



کانی‌شناسی و بلورشیمی لامپروفیرهای شمال غرب ایران

مهرج آقازاده^{*}، زهرا بدرزاده

گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام‌نور، ایران

(دریافت مقاله: ۹۲/۳/۱۳، نسخه 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 آمفیبول قابل تقسیم‌اند. لامپروفیرهای غنی از آمفیبول شامل فنوکریست‌های آمفیبول، شبه‌ریخت اولیون، کلینوپیروکسن در زمینه‌ای از فلدسپار و شیشه دگران شده هستند. لامپروفیرهای غنی از میکا شامل فنوکریست‌های میکا، کلینوپیروکسن هستند که در زمینه‌ای از فلدسپار و شیشه قرار دارند. ترکیب بلورهای آمفیبول بیشتر کرسوتیتی، میکاها فلوگوپیتی و کلینوپیروکسن‌ها از نوع دیوپسید - سالت هستند. کلینوپیروکسن‌های لامپروفیرهای غنی از آمفیبول در مقایسه با لامپروفیرهای غنی از میکا حاوی اکسید آلومینیوم بالایی هستند. بر اساس ترکیب کانی‌ها، ماگمای به وجود آورنده لامپروفیرهای مورد بررسی میزان گریزندگی اکسیژن بالایی داشته و این ماگما 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 آمفیبول ماهیت قلیایی و از نوع کامپتونیت هستند. لامپروفیرهای غنی از میکا از یک گوشته لیتوسفری غنی شده در اثر عوامل فرورانشی و حاوی فلوگوپیت و یا آمفیبول پتاسیم‌دار در یک محیط کوهزایی ایجاد شده‌اند. لامپروفیرهای غنی از آمفیبول احتمالاً از یک گوشته‌ی لرزولیتی حاوی کانی‌های آبدار منشاء گرفته‌اند.

واژه‌های کلیدی: کانی‌شناسی، بلور شیمی، لامپروفیر، شمال غرب ایران.

مقدمه

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 بیرون‌زدگی‌های متعددی از سنگ‌های لامپروفیری با ماهیت مختلف حضور دارند [۴-۹]. بر اساس بررسی‌های قبلی و بررسی‌های صحرایی اخیر، آنها را به دو گروه مهم آهکی - قلیایی (غنی از میکا) و قلیایی (غنی از آمفیبول) قابل تقسیم‌اند [۴-۹] بیرون‌زدگی‌های لامپروفیرها عمدتاً در مناطق ارسباران، شبه جزیره‌ی اسلامی و کوه‌های میشو مشاهده شده‌اند (شکل ۱). در این پژوهش کانی‌شناسی و بلورشیمی 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.

لامپروفیرها شاخه‌ای از سنگ‌های قلیایی غنی از CO_2 و H_2O هستند که دامنه‌ی ترکیبی سدیک تا پتاسیک و اولترابازی تا متوسط دارند [۱]. این سنگ‌های نیمه عمیق مزوکرات تا ملانوکرات با بافت پانیدیومورف، حاوی درشت بلورهای فراوان از کانی‌های فرومنیزین هستند. در این سنگ‌ها معمولاً فلدسپارها در زمینه و به صورت ریز بلور حضور دارند [۱، ۲]. معمولاً لامپروفیرها از نفوذی‌های پس از زمین‌ساختی (Post-Tectonic) هستند که به صورت دایک و یا سیل تشکیل می‌شوند. این سنگ‌ها بر حسب سرشت ماگمایشان به انواع قلیایی، آهکی قلیایی، اولترامافیک و لامپروئیتی 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، نمابر: ۰۴۷۱۲۲۲۲۰۱۶، پست الکترونیکی: Mehrajaghazadeh@yahoo.com

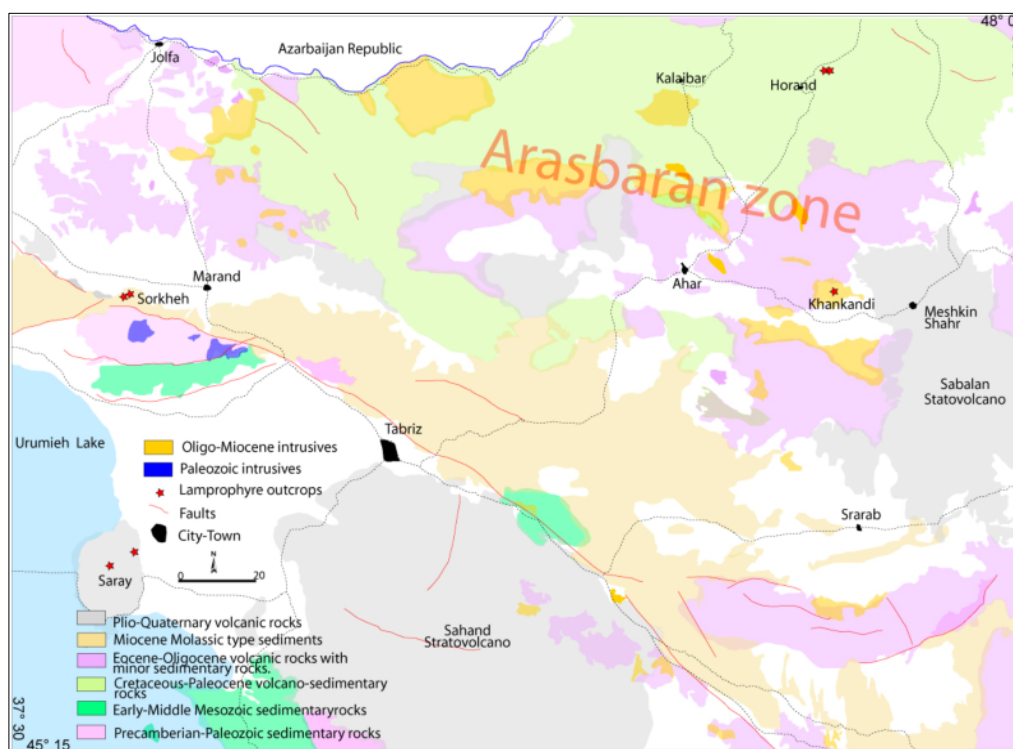
روش بررسی

برای ارزیابی ویژگی‌های لامپروفیرهای مورد بررسی، پس از بررسی‌های صحرایی گسترده 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 کانی‌ها به وسیله‌ی JEOL JSM و JEOL JXA 8900RL 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. استانداردهای استفاده شده برای کالبراسیون عبارتند از آل‌بیت برای عناصر Na, Si, Al، ولاستونیت برای Ca, Si، NiO برای Ni، کاردوم برای Al، Cr_2O_3 برای Cr، آندرادیت برای Fe و Ca، MnTiO_3 برای Mn، پریکلز برای Mg، ارتوکلز برای K، مگنتیت برای Fe و آپاتیت برای P.

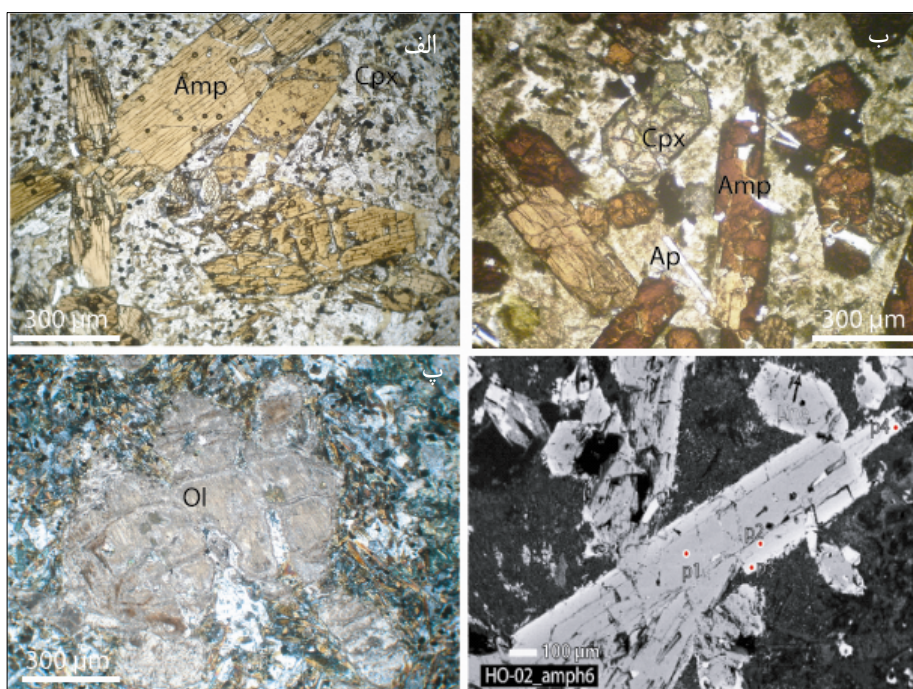
سنگ نگاری

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

بخش‌های مرکزی سیل رخمون 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 [۱، ۱۰]. در لامپروفیرهای غنی از آمفیبول کانی‌های آمفیبول قهوه‌ای، کلینوپیروکسن و اولیوین به‌صورت فنوکریست حضور دارند (شکل ۲). در این لامپروفیرها آمفیبول‌های قهوه‌ای فراوان‌ترین کانی فرومنیزین را تشکیل می‌دهند. این بلورها بیشتر خود شکل و سوزنی هستند و مراکز قهوه‌ای رنگ پریده تا زرد و با کرانه‌های قهوه‌ای تا قهوه‌ای تیره دارند. گاهی بلورهای آمفیبول قهوه‌ای 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 میکا نیز همراه با کانی‌های مافیک اصلی مشاهده می‌شوند. لامپروفیرهای غنی از آمفیبول سرخه مرنده و خانکندی دارای بلورها و شبه‌ریخت‌هایی 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



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

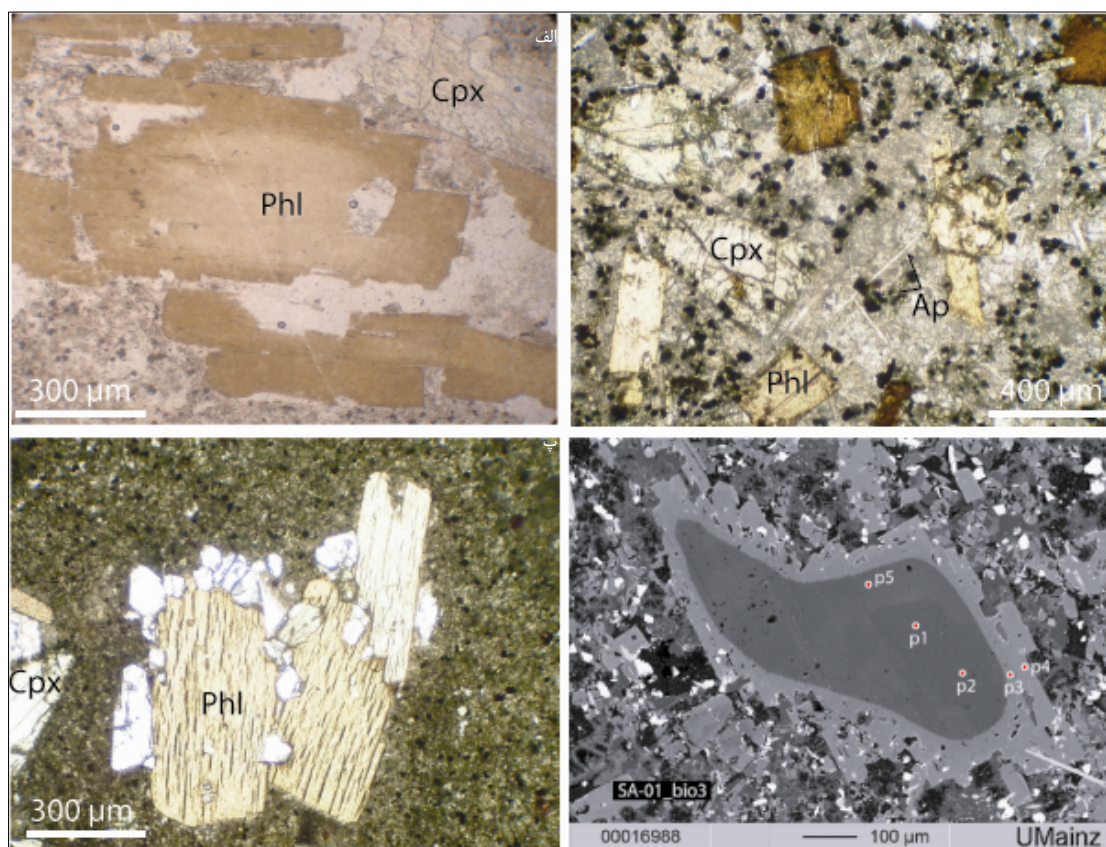


شکل ۲ تصاویر میکروسکوپی از لامپروفیرهای غنی از آمفیبول، (الف) آمفیبول‌های درشت بلور خود شکل در لامپروفیرهای خانکندی، (ب) بافت پورفیری با درشت بلورهای آمفیبول و پیروکسن و نیز تیغه‌هایی از آپاتیت در لامپروفیرهای غنی از آمفیبول سرخه (ت) شبه‌ریخت اولیون در لامپروفیرهای خانکندی، (ث) تصویر بک اسکتر از بافت 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 میکای 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 خود شکل حضور دارند و گاهی همراه با بلورهای میکا بافت گلوپورفیری 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 هیپرسولوس پلاژیوکلاز و قلیایی هستند. در برخی مقاطع بلورهای قلیایی 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 ماگما می‌شوند که اغلب باعث حذف بافت‌های اولیه و دگرسانی کانی‌های اولیه می‌شود [۱]. همچنین وجود گلبول‌هایی از کانی‌های فلسیک همراه با کربنات و کانی‌های آبدار فراوان در لامپروفیرهای مورد بررسی، نشان دهنده این است که ماگمای لامپروفیری از شاره‌ها غنی بوده است [۱۱] گلبول‌ها در واقع مذاب‌های فلسیک امتزاج ناپذیرند [۱۰، ۱۱].

لامپروفیرهای غنی از میکا در منطقه‌ی سرخه‌ی مرند و جزیره‌ی اسلامی رخنمون 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 گلوپورپورفیری با بلورهای فلوگوپیت، کلینوپیروکسن و آپاتیت در لامپروفیرهای جزیره اسلامی، ت) تصویر یک اسکتر با درشت بلور فلوگوپیت و نقاط آنالیز شده.

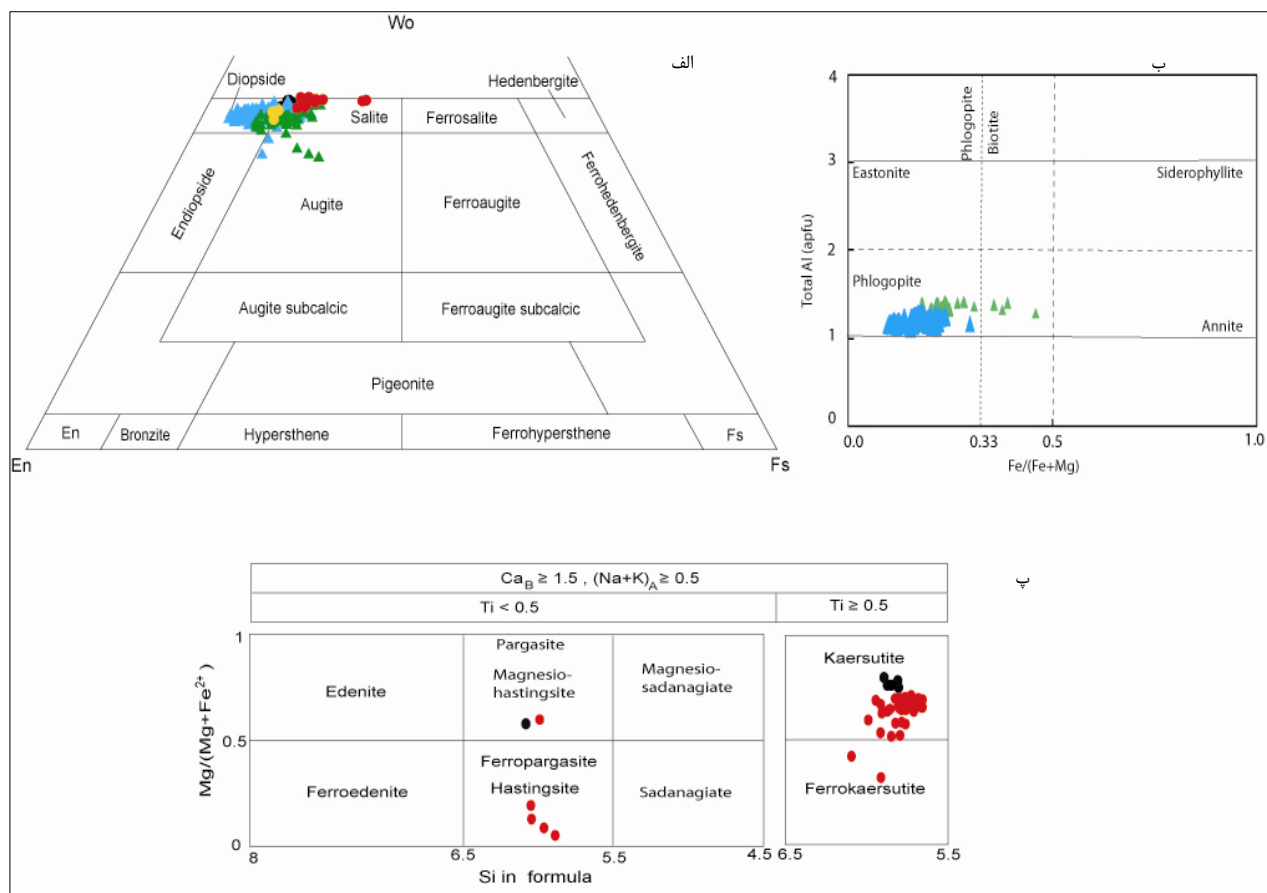
بلور شیمی

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 نظیر تیتانومگنتیت در مراحل نهایی تبلور توجه 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 منطقه‌ی خانکندی کمی بالاتر از منطقه‌ی هوراند است (جدول ۱). در بلورهای آمفیبول آنالیز شده، تغییرات خاصی در شیمی بلورها مشاهده می‌شود به طوری 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

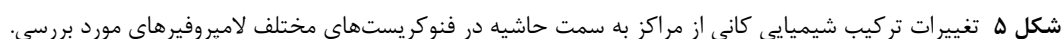
کانی‌های مختلف در انواع لامپروفیرها مورد بررسی نقطه‌ای قرار گرفتند. آمفیبول‌های بررسی شده جزء گروه آمفیبول‌های کلسیک هستند [۱۲] به طوری که در آنها $B(Mg, Fe^{2+})$ کلسیک هستند $(Na, Ca)_A \geq 0.5$ و $B(Na, Ca) \geq 0.5$ و $Mn^{2+}, Li \leq 0.5$ است. بر اساس تقسیم‌بندی ارائه شده برای آمفیبول‌های کلسیک 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 مراکز 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 خانکندی $Wo_{46-50}, En_{38-42}, Fs_9$ ، سرخه $Ac_{2-5}, Wo_{46-48}, En_{38-42}, Fs_{10-21}, Ac_{1-3}$ ، هوراند $Wo_{45-48}, En_{37-44}, Fs_{8-13}, Ac_{1-2}$ و لامپروفیرهای غنی از میکا سرخه $Wo_{40-49}, En_{35-46}, Fs_{7-17}, Ac_{0.8-2.5}$ است (جدول ۱). میزان SiO_2 در لامپروفیرهای آمفیبول دار سرخه بیش از لامپروفیرهای خانکندی و هوراند است (جدول ۱). میزان TiO_2 ، FeO ، Al_2O_3 در کلینوپیروکسن‌های لامپروفیرهای غنی از آمفیبول هوراند و خانکندی 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، منیزیم، 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 غنی از آمفیبول و غنی از میکا از نوع (Fe, Mg, Ca) Quad هستند [۱۳] و در این بلورها میزان $Q(Fe^{2+}+Mg+Ca)$ عموماً بیش از ۱/۶۵ میزان $J(2Na)$ کمتر از ۰/۱۷ است. بلورهای کلینوپیروکسن بررسی شده چنانکه در شکل ۵ دیده می‌شود عموماً ترکیب دیوپسید تا سالیست را دارند ولی برخی از آنالیزهای انجام شده از حاشیه‌ی 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 کلینوپیروکسن‌ها بر اساس [۱۳] (ب) ترکیب میکاها بر اساس [۱۴] و (پ) ترکیب آمفیبول‌ها بر اساس [۱۲]. علایم: دایره سیاه: لامپروفیرهای آمفیبول دار خانکندی، 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.



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

[illegible]

کلینوپیروکسن‌های لامپروفیرهای غنی از میکا میزان SiO_2 و MgO بالاتر و TiO_2 , Al_2O_3 و FeO پایین‌تری در مقایسه با لامپروفیرهای غنی از آمفیبول خانکندی 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 حدواسط بین دو گروه اصلی و بین ۲ الی ۶ درصد در تغییر است.

آنالیزهای انجام گرفته روی کالینوپروکسن‌های لامپروفیرهای غنی از میکای جزیره‌ی اسلامی و سرخه نشان می‌دهد که کالینوپروکسن‌های لامپروفیرهای غنی از میکا سرخه مرند میزان SiO_2 , MgO بیشتر و میزان TiO_2 , FeO و Al_2O_3 کمتر دارند. آنالیزهای انجام گرفته روی بلورهای کالینوپروکسن در لامپروفیرهای غنی از آمفیبول هوراند و سرخه مرند نشان می‌دهد که از مرکز به حاشیه فراوانی اکسیدهای TiO_2 , FeO , Al_2O_3 افزایش و میزان اکسیدهای SiO_2 کاهش می‌یابد (شکل ۵). هر چند آشفته‌گی‌هایی 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 کالینوپروکسن‌های جزیره‌ی اسلامی در بلورهای کالینوپروکسن سرخه مرند به روشنی دیده نمی‌شود.

بیوتیت‌ها در واقع سری‌های محلول جامد بین چهار عضو انتهایی هستند. چهار عضو انتهایی شامل آنیت $\text{KFe}_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}[(\text{OH})_2]$ ، فلوگوپیت $\text{KMg}_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ ، سیدروفیلیت

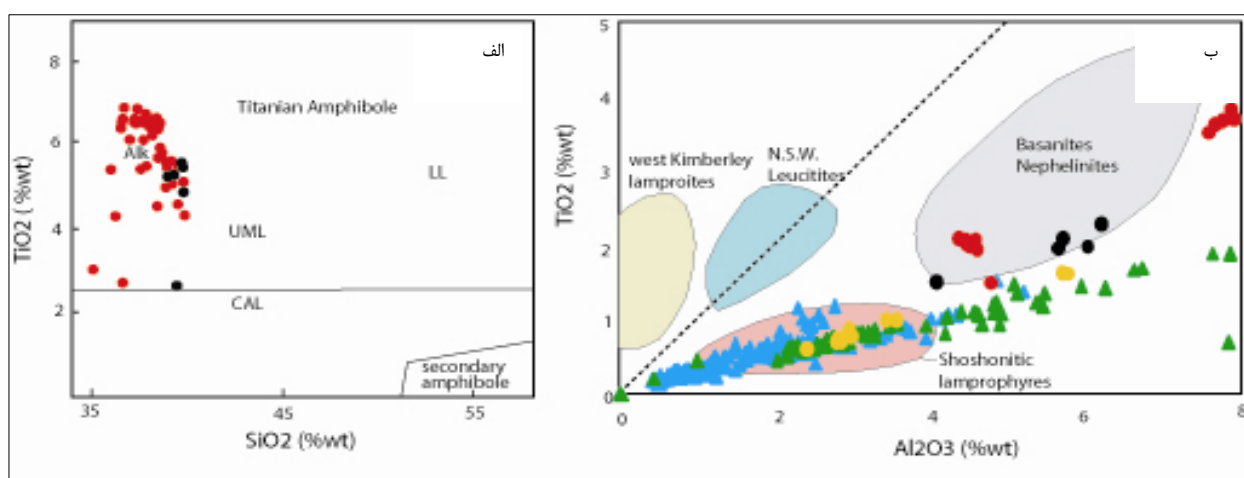
تونیّت [KFe₂Al(Al₂Si₂O₁₀)(OH)₂] و اســـــتونیّت [KMg₂Al(AlSi₂O₁₀)(OH)₂] هستند و این ترکیبها حول محورهاى قائم و افقى به ترتیب شامل تبادل Mg-Fe و تبادل (Mg,Fe)Si-Al^{VI} (یا جانشینی چرماک) در ارتباط هستند [۱۴]. ترکیب میکاهای بررسی شده در نمودار Fe/(Fe+Mg) نسبت به Al^{IV}، در گستره‌ی فلوگوپیت قرار می‌گیرد و نسبت Mg/(Mg+Fe) در آنها عموماً بیش از ۰٫۷۷ است ولی برخی آنالیزهای انجام شده در حاشیه‌ی 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 می‌دهند 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 (۰٫۵۲-۰٫۸۳). میزان TiO₂, FeO, Na₂O در میکاهای لامپروفیرهای سرخه مرند بیشتر و فراوانی SiO₂, MgO, K₂O, BaO, F پایین تر از میکاهای آنالیز شده در لامپروفیرهای جزیره اسلامی است. بلورهای میکا در لامپروفیرهای میکادار، منطقه بندی ترکیبی شاخصی را نشان می‌دهند. در این بلورها از مرکز به حاشیه بر میزان Na₂O, FeO, Na₂O افزوده و از میزان SiO₂, K₂O, MgO کاسته می‌شود. تغییر ترکیب مشاهده شده می‌تواند با کاهش دمای تبلور در ارتباط باشد [۱۵]. در آنالیزهای انجام شده روی میکاها انطباق منفی بین #Mg و TiO₂ وجود دارد به طوری که با کاهش #Mg میزان TiO₂ افزایش چشمگیری می‌یابد. این تطابق منفی بین #Mg و FeO و Al₂O₃ نیز مشاهده می‌شود. میزان #Mg در میکاهای لامپروفیرهای جزیره اسلامی بالاتر از لامپروفیرهای منطقه‌ی سرخه مرند است. TiO₂ در بخش‌های حاشیه‌ای بلورهای فنوکریست و نیز در بلورهای زمینه نسبت به بخش‌های مرکزی فنوکریستها مقادیر بالاتری را نشان می‌دهند، به طوری که مقادیر این اکسید در بخش‌های حاشیه‌ای فنوکریستها 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

گروه مهم آهکی-قلیایی (شوشونیتی)، قلیایی و الترامافیک تقسیم‌بندی شده‌اند [۱]. لامپروفیرهای غنی از آمفیبول مورد بررسی با توجه به حضور آمفیبول نوع کرسوتیتی و نیز پلاژیوکلاز بیشتر نسبت به فلدسپار قلیایی در زمینه و عدم حضور فوئیدهای غنی از سدیم و لوسیت 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 لوسیت در آن‌ها می‌توانند جزء لامپروفیرهای آهکی-قلیایی و نوع مینت محسوب شوند. بر اساس ترکیب بلورهای آمفیبول، لامپروفیرهای غنی از آمفیبول سرشت قلیایی دارند. این ویژگی با توجه به حضور TiO_2 بالا در آمفیبول‌های موجود در لامپروفیرهای غنی از آمفیبول استنتاج می‌شود (شکل ۶ جدول ۱). براساس ترکیب کلینوپیروکسن‌ها تمایز خوبی بین لامپروفیرهای غنی از آمفیبول و غنی از میکا مورد بررسی وجود دارد. لامپروفیرهای غنی از آمفیبول 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 آمفیبول‌دار منطقه سرخه‌ی مرنده سرشت قلیایی تا آهکی-قلیایی را نشان می‌دهند (شکل ۶).

بررسی‌های تجربی انجام شده روی ماگماهای 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 ۲/۳۴ 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 تا ۰/۲۲۵ درصد و میزان فلوئور 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 آمفیبول و میکا، عدم حضور فلدسپار به صورت فنوکریست، حضور آمفیبول‌ها 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 آمفیبول‌ها، ب) ترکیب کلینوپیروکسن‌ها [۱] و علائم همانند شکل ۴ است.

کوشش‌های زیادی در شناخت رابطه‌ی بین ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسن‌های آذرین با ماهیت و ترکیب شیمیایی سنگ‌های میزبان آن‌ها صورت گرفته است [۱۸]. پژوهشگران نشان دادند که محتوی Al و Ti کلینوپیروکسن‌ها از یک طرف به فعالیت سیلیس ماگمایی که از آن متبلور شده‌اند وابسته بوده و از طرف دیگر به نسبت این عناصر بستگی دارد که در انواع ماگماهای توله ایتی، قلیایی و پراآلکالن به ترتیب افزایش یابد [۲۰، ۱۹]. 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 آمفیبول هوراند و خاکنددی 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 آمفیبول سرخه و خاکنددی 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 آمفیبول هوراند به سمت گستره‌ی لامپروئیت‌ها قرار دارند در حالی که لامپروفیرهای دیگر مورد بررسی در گستره حدواسط بین لامپروئیت‌ها 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 $\text{Al}^{\text{VI}}+2\text{Ti}+\text{Cr}$ [۲۱، ۲۰] 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^{VI} دارد و به عبارتی تابع موازنه‌ی آلومینیوم در موقعیت چهاروجهی و هشت وجهی است. در نمودار تغییرات $\text{Na}+\text{Al}^{\text{IV}}$ نسبت به $\text{Al}^{\text{VI}}+2\text{Ti}+\text{Cr}$

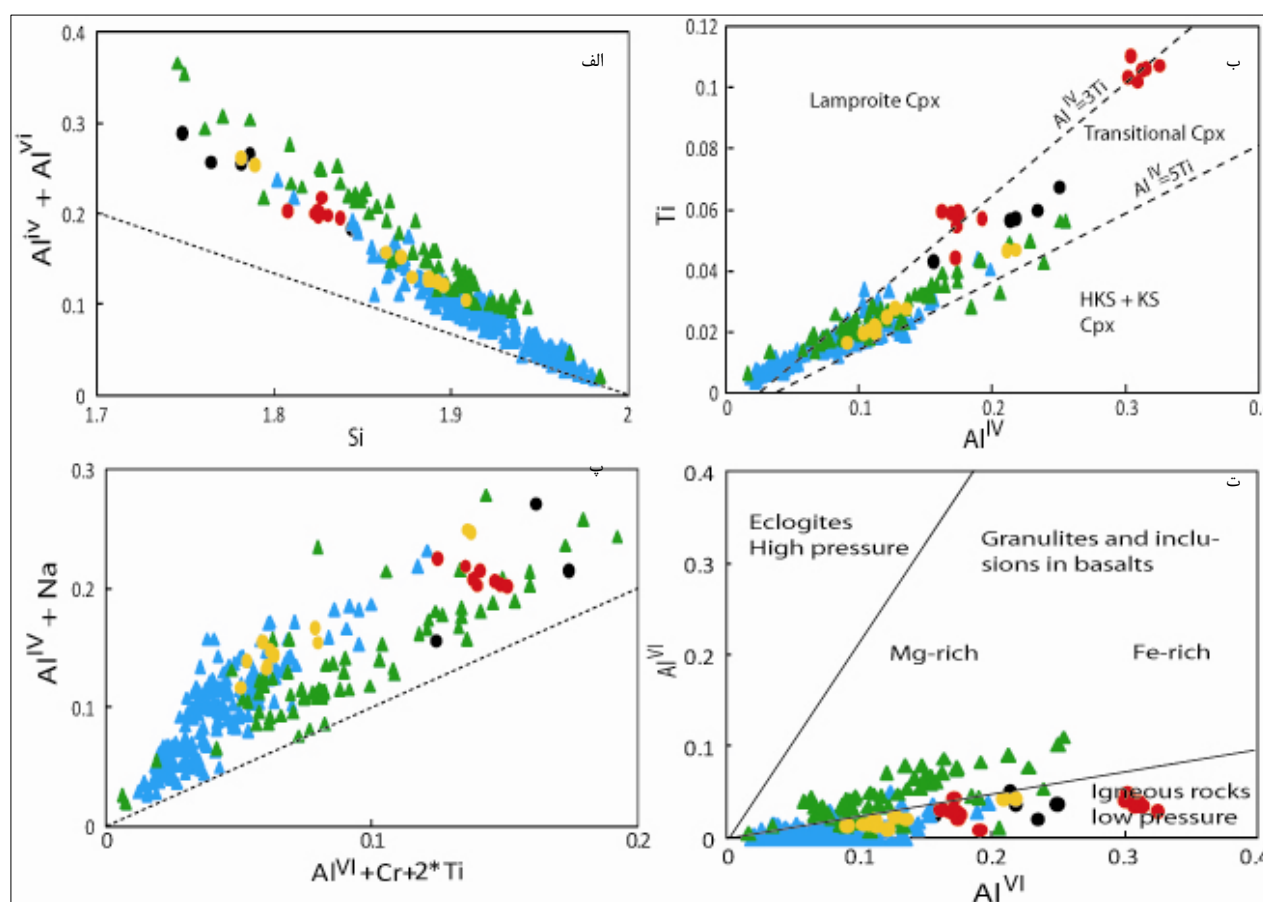
خطی که از نقاط موازنه $\text{Na}+\text{Al}^{\text{IV}}$ با $\text{Al}^{\text{VI}}+2\text{Ti}+\text{Cr}$ می‌گذرد معرف $\text{Fe}^{3+}=0$ است. لذا قرارگیری نمونه‌ها در بالا و یا زیر این خط به ترتیب نشانگر زیاد و یا کم بودن گریزندگی اکسیژن در محیط تشکیل پیروکسن‌ها است. در این نمودار نمونه‌های مورد بررسی لامپروفیرهای غنی از میکا و غنی از آمفیبول 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 ماگمای 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 ماگمای لامپروفیرهای مورد بررسی با وجود کلینوپیروکسن‌های غنی از کلسیم به جای اولیون نیز مشخص می‌شود. به طوری که پیروکسن‌های با کلسیم کم از ماگمای 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 آمفیبول، 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 فشار پایین با واکنش $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_6=\text{CaAl}_2\text{SiO}_6+\text{SiO}_2$ کنترل می‌شود [۲۸]. واکنش اول در عمق زیاد و در حدود ۱۲۰ کیلومتری (حاوی گارنت پریدوتیت) و واکنش دوم در عمق کمتر از ۴۰ کیلومتری روی می‌دهد با این وصف

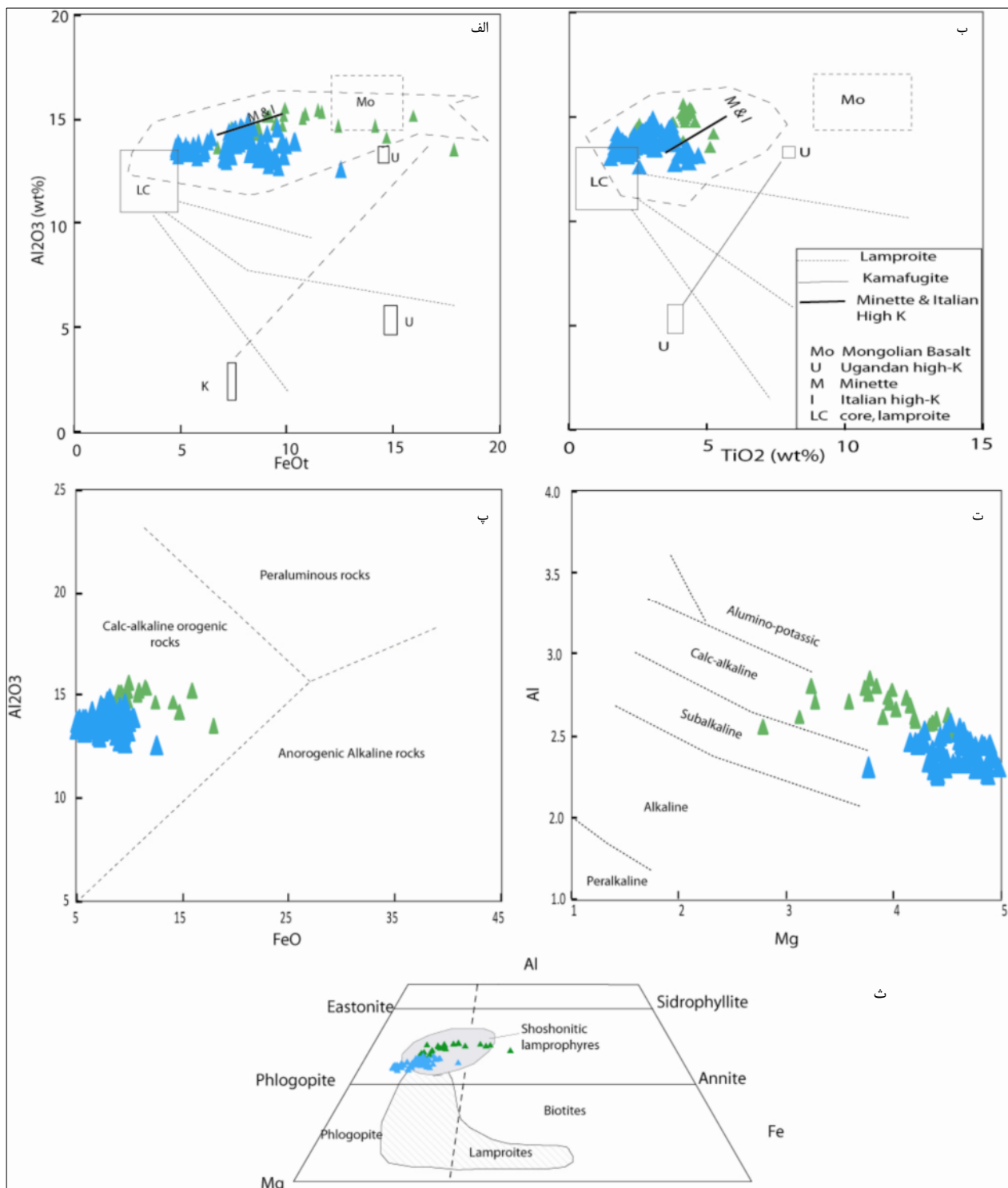
سنگ‌ها همانند سنگ‌های پتاسی و فراپتاسی ایالت رومن از گوشته لیتوسفری غنی شده و حاوی کانی فلوگوپیت و یا آمفیبول پتاسیم دار ناشی شده‌اند [۳۰]. برای برآورد شرایطی که طی آن سنگ‌های ماگمایی میزبان بلورهای میکا ایجاد شده‌اند، می‌توان از ترکیب شیمیایی میکا به عنوان یک شاخص استفاده کرد. لذا برای تعیین ترکیب شیمیایی ماگمای سازنده-ی 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 ماگمایی کم عمق متبلور شده‌اند.

با توجه به ترکیب شیمیایی کانی میکا در سنگ‌های آتشفشانی 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]. مقادیر 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، لوپسیتیت‌ها، 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 Al^{IV} نسبت به Si [۲۱]، (ب) نمودار Ti نسبت به Al^{IV} [۱۶، ۲۶]، (پ) نمودار $\text{Al}^{\text{IV}} + \text{Na}$ نسبت به $\text{Al}^{\text{VI}} + \text{Cr} + 2 \cdot \text{Ti}$ [۲۱]، (ت) نمودار توزیع آلومینیوم در موقعیت چهاروجهی و هشت وجهی [۲۷]. علایم 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 ماگمای لامپروفیرهای مورد بررسی براساس ترکیب میکاها [۲۹]، ث) نمودار جدایی لامپروفیرهای مورد بررسی از لامپروئیت‌ها [۱]، علائم همانند شکل ۴.

همچنین نقش آمفیبول در طول تفریق ماگمایی می‌تواند نقش تعیین کننده‌ای در ترکیب ماگمای 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 ماگما 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 حدواسط را نشان داده‌اند. بر اساس ترکیب میکاها 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 گوشته متاسوماتیسم شده و غنی از کانی‌های آبدار فلوگوپیت و یا آمفیبول پتاسیم‌دار شکل گرفته‌اند. لامپروفیرهای قلیایی نوع کامپتونیت نیز از یک گوشته‌ی گارنت لرزولیتی حاوی کانی‌های آبدار ایجاد شده‌اند.

قدردانی

لازم می‌دانیم از پرفسور Antonio Castro و Dejan Prelevic به‌دلیل فراهم نمودن امکان تجزیه‌های میکروپروب 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., "پترولوژی و ژئوشیمی گرانیتوئیدهای انزان، خان کندی و شیور داغ، شمال و شرق اهر، آذربایجان خاوری، با

تحت اشباع شامل Fe/Mg ; $\text{Fe}^{3+}/\text{Al}^{\text{IV}}$; $\text{Na}^{\text{Al}}/\text{Al}^{\text{IV}}/\square/\text{Si}$; $\text{NaR}^{3+}/\text{CaR}^{3+}$; $\text{Na}^{\text{Al}}/\text{Na}/\square/\text{Ca}$; $\text{R}^{3+}+\text{Al}/\text{R}^{2+}/\text{Si}$; Ti/Si ; $\square/\text{Ti}/\text{R}^{3+}/\text{Na}^{\text{Al}}$ کرسوتیت، یک جایگزینی به صورت $\text{Ti}+\text{O}^{2-}/\text{R}^{3+}+\text{OH}^-$ پیشنهاد شده است [۳۵،۳۴]. نبود همخوانی خوب بین Ti و Al در آمفیبول‌های آنالیز شده، نشان دهنده‌ی این است که سازوکار جایگزینی Ti وابسته به دما شامل سازوکار $\text{Ti}+\text{O}^{2-}/\text{R}^{3+}+\text{OH}^-$ است. همچنین جایگزینی $\text{Na}^{\text{M}}/\text{Si}/\text{Ca}/\text{Al}^{\text{IV}}$ 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 نظیر $\text{Na}^{\text{M}}/\text{Fe}^{3+}$ ($\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})$) انجام نشده و یا این جانشینی خیلی گسترده نبوده است. خاستگاه لامپروفیرهای قلیایی کامپتونیتی از یک گوشته‌ی گارنت لرزولیتی آبدار در نظر گرفته شده است [۱]. این چنین خاستگاهی نیز برای لامپروفیرهای قلیایی منطقه می‌تواند در نظر گرفته شود [۷،۵].

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 پتاسیم هیپرسولوس و پلاژیوکلاز 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-سالیبت 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., Fabrice J., Ferguson A., Ginzburg I. V., Ross M., Seifert F.A., Zussman J., Akoi K., Gottardi G., "Nomenclature 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 م، بدرزاده ز، "پترولوژی و پتروژنز لامپروفیرهای آلکالن و کالک آلکالن شمال غرب ایران"، فصلنامه علوم زمین، در حال انتشار (۱۳۹۲).

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

[7] Aghazadeh M., Castro A., Rashidnejad Omran N., Emami M. H., Moivaziri 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., Modjarad 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 neoformed biotites", Geomaterials (Mineralogy), Comptes Rendus, Geoscience 337 (2005) 1415-1420.
- [33] Fabries J., "Les types paragenetiques des amphiboles sodiques dans les roches magmatiques", Bulletin of Mineralogy 101 (1978) 155-165.
- [34] Giret A., Bonin B., Kiger 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 $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{FeO}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ 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.