

Using whole rock and mineral chemistry for determining the origin of lamprophyres from Deh-Bazargan-Sarasiab 6 (north of Kerman city, Kerman Province)

Gholamreza Ghadami ^{*1}, Armin Bahrapour ², Habibe Atapour ³
Mohammad Poosti ¹ and Hamid Ahmadipour²

¹ Department of Geology, Faculty of Science, University of Hormozgan, Hormozgan, Iran

² Department of Geology, Faculty of Science, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran

³ Department of Mining Engineering, Faculty of Engineering, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran

Abstract

In the north of Kerman city, between Deh-Bazargan and Sarasiab 6 villages and along the Koohbanan fault, several lamprophyric dykes have been intruded the Shemshak, Bidu and Hodjedk Formations. The dykes show porphyry and glomeroporphyry textures and contain coarse-grained phenocrysts of olivine (30 vol.%), pyroxene (20 vol.%) and amphibole (5 vol.%) crystals in a matrix containing 10 vol.% plagioclase and sanidine microlites, fine-grained pyroxene (20 vol.%) and amphiboles (5 vol.%). Electron microprobe analyses show that the pyroxenes are diopside (Fs_{7.84-15.11})-(Wo_{42.20-46.75})-(En_{41.57-49.24}), olivines are chrysolite (Fo_{85/79-91.20}), plagioclases are labradorite (An_{50.94-66.30}) and opaque inclusions in olivines are chrome-spinel (Cr_{1.3-1.25})-(Fe_{0.708-0.548})-(Al_{0.518-0.433}). Petrographical evidences such as lack of coarse-grained felsic minerals, the presence of porphyritic texture and the co-existence of coarse-grained pyroxene, olivine and amphibole minerals as well as the similar oxides contents of SiO₂ (44.25-46.435 wt.%), MgO (5.81-19.125 wt.%), Na₂O (1.55-2.035 wt.%), K₂O (1.18-1.715 wt.%) to the average of the well-known alkaline lamprophyres (SiO₂=42.5 wt.%, MgO=7.25 wt.%, Na₂O=35 wt.%, K₂O=25 wt.%), suggest that the studied dykes are similar to the alkaline lamprophyres (monchiquites) rather than calcalkaline spessartites. Thermo-barometric studies of pyroxenes show that the rocks under discussion have been formed under pressure of 5-10 Kb and temperature of 700-900 °C with less than 10 percent water contents. Whole rock chemical analyses of the studied lamprophyres indicate that the parent magmas were alkaline type and originated from a metasomatized spinel-garnet-lherzolite mantle source containing hydrous minerals, then they were emplaced in a post-collisional arc setting.

Key words: alkaline lamprophyre, monchiquite, Deh-Bazargan, Kerman, Central Iran

* ghadami@hormozgan.ac.ir

کاربرد شیمی سنگ کل و شیمی کانی‌ها در شناسایی خاستگاه لامپروفیرهای ده‌بازرگان - سرآسیاب شش (شمال شهر کرمان)

غلامرضا قدمی^{۱*}، آرمین بهرامپور^۲، حبیبه عطاپور^۳، محمد پوستی^۱ و حمید احمدی‌پور^۲

^۱ گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه دانشگاه هرمزگان، هرمزگان، ایران

^۲ گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران

^۳ بخش مهندسی معدن، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران

چکیده

در شمال شهر کرمان، در میان روستای ده‌بازرگان و سرآسیاب شش، در راستای گسل کوهبنان، مجموعه‌ای از دایک‌ها رخنمون دارند که سازندهای شمشک، بیدو و هجدک را قطع کرده‌اند. دایک‌های پورفیری و گلومپورفیری دربردارنده درشت بلورهای الیوین (۳۰ درصد حجمی)، پیروکسن (۲۰ درصد حجمی) و آمفیبول (۵ درصد حجمی) در زمینه‌ای از میکرولیت‌های پلاژیوکلاز و سانیدین (۱۵ درصد حجمی)، ریز بلورهای پیروکسن (۲۰ درصد حجمی)، آمفیبول (۵ درصد حجمی) و کانی‌های کدر (۵ درصد حجمی) هستند. برپایه تجزیه نقطه‌ای پیروکسن‌های از نوع دیوپسید ($\text{En}_{49-42}\text{Fs}_{15-8}\text{Wo}_{47-42}$)، الیوین‌ها از نوع کریزولیت (Fo_{86-80})، پلاژیوکلازها از نوع لابرادوریت (An_{66-51}) و اذخال‌های کدر در الیوین‌ها از نوع کروم اسپینل ($\text{Cr}_{1.3-1.25}$)، ($\text{Fe}^{\text{total}}_{0.708-0.548}$) و ($\text{Al}_{0.518-}$) هستند. نبود درشت بلورهای کانی‌های روشن، بافت پورفیری (درشت بلورهای الیوین، پیروکسن و آمفیبول) و نزدیک بودن مقدار اکسیدهای SiO_2 (44.25-46.43 wt.%)، MgO (5.81-19.12 wt.%)، Na_2O (1.55-2.03 wt.%) و K_2O (1.18-1.71 wt.%) با ترکیب لامپروفیرهای آلکالن ($\text{SiO}_2=42.5$ wt.%, $\text{MgO}=7.2$ wt.%, $\text{Na}_2\text{O}=3$ wt.%, $\text{K}_2\text{O}=2$ wt.%)، همانندی دایک‌ها را به لامپروفیرهای آلکالن (مونشیکیت) بیشتر نشان می‌دهد تا گروه لامپروفیرهای کالک آلکالن (اسپسارتیت). نمودارهای شیمیایی پیروکسن‌ها نشان می‌دهد این لامپروفیرها در فشار ۱۰-۵ کیلو بار، دمای ۷۰۰ تا ۹۰۰ درجه سانتیگراد و در حضور کمتر از ۱۰ درصد آب پدید آمده‌اند. شیمی کل لامپروفیرها نشان می‌دهد ماگمای مادر این سنگ‌ها چه‌بسا از نوع قلیایی بوده و از یک گوشته متاسوماتیسم شده (اسپینل-گارنت-لرزلولیتی با کانی آبدار) برخاسته و سپس در یک پهنه پس از برخورد جایگزین شده است.

واژه‌های کلیدی: لامپروفیر قلیایی، مونشیکیت، ده‌بازرگان، کرمان، ایران مرکزی

* ghadami@hormozgan.ac.ir

مقدمه

واژه لامپروفیر از واژه یونانی لامپروس (Lampros) به معنی درخشان یا براق گرفته شده است. لامپروفیرها سنگ‌های پورفیری، مزوکرات تا ملانوکرات‌اند؛ اما گاه الترامافیک نیز هستند. آنها معمولاً از بیوتیت (فلوگوپیت آهن‌دار) و آمفیبول، کلینوپیروکسن، الیون و گاه میلilit ساخته شده‌اند. این سنگ‌ها برپایه نسبت میان فراوانی کانی‌های روشن و نوع فنوکریست‌های کانی تیره رده‌بندی می‌شوند. بافت لامپروفیرها بیشتر پورفیری است. درشت‌کانی‌های تیره در زمینه‌ای شیشه‌ای تا میکرولیتی جای گرفته‌اند و هیچ بلور درشت روشنی در آنها یافت نمی‌شود (Bowes, 1989).

در سال‌های اخیر پژوهشگران بسیاری به بررسی لامپروفیرهای ایران پرداخته‌اند. در ادامه از چند مورد از آنها نام برده می‌شود:

Ghorbani و همکاران (۲۰۰۲) لامپروفیرهای میلاکوه شمال ایران را بررسی کرده و آنها را لامپروفیر کالک‌آلکان پدیدآمده از گوشتۀ سرشار از مواد فرار در پهنه زمین‌ساختی آرام دانسته‌اند. Moayyed و همکاران (۲۰۰۸) لامپروفیرهای جزیره اسلامی آذربایجان را بررسی کرده و آنها را لامپروفیرهای کالک‌آلکان برخاسته از گوشتۀ گارنت لرزولیتی دانسته‌اند که در پهنه پس از برخورد جایگزین شده‌اند. Torabi (۲۰۰۹) استوک‌های لامپروفیری شمال خاوری انارک را بررسی کرده است و آنها را لامپروفیرهای آلکان کامپتونیتی پدیدآمده از درصد کم ذوب‌بخشی گوشتۀ بالایی گارنت لرزولیتی دانسته است. Torabi (۲۰۱۰) دایک‌های لامپروفیری جندق را بررسی کرده است و آنها را لامپروفیرهای آلکان کامپتونیتی پدیدآمده از درصد

کم ذوب‌بخشی گوشتۀ آمفیبول - گارنت لرزولیتی به‌دست سیال‌های سرشار از کربنات دانسته است که از آب‌زدایی صفحه فروانش متاسوماتیسم‌شده پدید آمده‌اند. Rahmanian و همکاران (۲۰۱۲) دایک‌های لامپروفیری شمال‌باختری رفسنجان کرمان را بررسی کرده و آنها را لامپروفیرهای کالک‌آلکان پدیدآمده از گوۀ گوشتۀ غنی‌شده دانسته‌اند. Moeinzadeh Mirhosseini و همکاران (۲۰۱۴) دایک‌های لامپروفیری روستای حور شمال‌خاوری کرمان را بررسی کرده و آنها را لامپروفیرهای آلکان پدیدآمده از گوشتۀ گارنت لرزولیتی دانسته‌اند. Aghazadeh Badrzadeh (۲۰۱۵) لامپروفیرهای شمال‌باختری ایران را بررسی و دو گروه لامپروفیرهای آلکان و کالک‌آلکان را شناسایی کرده‌اند. این لامپروفیرها پیامد ذوب گوشتۀ گارنت اسپینل لرزولیتی بوده و در پهنه پس از برخورد جایگزین شده‌اند. Fazlnia Koulani Kouze (۲۰۱۲) لامپروفیرهای جنوب‌باختری سلماس را بررسی کرده و آنها را لامپروفیرهای آلکان پدیدآمده از ذوب گوشتۀ اسپینل لرزولیتی جایگزین شده در پهنه پس از برخورد دانسته‌اند.

منطقه بررسی‌شده در خاور روستای ده‌بازرگان در ۱۲ کیلومتری شمال کرمان با طول جغرافیایی $23^{\circ} 57' 03''$ و عرض جغرافیایی $32^{\circ} 27' 30''$ است. دایک‌های لامپروفیری بررسی‌شده واحدهای رسوبی ماسه‌سنگی و آهکی گچ‌دار تریاس و ژوراسیک را قطع کرده‌اند.

برپایه اینکه بخش بزرگی از منطقه بررسی‌شده از واحدهای رسوبی است، تاکنون بررسی جامعی روی سنگ‌های آذرین این منطقه، به‌ویژه دایک‌های لامپروفیری، انجام

ماسه‌سنگ‌های آهکی و لایه بسیار نازکی از سنگ آهک با مجموعه فسیل‌های دریایی. سن این سازند را ژوراسیک میانی گفته‌اند (Sabzei et al., 1999).

سازند بیدو: روی سازند هجدک ردیفی از ماسه‌سنگ‌های قرمز، مارن، شیل‌های ژئوپس‌دار و آهک‌های مارنی و ماسه‌سنگ‌های درشت دانه و کنگلومرا و در برخی برونزدها آهک‌های اوایلیتی نهشته شده است. این مجموعه به نام سازند بیدو شناخته شده است و سنی برابر پایان ژوراسیک تا آغاز کرتاسه برای آن به‌دست آورده‌اند (Sabzei et al., 1999).

گسل اصلی منطقه که لامپروفیرها در راستای آن رخنمون دارند، گسل کوهبنان است که جنوبی‌ترین بخش زیر بلوک راور- مزینو از بلوک طبس در ایران مرکزی جدا می‌کند. این گسل با روند شمال‌باختری- جنوب‌خاوری، به سوی جنوب‌باختری خمیدگی دارد (شکل ۱). در صحرا، لامپروفیرهای بررسی‌شده بیشتر به‌صورت دایک رخنمون دارند و واحدهای رسوبی منطقه را قطع می‌کنند. این دایک‌ها بیشتر در راستای گسل اصلی منطقه (گسل کوهبنان) در راستای شمال‌باختری- جنوب‌خاوری، با شیب ۴۰ درجه، جای گرفته‌اند. ستبرای آنها عموماً نزدیک به ۵/۰ تا ۲ متر بوده و راستای آنها نزدیک به ۱۵ تا ۲۰ کیلومتر است (شکل‌های ۲-A و ۲-B). همچنین، در پی عملکرد گسل کوهبنان، این سنگ‌ها شکستگی‌ها و درزه‌های فراوان دارد. دایک‌های لامپروفیری کاملاً سیاه رنگ با ساخت پورفیری با درشت بلورهای الیوین سبز زیتونی ۳/۰ تا ۷/۰ سانتیمتر، پیروکسن‌های سیاه و سبز تیره ۵/۰ تا ۱ سانتیمتر و آمفیبول‌های شکل‌دار قهوه‌ای تیره ۱/۰ تا ۴/۰ سانتیمتر در زمینه‌ای سیاه رنگ دیده می‌شوند.

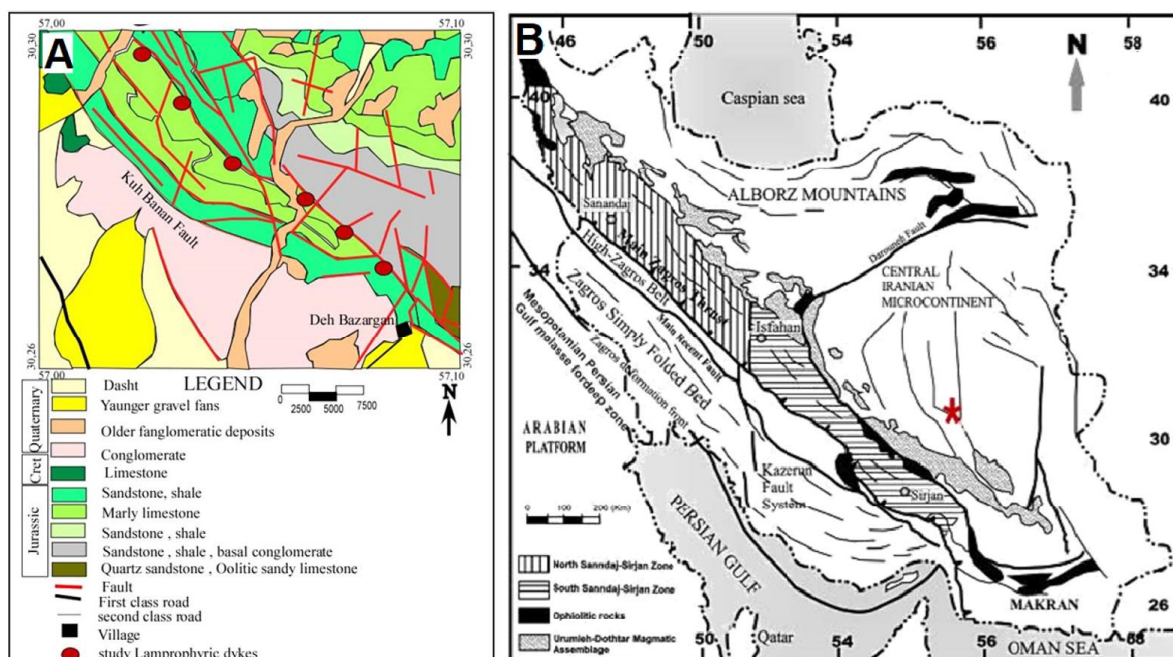
نشده است. هدف این پژوهش، بررسی صحرایی دایک‌های لامپروفیری منطقه برای رده‌بندی و شناسایی پیدایش آنها، با به‌کارگیری روش‌های سنگ‌نگاری و زمین‌شیمی کانی و سنگ کل است. امید است بتوان اطلاعات ارزشمندی درباره ماگماتیسم سنوزویک در این بخش از ایران ارائه داد.

جایگاه زمین‌شناسی و روابط صحرایی

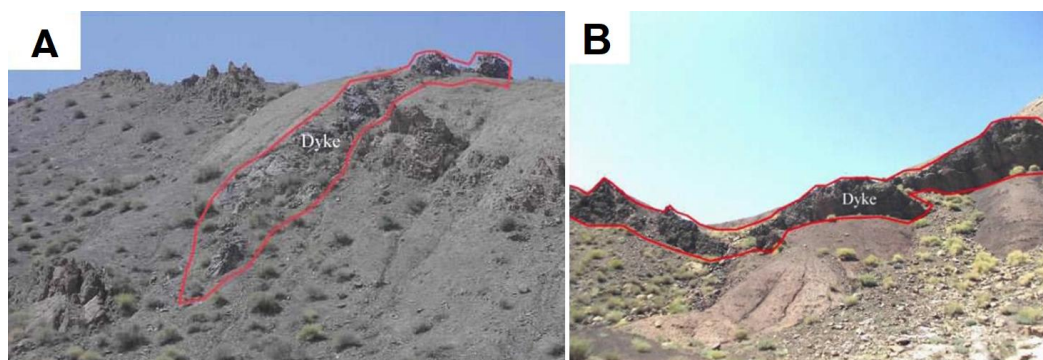
منطقه بررسی‌شده بخشی از پلاتفرم پالئوزویک- مزوزویک استان کرمان است. در استان کرمان، پلاتفرم پالئوزویک- مزوزویک روند عمومی شمال‌باختری- جنوب‌خاوری دارد و با خطواره‌ای از پهنه گسلی بسیار بزرگ عمان- اورال قطع شده است. این خطواره، همان گسل ناپبند است که کوهستان‌های خاوری این استان را در کناره فروافتادگی لوت جای می‌دهد. سازندهای محدوده بررسی‌شده که با لامپروفیرها قطع شده‌اند، از قدیم به جدید عبارتند از: آهک بادامو، سازند هجدک و سازند بیدو. در ادامه درباره آنها توضیح اندکی آورده شده است:

آهک بادامو: آهک‌های ماسه‌ای اوایلیتی بخش بالایی سازند شمشک کم‌کم با آهک‌های اوایلیتی- پیزولیتی با زمینه میکریتی جایگزین می‌شوند. این سنگ‌ها ماکروفسیل‌های دوکفه‌ای، آمونیت و بلمنیت با سن آغاز ژوراسیک دارند (Sabzei et al., 1999).

سازند هجدک: روی آهک بادامو تناوب کمابیش ستبری است از: ماسه‌سنگ‌های خاکستری مایل به قهوه‌ای تا سبز رنگ و شیل‌های میکادار ماسه‌ای تیره رنگ تا سبز رنگ، کوارتزیت نازک لایه، کنگلومرا و



شکل ۱- (A) منطقه بررسی شده ده بازگان- سرآسیاب شش (شمال شهر کرمان) روی نقشه ایران به صورت * مشخص شده است (Alavi, 1980)؛ (B) نقشه زمین شناسی منطقه ده بازگان برگرفته از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ کرمان (Sabzei et al., 1999)



شکل ۲- (A) تصویری صحرایی؛ (B) نمایی از دایک های لامپروفیری که شیل و آهک سازند هجک را قطع کرده اند؛ (B) دایک لامپروفیری قطع کننده شیل های ژئپس و نمک دار سازند بیدو

روش انجام پژوهش

برای بررسی لامپروفیرهای منطقه، هر جا که دسترسی بود، نمونه برداری به صورت نامنظم و در راستای گسل کوهبنان انجام شد. هفت دایک لامپروفیری شناخته شد که از همه آنها مقطع نازک ساخته شد. پس از بررسی میکروسکوپی مقطع ها، شمار ۵ نمونه که نماینده دایک های منطقه بودند، برای تجزیه ICP-OES, ICP-MS به شرکت زرآرما ماهان و LabWestMinerals استرالیا فرستاده شدند. همچنین، یک مقطع نازک صیقلی از

نمونه های نادگرسان در شرکت بلورین سنگ کرمان ساخته و برای تجزیه ریزکاو الکترونی کانی های پیروکسن، الیوین و پلاژیوکلاز به آزمایشگاه کانی شناسی مرکز تحقیقات و فرآوری مواد معدنی ایران فرستاده شد. تجزیه ریزکاو الکترونی کانی ها با دستگاه Cameca SX100 EMPA با ولتاژ شتاب دهنده ۱۵ کیلوولت، جریان الکترونی ۳۰ نانوآمپر و قطر پرتو ۵ میکرومتر برای ۸ نقطه الیوین، ۸ نقطه پیروکسن، ۲ نقطه پلاژیوکلاز و ۲ نقطه اسپینل در الیوین انجام شد.

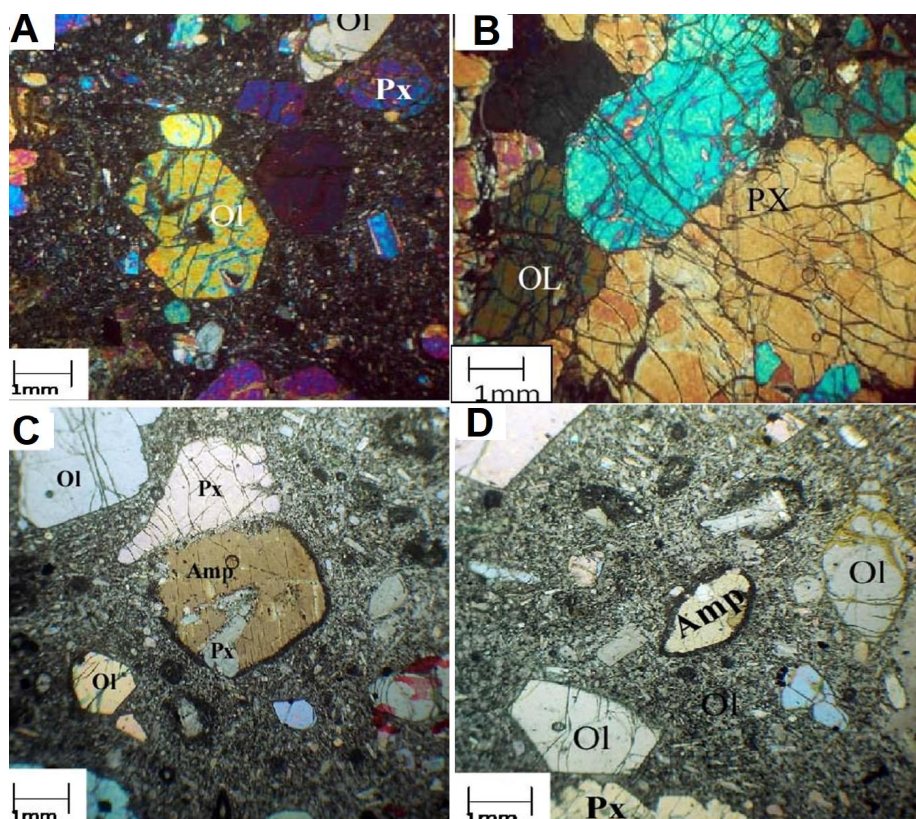
سنگ‌نگاری

در منطقه ده‌بازگان دو گروه لامپروفیر به صورت دایک‌های سیاه رنگ دیده می‌شوند:

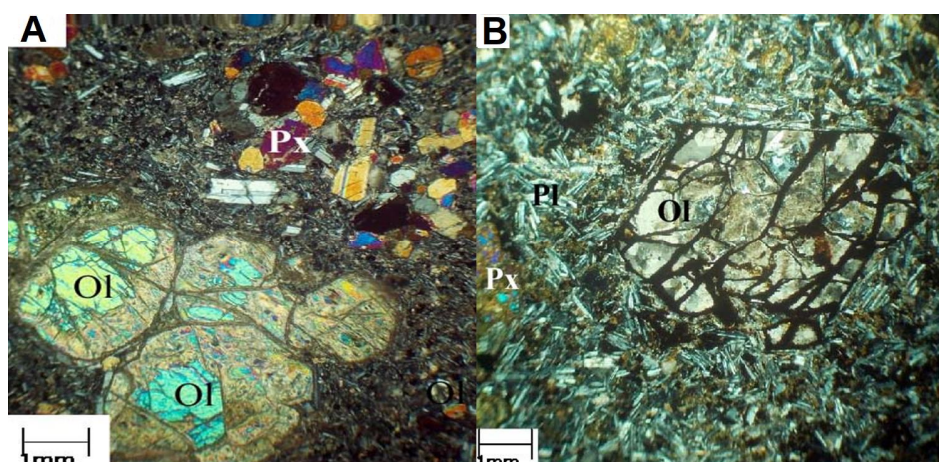
گروه نخست، فنوکریست‌های الیوین نیمه‌شکل‌دار با قطر ۲ تا ۵ میلیمتر و فراوانی ۳۰ درصد حجمی هستند که گاه در شکستگی‌ها سرپانتینی شده‌اند. افزون بر آن، کلینوپیروکسن دیوپسید با قطر ۴ تا ۶ میلیمتر، نیمه‌شکل‌دار با یک جهت رخ آشکار و گاه با ماکل و منطقه‌بندی و فراوانی ۲۰ درصد حجمی و همچنین، آمفیبول شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار با قطر ۱ تا ۲ میلیمتر و فراوانی ۵ درصد حجمی با میان‌بارهایی از پیروکسن و حاشیه کدر شده نیز در این گروه دیده می‌شوند. در این گروه زمینه از میکرولیت‌های پلاژیوکلاز با فراوانی ۱۰ درصد حجمی، بلورهای ریز مستطیلی با ماکل دوتایی سانیدین (۵ درصد حجمی)، ریزبلورهای بی‌شکل کلینوپیروکسن (۲۰ درصد حجمی)، آمفیبول (۵ درصد

حجمی) و کانی‌های کدر (۵ درصد حجمی) ساخته شده است. بافت این گروه پورفیری و گلومروپورفیری است (شکل‌های ۳- A تا ۳- D).

گروه دوم، فنوکریست‌های الیوین با فراوانی کمتر (نزدیک به ۲۰ درصد حجمی) دارد. این گروه برپایه دگرسانی الیوین به دو زیرگروه رده‌بندی می‌شوند. در زیرگروه نخست الیوین‌ها با سرپانتین (۴۰ تا ۵۰ درصد) جایگزین شده‌اند (شکل ۴- A)، در زیرگروه دوم الیوین دیده نمی‌شود؛ اما مقدار پیروکسن‌ها بیشتر از زیرگروه نخست است. از این‌رو، کلینوپیروکسن‌ها ۵۰ درصد حجمی و آمفیبول‌ها ۵ درصد حجمی را می‌سازند. زمینه شامل پلاژیوکلاز و سانیدین ۲۰ درصد حجمی، پیروکسن ۱۵ درصد حجمی، آمفیبول ۵ درصد حجمی و کانی‌های کدر ۵ درصد حجمی است. پاراژنز کانی‌شناسی این سنگ‌ها، برپایه فراوانی الیوین و پیروکسن شباهت بیشتری به لامپروفیرهای قلیایی (مونشیکیت) دارد.



شکل ۳- تصویرهای میکروسکوپی (PPL) از لامپروفیرهای ده‌بازگان (شمال شهر کرمان): (A) درشت بلورهای پیروکسن و الیوین در زمینه‌ای از پیروکسن‌ها و آمفیبول‌های دانه‌ریز و میکرولیت‌های پلاژیوکلاز؛ (B) اجتماع بلورهای الیوین و پیروکسن؛ (C) فنوکریست آمفیبول نیمه‌شکل‌دار با بربرداری‌های پیروکسن و حاشیه‌ای از کانی‌های کدر؛ (D) فنوکریست آمفیبول لوزی‌شکل با حاشیه‌ای از کانی‌های کدر



شکل ۴- تصویرهای میکروسکوپی (PPL) از لامپروفیرهای سرآسیاب شش (شمال شهر کرمان): (A) درشت بلورهای الیوین دگرسان در زمینه‌ای از میکرولیت‌های پلاژیوکلاز و ریزبلورهای پیروکسن و آمفیبول؛ (B) قالب فنوکریست الیوین جایگزین شده با منیزیت، سرپانتین کلریت و کانی کدر در زمینه‌ای از میکرولیت‌های پلاژیوکلاز و پیروکسن و آمفیبول دانه‌ریز

جدول ۱- کانی‌های همایند (پاراژنز) و رده‌بندی لامپروفیرهای منطقه ده‌بازرگان (شمال شهر کرمان)

کانی‌ها	بلورهای درشت (درصد حجمی)	زمینه (درصد حجمی)	کانی‌های دگرسانی (درصد حجمی)
الیوین	----- (۲۰-۳۰)		
پیروکسن	----- (۲۰-۳۰)	----- (۱۵-۲۰)	
آمفیبول	----- (۵)	----- (۵)	
پلاژیوکلاز		----- (۱۰-۱۵)	
سانیدین		----- (۵)	
کانی‌های کدر		----- (>۵)	----- (>۳)
سرپانتین			----- (۵)
کلریت			----- (۵)
منیزیت			----- (۵)

شیمی کانی‌ها

کانی‌های الیوین، پیروکسن و پلاژیوکلاز به همراه اسپینل‌های درون فنوکریست‌های الیوین تجزیه شده و داده‌های به‌دست‌آمده در جدول‌های ۲ تا ۴ آورده شده‌اند. الیوین به‌صورت فنوکریست‌های نیمه‌شکل‌دار در لامپروفیرها حضور دارند و برپایه داده‌های ریزکاو الکترونی (میانگین $Fo=88.6\%$ ؛ جدول ۲) از نوع کریزولیت هستند (شکل ۵- A). میانبرهایی از کانی‌های کدر درون الیوین‌ها هستند که برپایه فراوانی بالای کروم ($Cr_2O_3 > 49\%$) از نوع

کروم اسپینل هستند و می‌توانند نشانه ژرفا و فشار بالای محل پیدایش ماگمای میزبان باشند. پیروکسن‌های درون لامپروفیر بررسی شده از نوع کلسیم‌دار هستند و به‌صورت فنوکریست و میکروکریست دیده می‌شوند. کلینوپيروکسن‌ها برپایه داده‌های ریزکاو الکترونی (میانگین: $Wo=44.6$ ، $En=45.42$ ، $Fs=9.98$ ؛ جدول ۳) از گروه دیوپسید هستند (شکل ۶- A).

پلاژیوکلاز در لامپروفیرهای بررسی شده به‌صورت میکرولیتی در زمینه دیده می‌شوند و از نوع

(۱۹۷۳) تاکید کرده‌اند که توزیع آلومینیم در جایگاه‌های چهاروجهی و هشت‌وجهی کلینوپیروکسن‌ها معیار خوبی برای برآورد مقدار آب ماگما و میزان فشار در پهنه پیدایش سنگ‌های آذرین است.

Lindsley (۱۹۸۳) نمودار سه تایی Wo-En-Fs را برای ارزیابی دمای پیدایش پیروکسن‌ها پیشنهاد کرده است. در این نمودار، کلینوپیروکسن‌های درون لامپروفیرهای بررسی شده در محدوده دمایی ۷۰۰ تا ۹۰۰ درجه سانتیگراد جای گرفته‌اند (شکل ۶- A).

برپایه این الگو، کلینوپیروکسن‌های لامپروفیرهای منطقه از ماگمای مادر در فشار ۵ تا ۱۰ کیلو بار با میزان آب کمتر از ۱۰ درصد متبلور شده‌اند (شکل ۶- B).

لابرادوریت (میانگین $Ab=40\%$, $An=58.5\%$) جدول ۴) هستند (شکل ۵- B). بالابودن درصد مولی آنورتیت آنها همانند پلاژیوکلازهای لامپروفیرهای قلیایی (مونشیکیت) است؛ اما در لامپروفیرهای کالک‌آلکالن (اسپسارتیت) درصد آنورتیت در پلاژیوکلازها از ۳۵ تا ۵۱ درصد مولی است (Stempork *et al.*, 2014).

فشارسنجی و دماسنجی کلینوپیروکسن‌ها

برخی پژوهشگران، مانند Wass (۱۹۷۹)، پیشنهاد کرده‌اند نسبت‌های Al^{vi}/Al^{iv} در پیروکسن‌ها برای فشارسنجی به کار گرفته شود. پژوهشگرانی مانند Helz

جدول ۲- داده‌های تجزیه ریزکاو الکترونی برای الیوین در لامپروفیرهای ده‌بازرگان - سرآسیاب شش (شمال شهر کرمان) به همراه فرمول ساختاری به دست آمده برپایه ۴ اتم اکسیژن و اعضای پایانی (nd: کمتر از آستانه آشکارسازی)

Point.No	Ol ₁	Ol ₂	Ol ₃	Ol ₄	Ol ₅	Ol ₆	Ol ₇	Ol ₈
SiO ₂	42.94	42.41	40.96	41.94	40.31	40.74	41.35	41.18
TiO ₂	0.01	0.04	nd	nd	0.01	0.01	nd	0.01
Al ₂ O ₃	nd	nd	0.17	nd	nd	nd	nd	nd
FeO	8.10	9.86	12.09	9.86	11.02	13.10	9.34	11.05
MgO	48.53	47.23	46.48	48.31	48.73	45.92	48.03	47.82
CaO	0.10	0.11	0.17	0.19	0.18	0.21	0.12	0.22
MnO	0.12	0.17	0.22	0.17	0.18	0.19	0.12	0.20
Na ₂ O	nd	nd	nd	0.04	nd	nd	nd	nd
K ₂ O	0.03	0.01	nd	0.03	0.04	nd	0.03	0.01
NiO	0.34	0.35	0.13	0.30	0.24	0.18	0.32	0.23
Cr ₂ O ₃	0.61	0.07	nd	0.06	0.05	0.02	0.06	0.03
Total	100.78	100.25	100.22	100.90	100.76	100.37	99.37	100.75
Si	1.05	1.05	1.02	1.03	0.99	1.01	1.03	1.01
Ti	nd	0.00	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Al	nd	nd	0.01	nd	nd	nd	nd	nd
Cr	0.01	0.00	nd	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ³⁺	nd	nd	nd	nd	0.03	nd	nd	nd
Fe ²⁺	0.17	0.20	0.25	0.20	0.20	0.27	0.19	0.23
Mn	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	1.77	1.74	1.72	1.76	1.78	1.70	1.78	1.75
Ca	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01
Tephrite	0.13	0.18	0.23	0.18	0.19	0.20	0.13	0.21
Forsterite	91.20	89.22	86.86	89.34	88.37	85.79	89.90	88.08
Fayalite	8.54	10.45	12.67	10.23	11.21	13.73	9.81	11.42
Ca-Olivine	0.14	0.15	0.23	0.25	0.23	0.28	0.16	0.29

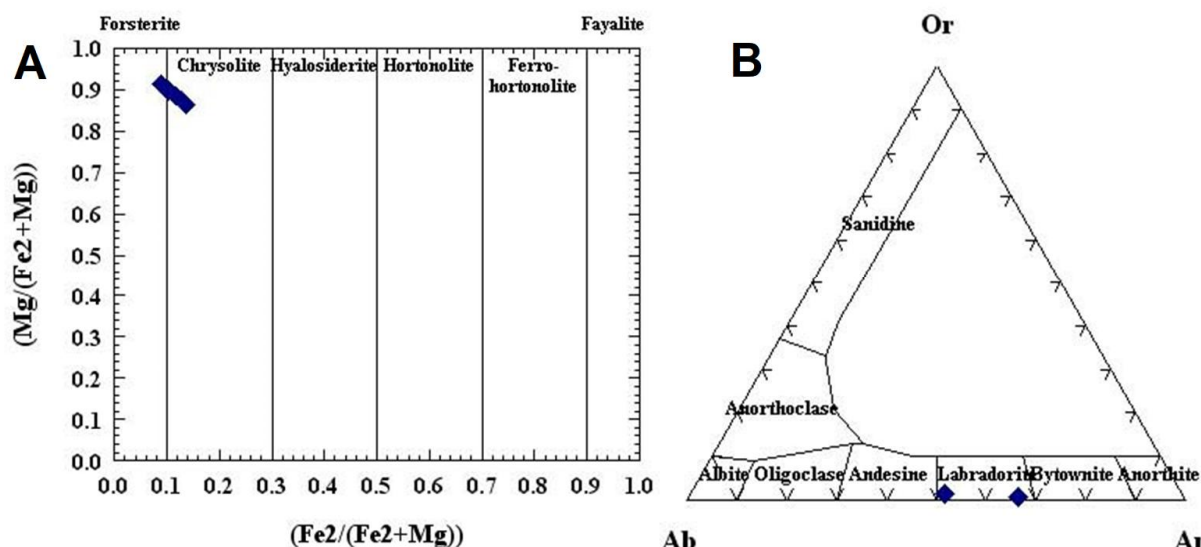
جدول ۳- داده‌های تجزیه ریزکاو الکترونی برای پیروکسن در لامپروفیرهای ده‌بازرگان - سرآسیاب شش (شمال شهر کرمان) به همراه فرمول ساختاری به دست‌آمده برپایه ۴ اتم اکسیژن و اعضای پایانی (nd: کمتر از آستانه آشکارسازی)

Point.No	Px ₁	Px ₂	Px ₃	Px ₄	Px ₅	Px ₆	Px ₇	Px ₈
SiO ₂	53.80	51.60	51.38	54.09	53.76	53.28	55.21	50.87
TiO ₂	0.35	0.61	0.71	0.47	0.68	0.77	0.39	1.33
Al ₂ O ₃	1.70	3.04	3.63	2.39	4.18	3.67	1.58	4.27
FeO	5.02	5.80	6.02	4.89	5.98	6.61	5.33	9.05
MgO	17.00	15.46	14.99	17.13	14.74	14.44	17.20	13.97
CaO	22.17	22.64	22.44	21.03	20.14	21.32	20.51	20.26
MnO	0.14	0.12	0.15	0.08	0.14	0.14	0.14	0.23
Na ₂ O	0.28	0.66	0.50	nd	nd	nd	nd	nd
K ₂ O	0.09	0.04	0.10	0.03	0.07	nd	0.05	0.28
NiO	0.02	0.01	0.02	nd	nd	0.03	0.01	0.01
Cr ₂ O ₃	0.42	0.46	0.24	0.78	0.34	0.13	0.38	0.01
Total	100.99	100.44	100.18	100.89	100.03	100.39	100.80	100.28
Si	1.95	1.88	1.89	1.97	1.99	1.97	2.01	1.90
Ti	0.01	0.02	0.20	0.01	0.02	0.02	0.01	0.04
Al	0.07	0.13	0.16	0.10	0.18	0.16	0.07	0.19
Cr	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01	nd
Fe ³⁺	0.02	0.10	0.58	nd	nd	nd	nd	nd
Fe ²⁺	0.14	0.08	0.13	0.15	0.19	0.20	0.16	0.28
Mn	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Mg	0.92	0.84	0.82	0.93	0.81	0.80	0.93	0.78
Ca	0.86	0.89	0.88	0.82	0.80	0.84	0.80	0.81
Na	0.02	0.02	0.04	nd	nd	nd	nd	nd
Wollastonite	44.57	46.51	46.75	43.20	44.44	45.78	42.20	43.33
Enstatite	47.55	44.19	43.46	48.96	45.26	43.14	49.24	41.57
Ferrosillite	7.88	9.30	9.79	7.84	10.30	11.08	8.56	15.11

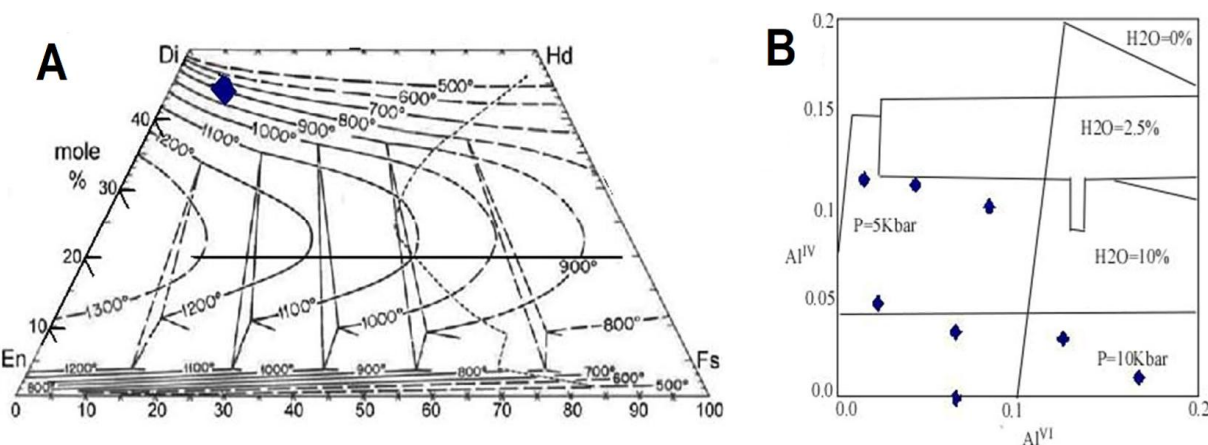
جدول ۴- داده‌های تجزیه ریزکاو الکترونی برای کانی کروم اسپینل (CrSP) و کانی پلاژیوکلاز (Plg) در لامپروفیرهای ده‌بازرگان - سرآسیاب شش (شمال شهر کرمان) به همراه فرمول ساختاری به دست‌آمده برپایه ۴ اتم اکسیژن و اعضای پایانی (nd: کمتر از آستانه آشکارسازی)

Point.No	Cr SP ₁	Cr SP ₂
SiO ₂	1.40	1.58
TiO ₂	0.47	0.43
Al ₂ O ₃	13.58	11.07
FeO	20.29	25.53
MgO	12.86	10.01
CaO	0.07	0.05
MnO	nd	nd
Na ₂ O	nd	nd
K ₂ O	0.05	0.05
NiO	0.13	0.10
Cr ₂ O ₃	49.05	49.60
Total	97.70	98.42
Si	0.05	0.05
Ti	0.01	0.01
Al	0.52	0.43
Cr	1.26	1.30
Fe ³⁺	0.11	0.14
Fe ²⁺	0.43	0.57
Mn	0.00	0.00
Mg	0.62	0.50

Point.No	Plg ₁	Plg ₂
SiO ₂	51.58	52.52
TiO ₂	nd	nd
Al ₂ O ₃	30.27	31.33
FeO	0.03	0.11
MgO	nd	nd
CaO	13.55	9.78
MnO	nd	nd
Na ₂ O	3.74	5.06
K ₂ O	0.10	0.22
NiO	nd	0.02
Cr ₂ O ₃	0.01	nd
Total	99.28	99.04
Si	2.36	2.39
Ti	nd	nd
Al	1.63	1.68
Cr	nd	nd
Fe ³⁺	nd	nd
Fe ²⁺	0.00	0.00
Mn	nd	nd
Mg	nd	nd
Ca	0.67	0.48
Ba	nd	nd
Na	0.33	0.45
K	0.01	0.01
Anorthite	66.30	50.94
Albite	33.12	47.69
Orthose	0.58	1.36



شکل ۵- شیمی کانی‌های لامپروفیرهای ده‌بازرگان - سرآسیاب شش (شمال شهر کرمان). (A) الیون‌ها در نمودار رده‌بندی شیمیایی الیون‌ها (Wager and Deer, 1939؛ B) پلاژیوکلازها در نمودار رده‌بندی شیمیایی پلاژیوکلازها (Deer et al., 2002)

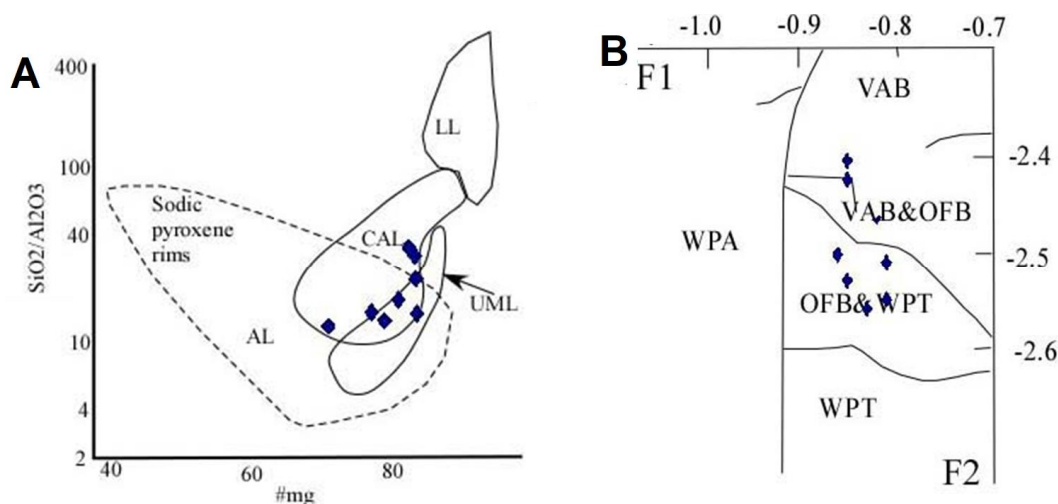


شکل ۶- کلینوپیروکسن‌های لامپروفیرهای ده‌بازرگان - سرآسیاب شش (شمال شهر کرمان) در: (A) نمودار مثلثی Wo-En-Fs (Lindsley, 1983؛ B) بررسی فشار و مقدار آب موجود در ماگما بر پایه شیمی کانی کلینوپیروکسن (Coltorti et al., 2007)

الترامافیک جای گرفته‌اند (Rock, 1984, 1986, 1987). این همپوشانی برپایه مرزهای شناخته‌شده به‌دست Rock (۱۹۸۷) بدیهی است (شکل ۷- A).

برپایه نمودار (F₁-F₂) از Nisbet و Pearce (۱۹۷۷) کلینوپیروکسن‌های لامپروفیرهای این منطقه در گستره ترکیبی بازالت‌های کمان آتشفشانی و بازالت‌های کف اقیانوس جای می‌گیرند (شکل ۷- B).

بررسی پهنه زمین‌ساختی برپایه شیمی کلینوپیروکسن
ترکیب کلینوپیروکسن‌ها به شیمی ماگمای مادر بستگی دارد. برپایه این ویژگی کلینوپیروکسن، تفاوت میان گروه‌های گوناگون ماگماها شناسایی می‌شود. از این‌رو، نمودار SiO₂/Al₂O₃ در برابر #Mg برای شناسایی سری ماگمایی برپایه شیمی کانی پیروکسن رسم و نمونه‌های بررسی‌شده در بخش مشترک میان لامپروفیرهای آلکالن - کالک‌آلکالن و



شکل ۷- کلینوپیروکسن‌های لامپروفیرهای ده‌بازرگان- سرآسیاب شش (شمال شهر کرمان) در: (A) نمودار شناسایی سری ماگمایی لامپروفیرها (CAL): لامپروفیر کالک‌آلکان؛ AL: لامپروفیر آلکان؛ UML: لامپروفیر الترامافیک؛ LL: لامپرویت (Rock, 1984, 1986)؛ (B) نمودار F1-F2 برای شناسایی خاستگاه زمین‌ساختی ماگمای سازنده لامپروفیرها برپایه شیمی کلینوپیروکسن (VAB: بازالت‌های کمان آتشفشانی؛ OFB: بازالت‌های کف اقیانوس؛ WPT: تولیت درون‌صفحه‌ای) (Nisbet and Pearce, 1977)

$$F1 = -0.012\text{SiO}_2 - 0.0807\text{TiO}_2 + 0.0026\text{Al}_2\text{O}_3 - 0.0012\text{FeO} - 0.0026\text{MnO} + 0.0087\text{MgO} - 0.0128\text{CaO} - 0.0419\text{Na}_2\text{O}$$

$$F2 = -0.0469\text{SiO}_2 - 0.0818\text{TiO}_2 - 0.0212\text{Al}_2\text{O}_3 - 0.004\text{FeO} - 0.1435\text{MnO} - 0.0029\text{MgO} + 0.085\text{CaO} + 0.0160\text{Na}_2\text{O}$$

برپایه ویژگی‌های سنگ‌نگاری (مانند: دارابودن فنوکریست‌های کانی‌های تیره الیون- پیروکسن- آمفیبول و نبود درشت بلورهای روشن و بافت پورفیری که از ویژگی‌های شناخته‌شده لامپروفیرهاست) و برپایه نمودار سه‌تایی $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-MgO-K}_2\text{O}$ ، نمونه‌ها، در محدوده لامپروفیرها و مرز کیمبرلیت‌ها جای می‌گیرند. این ویژگی رده‌بندی لامپروفیرها برپایه شیمی کلینوپیروکسن را تایید می‌کند (شکل ۸).

برپایه ویژگی‌هایی مانند شاخص مافیک (اندیس رنگی)، مقدار فراوانی اکسیدهای SiO_2 (44.25-46.43wt.%)، MgO (5.81-19.12wt.%)، Na_2O (1.55-2.03wt.%)، K_2O (1.18-1.71wt.% و CaO (7.45-14.26wt.%) نزدیک به ترکیب میانگین لامپروفیرهای آلکان در بررسی‌های Rock (۱۹۸۷) هستند.

برای شناسایی لامپروفیرها از یکدیگر، نمودار SiO_2 در برابر K_2O (شکل ۹- A) و SiO_2 در برابر $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ (شکل ۹- B) به کار برده شد. در این

زمین‌شیمی سنگ کل

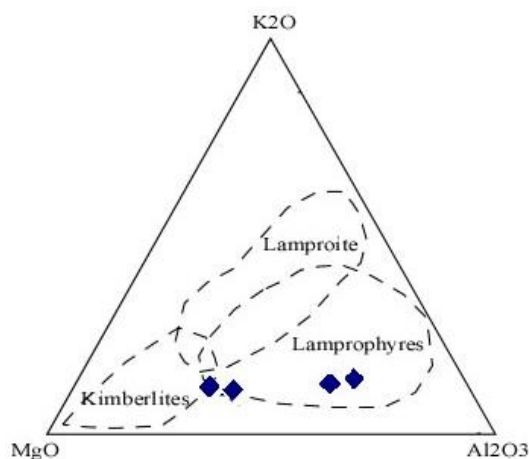
شمار شش نمونه از دایک‌های لامپروفیری منطقه برگزیده و تجزیه شدند. داده‌های به‌دست‌آمده در جدول ۵ آورده شده‌اند.

برپایه سنگ‌نگاری و داده‌های زمین‌شیمیایی (جدول ۵) لامپروفیرهای منطقه بررسی‌شده به دو دسته رده‌بندی می‌شوند. میانگین فراوانی اکسیدهای اصلی در این دو گروه و در مجموع لامپروفیرهای منطقه، به‌همراه میانگین ترکیب لامپروفیرهای گوناگون (از Rock, ۱۹۸۷) در جدول ۶ آورده شده‌اند. نتیجه مقایسه آنها نشان می‌دهد میانگین لامپروفیرهای منطقه بیشترین همانندی را با لامپروفیرهای آلکان نشان می‌دهد؛ هرچند فراوانی اکسیدهای TiO_2 و FeO آنها نزدیک به لامپروفیرهای کالک‌آلکان بوده و درصد وزنی اکسید MgO آنها (به‌علت فراوانی بالای کانی الیون در گروه ۱) نزدیک به لامپروفیرهای الترابازیک است.

[illegible]

جدول ۵- ادامه

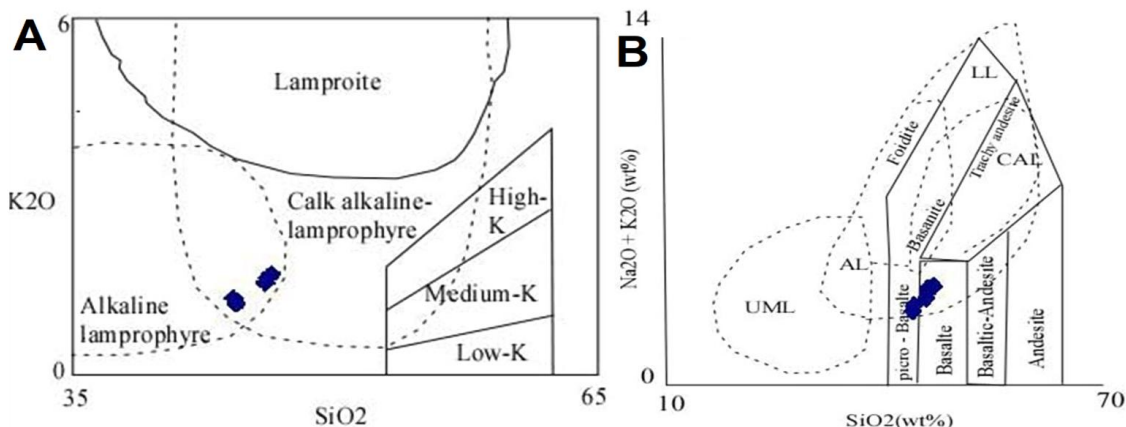
Sample No.	1GS6	LPBAZ2	LPBAZ1	HGS6	10ABR	10ABR2	ALK	CALC	Ultra
ac(NFS4)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
ns(NS)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
Di wo(CS)	8.55	9.22	10.83	20.45	11.85	11.72	16.93		
Di en(MS)	6.59	7.20	8.45	14.05	7.87	7.74	14.37		
Di fs(FS)	1.02	0.99	1.16	4.72	3.10	3.12	0.30		
Hy en(MS)	5.95	0.00	0.00	0.00	7.87	7.53	0.00		
Hy fs(FS)	0.92	0.00	0.00	0.00	3.09	3.03	0.00		
Ol fo(M2S)	21.30	29.34	28.19	3.49	0.00	0.00	5.15		
Ol fa(F2S)	3.65	4.48	4.29	1.30	0.00	0.00	0.12		
mt(Ff)	5.70	5.70	5.64	5.46	5.80	5.75	0.00		
he(F)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
il(FI)	1.38	1.23	1.22	1.50	2.06	2.08	0.00		
ap(CP)	0.52	0.47	0.49	0.48	0.66	0.64	0.00		
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	96.44		
Ag	0.20	0.20	0.20	0.03	0.01	-			
As	0.80	0.50	2.50	7.00	1.30	-			
Ba	367.00	358.00	315.00	328.00	359.00	-	930.00		
Be	1.10	1.10	1.00	1.40	1.60	-			
Cd	0.10	0.10	0.10	0.13	0.06	-			
Ce	24.00	23.00	24.00	22.90	30.50	-	125.00		
Co	51.00	48.70	44.90	42.40	35.50	-	38.00		
Cr	1059.00	1155.00	635.00	329.00	236.00	-	98.00	370.00	480.00
Cs	5.60	3.90	0.60	0.20	0.40	-	2.00		
Cu	59.00	83.00	53.00	51.10	51.30	-			
Dy	2.40	2.26	2.22	1.68	2.44	-	5.40		
Er	1.63	1.59	1.57	0.87	1.28	-	2.70		
Eu	1.09	1.09	1.08	0.72	1.02	-	3.10		
Ga				13.40	15.40	-	19.00		
Gd	2.74	2.70	2.51	2.00	2.75	-	8.20		
Ge				0.54	0.56	-			
Hf	1.43	1.45	1.17	1.68	2.14	-	6.90		
Ho				0.32	0.47	-	0.90		
In	0.50	0.50	0.50	0.05	0.05	-			
La	12.00	12.00	12.00	10.10	13.60	-	66.00		
Li	37.00	28.00	23.00	15.00	21.80	-			
Lu	0.19	0.19	0.19	0.10	0.15	-	0.29		
Mo	1.30	1.00	1.00	1.00	0.90	-			
Nb	3.70	3.50	3.60	3.40	5.40	-	101.00		
Nd	15.20	15.00	14.70	11.10	15.40	-	54.00		
Ni	553.00	551.00	427.00	78.00	134.00	-	65.00	150.00	430.00
Pb	13.00	11.00	18.00	73.30	6.60	-	7.00		
Pr	3.30	3.32	3.29	2.62	3.60	-	14.00		
Rb	80.00	58.00	42.00	17.10	28.50	-	50.00		
Sb	0.50	0.50	0.50	0.30	1.20	-			
Sc	22.90	21.90	22.40	13.00	16.00	-			
Se	0.50	0.50	0.50	0.30	0.39	-			
Sm	3.25	3.19	3.04	2.38	3.33	-	10.80		
Sn	1.10	1.20	1.00	0.70	0.60	-			
Sr	442.30	454.80	434.00	524.00	610.00	-	990.00		
Ta	0.19	0.19	0.13	0.20	0.30	-	5.00		
Tb	0.45	0.45	0.42	0.31	0.44	-	1.20		
Th	2.35	2.23	2.13	1.50	2.45	-	9.00		
Tl	0.94	0.96	0.15	0.10	0.10	-			
Tm	0.20	0.20	0.20	0.12	0.17	-	0.38		
U	1.07	1.00	1.00	0.83	1.16	-	2.20		
V	133.00	133.00	131.00	182.00	189.00	-	285.00		
W	1.40	1.10	0.60	0.40	0.50	-			
Y	11.00	10.70	10.40	7.72	11.00	-	31.00		
Yb	1.10	1.10	1.10	0.70	1.01	-	1.80		
Zn	71.00	72.00	69.00	191.00	107.00	-			
Zr	63.00	63.00	54.00	64.00	83.00	-	313.00		



شکل ۸- لامپروفیرهای شمال شهر کرمان در نمودار K₂O-MgO-Al₂O₃ برای رده‌بندی لامپروفیرها (Rock, 1991)

جدول ۶- میانگین اکسیدهای اصلی در نمونه‌های لامپروفیر گوناگون در شمال شهر کرمان (M1: میانگین لامپروفیرهای گروه ۱؛ M2: میانگین لامپروفیرهای گروه ۲؛ Mt: میانگین همه لامپروفیرها) (ALK: میانگین لامپروفیرهای آلكالین؛ CALC: میانگین لامپروفیرهای کالک‌آلكالین؛ Ultra: میانگین لامپروفیرهای الترامافیک؛ Rock, 1987)

Sample No.	M1	M2	Mt	ALK	CALC	Ultra.
SiO ₂	45.54	45.9	45.72	41.9	51.5	30.9
TiO ₂	0.64	0.91	0.77	3	1.3	3.6
Al ₂ O ₃	10.56	14.19	12.37	13.7	14	6.8
Fe ₂ O ₃	3.75	3.59	3.67	5.3	3.7	7.9
FeO	5.62	5.39	5.51	6.5	4.9	7.1
MgO	18	6.13	12.06	7.2	6.9	15.1
CaO	7.91	11.99	9.95	10.6	6.6	15
Na ₂ O	1.87	1.85	1.86	3	2.7	1.1
K ₂ O	1.45	1.56	1.51	2	3.8	1.8



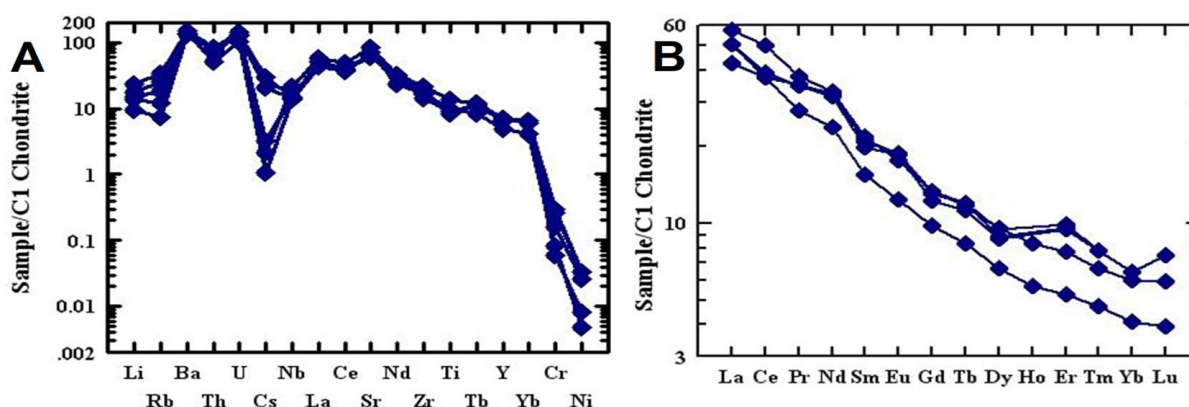
شکل ۹- لامپروفیرهای شمال شهر کرمان در: (A) نمودار SiO₂ در برابر K₂O برای رده‌بندی لامپروفیرها (Rock, 1987)؛ (B) نمودار SiO₂ در برابر Na₂O+K₂O برای شناسایی سری‌های ماگمایی (CAL: لامپروفیر کالک‌آلكالین؛ AL: لامپروفیر آلكالین؛ UML: لامپروفیر الترامافیک؛ LL: لامپروفیت؛ Rock, ۱۹۸۷)

Cr=480, Ni=65) و الترامافیک (Cr=98, Ni=430) پیشنهادی Rock (۱۹۸۷) است. همچنین، نمونه‌ها آنومالی منفی در برابر Rb و Nb و آنومالی مثبت در برابر Th و Sr دارند. بی‌هنجاری منفی در برابر Nb، Ti و آنومالی مثبت در برابر Th نشانه مشارکت پوسته‌ای در فرایند ماگمایی در پهنه‌های فرورانس است (Rollinson, 1993).

در نمودار عنصرهای خاکی نادر، روندی کاهشی از سوی عنصرهای خاکی نادر سبک

نمودارهای عنکبوتی نمونه‌ها به ترکیب استاندارد c₁ کندریت (Sun and McDonough, 1989) بهنجار شدند. در این نمودارها، نمونه‌ها در برابر استاندارد عنصرهای کرم و نیکل تهی شده‌اند. با وجود این، برپایه داده‌های جدول ۵ و برپایه فراوانی الیومین و میانبارهای کروم اسپینل (به‌ویژه در نمونه‌های گروه اول)، فراوانی این دو عنصر در نمونه‌های بررسی‌شده (Ni=553-; Cr=1155-236) کالک‌آلكالین (Ni=150, Cr=370)، آلكالین

اکیانوسی فرورونده. اختلاف میزان غنی‌شدگی میان عنصرهای خاکی نادر سبک و سنگین در لامپروفیرهای بررسی‌شده نزدیک به ۶۰ برابر است. برپایه فراوانی کانی‌های الیوین و پیروکسن و نبود جدایش این دو کانی در نمونه‌های بررسی‌شده، اختلاف بالا میان عنصرهای خاکی نادر سبک و سنگین (که معمولاً پیامد جدایش این دو کانی است)، در نمونه‌های بررسی‌شده با شدت کمتری روی داده است (شکل ۱۰).



شکل ۱۰- لامپروفیرهای شمال شهر کرمان در: (A) نمودار عنکبوتی عنصرهای فرعی بهنجار شده در برابر ترکیب کندریت؛ (B) نمودار عنکبوتی عنصرهای خاکی نادر بهنجار شده در برابر ترکیب کندریت (ترکیب کندریت برگرفته از: Sun و McDonough، ۱۹۸۹)

هنگام رویدادهای پیشین متاسوماتیسم شده‌اند؛

۴- آمیختگی ماگمای بازالتی پدیدآمده از گوشته سنگ‌کره التراپتاسیک در پی افزایش درجه دما یا نازک‌شدگی گوشته سنگ‌کره‌ای زیر قاره‌ای (Kerr, 2010)؛

۵- مذاب‌های لامپرویتی یا بازالتی جدا شده از گوشته با مذاب‌های سیلیسی جدا شده از پوسته (Thompson et al., 1989). غنی‌شدگی از عنصرهای LILE و همچنین، LREE از ویژگی‌های ماگماهای برخاسته از گوشته غنی‌شده و پوسته قاره‌ای است. برپایه فراوانی

به‌سوی عنصرهای خاکی نادر سنگین دیده می‌شود. به باور Rollinson (۱۹۹۳) سه عامل در این پدیده نقش دارند: (۱) دارابودن گارنت در خاستگاه که با حفظ HREE در ساختار خود، ماگمای پدیدآمده را از این عنصرها تهی می‌کند؛ (۲) آلایش ماگما با مواد پوسته‌ای (پوسته قاره‌ای و رسوب‌های دریایی روی پوسته اکیانوسی فرورانده شده)؛ (۳) متاسوماتیسم گوّه گوشته‌ای در پی تراوش سیال‌های پدیدآمده هنگام آب‌زدایی پوسته

بحث

سنگ‌زایی لامپروفیرها پیچیده و متفاوت هستند و معمولاً برپایه الگوهای زیر تفسیر می‌شود. هرچند که در بسیاری از موارد، نقش چند الگو برای سنگ‌زایی آنها پیشنهاد شده است.

۱- ذوب‌بخشی گوشته متاسوماتیزم‌شده، در هر دو پهنه وابسته به فرورانش و یا گوشته

سنگ‌کره‌ای زیر قاره‌ای (Zhang et al., 2003)؛

۲- آلایش پوسته‌ای ماگماهای مافیک (Fowler and Henney, 1996)؛

۳- Rock (۱۹۹۱)، مذاب‌های سست‌کره‌ای مستقیم جدا شده از پلوم‌های گوشته‌ای که

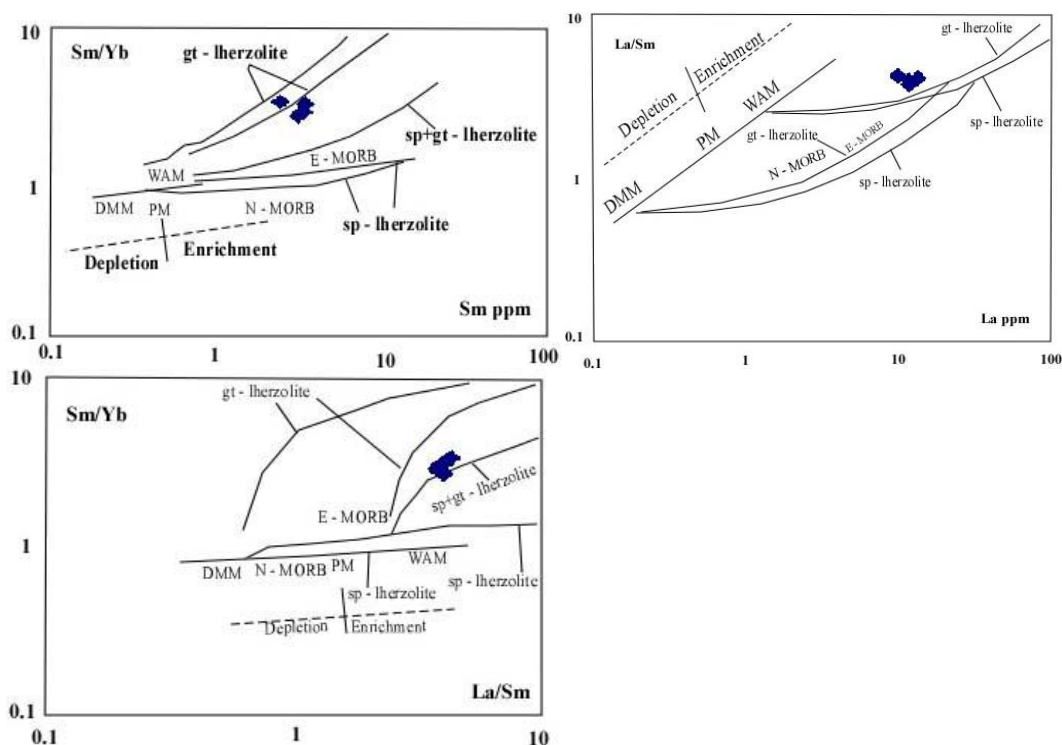
عنصرهای سازگار و کمبود سیلیس، لامپروفیرهای بررسی‌شده از ذوب مستقیم پوسته قاره‌ای پدید نیامده‌اند.

بالا بودن عنصرهای LIL (مانند: Ba, Rb) و منفی بودن بی‌هنجاری عنصرهای HFS (مانند: Ta, Nb) نشان‌دهنده تأثیر عوامل فرورانش در غنی‌شدگی و تهی‌شدگی مذاب از این عناصر است (شکل ۱۰). بالا بودن نسبت‌های Ba/La, Ba/Ta و La/Ta در لامپروفیرهای منطقه نشانۀ غنی‌شدگی گوشته با سیال‌های پهنه‌های فرورانش و ورود عناصر از رسوب‌های اقیانوسی فرورانده شده به ماگما است (Rollinson, 1993).

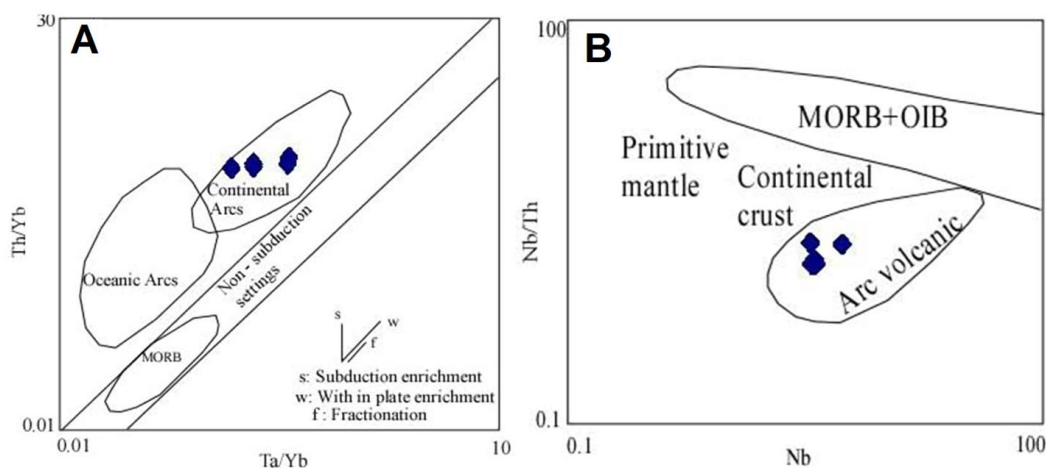
نمودار Sm/Yb در برابر Sm وابسته به بودن گارنت در خاستگاه است. برپایه اینکه Yb در گارنت سازگار و در کلینوپیروکسن ناسازگار است، این نسبت برای درک کانی‌شناسی خاستگاه گوشته‌ای لامپروفیرهای کارآمد است. در این نمودار نمونه‌های لامپروفیری در میان روند گوشته ساخته شده از گارنت+اسپینل لرزولیت و گارنت لرزولیت جای می‌گیرند. این نشانۀ خاستگاه گوشته‌ای کمابیش ژرف و گارنت‌دار برای لامپروفیرهای منطقه است. در نمودار نسبت La/Sm در برابر فراوانی La، برای ارزیابی ویژگی‌های خاستگاه، کانی‌شناسی خاستگاه و درجه ذوب بخشی الگوسازی شده است. در الگوسازی، روش ذوب بسته‌ای (Batch) غیر مودال Shaw (۱۹۷۰) و ضرب توزیع REE گردآوری شده به دست McKenzie و Onions (۱۹۹۵) به کار برده شده است. دو ترکیب متفاوت برای تعریف آرایه گوشته‌ای به کار برده شده است. گوشته مورب تهی شده (DMM) و گوشته اولیه داده‌های الگوسازی، نخست از راه تمرکز عنصر بسیار ناسازگار La و عنصر کمتر ناسازگار Sm آزمایش شده‌اند. این دو عنصر (La و Sm) به تغییرات کانی‌شناسی در خاستگاه (مانند: گارنت و یا اسپینل) وابسته نیستند؛

از این‌رو، اطلاعاتی را درباره ترکیب کلی خاستگاه به دست می‌دهند (Aldanmaz *et al.*, 2000). لامپروفیرهای بررسی‌شده در این نمودار در بالای بخش گارنت + اسپینل لرزولیت و گارنت لرزولیت جای می‌گیرند که این نشانۀ میزان بالای La در این نمونه‌هاست و نشان می‌دهد برای پیدایش ماگمای لامپروفیری بررسی‌شده، گوشته‌ای سرشار از عنصرهای LREE نیاز است.

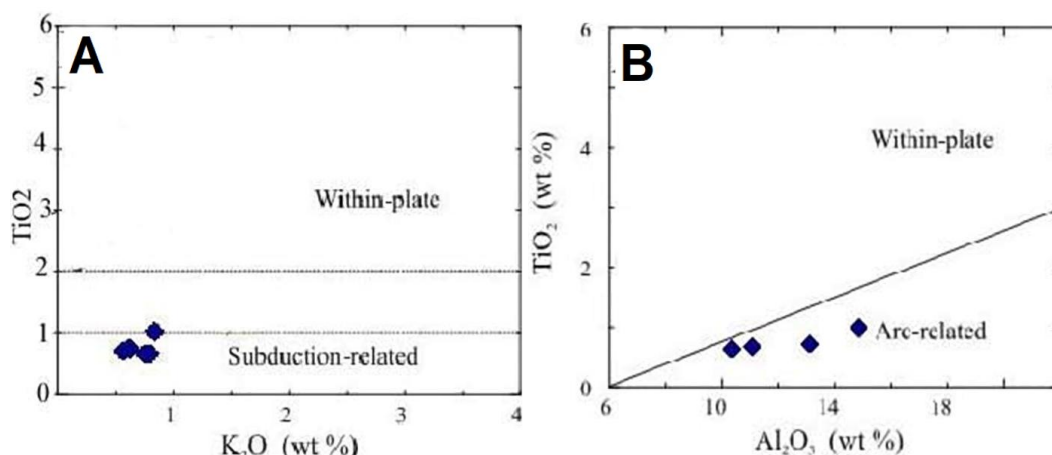
نمودار La/Sm در برابر Sm/Yb به خوبی نشان می‌دهد ذوب بخشی یک خاستگاه اسپینل لرزولیت، ماگمای لامپروفیری بررسی‌شده را پدید نیآورده است. نمونه‌های بررسی‌شده در این نمودار در محدوده میان گارنت لرزولیت و گارنت+اسپینل لرزولیت جای می‌گیرند و این نشانۀ گارنت‌دار بودن خاستگاه ماگمای یادشده است (شکل ۱۱). در نمودار Ta/Yb در برابر Th/Yb نمونه‌ها در محدوده کمان قاره‌ای جای می‌گیرند و این پدیده نشانۀ تأثیر گوشته متاسوماتیسم شده با عوامل فرورانش در پیدایش آنهاست. نسبت‌های Ta/Yb و Th/Yb به فرایندهای جدایش بلورین یا ذوب بخشی وابسته نیستند. از این‌رو، خاستگاه ماگمای لامپروفیری بررسی‌شده تغییرات و یا آلودگی پوسته‌ای داشته است (شکل ۱۲ - A). در نمودار Nb در برابر Nb/Th، نمونه‌ها در بخش سنگ‌های کمان آتشفشانی قاره‌ای جای گرفته‌اند (شکل ۱۲ - B). در نمودار Al_2O_3 در برابر TiO_2 ، Muller *et al.*, (1993) نمونه‌ها در بخش سنگ‌های وابسته به کمان جای می‌گیرند (شکل ۱۳ - A). در نمودار K_2O در برابر TiO_2 (Thorpe, 1984) نیز لامپروفیرهای بررسی‌شده در بخش سنگ‌های وابسته به فرورانش جای می‌گیرند (شکل ۱۳ - B).



شکل ۱۱- لامپروفیرهای شمال شهر کرمان در: (A) Sm در برابر Sm/Yb؛ (B) نمودار La در برابر La/Sm؛ (C) La/Sm در برابر Sm/Yb. نمودارها از Aldanmaz و همکاران (۲۰۰۰) هستند. منحنی‌ها یا خطوط پدیدآمده از ذوب دسته‌ای با به‌کارگیری معادله‌های Shaw (۱۹۷۰) رسم شده‌اند. داده‌های منحنی ذوب برای اسپینل لرزولیت از Kinzler (۱۹۹۷) و برای گارنت لرزولیت از Sun و McDonough (۱۹۸۹) است (داده‌های WAM از Aldanmaz و همکاران (۲۰۰۰)، ضریب توزیع برای کانی‌ها و مذاب و گوشته DMM از McKenzie و Onions (۱۹۹۵)، ترکیب گوشته PM، N-MORB و EMORB از Sun و McDonough (۱۹۸۹) هستند) (خط‌های کلفت نشان‌دهنده آرایه گوشته‌ای هستند که با ترکیب گوشته‌های DMM و PM رسم شده‌اند. منحنی‌ها و خط‌های نقطه‌چین نشان‌دهنده روندهای ذوب از گوشته DMM و منحنی‌ها و خطوط ممتد نشان‌دهنده روند ذوب از گوشته WAM هستند. درصدهای نشان‌دهنده درجه ذوب بخشی برای خاستگاه‌های گوناگون را نشان می‌دهند)



شکل ۱۲- لامپروفیرهای شمال شهر کرمان در: (A) نمودار Th/Yb در برابر Ta/Yb (Pearce, 2008)؛ (B) نمودار Nb/Th در برابر Nb از Abdel-Fattah و Philip (۲۰۰۴) (ترکیب MORB و OIB از Taylor و McLennan (۱۹۸۵) است)



شکل ۱۳- لامپروفیرهای شمال شهر کرمان در: (A) نمودار K_2O در برابر TiO_2 (Thorpe, 1984)؛ (B) نمودار Al_2O_3 در برابر TiO_2 (Muller *et al.*, 1993)

در پی فرایندهای وابسته به فرورانش غنی شده‌اند. سپس مذاب پدیدآمده در راستای گسل کوهبنان و مجرای عبور، در سنگ‌های رسوبی میزبان نفوذ کرده و در این پهنه پس از برخورد جایگزین شده‌اند. Fazlnia و همکاران (۲۰۱۲) برای لامپروفیرهای جنوب‌باختری سلماس و Aghazadeh و همکاران (۲۰۱۵) برای لامپروفیرهای شمال‌باختری ایران چنین پهنه‌ای را پیشنهاد داده‌اند.

نتیجه‌گیری

دایک‌های لامپروفیری از درشت بلورهای الیون با ترکیب کریزولیت، پیروکسن با ترکیب دیوپسید و آمفیبول در زمینه‌ای ریزبلور از پیروکسن و آمفیبول، به‌همراه پلاژیوکلاز لابرادوریتی ساخته شده‌اند. الیون‌ها میانبرهایی از کروم اسپینل دارند. بافت اصلی این سنگ‌ها پورفیری و گلومروپورفیری است. درشت بلورهای تیره و نبود درشت بلورهای روشن و بافت پورفیری این نمونه‌ها همانند لامپروفیرهاست. ترکیب نورماتو پیروکسن‌ها برای لامپروفیرهای آلکان باید در محدوده دیوپسید اوژیتی باشد که این نکته با داده‌های ریزکاو الکترونی به‌دست‌آمده در

برپایه داده‌های بالا می‌توان دریافت که لامپروفیرهای بررسی‌شده در یک پهنه پس از برخورد و در پی کشش و Relaxation پس از برخورد جایگزین شده‌اند. الگوهای عقب‌نشینی پهنه فرورانش (Slab rollback; Lonergan and White, 1997)، شکستن و جداشدن قطعه فرورانده‌شده (Davies and Von Blanckenburg, 1995)، پوسته‌پوسته‌شدن (Bird, 1979) و حرکت همرفتی لیتوسفر (Houseman *et al.*, 1981)، برای توجیه کشش پس از برخورد به‌کار برده شده‌اند. همه این فرایندها، بالاآمدگی سست‌کره با سرشت OIB و به‌هم‌ریختگی گرادیان دمایی نخستین و سرانجام زمین‌ساخت کششی و پیدایش ماگما را در پی داشته است. گویا که در پی فرایندهای شکستن قطعه اقیانوسی فرورونده و پوسته‌پوسته‌شدن گوشته‌ای و تعادل‌سازی پس از برخورد، گوشته سست‌کره‌ای بالا آمده و ذوب گوشته سنگ‌کره‌ای متاسوماتیسم‌شده با عوامل فرورانش و نیز عوامل گوشته ژرف را به‌دنبال داشته است. ویژگی‌های صحرایی، دارابودن اسپینل، ویژگی‌های زمین‌شیمیایی عنصرهای فرعی و کمیاب و نسبت‌های آنها نشان می‌دهند به احتمال بالا، لامپروفیرهای بررسی‌شده از ماگمای مادر اسپینل-گارت لِرزولیتی و در فشار ۵ تا ۱۰ کیلو بار پدید آمده و

بررسی شده از ماگمای سری آلکالن پدید آمده‌اند. غنی بودن از عنصرهای LILE و LREE و دارا بودن نسبت بالایی از La/Yb نشانه گارنت دار بودن خاستگاه ماگماست. برپایه داده‌های ریزکاو الکترونی و تجزیه سنگ کل، روشن شد که خاستگاه لامپروفیرهای منطقه، گوشته گارنت-اسپینل لرزولیتی با کانی آبدار متاسوماتیزم شده (در پی فرایندهای وابسته به پهنه فرورانش) بوده است و سپس این سنگ‌ها در پهنه کمائی پس از برخورد جایگزین شده‌اند.

سپاس‌گزاری

از جناب مهندس شکوریان در مدیر شرکت زراژما ماهان، برای هماهنگی لازم برای انجام تجزیه‌های سنگ کل در ایران و استرالیا، از جناب مهندس قلی‌زاده در آزمایشگاه کانی‌شناسی مرکز تحقیقات و فرآوری مواد معدنی ایران، برای انجام تجزیه‌های ریزکاو الکترونی، از آقای محمد بهرامپور، برای همراهی در نمونه‌برداری و همچنین، داوران پیشنهادی مجله که دقت بسیاری در بررسی مقاله به کار برده‌اند بسیار سپاس‌گزاریم.

این پژوهش سازگار است. همه نمودارهای لامپروفیرها محدوده‌های هم‌پوشانی دارند و در نمودار Rock (۱۹۸۷) هم دیده می‌شود. این ویژگی در لامپروفیرهای کرمان نیز دیده می‌شود و از این رو، باید ویژگی‌های دیگری را برای شناسایی لامپروفیرهای آلکالن و کالک‌آلکالن به کار برد.

شاخص مافیک کانی‌ها، نبود کوارتز (مودال و نورماتیو)، درصد بالای آنورتیت در پلاژیوکلازها، الیوین و نزدیک بودن مقادیرهای اکسیدهای SiO_2 ، CaO ، Na_2O و K_2O به لامپروفیرهای قلیایی، از ویژگی‌های لامپروفیرهای قلیایی (مونشیکیت) هستند. در اینباره، Moorhouse (۱۹۵۹) بیوتیت و آمفیبول را برای رده‌بندی مونشیکیت‌ها ضروری نمی‌داند؛ اما فراوانی الیوین و پیروکسن را تعیین‌کننده‌تر می‌داند؛ اگرچه تا کنون، نقدی بر این رده‌بندی نوشته نشده است. داده‌های ریزکاو الکترونی کانی پیروکسن نشان می‌دهند این سنگ‌ها از گروه لامپروفیرهای آلکالن هستند و در فشار ۵-۱۰ کیلو بار با محتوی آب کمتر از ۱۰٪ در دمای ۹۰۰ تا ۷۰۰ درجه سانتیگراد پدید آمده‌اند. داده‌های زمین‌شیمیایی سنگ کل نیز نشان می‌دهند لامپروفیرهای

منابع

- Abdel-Fattah, M. and Philip, E. N. (2004) Cenozoic volcanism in the Middle East: petrogenesis of alkali basalts from northern Lebanon. *Geological magazine* 141:545-563.
- Aghazadeh, M. and Badrzadeh, Z. (2015) Petrology and petrogenesis of alkaline and calc-alkaline lamprophyres in the NW Iran, *Geoscience (Geological Survey of Iran)* 24: (94) 87-102. (in Persian).
- Aghazadeh, M., Prelevic, D. and Badrzadeh, Z., Braschi, E., Bogaard, P. V. D., Conticelli, S. (2015) Geochemistry, Sr-Nd-Pb isotopes and geochronology of amphibole- and mica-bearing lamprophyres in northwestern Iran: Implications for mantle wedge heterogeneity in a palaeo-subduction zone. *Lithos* 216-217: 352-369.
- Alavi, M. (1980) Tectonostratigraphic evolution of Zagrosides of Iran. *Geology* 8(3): 144-149.
- Aldanmaz, E., Pearce, J. A., Thirlwall, M. F. and Mitchell, J. G. (2000) Petrogenetic evolution of late Cenozoic, post-collision volcanism in western Anatolia, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 102: 67-95.
- Bird, P. (1979) Continental delamination and the Colorado Plateau. *Journal of Geophysical Research* 84: 7561-7571.
- Bowes, D. R. (1989) Appinite. In: *The Encyclopedia of Igneous and Metamorphic Petrology* (Ed. Bowes, D. R.) 30-34. Van Nostrand Reinhold.

- Davies, J. H. and Von Blanckenburg, F. (1995) Slab breakoff: A model of lithosphere detachment and its test in the magmatism and deformation of collisional orogens. *Earth and Planetary Science Letters* 129: 85-102.
- Deer, W. A., Howie, R. A., Wise, W. S. and Zussman, J. (2002) *Rock-Forming Minerals. Volume 4B. Framework Silicates* (second edition). Geological Society, London.
- Fazlnia, A. and Kouze Koulani, F. (2012) Petrography, geochemistry and tectonomagmatic setting of the southwestern Salmas lamprophyres and related rocks. *Iranian Journal of Petrology* 3(12): 69-88 (in Persian).
- Fowler, M. B. and Henney, P. J. (1996) Mixed Caledonian appenite magmas: implication for lamprophyre fractionation and high Ba-Sr Granite genesis. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 126: 199-215.
- Francis, D. and Patterson, M. (2009) Kimberlites and Aillikites as Probes of the Continental Lithospheric Mantle. *Lithos* 109: 72-80.
- Ghorbani, M.R., Rostami, G. and Ghaderi, M. (2002) Lamprophyric dyke from Milakuh, SW Damghan, Iran. Special supplement to *Geochimica et Cosmochimica Acta*, abstracts of the 12th Annual VM Goldschmidt conference, Davos, Switzerland, August 18-23: 272.
- Helz, R. T. (1973) Phase relations of basalts in their melting range at $P_{H_2O}=5\text{Kb}$ as function of oxygen fugacity. *Journal of Petrology* 17: 139-193.
- Houseman, G. A., McKenzie, D. P. and Molnar, P. (1981) Convective instability of a thickened boundary layer and its relevance for the thermal evolution of continental convergent belts. *Journal of Geophysical Research* 86: 6115-6132.
- Kerr, A. C. and Arndt, N. T. (2001) A note on the IUGS reclassifications of the high -Mg and picritic volcanic rocks. *Journal of Petrology* 2169- 2171.
- Kinzler, R. J. (1997) Melting of mantle peridotite at pressures approaching the spinel to garnet transition: application to midocean ridge basalt petrogenesis. *Journal of Geophysical Research* 102: 853-874.
- Lindsley, D. H. (1983) Pyroxene thermometry, *American Mineralogist*, v. 68, p. 477-493
- Loneragan, L. and White, N., (1997). Origin of the Betic-Rif mountain belt. *Tectonics* 16: 504-522.
- McKenzie, D. P. and O'Nions, R. K. (1995) The source regions of Ocean Island Basalts. *Journal of Petrology* 36: 133-159.
- Moayyed, M., Moazzen, M., Calagari, A. A., Jahangiri, A. and Modjarrad, M. (2008) Geochemistry and petrogenesis of lamprophyric dykes and the associated rocks from Eslamy peninsula, NW Iran: implications for deep-mantle metasomatism. *Chemie der Erde Geochemistry* 68: 141-154.
- Moeinzadeh Mirhosseini, S. H. and Raeisi, D. (2014) Geochemistry and petrogenesis of Lower to Middle Paleozoic alkaline lamprophyre dikes of Hour village, northeast of Kerman. *Iranian Journal of Petrology* 5(20): 147-162 (in Persian).
- Moorhouse, W. W. (1959) *The study of rocks in thin section*. Harper, New York, US.
- Müller, R. D., Roye, J. and Lawver, L. A. (1993) Revised plate motions relative to the hotspots from combined Atlantic and Indian Ocean hotspot tracks. *Geology* 21: 275-278.
- Nisbet, E. G. and Pearce, J. A. (1977) Clinopyroxene composition of mafic lavas from different tectonic settings. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 63: 161-173.
- Pearce, J. A., (2008) Geochemical fingerprinting of oceanic basalts with application to ophiolite classification and the search for Archean oceanic crust. *Lithos* 100: 14-48.
- Rahmanian, Z., Fatehi, H., Ahmadipour, H. and Moradian, A. (2012) Mineralogy and chemistry of lamprophyric dykes of NW Rafsanjan. 6th National Geological Symposium Payam Noor University, Kerman, Iran (In Persian).
- Rock, N. M. S. (1977) The nature and origin of lamprophyres: some definitions, distinctions, and derivations. *Earth Science Reviews* 13: 123-169.

- Rock, N. M. S. (1984) The nature and origin of calc-alkaline lamprophyres: minettes, vogasites, kersantites and spessartites. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh Earth Sciences* 74: 193-227.
- Rock, N. M. S. (1986) The nature and origin of ultramafic lamprophyres: alnoites and allied rocks. *Journal of Petrology* 27: 155-196.
- Rock, N. M. S. (1987) The nature and origin of lamprophyres: an overview. In: *Alkaline igneous rocks* (Eds. Fitton, J. G. and Upton, B. G. J.) special publications, 30: 191-226. Geological Society, London.
- Rock, N. M. S. (1991) *Lamprophyres*. Blackie and Son, Glasgow.
- Rollinson, H. (1993) *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation*. Longman Scientific and Technical, London, UK.
- Sabzei, M. Azizian, H. Shahraki, A. Seyfori, S. and Navazi, M. (1999) Geological Map of Kerman 1:100000, 7450. Geological survey of Iran, Kerman (in Persian).
- Shaw, D. M. (1970) Trace element fractionation during anatexis. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 34: 237-243.
- Stemprok, M., Dolejs, D. and Holub, F. V. (2014) Late variscan calc-alkaline lamprophyres in the Krupka ore district, Eastern krusne hory/Erzgebirge: their relationship to Sn-W mineralization. *Journal of Geosciences* 59(1): 41-68.
- Sun, S. S. and McDonough, W. F. (1989) Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle compositions and processes. In: *Magmatism in the Ocean Basins* (Eds. Saunders, A. D. and Norry, M. J.) Special Publications 42: 313-345. Geological Society, London.
- Taylor, S. R. and McLennan, S. M. (1985) *The Continental Crust: its Composition and Evolution*. Blackwell Scientific, Oxford.
- Thompson, N., Leat, P. T., Dichina, P., Morrison, A., Hendry, L. and Gibson, A. (1989) Strongly potassic mafic magmas from lithospheric mantle sources during continental extension and heating: evidence from Miocene minettes of northwest Colorado, U.S.A. *Earth and Planetary Science Letters* 98: 139-153.
- Thorpe, R. S., Francis, P. W. and O'Callaghan, L. (1984) Relative roles of source composition, fractional crystallization and crustal contamination in the petrogenesis of Andean volcanic rocks. *Philosophical Transaction of the Royal Society of London A* 310: 675-692.
- Torabi, G. (2009) Late Permian lamprophyric magmatism in North-East of Isfahan Province, Iran: A mark of rifting in the Gondwanaland. *Comptes Rendu Geosciences* 341(1): 85-94.
- Torabi, G. (2010) Early Oligocene alkaline lamprophyric dykes from the Jandaq area (Isfahan Province, Central Iran): Evidence of Central-East Iranian microcontinent confining oceanic crust subduction. *Island Arc* 19(2): 277-291.
- Wager, L. R. and Deer, W. A. (1939) Geological investigations in east Greenland, Part III. The petrology of the Skaergaard intrusion, kongerrdlugssuaq, east Greenland. *Meddelelser om Grønland* 105(4): P. 335.
- Wass, S. Y. (1979) Multiple origins of clinopyroxenes in alkali basaltic rocks. *Lithos* 12: 115-132.
- Zhang, H. C., Thurber, D., Shelly, S., Beroza, G. and Hasegawa, A. (2003) Subducting slab structure beneath northern Honshu, Japan, revealed by Double-Difference tomography. *Geology* 102: 211-219.