

شیمی کانی و پترولوژی توده‌های گابروئی شوشونیتی هشت‌سر- لقلان (هوراند، استان آذربایجان شرقی)

علیرضا روان‌خواه^{۱*}، محسن مؤید^۲، محمدرضا حسین‌زاده^۳، امیرمرتضی عظیم‌زاده^۴،
جمشید حسن‌زاده^۵ و نصیر عامل^۶

۱. استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه محقق اردبیلی
۲. استاد گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز
۳. دانشیار گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز
۴. استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان
۵. پژوهشگر مؤسسه تکنولوژی کالیفرنیا، بخش زمین‌شناسی و نجوم
۶. استادیار گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۳/۰۱

تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۴/۲۳

چکیده

توده‌های گابروئی مورد مطالعه در شرق و جنوب‌غرب هوراند (شرق کلیبر)، در استان آذربایجان شرقی رخنمون دارند. توده گابروئی لقلان به فرم سیل‌های مکرر به درون نهشته‌های فلیش‌گونه کرتاسه بالایی- پالئوسن تزریق شده است. توده گابروئی هشت‌سر به همراه پیروکسنیت‌های همراه به درون نهشته‌های مذکور تزریق شده است. کانی‌شناسی اصلی گابروی لقلان شامل پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن، پتاسیم فلدسپار و بیوتیت است و کانی‌های اصلی سازنده گابروی هشت‌سر شامل پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن و آمفیبول است. پلاژیوکلازهای موجود در توده‌ی گابروئی هشت‌سر (آنورتیت) کلسیک‌تر از پلاژیوکلازهای موجود در توده گابروئی لقلان است و برخلاف آن‌ها فاقد منطقه‌بندی می‌باشند. ترکیب کلینوپیروکسن در هر دو توده در محدوده دیوپسید است و آمفیبول‌های موجود در توده گابروئی هشت‌سر ترکیب پارگازیتی تا چرماکیتی دارند. ماگمای مولد این توده‌ها براساس شیمی سنگ کل و ترکیب کلینوپیروکسن‌های موجود در آن‌ها، دارای سرشت شوشونیتی است و از ذوب بخشی با نرخ حدود پنج درصدی گوشته اسپینل- گارنت لرزولیتی غنی‌شده و با گارنت باقیمانده در فاز تفاله و در یک محیط قوس آتشفشانی تکوین یافته است.

واژه‌های کلیدی: سیل، فلیش، قوس آتشفشانی، گابرو، هوراند.

مقدمه

شمال‌غرب ایران به مختصات جغرافیائی ۲۳° ۴۷' تا ۳۰' ۴۷° طول شرقی و ۲۰' ۳۸° تا ۲۲' ۳۸° عرض شمالی (منطقه لقلان) و منطقه هشت‌سر بین طول‌های جغرافیائی ۱۳' ۴۷° تا ۱۸' ۴۷° شرقی و عرض‌های جغرافیائی ۴۷' ۳۸° تا ۵۰' ۳۸°

منطقه لقلان و هشت‌سر به ترتیب در شمال‌شرق و جنوب‌غرب هوراند (شرق کلیبر) در استان آذربایجان شرقی و

* نویسنده مرتبط: aravankhah2013@gmail.com

روش مطالعه

پس از بررسی حدود ۸۰ مقطع نازک و انتخاب نمونه‌های مناسب به منظور بررسی ترکیب شیمیائی کانی‌ها، تعداد دو نمونه (یک نمونه گابروی لقلان (نه نقطه کلینوپیروکسن، شش نقطه فلدسپار، الیوین و میکا هر کدام چهار نقطه) و یک نمونه گابروی هشت‌سر (شش نقطه آمفیبول، کلینوپیروکسن و پلاژیوکلاز هر کدام پنج نقطه) به کمک دستگاه الکترون میکروپروپ JEOL مدل JXA-8200 در مؤسسه تکنولوژی کالیفرنیا با استفاده از پرتو الکترونی متمرکز با ولتاژ شتاب‌دهنده 15 kV و شدت جریان 25 nA تجزیه شد. همچنین، تعداد ۱۲ نمونه از واحدهای سنگی (چهار نمونه گابروی لقلان و هشت نمونه گابروی هشت‌سر) به روش ICP-MS در آزمایشگاه Labwest Minerals Analyses استرالیا (آنالیز عناصر اصلی، کمیاب و کمیاب خاکی) (آنالیز اکسیدهای عناصر اصلی به روش ذوب قلیائی در شرکت مطالعات مواد معدنی زرآما) برای دستیابی به عناصر کلیدی تجزیه شدند.

زمین‌شناسی منطقه

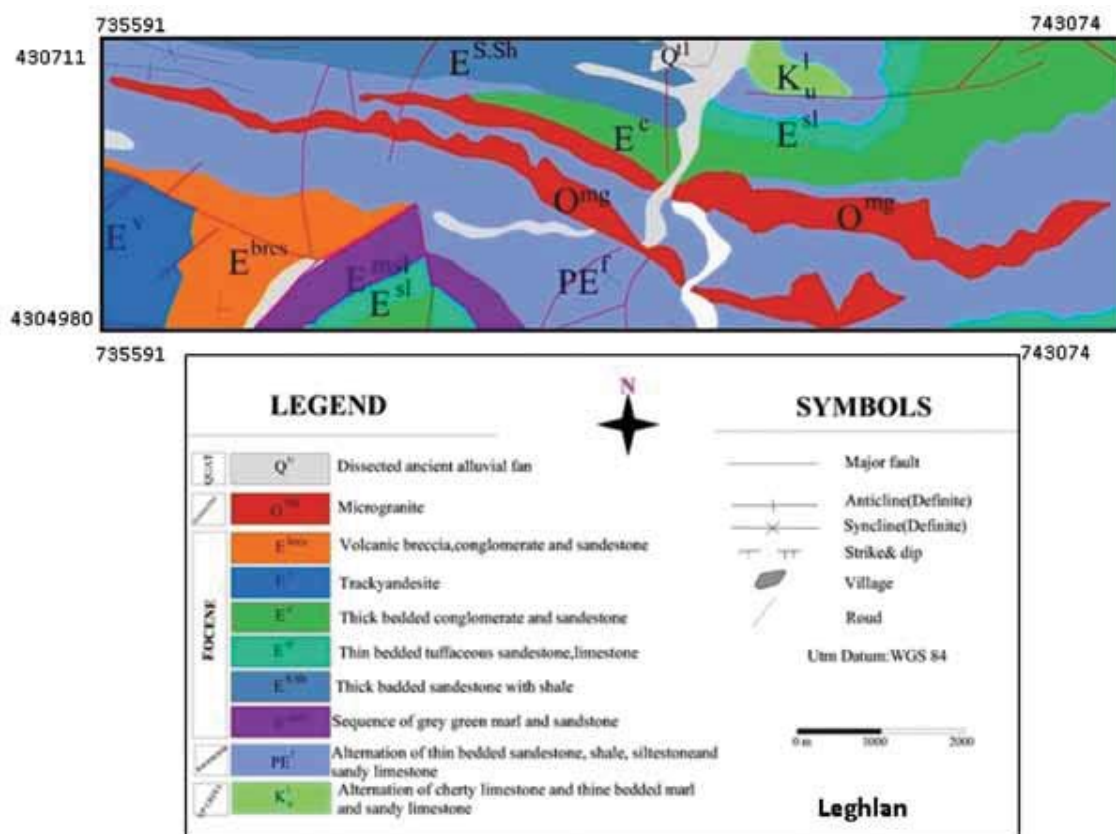
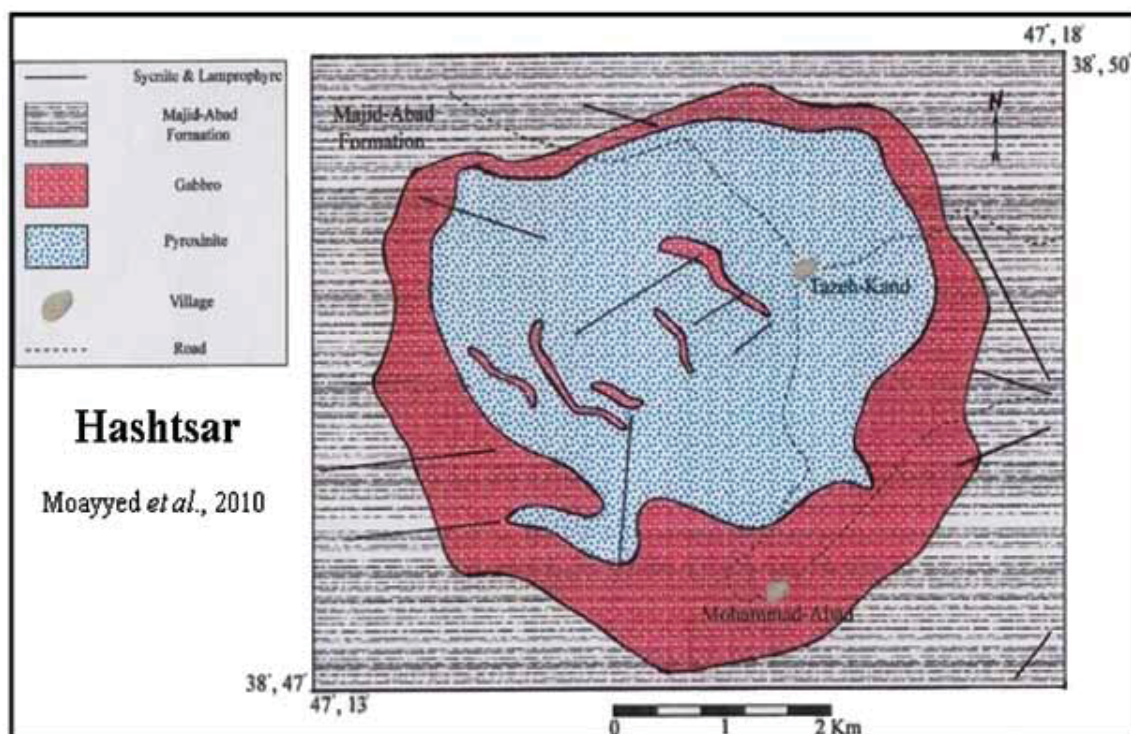
مناطق لقلان و هشت‌سر در شمال غرب ایران، استان آذربایجان شرقی، به ترتیب در شمال شرق و جنوب غرب هوراند (شرق شهرستان کلیبر) واقع شده‌اند. این محدوده در زون بندی‌های زمین‌شناسی ایران، بخشی از زون ماگمایی ترشیر-کواترن (Stocklin, 1977) و پهنه مرکزی (آقناباتی، ۱۳۸۳) محسوب می‌شود. رخنمون اصلی سنگ‌های غالب در محدوده مورد مطالعه عبارت از سنگ‌های فلیش گونه و کربناته پلاژیک کرتاسه بالایی- پالتوسن به همراه سنگ‌های ولکانیک و ولکانو-کلاستیک سازند مجیدآباد است. بررسی‌های صحرائی نشان می‌دهد که در منطقه لقلان، گابروها به فرم سیل و با روند تقریبی شرقی-غربی و دارای کنتاکت شارپ و تیز با نهشته‌های رسوبی منطقه قابل مشاهده‌اند (شکل ۲-الف و ب).

همراهی گابروهای هشت‌سر با سنگ‌های اولترامافیک و قلیایی و نیز منطقه بندی در نحوه استقرار این واحدها (پیروکسنیت‌ها در مرکز و گابرو و سینیت‌ها در اطراف) منجر به تصور احتمال وجود یک کمپلکس حلقوی قلیایی در این ناحیه شده است (شکل ۱). همیافت حلقوی کوه‌های

شمالی واقع شده‌اند. مسیر ارتباطی به مناطق مذکور جاده آسفالت تبریز- اهر - هوراند می‌باشد که بعد از گذشتن از بخش هوراند برای دسترسی به منطقه لقلان بایستی از هوراند حدود ۱۴ کیلومتر به طرف روستای لقلان که حدود چهار کیلومتر جاده شنی است، پیموده شود. نزدیک‌ترین راه ارتباطی به کوه‌های هشت‌سر، مسیر اهر - هوراند - تازه‌کند است که این مسیر از اهر تا هوراند آسفالتی است و بقیه مسیر خاکی می‌باشد. توده‌های نفوذی این منطقه عمدتاً دارای ترکیب سنگ‌شناسی دیوریت، گابرو، گابرو دیوریت، کوارتز دیوریت و مونزوگابرو می‌باشند. سن این توده‌ها در نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کلیبر (مطالعات سازمان زمین‌شناسی کشور، مهرپرتو و امامی، ۱۹۹۹) به الیگوسن نسبت داده شده است. این توده‌ها نهشته‌های فلیش گونه کرتاسه بالایی - پالتوسن را قطع کرده‌اند و بیشتر به فرم استوک، دایک و سیل تزریق شده‌اند. اولین مطالعات انجام گرفته در این منطقه مربوط به تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی توسط سازمان زمین‌شناسی کشور در قالب تهیه نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ کلیبر (مهرپرتو و امامی، ۱۹۹۹)، ۱:۱۰۰۰۰۰ لاهرود (باباخانی و خان‌ناظر، ۱۳۷۰) و ۱:۲۵۰۰۰۰ اهر (باباخانی و خان‌ناظر، ۱۳۶۹) می‌باشد. این بررسی‌ها کلی بوده و صرفاً به منظور تفکیک واحدها و ساختارهای مختلف زمین‌شناسی از یکدیگر انجام گرفته است. همچنین در منطقه هشت‌سر مطالعه‌ای توسط شرکت منطقه‌ای معادن آذربایجان با عنوان "اکتشافات مقدماتی و نیمه تفصیلی ورمیکولیت کلیبر" (طلوعی و ضرغامی، ۱۳۷۰) صورت گرفته که کاری درخور توجه، به‌ویژه در تفکیک و معرفی انواع مختلف سنگی در این منطقه است. با وجود این، بدون توجه به ماهیت قلیایی این کمپلکس، سن آن را به پیش از انوسن (تریاس؟) نسبت داده‌اند. برخی از محققین بررسی توده‌های نفوذی این منطقه را موضوع پژوهش خود قرار داده‌اند که از جمله این محققین می‌توان به صادق زاده خسروشاهی و همکاران، ۱۳۸۴؛ تاج بخش، ۱۳۸۸؛ غضنفری و همکاران، ۱۳۸۹؛ مؤید و همکاران، ۱۳۸۹ و مجرد و همکاران، ۱۳۸۸ اشاره کرد.

1. ICP-MS: Perkin Elmer Model Nexion

علیرضا روان خواه و همکاران



شکل ۱. نقشه زمین شناسی مناطق لقلان و هشتسر با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ (نقشه هشتسر توسط مؤید و همکاران، ۱۳۸۹ تهیه شده است)

و عمده رخنمون کمپلکس حلقوی یاد شده را سنگ‌های پیروکسنیتی (کلینوپيروكسنیت تا الیوین کلینوپيروكسنیت و کلینوپيروكسنیت پلاژیوکلازدار) تشکیل می‌دهند. وجود زینولیت‌های بزرگی از پیروکسنیت در داخل گابروها (احتمالاً در اثر پدیده استوپینگ) و نیز دایک‌های گابروئی در داخل پیروکسنیت‌ها حکایت از جوان بودن گابروها و گابرو دیوریت‌ها نسبت به پیروکسنیت‌ها دارد (شکل ۲-ج).

هشت‌سر، پیرامون روستاهای تازه‌کند و محمدآباد و در هسته یک تاقدیس با روند محوری شرقی-غربی رخنمون یافته است. در نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کلیر (مهرپرتو و امامی، ۱۹۹۹) این مجموعه تحت عنوان توده‌های نفوذی الیگوسن و با ترکیبی در حد دیوریت تا بیوتیت دیوریت و گرانیت تا گرانودیوریت معرفی شده است. بررسی‌های زمین‌شناسی این منطقه نشان می‌دهد که بخش مرکزی



شکل ۲. الف) دورنمایی از توده گابروئی منطقه لقلان، دید به سمت شرق، ب) نمائی دیگر از گابروهای منطقه لقلان، دید به سمت شمال، ج) قطع شدن توده اولترامافیک (پیروکسنیت) توسط دایک گابروئی، دید به سمت شمال غرب

پتروگرافی

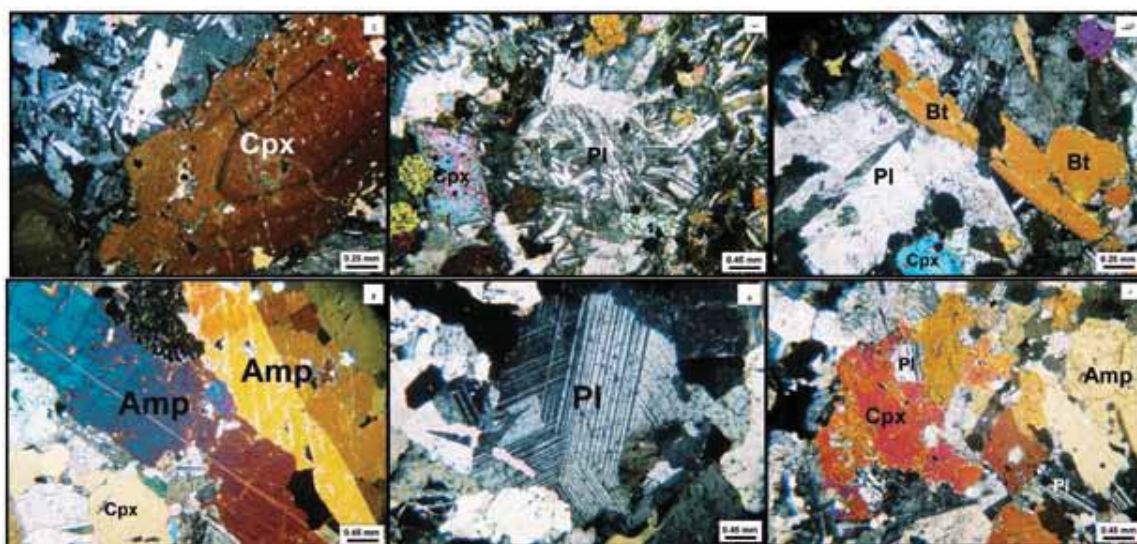
کلینوپيروكسن‌ها و نیز فضای بین بلورهای کلینوپيروكسن قابل مشاهده هستند (شکل ۳-ب). در برخی از نمونه‌ها پلاژیوکلازها دارای منطقه‌بندی نوسانی بوده که نشانگر عدم تعادل سیستم ماگمائی در طول تبلور می‌باشد. در نمونه‌های مطالعه شده، بلورهای پلاژیوکلاز اغلب سالم بوده و فقط در برخی از نمونه‌ها پلاژیوکلازها سرسیتی شده‌اند. پیروکسن در این گروه از سنگ‌ها، از نوع کلینوپيروكسن می‌باشد. در برخی از نمونه‌ها نیز کلینوپيروكسن دارای منطقه‌بندی نوسانی

گابروی منطقه لقلان دارای کانی‌شناسی اصلی پلاژیوکلاز (۳۵ تا ۴۰ درصد)، پیروکسن (۴۰ تا ۴۵ درصد)، پتاسیم فلدسپار (۱۰ تا ۱۵ درصد) و بیوتیت (۵ تا ۱۰ درصد) و کانی‌های فرعی الیوین، آپاتیت و کانی‌های کدر است. بافت این دسته از سنگ‌ها گرانولار (شکل ۳-الف) و پورفیری بوده و بافت‌های فرعی غربالی و آنتی‌راپاکیوی نیز در آن‌ها مشاهده می‌شوند. پلاژیوکلازها بیشتر به صورت بلورهای شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار و به صورت بلورهای تجمعی در حاشیه

علیرضا روان خواه و همکاران

کانی شناسی سنگ‌های گابرویی نشان می‌دهد که این سنگ‌ها فاقد الیون می‌باشند. پلاژیوکلاز موجود در سنگ‌های گابرویی از آنورتیت غنی می‌باشند (An90Ab10) و در محدوده آنورتیت-بیتونیت قرار می‌گیرند. درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز، شکل دار و سالم می‌باشند و هیچ علائمی از هوازگی را ثبت نکرده‌اند. همچنین، هیچ نوع منطقه‌بندی شیمیایی در این کانی مشاهده نشده که این امر بیانگر وجود تعادل ترمودینامیکی هنگام تبلور کانی است. پلاژیوکلازها دارای ماکل‌های گوه‌ای شکل می‌باشند که نشانگر تغییر شکل‌های پلاستیک در این توده‌ها است. در برخی از نمونه‌ها نیز ماکل بندی پیچیده در پلاژیوکلازها قابل مشاهده است (شکل ۳-ه). در نمونه‌های مطالعه شده، جهت‌یابی کانی‌های کلینوپیروکسن در این گروه از سنگ‌ها قابل مشاهده است. بعضی از بلورهای آمفیبول موجود در این گابروها دارای ماکل کارلسباد می‌باشند (شکل ۳-و). ادخال آپاتیت در داخل آمفیبول نشانگر بافت پوئی‌کلیتیک در آنهاست. میکا در این گابروها بیشتر از نوع فلوگوپیت می‌باشد. در برخی از نمونه‌های مطالعه شده کینک باند در میکا قابل مشاهده است که می‌تواند حاکی از وجود تنش در خلال جایگیری باشد. همچنین جهت‌یابی کانی بیوتیت به همراه کلینوپیروکسن در مواردی در گابروها مشاهده شده است.

می‌باشد (شکل ۳-ج). بیشتر پیروکسن‌ها دارای ادخال‌های فراوانی از اکسیدهای آهن می‌باشند و بافت غربالی از خود نشان می‌دهند که بیانگر سرعت زیاد صعود ماگما و کاهش فشار در دمای ثابت است که باعث ذوب کانی‌های دمای بالا شده است (Pearce et al., 1987). در این نمونه‌ها فنوکریست‌های پتاسیم فلدسپار، شکل دار است و با ماکل کارلسباد مشاهده می‌شوند. در برخی از مقاطع رشد شعاعی پتاسیم فلدسپار نیز دیده می‌شود. وجود پلاژیوکلاز در داخل پتاسیم فلدسپار (وجود قشری از پتاسیم فلدسپار بدور پلاژیوکلاز) نشانگر بافت آنتی‌راپاکیوی می‌باشد. بیوتیت به صورت شکل دار تا نیمه شکل دار و به رنگ قهوه‌ای متوسط تا تیره با خاموشی مستقیم و چند رنگی قوی به همراه کانی‌های پلاژیوکلاز و پیروکسن قابل مشاهده می‌باشد. بافت توده گابرو تا گابرو-دیوریتی منطقه هشت‌سر گرانولار (شکل ۳-د) و گرانولار پورفیری بوده و بافت‌های فرعی پوئی‌کلیتیک و تراکتوئید نیز در آنها مشاهده می‌شوند. این طیف از سنگ‌ها از نظر کانی‌شناسی از پلاژیوکلاز (۵۰ تا ۶۰ درصد)، کلینوپیروکسن (۲۰ تا ۲۵ درصد) و آمفیبول (۱۰ تا ۱۵ درصد) و کانی‌های فرعی فلوگوپیت (دو تا پنج درصد)، آپاتیت، تیتانیت و کانی‌های کدر تشکیل شده است. بررسی

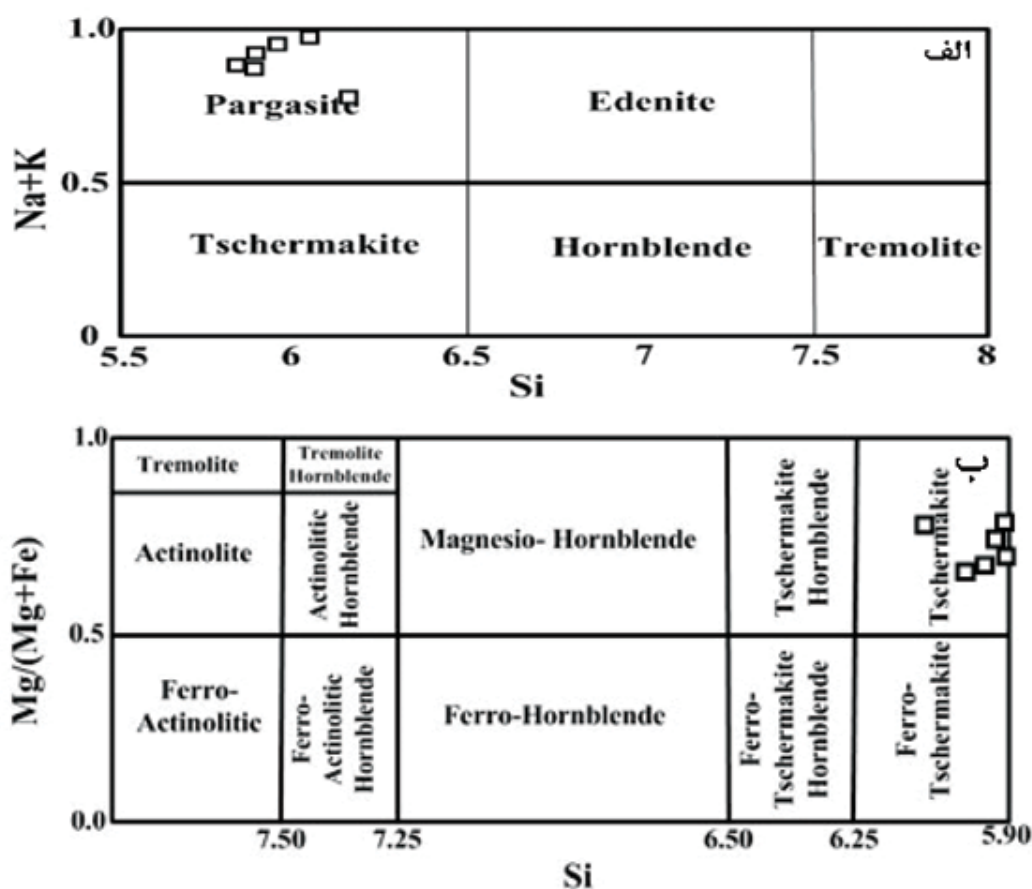


شکل ۳. تصاویر میکروسکوپی نمونه‌های مونوزگابرو (لقلان) و گابرو (هشت‌سر) الف) بافت گرانولار در مونوزگابرو لقلان، (XPL)، ب) پلاژیوکلاز به صورت بلورهای تجمعی در حاشیه و فضای بین بلورهای کلینوپیروکسن در مونوزگابرو لقلان، (XPL)، ج) کلینوپیروکسن زونه در مونوزگابرو لقلان، (XPL)، د) بافت گرانولار در گابروی هشت‌سر، (XPL)، ه) ماکل بندی پیچیده در پلاژیوکلاز در گابروی هشت‌سر، (XPL) و درشت‌بلور آمفیبول در گابروی هشت‌سر، (XPL) (علائم اختصاری کانی‌ها از Whitney and Evans, 2010)

شیمی کانی‌ها

آمفیبول‌های منطقه از مقدار مشخص شده برای چرماکیت بیشتر است و آن‌ها را در گستره پارگازیت قرار می‌دهد (شکل ۴-الف). ترکیب آمفیبول‌ها با در نظر گرفتن نسبت کاتیونی $Mg/(Mg+Fe^{2+})$ نسبت به Si در گستره چرماکیت قرار گرفته است (شکل ۴-ب).

آمفیبول: نتایج آنالیز آمفیبول (شش نقطه) موجود در نمونه‌های گابروی هشت‌سر در جدول ۱ ارائه شد است. کاتیون‌های این کانی براساس ۲۳ اتم اکسیژن محاسبه شده است. براساس نمودار Na+K در برابر Si (Leake et al., 1997) مجموع کاتیون‌های قلیائی

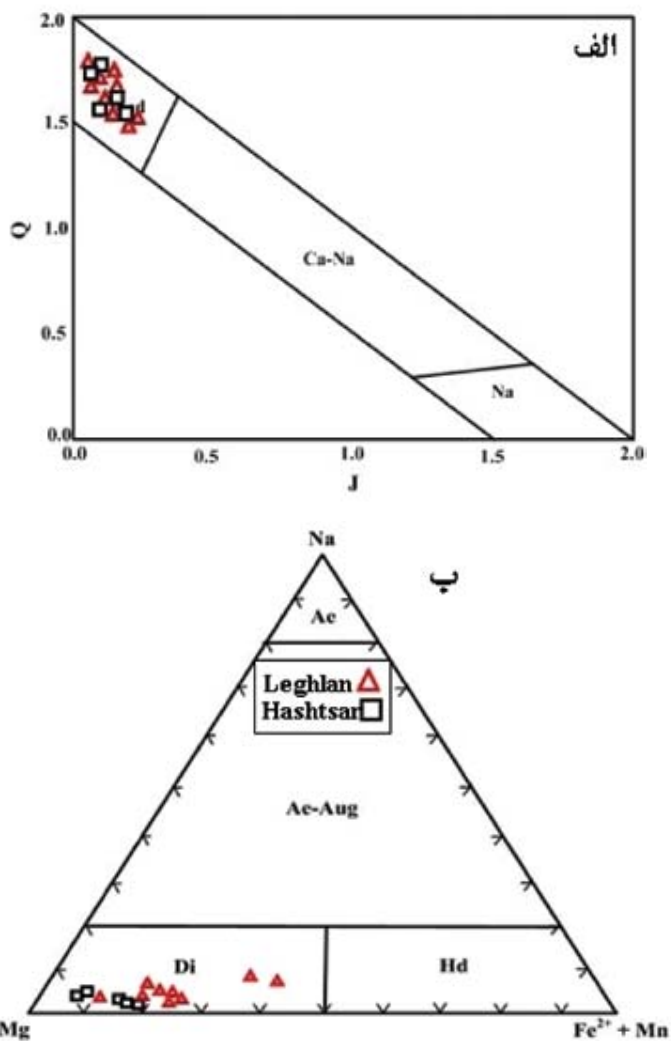


شکل ۴. الف و ب) موقعیت آمفیبول‌های موجود در گابروی منطقه هشت‌سر در نمودار (Na+K)-Si و $Mg/(Mg+Fe)$ -Si (Leake et al., 1997).

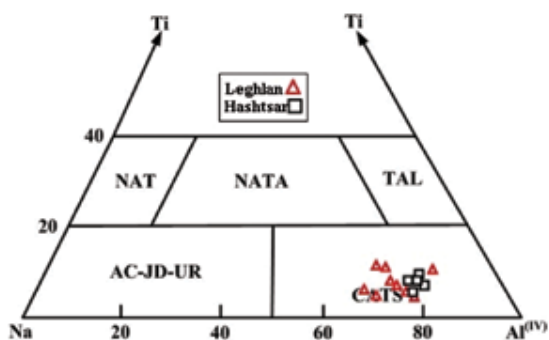
برابر $J = 2Na$ استفاده شده، نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده Quad (آهن- منیزیم- کلسیم‌دار) قرار گرفته‌اند (شکل ۵-الف). به منظور تفکیک دقیق‌تر پیروکسن‌های مورد مطالعه، از نمودار مثلثی $Mg-Na-(Fe^{2+}+Mn)$ (Eby et al., 1998) استفاده شده (شکل ۵-ب) که بر این اساس، ترکیب شیمیائی کلینوپیروکسن‌ها از نوع دیوپسید ارزیابی می‌شود.

کلینوپیروکسن: نتایج حاصل از تجزیه این کانی (نه نقطه) از گابروی لقلان و پنج نقطه از گابروی هشت‌سر) در جدول ۲ نشان داده شده است. طبقه‌بندی کلینوپیروکسن‌ها در گابروهای منطقه (گابروی لقلان و گابروی هشت‌سر) با توجه به قرارگیری کاتیون‌ها در سایت M1 و M2 صورت می‌گیرد (Morimoto et al., 1988) و با استفاده از این طبقه‌بندی که در آن از دو متغیره $Q = Ca+Mg+Fe^{2+}$

علیرضا روان خواه و همکاران



شکل ۵. الف) جدایش پیروکسن های کلسیک، کلسیک-سدیک و سدیک بر پایه نمودار (Q-J، Morimoto et al., 1988)، ب) ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسن های موجود در گابروهای منطقه بر روی نمودار مثلثی (Mg-Na-(Fe²⁺+Mn)، Eby et al., 1998).

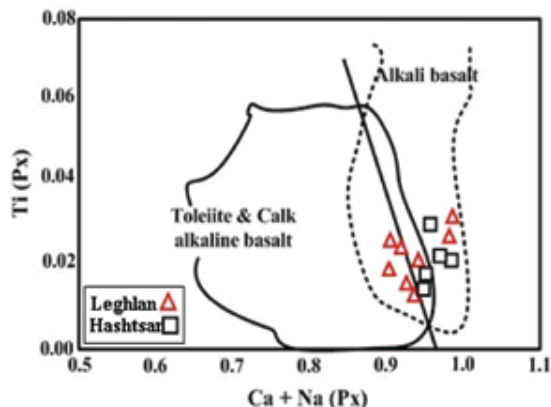


شکل ۶. نمودار مثلثی (Ti-Na-Al(IV) که در آن کلینوپیروکسن در محدوده CATS واقع شده اند (Papike et al., 1974).

در نمودار مثلثی (Ti-Na-Al^(IV)) (Papike et al., 1974) که نشان دهنده کلینوپیروکسن های NAT = NaTi_{0.5}R_{0.5}²⁺Si₂O₆، NATA = NaTiSiAlO₆، TAL = CaTiAl₂O₆، CATS = CaAlAlSiO₆، AC = NaFeSi₂O₆، ترکیب UR = NaCrSi₂O₆ و JD = NaAlSi₂O₆ قرار کلینوپیروکسن ها کاملاً در محدوده Ca چرمک (CATS) قرار می گیرد (شکل ۶).

به گوشته اولیه از (Sun and McDonough, 1989) برای سنگ‌های مورد مطالعه در اشکال ۸-د و ۸-ه نشان داده شده‌اند. بررسی روند تغییرات میانگین عناصر کمیاب بر اساس دیاگرام عنکبوتی بهنجار شده نسبت به کندریت (شکل ۸-د) در سنگ‌های مورد مطالعه، نشانگر غنی‌شدگی عناصر کمیاب خاکی سبک (LREE) و عناصر ناسازگار نسبت به عناصر کمیاب خاکی سنگین (HREE) می‌باشد. در این الگوها تهی‌شدگی مشخصی از Eu مشاهده نمی‌شود که بیانگر شرکت قابل توجه پلاژیوکلاز در مودال سنگ‌های گابروئی مورد مطالعه است. غنی‌شدگی از LILE و LREE و تهی‌شدگی از HREE در این الگو می‌تواند نشانگر وجود گارنت در ناحیه منشأ، درجه پایین ذوب بخشی، فوگاسیته بالای $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ و یا عمق زیاد تشکیل ماگمای مولد سنگ‌های گابروئی باشد (Panter et al., 2000). لازم به ذکر است که شیب نمودار عنکبوتی عناصر نادر خاکی نزولی شدید نیست و تهی‌شدگی شدید از HREE مشاهده نمی‌شود. این موضوع می‌تواند بیانگر گوشته متاسوماتیزه توسط سیالات فرورانشی باشد. با توجه به موقعیت پس برخوردی نمونه‌ها، این سیالات قبل از برخورد به گوه گوشته‌ای اضافه شده‌اند و در گوشته تأثیرات آن‌ها به شکل فسیلی حفظ شده است که بعداً در طی حرکات کششی بعد از برخورد گوه گوشته‌ای مذکور وادار به ذوب در اثر کاهش فشار در دمای ثابت شده‌اند. در شکل ۸-ه نیز بررسی روند تغییرات میانگین عناصر کمیاب بر اساس دیاگرام عنکبوتی بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه، بیانگر این است که آنومالی مثبت Pb به آلیش ماگما با پوسته قاره‌ای (Kamber et al., 2001; Borisova et al., 2002) و آنومالی منفی Zr و Hf نیز به آلیش پوسته‌ای (Zhao and Zhou, 2007) اشاره دارد. بالا بودن مقدار فراوانی عناصر LREE و LILE بیانگر متاسوماتیزه شدن گوشته غنی‌شده می‌باشد (Menzies et al., 1983). بنابراین گوشته متاسوماتیزه می‌تواند به عنوان منبع سنگ‌های مورد مطالعه مطرح شود. آنومالی مثبت و مشخص عناصر (Rb, Ba, K) LILE را می‌توان به نرخ

برای تعیین ماهیت و سرشت ماگمایی نمونه‌های گابروئی لقلان و هشت‌سر با استفاده از ترکیب شیمیایی پیروکسن‌ها، از نمودار دو متغیره Ti در برابر Ca+Na (Leterrier et al., 1982) بهره گرفته شده است. براساس این نمودار، ماگمای مولد نمونه‌های مذکور دارای سرشت آکالن می‌باشد (شکل ۷).



شکل ۷. نمودار Ti در برابر Ca+Na و موقعیت نمونه‌های گابروئی لقلان و هشت‌سر در آن (Leterrier et al., 1982).

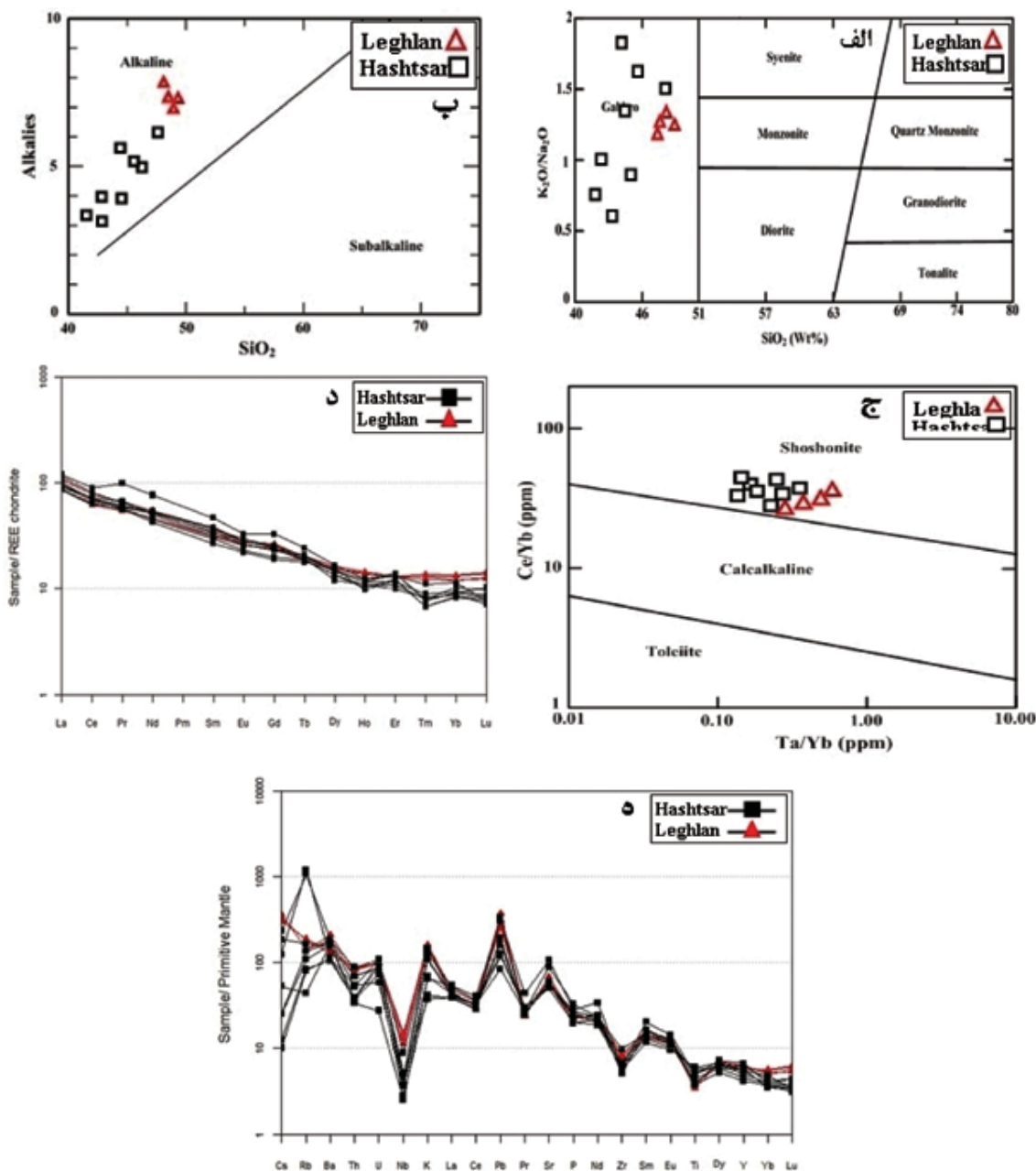
ژئوشیمی و پتروژنز

نتایج آنالیزهای زمین‌شیمیایی عناصر اصلی و کمیاب نمونه‌های سنگ کل واحدهای گابروئی لقلان و گابروئی هشت‌سر در جدول ۳ آمده است. براساس نمودار (Mason, 1978) که در آن نسبت $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ در برابر SiO_2 ترسیم شده، سنگ‌های مورد بررسی در گستره گابرو واقع شده‌اند (شکل ۸-الف). سنگ‌های مورد بررسی در نمودار تعیین سری ماگمایی (Irvine and Baragar, 1971) در قلمرو سری آکالن (شکل ۸-ب) و مطابق نمودار $\text{Ce}/\text{Yb}-\text{Ta}/\text{Yb}$ (Pearce, 1983) در محدوده شوشونیتی واقع شده‌اند (شکل ۸-ج). با توجه به این که در سری‌های آکالن ترم‌های بازیک TiO_2 بیش از دو درصد دارند و کلینوپیروکسن موجود در آن‌ها غنی از Na و Ti می‌باشد و با در نظر گرفتن ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسن‌های موجود در سنگ‌های گابروئی و TiO_2 پایین آن‌ها، اطلاق سری آکالن به این مجموعه صحیح به نظر نمی‌رسد و بهتر است از سری شوشونیتی استفاده شود. نمودار عناصر کمیاب خاکی بهنجار شده نسبت به کندریت از (Boynton, 1984) و عناصر کمیاب بهنجار شده

علیرضا روان خواه و همکاران

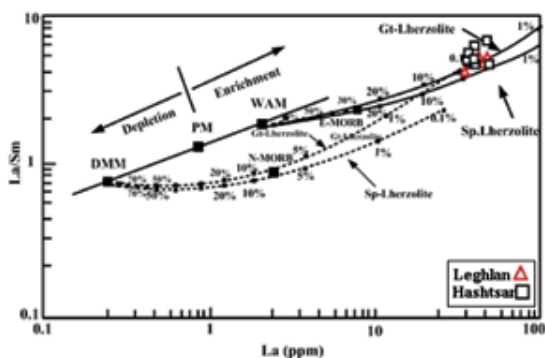
از LREE نسبت به HREE از ویژگی‌های ماگماهای آلكالن تولید شده در موقعیت‌های درون صفحه‌ای است (Fitton et al., 1991; Ali and Ntaflos, 2011).

ذوب بخشی اندک، منشأ گوشته‌ای غنی شده و آلیش با مواد پوسته‌ای نسبت داد. آنومالی منفی Nb شاخص سنگ‌های قاره‌ای است و ممکن است نشان‌دهنده شرکت پوسته در فرآیندهای ماگمایی باشد (Rollinson, 1993). غنی‌شدگی



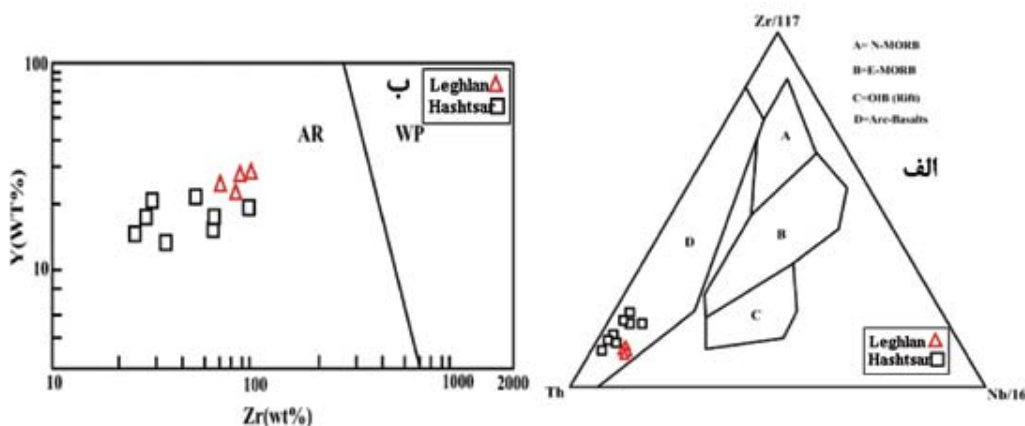
شکل ۸. الف) نمودار K_2O/Na_2O در مقابل SiO_2 (Mason, 1978) و موقعیت نمونه‌های گابروی لقلان و هشت‌سر در آن، ب) نمودار $Na_2O+K_2O - SiO_2$ (Irvine and Baragar, 1971) و موقعیت نمونه‌های گابروی لقلان و هشت‌سر در آن، ج) نمودار $Ce/Yb-Ta/Yb$ و موقعیت گابروهای مورد مطالعه در آن، (Pearce, 1983)، د) الگوی بهنجار شده عناصر کمیاب خاکی نسبت به کندریت، داده‌های مربوط به کندریت‌ها از Boynton, 1984 اقتباس شده است و ه) نمودار عنکبوتی بهنجار شده با گوشه اولیه یا Primitive Mantle (Sun and McDonough, 1989)

گارنت لרزولیت غنی شده حاصل شده‌اند. نسبت پایین Ce/Yb در بازالت‌ها نشان دهنده درجه ذوب بخشی بالا و وجود اسپینل در فاز باقیمانده بوده و نسبت بالای Ce/Yb بیانگر درجه ذوب بخشی کم و وجود گارنت در فاز باقیمانده است (Mattsson and Oskarsson, 2005). میانگین این نسبت در گابروی منطقه لقلان ۴۸/۹۶ و در گابروی هشت‌سر ۵۰/۶۴ است. بنابراین نسبت بالای Ce/Yb در سنگ‌های مذکور بیانگر درجه ذوب بخشی اندک و وجود گارنت در فاز باقیمانده است.



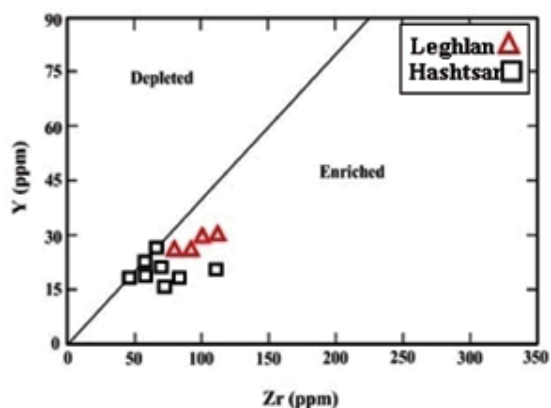
شکل ۱۰. نمودار La/Sm-La جهت تعیین منشأ و درجه ذوب بخشی (Aldanmaz et al., 2000)

جهت تعیین محیط تکتونیکی سنگ‌های گابرویی منطقه لقلان و هشت‌سر از نمودار سه‌وجهی Th-Zr/117-Nb/16 (Wood, 1980) (شکل ۱۱-الف) و نمودار دوتائی Y در مقابل Zr (شکل ۱۱-ب)، (Muller and Groves, 1993) استفاده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، جایگاه قوس آتشفشانی برای گابروهای منطقه لقلان و هشت‌سر از نمودارهای فوق استنتاج می‌شود.



شکل ۱۱. الف) نمودار Th-Zr/117-Nb/16 (Wood, 1980) و ب) نمودار Y-Zr و موقعیت نمونه‌های گابروی لقلان و هشت‌سر در آن (Muller and Groves, 1993)

جهت تعیین میزان غنی‌شدگی یا تهی‌شدگی خاستگاه سنگ‌های منطقه لقلان و هشت‌سر از نسبت Y در مقابل Zr (Sun and McDonough, 1989) (شکل ۹) استفاده شده است. این عناصر به دلیل تحرک بسیار پایین، برای تفسیر پرتوزن سنگ‌های آذرین حتی با درجات دگرسانی بالا می‌توانند مفید باشند (Widdowson et al., 2000). با توجه به این نمودار، ماگمای مولد این گروه‌های سنگی از گوشته غنی شده منشأ گرفته است.



شکل ۹. نمودار Y-Zr جهت تفکیک خاستگاه غنی شده و تهی شده (Sun and McDonough, 1989)

جهت شناسایی کانی‌شناسی و درجه ذوب بخشی منشأ، از نمودار La/Sm در مقابل La (Aldanmaz et al., 2000) (شکل ۱۰) استفاده شده است. چنانچه در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود، نمونه‌های گابروی منطقه لقلان و هشت‌سر در مجاورت و یا روی منحنی‌های گارنت-لرزولیت و اسپینل-لرزولیت قرار می‌گیرند. در نتیجه براساس این نمودار، نمونه‌های فوق از ذوب بخشی حدود پنج درصدی اسپینل -

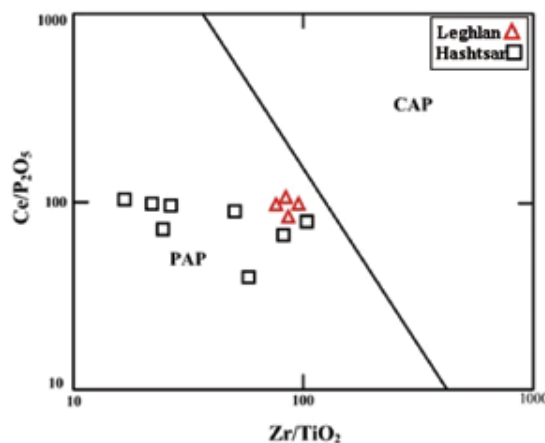
علیرضا روان خواه و همکاران

تفریقی نسبتاً ثابت و بدون تغییر باقی می ماند ولی در خلال درجات بالای آلیش پوسته‌ای به مقدار زیاد تغییر می کنند. مقادیر Ce/Y در گابروی لقلان $2/80$ و در گابروی هشت سر $3/09$ و مقادیر Zr/Y در گابروی لقلان برابر $3/15$ و در گابروی هشت سر $3/02$ است. در نتیجه پایین بودن نسبی تغییرات این پارامترها را می توان دلیلی بر آلیش نسبتاً کم ماگمایی در این سنگها دانست.

نتیجه گیری

توده گابروئی لقلان به فرم سیل های مکرر و توده گابروئی هشت سر به فرم استوک در منطقه تزریق شده اند. توده گابروئی لقلان با داشتن پتاسیم فلدسپار و فقدان آمفیبول از توده گابروئی هشت سر متمایز می شود. پلاژیوکلازهای موجود در توده گابروئی هشت سر کلسیک تر از پلاژیوکلازهای گابروی لقلان بوده و فاقد منطقه بندی می باشند. ترکیب کلینوپیروکسن در هر دو توده دیوپسیدی بوده و آمفیبول های موجود در توده گابروئی هشت سر ترکیب پارگازیتی تا چرماکیتی دارند. ماگمای مولد هر دو توده سرشت شوشونیتی داشته و از ذوب بخشی با نرخ پنج درصدی گوشته غنی شده از عناصر کمیاب خاکی سبک و لیتوفیل درشت یون و با ترکیب اسپینل-گارت لرزولیت که در آن گارت فاز باقیمانده را تشکیل داده، حاصل شده اند. پایین بودن مقادیر Ce/Y و Zr/Y در این توده ها حاکی از نقش کمرنگ آلیش ماگمایی در تکوین این توده ها است. این توده ها در یک قوس ماگمایی پس برخوردی جایگیری کرده اند.

براساس نمودار دو وجهی $Ce/P_2O_5-Zr/TiO_2$ (Muller and Groves, 1997) (شکل ۱۲)، گابروهای مورد مطالعه در قوس های ماگمایی پس برخوردی قرار گرفته اند.



شکل ۱۲. نمودار $Ce/P_2O_5-Zr/TiO_2$ و موقعیت نمونه های گابروی لقلان و هشت سر در آن (Muller and Groves, 1997)

منشأ ماگماتیسم آلکالن در محیط های کشتی درون صفحه ای هم چنان مورد بحث است. در حال حاضر عقیده بر این است که بازالت های آلکالن جزایر اقیانوسی (OIB) تنها از گوشته استونسفری مشتق می شوند (Alici et al., 2002) ولی ماگماهای آلکالن درون قاره ای می توانند به وسیله ذوب بخشی گوشته متاسوماتیسم شده غنی از LREE و LILE ایجاد شوند (Upadhyay et al., 2006). غنی شدگی از Pb، Ba و LREE و تهی شدگی از HREE در ماگماهای آلکالن قاره ای را می توان به منشأ گوشته لیتوسفری نسبت داد (Alici et al., 2002; Gourgaud and Vincent, 2004; Aldinucci et al., 2008). به عقیده Conly و همکاران (۲۰۰۵) نسبت های Ce/Y و Zr/Y در خلال تبلور

جدول ۱. نتایج آنالیز نقطه ای آمفیبول های موجود در گابروی هشت سر

Amp	Hs1	Hs2	Hs3	Hs4	Hs5	Hs6
SiO ₂	38.88	41.98	39.23	40.20	40.20	40.77
TiO ₂	2.28	0.52	2.19	2.38	2.30	2.41
Al ₂ O ₃	13.16	11.97	13.51	13.59	13.72	13.77
FeO	11.00	13.15	11.12	12.09	11.85	10.32
MnO	0.15	0.21	0.13	0.11	0.07	0.19
MgO	13.79	13.76	13.93	13.78	13.40	13.35
CaO	12.30	12.18	12.37	12.21	12.39	12.23
Na ₂ O	2.23	2.36	2.26	2.48	2.47	2.60

Amp	Hs1	Hs2	Hs3	Hs4	Hs5	Hs6
K ₂ O	1.46	0.62	1.48	1.84	1.72	1.77
Cr ₂ O ₃	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
Summe	95.26	96.75	96.23	98.68	98.12	97.41
کاتیون‌ها براساس 23 اتم اکسیژن محاسبه شده‌اند						
Si	5.878	6.190	5.863	5.888	5.936	6.057
Ti	0.259	0.058	0.246	0.262	0.255	0.269
Al	2.345	2.081	2.380	2.346	2.388	2.411
Fe	1.391	1.621	1.390	1.481	1.463	1.282
Mn	0.019	0.026	0.016	0.014	0.009	0.024
Mg	3.107	3.024	3.103	3.008	2.949	2.956
Ca	1.992	1.924	1.981	1.916	1.960	1.947
Na	0.654	0.675	0.655	0.704	0.707	0.749
K	0.282	0.117	0.282	0.344	0.324	0.335
Cr	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
Sum	15.927	15.715	15.918	15.964	15.991	16.031
توزیع کاتیون‌ها در سایت‌های بلوری						
T Si	5.878	6.190	5.863	5.888	5.936	6.057
Al(IV)	2.122	1.810	2.137	2.112	2.064	1.943
Fe ³⁺	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
C Al(VI)	0.223	0.271	0.243	0.235	0.324	0.469
Ti	0.259	0.058	0.246	0.262	0.255	0.269
Fe ³⁺	0.461	0.784	0.501	0.472	0.279	0.000
Cr	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
Mg	3.107	3.024	3.103	3.008	2.949	2.956
Fe ²⁺	0.930	0.837	0.888	1.009	1.184	1.282
Mn	0.019	0.026	0.016	0.014	0.009	0.024
Ca	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
B Ca	1.992	1.924	1.981	1.916	1.960	1.947
Na	0.008	0.076	0.019	0.084	0.040	0.053
A Ca	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Na	0.646	0.599	0.636	0.620	0.667	0.695
K	0.282	0.117	0.282	0.344	0.324	0.335
(Na+K)A	0.927	0.715	0.918	0.964	0.991	1.031
M/(M+Fe ²⁺)	0.770	0.783	0.777	0.749	0.713	0.697
100Na/(Na+Ca)	24.703	25.960	24.846	26.876	26.511	27.782
100Al/(Al+Si)	28.519	25.155	28.873	28.494	28.688	28.475
Al(VI)Fe ³⁺ TiCr	0.944	1.113	0.992	0.969	0.858	0.738
(Na+K)A	0.927	0.715	0.918	0.964	0.991	1.031

علیرضا روان خواه و همکاران

جدول ۲. نتایج آنالیز نقطه‌ای پیروکسن‌های موجود در گابروی لقلان (Lg) و گابروی هشت‌سر (Hs)

Px	Lg1	Lg2	Lg3	Lg4	Lg5	Lg6	Lg7	Lg8	Lg9	Hs1	Hs2	Hs3	Hs4	Hs5
SiO ₂	49.43	47.18	46.97	51.33	50.15	50.58	51.54	51.43	47.9	49.81	48.06	50.79	49.89	50.88
TiO ₂	0.72	1.03	0.91	0.61	0.57	0.44	0.4	0.32	0.79	0.68	1.02	0.51	0.68	0.44
Al ₂ O ₃	4.63	4.62	5.32	3.03	3.64	2.69	2.3	2.23	5.96	5.21	6.28	4.18	4.81	4.09
FeO	8.55	15.02	16.12	8.92	9.19	9.1	9.15	6.31	9.9	7.39	8.54	7.02	7.48	7.01
MnO	0.24	0.42	0.51	0.34	0.27	0.38	0.35	0.16	0.29	0.24	0.22	0.29	0.24	0.29
MgO	13.24	7.77	7.07	13.03	13.55	13.19	13.09	15.4	12.33	13.26	12.72	13.72	13.61	13.69
CaO	22.57	22.53	22.56	22.68	21.68	22.26	22.43	22.97	21.07	23.48	23.29	23.16	24.02	23.21
Na ₂ O	0.39	0.98	0.91	0.58	0.54	0.51	0.58	0.3	0.72	0.51	0.54	0.38	0.42	0.34
K ₂ O	0.01	0.01	0.01	0	0.01	0	0.04	0.01	0.01	0	0	0	0	0
Cr ₂ O ₃	0	0	0.01	0	0.01	0	0	0.1	0.01	0	0	0	0	0
Summe	99.78	99.56	100.39	100.52	99.61	99.15	99.88	99.23	98.98	100.58	100.67	100.05	101.15	99.95

کاتیون‌ها براساس ۶ اکسیژن محاسبه شده‌اند

Si	1.840	1.816	1.801	1.902	1.870	1.900	1.923	1.906	1.801	1.832	1.772	1.877	1.825	1.883
Ti	0.020	0.030	0.026	0.017	0.016	0.012	0.011	0.009	0.022	0.019	0.028	0.014	0.019	0.012
Al	0.203	0.210	0.240	0.132	0.160	0.119	0.101	0.097	0.264	0.226	0.273	0.182	0.207	0.178
Fe	0.266	0.483	0.517	0.276	0.287	0.286	0.285	0.196	0.311	0.227	0.263	0.217	0.229	0.217
Mn	0.008	0.014	0.017	0.011	0.009	0.012	0.011	0.005	0.009	0.007	0.007	0.009	0.007	0.009
Mg	0.735	0.446	0.404	0.720	0.753	0.738	0.728	0.851	0.691	0.727	0.699	0.756	0.742	0.755
Ca	0.900	0.929	0.927	0.900	0.866	0.896	0.897	0.912	0.849	0.925	0.920	0.917	0.941	0.920
Na	0.028	0.073	0.068	0.042	0.039	0.037	0.042	0.022	0.052	0.036	0.039	0.027	0.030	0.024
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sum	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000

توزیع کاتیون‌ها در سایت‌های بلوری

T Si	1.840	1.816	1.801	1.902	1.870	1.900	1.923	1.906	1.801	1.832	1.772	1.877	1.825	1.883
Al(IV)	0.160	0.184	0.199	0.098	0.130	0.100	0.077	0.094	0.199	0.168	0.228	0.123	0.175	0.117
M1 Al(VI)	0.043	0.025	0.041	0.034	0.030	0.019	0.024	0.003	0.065	0.058	0.044	0.060	0.032	0.062
Fe ²⁺	0.141	0.281	0.318	0.188	0.164	0.179	0.202	0.092	0.146	0.100	0.069	0.141	0.075	0.150
Fe ³⁺	0.125	0.203	0.199	0.088	0.123	0.106	0.084	0.104	0.165	0.128	0.194	0.076	0.154	0.067
Quad	1.776	1.655	1.648	1.808	1.783	1.813	1.826	1.854	1.686	1.752	1.688	1.814	1.758	1.825
Jd	0.056	0.146	0.135	0.083	0.078	0.074	0.084	0.043	0.105	0.073	0.077	0.054	0.060	0.049
FeII/ (FeII+Mg)	0.161	0.386	0.440	0.207	0.178	0.195	0.217	0.097	0.175	0.121	0.090	0.157	0.091	0.165
Di	0.839	0.614	0.560	0.793	0.822	0.805	0.783	0.903	0.825	0.879	0.910	0.843	0.909	0.835
Hd	0.161	0.386	0.440	0.207	0.178	0.195	0.217	0.097	0.175	0.121	0.090	0.157	0.091	0.165
Jd%	0.79	0.90	1.30	1.23	0.82	0.59	0.98	0.07	1.65	1.24	0.81	1.28	0.57	1.25
Di%	81.32	56.38	51.74	75.79	78.71	77.30	74.87	88.20	77.69	84.43	87.04	81.84	87.88	81.28
Hd%	15.61	35.51	40.67	19.81	17.09	18.77	20.74	9.52	16.45	11.58	8.59	15.25	8.84	16.12
Ae%	2.29	7.22	6.28	3.17	3.37	3.35	3.41	2.20	4.21	2.74	3.56	1.64	2.71	1.36

جدول ۳. نتایج تجزیه شیمیائی عناصر اصلی، کمیاب و کمیاب خاکی نمونه‌های گابروی لقلان و هشتسر

	Leghlan					Hashtsar						
	HR-022	HR-066	HR-075	HR-083	HR-087	HR-101	HR-102	HR-103	HR-104	HR-117	HR-121	HR-125
SiO ₂ (%)	48.83	48.88	48.98	48.85	46.02	44.72	48.12	45.52	42.72	42.48	41.78	44.48
Al ₂ O ₃ (%)	16.74	14.81	14.99	14.95	14.63	14.12	18.32	14.51	18.8	18.37	17.92	18.24
Fe ₂ O ₃ (%)	4.76	5.18	5.1	5.1	4.42	4.84	4.01	4.7	4.7	4.91	4.72	4.7
FeO(%)	4.61	5.28	5.13	5.15	5.84	6.16	4.6	6.14	7.35	8.36	7.97	7.09
CaO(%)	9.01	9.15	9.09	9.05	13.64	11.49	9.78	13.31	13.36	11.78	12.92	11.89
MgO(%)	4.48	4.99	4.77	4.88	5.88	6.08	3.81	6.72	5.42	6.27	6.91	5.58
Na ₂ O(%)	3.44	2.67	2.77	2.75	1.98	1.25	2.59	1.98	1.94	1.91	1.86	2.12
K ₂ O(%)	4.57	4.87	4.85	4.83	3.28	4.41	3.89	3.32	2.08	1.14	1.26	1.98
TiO ₂ (%)	0.75	0.85	0.84	0.83	1.14	0.82	0.86	0.98	1.09	1.31	1.27	1.08
MnO(%)	0.23	0.19	0.18	0.21	0.23	0.22	0.23	0.24	0.23	0.14	0.16	0.22
P ₂ O ₅ (%)	0.52	0.49	0.48	0.51	0.43	0.52	0.59	0.51	0.72	0.44	0.58	0.61
Ba(ppm)	1290	892	974	1460	1141	1092	1292	785	1152	741	797	1256
Be(ppm)	1.5	2	2.2	1.9	0.2	0.18	0.2	0.32	0.25	0.3	0.15	0.4
Cd(ppm)	0.2	0.08	0.13	0.14	0.16	0.03	0.13	0.02	0.15	0.04	0.035	0.11
Ce(ppm)	69.8	77.6	79.8	81.4	78.8	73.8	65.9	79.6	81.4	76.5	69.8	72.7
Co(ppm)	32.1	36.2	33.6	28.6	57.5	40.3	36.7	39.6	34.8	48.6	81	50
Cr(ppm)	23	62	57	26	162	44	91	112	42	40	91	53
Cs(ppm)	2.9	2.6	2.4	2.9	0.2	1.48	1.86	0.98	0.42	0.1	0.08	0.2
Dy(ppm)	4.96	5.09	5.24	4.8	4.69	3.88	4.77	4.32	4.69	4.96	4.32	5.35
Er(ppm)	2.74	2.72	2.72	2.74	2.92	2.09	2.75	2.28	2.46	2.55	2.56	2.91
Eu(ppm)	2.03	2.01	2.04	1.89	1.92	1.92	2.09	2.18	2.08	1.62	1.69	2.41
Ga(ppm)	15.8	15.6	15.2	16.5	14.2	16.9	18.6	16.4	19.7	15.9	15.2	16.3
Gd(ppm)	6.61	6.85	6.81	6.26	5.99	6.12	6.25	6.38	6.61	4.94	5.17	8.48
Ge(ppm)	1.25	1.39	1.4	1.31	1.49	1.5	1.8	1.35	1	1.21	1.69	1.09
Hf(ppm)	2.44	2.79	2.81	2.55	2.23	1.9	2.7	2.6	2.3	2.07	2.67	2.24
Ho(ppm)	1.02	0.99	1.03	0.99	0.84	0.79	0.89	0.78	0.84	0.7	0.74	0.88
La(ppm)	27.2	33.8	34.1	29.3	28.13	31.7	36.2	29.4	30.3	26.92	26.75	37.41
Li(ppm)	17	16	20	20	4.1	3.2	2.4	4	1.8	2.9	2.5	4.2
Lu(ppm)	0.45	0.4	0.41	0.46	0.32	0.23	0.25	0.27	0.28	0.26	0.25	0.33
Nb(ppm)	8	10.3	10.7	9.3	2.7	3.3	6.4	2.7	1.8	3.7	2.01	2.6
Nd(ppm)	27.7	33	33	27.8	30.1	30.8	31.8	32.4	31.8	25.6	26.7	46.1
Ni(ppm)	15	25	23	13	50	24	26	28	8	14	51	10
Pb(ppm)	22.2	18.3	20.2	26.7	8.5	24	9	13	6	13.8	11.6	22.1
Pr(ppm)	6.64	8.18	8.17	6.77	8.21	7.12	8.04	7.31	7.52	6.91	7.09	12.12
Rb(ppm)	92	118	120	91	70	105	676	769	28	54	52	86
Sc(ppm)	22	34	32	20	55	45	72	66	30	34	85	23
Sm(ppm)	6.22	7.29	7.03	6	6.24	6.71	6.61	7.08	7.39	5.21	5.8	9.08
Sr(ppm)	1440	1160	1220	1340	1070	1184	1242	1276	1891	1200	1141	2240
Ta(ppm)	0.69	0.93	0.89	0.78	0.49	0.6	0.53	0.4	0.5	0.4	0.6	0.48
Tb(ppm)	0.9	0.9	1	0.9	1	0.9	1	0.9	0.9	0.9	0.9	1.2
Th(ppm)	6.02	7.28	7.52	6.98	3.33	5.94	7.52	4.61	2.88	3.2	3.16	4.47
Tm(ppm)	0.43	0.4	0.43	0.44	0.26	0.27	0.36	0.26	0.29	0.22	0.22	0.25
U(ppm)	1.84	2.05	2.12	2.12	2.07	1.79	2.28	1.24	0.58	1.86	1.54	2.26
V(ppm)	370	339	315	364	551	381	269	359	449	510	739	535
Y(ppm)	26.8	28.2	28.2	26.7	28.2	18.9	25.2	20.9	23.1	25.4	25.6	30.3
Yb(ppm)	1.36	1.52	1.62	1.84	1.62	1.51	1.50	1.46	1.66	1.52	1.35	1.25
Zn(ppm)	36.6	47.6	43.8	34	46.5	92	59	94	88	45.7	55.4	42
Zr(ppm)	77	93	90	87	66	74.1	110.3	75.8	57.2	64	71	67
Ce/Yb	51.32	51.05	49.25	44.23	48.64	48.87	43.93	54.52	49.03	50.32	51.70	58.16
Ce/Y	2.60	2.75	2.82	3.04	2.79	3.90	2.61	3.80	3.52	3.01	2.72	2.40
Zr/Y	2.87	3.29	3.19	3.25	2.34	3.92	4.37	3.62	2.47	2.51	2.77	2.21

- Aldanmaz, E., Pearce, J.A., Thirlwall, M.F., and Mitchell, J.G., 2000. Petrogenetic evolution of late Cenozoic, postcollision volcanism in western Anatolia Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 102, 67-95.
- Aldinucci, M., Gandin, A., and Sandrelli, F., 2008. The Mesozoic continental rifting in the Mediterranean area: insights from the Verrucano tectofacies of Southern Tuscany (Northern Apennines, Italy). *Journal of Earth Sciences*, 97, 1247-1269.
- Ali, S., and Ntaflou, T., 2011. Alkali basalts from Burgenland, Austria: petrological constraints on the origin of the western most magmatism in the Carpathian-Pannonian Region. *Lithos*, 121(1-4), 176-188.
- Alici, P., Temel, A., and Gourgaud, A., 2002. Pb-Nd-Sr isotope and trace element geochemistry of Quaternary extension-related alkaline volcanism: a case study of Kula region (Western Anatolia, Turkey). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 115, 487-510.
- Borisova, A.Y., Belyasky, B.V., and Portnyagin, M.V., 2001. Petrogenesis of olivine-phyric basalts from the Aphanasey Nikitin rise: Evidence for contamination by cratonic lower continental crust. *Journal of Petrology*, 42(2), 277-316.
- Boynton, W.V., 1984. Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. In: P., Henderson (Eds.): *Rare Earth Element Geochemistry. Developments in Geochemistry*, 2, 63-114.
- Conly, A.J., Brenan, J.M., Bellon, H., and Scott, S.D., 2005. Arc to rift transitional volcanism in the Santa Rosali a region, Baja California Sur, and Mexico. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 142, 303-341.
- Eby, G.N., Woolley, A.R., Din, V.,

منابع

- آقانباتی، ع.، ۱۳۸۳. زمین‌شناسی ایران. انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ صفحه.
- باباخانی، ع. و لسکویه، ج. ل. ریو، ر.، ۱۳۶۹. شرح نقشه زمین‌شناسی چهارگوش اهر. مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۲۳.
- باباخانی، ع. و ناظر، ن. خ.، ۱۳۷۰. نقشه زمین‌شناسی لاهرود، ۱:۱۰۰۰۰۰. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- غضنفری، ی. حسین‌زاده، ق. و مؤید، م.، ۱۳۸۹. بررسی زمین‌شناسی اقتصادی توده مافیک-اولترامافیک کوه‌های هشت‌سر هوراند (شمال‌شرق اهر-استان آذربایجان شرقی). پایان‌نامه کارشناسی ارشد پترولوژی، دانشگاه تبریز، ۱۱۵.
- مهرپرتو، م. و امامی، م. ه.، ۱۹۹۹. نقشه زمین‌شناسی کلیبر، ۱:۱۰۰۰۰۰. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، شماره ۵۴۶۷.
- مؤید، م. مجرد، م. و حسین‌زاده، ق.، ۱۳۸۹. برآورد دما-فشار و گریزندگی اکسیژن در گابرو-پیروکسنیت‌های تازه‌کند کلیبر، با تمرکز بر شیمی بلورها و فعالیت کانی‌ها. *مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران*، (۳) ۱۸، ۳۹۶-۳۸۱.
- مجرد، م. حسین‌زاده، ق. و مؤید، م.، ۱۳۸۸. کانی‌شناسی، ژئوشیمی و پترولوژی مجموعه مافیک-اولترامافیک کوه‌های هشت‌سر. هفدهمین همایش انجمن بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران.
- صادق‌زاده خسروشاهی، ه. عامری، ع. مجتهدی، م. و مؤید، م.، ۱۳۸۴. بررسی مینرالوژیکی، پتروگرافی و ژئوشیمی سنگ‌های آذرین ولکانیکی پتاسیک، منطقه هوراند، شمال‌شرق اهر. سیزدهمین همایش انجمن بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۲۹۸-۳۰۳.
- تاج‌بخش، غ. امامی، م. ه. معین‌وزیری، ح. و رشیدنزاد عمران، ع.، ۱۳۸۸. سنگ‌نگاری، ژئوشیمی و ساز و کار جایگیری کمپلکس حلقوی هشت‌سر. *مجله علوم زمین*، ۷۳، ۱۳۲ - ۱۲۳.
- طلوعی، ج. و زرغامی، م.، ۱۳۷۰. اکتشاف مقدماتی و نیمه تفضیلی ورمیکولیت کلیبر. شرکت منطقه‌ای معادن آذربایجان، ۱۹۶.

- and Platt, G., 1998. Geochemistry and petrogenesis of nepheline syenites: Kasungu-Chipala, Ilomba, and Ulindi nepheline syenite intrusions, North Nyasa alkaline province, Malawi. *Journal of Petrology*, 39, 1405-1424.
- Fitton, G.J., James, D., and Leeman, W.P., 1991. Basic magmatism associated with late Cenozoic extension in the western United States: compositional variations in space and time. *Journal of Geophysical Research*, 96, 53-61.
 - Gourgaud, A., and Vincent, P.M., 2004. Petrology of two continental alkaline intraplate series at Emi Koussi volcano, Tibesti, Chad. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 129(4), 261-290.
 - Irvine, T.N., and Baragar, W.R.A., 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Science*, 8, 523-48.
 - Kamber, B.S., Ewart, A., Collerson, K.D., Bruce, M.C., and McDonald, G.D., 2002. Fluid-mobile trace element constraints on the role of slab melting and implications for Archaean crustal growth models. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 144, 38-56.
 - Leake, B.E., Woolleny, A.R., Arps, C.E.S., Birch, W.D., Gilbert, M.C., Grice, J.D., Hawthorne, F.C., Kato, A., Kisch, H.J., Krivovichev, V.G., Linthout, K., Laird, J., Mandarino, J.A., Maresch, W.V., Nickel, E.H., Rock, N.M.S., Schumacher, J.C., Smith, D.C., Stephenson, N.C.N., Ungaretti, L., Whittaker, E.J.W., and Youzhi, G., 1997. Nomenclature of amphiboles: Report of the subcommittee on amphiboles of the international mineralogical association. Commission on new minerals and mineral names. *American Mineralogist*, 82, 1019-1037.
 - Leterrier, J., Maury, R.C., Thonon, P., Girard, D., and Marchal, M., 1982. Clinopyroxene composition as a method of identification of the magmatic affinities of Paleo-volcanic series. *Earth and Planetary Science Letters*, 59, 139-154.
 - Mason, D.R., 1978. Evolution of porphyry copper mineralization in an oceanic island arc. *Economic Geology*, 73, 982-985.
 - Mattsson, H.B., and Oskarsson, N., 2005. Petrogenesis of alkaline basalts at the tip of a propagating rift: evidence from the Heimae volcanic centre, south Iceland. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 147, 245-267.
 - Menzies, M.A., and Wass, S.Y., 1983. CO₂ and LREE-rich mantle below eastern Australia: a REE and isotopic study of alkaline magmas and apatite-rich mantle xenoliths from the southern highlands province, Australia. *Earth and Planetary Science Letters*, 65, 287-302.
 - Morimoto, N., Fabries, J., Ferguson, A.K., Ginzburg, I.V., Ross, M., Seifert, F.A., Zussman, J., Akoi, K., and Gottardi, G., 1988. Nomenclature of pyroxenes. *Mineralogical Magazine*, 52, 535-550.
 - Muller, D., and Groves, D.I., 1993. Direct and indirect associations between potassic igneous rocks, shoshonites and gold-copper deposits. *Ore Geology Review*, 8, 383-406.
 - Muller, D., and Groves, D.I., 1997. *Potassic Igneous Rocks and Associated Gold-Copper Mineralization*. Second Edition Springer verlag, 242.
 - Panter, H.S., Hart, S.R., Kyle, Ph., Blusztajn, J., and Wilch, T., 2000. Geochemistry of late Cenozoic basalts from the Crary Mountains: characterization of mantle sources in Marie Byrd Land, Antarctica. *Chemical Geology*, 165, 215-241.
 - Papike, J.J., Cameron, K.L., and Baldwin, K., 1974. Amphiboles and pyroxenes: characterization of other than quadrilateral com-

- ponents and estimates of ferric iron from microprobe data. Geological Society of America, 6, 1053-1054.
- Pearce, J.A., 1983. Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. In: C. J., Howkesworth and M. J., Norry (Eds.): Continental Basalts and Mantle Xenoliths. Shiva, Nantwich, 230-249.
 - Pearce, T.H., Russell, J.K., and Wolfson, I., 1987. Laser-interference and Normarski interference imaging of zoning profiles in plagioclase phenocrysts from the May 18, 1980 eruption of Mount St. Helens. Washington. American Mineralogist, 72, 1131-43.
 - Rollinson, H., 1993. Using Geochemical Data: Evaluation, Presentations and Their Relations to Ore Deposits. 3rd Edition John Wiley and Sons, New York, 488.
 - Stocklin, J., 1977. Structural correlation of the Alpine ranges between Iran and central Asia: Memoir hors serie de la societe geologique de France, 8, 333-335.
 - Sun, S.S., and McDonough, W.F., 1989. Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: A. D., Saunders and M. J., Norry (Eds.): Magmatism in ocean basins. Geology Society Special Publication London, 42, 313-345.
 - Upadhyay, D., Jahn-Awe, S., Pin, C., Paquette, J.L., and Braun, I., 2006. Neoproterozoic alkaline magmatism at Sivamalai, southern India. Gondwana Research, 10, 156-166.
 - Whitney, D.L., and Evans, B.W., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. American Mineralogist, 95, 185-187.
 - Widdowson, M., Pringle, M.S., and Fernandez, O.A., 2000. A post K-T boundary (Early Paleocene) age for Deccan-type feeder dykes, Goa, India. Journal of Petrology, 41, 1177-1194.
 - Wood, D.A., 1980. The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province. Earth and Planetary Science Letters, 50, 11-30.
 - Zhao, J.H., and Zhou, M.F., 2007. Geochemistry of Neoproterozoic mafic intrusions in the Panzihua district (Sichuan Province, SW China): Implications for subduction-related metasomatism in the upper mantle. Precambrian Research, 152, 27-47.