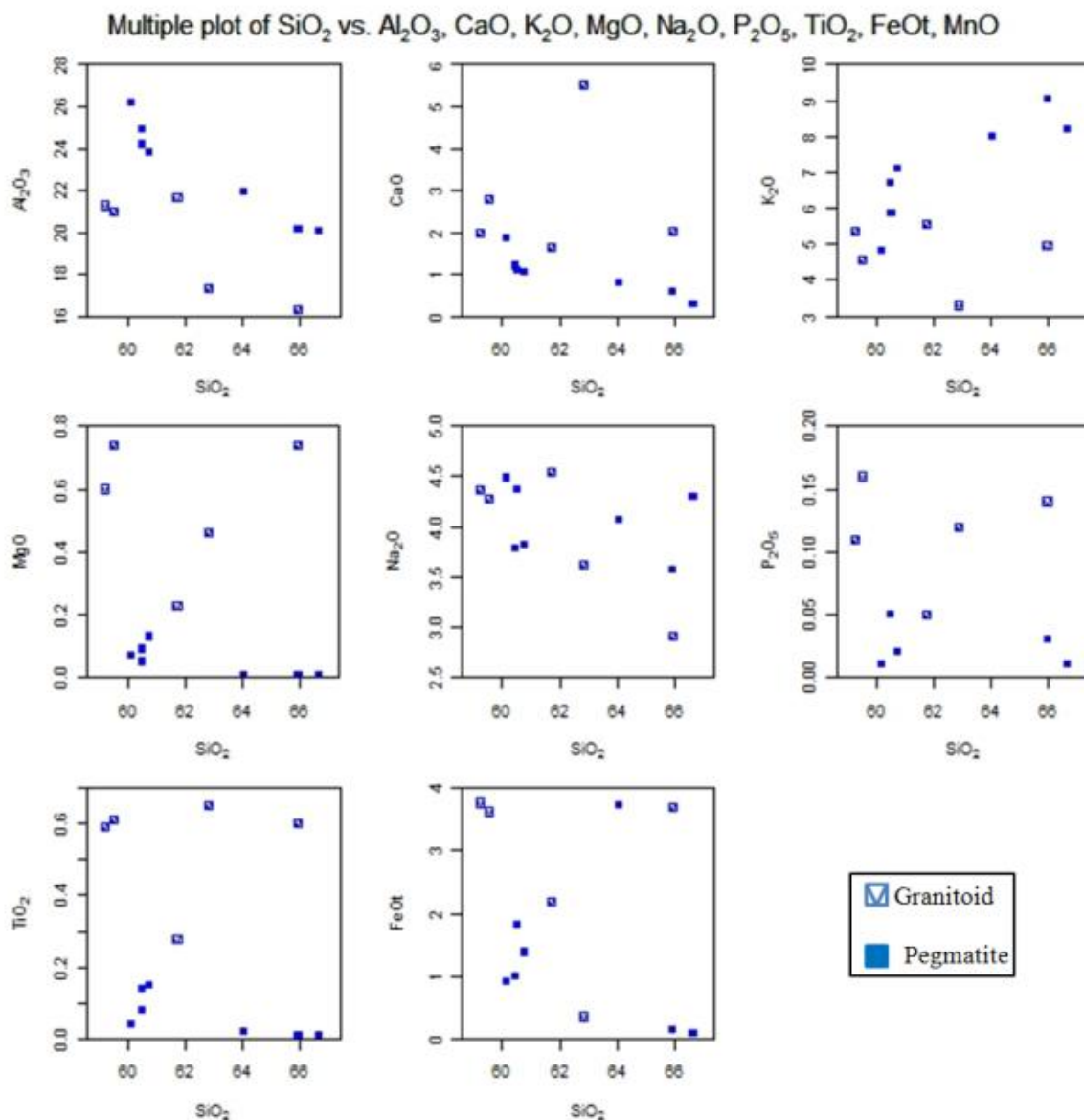


شکل ۴- نمودار Na₂O+K₂O در برابر SiO₂ (Cox et al., 1979) برای نامگذاری سنگ‌های آذرین منطقه

نتایج محاسبه شاخص اشباع از آلومینیم حاکی از مقادیر بالای ASI در بیشتر نمونه‌ها بوده به گونه‌ای که در نمودار A/NK در برابر A/CNK (Shand, 1943) تمامی نمونه‌ها بجز یک نمونه در محدوده پرآلومین و گرانیت تیپ S قرار می‌گیرند (شکل ۵). افزون بر این، از نظر میزان آهن و منیزیم نمونه‌های مورد مطالعه در نمودار SiO₂ در برابر (FeO^I+MgO)/

در این رابطه کاهش MgO و FeO^t با افزایش روند تبلور را می‌توان به تبلور بیوتیت در مراحل اولیه تفریق ماگمای حدواسط نسبت داد. افزون بر این، کاهش Na_2O و CaO و افزایش K_2O را می‌توان در ارتباط با تبلور پلاژیوکلاز در مراحل اولیه تبلور دانست. کاهش Al_2O_3 نیز به دلیل تشکیل پلاژیوکلاز، بیوتیت، مسکوویت، میکروکلین و کرنندوم از ماگما و شرکت این اکسید در ساختار این کانی‌هاست.

پژوهشگران به منظور بررسی تحولات ماگمایی در حین تبلور از نمودارهای مختلفی استفاده می‌کنند که از آن جمله می‌توان به نمودارهای درصد اکسید عناصر اصلی و کمیاب در برابر SiO_2 (Harker, 1909) اشاره کرد. از این رو، با استفاده از این نمودارها در این مقاله می‌توان دریافت که مقادیر CaO ، MgO ، Na_2O و FeO^t با افزایش SiO_2 کاهش و K_2O نیز با افزایش اکسید سیلیسیم افزایش می‌یابد (شکل ۷).

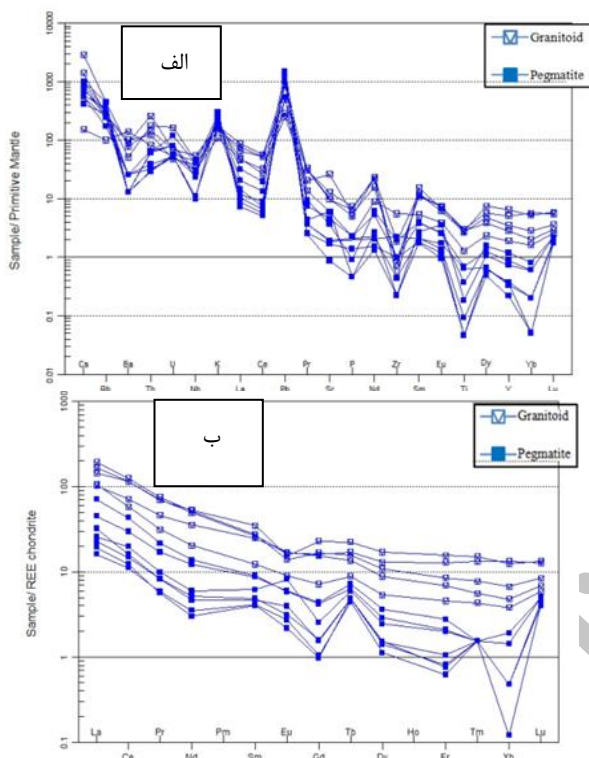


شکل ۷- عناصر اصلی در برابر SiO_2 (Harker, 1909) و موقعیت نمونه‌های مورد مطالعه بر روی آن

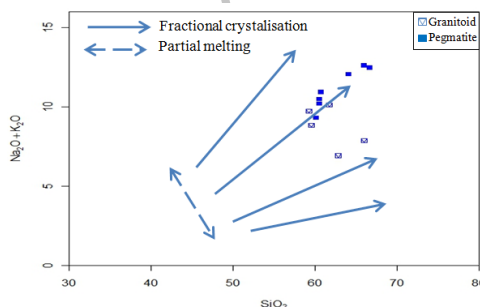
بیانگر تبلور تفریقی همراه با هضم است (شکل ۹). بنابراین می‌توان گفت که به ترتیب جدا شدن بیوتیت- پلاژیوکلاز- مسکوویت- میکروکلین و کرنندوم موجب این تفریق شده است.

همچنین براساس روند افزایشی و سپس کاهشی در نمودار K_2O در برابر Al_2O_3 (شکل ۸) می‌توان گفت که کرنندوم بعد از میکروکلین متبلور شده است. برای اطمینان از شکل گرفتن تبلور تفریقی از نمودار SiO_2 در برابر Th/Yb (Pearce, 1999) استفاده شده است که روند صعودی نقاط

نسبت به HREE ها شده است. با توجه به اینکه گرانیتویدهای تیپ S از ذوب سنگ‌های پوسته بالایی به وجود می‌آیند (قربانی، ۱۳۹۱) نظریه دوم منطقی‌تر به نظر می‌آید. برای اطمینان از این موضوع از نمودار Na_2O+K_2O در برابر SiO_2 (Wilson, 1989) استفاده شد. براساس این نمودار نمونه‌های مورد مطالعه تحت تأثیر درجات پایینی از ذوب‌بخشی قرار گرفته‌اند؛ البته گرانودیوریت‌ها نسبت به پگماتیت‌ها درجات ذوب‌بخشی بیشتری را تحمل کرده‌اند (شکل ۱۱).

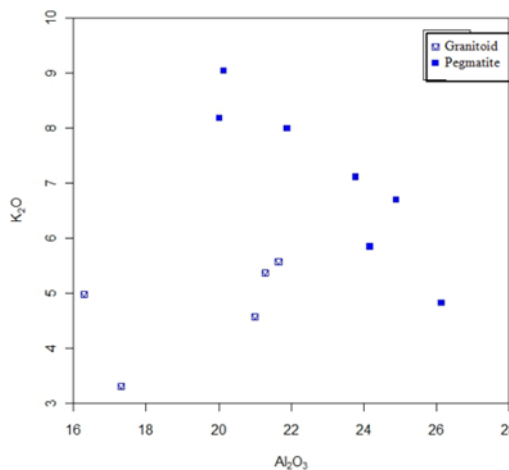


شکل ۱۰- نمودار عنکبوتی بهنجارشده نسبت به الف) گوشته اولیه (Sun and McDonough, 1989) و ب) کندریت (Boynton, 1984) و بی‌هنجاری‌های مشاهده‌شده بر روی آن برای نمونه‌های سنگی مورد مطالعه

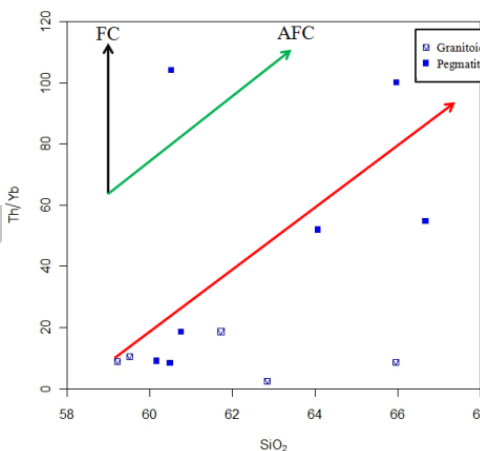


شکل ۱۱- نمودار Na_2O+K_2O در برابر SiO_2 (Wilson, 1989) و روندهای مشاهده‌شده برای سنگ‌های مورد مطالعه

بر اساس نمودارهای عنکبوتی، عناصر جزئی و خاکی کمیاب موجود در سنگ‌های منطقه از روندها و الگوی مشابهی پیروی می‌کنند. این موضوع به



شکل ۸- نمودار K_2O در برابر Al_2O_3 و موقعیت سنگ‌های مورد مطالعه بر روی آن



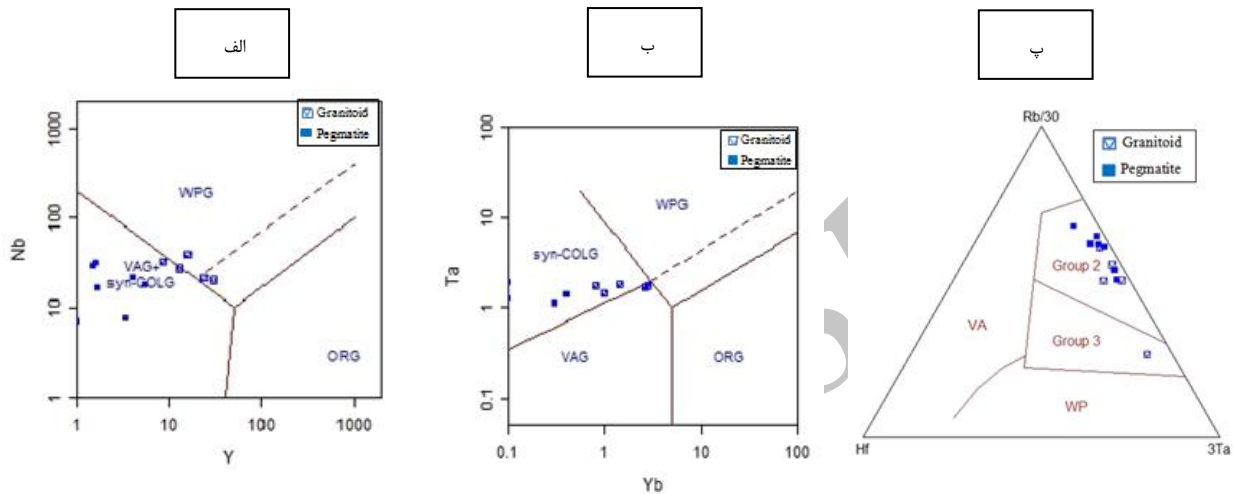
شکل ۹- نمودار تغییرات SiO_2 در برابر Th/Yb (Pearce, 1999). روندهای مشخص‌شده در شکل عبارتند از AFC: تبلور تفریقی همراه با هضم و FC: تبلور تفریقی

نمودار عنکبوتی بهنجارشده نسبت به گوشته اولیه (Sun and McDonough, 1989) در عناصر Th, U, K, Pb غنی‌شدگی و در عناصر Ba, Nb, Ti تهی‌شدگی نشان می‌دهد (شکل ۱۰- الف) که حاکی از یک مذاب حاصل از منشأ پوسته‌ای است (Taylor and Mc Lennan, 1985; Thuy et al., 2004). افزون بر بی‌هنجاری‌های مشاهده‌شده P نیز دارای بی‌هنجاری منفی است (شکل ۱۰- الف) که می‌تواند به دلیل تبلور آپاتیت باشد (Stolz et al., 1996). همچنین در نمودار عنکبوتی بهنجارشده بر پایه کندریت (Boynton, 1984) LREEها نسبت به HREEها دارای غنی‌شدگی هستند (شکل ۱۰- ب). Winter, (2001) دلیل را برای این موضوع در نظر می‌گیرد: یکی این که این سنگ‌ها در مناطق فرورانش به وجود آمده باشند و دوم این که چون LREEها کمی ناسازگارتر از HREEها هستند، درجه پایین ذوب‌بخشی باعث غنی‌شدن LREEها

همراه روندهای مشاهده شده در نمودارهای هارکر نشان‌دهنده رابطه ژنتیکی سنگ‌های منطقه با یکدیگر است.

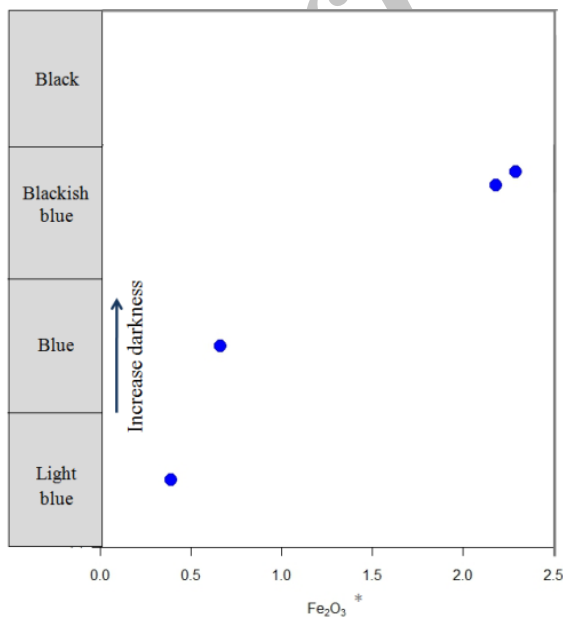
جهت مشخص شدن محیط زمین‌ساختی سنگ‌های مورد بررسی از نمودار Nb در برابر Y (Pearce et al., 1984) استفاده شده است. در این نمودار نمونه‌ها در محدوده کمان‌های آتشفشانی و گرانیتوئیدهای همزمان با برخورد تصویر می‌شوند (شکل ۱۲- الف). همچنین برای بررسی

دقیق‌تر محیط زمین‌ساختی، نمودار Ta برابر Yb (Pearce et al., 1984) و نمودار مثلثی Hf-Rb/30-3Ta (Harris et al., 1986) به کار گرفته شد که هر دو نمودار بیانگر محیط زمین‌ساختی همزمان با برخوردند (شکل ۱۲- ب و پ).



شکل ۱۲- نمودارهای الف) Nb در برابر Y (Pearce et al., 1984)، ب) Ta در برابر Yb (Pearce et al., 1984) و پ) Hf-Rb/30-3Ta (Harris et al., 1986) برای مشخص کردن محیط زمین‌ساختی

انجام شده (جدول ۲)، Ga در تمامی سافایرهای تجزیه شده در بین عناصر فرعی و کمیاب از مقادیر بسیار بالاتری برخوردار است، بنابراین می‌تواند در رنگ آبی این گوهرها نقش داشته باشد.



شکل ۱۳- تأثیر مقدار $Fe_2O_3^*$ در رنگ سافایرهای جنوب همدان

سافایرهای جنوب همدان تنوع رنگ زیادی ندارند و به رنگ آبی روشن تا آبی مایل به مشکی (حجم اصلی سافایرهای جنوب همدان به رنگ آبی مایل به مشکی هستند) دیده می‌شوند (شکل ۱۳). افزون بر این به دلیل این که عامل رنگ‌زا در سافایرهای آبی، اکسید آهن به همراه اکسید تیتانیوم است (Morgane, 2008). برای مشخص کردن این تفاوت رنگ تنها ۲ نمونه سافایر آبی مایل به مشکی، ۱ نمونه سافایر آبی و ۱ نمونه سافایر آبی روشن به روش XRF تجزیه شیمیایی شد که نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است. برخی عناصر مانند H, O, C, Na, K, Be, Mg, Ca, Al, Si, P تأثیری در رنگ کانی یا جواهر ندارند. در برابر عناصری مانند Cr, Fe, Mn, Ni, Cu, V, Ti, CO و حتی در مقادیر بسیار جزئی (ppm) تأثیر بسیار مهمی در رنگ گوهرها دارند (حاج علیلو، ۱۳۸۸). بنابراین با توجه به عناصر رنگ‌زا در گوهرها و با توجه به تجزیه شیمیایی انجام شده می‌توان گفت که عامل ایجاد رنگ در سافایرهای آبی مایل به مشکی نیز $Fe_2O_3^*$ و اکسید Ti هستند با این تفاوت که مقدار $Fe_2O_3^*$ آن نسبت به سافایرهای دیگر بیشتر است. به طور کلی با افزایش میزان $Fe_2O_3^*$ تیرگی سافایرهای مورد مطالعه افزایش می‌یابد (شکل ۱۳). همان گونه که گفته شد پگماتیت‌های مورد مطالعه از نوع آهن‌دار هستند که با توجه به مطالب گفته شده می‌تواند دلیل تمایل رنگ به مشکی در سافایرهای مورد مطالعه باشد. افزون بر عناصر اصلی، گاهی عناصر کمیاب و فرعی نیز در رنگ گوهرها نقش دارند، برای مثال عامل ایجاد رنگ در ژادیت‌های جنوب ایران عناصر جزئی و کمیاب است (Oberhansli et al., 2007). براساس تجزیه

جدول ۱- نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌های مورد مطالعه به روش ICP-MS

Sample	S1-1	S1-2	S1-3	S1-4	S1-5	S1-6	S1-7	S1-10	S1-11	S1-13	S1-14	S1-15
	پگماتیت	پگماتیت	گرانیتوئید	پگماتیت	پگماتیت	گرانیتوئید	گرانیتوئید	پگماتیت	گرانیتوئید	پگماتیت	گرانیتوئید	پگماتیت
SiO ₂	۶۰.۱۶	۶۰.۷۶	۵۹.۵۱	۶۵.۹۷	۶۰.۴۹	۶۱.۷۲	۶۵.۹۴	۶۴.۰۶	۶۲.۸۴	۶۶.۶۷	۵۹.۲۲	۶۰.۵۲
Al ₂ O ₃	۲۶.۱۴	۲۳.۷۸	۲۱	۲۰.۱۴	۲۴.۸۹	۲۱.۶۵	۱۶.۲۹	۲۱.۸۹	۱۷.۱۳	۲۰.۰۳	۲۱.۲۸	۲۴.۱۷
BaO	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۸	۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۴	۰.۰۷	۰.۰۱	۰.۱۱	۰.۰۱	۰.۰۶	۰.۰۱
CaO	۱.۸۷	۱.۰۵	۲.۷۹	۰.۵۹	۱.۲	۱.۶۵	۲.۰۴	۰.۷۹	۵.۵۲	۰.۲۹	۱.۹۸	۱.۰۸
Fe ₂ O ₃	۱.۰۱	۱.۵۳	۲.۱۱	۰.۱۶	۱.۱۱	۱.۷۸	۲.۱	۲.۱۵	۰.۴	۰.۱۱	۲.۰۹	۱.۶۴
FeO	۰.۰۰	۰.۰۰	۱.۷۲	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۵۸	۱.۷۹	۱.۷۷	۰.۰۰	۰.۰۰	۱.۸۸	۰.۳۳
K ₂ O	۴.۸۲	۷.۱۱	۴.۵۷	۹.۰۴	۶.۷	۵.۵۷	۴.۹۷	۷.۹۹	۳.۲	۸.۱۸	۵.۳۶	۵.۸۴
MgO	۰.۰۷	۰.۱۳	۰.۷۴	۰.۰۱	۰.۰۹	۰.۲۳	۰.۷۴	۰.۰۱	۰.۴۶	۰.۰۱	۰.۶	۰.۰۵
MnO	۰.۰۴	۰.۰۵	۰.۱	۰.۰۱	۰.۰۵	۰.۰۷	۰.۱	۰.۰۲	۰.۱	<	۰.۱	۰.۰۷
Na ₂ O	۴.۴۸	۳.۸۲	۴.۲۸	۳.۵۷	۳.۷۸	۴.۵۵	۲.۹۱	۴.۰۶	۳.۶۲	۴.۲۹	۴.۳۷	۴.۳۶
P ₂ O ₅	۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۱۶	۰.۰۳	۰.۰۵	۰.۰۵	۰.۱۴	<	۰.۱۲	۰.۰۱	۰.۱۱	<
TiO ₂	۰.۰۴	۰.۱۵	۰.۶۱	۰.۰۱	۰.۰۸	۰.۲۸	۰.۶	۰.۰۲	۰.۶۵	۰.۰۱	۰.۵۹	۰.۱۴
LOI	۰.۹۱	۰.۹۴	۰.۷	۰.۳۹	۱.۰۷	۰.۷	۰.۶۳	۰.۵۸	۰.۳۵	۰.۳۴	۰.۶۶	۰.۹۶
Ag	۰.۲	۰.۲	۰.۲	۰.۲	۰.۲	۰.۲	۰.۳	۰.۲	۱	۰.۲	۰.۲	۰.۲
As	۵.۶	۷.۵	۷.۶	۴.۹	۸.۹	۸.۴	۹	۳.۵	۳.۴	۴.۳	۷.۵	۴.۳
Be	۳.۴	۲.۴	۴.۲	۱.۹	۲.۵	۳.۴	۲.۸	۲.۹	۳.۲	۲.۱	۴.۵	۲.۴
Bi	۰.۱	۰.۱	۰.۱	۰.۲	۰.۱	۰.۵	۰.۱	۰.۱	۰.۱	۰.۶	۰.۱	<۰.۱
Cd	۰.۱<	۰.۱<	۰.۱<	۰.۱<	۰.۱<	۰.۱<	۰.۱<	۰.۱<	۰.۱<	۰.۱<	۰.۱<	<۰.۱
Ce	۱۶	۳۵	۹۳	۹	۲۴	۴۷	۹۳	۱۲	۵۸	۱۰	۱۰۲	۱۳
Co	۱.۸	۲.۴	۶.۳	۱.۶	۲.۲	۳.۲	۶.۲	۱.۶	۵.۲	۱.۶	۵	۲
Cr	۶	۹	۲۳	۵	۶	۱۰	۲۷	۵	۲۱	۵	۲۰	۶
Cs	۴.۳	۵.۷	۱۱.۱	۳.۳	۴.۳	۸	۶.۹	۴.۷	۱.۲	۸	۲۲.۹	۶.۲
Cu	۵	۵	۱۱	۱۴	۱۹	۱۱	۸	۱۷	۱۸	۹	۱۶	۶
Dy	۰.۷۹	۰.۹۳	۲.۸۴	۰.۳۶	۱.۱۶	۱.۷۲	۵.۴۹	۰.۴۵	۴.۱۷	۰.۴۸	۳.۴۹	۰.۴۹
Er	۰.۴۲	۰.۴۴	۱.۴۵	۰.۱۳	۰.۵۸	۰.۹۶	۳.۲۷	۰.۱۷	۲.۶۹	۰.۲۲	۱.۷۹	۰.۱۶
Eu	۰.۶	۰.۴۳	۱.۲۵	۰.۲	۰.۴۴	۰.۶۶	۱.۲۴	۰.۲۳	۱.۲۲	۰.۱۶	۱.۰۲	۰.۲۹
Gd	۰.۶۶	۱.۰۸	۴	۰.۲۷	۱.۱۴	۱.۸۶	۵.۹۳	۰.۴۱	۴.۱۳	۰.۲۵	۴.۳۶	۰.۴
Hf	۰.۵<	۰.۵۳	<۰.۵	۰.۶۲	<۰.۵	۰.۹۲	۰.۵<	۰.۵<	۰.۵۷	<۰.۵	۰.۵	<۰.۵

In	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
La	8	22	52	5	14	33	45	7	32	6	60	10
Li	52	52	89	8	46	91	70	21	18	2	167	53
Lu	0.16	0.16	0.22	0.13	0.16	0.19	0.43	0.13	0.41	0.14	0.27	0.13
Mo	0.7	<0.5	<0.5	0.5	2.1	0.8	<0.5	<0.5	0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Nb	7.8	21.3	27.6	7.1	17.7	32.7	20.4	16.8	21.6	29.1	39.4	31.1
Nd	3.6	8.3	29.6	2.1	7.3	12.2	31.9	3.1	21.4	1.8	31.3	2.8
Ni	4	5	14	3	3	6	15	2	8	2	10	4
Pb	39	10.8	21	87	70	62	62	94	18	94	35	77
Pr	1.21	2.65	8.55	0.72	2.08	3.82	8.51	1.01	5.62	0.69	9.22	1.01
Rb	10.9	193	174	180	154	187	166	222	64	286	284	157
S	<0.5	<0.5	60	<0.5	<0.5	<0.5	57	<0.5	<0.5	<0.5	66	<0.5
Sb	<0.5	0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Sc	<0.5	<0.5	4.4	<0.5	1.1	1.6	5.9	<0.5	2.2	<0.5	3.6	<0.5
Se	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Sm	1.2	1.76	5.12	0.81	1.7	2.39	6.8	0.95	4.85	0.78	50.36	0.91
Sn	4.1	5.9	2.9	4.3	6.3	3.9	2.2	5.3	2.3	4.1	4	7.4
Sr	127	76.9	271.5	35.6	96.2	125.6	20.7	40.7	551.8	18.3	20.85	39.8
Ta	1.1	1.13	1.47	0.74	1.4	1.75	1.73	1.28	1.77	1.93	1.86	0.99
Tb	0.28	0.3	0.64	0.21	0.34	0.42	1.06	0.23	0.81	0.23	0.74	0.23

ادامه جدول ۱- نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌های مورد مطالعه به روش ICP-MS

Sample	S1-1	S1-2	S1-3	S1-4	S1-5	S1-6	S1-7	S1-10	S1-11	S1-13	S1-14	S1-15
	پگماتیت	پگماتیت	گرانیتوئید	پگماتیت	پگماتیت	گرانیتوئید	گرانیتوئید	پگماتیت	گرانیتوئید	پگماتیت	گرانیتوئید	پگماتیت
Te	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Th	2.71	5.53	10.49	2.5	3.3	14.93	22.22	5.19	6.94	5.48	12.4	2.6
Tl	0.54	0.91	0.87	0.91	0.63	0.94	0.72	0.89	0.35	1.18	1.46	0.66
Tm	<0.1	<0.1	0.18	<0.1	<0.1	0.14	0.49	<0.1	0.43	<0.1	0.25	<0.1
U	1.1	1.7	1	1.1	1.1	3.43	1.4	1.7	1.1	2.5	1.46	1.2
V	10	13	39	10	11	17	41	10	26	9	32	10
W	1.6	1.8	1.2	0.6	1.9	1.9	0.8	1	1	1.4	2	2.7
Y	3.3	4	12.9	1	5.4	8.6	29.8	1.7	23.3	1.5	15.9	1.6

Yb	۰.۳	۰.۳	۱	<۰.۰۵	۰.۴	۰.۸	۲.۶	۰.۱	۲.۸	۰.۱	۱.۴	۰.۰۵
Zn	۸۹	۱۵۰	۱۱۹	۱۲	۸۰	۱۲۸	۹۵	۱۰۰	۹۰	۷	۱۵۰	۲۷۰
Zr	۵<	۲۲	۸	۱۱	۱۱	۶۲	۵	۵	۱۰	<۵	۲۱	۲۵

۳-۳- تراش و فرآوری

الماسه بوده و از کشور تایلند تهیه شدند. نتایج آزمایش بدین شرح بود: برش موازی محور C بالاترین کیفیت صیقل خوری و بالاترین غلظت رنگ را در بر دارد به گونه‌ای که با برش در این جهت رنگ آبی غلیظ با درخششی زیبا ظاهر می‌شود. علاوه بر موارد ذکر شده با برش در این جهت محصول وزن بیشتری خواهد داشت. برای نمایان شدن پدیده آستریسم لازم است برش عمود بر محور C زده شود. البته برش در این جهت سبب می‌شود که کیفیت صیقل و رنگ، قربانی نمایان شدن این پدیده گردد اما با توجه به ارزش اقتصادی بالاتر نمونه‌های دارای این پدیده در بازار تجارت پیشنهاد می‌شود که برش‌ها برای نمونه‌های دارای پدیده آستریسم در جهت عمود بر محور C انجام شوند. بهترین روش از نظر استفاده از دیسک‌ها و سمباده‌ها با مش‌های مختلف روش سوم است زیرا نه تنها دستیابی به بالاترین کیفیت صیقل را نسبت به دیگر روش‌ها ممکن می‌سازد بلکه به علت حذف مرحله خش‌گیری و تعداد کمتر مراحل سمباده‌زنی هم از نظر اقتصادی به صرفه‌تر است و هم تراشیدن نمونه نیاز به زمان کمتری دارد. لازم به ذکر است که نمونه‌های تراش داده شده با انحنای بیشتر به کیفیت صیقل خوری بالاتری دست می‌یابند (شکل ۱۴).

برای دستیابی به بهترین جهت برش از نظر قابلیت صیقل خوری، غلظت رنگ و نشان دادن پدیده آستریسم و همچنین برای دستیابی به سریع‌ترین، با کیفیت‌ترین و مقرون به صرفه‌ترین روش از نظر اقتصادی، ۱۶ نمونه از سافایرهای منطقه مورد مطالعه به روش آزمون و خطا و به صورت کابوشن (۱۲ نمونه) و فانتزی (۴ نمونه) در دو جهت یکی موازی محور C و دیگری عمود بر محور C برش داده شد. نمونه‌ها به سه روش تراش داده شدند. در روش اول از دیسک ساب با مش ۸۰ برای سایش و فرم‌دهی، سمباده با مش ۱۲۰ و ۳۲۰ جهت خش‌گیری و سمباده با مش ۶۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ برای صیقل‌زنی، در روش دوم از دیسک ساب با مش ۱۲۰ جهت سایش، سمباده با مش‌های ۱۸۰ و ۳۶۰ برای خش‌گیری و سمباده با مش‌های ۸۰۰ و ۱۲۰۰ جهت صیقل‌زنی و در روش سوم نیز از CBN غلظتی با مش ۴۰۰ برای سه عمل سایش، فرم‌دهی و خش‌گیری و از سمباده با مش‌های ۶۰۰، ۱۲۰۰ و ۱۵۰۰ جهت صیقل‌زنی استفاده شد. لازم به ذکر است که به علت سختی بالای سافایر سمباده‌ها در تمامی مش‌های مورد استفاده از نوع



شکل ۱۴- نمونه‌های تراش خورده سافایرهای جنوب همدان، الف) سافایر دارای رنگ آبی روشن و آبی و شدت جلای اسپلندنت و ب) سافایر با رنگ آبی مایل به مشکی و شدت جلای شینینگ تا اسپلندنت

جدول ۲- نتایج تجزیه شیمیایی به روش XRF برای بررسی عوامل رنگزا در سافایرهای جنوب همدان

Sample 9714				Sample 9715			
SiO ₂ (wt%)	۱۲.۲۳	Zn	۶۵	SiO ₂ (wt%)	۱۲.۹۰	Zn	۶۷
Al ₂ O ₃	۸۱.۸۷	Pb	۳۴	Al ₂ O ₃	۸۱.۴۹	Pb	۳۳
Fe ₂ O ₃ *	۲.۱۸	Ni	۱۹	Fe ₂ O ₃ *	۲.۲۹	Ni	۲۲
CaO	۰.۱۷	Cr	۴	CaO	۰.۳۰	Cr	۵
Na ₂ O	۰.۷۱	V	۱۱	Na ₂ O	۰.۷۲	V	۱۳
K ₂ O	۱.۶۹	Ce	۶۱	K ₂ O	۱.۲۷	Ce	۶۳
MgO	۰.۹	La	۳۹	MgO	۰.۱۱	La	۴۰
ZrO	۰.۵۴	W	۸	ZrO	۰.۵۵	W	۸
TiO ₂	۰.۱۶۱	Y	۱۹۸	TiO ₂	۰.۱۸	Y	۲۰۹
MnO	۰.۰۲	Rb	۱۲۹	MnO	۰.۰۱۸	Rb	۱۳۴
P ₂ O ₅	۰.۰۱۲	Co	۲	P ₂ O ₅	۰.۰۱۱	Co	۶
SO ₃	۰.۰۰۲	As	۴	SO ₃	۰.۰۰۰۱۲	As	۳
L.O.I	۰.۲۳	U	۱	L.O.I	۰.۵۰	U	۲
Total	۱۰۰.۷۱۵	Tu	۲	Total	۱۰۰.۳۳۹	Tu	۲
Cl (ppm)	۶۹	Mo	۳	Cl (ppm)	۷۱	Mo	۳
Ba	۱۵۰	Ga	۳۵۳	Ba	۱۵۴	Ga	۲۹۸
Sr	۹	Nb	۲	Sr	۱۰	Nb	۱
Cu	۸			Cu	۸		
Sample 9716				Sample 9717			
SiO ₂ (wt%)	۱۱.۴۸	Zn	۶۴	SiO ₂ (wt%)	۱۰.۷۹	Zn	۶۶
Al ₂ O ₃	۸۲.۸۱	Pb	۳۲	Al ₂ O ₃	۸۴.۰۱	Pb	۳۰
Fe ₂ O ₃ *	۰.۶۶	Ni	۲۳	Fe ₂ O ₃ *	۰.۳۹	Ni	۲۲
CaO	۰.۰۹	Cr	۷	CaO	۰.۴۱	Cr	۴
Na ₂ O	۰.۶۹	V	۱۲	Na ₂ O	۰.۶۵	V	۷
K ₂ O	۲.۰۶	Ce	۵۹	K ₂ O	۲.۲۴	Ce	۵۸
MgO	۰.۰۳	La	۲۶	MgO	۰.۰۲	La	۳۵
ZrO ₂	۰.۵۶	W	۷	ZrO ₂	۰.۵۹	W	۶
TiO ₂	۰.۱۱۶	Y	۲۱۰	TiO ₂	۰.۱۱۹	Y	۲۱۵
MnO	۰.۰۲۲	Rb	۱۲۱	MnO	۰.۰۴۸	Rb	۱۲۵
P ₂ O ₅	۰.۰۰۹	Co	۴	P ₂ O ₅	۰.۰۱	Co	۴
SO ₃	۰.۰۱۵	As	۳	SO ₃	۰.۰۰۸	As	۳
L.O.I	۱.۲۳	U	۱	L.O.I	۰.۶۷	U	۱
Total	۹۹.۷۵	Tu	۲	Total	۹۹.۹۵۵	Tu	۲
CL (ppm)	۷۲	Mo	۲	CL (ppm)	۷۱	Mo	۲
Ba	۱۵۶	Ga	۳۵۶	Ba	۱۵۹	Ga	۴۰۹
Sr	۸	Nb	۱	Sr	۹	Nb	۲
Cu	۹			Cu	۱۰		

۳-۴ مطالعات گوهرشناسی

۱۴) هستند (جدول ۳). افزون بر این، خاستگاه پگماتیتهی این گوهرها، وجود پدیده آستریسم که در سافایرها به دلیل وجود حفره‌های کانالی است (ادیب، ۱۳۶۹) و سامانه تبلور هگزاگونال در برخی نمونه‌ها نشان‌دهنده این است که کانی‌های مورد بحث بدون هیچ شک و تردیدی از نوع سافایر هستند (شکل ۱۵). نکته‌ای که در این مطالعات بسیار قابل توجه است، افزایش ضریب شکست، شدت جلا و وزن مخصوص در جهت‌های برش موازی محور C نسبت به جهت‌های عمود بر این محور است. این ویژگی می‌تواند در تراش سافایرها کاربرد زیادی داشته باشد زیرا افزایش ضریب شکست و وزن مخصوص به ترتیب کیفیت جلا و وزن بیشتر را به همراه خواهد داشت.

برای انجام مطالعات گوهرشناسی ۵ نمونه از سافایرهای جنوب همدان که به صورت دامله تراش داده شده بودند به وسیله دستگاه‌های شکست‌سنج مدل CL-181 برای اندازه‌گیری ضریب شکست، ترازوی هیدرواستاتیک برای اندازه‌گیری وزن مخصوص و دستگاه سختی‌سنج برای مشخص کردن مقدار سختی مورد بررسی قرار گرفتند. براساس این مطالعات کانی‌های مورد مطالعه دارای ضریب شکست ۱.۷۵ تا ۱.۷۷، وزن مخصوص ۴ تا ۴.۱۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب، سختی ۹، خاصیت نوری DR، شدت جلا با درجه شینینگ تا اسپلندنت و رنگ آبی روشن، آبی و آبی مایل به مشکی (شکل



شکل ۱۵- سامانه تبلور هگزاگونال و پدیده آستریسم در سافایرهای جنوب همدان (شرکت تهیه و تولید مواد معدنی ایران، ۱۳۹۰) (عرض تصویر ۵ سانتی‌متر)

جدول ۳- ویژگی‌های گوهرشناسی سافایرهای جنوب همدان

Sample	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅
ضریب شکست	۱.۷۵-۱.۷۶	۱.۷۶-۱.۷۷	۱.۷۶-۱.۷۷	۱.۷۵-۱.۷۶	۱.۷۶-۱.۷۷
خاصیت نوری	DR	DR	DR	DR	DR
شفافیت	TL	TL	Opaque	S-TL	Opaque
نوع جلا	نیمه‌شیشه‌ای	نیمه‌شیشه‌ای	چرب	چرب تا نیمه‌شیشه‌ای	چرب
شدت جلا	شینینگ تا اسپلندنت	اسپلندنت	اسپلندنت	اسپلندنت	اسپلندنت
رنگ	آبی روشن	آبی مایل به مشکی	آبی مایل به مشکی	آبی روشن	آبی مایل به مشکی
پدیده استار	دارد	ندارد	ندارد	دارد	ندارد
وزن مخصوص	۴ gr/cm ³	۴.۱۵ gr/cm ³	۴.۱۵ gr/cm ³	۴.۱ gr/cm ³	۴.۱۵ gr/cm ³
سختی	۹	۹	۹	۹	۹
سیستم تبلور	هگزاگونال	هگزاگونال	هگزاگونال	هگزاگونال	هگزاگونال

نتیجه‌گیری

دارای ضریب شکست ۱.۷۵ تا ۱.۷۷، وزن مخصوص ۴ تا ۴.۱۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب، سختی ۹، خاصیت نوری DR، شدت جلا با درجه شینینگ تا اسپلندنت هستند.

مراجع

- ادیب، د.، ۱۳۶۹، "جهان جواهرات، کلیات جواهرشناسی" چاپخانه آرمان، ۳۶۲ صفحه.
- اقلیمی، ب.، ۱۳۷۹، "نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ همدان" سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور.
- تبریزی، م. سپاهی‌گرو، ع. ا. سلامی، ص.، ۱۳۹۳، "بررسی سنگ‌شناسی و ژئوشیمی دایک‌های مافیک و فلسیک مجموعه پلوتونیک الوند همدان و بررسی شیمی کانی‌های موجود در آن‌ها" مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره سوم، صفحه ۴۵۸-۴۴۵.
- حاج علیلو، ب.، ۱۳۸۸، "گوهرشناسی" انتشارات پیام‌نور، صفحه ۳۴۰.
- سپاهی‌گرو، ع. ا.، ۱۳۷۸، "پترولوژی مجموعه پلوتونیک الوند با نگرشی ویژه بر گرانیتوئیدها" پایان‌نامه دکتری، دانشکده علوم، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه تربیت معلم، ۳۲۶ صفحه.
- سپاهی‌گرو، ع. ا. معین وزیری، ح.، ۱۳۷۹، "مروری بر فازهای پلوتونیک و رگه‌های موجود در مجموعه پلوتونیک الوند" مجله علوم دانشگاه تهران، جلد ۲۶، شماره ۲، صفحه ۱۷۶-۱۷۵.
- شهنازی، ح.، ۱۳۹۰، "پترولوژی مجموعه سنگ‌های آذرین و میگماتیت‌های کمپلکس الوند و توده نفوذی الموقلاق همدان و ارتباط ژنتیکی بین آنها" رساله دکتری، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، ۱۸۹ صفحه.
- قربانی، م.، ۱۳۹۱، "سنگ‌شناسی آذرین پیشرفته" انتشارات آریسن زمین، ۳۹۸ صفحه.
- ولی‌زاده، م. صادقیان، م.، ۱۳۷۵، "پتروژنز چند توده آذرین بازیک واقع در نوار دگرگونی سندانج-سیرجان" مجله علوم زمین دانشگاه تهران، جلد ۲۲، شماره ۱، صفحه ۷۹-۹۸.
- شرکت تهیه و تولید مواد معدنی ایران، ۱۳۹۰، "طرح پتانسیل‌یابی سنگ‌های قیمتی و نیمه‌قیمتی در استان همدان" ۲۴۱ صفحه.
- Boynton, W. V., 1984, "Cosmochemistry of the Rare Earth Elements: Meteorite Studies", In: Henderson, P., Ed., *Rare Earth Element Geochemistry*, Elsevier, P.63-114.
- Cox, K.G., Bell, J. D., Pankhurst, R. J., 1979, "The Interpretations of Igneous Rocks", *George Allen and Unwin. London*, P. 450.
- Donoghue, M., 2006, "Gems", *Elsevier*, P. 937.
- Frost, R., Barnes, C. G., Collins, W. J., Arculus, R. J., Ellis, D. J., Frost, C. D., 2001, "A geochemical classification for granitic rocks", *Journal Of Petrology*, Vol. 42, P. 2003-2048.
- Harris, N. B. W., Pearce, J. A., Tindle, A. G., 1986, "Geochemical characteristics of collision-zone magmatism". In: Coward M. P. and Reise A. C. (eds.), *Collision tectonics. Spec. Publ. Geol. Soc.*, Vol. 19, P. 67-81.

براساس مطالعات صحرایی، سنگ‌نگاری و ژئوشیمی، سنگ‌های آذرین منطقه مورد مطالعه را می‌توان به دو دسته پگماتیت‌های سینیتی و سایر گرانیتوئیدها که خود شامل سینیت‌ها و گرانودیوریت‌ها می‌شود، تقسیم کرد. در مطالعات پیشین پگماتیت‌های مجموعه پلوتونیک الوند را به انواع تورمالین دار، تورمالین-مسکوویت-گارنت‌دار، آلومین دار و میکادار تقسیم کرده بودند اما در این پژوهش مشخص شد که افزون بر پگماتیت‌های فوق می‌توان پگماتیت‌های میکا-سافایردار را نیز به این تقسیم‌بندی اضافه کرد. کانی‌های تشکیل دهنده این پگماتیت‌ها فلدسپار قلیایی، بیوتیت، مسکوویت، کوارتز، زیرکن، تورمالین و کربندوم است. براساس مطالعات ژئوشیمی مشخص شد که بجز گرانودیوریت‌ها که دارای سری ماگمایی نیمه‌قلیایی هستند سایر سنگ‌های منطقه سری ماگمایی قلیایی دارند که این موضوع می‌تواند به دلیل تبلور جزء به جزء و تجمع قلیایی‌ها در فازهای انتهایی تر باشد. افزون بر این، درجه پایین ذوب‌بخشی نیز می‌تواند در قلیایی‌بودن سری ماگمایی سینیت‌ها و پگماتیت‌هایی با ترکیب سینیتی موثر باشد. همچنین مطالعات انجام‌شده حاکی از این است که سنگ‌های آذرین منطقه با یکدیگر رابطه زایشی داشته و پگماتیت‌ها در نتیجه تفریق و تجمع مایعات فلسیک در فاز انتهایی تبلور ماگما تشکیل شده‌اند. براساس مطالعات ژئوشیمی سنگ‌های مورد مطالعه در محیط‌های زمین‌ساختی هم‌زمان با برخورد تشکیل شده‌اند. این سنگ‌ها بیشتر از نظر درجه اشباع آلومینیم از نوع پرآلومین و گرانیت تیپ S هستند که پگماتیت‌های مورد مطالعه را برای تشکیل سافایر کاملاً مستعد می‌کند. همچنین براساس مطالعات ژئوشیمی می‌توان دریافت که این سافایرها در فاز انتهایی تبلور ماگما بعد از میکروکلین و پیش از کوارتز متبلور می‌شوند. مطالعات صحرایی و کاهش میزان سافایر با افزایش میزان سیلیس در پگماتیت‌ها نیز این موضوع را تأیید می‌کند. وجود هر دو نوع میکا و همچنین کانی‌های فرعی زیرکن و تورمالین در پگماتیت‌های جنوب همدان بیانگر این مطلب است که این پگماتیت‌ها از نوع پگماتیت‌های عمیق هستند که خود می‌تواند در درشت‌بودن سافایرهای تشکیل شده مؤثر باشد زیرا در اعماق زیاد اختلاف کم دمای پگماتیت‌ها با سنگ‌های مجاور موجب آهسته‌تر سرد شدن پگماتیت‌ها می‌شود. پگماتیت‌های مورد مطالعه از نوع آهن‌دار هستند که این موضوع می‌تواند دلیل تمایل رنگ تعدادی از سافایرها به مشکی باشد. افزون بر عناصر Fe و Ti، عنصر Ga نیز در رنگ آبی این گوهرها مؤثر است. در تراش و فرآوری سافایرهای جنوب همدان سریع‌ترین و مقرون به صرفه‌ترین روش، روشی است که از CBN غلتکی با مش ۴۰۰ برای اعمال سایش، فرم‌دهی و خش‌گیری، و از سمباده با مش‌های ۶۰۰، ۱۲۰۰ و ۱۵۰۰ جهت صیقل‌زنی استفاده شود. همچنین برای دستیابی به کیفیت بالای جلا و رنگ می‌بایست برش‌ها در جهت محور C زده شوند. دلیل بالاتر بودن کیفیت جلا در این جهت برش، ضریب شکست بیشتر نسبت به جهت برش عمود بر محور C است. افزون بر این، در نمونه‌های دارای پدیده آستریسم برش‌ها باید عمود بر جهت محور C باشد تا این پدیده نمایان شود. همچنین براساس مطالعات گوهرشناسی سافایرهای جنوب همدان

- Harker, A., 1909**, "The natural history of igneous rocks", *methneu, London*, P. 344.
- Morgan, D., 2008**, "Gemlor", *Greenwood Publishing Group*, P. 205.
- Oberhansli, R., Bousquet R., Moinzade H., Moazzen M., Arvin M., 2007**, "The field of stability of blue jadeite, a new occurrence of jadeitite at Sorkhan, Iran, as a case study", *The Canadian Mineralogists*, V: 45, No: 6, P. 1501-1509.
- Pearce, J. A., Harris, N. W., Tindle, A. G., 1984**, "Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks", *Journal of Petrology*, Vol. 25, P. 956- 983.
- Pearce, J. A., Kempton, P. D., Nowell, G. M., Noble, S. R., 1999**, "Hf-Nd elements and isotope perspective on the nature and provenance of mantle and subduction components in western Pacific arcbasinsystems", *Journal of Petrology*, Vol. 40, P. 1579-1611.
- Stolz, A.J., Jochum, K. P., Spettel, B., Hofmann, A. W., 1996**, "Fluid and melt related enrichment in the subarc mantle: evidence from Nb/Ta variations in island arc basalts", *Geology*. Vol. 24, P. 587-590.
- Shand, S. J., 1943**, "Eruptive Rocks", *Their Genesis, Composition, Classification, and Their Relation to Ore-Deposits with a Chapter on Meteorite*. New York: John Wiley & Sons, P. 488.
- Sun, S. S., McDonough, W. F., 1989**, "Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: implications for mantle compositions and processes", *Journal of Geological Society, London, Special Publication*, Vol. 42, P. 313-345.
- Taylor, S. R., McLennan, S. M., 1985**, "The Continental Crust: Its Composition and Evolution: An Examination of The Geochemical Record Preserved in Sedimentary Rocks", *Oxford, Blackwell Scientific Editor*, P. 328.
- Thuy, N.T.B., Satir, M., Siebel W., Vennemann, T., Long, T. V., 2004**, "Geochemical and isotopic constrains on the petrogenesis of granitoids from the Dalat zone, southern Vietnam", *Journal of Asian Earth Sciences*, Vol. 23, P. 467- 482.
- Wilson, M., 1989**, "Igneous petrogenesis: a global tectonic approach", *Unwin Hymen, London*, P. 466.
- Winter. John D., 2001**, "An introduction to igneous and metamorphic petrology", *Prentice-Hall inc. Upper Saddle River, New Jersey*, P. 697.

