

## ژئوشیمی و پتروژنز دایک‌های لامپروفیری پالئوزوئیک زیرین تا میانی روستای حور، شمال شرق کرمان

سید حسام‌الدین معین‌زاده میرحسینی<sup>۱\*</sup> و داود رئیسی<sup>۲</sup>  
<sup>۱</sup> گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران  
<sup>۲</sup> گروه پتروولوژی، دانشکده زمین‌شناسی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

### چکیده

در شمال شرق کرمان و در مسیر راور در اطراف روستای حور، سنگ‌های دایکی در سازندهای دوره زمانی پالئوزوئیک زیرین تا میانی نفوذ کرده‌اند. رنگ سنگ‌ها تیره و بافت ناهمسان دانه در آنها خودنمایی می‌کند که ناشی از قرار گرفتن فنوکریست‌های آمفیبول قهوه‌ای و پیروکسن در زمینه‌ای دانه‌ریز است. فنوکریست‌های موجود به ترتیب فراوانی شامل: آمفیبول‌های کلسیک، کلینوپیروکسن و اولیوین‌های پسودومورف است. فابریک ناهمسان دانه این سنگ‌ها در کنار فنوکریست‌هایی که تنها از کانی‌های مافیک تشکیل شده از ویژگی‌های سنگ‌های لامپروفیری است. نتایج محاسبات نورماتیو نشان از وجود لوسیت و نفلین و فقدان کوارتز در نورم دارد. بر طبق مطالعات کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی این سنگ‌ها در گروه لامپروفیرهای آلکالن قرار می‌گیرد و شاید از نوع کامپتونیت باشد. میانگین اکسیدهای  $Al_2O_3$ ،  $K_2O$ ،  $MgO$ ،  $Na_2O$ ،  $SiO_2$  و  $TiO_2$  به ترتیب برابر  $(12/92)$ ،  $(2/64)$ ،  $(9/98)$ ،  $(1/29)$ ،  $(39/35)$  و  $(3/44)$  درصد وزنی است. در تمامی نمونه‌ها میزان  $K_2O$  بیش از  $Na_2O$  است و نسبت  $K_2O/Na_2O$  بیش از یک است که نشان‌دهنده طبیعت پتاسیک سنگ‌های مورد اشاره است. در دیآگرام‌های عنکبوتی همه نمونه‌ها غنی‌شدگی در عناصر لیتوفیل نشان می‌دهد و در نمودارهای تمایز تکتونیکی در محیط کششی درون قاره‌ای واقع می‌شود. بررسی نمودارهای عنکبوتی نشان می‌دهد لامپروفیرهای این منطقه از HFSE و همچنین، مواد فرار دارای غنی‌شدگی است. به طور کلی، این لامپروفیرها از یک گوشته غنی‌شده لرزولیت گارنت‌دار تحت تأثیر درجه ذوب بخشی کم (۲ تا ۵ درصد) تشکیل شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: فابریک ناهمسان دانه، کرسوتیت، لامپروفیرهای آلکالن، محیط کششی درون قاره‌ای، روستای حور (شمال شرق کرمان)، ایران مرکزی

### مقدمه

اینفراکامبرین-کامبرین یک رژیم کششی در ایران  
حاکمیت می‌یابد که باعث شکل‌گیری

پس از فاز کوهزایی کاتانگایی در بازه زمانی

دیگر، ساده‌ترین اعضا را کانی‌های مافیک تشکیل می‌دهد. از این رو مفیدترین طبقه‌بندی عمومی بر مبنای این کانی‌ها بنا نهاده شده است.

در ارتباط با سنگ‌های لامپروفیری، ظهور و گسترش آنها در ایران تاکنون کارهای مختلفی ارائه شده است (Moayyed *et al.*, 2008؛ Torabi, 2009, 2010؛ Bayat and Torabi, 2011؛ Fazlnia and Kouzekoulani, 2012). پژوهش حاضر در پی آن است تا با بهره‌گیری از مطالعات صحرایی، پتروگرافی و ژئوشیمیایی، طبیعت و منشأ سنگ‌های مورد اشاره را مورد بحث قرار دهد.

### زمین‌شناسی منطقه

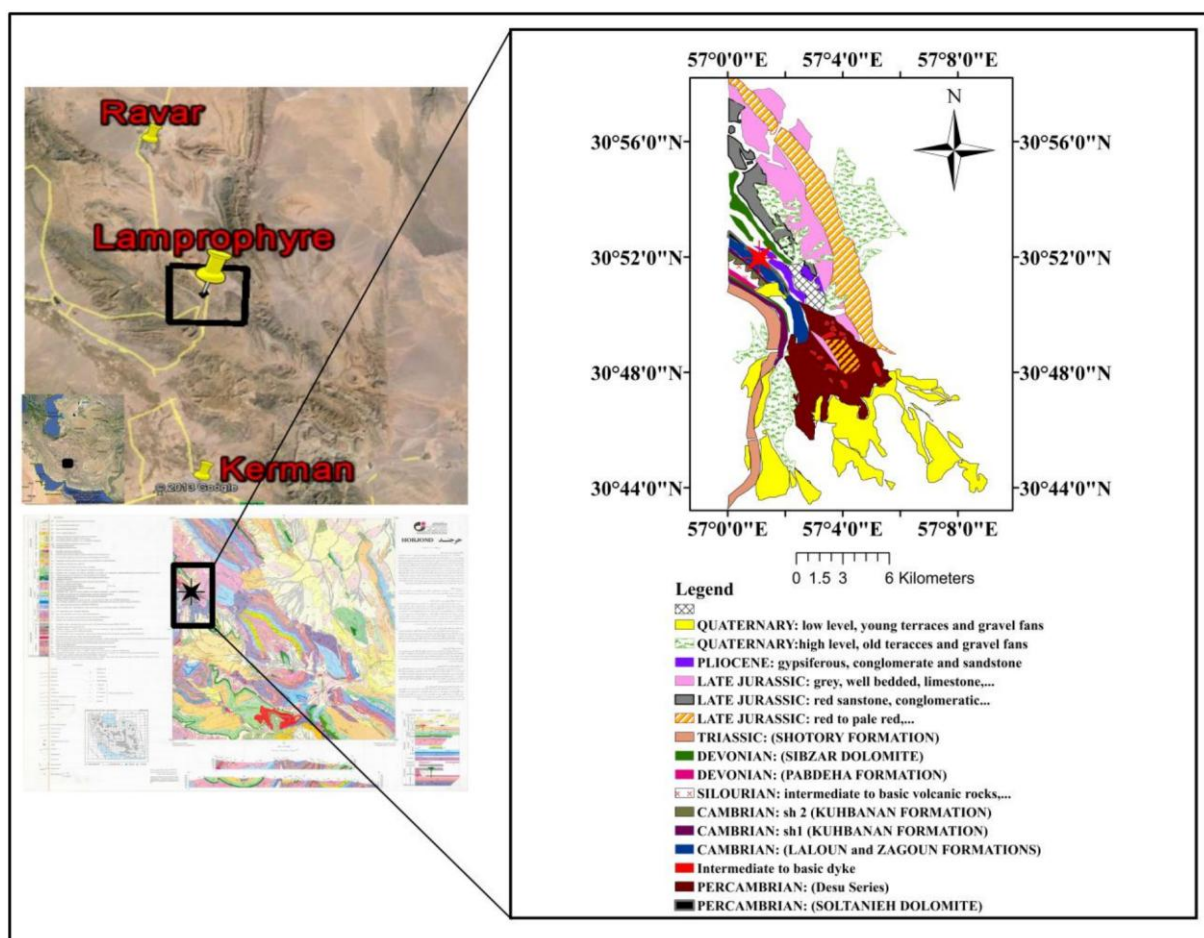
منطقه مورد نظر در محدوده نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ حرجند (تهیه شده توسط Sahandi (۱۹۹۵)، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور) در شمال کرمان قرار دارد که از لحاظ پهنه‌های ساختاری ایران، در پهنه ایران مرکزی قرار گرفته است. در محدوده نقشه زمین‌شناسی حرجند تقریباً ردیف‌های کاملی از سنگ‌های رسوبی و ولکانیکی وابسته به دوران‌های مختلف زمین‌شناسی از پرکامبرین تا اواخر سنوزوئیک نمایان شده‌اند (شکل ۱). از لحاظ ریخت‌شناختی، سنگ‌های مورد مطالعه به صورت دایک در سازندهای منطقه نفوذ کرده‌اند. سنگ‌های در بر گیرنده در منطقه مورد اشاره شامل: سازند زاگون و لالون به سن کامبرین پایینی (این واحد از لایه‌های ماسه‌سنگ، میانه تا ستر لایه (۳۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر) و دارای قطعات شیل نابجا و ساخت‌های رسوبی مانند: چینه‌بندی متقاطع، چینه‌بندی تدریجی و نقش موج تشکیل شده است) و سازند کوه بنان به سن کامبرین میانی-کامبرین بالایی (این واحد از شیل‌های

شکستگی‌های کافت‌گونه‌ای در لبه شمالی گندوانا شده و موجبات بروز ماگماتیسم قلیایی را در مناطق بالا فراهم می‌آورد (Stocklin, 1968؛ Berberian, 1983؛ and King, 1981). شاهد تکتونیک کافتی و ماگماتیسم قلیایی مرتبط با آن وجود گروه‌های سنگی آذرین همراه با نهشته‌های تبخیری در برخی نواحی ایران است که طبیعت ژئوشیمیایی این مجموعه‌ها آلکالن تشخیص داده شده است. در این میان، در شمال‌شرق کرمان و در مسیر روستای حور یک سری سنگ‌های لامپروفیری به صورت دایک دیده می‌شود که در سنگ‌های کامبرین زیرین تا میانی نفوذ کرده‌اند؛ اما ویژگی‌های سنگ‌شناسی، منشأ و خاستگاه آنها نامشخص است.

لامپروفیرها گروهی از سنگ‌های آلکالن غنی از CO<sub>2</sub> (یا H<sub>2</sub>O هستند که سدیم‌دار تا پتاسیم‌دار و در محدوده اولترا باز یک تا حدواسط قرار دارد (Rock, 1991). اصطلاح لامپروفیر به وسیله Von Guembel (۱۸۷۴) به هنگام مطالعه سنگ‌های میکادار منطقه Fichtelgeberg در آلمان معرفی شده و ویژگی شفافی آن، به دلیل وجود فنوکریست‌های فراوان فرومنیزین نسبت داده شده است. اغلب لامپروفیرها، دایک‌های نیمه آتشفشانی، سیل، پلاگ، استوک، دایک و گاه به صورت استثنایی، حاشیه توده‌های نفوذی بزرگ‌تر را تشکیل می‌دهد. به طور معمول، لامپروفیرها یک بافت ناهمسان دانه دارد که نتیجه‌ای از حضور مگاکریست‌های آهن و منیزیم‌دار است. لامپروفیرها به شدت پورفیریتیک و حاوی فنوکریست‌های فراوان کانی‌های میکای سیاه، پیروکسن و آمفیبول است. این کانی‌ها به طور معمول، در زمینه‌ای از آلکالی-فلدسپارها قرار دارد. در بسیاری از لامپروفیرها تشخیص دقیق فلدسپارها مشکل یا غیر ممکن است. اما از طرف

سانتی‌متر فسیل‌دار) است. لامپروفیری موجود بین ۱ تا ۳ متر ضخامت و ۱۰ تا ۳۰ متر طول دارد. رنگ سنگ‌ها به طور کلی، تیره رنگ و بافت ناهمسان دانه در آنها خودنمایی می‌کند که ناشی از قرار گرفتن فنوکریست‌های آمفیبول قهوه‌ای و کلینوپیروکسن در زمینه ریزدانه است (شکل ۲).

سیلته، ماسه‌سنگ‌های ریزدانه میکادار قرمز روشن مایل به آجری در برخی از افق‌ها کم‌وبیش گچ‌دار، دولومیت‌های چرت‌دار و بدون چرت سستبر لایه تا متوسط لایه (۵۰ تا ۱۵۰ سانتی‌متر) به رنگ زرد مایل به قهوه‌ای و سنگ‌های آهکی خاکستری تیره، نازک تا سستبر لایه (۵ تا ۱۰۰



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ منطقه حرجند، \* محل قرارگیری لامپروفیرهای روستای حور- شمال شرق کرمان مشخص شده است.

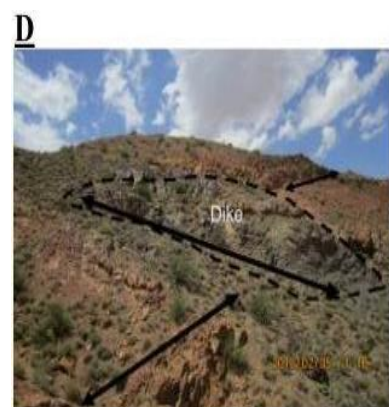
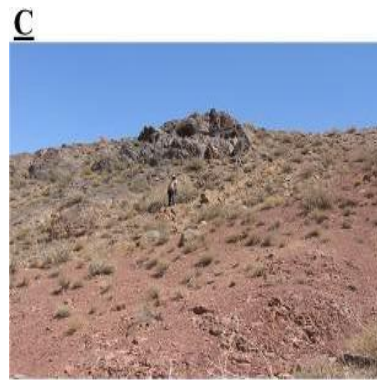
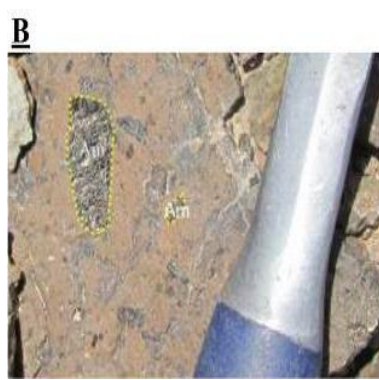
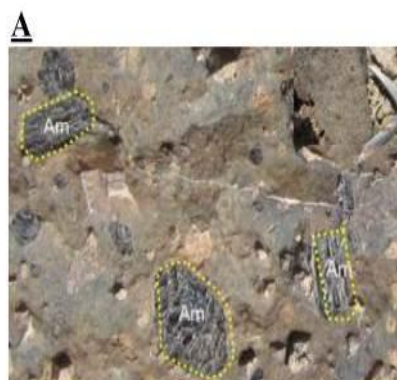
همراهی می‌شود. این سنگ‌ها به شدت پورفیرتیک هستند و بافت ناهمسان دانه ناشی از قرار گرفتن بلورهای آمفیبول قهوه‌ای تا قهوه‌ای تیره، کلینوپیروکسن و اولیوین‌های پسودومورف در زمینه ریزبلور در سنگ‌ها خودنمایی می‌کند (شکل ۳-A و B). زمینه این سنگ‌ها متوسط تا ریز بلور

## پتروگرافی

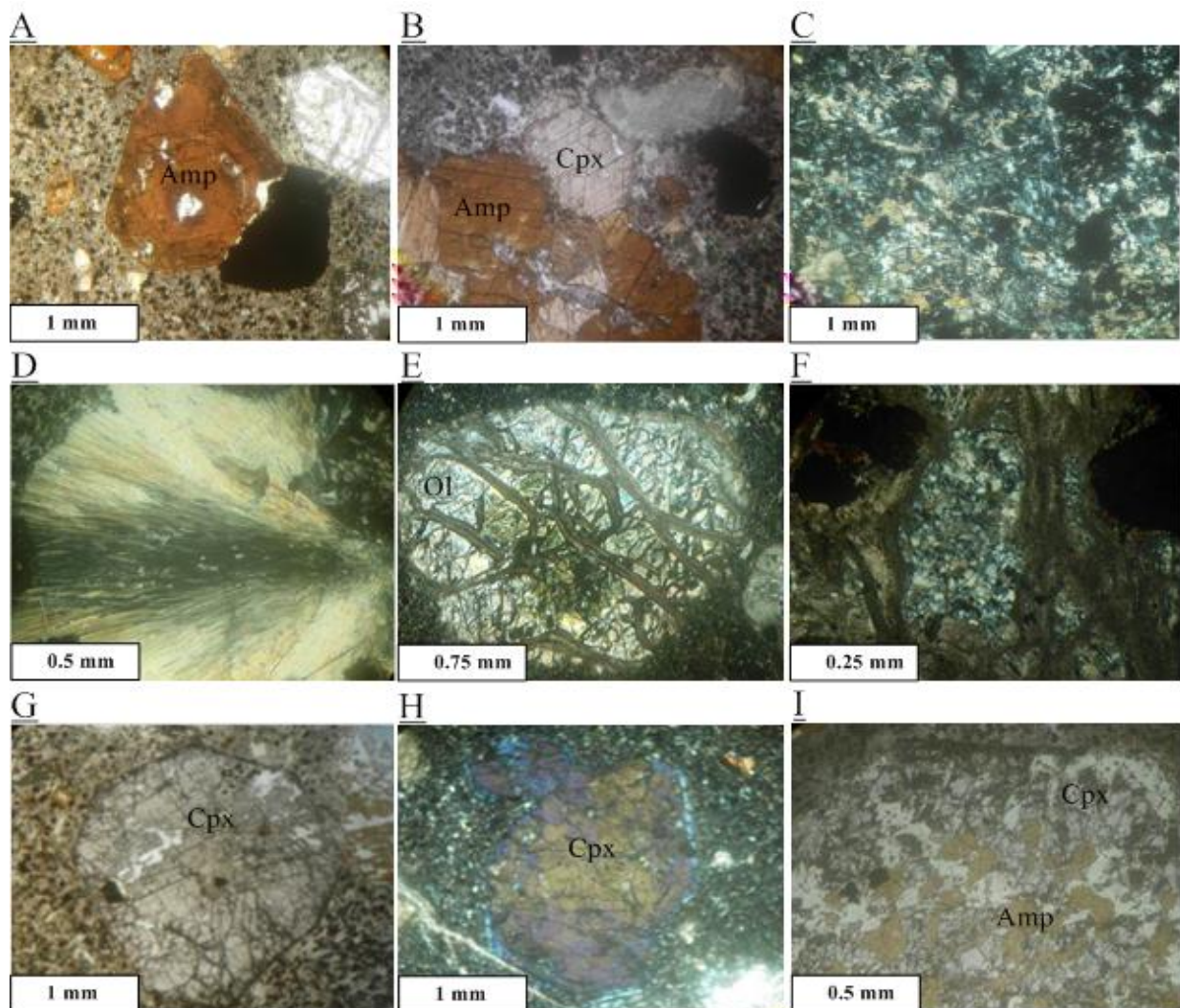
کانی‌های اصلی سازنده سنگ‌های موجود در این ناحیه شامل: فنوکریست‌های آمفیبول قهوه‌ای، کلینوپیروکسن و اولیوین در زمینه‌ای دانه‌ریز است که این کانی‌ها توسط کانی‌های فرعی و ثانویه همچون: آپاتیت، کلریت، کربنات و کانی‌های اپاک

شده‌اند. کلینوپیروکسن از لحاظ رنگی دارای چند رنگی ضعیف و به رنگ خاکستری کم‌رنگ دیده می‌شود (شکل ۳-G). بلورهای پیروکسن دارای خاموشی مایل با زاویه (۳۵ تا ۴۸ درجه) هستند. ابعاد این کانی در مقاطع مطالعه شده بسیار متنوع است که معمولاً بین ۰/۵ تا ۳ میلی‌متر در تغییر است. کلینوپیروکسن‌ها ۳۰ تا ۴۰ درصد حجم فنوکریست‌ها را شامل می‌شود. پیروکسن‌ها دگرشکلی به کلریت را نیز تا حدودی متحمل شده‌اند. حاشیه بنفش کلینوپیروکسن‌ها می‌تواند در نتیجه اضافه شدن Ti به سبب کاهش فشار و عمق، حین صعود ماگما باشد (شکل ۳-H). بافت پویی کیلیتیک در اثر قرارگیری کانی‌های اپاک و میکروولیت‌های کرسوتیتی در زمینه کلینوپیروکسن‌ها در برخی موارد قابل تشخیص است (شکل ۳-I).

است و فلدسپارها عمده‌ترین کانی زمینه هستند. فلدسپارها بیشتر به صورت بی‌شکل فضای بین کانی‌ها را پر کرده‌اند (شکل ۳-C). زئولیتی شدن در برخی مقاطع دیده می‌شود (شکل ۳-D). اولیوین حدود ۱۰ تا ۲۰ درصد حجم کل فنوکریست‌ها را تشکیل می‌دهد. اولیوین‌ها دارای بافت شبکه‌ای و شکستگی‌های فراوان هستند و قالب آنها به صورت اشکال پسودومورف است. کانی‌های پرکننده قالب اولیوین‌ها بیشتر کلسیت و کلریت هستند. اولیوین‌ها به صورت فنوکریست بوده و بین ۰/۵ تا ۲/۵ میلی‌متر در مقاطع میکروسکوپی دیده می‌شود (شکل ۳-E و F). با توجه به شواهد پتروگرافی به نظر می‌رسد اولیوین‌ها اولین فاز کانیایی تشکیل شده باشد که با توجه به شرایط ناپایدارتر نسبت به فنوکریست‌های دیگر دگرش بیشتری را متحمل



شکل ۲- A) اشکال مختلف آمفیبول قهوه‌ای در زمینه سنگ‌های لامپروفیری مجاور روستای حور؛ B) بلور آمفیبول قهوه‌ای در زمینه سنگ‌های لامپروفیری مجاور روستای حور؛ C) کنتاکت لایه‌های شیلی و آهکی سازند کوه بنان با سنگ‌های لامپروفیری مجاور روستای حور؛ D) کنتاکت سنگ‌های لامپروفیری مجاور روستای حور با لایه‌های آهکی و ماسه‌سنگی



شکل ۳- A) بلورهای آمفیبول قهوه‌ای، اولیوین و کانی اپاک در زمینه دانهریز (PPL)؛ B) بافت تجمعی حاصل قرارگیری بلورهای آمفیبول، کلینوپیروکسن و اولیوین پسودومورف در کنار یکدیگر (PPL)؛ C) قرارگیری فلدسپارهای بی‌شکل در زمینه سنگ‌ها (XPL)؛ D) تشکیل زئولیت‌های شعاعی در زمینه سنگ‌های منطقه (XPL)؛ E) اولیوین با ساختار شبکه‌ای که شکستگی‌های موجود با کانی‌های ثانوی همچون: کلسیت پر شده‌اند (XPL)؛ F) تشکیل فلدسپارهای بی‌شکل در قالب اولیوین‌های دگرسان شده (XPL)؛ G) فنوکریست کلینوپیروکسن (PPL)؛ H) فنوکریست کلینوپیروکسن با حاشیه بنفش (XPL)؛ I- قرارگیری آمفیبول قهوه‌ای در زمینه کلینوپیروکسن و ایجاد بافت پویی کیلیتیک (PPL)

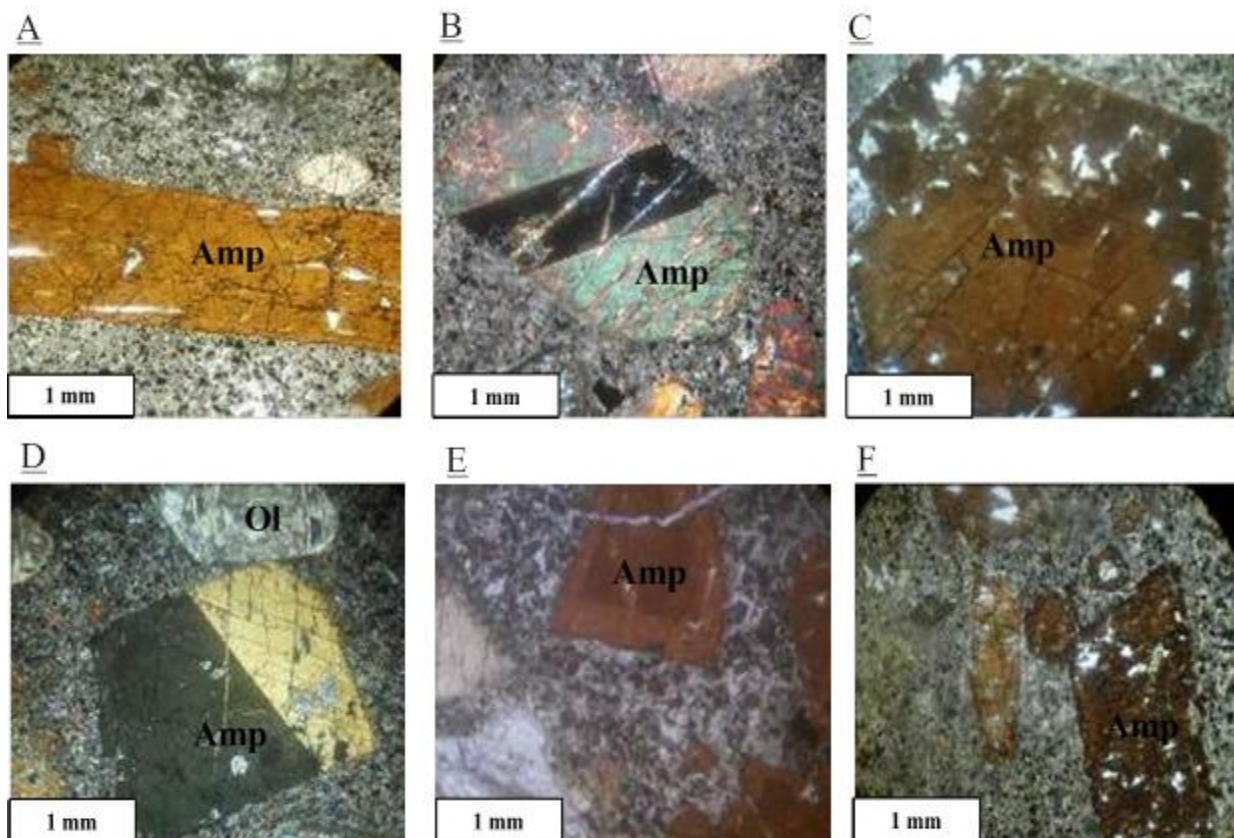
دارای منطقه‌بندی، زرد قهوه‌ای یا قرمز قهوه‌ای و به صورت لوزی تا منشوری‌شکل دیده می‌شود. آمفیبول‌های قهوه‌ای موجود دارای پلئوکروئیسم شدید است (شکل ۴- A تا F).

با توجه به مجموعه ویژگی‌های بافتی و کانی‌شناسی، این سنگ‌ها در گروه لامپروفیرها طبقه‌بندی می‌شود. در لامپروفیرهای مورد اشاره،

ویژگی اصلی سنگ‌های مطالعه شده، وجود فنوکریست و میکرولیت‌های آمفیبول قهوه‌ای است که ۴۰ تا ۵۰ درصد کانی‌های مافیک سنگ را شامل می‌شود. اندازه این آمفیبول‌ها به صورت میکرولیتی ۰/۱ تا ۰/۵ میلی‌متر و به عنوان فنوکریست بین ۱ تا ۵ میلی‌متر است. در مقاطع میکروسکوپی آمفیبول‌های قهوه‌ای به طور تپیک

شده‌اند. آمفیبول‌ها کمتر دستخوش تغییرات و دگرسانی شده‌اند.

اولیون به عنوان فاز اول کانیایی تشکیل و به دنبال آن پیروکسن و در نهایت آمفیبول‌ها متبلور



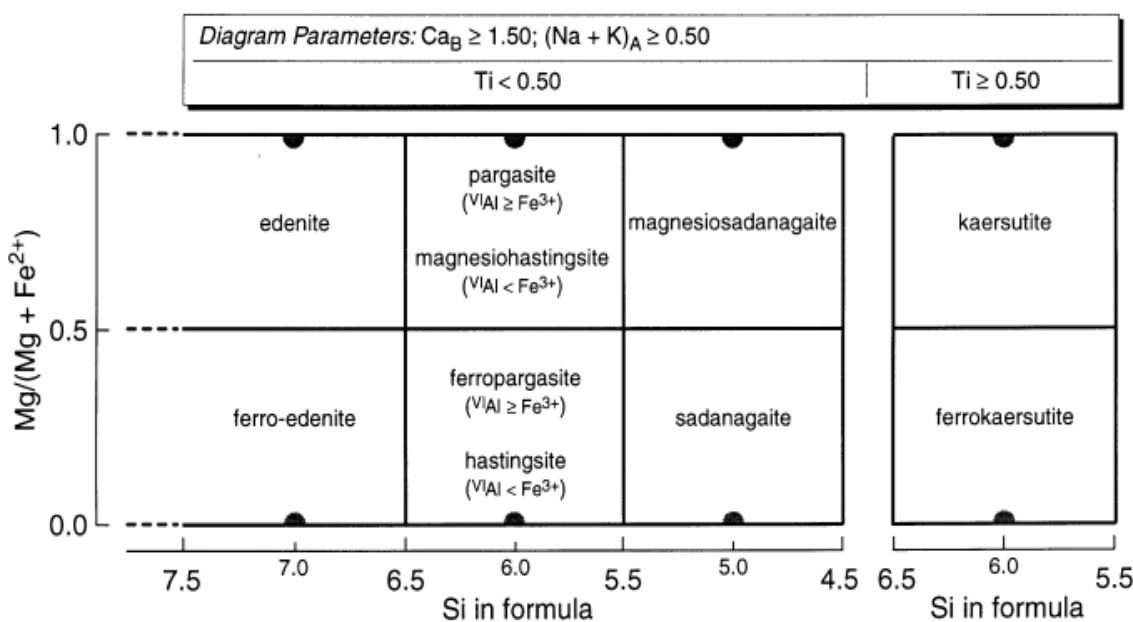
شکل ۴- (A) فنوکریست خودشکل و کشیده آمفیبول قهوه‌ای در سنگ لامپروفیری منطقه (PPL)؛ (B) آمفیبول قهوه‌ای با ماکل دوقلویی چندتایی (XPL)؛ (C) بلور آمفیبول قهوه‌ای با منطقه‌بندی رنگی شدید (PPL)؛ (D) آمفیبول قهوه‌ای با ماکل دوقلویی ساده در کنار اولیون پسودومورف (XPL)؛ (E) آمفیبول قهوه‌ای دارای منطقه‌بندی رنگی (PPL)؛ (F) اشکال مختلف آمفیبول قهوه‌ای در کنار یکدیگر (XPL)

### شیمی کانی

به منظور تعیین شیمی کانی آمفیبول، نمونه‌های مورد نظر به آزمایشگاه شرکت کانساران بینالود کرج ارسال شد و در چهار نمونه، ۱۱ نقطه از آمفیبول‌های موجود با استفاده از دستگاه تجزیه نقطه‌ای HORIBA XGT-7200 مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج تجزیه‌های انجام شده، (جدول ۱) آمفیبول‌های مورد اشاره از نوع آمفیبول‌های کلسیک است که با توجه به محتوای تیتان بیش از ۰/۵ و همچنین،  $Mg/(Mg+Fe^{2+})$ ، بر مبنای تقسیم‌بندی

انجام شده توسط Leake و همکاران (۲۰۰۴) از نوع کرسوتیت است (شکل ۵). فرمول‌های شیمیایی کانی کرسوتیت توسط دانشمندان مختلفی ارائه شده است. Kunitz (۱۹۳۰) فرمول  $(SiO_3)_6(Al_2O_3)_2H_2Ca_2-Mg_2Mg_2$  با جایگزینی (Ca, Al) با (Na, Si) را پیشنهاد داده است. اگر چه این فرمول با نتایج تجزیه ساختاری اشعه Berman و Larsen (۱۹۳۱) توافق ندارد. فرمول پذیرفته شده کنونی برای کرسوتیت به صورت  $NaCa_2[(Mg, Fe^{2+})_4Ti](Si_6Al_2)O_{22}(OH)_2$  است.





شکل ۵- تقسیم‌بندی آمفیبول‌های کلسیک بر مبنای میزان سیلیس، تیتان و  $Mg/(Mg+Fe^{2+})$  (Leake *et al.*, 2004). با توجه به نتایج شیمی‌کانی، آمفیبول‌های موجود با توجه به میزان تیتان (بیش از ۰/۵) در گروه کرسوتیت قرار می‌گیرد.

(Middelmost, 1989; Le Bas *et al.*, 1986).

برای مثال Middelmost (۱۹۸۹) نسبت  $Fe_2O_3/FeO$  هر یک از سنگ‌های آتشفشانی نمودار شده در طبقه‌بندی TAS مربوط به Le Maitre و همکاران (۱۹۸۹) را معلوم کرد و آنگاه با داشتن نسبت استاندارد  $Fe_2O_3/FeO$  آن سنگ، مقادیر  $FeO$  و  $Fe_2O_3$  را مشخص نمود. در این پژوهش از روش Baragar و Irvine (۱۹۷۱) بهره گرفته شده است.

میانگین اکسیدهای  $MgO$ ،  $K_2O$ ،  $Al_2O_3$ ،  $TiO_2$  و  $Na_2O$  به ترتیب برابر با ۱۲/۹۲، ۲/۶۴، ۹/۹۸، ۱/۲۹ و ۳/۴۴ درصد وزنی است. در تمامی نمونه‌ها میزان  $K_2O$  بیش از  $Na_2O$  و نسبت  $K_2O/Na_2O$  بیش از یک است که نشان از طبیعت پتاسیک سنگ‌های مورد اشاره دارد. محتوای بالای  $TiO_2$  ویژگی بارز مناطق کافتی و مناطق در ارتباط با فعالیت نقاط داغ است (Amel *et al.*, 2008). میزان  $Mg\#$  در این سنگ‌ها دارای میانگین ۵۳/۴۸ ppm است.

### ژئوشیمی

پس از مطالعات پتروگرافی، تعداد هفت نمونه از سنگ‌های لامپروفیری منطقه که کمترین آثار دگرسانی را نشان می‌داد برای تجزیه‌های شیمیایی به آزمایشگاه ALS-CHEMEX کانادا ارسال شد. با روش‌های تجزیه شیمیایی ICP-MS و ICP- AES میزان اکسیدهای اصلی به درصد وزنی و عناصر فرعی و نادر خاکی به PPM تعیین گردید که در جدول ۲ لیست شده‌اند. بر اساس تجزیه‌های به دست آمده برای عناصر اصلی،  $SiO_2$  دارای میانگین ۳۹/۳۵ است. بنابراین، سنگ‌ها در گروه تحت اشباع از سیلیس قرار می‌گیرد. همچنین، نتایج محاسبات نورماتو (Niggli و CIPW) نشان می‌دهد کوارتز در نورم هیچکدام از سنگ‌ها وجود ندارد. اما بیشتر نمونه‌ها در نورم حاوی لوسیت و نفلین است.

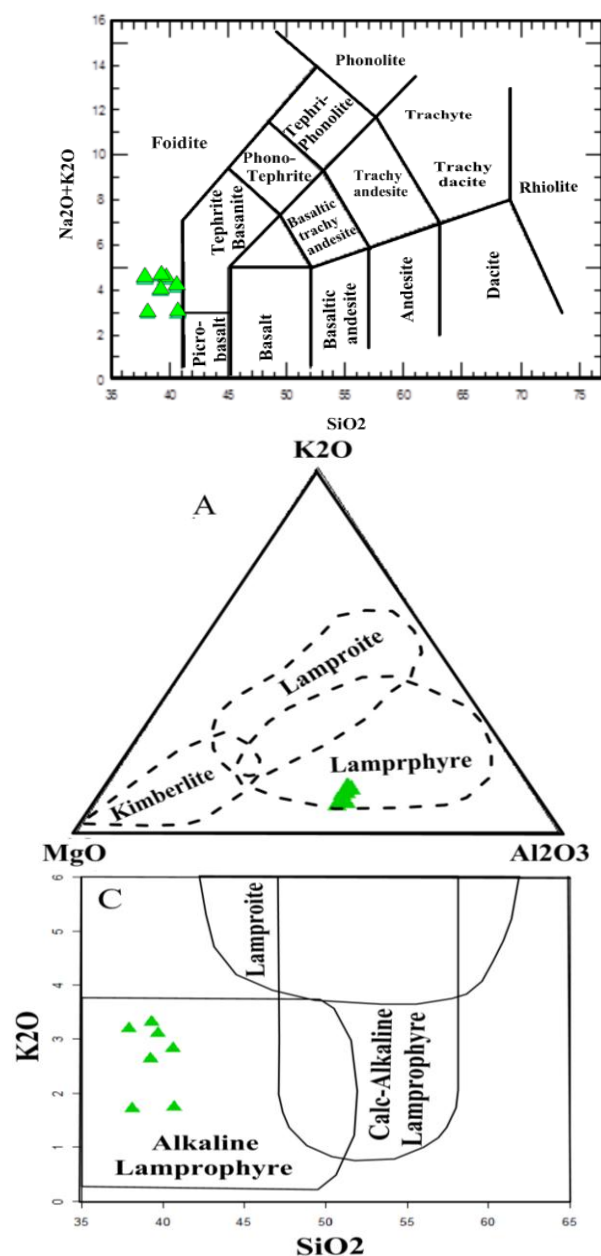
برای محاسبه میزان  $FeO$  و  $Fe_2O_3$  از آهن کل ارائه شده در تجزیه شیمیایی از روش‌های مختلفی می‌توان بهره گرفت (Irvine and Baragar, 1971).

جدول ۲- نتایج تجزیه‌های شیمیایی عناصر اصلی (Wt%)، فرعی و کمیاب (PPM) در سنگ‌های لامپروفیری منطقه حور

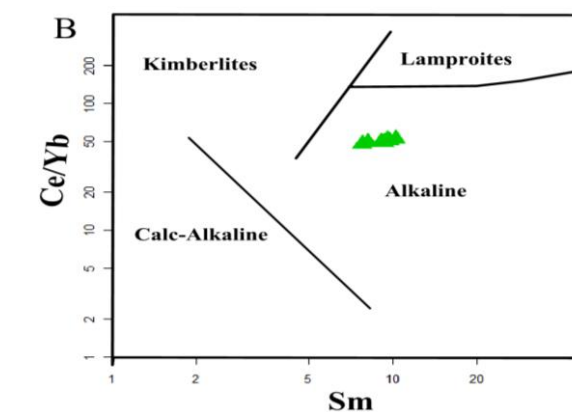
Sample	MR-15	MR-16	MR-17	MR-18	MR-20	MR-25	MR-27
SiO <sub>2</sub>	39.2	40.6	37.9	39.3	39.7	38.1	40.7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.1	13.5	13.35	13.6	13.7	11.35	11.85
Fe <sub>2</sub> O <sub>3(t)</sub>	13.45	13.2	13.15	13.2	13.55	16	13
CaO	10.65	10.65	8.16	9.36	9.13	12.9	12.5
MgO	10.4	10.4	10.1	10.2	9.98	8.81	9.98
Na <sub>2</sub> O	1.33	1.29	1.3	1.28	1.38	1.21	1.24
K <sub>2</sub> O	2.63	2.83	3.2	3.32	3.1	1.72	1.74
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.04
TiO <sub>2</sub>	3.57	3.68	3.58	3.69	3.73	2.84	3.03
MnO	0.13	0.13	0.16	0.13	0.13	0.19	0.17
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.31	0.33	0.34	0.34	0.37	0.35	0.33
SrO	0.08	0.08	0.07	0.07	0.08	0.09	0.08
BaO	0.12	0.12	0.08	0.09	0.1	0.12	0.06
LOI	5.03	5.08	7.65	4.87	5	7.11	5.42
Total	100.03	101.92	99.06	99.48	99.97	100.82	100.14
Ag	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Ba	1080	1050	708	847	924	1095	525
Ce	88.3	90.5	98.8	95.1	101	81.1	76.1
Co	62.4	63.5	61.2	61.1	61.6	65.4	68.1
Cr	230	230	180	210	180	240	320
Cs	2.31	2.77	2.57	2.85	2.54	1.93	2.46
Cu	75	46	64	42	37	187	44
Dy	5.68	5.77	6.21	5.81	6.12	4.93	4.97
Er	2.41	2.47	2.67	2.47	2.67	2.17	2.13
Eu	2.94	3	3.25	3.06	3.18	2.5	2.55
Ga	22.3	22.5	22.8	22.8	23.7	21.8	20.8
Gd	8.07	8.28	8.73	8.31	8.8	6.99	7
Hf	7	6.9	7.2	7	7.5	6.2	6.7
Ho	1.01	1.03	1.1	1.05	1.09	0.9	0.89
La	41.7	43.5	51.1	46	48.8	39.3	36.6
Lu	0.26	0.25	0.27	0.26	0.27	0.22	0.22
Mo	2	2	2	2	2	3	3
Nb	52.3	52.1	62.7	55.9	59.8	43.2	40.4
Nd	45.4	46.2	48.2	47.9	50.7	39.8	38.8
Ni	136	144	122	132	129	160	187
Pb	12	17	13	6	9	8	24
Pr	11.1	11.35	12	11.8	12.55	10.05	9.53
Rb	55.3	61.8	64.6	68.6	70.1	35.1	39.7
Sm	9.07	9.31	9.77	9.61	10.25	8.15	7.78
Sn	3	3	3	3	3	3	3
Sr	662	633	574	615	673	786	725
Ta	3.4	3.4	4	3.6	3.9	2.7	2.7
Tb	1.09	1.11	1.2	1.12	1.21	0.94	0.95
Th	4.34	4.55	5.33	4.86	5.56	4.61	4.18
Tl	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375
Tm	0.31	0.31	0.34	0.34	0.34	0.27	0.28
U	1.13	1.11	1.4	1.17	1.32	1.59	1.05
V	323	332	307	326	324	279	302
W	1	1	1	1	1	1	1
Y	26.5	27.2	29.3	27.9	29.1	23.8	24.2
Yb	1.79	1.83	1.95	1.82	1.92	1.63	1.59
Zn	150	190	209	229	213	263	414
Zr	280	280	300	290	320	260	270

برای نامگذاری سنگ‌های مطالعه شده از نمودار Le Bas و همکاران (۱۹۸۶) استفاده شده است. بر این اساس، تمام سنگ‌های لامپروفیری، در ناحیه فوئیدها قرار می‌گیرد (شکل ۶). در نمودار تمایزی  $Al_2O_3-K_2O-MgO$  برای سنگ‌های تحت اشباع (کیمبرلیت، لامپروئیت و لامپروفیرها) ارایه شده توسط Rock (۱۹۹۱) تمام نمونه‌های منطقه در ناحیه لامپروفیرها واقع می‌شود (شکل ۷-A). همچنین، در نمودارهای Rock (۱۹۹۱) بر مبنای

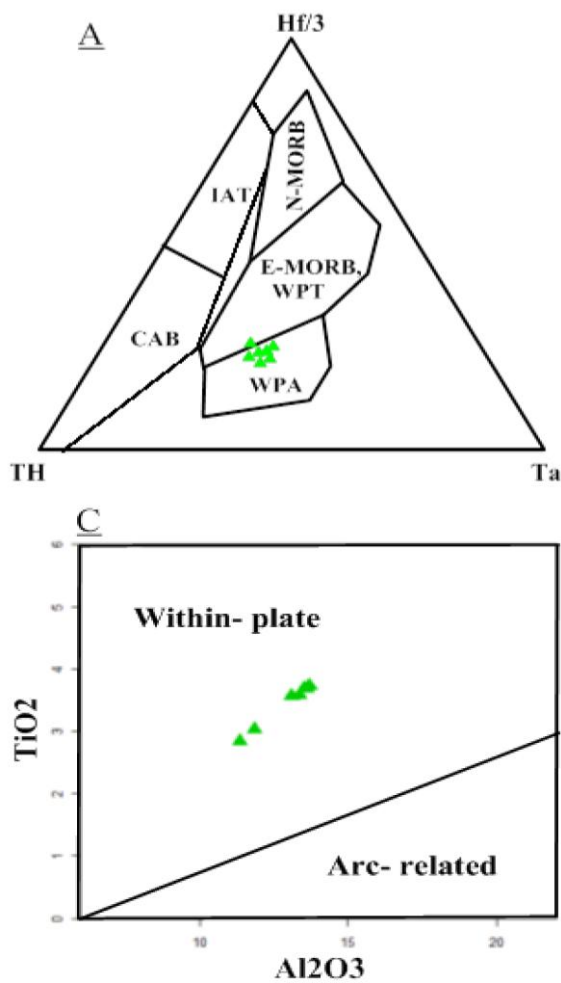
تمام نمونه‌های منطقه حور در محدوده فوئیدها قرار می‌گیرد. (شکل ۶-۲) نمودار  $Na_2O+K_2O$  در برابر  $SiO_2$  (Le Bas et al., 1986). تمام نمونه‌های منطقه حور در محدوده فوئیدها قرار می‌گیرد.



شکل ۶- نمودار  $Na_2O+K_2O$  در برابر  $SiO_2$  (Le Bas et al., 1986). تمام نمونه‌های منطقه حور در محدوده فوئیدها قرار می‌گیرد.



شکل ۷- نمودار سه‌تایی  $Al_2O_3-K_2O-MgO$  به منظور تمایز سنگ‌های تحت اشباع (Rock, 1991). تمام نمونه‌های منطقه حور در محدوده لامپروفیرها قرار می‌گیرد. (B و C) نمودارهای  $Sm$  در برابر  $SiO_2$  و  $Ce/Yb$  در برابر  $K_2O$  (Rock, 1991). تمام نمونه‌های منطقه حور در محدوده لامپروفیرهای آلكالن قرار می‌گیرد.



شکل ۸- نمودارهای تمایزی تعیین محیط تکتونیکی لامپروفیرهای آلکان منطقه حور بر مبنای داده های ژئوشیمی کل. (A) نمودار سه‌تایی Th-Hf/3-Ta (Wood, 1980)؛ (B) نمودار  $K_2O$  در برابر  $TiO_2$  (Müller and Groves, 1995)؛ (C) نمودار  $Al_2O_3$  در برابر  $TiO_2$  (Müller and Groves, 1995). در هر سه نمودار سنگ‌های بررسی شده در ناحیه سنگ‌های آلکان درون صفحه‌ای قرار می‌گیرد.

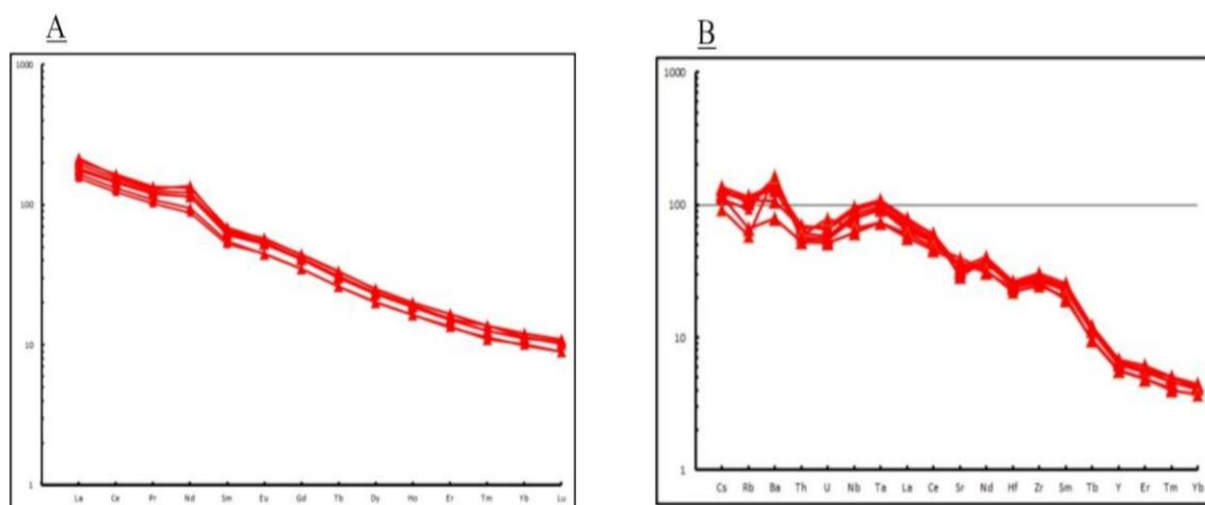
شکل ۹- A نمایش داده شده است. در نمودار ارایه شده در سنگ‌های لامپروفیری، شیب نمودار به طور یکنواخت به سمت HREE روند نزولی پیدا می‌کند. به منظور بررسی بیشتر از نمودارهای چند عنصری که نسبت به نمودارهای REE، در بر گیرنده مخلوط ناهمگنی از انواع عناصر کمیاب هست نیز استفاده شده است. این نمودارها دارای مقدار پستی و بلندی‌های بیشتری بوده که حکایت از رفتار متفاوت گروه‌های مختلف عناصر کمیاب دارد. در الگوی ارایه شده، LREE نسبت به HREE غنی‌شدگی نشان می‌دهد که این مسأله در الگوهای سنگ‌های لامپروفیری منطقه حور (شکل ۹-B) بر اساس عناصر کمیاب بهنجار شده

### نمودارهای عنکبوتی

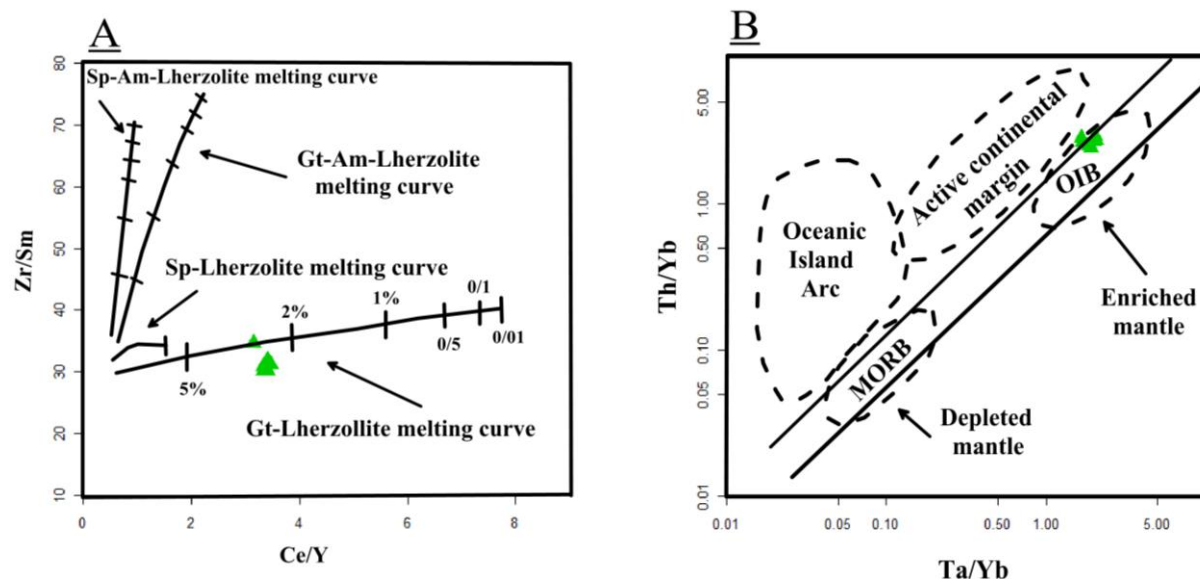
به طور کلی، برای بهنجار کردن داده‌های عناصر کمیاب از ترکیب تخمینی گوشته اولیه، متئوریت‌های کندریتی و MORB اولیه استفاده می‌شود (Rollinson, 1993). نمودارهای عنکبوتی ممکن است تنها بر اساس عناصر نادر خاکی (REE) یا بر اساس عناصر نادر خاکی به همراه برخی دیگر از عناصر ناسازگار (نمودارهای چند عنصری) ترسیم شود و با این نمودارها می‌توان میزان انحراف هر ترکیب را از الگوی ترکیبی اولیه طی فرآیندهای ذوب بخشی یا تفریق بلوری تعیین کرد. الگوی عناصر نادر خاکی به‌هنجار شده نسبت به کندریت (Sun and Mc Donough, 1989) در

سنگ‌های لامپروفیری از نمودارهای Xu (۲۰۰۱) و همچنین Sun و McDonough (۱۹۸۹) استفاده شد؛ که بر اساس نمودارهای به دست آمده، این لامپروفیرها باید تحت تأثیر درجات کم ذوب بخشی (۲ تا ۵ درصد) و از یک گوشته غنی شده لرزولیت گارنت تشکیل شده باشد (شکل ۱۰- A و B).

نسبت به گوشته اولیه نمایش داده شده است (Sun and Mc Donough, 1989). غلظت عناصر LIL از نحوه رفتار فاز سیال است. در حالی که، غلظت عناصر HFS توسط شیمی سنگ منشأ و فرآیندهای بلور/مذاب انجام شده طی تشکیل سنگ، کنترل می‌شود. برای تعیین منشأ و درصد ذوب بخشی



شکل ۹- A) الگوی عناصر نادر خاکی لامپروفیرهای منطقه حور، بهنجار شده نسبت به کندریت (Sun and Mc Donough, 1989)؛ B) الگوی عناصر کمیاب لامپروفیرهای منطقه حور، بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه (Sun and Mc Donough, 1989).



شکل ۱۰- A) در نمودار Ce/Y برابر Zr/Sm، نمونه‌های منطقه حور تحت تأثیر درجات کم ذوب بخشی (۲ تا ۵ درصد) تشکیل شده‌اند (Xu, 2001)؛ B) در نمودار Ta/Yb برابر Th/Yb نمونه‌های منطقه حور در ناحیه مرتبط با گوشته غنی شده قرار می‌گیرد (Sun and Mc Donough, 1989).

## بحث

با در نظر گرفتن ویژگی‌های کانی‌شناسی، ترکیب و گردهمایی تکتونیکی Rock (۱۹۹۱) لامپروفیرها را به سه گروه اصلی طبقه‌بندی می‌کند (Gill, 2010):

الف) لامپروفیرهای کالک‌آلکان که با فنوکریست‌های بیوتیت یا هورنبلند که در یک زمینه‌ای از آلکالی‌فلدسپار یا پلاژیوکلاز (فونیدها غایب هستند) مشخص است. این لامپروفیرها با توده‌های گرانیتوئیدی در کمربندهای کوهزایی همراهی می‌شود.

ب) لامپروفیرهای آلکان با فنوکریست‌های کرسوتیت یا تیتانواوژیت واجد پهنه‌بندی ترکیبی در یک زمینه‌ای از فلدسپارها و فونید مشخص می‌شود. این گروه با سینیت‌گابرو یا مجموعه‌های سنگ‌های کربناتیتی آلکان در دره‌های ریفتی قاره‌ای و کراتون‌ها همراهی می‌شود.

ج) لامپروفیرهای اولترامافیک، با حضور فنوکریست‌های فلوگوپیت، اولیوین یا اوژیت در

یک زمینه‌ای شامل: پروفسکیت، کربنات یا ملیلیت مشخص می‌شود. لامپروفیرهای اولترامافیک فراوانی کمتری نسبت به دیگر لامپروفیرها دارد و با مراکز اولترامافیک آلکالی-کربناتیت و سینیت‌ها در ریفت‌های قاره‌ای همراهی می‌شود.

سنگ‌های منطقه مورد بررسی با توجه به مطالعات پتروگرافی و ژئوشیمیایی در گروه لامپروفیرهای آلکان قرار می‌گیرد. حضور کرسوتیت در این لامپروفیرها و همچنین، فراوانی پلاژیوکلاز به فلدسپار پتاسیم و با توجه به تقسیم‌بندی انجام شده توسط Le Bas (۲۰۰۷) این سنگ‌ها به گروه کامپتونیت‌ها مربوط می‌شود (جدول ۳). کامپتونیت‌ها گروهی از لامپروفیرهای آلکان هستند که در آنها پلاژیوکلاز بیش از آلکالی‌فلدسپار و آمفیبول بیش از بیوتیت است و می‌تواند دارای فونید سدیم‌دار باشد که در خمیره‌ای دانه‌ریز از فلدسپارها و کانی‌های ثانویه همچون: کلریت، اپیدوت و اکسیدهای آهن قرار گرفته‌اند.

جدول ۳- نامگذاری لامپروفیرها بر مبنای تقسیم‌بندی انجام شده توسط (Le Bas, 2007)

کانی مافیک آبدار غالب			
کرسوتیت	هاستینگزیت منیزیم‌دار+ دیگر آمفیبول‌های کلسیم‌دار	فلوگوپیت-بیوتیت	کانی فلسیک غالب
سانائیت	وژزیت	مینت	فلدسپار پتاسیم
کامپتونیت	اسپسارتیت	کرسانتیت	پلاژیوکلاز

و به ویژه فراوانی بالای La، Ce، Pr، پیشنهاد یک گوشته غنی‌شده را می‌دهد. تهی‌شدگی عناصر نادر خاکی سنگین می‌تواند ناشی از منشأ گرفتن ماگما از سنگ گارنت‌دار باشد که در اثر درجه ذوب بخشی پایین، گارنت ذوب نشده و عناصر سنگین به صورت سازگار با گارنت وارد مذاب نشده‌اند. الگوی کلی نمودارهای نرمالیز شده بر اساس کندریت و گوشته اولیه، در منطقه حور تقریباً محذب است که مشابه ماگماهای منشأ گرفته از

طبقه‌بندی سنگ‌های لامپروفیری و قرارگیری آنها در محدوده لامپروفیرهای آلکان تأیید کننده نتایج به دست آمده در مطالعات پتروگرافی است. همچنین، با توجه به نمودارهای تمایزی، محیط تکتونیکی این سنگ‌ها به محیط‌های کششی درون صفحه‌ای مربوط می‌شود. با توجه به نمودار عناصر نادر خاکی، تغییرات هم‌شیب نمونه‌ها نشان‌دهنده خاستگاه با ترکیب مشابه برای این لامپروفیرها است. نمودارهای چند عنصری، غنی‌شدگی LREE

تشکیل شده، از ویژگی سنگ‌های لامپروفیری است. نتایج تجزیه‌های شیمیایی نشان‌دهنده تعلق این دایک‌ها به گروه سنگ‌های تحت اشباع از سیلیس و از نوع لامپروفیرهای آلکالن است. همچنین، بر مبنای مطالعات شیمی‌کانی، آمفیبول‌ها در گروه کلسیک و از نوع کرسوتیت طبقه‌بندی می‌شود. کرسوتیت به طور متداول به عنوان یک فنوکریست در سنگ‌های آلکالن و در فشارهای بالا ایجاد می‌شود.

با توجه به ویژگی‌های بافتی و کانی‌شناسی و ترکیب شیمیایی دایک‌های مطالعه شده، در گروه لامپروفیرهای آلکالن کامپتونیتی قرار می‌گیرد. دایک‌های مورد اشاره از عناصر لیتوفیل و مواد فرار غنی شده و مشابه با دیگر سنگ‌های آلکالی مناطق کششی درون قاره‌ای از ذوب بخشی یک سنگ منشأ تهی‌نشده حاصل شده‌اند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد لامپروفیرهای مجاور روستای حور تحت تأثیر درجات کم ذوب بخشی (۲ تا ۵ درصد) و از یک گوشته غنی‌شده لرزولیت‌گارت‌دار تشکیل شده‌اند. تشکیل این لامپروفیرها در یک محیط کششی و در دوره زمانی پالئوزوئیک زیرین تا میانی باید به دنبال فاز کوهزایی کاتانگایی در بازه زمانی اینفراکامبرین-کامبرین رخ داده باشد. فاز کوهزایی کاتانگایی با یک رژیم فشارشی همراه بوده است و به دنبال آن یک رژیم کششی در ایران حاکمیت می‌یابد که همین امر سبب ساز وجود و ظهور ماگماتیسم قلیایی در مناطقی همچون ناحیه حور شده است.

### سپاسگزاری

نگارندگان از اساتید بزرگوار گروه زمین‌شناسی دانشگاه شهید باهنر کرمان، آقایان دکتر محسن آروین و دکتر حمید احمدی‌پور کمال تشکر و قدردانی را دارند.

محیط درون صفحه‌ای (WPB) است. این الگو می‌تواند ناشی از عدم تهی‌شدگی سنگ منشأ و نیز نرخ پایین ذوب بخشی باشد که این موضوع با توجه به آن که این لامپروفیرها تحت تأثیر درجات کم ذوب بخشی (۲ تا ۵ درصد) قرار گرفته و از یک گوشته غنی‌شده لرزولیت‌گارت تشکیل شده‌اند، تأیید می‌شود. تمرکز بالای عناصر ناسازگار تابعی از ناهمگنی گوشته است که می‌تواند تحت تأثیر حضور سیال غنی از  $H_2O$  و  $CO_2$  در محیط تشکیل ماگما باشد. چنین سیالی در فشار زیاد ماگماهای فقیر از سیلیس تا غیر اشباع را تولید می‌کند. به طور کلی، لامپروفیرهای آلکالن را مشتق شده از ماگمای بازائیتی آبدار یا ماگمای تفریتی به حساب می‌آورند که در نواحی گنبدی پوسته متحول شده (تحت تاثیر بالا آمدن گوشته) یا در خلال مراحل اولیه شکستگی درون قاره‌ای (کافتینگ) استقرار یافته باشد (Hansen, 1980).

### نتیجه‌گیری

در فاصله ۹۰ کیلومتری شمال شرق کرمان و در مسیر کرمان-راور در مجاورت روستای حور سنگ‌هایی مجزا به صورت دایک دیده می‌شود. ویژگی اصلی این سنگ‌ها دارا بودن آمفیبول‌های طویلی است که تا چهار سانتی‌متر طول دارد. مطالعه مقاطع میکروسکوپی نمایانگر وجود بافت ناهمسان دانه با حضور فنوکریست‌های بزرگ آمفیبول، اولیوین‌های پسودومورف و کلینوپیروکسن در زمینه‌ای دانه‌ریز است. زمینه سنگ‌ها به طور عمده از کانی‌های خانواده فلدسپار به ویژه پلاژیوکلاز بی‌شکل تشکیل شده است. این سنگ‌ها به شدت پورفیریتیک هستند. فابریک ناهمسان دانه این سنگ‌ها در کنار فنوکریست‌هایی که تنها از کانی‌های مافیک

## منابع

- Amel, N., Moayyed, M., Ameri, A., Vosoghi Abedini, M. and Moazzen, M. (2008) Petrogenesis of Plio-Quaternary basalts in Azerbaijan, NW Iran and comparisons them with similar basalts in the east of Turkey. *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy* 16(2):327-340.
- Bayat, F. and Torabi, G. (2011) Alkaline lamprophyric province of Central Iran. *Island Arc* 20(3): 386-400.
- Berberian, M. (1983) Generalized tectonic map of Iran. In: *Continental deformation in the Iranian plateau* (Ed. Berberian, M.) Report no. 52. Geological Survey of Iran.
- Berberian, M. and King, G. C. P. (1981) Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences* 18(2): 210-265.
- Berman, H. and Larsen, E. S. (1931) The Composition of alkali amphiboles. *American Mineralogist* 15: 140-144.
- Fazlnia, A. and Kouzekoulani, F. (2012) Geochemistry and petrogenesis of lamprophyres in Hour village - north east Kerman. *Petrology* 3(12): 69-88 (in Persian).
- Gill, R. (2010) *Igneous rocks and processes: A practical guide*. 1<sup>st</sup> edition, Blackwell Publishing, Oxford.
- Hansen, K. (1980) Lamprophyres and carbonatitic lamprophyres related to rifting in the Labrador Sea. *Lithos* 13(2):145-152.
- Irvine, T. N. and Baragar, W. R. A. (1971) A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences* 8(5): 523-548.
- Kunitz, W. (1930) Die isomorphie verhältnisse in der hornblende gruppe: neues jahrbuch. *Mineral* 60: 171-250.
- Le Bas, M. (2007) Igneous rock classification revisited 4: lamprophyres. *Geology Today* 23(5): 166-169.
- Le Bas, M. J., Le Maitre, R. W., Streckeisen, A. and Zanettin, B. (1986) A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology* 27(3):745-750.
- Le Maitre, R. W., Bateman, P., Dudek, A., Keller, J., Lameyre, J., Le Bas, M. J., Sabine, P. A., Schmid, R., Sørensen, H., Streckeisen, A., Woolley, A. R. and Zanettin, B. (1989) *A classification of igneous rocks and glossary of terms*. Blackwell Publishing, Oxford.
- Leake, B. E., Woolley, A. R., Birch, W. D., Burke, E. A. J., Ferraris, G., Grice, J. D., Hawthorne, F. C., Kisch, H. J., Krivovichev, V. G., Schumacher, J. C., Stephenson, N. C. N. and Whittaker, E. J. W. (2004) Nomenclature of amphiboles: additions and revisions to the international mineralogical association's amphibole nomenclature. *American Mineralogist* 89(5): 883-887.
- Middelmost, E. A. K. (1989) Iron oxidation ratios, norms and the classification of volcanic rocks. *Chemical Geology* 77(1): 19-26.
- Moayyed, M., Moazzen, M., Calagaria, A. A., Jahangiri, A. and Mojarrad, 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(2): 141-154.
- Müller, D. and Groves, D. I. (1995) *Potassic igneous rocks and associated gold-copper mineralization*. Lecture Notes in Earth Sciences Series, Springer, Verlag, Berlin
- Rock, N. M. S. (1991) *Lamprophyres*. Blackie, Glasgow.
- Rollinson, H. (1993) *Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation*. Longman, London.
- Sahandi, M. R. (1995) Geological map of Horjand 1:100000, No. 7450, Geological Survey of Iran, Tehran.
- Stocklin, J. (1968) Structural history and tectonics of Iran: a review. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 52(7): 1229-1258.

- Sun, S. S. and Mc Donough, W. F. (1989) Chemical and isotope systematic of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: *Magmatism in ocean basin* (Eds. Sunders, A. D. and Norry, M. J.) Special Publications 42(8): 313-345. Geological Society, London.
- Torabi, G. (2009) Late Permian lamprophyric magmatism in north-east of Isfahan province, Iran: a mark of rifting in the Gondwana land. *Comptes Rendus Geoscience* 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.
- Von Gumbel, C. W. (1874) *Die paleolithischen eruptivgesteine des fichtelgebirges*. Ftzanz, Munich/Germany.
- 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 povince. *Earth and Planetary Science Letters* 50(1): 11-30.
- Xu, Y. G. (2001) Thermo-tectonic destruction of the Archaean lithospheric keel beneath eastern China: evidence, timing and mechanism. *Physics and Chemistry of the Earth* 26(9): 747-757.

## Geochemistry and Petrogenesis of lower to middle Paleozoic alkaline lamprophyre dikes of Hour Village, north east of Kerman

Seyed Hesam-aldin Moeinzadeh Mirhosseini <sup>1\*</sup> and Davoud Raeisi <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Geology, Faculty of Sciences, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran

<sup>2</sup> Department of Geology, School of Sciences, University of Tehran, Tehran, Iran

### Abstract

In the northeast of Kerman toward Ravar around Hour village, a series of rocks in the form of dike have been penetrated into the Lower-Middle Paleozoic Formations. The color of these rocks is dark with non-equigranular texture resulted from large phenocrysts of brown amphibole and pyroxene set in a fine grain groundmass. The existing phenocrysts, according to their abundance, are consist of calcic amphiboles, clinopyroxene and pseudomorphosed olivines. The main characteristics of lamprophyric rocks are non equigranular texture as well as mafic minerals. The normativre results indicate the occurrence of leucite and nepheline and the lack of quartz. According to mineralogical and geochemical studies, these rocks are classified as alkaline Lamprophyres and are probably comptonite. The average contents of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, MgO, Na<sub>2</sub>O, SiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub> are (12/92, 2/64, 9/98, 1/29, 39/35 and 3/44 ) Wt% respectively, in all samples the amount of K<sub>2</sub>O is over that of Na<sub>2</sub>O and the K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O ratio is more than one which indicating the potassic nature of these rocks. All samples show enrichment in lithophile elements in spider diagrams and are plotted in intracontinental extension environment in tectonic discriminate diagrams. As the spider diagrams show the lamprophyres studied are enriched in HFSE and volatiles. Generally, these lamprophyres are derived from enriched garnet lherzolite mantle under low degree (%2 to %5) of partial melting.

**Key words:** Non equigranular texture, Kaersutite, Alkaline lamprophyre, Intracontinental extension environment, Hour village (north-east of Kerman), Central Iran