

کانی شناسی و بلورشناسی لامپروفیرهای شمال غرب ایران

مهراج آقازاده^{*}، زهرا بدرزاده

گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام نور، ایران

(دریافت مقاله: ۹۲/۳/۱۳، سخن نهایی: ۹۲/۷/۲۱)

چکیده: در شمال غرب ایران، بیرون زدگی‌های متعددی از سنگ‌های لامپروفیری به صورت دایک و سیل حضور دارند. این لامپروفیرها به دو نوع غنی از میکا و غنی از آمفیبیول قابل تقسیم‌اند. لامپروفیرهای غنی از آمفیبیول شامل فنوکریستهای آمفیبیول، شبه‌ریخت اولیوین، کلینوپیروکسن در زمینه‌ای از فلدسپار و شبشه دگرسان شده هستند. لامپروفیرهای غنی از میکا شامل فنوکریستهای میکا، کلینوپیروکسن هستند که در زمینه‌ای از فلدسپار و شبشه دگرسان شده هستند. ترکیب بلورهای آمفیبیول بیشتر کرسوتیتی، میکاها فلوگوپیتی و کلینوپیروکسن‌ها از نوع دیوبسید - سالیت هستند. کلینوپیروکسن‌های لامپروفیرهای غنی از آمفیبیول در مقایسه با لامپروفیرهای غنی از میکا حاوی اکسید آلومینیوم بالایی هستند. بر اساس ترکیب کانی‌ها، ماغماهای به وجود آورده لامپروفیرهای مورد بررسی میزان گریزندگی اکسیژن بالایی داشته و این ماقما در عمق کم دستخوش تبلور بخشی شده است. بر اساس کانی‌شناسی، لامپروفیرهای غنی از میکا دارای ماهیت آهکی- قلیایی و از نوع مینت بوده و لامپروفیرهای غنی از آمفیبیول ماهیت قلیایی و از نوع کامپتونیت هستند. لامپروفیرهای غنی از میکا از یک گوشه‌ای لیتوسفری غنی شده در اثر عوامل فروراشی و حاوی فلوگوپیت و یا آمفیبیول پتابسیم‌دار در یک محیط کوهزایی ایجاد شده‌اند. لامپروفیرهای غنی از آمفیبیول احتمالاً از یک گوشه‌ای لرزولیتی حاوی کانی‌های آبدار منشاء گرفته‌اند.

واژه‌های کلیدی: کانی‌شناسی؛ بلورشناسی؛ لامپروفیر؛ شمال غرب ایران.

شوند. این سنگ‌ها ممکن است عامل کانی‌زایی برای برخی از عناصر فلزات پایه و نیز طلا باشند [۳]. در منطقه‌ی شمال غرب ایران و آذربایجان بیرون زدگی‌های متعددی از سنگ‌های لامپروفیری با ماهیت مختلف حضور دارند [۹-۴]. بر اساس بررسی‌های قبلی و بررسی‌های صحرابی اخیر، آنها را به دو گروه مهم آهکی- قلیایی (غنی از میکا) و قلیایی (غنی از آمفیبیول) قابل تقسیم‌اند [۹-۴] بیرون زدگی‌های لامپروفیرها عمدتاً در مناطق ارسباران، شبه جزیره‌ی اسلامی و کوههای میشو مشاهده شده‌اند (شکل ۱). در این پژوهش کانی‌شناسی و بلورشناسی لامپروفیرهای شناسایی شده‌ی مختلف در منطقه‌ی آذربایجان مورد بررسی قرار گرفته و ویژگی‌های کانی‌شناسی هر یک از گروههای مختلف لامپروفیرها و نیز کانی‌های مختلف آن‌ها به تفصیل مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته‌اند.

مقدمه

لامپروفیرها شاخه‌ای از سنگ‌های قلیایی غنی از CO_2 و H_2O هستند که دامنه‌ی ترکیبی سدیک تا پتانسیک و اولترابازی تا متوسط دارند [۱]. این سنگ‌های نیمه عمیق مزوکرات تا ملانوکرات با بافت پانیدیومورف، حاوی درشت بلورهای فراوان از کانی‌های فرومیزین هستند. در این سنگ‌ها معمولاً فلدسپارها در زمینه و به صورت ریز بلور حضور دارند [۲۰]. معمولاً لامپروفیرها از نفوذی های پس از زمین‌ساختی- (Post-Tectonic) هستند که به صورت دایک و یا سیل تشکیل می‌شوند. این سنگ‌ها بر حسب سرشت ماقمایشان به انواع قلیایی، آهکی قلیایی، اولترامافیک و لامپروفئیتی رده‌بندی شده‌اند [۱]. هر یک از انواع یاد شده بر حسب تغییر ترکیب کانی‌شناسی، ژئوشیمیایی و محیط تشکیل، از همدیگر تشخیص داده می-

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۲۶۰۲۷۶۵۳، نامبر: ۰۴۷۱۲۲۲۰۱۶، پست الکترونیکی: Mehrrajaghazadeh@yahoo.com

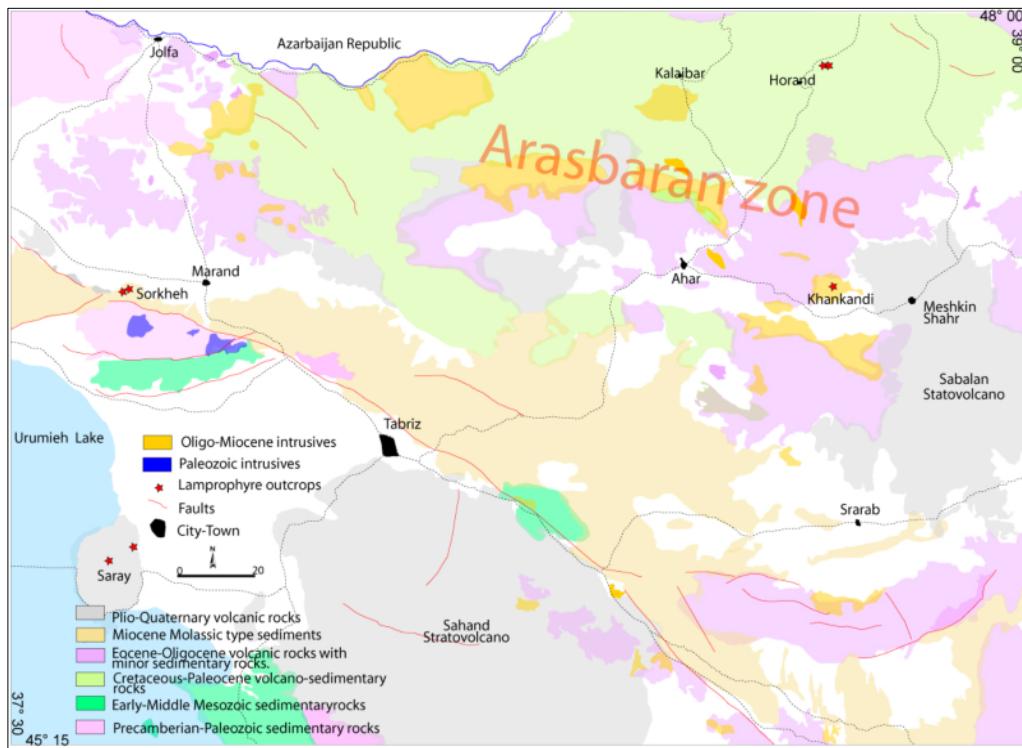
بخش‌های مرکزی سیل رخنمون یافته در منطقه‌ی هوراند بافت دانه‌ای را نشان می‌دهند. این تنوع بافتی در لامپروفیرها می‌تواند به علت بالا بودن میزان سیال در این نوع سنگ‌ها باشد [۱۰]. در لامپروفیرهای غنی از آمفیبول کانی‌های آمفیبول قهقهه‌ای، کلینوپیروکسن و اولیوین به صورت فنوکریست حضور دارند (شکل ۲). در این لامپروفیرها آمفیبول‌های قهقهه‌ای فراوان‌ترین کانی فرمونیزین را تشکیل می‌دهند. این بلورها بیشتر خود شکل و سوزنی هستند و مراکز قهقهه‌ای رنگ پریده تا زرد و با کرانه‌های قهقهه‌ای تا قهقهه‌ای تیره دارند. گاهی بلورهای آمفیبول قهقهه‌ای از حاشیه با آمفیبول‌های سبز جایگزین شده‌اند. همچنین برخی بلورها حاشیه‌ی اپاسیتی دارند. همراه با بلورهای آمفیبول، بلورهای کلینوپیروکسن خودشکل نیز از فراوانی قابل توجهی برخوردارند. در لامپروفیرهای منطقه‌ی هوراند، گاهی بلورهای میکانیز همراه با کانی‌های مافیک اصلی مشاهده می‌شوند. لامپروفیرهای غنی از آمفیبول سرخه مرند و خانکنده دارای بلورها و شبیریخت‌هایی از اولیوین هستند (شکل ۲). در برخی مقاطع بلورهای اولیوین به طور کامل با کانی‌های ثانویه از جمله سرپنتین، کلریت، کلسیت جایگزین و یا پر شده و شبه ریختی از این کانی باقی مانده است. در لامپروفیرهای غنی از آمفیبول فلدسپارها در

روش بررسی

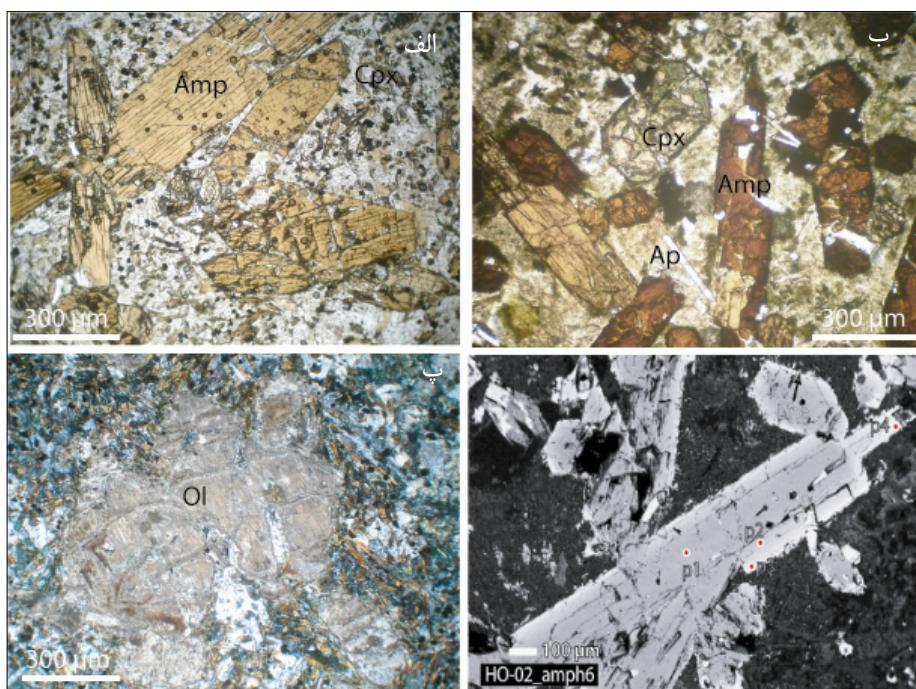
برای ارزیابی ویژگی‌های لامپروفیرهای مورد بررسی، پس از بررسی‌های صحرایی گسترشده و برداشت نمونه‌ها، ۵۰ نمونه انتخاب و مقاطع نازک از آنها تهیه شدند. پس از بررسی‌های میکروسکوپی ۱۵ نمونه از لامپروفیرهای مختلف انتخاب و کانی‌های آنها مورد آنالیز نقطه‌ای قرار گرفتند. عناصر اصلی JEOL JSM و JEOL JXA 8900RL ۵۴۱۰ به ترتیب در دانشگاه ماینز آلمان و هولوا اسپانیا آنالیز شدند. در طول بررسی، ولتاژ شتابنده‌ی دستگاه ۱۵ kV، شدت جریان ۱۰ - ۱۲ nA، قطر پرتو ۵-۱ μm و زمان شمارش بر حسب عنصر مورد بررسی بین ۱۵ تا ۳۰ ثانیه بوده است. از کانی‌های طبیعی و ترکیب‌های مصنوعی برای استاندارد سازی استفاده شدند. استاندارهای استفاده شده برای کالیبراسیون عبارتند از آلبیت برای عناصر Al، Na، Si، AI، Cr₂O₃، Ca، Si، آندرادیت برای Fe و MnTiO₃، Ca، Mn، پریکلاز برای Mg، ارتوکلاز برای K، مگنتیت برای Fe و آپاتیت برای P.

سنگ نگاری

بر اساس بررسی‌های میکروسکوپی لامپروفیرهای غنی از آمفیبول بافت‌های متعدد پورفیری، پانیدیومورف و حتی در



شکل ۱ نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه‌ی شمال غرب ایران همراه با موقعیت لامپروفیرهای مورد بررسی در آن.

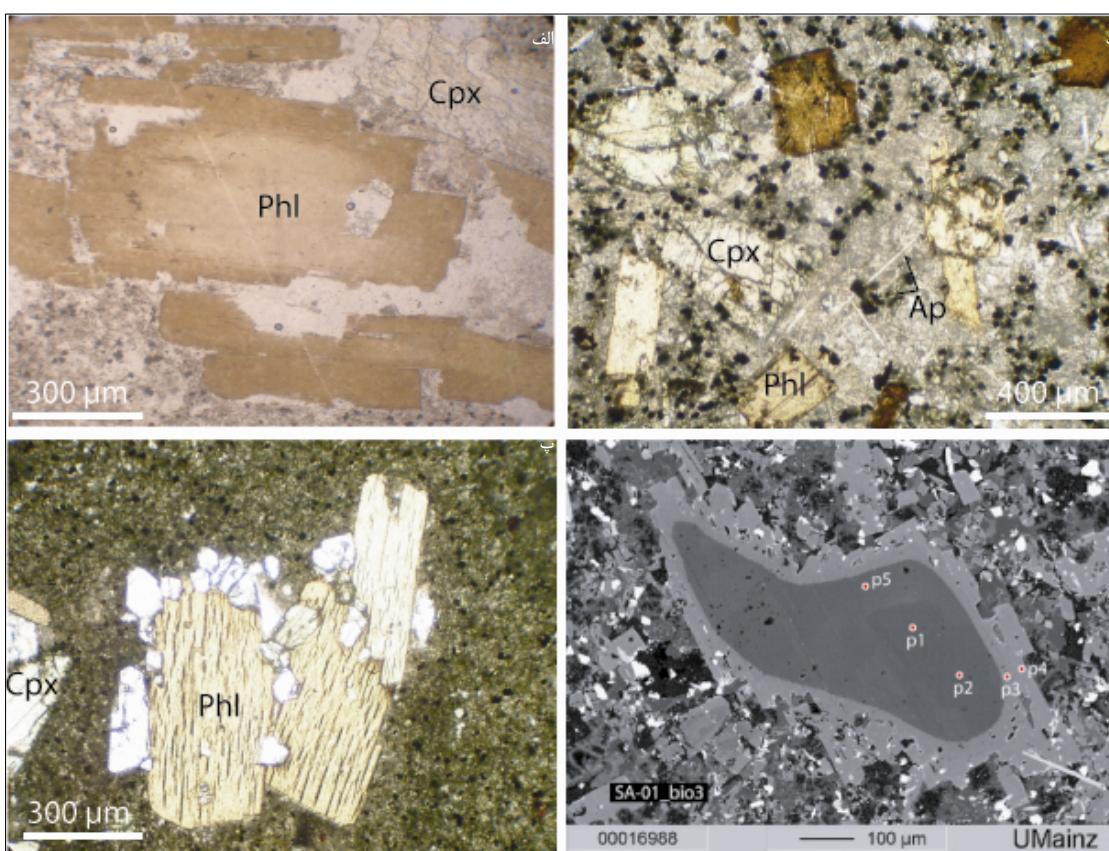


شکل ۲ تصاویر میکروسکوپی از لامپروفیرهای غنی از آمفیبول، (الف) آمفیبول‌های درشت بلور خود شکل در لامپروفیرهای خانکندي، (ب) بافت پورفیری با درشت بلورهای آمفیبول و پیروکسن و نیز تیغه هایی از آپاتیت در لامپروفیرهای غنی از آمفیبول سرخه (ت) شبه‌ریخت اولیوین در لامپروفیرهای خانکندي، (ث) تصویر بک اسکتر از بافت پورفیری با درشت بلورهای آمفیبول و نقاط آنالیز شده روی بلورها.

لامپروفیرهای منطقه‌ی جزیره اسلامی میزان فراوانی فنوکریست‌ها در مقایسه با زمینه‌ی سنگ پایین بوده و نسبت حجمی زمینه به فنوکریست در حدود ۲ به ۱ است. بلورهای میکائی فنوکریست، خود شکل و صفحه‌ای تا تیغه‌ای هستند و ابعاد آنها از فنوکریست‌های درشت بلور تا ریز بلورهای زمینه تغییر می‌کنند. این بلورها در نور معمولی چند رنگی دارند و علاوه بر این منطقه بندی خاص ترکیبی نیز دارند و اختلاف رنگ فاحشی از مرکز به حاشیه بلورها دیده می‌شود (شکل ۳). بلورهای کلینوپیروکسن عموماً به صورت خودشکل حضور دارند و گاهی همراه با بلورهای میکا بافت گلومرپورفیری را نشان می‌دهند (شکل ۳). برخی بلورهای کلینوپیروکسن با کانی‌های ثانویه از جمله کلریت و کلسیت به طور بخشی جایگزین شده‌اند. در زمینه‌ی سنگ بلورهای فلدسپار و شیشه همراه با کانی‌های مافیک یاد شده حضور دارند. علاوه بر این کلریت، کلسیت و زئولیت در زمینه این لامپروفیرها به وفور دیده می‌شوند و بیشتر جایگزین شیشه شده‌اند. در میکا لامپروفیرها کانی‌های فرعی بیشتر شامل آپاتیت و کانی‌های کدر هستند که بلورهای آپاتیت عموماً به صورت ادخال در کانی‌های مافیک دیده می‌شوند.

زمینه‌ی سنگ حضور دارند و شامل فلدسپارهای هیبری‌سولوس پلازیوکلاز و قلایایی هستند. در برخی مقاطع بلورهای قلایایی فلدسپار به صورت بلورهای مجزای آلبیت و اورتوکلاز دیده می‌شوند. در زمینه‌ی برخی مقاطع شیشه‌ی جایگزین شده با کانی‌های ثانویه نیز دیده می‌شود. کانی‌های فرعی موجود لامپروفیرهای غنی از آمفیبول بیشتر شامل آپاتیت، کانی‌های کدر و گاهی زیرکن هستند. به علت بالا بودن مولفه‌ی شاره‌ی لامپروفیرها در مراحل نهایی تبلور، این نوع سنگ‌ها دستخوش یک خود دگرسانی و یا دگرسانی ناشی از شاره‌های خود مانگما می‌شوند که اغلب باعث حذف بافت‌های اولیه و دگرسانی کانی‌های اولیه می‌شود [۱]. همچنین وجود گلوبول‌هایی از کانی‌های فلسيک همراه با کربنات و کانی‌های آبدار فراوان در لامپروفیرهای مورد بررسی، نشان دهنده اين است که مانگما لامپروفیری از شاره‌ها غنی بوده است [۱۱] گلوبول‌ها در واقع مذاب‌های فلسيک امتزاج ناپذيرند [۱۰، ۱۱].

لامپروفیرهای غنی از میکا در منطقه‌ی سرخه‌ی مرند و جزیره‌ی اسلامی رخمنون دارند و آنها انواع بافت‌های پانیدیمورفیک، پورفیری و هیالوپورفیری را نشان می‌دهند. کانی‌های مافیک مهم شامل میکا و پیروکسن هستند که فنوکریست‌های این سنگ‌ها را نیز تشکیل می‌دهند. در



شکل ۳ تصاویر میکروسکوپی از لامپروفیرهای غنی از میکا، (الف) درشت بلورهای فلوگوپیت و کلینوپیروکسن در لامپروفیرهای جزیره اسلامی، (ب) تصویری از لامپروفیرهای سرخه (پ) بافت گلومروپورفیری با بلورهای فلوگوپیت، کلینوپیروکسن و آپاتیت در لامپروفیرهای جزیره اسلامی، (ت) تصویر بک اسکتر با درشت بلور فلوگوپیت و نقاط آنالیز شده.

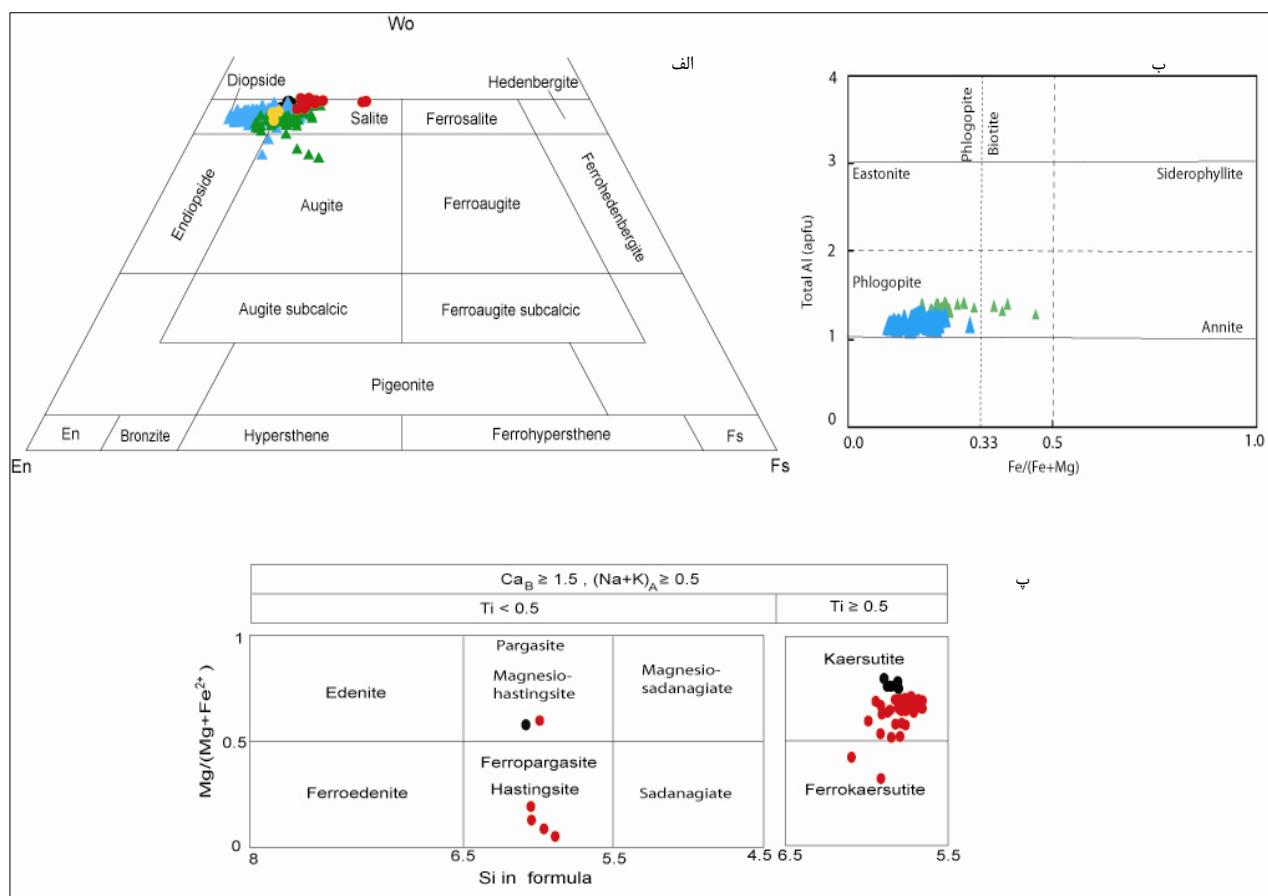
در مرکز تا ۱/۸۸ درصد در حاشیه بلورها تغییر می‌کند. دلیل کاهش شدید میزان این اکسید در حاشیه بلورها می‌تواند به واسطه‌ی مصرف آن به وسیله‌ی کانی‌هایی نظری تیتانومگنتیت در مراحل نهایی تبلور توجیه شود. میزان مجموع عناصر قلیایی در آمفیبولهای بررسی شده بیش از ۳ درصد است و بیشتر دامنه‌ای بین ۳ الی ۴ درصد را نشان می‌دهند. اختلاف فاحشی در آنالیزهای آمفیبولهای دایک‌های مناطق مختلف وجود ندارد هر چند در برخی موارد اختلافاتی دیده می‌شود. از جمله میزان MgO در دایک‌های منطقه خانکندی کمی بالاتر از منطقه‌ی هوراند است (جدول ۱). در بلورهای آمفیبول آنالیز شده، تغییرات خاصی در شیمی بلورها مشاهده می‌شود به‌طوری که میزان اکسیدهای سدیم، پتاسیم، آهن از مرکز به حاشیه افزایش می‌یابد و این افزایش در اکسید آهن به طور محسوسی بالاست به طوری که از حدود ۱۰ درصد در مرکز تا ۲۸ درصد در حاشیه بلور افزایش می‌یابد. در همین روند و از

بلور شیمی

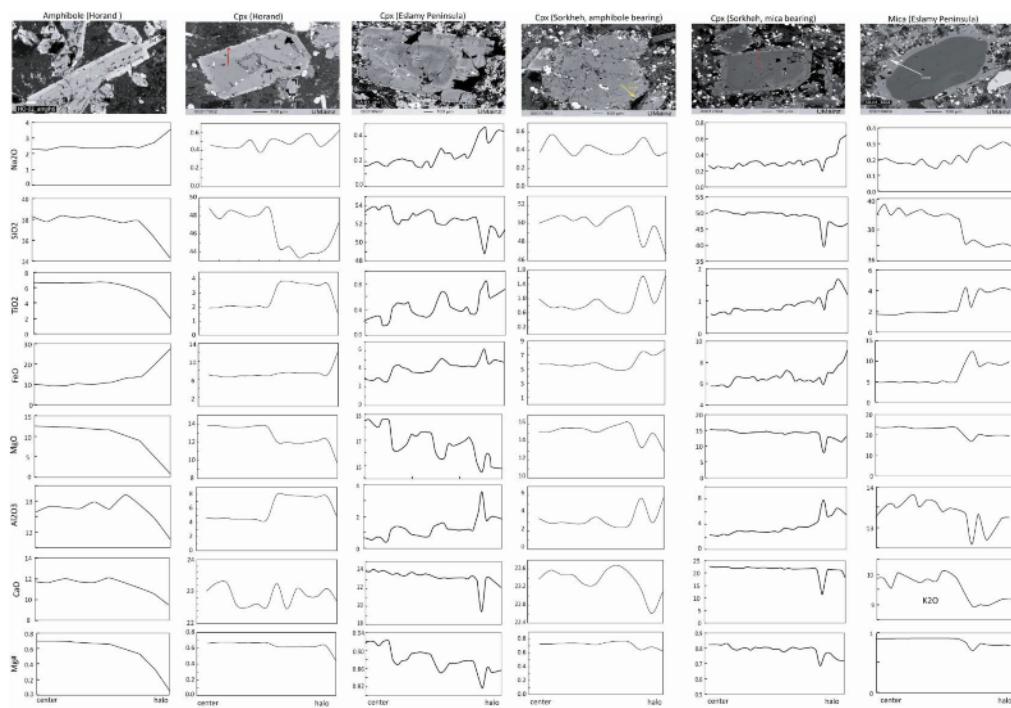
کانی‌های مختلف در انواع لامپروفیرها مورد بررسی نقطه‌ای قرار گرفتند. آمفیبولهای بررسی شده جزء گروه آمفیبولهای کلسیک هستند [۱۲] به طوری که در آنها $B(Mg, Fe^{2+}, Na \leq 0.5, Mn^{2+}, Li) \leq 0.5$ و $B(Na,Ca) \geq 0.5$ است. بر اساس تقسیم‌بندی ارائه شده برای آمفیبولهای کلسیک توسط [۱۲]، نمونه‌های مورد بررسی میزان $Ca_B \geq 1.5$ و $(Na+K)_A \geq 0.5$ دارند. در اغلب بلورهای آمفیبول بررسی شده $Ti \geq 0.5$ بوده و لذا این‌ها جزء آمفیبولهای نوع کرسوتیتی هستند ولی برخی نیز Ti در واحد فرمولی، پایین دارند و هاستینگسیتی هستند (شکل ۴). با توجه به این که مولفه‌ی آهن در حاشیه‌ی برخی بلورها به شدت افزایش یافته است لذا برخی از نمونه‌ها در گستره‌ی فروهاستینگسیت قرار دارند. میزان دامنه‌ی $Mg\#$ در بلورهای بررسی شده از حدود ۰/۷۷ در مرکز تا حدود ۰/۵۸ در حاشیه‌ی بلورها تغییر می‌کند (جدول ۱). میزان TiO_2 در بلورهای بررسی شده بالاست و از حدود ۷

لامپروفیرهای غنی از آمفیبول خانکنده $\text{Wo}_{46-50}\text{En}_{38-42}\text{Fs}_{9-21}\text{Ac}_{1-3}$ هوراند و $\text{Wo}_{46-48}\text{En}_{38-42}\text{Fs}_{10-21}\text{Ac}_{2-5}$ سرخه $\text{Wo}_{45-48}\text{En}_{37-44}\text{Fs}_{8-13}\text{Ac}_{1-2}$ و لامپروفیرهای غنی از میکا $\text{Wo}_{40-49}\text{En}_{35-46}\text{Fs}_{7-17}\text{Ac}_{0.8-2.5}$ و جزیره اسلامی $\text{Wo}_{43-48}\text{En}_{36-50}\text{Fs}_{3-14}\text{Ac}_{0.3-2.5}$ در لامپروفیرهای آمفیبول دار سرخه بیش از SiO_2 غنی از آمفیبول خانکنده و هوراند است (جدول ۱). میزان TiO_2 , FeO , Al_2O_3 در کلینوپیروکسن‌های لامپروفیرهای غنی از آمفیبول هوراند و خانکنده بیش از کلینوپیروکسن‌های لامپروفیرهای غنی از آمفیبول سرخه است. از این حیث کلینوپیروکسن‌های لامپروفیرهای غنی از آمفیبول سرخه دامنه‌ی ترکیبی حد واسط بین کلینوپیروکسن‌های لامپروفیرهای غنی از آمفیبول از یک سو و غنی از میکا از سوی دیگر را نشان می‌دهند (جدول ۱).

مرکز به سمت حاشیه از میزان اکسیدهای سیلیسیوم، منیزیوم، تیتانیوم، آلومینیوم و کلسیم کاسته می‌شود (شکل ۵). بلورهای پیروکسن در زمینه و نیز به صورت فنوکریست در هر دو نوع لامپروفیرهای غنی از آمفیبول و میکا دیده می‌شوند. این بلورها از نوع کلینوپیروکسن هستند. بلورهای کلینوپیروکسن مورد بررسی در تمام رخنمونهای لامپروفیری (Quad) $\text{Fe}, \text{Mg}, \text{Ca}$ هستند [۱۳] و در این بلورها میزان $\text{Q}(\text{Fe}^{2+}+\text{Mg}+\text{Ca})$ عموماً بیش از ۱۶۵ میزان $\text{J}(2\text{Na})$ کمتر از ۱۷٪ است. بلورهای کلینوپیروکسن بررسی شده چنانکه در شکل ۵ دیده می‌شود عموماً ترکیب دیوپسید تا سالیت را دارند ولی برخی از آنالیزهای انجام شده از حاشیه بلورهای کلینوپیروکسن در لامپروفیرهای غنی از بیوتیت ترکیب اوژیتی نشان داده‌اند (شکل ۴). به طوری که دامنه‌ی ترکیب کلینوپیروکسن در انواع



شکل ۴ ترکیب کانی‌های آنالیز شده، (الف) ترکیب میکاهای بر اساس [۱۳] ب) ترکیب آمفیبول‌ها بر اساس [۱۴] ب) ترکیب کلینوپیروکسن‌ها بر اساس [۱۲]. علیم: دایره سیاه: لامپروفیرهای آمفیبول دار خانکنده، دایره سرخ: لامپروفیرهای آمفیبول دار هوراند، دایره زرد: لامپروفیرهای آمفیبول دار سرخه، مثلث آبی: لامپروفیرهای جزیره اسلامی و مثلث سبز: لامپروفیرهای غنی از میکا سرخه.



شکل ۵ تغییرات ترکیب شیمیایی کانی از مرکز به سمت حاشیه در فنوتکنیکس، آمفیبول و میکا در لامپروفیرهای مورد بررسی.

جدول ۱ نتایج برخی آنالیزهای انجام شده از کانی‌های کلینوپیروکسن، آمفیبول و میکا در لامپروفیرهای مورد بررسی.

CPX	خانگندی	هوراند	غنى از آمفیبول سرخ	جزیره اسلامی	غنى از میکا سرخ
HASHIYE					
MnO	0.59	0.26	0.29	0.34	0.29
Na ₂ O	0.53	0.46	0.44	0.51	0.46
SiO ₂	47.7	47.7	48.7	48.7	48.7
K ₂ O	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
TiO ₂	1.42	1.42	1.42	1.42	1.42
FeO	9.12	9.12	9.12	9.12	9.12
Al ₂ O ₃	6.24	6.24	6.24	6.24	6.24
MgO	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4
CaO	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5
Cr ₂ O ₃	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
MnO	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39
Total	98.2	98.2	98.2	98.2	98.2
AMP	خانگندی	هوراند	BIO	سرخه	جزیره اسلامی
HASHIYE					
SiO ₂	38.3	39.4	38.5	38.3	38.3
TiO ₂	2.37	2.37	2.37	2.37	2.37
Al ₂ O ₃	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7
FeO	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81
MgO	7.65	7.65	7.65	7.65	7.65
CaO	21.7	21.7	21.7	21.7	21.7
Cr ₂ O ₃	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
MnO	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
Total	96.4	96.4	96.4	96.4	96.4

[$KFe_2Al(Al_2Si_2O_{10})(OH)_2$] و اس-تونیت [K $Mg_2Al(AlSi_2O_{10})(OH)_2$] هستند و این ترکیبها حول محورهای قائم و افقی به ترتیب شامل تبادل Mg-Fe و تبادل (Mg,Fe)Si-Al^{VI} (یا جانشینی چرمات) در ارتباط هستند [۱۴]. ترکیب میکاهای بررسی شده در نمودار Fe/(Fe+Mg) نسبت به Al^{IV}, در گسترهٔ فلوگوپیت قرار می‌گیرد و نسبت Mg/(Mg+Fe) در آنها عموماً بیش از ۰/۷۷ است ولی برخی آنالیزهای انجام شده در حاشیهٔ بلورهای درشت میکا و میکاهای موجود در زمینه در لامپروفیرهای غنی از میکای سرخه مرند، دامنه‌ای در حدود ۰/۶۴ الی ۰/۷۷ را نشان می-دهند که در واقع بیوتیت غنی از منیزیوم هستند (شکل ۴ جدول ۱). میزان #Mg در بلورهای میکای لامپروفیرهای جزیره اسلامی عموماً بالاتر (۰/۷-۰/۹) از میزان #Mg در لامپروفیرهای سرخه مرند است (۰/۸۳-۰/۵۲). میزان TiO_2 , Na_2O در میکاهای لامپروفیرهای سرخه مرند بیشتر و فراوانی F, SiO_2 , MgO , K_2O , BaO پایین تر از میکاهای آنالیز شده در لامپروفیرهای جزیره اسلامی است. بلورهای میکا در لامپروفیرهای میکادار، منطقه‌بندی ترکیبی شاخصی را نشان می‌دهند. در این بلورها از مرکز به حاشیه بر SiO_2 , K_2O میزان Na_2O , FeO , Na_2O افزوده و از میزان Al_2O_3 کاسته می‌شود. تغییر ترکیب مشاهده شده می‌تواند با کاهش دمای تبلور در ارتباط باشد [۱۵]. در آنالیزهای انجام شده روی میکاهای انتباقي منفی بین #Mg و TiO_2 وجود دارد به طوری که با کاهش #Mg میزان TiO_2 افزایش چشمگیری می‌یابد. این تطابق منفی بین #Mg و FeO و Al_2O_3 نیز می‌مشاهده می‌شود. میزان #Mg در میکاهای لامپروفیرهای جزیره اسلامی بالاتر از لامپروفیرهای منطقه‌ی سرخه مرند است. TiO_2 در بخش‌های حاشیه‌ای بلورهای فنوکریست و نیز در بلورهای زمینه نسبت به بخش‌های مرکزی فنوکریست ها مقادیر بالاتری را نشان می‌دهند، به طوری که مقادیر این اکسید در بخش‌های حاشیه‌ای فنوکریست ها و بلورهای زمینه در حدود ۴ الی ۶ درصد وزنی و در بخش‌های مرکزی ۲ الی ۳ درصد وزنی در تغییر است (شکل ۵ و جدول ۱). این داده‌ها با

کلینوپیروکسن‌های لامپروفیرهای غنی از میکا میزان SiO_2 و MgO بالاتر و Al_2O_3 , FeO و TiO_2 پایین‌تری در مقایسه با لامپروفیرهای غنی از آمفیبول خانکنده و هوراند دارند. چنانکه در جدول ۱ نیز دیده می‌شود، کلینوپیروکسن‌های لامپروفیرهای غنی از آمفیبول سرخه دارای دامنه‌ی اکسیدهای بین این دو گروه اصلی هستند. میزان Al_2O_3 در کلینوپیروکسن‌های لامپروفیرهای مورد بررسی می‌تواند تمایز خوبی بین گروههای غنی از میکا و غنی از آمفیبول ایجاد نماید به طوری که میزان Al_2O_3 در لامپروفیرهای غنی از آمفیبول بیش از ۴ درصد و در لامپروفیرهای غنی از میکا کمتر از ۳ درصد است. میزان این اکسید در لامپروفیرهای غنی از آمفیبول سرخه حدوداً بین دو گروه اصلی و بین ۲ الی ۶ درصد در تغییر است.

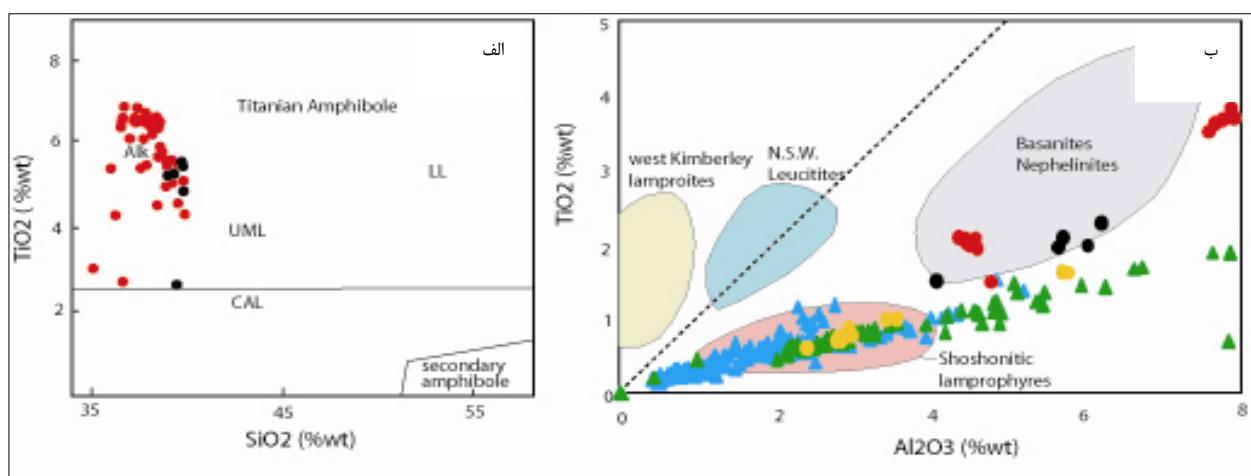
آنالیزهای انجام گرفته روی کلینوپیروکسن‌های لامپروفیرهای غنی از میکای جزیره اسلامی و سرخه نشان می‌دهد که کلینوپیروکسن‌های لامپروفیرهای غنی از میکا TiO_2 , FeO و میزان SiO_2 , MgO بیشتر و میزان Al_2O_3 کمتر دارند. آنالیزهای انجام گرفته روی بلورهای کلینوپیروکسن در لامپروفیرهای غنی از آمفیبول هوراند و سرخه مرند نشان می‌دهد که از مرکز به حاشیه فراوانی اکسید MgO افزایش TiO_2 , FeO , Al_2O_3 و SiO_2 کاهش می‌یابند (شکل ۵). هر چند آشفتگی‌هایی نیز در این روندهای صعودی و نزولی اکسیدها دیده می‌شوند. روندهای صعودی و نزولی مشاهده شده در لامپروفیرهای غنی از آمفیبول در لامپروفیرهای غنی از میکا نیز دیده شده‌اند. در این بلورها همچنین CaO نیز از مرکز به حاشیه روند کاهشی نشان می‌دهد. همچنین روند افزایشی Na_2O مشاهده شده در کلینوپیروکسن‌های جزیره اسلامی در بلورهای کلینوپیروکسن سرخه مرند به روشنی دیده نمی‌شود. بیوتیتها در واقع سری‌های محلول جامد بین چهار عضو انتهایی هستند. چهار عضو انتهایی شامل آیت $KFe_3AlSi_3O_{10}[(OH)_2]$, فلوگوپیت $[KMg_3AlSi_3O_{10}(OH)_2]$ ، سیدروفیلیت

گروه مهم آهکی- قلیایی (شوشنونیتی)، قلیایی و الترامافیک تقسیم‌بندی شده‌اند [۱]. لامپروفیرهای غنی از آمفیبیول مورد بررسی با توجه به حضور آمفیبیول نوع کرسوتیتی و نیز پلاژیوکلаз بیشتر نسبت به فلدسپار قلیایی در زمینه و عدم حضور فوئیدهای غنی از سدیم و لوسيت جزء کامپتونیت‌ها و گروه لامپروفیرهای قلیایی می‌توانند محسوب شوند. لامپروفیرهای غنی از میکا با توجه به حضور فلدسپار قلیایی فراوان‌تر در زمینه و عدم حضور فوئیدهای غنی سدیم و لوسيت در آن‌ها می‌توانند جزء لامپروفیرهای آهکی- قلیایی و نوع مینت محسوب شوند. بر اساس ترکیب بلورهای آمفیبیول، لامپروفیرهای غنی از آمفیبیول سرشت قلیایی دارند. این ویژگی با توجه به حضور TiO_2 بالا در آمفیبیول‌های موجود در لامپروفیرهای غنی از آمفیبیول استنتاج می‌شود (شکل ۶ جدول ۱). براساس ترکیب کلینوپیروکسن‌ها تمایز خوبی بین لامپروفیرهای غنی از آمفیبیول و غنی از میکای مورد بررسی وجود دارد. لامپروفیرهای غنی از آمفیبیول بر اساس ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسن‌ها سرشت قلیایی دارند، در حالی که لامپروفیرهای غنی از میکا سرشت آهکی- قلیایی دارند. بر اساس ترکیب کانی کلینوپیروکسن، لامپروفیرهای آمفیبیول دار منطقه سرخه‌ی مرند سرشت قلیایی تا آهکی- قلیایی را نشان می‌دهند (شکل ۶).

بررسی‌های تجربی انجام شده روی ماقماهای غنی از پتاسیم همخوانی دارند که نشان می‌دهد فلوگوپیت‌های اولیه نسبت به انواع تاخیری دارای مقدار Mg و Al_2O_3 بالاتر و TiO_2 پایین‌تری هستند. از طرف دیگر ثابت شده است که مقدار این عناصر در فلوگوپیت‌ها با کاهش فشار افزایش می‌یابد. نمونه‌های تجزیه شده، میزان BaO صفر تا ۲۳۴ درصد دارند و میکاهای آنالیز شده از دایک‌های جزیره اسلامی از این اکسید غنی‌ترند. هر چند میزان این اکسیدها از نمونه‌های گزارش شده غنی از باریم و تیتانیوم کمی پایین‌تر است. ولی نمونه‌های مورد بررسی با فلوگوپیت‌های غنی از باریم و تیتانیوم سنگ‌های قلیایی پتاسیک و التراپتاسیک قابل مقایسه هستند [۱۷، ۱۶]. مقدار کلر در میکاهای آنالیز شده گستره‌ای بین ۰/۰۹ تا ۰/۲۵ درصد و میزان فلورین گستره بین ۰/۰۹ تا ۱/۲۵ درصد را شامل می‌شوند.

بحث

شواهدی از جمله حضور بافت‌های پانیدیومورفی و لامپروفیری، حضور گلبول‌هایی غنی از فلدسپار به همراه کانی‌های آبدار (لوکوکرات)، حضور کانی‌های آبدار فراوان از جمله آمفیبیول و میکا، عدم حضور فلدسپار به صورت فنوکریست، حضور آمفیبیول‌ها و میکاهای غنی از تیتانیوم و کلینوپیروکسن‌های غنی از تیتانیوم و آلومینیوم همگی نشان از این دارند که سنگ‌های مورد مطالعه لامپروفیر هستند. لامپروفیرها به سه



شکل ۶ ماهیت لامپروفیرهای مورد بررسی بر اساس ترکیب کانی‌ها، (الف) ترکیب آمفیبیول‌ها، (ب) ترکیب کلینوپیروکسن‌ها [۱] و علامه همانند شکل ۴ است.

خطی که از نقاط موازن $\text{Al}^{\text{VI}}+2\text{Ti}+\text{Cr}=\text{Na}+\text{Al}^{\text{IV}}$ می‌گذرد معرف $\text{Fe}^{3+}=0$ است. لذا قرارگیری نمونه‌ها در بالا و یا زیر این خط به ترتیب نشانگر زیاد و یا کم بودن گریزندگی اکسیژن در محیط تشکیل پیروکسن‌ها است. در این نمودار نمونه‌های مورد بررسی لامپروفیرهای غنی از میکا و غنی از آمفیبیول در بالای خط $\text{Fe}^{3+}=0$ قرار می‌گیرند. با توجه به فاصله‌ی نمونه‌ها از خط اشباع Fe^{3+} می‌توان نتیجه گرفت که گریزندگی اکسیژن در زمان تشکیل کلینوپیروکسن‌ها از ماقمای دربرگیرنده نسبتاً بالا بوده است [۲۲]. حضور کلینوپیروکسن‌های با کلسیم بالا نتیجه‌ی فعالیت کم سیلیس و فعالیت بالای آب در محیط است [۲۳]. شرایط PH_2O بالا در ماقمای لامپروفیرهای مورد بررسی با وجود کلینوپیروکسن‌های غنی از کلسیم به جای اولیوین نیز مشخص می‌شود. به طوری که پیروکسن‌های با کلسیم کم از ماقمای مافیک با میزان آب بالا متبلور نمی‌شود [۲۴].

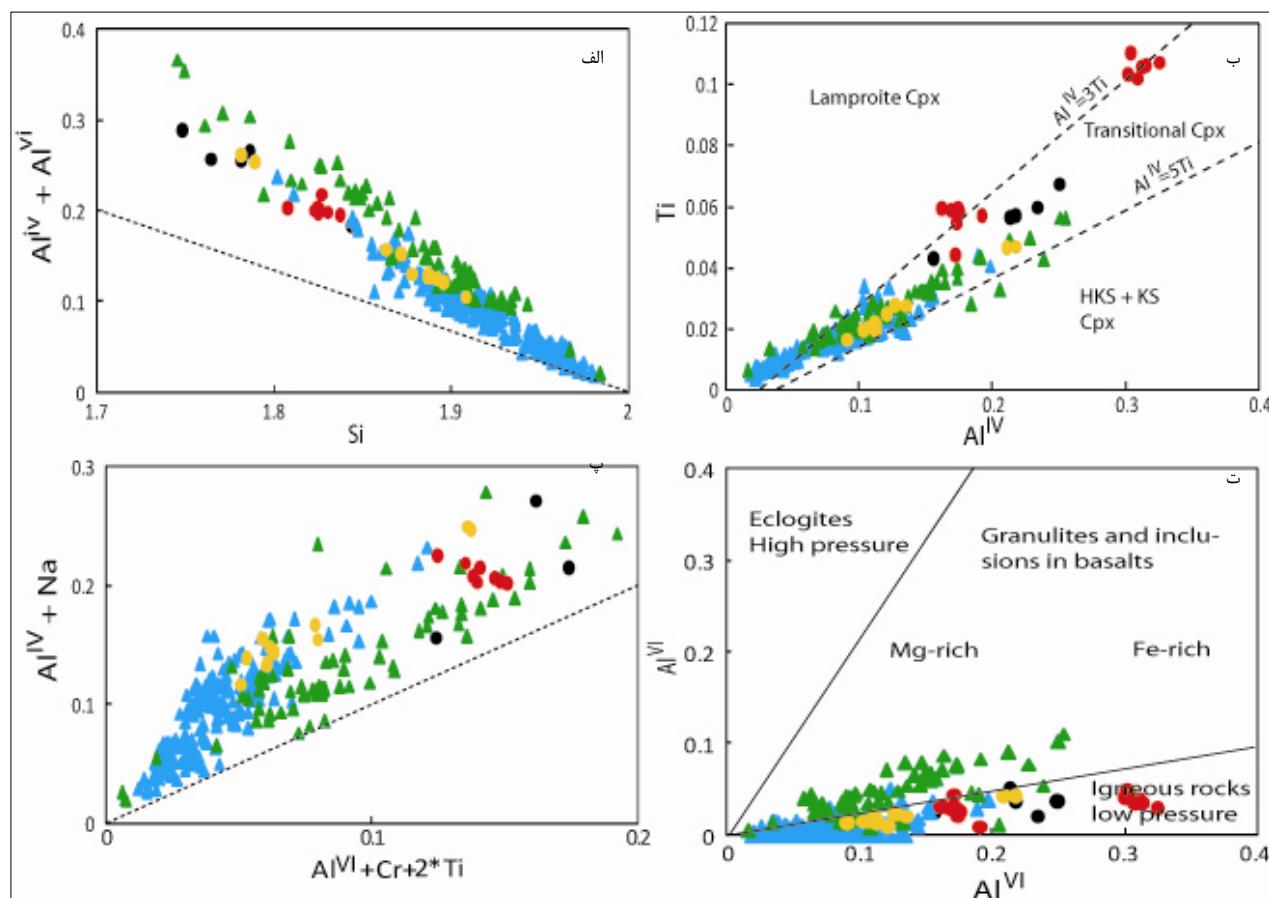
[۲۵] پیشنهاد کرد که نسبت‌های $\text{Ti}+\text{Al}^{\text{IV}}/\text{Si}, \text{Al}^{\text{VI}}/\text{Al}^{\text{IV}}$ و $\text{TiO}_2/(\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})$ در پیروکسن‌ها می‌تواند به عنوان عامل فشارسنجی به کار گرفته شود. در نمودار $\text{Al}^{\text{VI}}/\text{Al}^{\text{IV}}$, نمونه‌های آنالیز شده کلینوپیروکسن‌های آنالیز شده از هر دو نوع لامپروفیرهای مورد بررسی در گستره‌ی کلینوپیروکسن‌های متبلور شده در شرایط فشار پایین و در گستره‌ی سنگ‌های آذرین قرار دارند (شکل ۷) [۲۶، ۲۷]. در مقایسه با کلینوپیروکسن‌های لامپروفیرهای غنی از آمفیبیول، کلینوپیروکسن‌های لامپروفیرهای غنی از میکا در فشار بالاتری تشکیل شده‌اند. این امر به خصوص برای کلینوپیروکسن‌های لامپروفیرهای جزیره‌ی اسلامی به خوبی دیده می‌شود و در گستره‌ی کلینوپیروکسن‌های وابسته به سنگ‌های دگرگون گرانولیتی قرار گرفته‌اند. محتوای Al در کلینوپیروکسن‌ها در فشار بالا با واکنش $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8=\text{NaAlSi}_2\text{O}_6+\text{SiO}_2$ و در $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_6=\text{CaAl}_2\text{SiO}_6+\text{SiO}_2$ فشار پایین با واکنش ۱۲۰ کیلومتری (حاوی گارنت پریدوتیت) و واکنش دوم در عمق کمتر از ۴۰ کیلومتری روی می‌دهد با این وصف

کوشش‌های زیادی در شناخت رابطه‌ی بین ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسن‌های آذرین با ماهیت و ترکیب شیمیایی سنگ‌های میزان آن‌ها صورت گرفته است [۱۸]. پژوهشگران نشان دادند که محتوی Ti و Al کلینوپیروکسن‌ها از یک طرف به فعالیت سیلیس ماقمایی که از آن متبلور شده-اند وابسته بوده و از طرف دیگر به نسبت این عناصر بستگی دارد که در انواع ماقمای‌های توله ایتی، قلیایی و پرآلکالن به ترتیب افزایش یابد [۱۹، ۲۰]. در نمودار توزیع Al و Si پیروکسن‌های مورد بررسی در بالای خط اشباع از جایگاه چهاروجهی قرار می‌گیرند (شکل ۷). بنابراین موقعیت چهاروجهی کلینوپیروکسن‌های لامپروفیرهای مورد بررسی به طور کلی با Si و به طور بخشی با $\text{Al}(\text{Al}^{\text{IV}})$ پر می‌شود. با توجه به نمودار تغییرات $\text{Ti}-\text{Al}^{\text{IV}}$ میزان پایین تیتانیوم در کلینوپیروکسن‌های لامپروفیرهای غنی از میکا سرخه دیده می‌شود در حالی که کلینوپیروکسن‌های لامپروفیرهای غنی از آمفیبیول هوراند و خانکندي و نیز کلینوپیروکسن‌های وابسته به جزیره‌ی اسلامی میزان بالاتری از Ti دارند و روی و یا نزدیک خط $\text{Al}^{\text{IV}}=3\text{Ti}$ قرار دارند در حالی که لامپروفیرهای غنی از میکای سرخه و نیز لامپروفیرهای غنی از آمفیبیول سرخه و خانکندي بیشتر روی خط $\text{Al}^{\text{IV}}=5\text{Ti}$ قرار دارند (شکل ۷). بر اساس این نمودار کلینوپیروکسن‌های لامپروفیرهای جزیره‌ی اسلامی و نیز غنی از آمفیبیول هوراند به سمت گستره‌ی لامپروفیرهای قرار دارند در حالی که لامپروفیرهای دیگر مورد بررسی در گستره حدوساط بین لامپروفیرهای و سنگ‌های پتاسی و آهکی-قلیایی پتاسیم بالا قرار دارند (شکل ۸). آهن فریک کلینوپیروکسن‌ها تابعی از گریزندگی اکسیژن در محیط تشکیل آنهاست که با نمودار $\text{Na}+\text{Al}^{\text{IV}}$ نسبت به $\text{Al}^{\text{VI}}+2\text{Ti}+\text{Cr}$ [۲۰، ۲۱] قابل ارزیابی است (شکل ۷). در ترکیب پیروکسن‌ها Fe^{3+} می‌تواند جانشین عناصر سه ظرفیتی مثل Cr, Ti, Al^{VI} در موقعیت هشت وجهی شود لذا فراوانی Fe^{3+} در پیروکسن‌ها بستگی به مقدار Al دارد و به عبارتی تابع موازنی آلومنیوم در موقعیت چهاروجهی و هشت وجهی است. در نمودار تغییرات $\text{Na}+\text{Al}^{\text{IV}}$ نسبت به $\text{Al}^{\text{VI}}+2\text{Ti}+\text{Cr}$

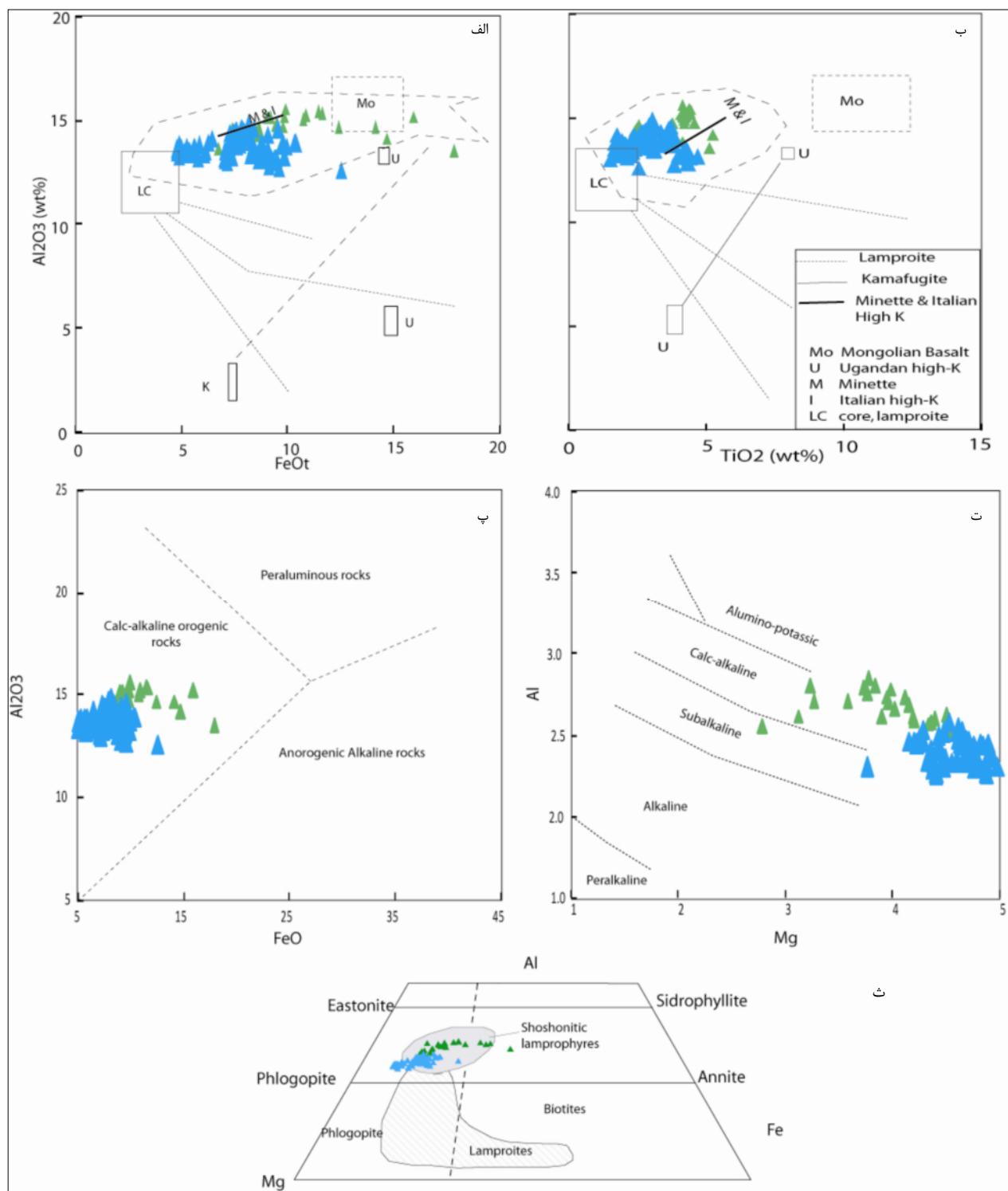
سنگ‌ها همانند سنگ‌های پتاسی و فراپتاسی ایالت رومن از گوشته لیتوسفری غنی شده و حاوی کانی فلوگوپیت و یا آمفیبول پتاسیم دار ناشی شده‌اند [۳۰]. برای برآورد شرایطی که طی آن سنگ‌های ماقمایی میزان بلورهای میکا ایجاد شده‌اند، می‌توان از ترکیب شیمیایی میکا به عنوان یک شاخص استفاده کرد. لذا برای تعیین ترکیب شیمیایی ماقمای سازنده‌ی میکاها از رده بندی‌های [۳۱، ۳۲] استفاده شده است. در این رده بندی‌ها نمونه‌های مورد بررسی در گستره‌ی آهکی-قلیایی و کوهزایی قرار دارند. در نمودار Al-Fe-Mg (شکل ۸) میکاهای آنالیز شده از لامپروفیرهای غنی از بیوتیت مورد بررسی در گستره‌ی میکاهای وابسته به لامپروفیرهای شوشونیتی (آهکی-قلیایی) قرار دارند.

کلینوپیروکسن‌های مورد بررسی در مخازن ماقمایی کم عمق متبلور شده‌اند.

با توجه به ترکیب شیمیایی کانی میکا در سنگ‌های آتشفسانی مختلف، شکل‌گیری این کانی بر اساس موقعیت زمین‌ساختی سنگ‌های دربرگیرنده مورد توجه پژوهشگران بوده و از کانی میکا با ترکیب فلوگوپیتی برای تشخیص سنگ‌های قلیایی استفاده شده است [۲۹]. مقدار TiO_2 , Al_2O_3 و FeO^t نمونه‌های میکا آنالیز شده از لامپروفیرهای غنی از میکا با سنگ‌های فراپتاسی و پتاسی شامل لامپروئیت، مینت‌ها، لویسیتیت‌ها، بازانیت‌های مغولستان، سنگ‌های پتاسی اوگاندا و نوع رومن ایتالیا مقایسه شده‌اند (شکل ۸). نمونه‌های مورد بررسی در گستره‌ی لامپروفیرهای با ترکیب مینت و سنگ‌های پتاسی و فراپتاسی نوع رومن ایتالیا قرار می‌گیرند. لذا این



شکل ۷ (الف) نمودار توزیع $\text{Al}_{\text{IV}}+\text{Al}_{\text{VI}}$ نسبت به Si [۲۱، ۲۶]، (ب) نمودار $\text{Al}_{\text{IV}}+\text{Na}$ نسبت به Ti [۲۱]، (پ) نمودار $\text{Al}_{\text{IV}}+\text{Cr}+2*\text{Ti}$ نسبت به Al_{VI} [۲۷]. علائم همانند شکل ۴ انتخاب شدند.



شکل ۸ (الف و ب) مقایسه‌ی ترکیب میکاهای لامپروفیرهای غنی از میکا با سنگ‌های پتاسی [۱۷]، (پ و ت) نمودارهای تعیین ماهیت ماقمای لامپروفیرهای مورد بررسی براساس ترکیب میکاهای [۲۹]، (ث) نمودار جدایی لامپروفیرهای مورد بررسی از لامپروئیتها [۱]، علائم همانند شکل ۴.

همچنین نقش آمفیبول در طول تفریق ماقمایی می‌تواند نقش تعیین کننده‌ای در ترکیب ماقمای باقی مانده داشته باشد. سازوکارهای جانشینی اصلی در آمفیبول‌های سنگ‌های قلیایی

ترکیب شیمیایی آمفیبول‌های سنگ‌های آذرین به طور قابل ملاحظه‌ای از انواع کلسیک تا قلیایی بر حسب ترکیب شیمیایی ماقما و شرایط ترمودینامیکی تغییر می‌کند [۳۳].

میکاهای آنالیز شده بیشتر فلوگوپیتی است ولی برخی از آنالیزهای انجام شده روی حاشیه فنوکریستها و میکاهای زمینه، ترکیب بیوتیت غنی از منیزیم را دارند. بر اساس ترکیب کلینوپیروکسن‌ها لامپروفیرهای غنی از آمفیبول، ماهیت قلیایی و لامپروفیرهای غنی از میکا ماهیت آهکی-قلیایی دارند. لامپروفیرهای غنی از آمفیبول سرخه نیز ماهیت حدواتسط را نشان داده‌اند. بر اساس ترکیب میکاهای لامپروفیرهای غنی از میکا نیز ماهیت آهکی-قلیایی دارند و در یک محیط کوهزایی جایگزین شده‌اند و قابل مقایسه با میکاهای سنگ‌های پتاسی ایالت رومن هستند. لامپروفیرهای غنی از میکا قابل مقایسه با لامپروفیرهای نوع مینت هستند. لامپروفیرهای غنی از آمفیبول نیز قابل مقایسه با لامپروفیرهای قلیایی نوع کامپتونیت هستند. لامپروفیرهای غنی از میکا از یک گوشه‌ته متاسوماتیسم شده و غنی از کانی‌های آبدار فلوگوپیت و یا آمفیبول پتابسیم‌دار شکل گرفته‌اند. لامپروفیرهای قلیایی نوع کامپتونیت نیز از یک گوشه‌ته گارنت لرزولیتی حاوی کانی‌های آبدار ایجاد شده‌اند.

قدرتانی

لازم می‌دانیم از پرسور Dejan Prelevic و Antonio Castro به‌دلیل فراهم نمودن امکان تجزیه‌های میکروپربوب تشکر و قدردانی نماییم. از داوران محترم مجله که با ارائه نکات ارزنده باعث بالا رفتن کیفیت مقاله شدند تشکر می‌نماییم.

مراجع

- [1] Rock N.M.S., "Lamprophyres", (1991) Blackie and Son, Glasgow.
- [2] Woolley A.R., Bergman S.C., Le Bas M.J., Mitchell R.H., Rock N.M.S., Scott Smith B.H., "Classification of lamprophyres, lamproites, kimberlites and the kalsilitic, melilitic and leucitic rocks", Canadian Mineralogist 34 (1996) 175–186.
- [3] Seifert T., "Metallogeny and petrogenesis of Lamprophyres in the Mid-European Variscides", (2008) IOS press, 303pp.
- [۴] آقازاده م., "پتروژئری و ژئوشیمی گرانیت‌های انزان، خان‌کندي و شیور داغ، شمال و شرق اهر، آذربایجان خاوری، با

تحت اشباع شامل $\text{Fe}^{\text{IV}}/\text{Mg}$; $\text{Fe}^{3+}/\text{Al}^{\text{IV}}$; $\text{Na}^{\text{A}}\text{Al}^{\text{IV}}/\square\text{Si}$; $\text{NaR}^{3+}/\text{CaR}^{3+}$; $\text{Na}^{\text{A}}\text{Na}/\square^{\text{A}}\text{Ca}$; $\text{R}^{3+}+\text{Al}/\text{R}^{2+}\text{Si}$; $\square\text{ATi}/\text{R}^{3+}\text{Na}^{\text{A}}$ و با توجه به فرمول ساختاری $\text{Ti}+\text{O}^{2-}/\text{R}^{3+}+\text{OH}^-$ کرسوتیت، یک جایگزینی به صورت $\text{Ti}+\text{O}^{2-}/\text{R}^{3+}+\text{OH}^-$ پیشنهاد شده است [۳۵,۳۶]. نبود همخوانی خوب بین Ti و Al در آمفیبول‌های آنالیز شده، نشان دهنده این است که سازوکار جایگزینی Ti وابسته به دما شامل سازوکار $\text{Ti}+\text{O}^{2-}/\text{Fe}^{3+}+\text{OH}^-$ است. همچنین جایگزینی $\text{Na}^{\text{M}}\text{Si}/\text{CaAl}^{\text{IV}}$ یکی از جایگزینی‌های مهم در آمفیبول‌ها بوده است. آمفیبول‌های لامپروفیرهای مورد بررسی غنی‌شدگی ناچیزی از Na و تهی‌شدگی کمی از Ca نشان می‌دهند این نشان می‌دهد که جانشینی نظری $\text{Ca}(\text{Mg},\text{Fe}^{2+})/\text{Na}^{\text{M}}\text{Fe}^{3+}$ VI انجام نشده و یا این جانشینی خیلی گسترده نبوده است. خاستگاه لامپروفیرهای قلیایی کامپتونیتی از یک گوشه‌ته گارنت لرزولیتی آبدار در نظر گرفته شده است [۱]. این چنین خاستگاهی نیز برای لامپروفیرهای قلیایی منطقه می‌تواند در نظر گرفته شود [۷,۸].

برداشت

در شمال غرب ایران و مناطق رشته ارتفاعات میشو، ارسباران و شبه جزیره‌ی اسلامی، دایک‌های لامپروفیری شناسایی شده‌اند. لامپروفیرهای مورد بررسی به دو نوع غنی از آمفیبول و غنی از میکا قابل تشخیص هستند. لامپروفیرهای غنی از آمفیبول دارای بافت پورفیری و حاوی فنوکریستهای آمفیبول، اولیوین (بیشتر به صورت شبه‌ریخت)، کلینوپیروکسن و به ندرت بیوتیت در زمینه‌ای از فلدسپار پتابسیم هیپرسولوس و پلازیوکلاز و شیشه تبلور یافته هستند. لامپروفیرهای غنی از میکا نیز دارای بافت پورفیری و حاوی فنوکریستهای میکا و کلینوپیروکسن در زمینه‌ای از فلدسپار، شیشه تبلور یافته و کانی‌های ثانویه هستند. بر اساس آنالیزهای انجام شده روی کانی‌های لامپروفیری، بلورهای آمفیبول بیشتر ترکیب کرسوتیتی دارند. بلورهای کلینوپیروکسن آنالیز شده از هر دو نوع لامپروفیرهای مورد بررسی بیشتر ترکیب دیوپسید-سالیت دارند. کلینوپیروکسن‌های لامپروفیرهای غنی از آمفیبول میزان Al_2O_3 بالاتری نسبت به نوع غنی از میکا دارند. ترکیب

amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names", The Canadian Mineralogist 35(1997) 219–246.

[13] Morimoto N., Fabrise J., Ferguson A., Ginzburg I. V., Ross M., Seifert F.A., Zussman J., Akoi K., Gottardi G., "Numenclature of pyroxenes", Mineralogical Magazine, 52 (1988) 535-55.

[14] Rieder M., Cavazzini G., Yakonov Y.D., Frank-Kanetskii V.A., Gottardi G., Guggenheim S., Koval P.V., Müller, G., Neiva A.M.R., Radoslovich E.W., Robert J.L., Sassi F.P., Takeda H., Weiss Z., Wones D.R., "Nomenclature of the micas", The Canadian Mineralogist 36 (3) (1998) 905–912.

[15] Foley S.F., "Experimental constraints on phlogopite chemistry in lamproites. II Effect of pressure-temperature variations", European Journal of Mineralogy 2 (1990) 327-341.

[16] Mitchell R.H., "Titaniferous phlogopites from the Leucite lamproites of the West Kimberley area, Western Australia", Contributions to Mineralogy and Petrology 76 (1981) 243-251.

[17] Zhang M., Suddaby P., Thompson R. N., Dungan M. A., "Barian-titanian phlogopite from potassic lavas in northeast China: chemistry and paragenesis", American Mineralogist 78 (1996) 1056-1065.

[18] Nisbet E. G., Pearce J. A., "Clinopyroxene composition in mafic lavas from different tectonic setting", Ibid. 63, (1977) 149-60.

[19] LeBas N.J., "The role of aluminium in igneous clinopyroxenes with relation to their parentage", American journal of science, 260 (1962) 267 – 88.

[20] Kushiro I., "Si-Al relation in clinopyroxenes from igneous rocks", American journal of sciences, 258 (1960) 548- 554.

[21] Schweitzer E.L., Papike J.J., Bence E., "Statistical analysis of clinopyroxenes from deep sea basalts", American Mineralogist 64 (1979) 501-513.

[22] Marcelot G., Maury R.C., Lefevre C., "Mineralogy of Erromango lava New Hebrides, Evidence of an early stage of fractionation in island arc basalts", Lithos 16, (1983) 135 -151.

نگرشی بر کانی زایی وابسته، رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس (۱۳۸۸) ۴۴۶ صفحه.

[۵] آقازاده ز.، بدرزاده ز.، "پترولوزی و پتروژنر لامپروفیرهای آلکالن و کالک آلکالن شمال غرب ایران"، فصلنامه علوم زمین، در حال انتشار (۱۳۹۲).

[۶] شیردل ن.، "بررسی های پتروگرافی و پترولوزیکی توده های نفوذی شمال شرق هوراند (شرق منجاو)، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تبریز (۱۳۸۸) ۱۵۰ صفحه.

[7] Aghazadeh M., Castro A., Rashidnejad Omran N., Emami M. H., Moinvaziri H., Badrzadeh Z., "The gabbro (shoshonitic)-monzonite-granodiorite association of Khankandi pluton, Alborz Mountains, NW, Iran", Journal of Asian Earth Sciences 38 (2010) 199–219.

[8] Hajalilou B., Moayyed M., Hosseinzadeh G., "Petrography, geochemistry and geodynamic environment of potassic alkaline rocks in Eslamy peninsula, northwest of Iran", Journal of Earth System Science 118, No. 6 (2009) 643–657.

[9] Moayyed M., Moazzen M., Calagari A. A., Jahangiri A., Modjarrad M., "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 (2008) 141-154.

[10] Bea F., Montero P., Molina J. F., "Mafic precursors, peraluminous granitoids, and late lamprophyres in the Avila Batholith: a model for the generation of Variscan batholiths in Iberia", Journal of Geology 107 (1999) 399-419.

[11] Bouabdli A., Dupuy C., Dostal J., "Geochemistry of Mesozoic alkaline lamprophyres and related rocks from the Tamazeght massif, High Atlas, Morocco", Lithos 22 (1988) 43-58.

[12] Leake B.E., Woolley 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., Youzhi G., "Nomenclature of amphiboles; report of the subcommittee on

- [30] Carlier G., Lorand J.P., Audebaud E., Kienast J.R., "Petrology of unusual orthopyroxene-bearing minette suite From southeastern Peru, Eastern Andean Cordillera: Al-rich lamproites contaminated by peraluminous granites", Journal of Volcanology and Geothermal Research 75 (1997) 59-87.
- [31] Abdel-Rahman A.M., "Nature of biotites from alkaline, calc-alkaline, and peraluminous magmas", Journal of Petrology 35 (2) (1994) 525-541.
- [32] Nachit H., Ibhi A., Abia E.H., Ohoud M.B., "Discrimination between primary magmatic biotites, reequilibrated biotites and neofomed biotites", Geomaterials (Mineralogy), Comptes Rendus, Geoscience 337 (2005) 1415–1420.
- [33] Fabries J., "Les types paragénétiques des amphiboles sodiques dans les roches magmatiques", Bulletin of Mineralogy 101 (1978) 155-165.
- [34] Giret A., Bonin B., kger J.M., "Amphibole compositional trends in oversaturated and undersaturated alkaline plutonic ring-complexes" The Canadian Mineralogist, 18 (1980) 481-495.
- [35] Stephenson D., Upton B.G.J., "Ferromagnesian silicates in a differentiated alkaline complex: Kungnat Field, south Greenland", Mineralogical Magazine 46 (1982) 283-300.
- [23] Shi P., "Low-pressure phase relationships in the system $Na_2O-CaO-FeO-MgO-Al_2O_3-SiO_2$ at 1100°C, with implications for basaltic magmas", Journal of Petrology 34 (1993) 743-762.
- [24] Sisson T., Grove T., "Experimental investigations of the role of H_2O in calc-alkaline differentiation and subduction zone magmatism", Contribution to Mineralogy and Petrology 113 (1993) 143-166.
- [25] Wass S.Y., "Multiple origins of clinopyroxenes in alkali basaltic rocks", Lithos 12 (1979) 115-132.
- [26] Conticelli S., "Effects of crustal contamination on ultra potassic magmas with lamproitic affinity: mineralogical, geochemical and isotope data from the Torre Alfina lavas and xenoliths, central Italy", Chemical Geology 149 (1998) 51-81.
- [27] Aoki K., Shiba I., "Pyroxene from lherzolite inclusions of Itinomegata, Japan", Lithos 6(1973)41-51.
- [28] Green T.H., Ringwood A. E., "Crystallization of garnet-bearing rhyodacite under high-pressure hydrous conditions", Journal of Geological Society of Australia 19 (1972) 203–212.
- [29] Holm P.M., "Mineral chemistry of perpotassic lavas of the Vulsinian district, the Roman Province, Italy," Mineralogical Magazine 46 (1982) 379-386.