



کاربرد شیمی کانی پلاژیوکلاز در بررسی روند تبلور ماگمای توده‌های نفوذی راونج (شمال شرق دلیجان)

محبوبه جمشیدی بدر^{۱*}، مهناز خادمی پارسا^۲، فریبرز مسعودی^۲

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام نور، صندوق پستی ۴۶۹۷-۱۹۳۹۵ تهران، ایران

۲- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

(دریافت مقاله: ۹۷/۱/۲۰، نسخه نهایی: ۹۷/۷/۲)

چکیده: توده‌های نفوذی راونج با ترکیب تونالیت، کوارتز دیوریت و میکروکوارتز دیوریت در غرب روستای راونج، شمال شرق دلیجان و در پهنه اورمیه- دختر برونزد دارند. پلاژیوکلازها در سه اندازه متفاوت درشت، متوسط و ریزبلور در ترکیب‌های مختلف توده نفوذی راونج دیده می‌شوند. بیشتر بلورهای درشت دارای منطقه‌بندی هستند و ماکل‌های چندریخت و پیراشیب در بلورهای متوسط بلور و ریزبلور دیده می‌شوند. نبود میانبارها در مرکز پلاژیوکلازها و تغییرات آنورتیت (An) با روند خطی نسبت به K_2O نشان‌دهنده‌ی این است که پلاژیوکلازها فاز اصلی ماگمایی هستند. شیمی پلاژیوکلازها با ماکل چندریخت در گستره‌ی $An_{۳۰.۱۹۶}$ تا $An_{۵۸.۱۷۵}$ است و روند تغییرات آهن کل با An در این پلاژیوکلازها یکسان هستند که حالت تبلور عادی همراه با تعادل دمایی را مشخص می‌کنند. شیمی پلاژیوکلازهای زونه با منطقه‌بندی نوسانی از لبه تا لبه بلور بررسی شده که به ترتیب کمترین و بیشترین مقدار An در توده‌های میکروکوارتز دیوریتی $An_{۳۶.۱۵۸} - An_{۶۰.۱۹۴}$ و تونالیتی $An_{۴۱.۹۲} - An_{۵۴.۱۲}$ است. روند تغییرات An و عناصر Fe, Mg و Ti در بلورهای دارای منطقه‌بندی پلاژیوکلازها از لبه به لبه بلور روند نوسانی نشان می‌دهند که وجود این تغییرات در پلاژیوکلازهای توده‌های راونج یک روند تبلور جدایش ماگمایی همراه با بارگزاری متوالی ماگمای مافیک‌تر در حالت تعادل دمایی را مشخص می‌کند. تغییرات برآمده از بارگزاری ماگمای مافیک‌تر در مرکز توده‌های نفوذی راونج نسبت به لبه آن بیشتر است.

واژه‌های کلیدی: شیمی پلاژیوکلاز، بارگزاری ماگمایی، توده‌های نفوذی راونج، پهنه اورمیه-دختر.

مقدمه

Ti تابع تغییرات ترکیب شیمیایی ماگما هستند، اما تغییرات این عناصر در ساختار پلاژیوکلاز نسبت به مقدار آنورتیت (An) کمتر وابسته به تغییرات فشار، مقدار آب و دمای ماگما است [۱۰، ۱۹، ۲۴-۲۱].

توده نفوذی راونج با ترکیب اسیدی تا حدواسط در منطقه‌ی دلیجان، در بخش میانی کمربند ماگمایی ارومیه- دختر برونزد دارد. کانی‌های اصلی این توده شامل کانی‌های پلاژیوکلاز، هورنبلند، بیوتیت، کوارتز، فلدسپارتاسیم و کانی‌های فرعی اسفن، آپاتیت، زیرکن و کانی‌های کدر است. کانی پلاژیوکلاز در توده نفوذی راونج از کانی‌های اصلی است

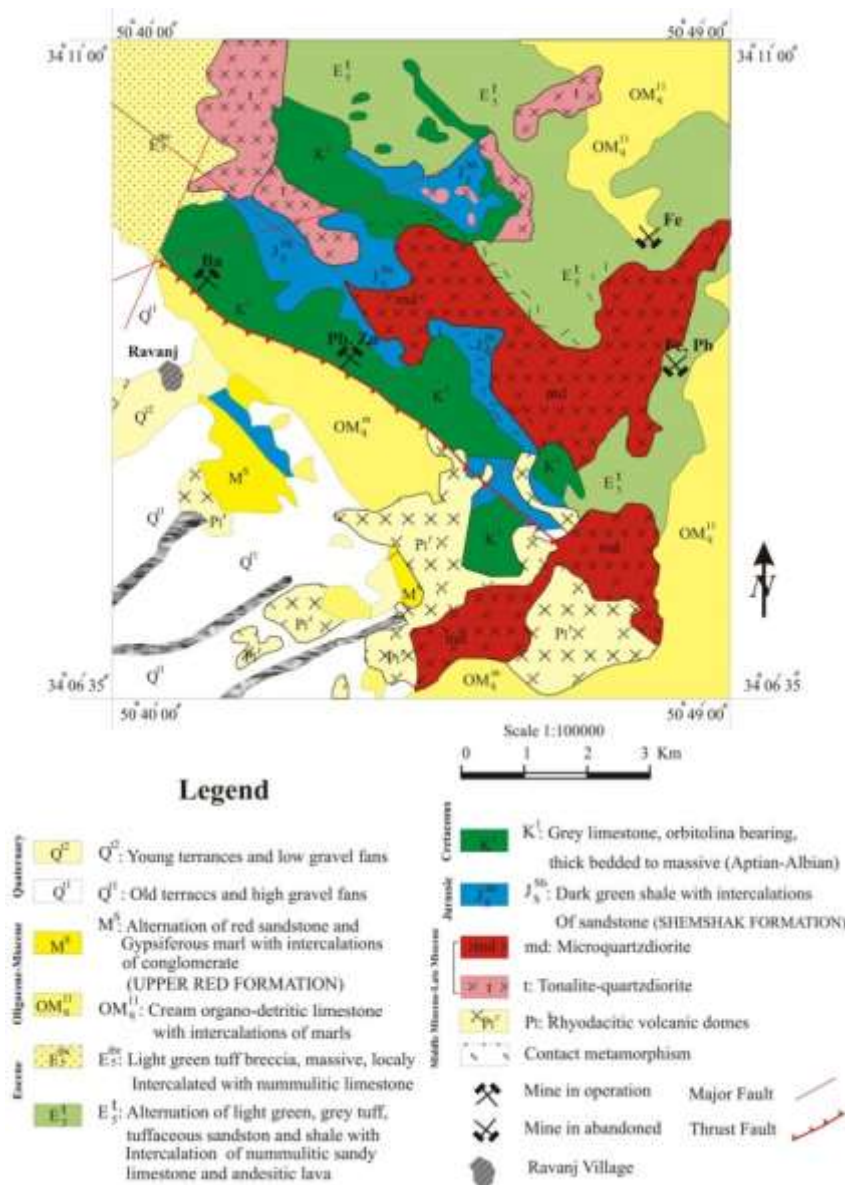
کانی پلاژیوکلاز یکی از کانی‌های اصلی در روند تبلور ماگماهای اسیدی تا حدواسط است. بررسی شیمی کانی پلاژیوکلاز می‌تواند نتایج ارزشمندی از روند تبلور ماگمایی را مشخص نماید [۸-۱]. همچنین منطقه‌بندی در کانی پلاژیوکلاز نیز در راستای تعیین روند تبلور ماگمایی توسط پژوهشگران مختلف بررسی شده است (برای مثال، [۸-۲۰]) افزون بر تغییرات درصد فراوانی آنورتیت (An) در پلاژیوکلازها، بررسی تغییرات عناصر Fe, Mg, Ti در منطقه‌بندی پلاژیوکلازها نیز می‌تواند در تعیین شرایط تبلور ماگما موثر باشند، زیرا عناصر Fe, Mg,

بین طول‌های جغرافیایی $50^{\circ} 40'$ تا $50^{\circ} 49'$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $34^{\circ} 06'$ تا $34^{\circ} 11'$ شمالی واقع است. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد بررسی در شکل ۱ نشان داده شده است. سنگ‌های رسوبی مزوزوئیک و سنوزوئیک و سنگ‌های آذرآواری و آتشفشانی سنوزوئیک در مجاورت توده نفوذی راونج برونزد دارند که با توده‌های نفوذی، نیمه عمیق و صفحات دایکی جوان‌تر قطع شده‌اند. توده‌های نفوذی راونج به سن میوسن میانی تا پسین [۲۵] در بخش‌های مختلف منطقه به درون واحدهای آتشفشانی و آذرآواری اتوسن نفوذ کرده و سبب دگرگونی مجاورتی سنگ‌های میزبان و تشکیل سنگ‌های دگرگونی هورنفلسی و اسکارن شده است (شکل ۱) [۲۵].

که روند منطقه‌بندی و ماکل‌های متفاوت چندریخت و پیراشیب را نشان می‌دهد. هدف از این پژوهش، بررسی ترکیب شیمیایی و روند تغییرات عناصر شیمیایی در بلورهای پلاژیوکلاز به منظور شناخت روند تبلور ماگمایی در توده نفوذی راونج است. توده نفوذی راونج یکی از توده‌های ماگمایی ارومیه-دختر است که بررسی شرایط تبلور در آن می‌تواند برای توصیف شرایط تبلور بقیه توده‌های نفوذی پهنه ارومیه-دختر کاربردی باشد.

زمین‌شناسی عمومی منطقه

توده نفوذی راونج در نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ کهک شمال شرق شهرستان دلیرجان و در استان مرکزی و در گستره



شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی و جایگاه جغرافیایی منطقه مورد بررسی برگرفته از نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ کهک [۲۵].

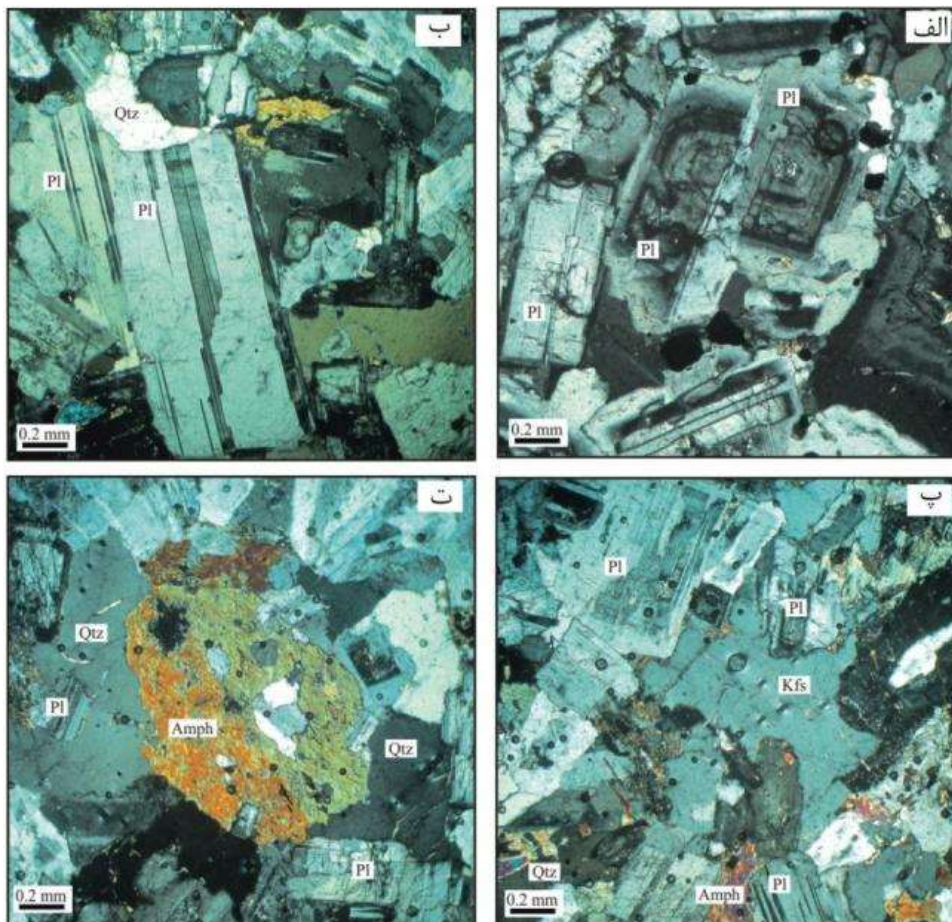
سنگ‌نگاری توده‌های نفوذی راونج

توده‌های نفوذی راونج از نظر سنگ‌نگاری شامل سنگ‌های تونالیت، کوارتز دیوریت و میکروکوارتز دیوریت هستند که در غرب روستای راونج برونزد دارند. گستردگی برونزد سنگ‌های تونالیتی و کوارتز دیوریتی به صورت توده‌های نفوذی به شکل استوک‌هایی با اندازه‌ی متوسط هستند. بافت غالب آن‌ها از نوع دانه ای متوسط بلور است. کانی‌های اصلی این توده پلاژیوکلاز، کوارتز و هورنبلند، و کانی‌های فرعی آن‌ها اسفن، آپاتیت، زیرکن و کانی‌های کدر، و کانی‌های ثانویه کلریت و سرسیت هستند (شکل ۲).

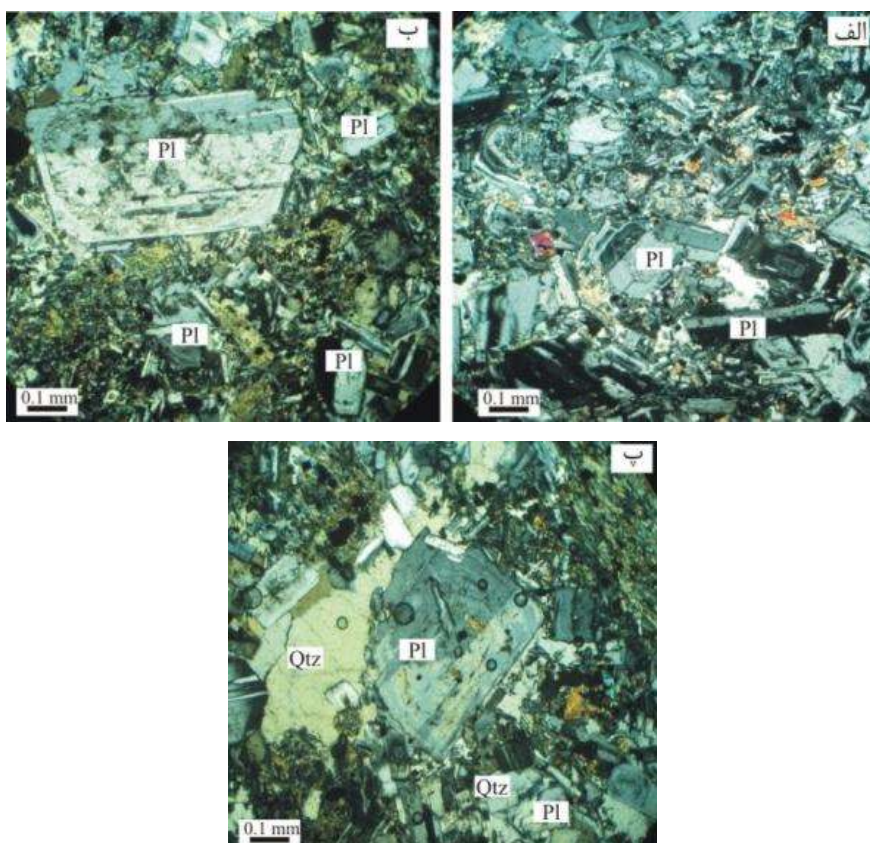
برونزد سنگ‌های میکروکوارتز دیوریتی به شکل استوک، آذرین لایه و آذرین تیغه است. بافت غالب این نوع سنگ‌ها ریزدانه‌ای و یا پورفیری است (شکل ۳). کانی‌های اصلی سنگ‌های میکروکوارتز دیوریتی شامل پلاژیوکلاز، کوارتز،

بیوتیت و هورنبلند است و کانی‌های فرعی شامل فلدسپات قلیایی، کانی کدر، اسفن و کانی‌های ثانویه سرسیت و کلریت هستند (شکل ۳).

پلاژیوکلاز کانی غالب در سنگ‌های تونالیتی و میکروکوارتز دیوریتی است که به شکل درشت بلور تا ریز بلور (۵ تا کمتر از ۰/۲ میلی‌متر) دیده می‌شود. آنها بیشتر به صورت شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار هستند. بلورهای درشت (۵ تا ۲ میلی‌متر) اغلب حالت منطقه‌بندی نشان می‌دهند (شکل‌های ۲ و ۳) و متوسط بلورها (۲ تا ۰/۲ میلی‌متر) و ریز بلورها (کمتر از ۰/۲ میلی‌متر) ماکل چندریخت دارند. در بعضی از نمونه‌ها، حدود ۸۰ تا ۹۰ درصد مجموع کانی‌های اصلی را پلاژیوکلازها تشکیل می‌دهد، بنابراین بررسی روند ترکیب شیمیایی کانی پلاژیوکلاز در بلورهای مختلف این توده‌ها می‌تواند شرایط تبلور این توده‌ها را مشخص نماید.



شکل ۲ تصاویر میکروسکوپی توده نفوذی تونالیت و کوارتز دیوریت راونج. الف) بافت دانه‌ای، کانی‌های درشت بلور با منطقه‌بندی پلاژیوکلاز، ب) بلورهای متوسط بلور پلاژیوکلاز با ماکل‌های چندریخت، پ) کانی‌های فلدسپار قلیایی، پلاژیوکلاز و کوارتز و ت) کانی‌های هورنبلند، کوارتز و پلاژیوکلاز (نور قطبیده متقاطع، XPL).



شکل ۳ تصاویر میکروسکوپی توده میکروکوارتز دیوریتی راونج: الف) بلورهای پلاژیوکلاز با حالت منطقه بندی و ماکل های چندریخت و پیراشیب، ب و پ) بافت شبه پورفیری بلورهای درشت پلاژیوکلاز با حالت منطقه بندی و ماکل پیراشیب (نور XPL).

روش بررسی

پس از بررسی های سنگ نگاری سنگ های با دگرسانی کمتر مقاطع نازک-صیقلی در آزمایشگاه تهیه مقطع دانشکده علوم دانشگاه تربیت معلم، تهیه شد. پلاژیوکلاز یکی از کانی های اصلی سنگ های منطقه راونج است. تجزیه نقطه ای از کانی های پلاژیوکلاز سنگ های کوارتز دیوریت (نمونه PM176)، تونالیت (نمونه PM182) و میکروکوارتز دیوریت (نمونه PM103) توده نفوذی راونج در آزمایشگاه کانی شناسی مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران، با استفاده از دستگاه ریزپردازشگر الکترونی (EPMA) مدل SX100 ساخت شرکت کامکای کشور فرانسه با ولتاژ شتاب دهنده 15kV و شدت جریان 20nA انجام شد.

بر اساس بررسی های میکروسکوپی، پلاژیوکلازهای درشت-بلور دارای منطقه بندی نوسانی هستند، در حالی که پلاژیوکلازهای ریز تا متوسط بلور اغلب با ماکل چندریخت دیده می شوند. 90 تجزیه نقطه ای از بخش های مختلف پلاژیوکلازها انجام شد. 30 تجزیه نقطه ای مربوط به پلاژیوکلازهای متوسط بلور با ماکل چندریخت در سنگ های

تونالیتی و کوارتز دیوریتی است. همچنین دو پلاژیوکلاز با منطقه بندی نوسانی درون سنگ های تونالیتی و میکروکوارتز دیوریتی انتخاب شده و بر هر یک 30 نقطه برای بررسی منطقه بندی نوسانی تجزیه نقطه ای شدند. نتایج تجزیه نقطه ای در جدول های 1 تا 3 آورده شده است.

شیمی کانی پلاژیوکلازها با ماکل چندریخت

ترکیب پلاژیوکلازهای دارای ماکل چندریخت در جدول 1 ارائه شده است. مقدار عضو انتهایی آنورتیت در پلاژیوکلازهایی با ماکل چندریخت در گستره $An_{3.7/96}$ تا $An_{58/75}$ قرار می گیرد، به طوری که ترکیب این کانی در تونالیت ها بین $An_{31/41}$ تا $An_{55/35}$ و در کوارتز دیوریت ها بین $An_{31/81}$ تا $An_{58/75}$ هستند. برای هر یک از سنگ های یاد شده، بیشترین مقدار مربوط به مرکز و کمترین مقدار مربوط به لبه بلورهای پلاژیوکلاز است. در شکل 4 ترکیب پلاژیوکلازهای تجزیه شده بر نمودار دیر و همکاران [26] نشان داده شده است.

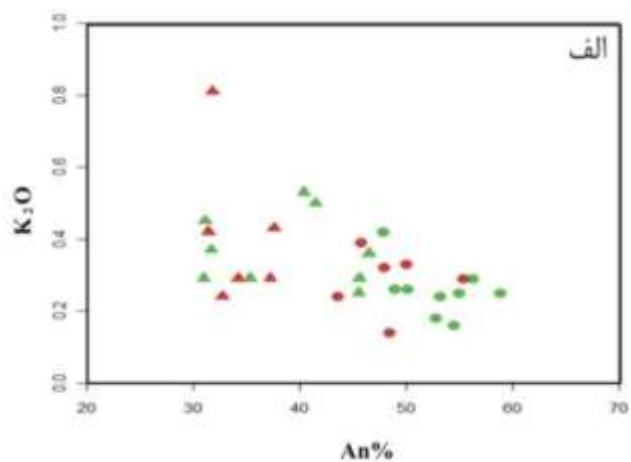
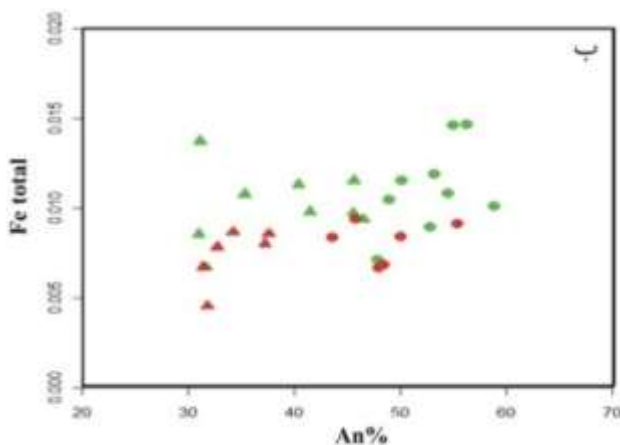
ترکیب آن $An_{47/65}$ است. مقدار K_2O از ۰/۱۸ تا ۱/۶۲ درصد وزنی تغییر می‌کند و مقدار متوسط درصد وزنی SiO_2 و Al_2O_3 به ترتیب ۵۶/۴۸ و ۲۷/۰۳ است (جدول ۳). ترکیب شیمیایی پلاژیوکلاز با منطقه‌بندی در نمونه میکروکوآرتزدیوریتی از لبه به لبه بلور بررسی گردید که دیده شد که دارای منطقه‌بندی نوسانی است (شکل‌های ۶ و ۷ و ۸ الف)، ترکیب شیمیایی نقاط تجزیه شده از مرکز بلور و فواصل بین مرکز و لبه بلور در گستره اواسط آندزین تا اواسط لابرادوریت قرار می‌گیرند و ترکیب شیمیایی نقاط تجزیه شده از لبه بلور در اواخر الیگوکلاز تا اواسط آندزین هستند و فقط یک نقطه از لبه بلور در گستره‌ی اوایل لابرادوریت قرار می‌گیرد (شکل ۶ و شکل ۸ الف).

برعکس، مقدار عضو انتهایی آنورتیت در پلاژیوکلاز با منطقه‌بندی در نمونه تونالیتی از $An_{41/92}$ تا $An_{54/86}$ تغییر می‌کند و بیشتر محدود به $An_{40/44}$ تا $An_{50/12}$ بوده و میانگین ترکیب آن $An_{48/17}$ است. مقدار K_2O از ۰/۱۸ تا ۰/۴۶ درصد وزنی متغیر است. مقدار متوسط درصد وزنی SiO_2 و Al_2O_3 به ترتیب ۵۶/۳۰ و ۲۷/۴۵ است (جدول ۳). پلاژیوکلاز با منطقه-بندی در نمونه تونالیتی، منطقه‌بندی نوسانی از لبه به لبه بلور، با ترکیب اواسط آندزین تا اوایل لابرادوریت را نشان می‌دهد (شکل ۷).

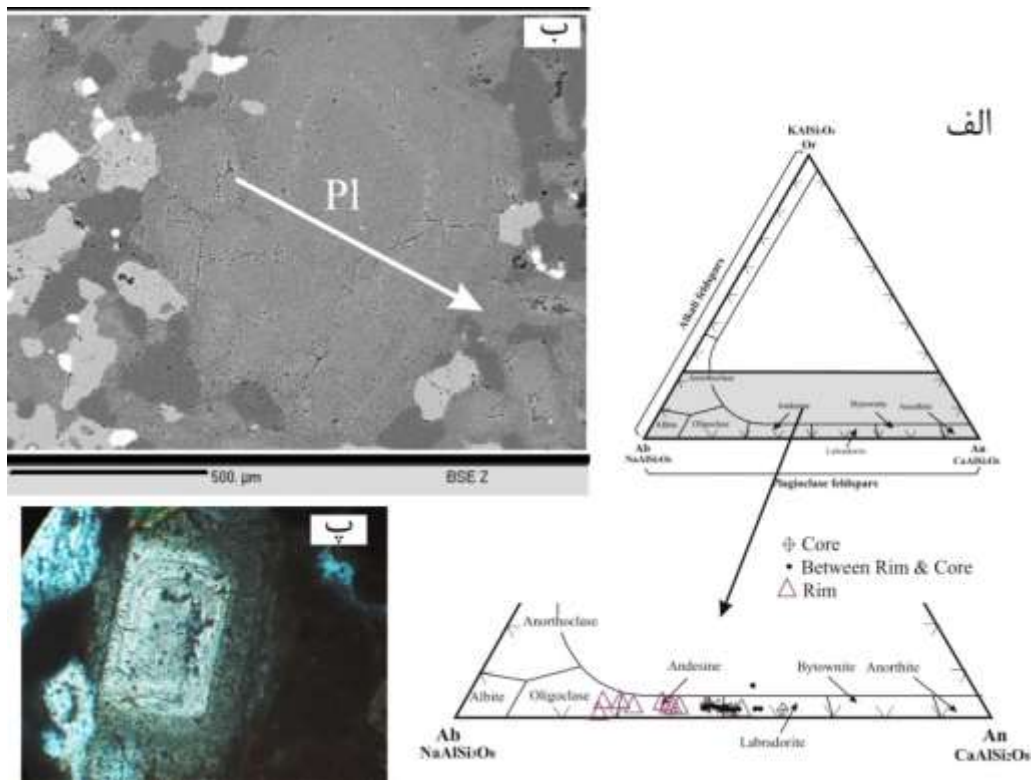
پرچاک و همکاران [۸] معتقدند که نبود میانبار از فازهای دیگر در بخش مرکزی بلورهای پلاژیوکلاز و روند خطی آنورتیت نسبت به K_2O نشان دهنده این است که پلاژیوکلاز فاز اصلی ماگماست. ویژگی‌های یاد شده در بلورهای پلاژیوکلاز مورد بررسی قابل مشاهده است (شکل ۵ الف). به نظر می‌رسد که مراکز غنی از آنورتیت در مراحل اولیه جدایش ایجاد و سپس با پلاژیوکلازهایی با درصد آنورتیت کمتر پوشیده شده‌اند، این فرآیند نتیجه کاهش دما در ماگماست. در حقیقت، ترکیب عناصر اصلی درشت بلورها تابع تغییرات ترکیب ماگما است، زیرا ترکیب ماگما و درشت بلورها از نظر ترمودینامیکی به هم وابسته هستند. بررسی‌های انجام شده بر پلاژیوکلازهای طبیعی نشان می‌دهد که مقدار آهن در پلاژیوکلازها با کاهش درصد آنورتیت آن کاهش می‌یابد [۲۸، ۲۷] که این ویژگی‌ها را می‌توان در پلاژیوکلازهای منطقه نیز مشاهده کرد (شکل ۵ ب).

شیمی پلاژیوکلازهای با منطقه‌بندی

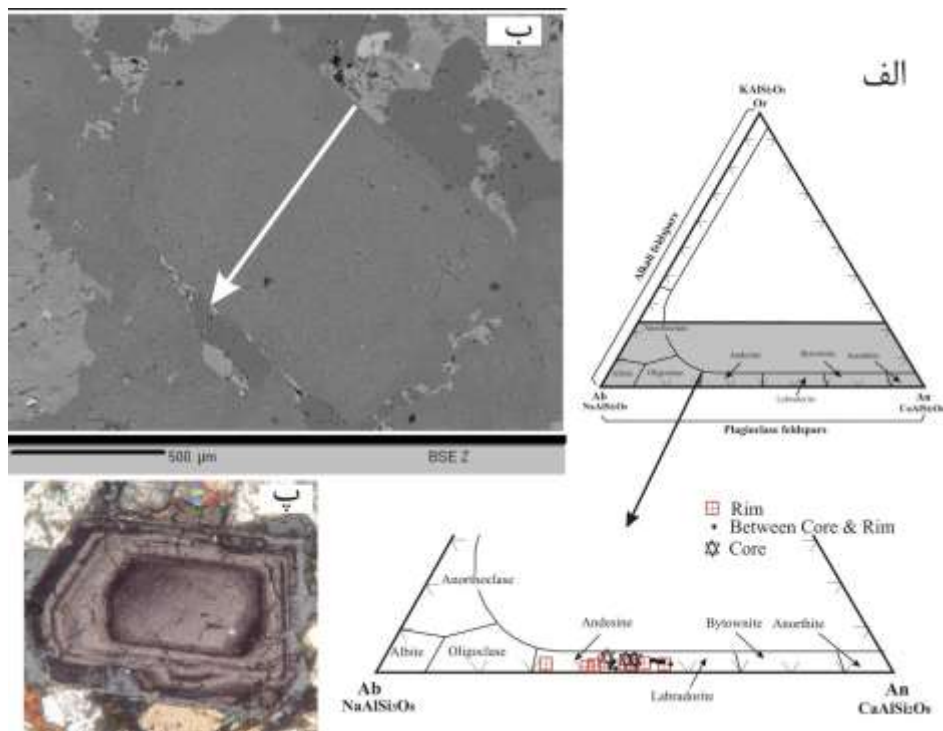
تجزیه ریزپردازشی برای ۳۰ نقطه از هر یک از بلورهای پلاژیوکلاز با منطقه‌بندی در نمونه‌های تونالیتی و میکروکوآرتزدیوریتی انجام شد. نتایج به دست آمده به همراه فرمول ساختاری آن‌ها در جدول ۲ و ۳ ارائه شده است. مقدار عضو انتهایی آنورتیت در پلاژیوکلاز با منطقه‌بندی در نمونه میکروکوآرتزدیوریتی از $An_{26/58}$ تا $An_{60/94}$ تغییر می‌کند، اما بیشتر در گستره $An_{41/32}$ تا $An_{52/17}$ بوده و متوسط



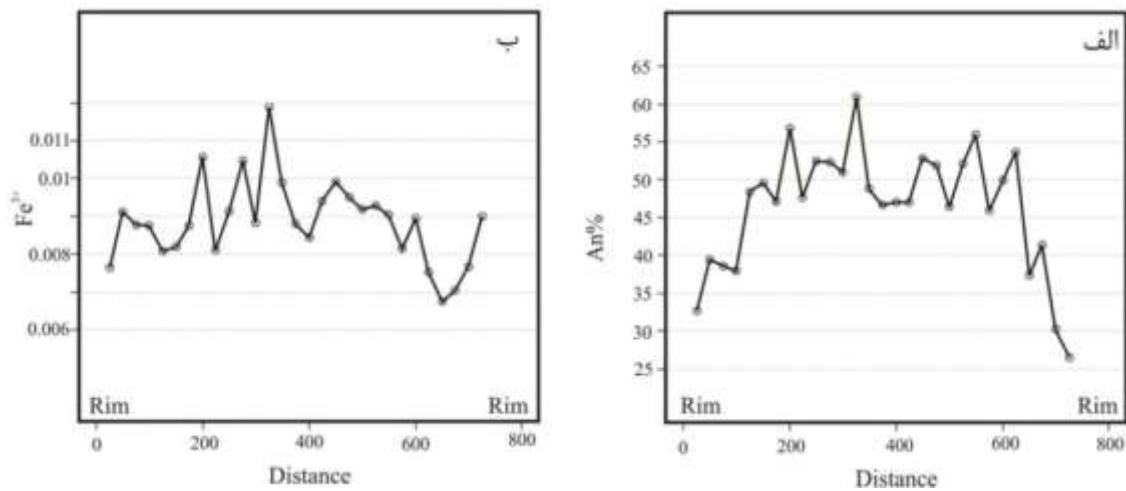
شکل ۵ الف) نمودار تغییرات An نسبت به K_2O موجود در پلاژیوکلازها که روند خطی آن نشان می‌دهد که پلاژیوکلاز فاز اصلی ماگماست. ب) تغییرات مقدار آهن کل در پلاژیوکلاز نسبت به مقدار An که مقدار آهن با افزایش درصد آنورتیت تا حدی افزایش می‌یابد (علائم دایره مربوط به مرکز بلورها و علائم مثلثی شکل مربوط به لبه بلورهاست، رنگ قرمز نشانگر تونالیت و رنگ سبز نشاندهنده کوآرتز دیوریت است).



شکل ۶ الف) موقعیت نقاط تجزیه شده پلاژیوکلاز با منطقه بندی در نمونه میکروکوارتز دیوریتی در نمودار سه تایی فلدسپات ها، ب) تصویر الکترونی پس پراکنده (BSE): پیکان سفید رنگ در تصویر مسیر تجزیه نقطه ای جهت بررسی منطقه بندی را نشان می دهد و پ) تصویر میکروسکوپی پلاژیوکلاز با منطقه بندی در نمونه میکروکوارتز دیوریتی.



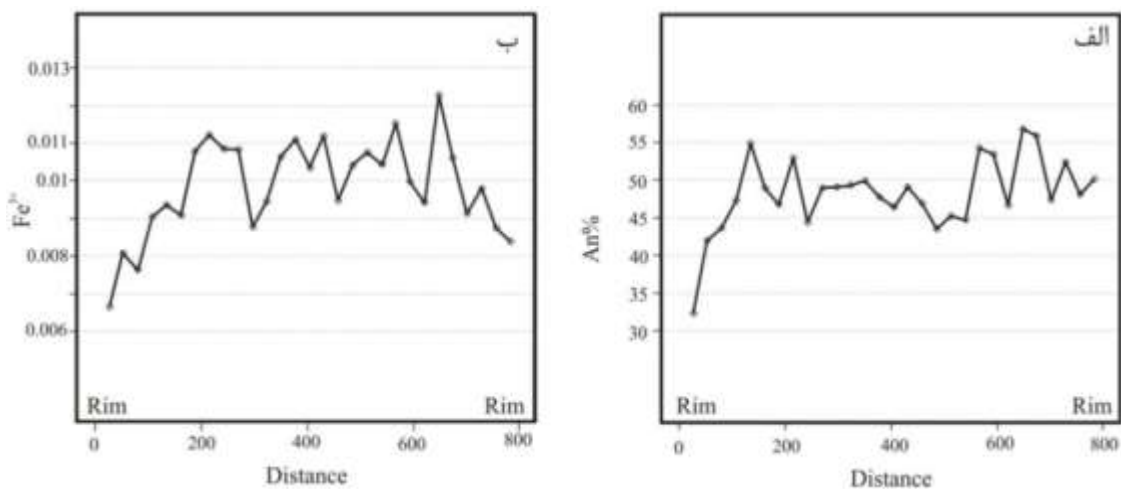
شکل ۷ الف) موقعیت نقاط تجزیه شده پلاژیوکلاز با منطقه بندی در نمونه تونالیتی در نمودار سه تایی فلدسپات ها، ب) تصویر BSE، پیکان سفید رنگ در تصویر مسیر تجزیه نقطه ای جهت بررسی منطقه بندی را نشان می دهد و پ) تصویر میکروسکوپی پلاژیوکلاز با منطقه بندی در نمونه تونالیتی.



شکل ۸ الف) الگوی تغییرات مقدار آنورتیت از لبه به لبه بلور پلاژیوکلاز نمونه میکروکوارتز دیوریتی و ب) الگوی تغییرات مقدار Fe^{3+} از لبه به لبه پلاژیوکلاز نمونه میکروکوارتز دیوریتی.

همخوانی دارند (شکل‌های ۹ الف و ب). الگوی منطقه‌بندی نوسانی پلاژیوکلاز نمونه میکروکوارتز دیوریتی در فاصله ۰ تا ۵۰ میکرومتری مرکز در طول بلور، تغییرات $An_{۴۶-۶۱}$ را نشان می‌دهد، در حالی که برای نمونه تونالیتی در فاصله ۰ تا ۵۰ میکرومتری مرکز، دارای تغییرات $An_{۴۶-۵۰}$ است. در نتیجه، دامنه تغییرات در نمونه میکروکوارتز دیوریتی بیشتر از نمونه تونالیتی است. همچنین طول و دامنه تغییرات در هر دو بلور پلاژیوکلاز نمونه میکروکوارتز دیوریتی و تونالیتی، در لبه بلور گسترش بیشتری نسبت به مرکز بلور دارد (شکل‌های ۸ الف و ۹ الف).

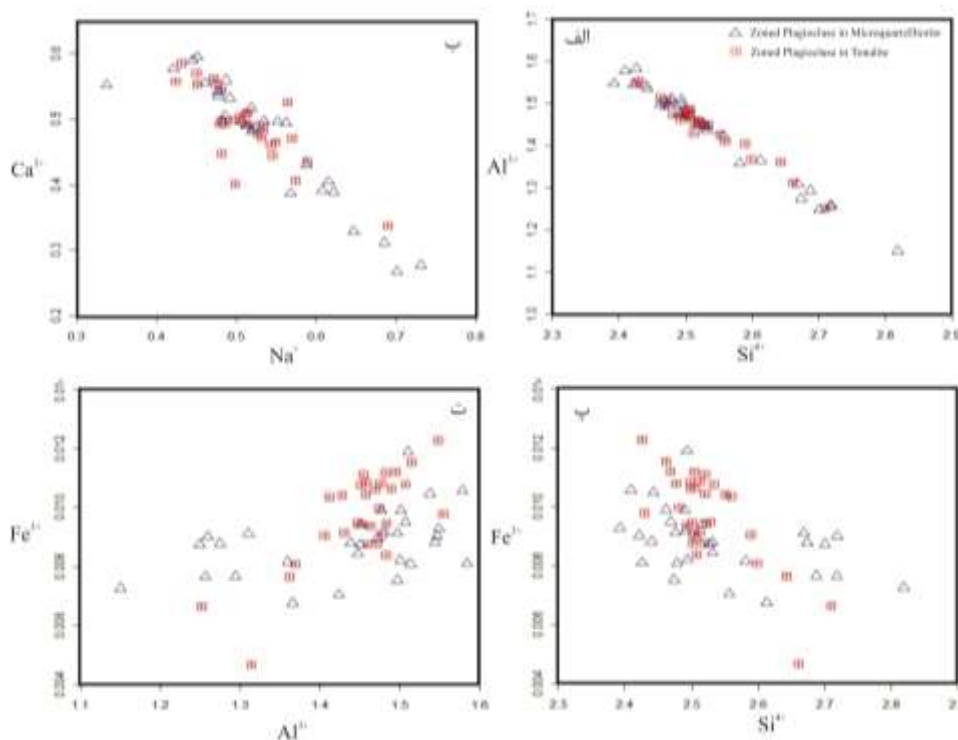
پلاژیوکلاز نمونه میکروکوارتز دیوریتی از مرکزی با ترکیب $An_{۴۸}$ تشکیل شده و از مرکز تا لبه بلور دارای ناهنجاری‌های متعددی در فواصل ۵۰، ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۵۰ میکرومتر از مرکز بلور است. ناهنجاری‌های نام برده مطابق با غنی شدگی Fe^{3+} در این فواصل است (شکل‌های ۸ الف و ب). پلاژیوکلاز نمونه تونالیتی از مرکزی با عضو انتهایی آنورتیت در حدود ۵۰ درصد مولی تشکیل شده است و در فواصل حدود ۱۵۰ و ۲۵۰ میکرومتر از مرکز به سمت لبه بلور دو ناهنجاری مثبت در دو سمت مرکز بلور با آنورتیت حدود ۵۵ درصد مولی دیده می‌شود. این دو ناهنجاری با غنی شدگی Fe^{3+} در همین فواصل



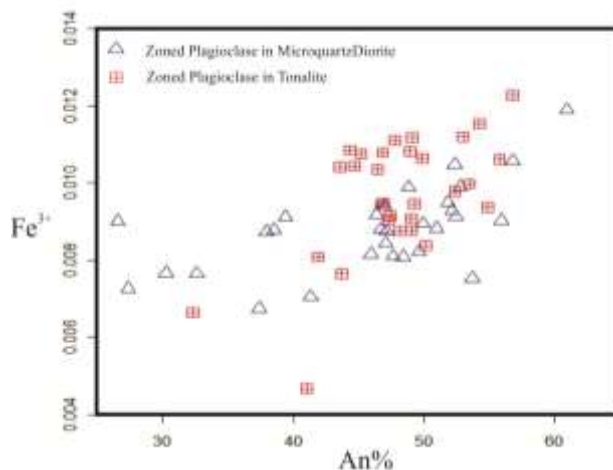
شکل ۹ الف) الگوی تغییرات مقدار آنورتیت از لبه به لبه بلور پلاژیوکلاز نمونه تونالیتی و ب) الگوی تغییرات مقدار Fe^{3+} از لبه به لبه پلاژیوکلاز نمونه تونالیتی.

پلاژیوکلاز است. به علت اختلاف شعاع بسیار کم Al^{3+} و Fe^{3+} تصور می‌شود که ممکن است Fe^{3+} به جای Al^{3+} در پلاژیوکلازها جانشین شود، اما روند مثبت Fe^{3+} نسبت به Al^{3+} (شکل ۱۰ ت) بیانگر این است که جانشینی Fe^{3+} به جای Al^{3+} بسیار کمتر از جانشینی Fe^{3+} به جای Si^{4+} است. Fe^{3+} روند مثبتی با افزایش درصد مولی آنورتیت پلاژیوکلازها نشان می‌دهد (شکل ۱۱).

ترکیب پلاژیوکلازهای با منطقه‌بندی مورد بررسی بر اساس فرآیندهای جانشینی $Si^{4+} \rightleftharpoons Al^{3+}$ ، $Ca^{3+} \rightleftharpoons Na^{3+}$ و $Si^{4+} \rightleftharpoons Fe^{3+}$ شکل گرفته است (شکل‌های ۱۰ الف، ب، پ). جانشینی Al^{3+} به جای Si^{4+} و Ca^{2+} به جای Na^{+} سبب تغییر ترکیب شیمیایی مذاب نزدیک سطح پلاژیوکلاز شده و منطقه‌بندی نوسانی در بلورهای پلاژیوکلاز را ایجاد کرده است. روند منفی Fe^{3+} نسبت به Si^{4+} (شکل ۱۰ پ) احتمالاً نشان‌دهنده جانشینی Fe^{3+} به جای Si^{4+} در بلورهای



شکل ۱۰ نمودارهای نشان دهنده فرآیندهای جانشینی در پلاژیوکلازهای با منطقه‌بندی در سنگ‌های میکروکوآرتزدیوریتی و تونالیتی توده نفوذی راونج.



شکل ۱۱ نمودار تغییرات درصد مولی عضو انتهایی آنورتیت پلاژیوکلازهای با منطقه‌بندی نسبت به تغییرات آهن سه ظرفیتی.

بحث و بررسی

مدل‌های غیرخطی مختلف جهت توضیح منطقه‌بندی در پلاژیوکلازها ارائه شده است. منطقه‌بندی در پلاژیوکلازها توسط درصد مولی آنورتیت کنترل می‌شود [۱۲، ۱۵، ۲۰].

ترکیب کانی‌ها در تعادل با مذاب به عواملی چون فشار، دما، مقدار آب و ترکیب شیمیایی مذاب بستگی دارد. از این رو، با کمک منطقه‌بندی کانی‌ها می‌توان تا حدی شرایط تبلور بلور را بازسازی کرد [۱۰]. کاهش مقدار آنورتیت پلاژیوکلاز از مرکز به لبه با جدایش بلوری همخوانی دارد [۹] و این روند به طور کلی در پلاژیوکلازهای مورد بررسی دیده می‌شود؛ ولی مقدار آنورتیت پلاژیوکلازها در برخی نقاط دارای تغییرات مشخصی بوده و سبب ایجاد منطقه‌بندی نوسانی شده است. برخی از پژوهشگران، منطقه‌بندی نوسانی را نشانه تغییر جزئی ترکیب شیمیایی ماگما طی رشد بلور [۲۹] و به عنوان شاهدی از بارگزاری مجدد ماگمای [۲۹، ۱۸] و منطقه‌بندی معکوس را نشانه عدم برقراری تعادل بین بلور با ماگما در اثر فرآیندهایی مانند بارگزاری مجدد ماگمای و یا تغییر فشار بخار آب هنگام تبلور پلاژیوکلازها می‌دانند [۱۸]. به هر حال، وجود مقدار آنورتیت بیشتر در برخی نواحی را می‌توان نشانگر حضور ترکیبات مافیک‌تر و یا مقدار آب بیشتر در نظر گرفت [۹].

پژوهش‌ها نشان می‌دهد که مقدار آنورتیت توسط ترکیب مذاب، فشار، مقدار آب و دما کنترل می‌شود [۱۹، ۱۴]. جهت بررسی هر یک از این موارد، نخست باید شرایط تعادل و یا عدم تعادل را هنگام منطقه‌بندی پلاژیوکلاز بررسی کرد. الگوی نوسانی یکسان در بلورهای مختلف پلاژیوکلاز در کنار وجود فراوانی یکسان عناصر اصلی و فرعی دو بلور مختلف بیانگر تشکیل پلاژیوکلازهای مورد بررسی در شرایط نزدیک به تعادل است [۱۱]. در شرایط نزدیک به تعادل، تغییرات اندک دما و یا مقدار آب تغییرات قابل توجهی در ترکیب پلاژیوکلاز ایجاد نمی‌کند [۱۷].

تأثیر فشار بر الگوی منطقه‌بندی در بررسی‌های تجربی به اثبات رسیده است [۱۶]. این پژوهش‌ها نشان می‌دهد که تغییرات ۲ تا ۴ مول درصد در مقدار آنورتیت با تغییر فشار ۲ تا ۴ کیلوپا همخوانی دارد. همچنین تغییرات فشار کمتر از ۲ کیلو بار نمی‌تواند بیش از ۵ درصد بر مقدار آنورتیت پلاژیوکلاز تأثیر داشته باشد [۸]. تغییرات دمایی تأثیر بیشتری در مقایسه با تغییرات فشار بر ترکیب پلاژیوکلاز دارد [۱۳]. با این حال این تغییرات دمایی نیز نمی‌تواند مقدار بالای تغییرات درصد آنورتیت در پلاژیوکلازهای مورد بررسی را توجیه کند.

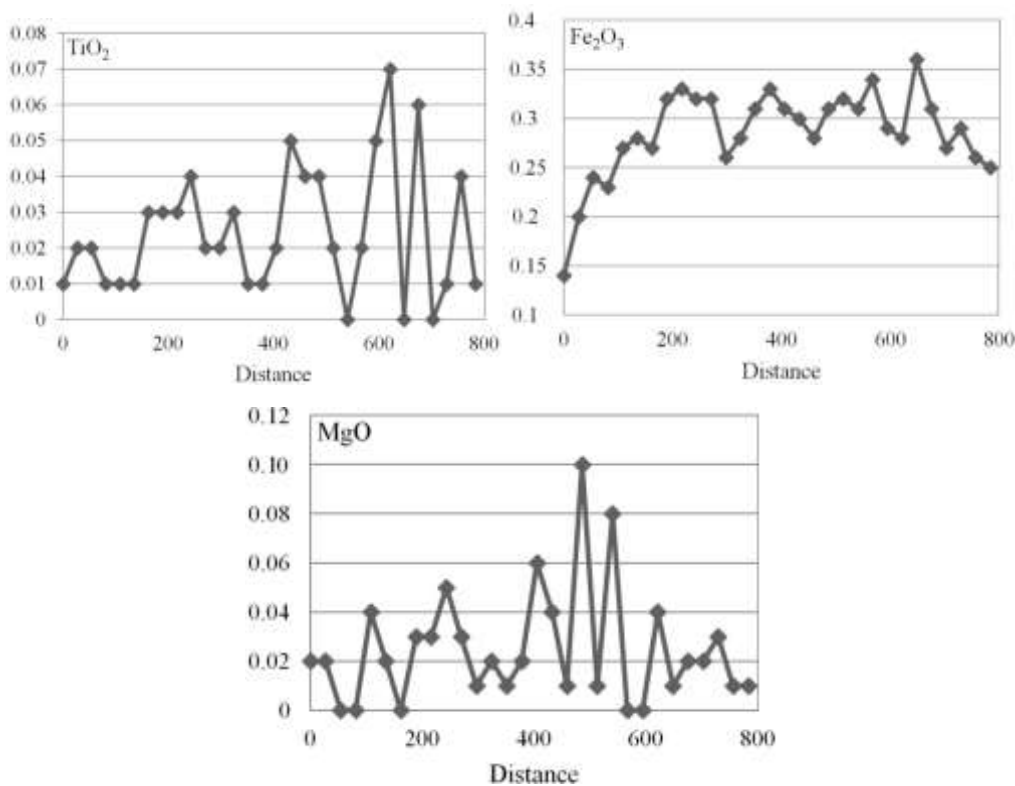
ریختار و الگوی منطقه‌بندی پلاژیوکلاز ممکن است برآمده از بارگذاری متوالی مذاب مافیک‌تر برگرفته از گوشته در مخزن ماگمایی فلسیکی باشد [۳۰]. مدل تزریق متوالی ماگمای مافیک‌تر و جدایش توسط ساختارهای توده نفوذی منطقه تایید می‌شود، به طوری که نوسانات درصد مولی آنورتیت در پلاژیوکلاز کوارتز دیوریتی مشخص‌تر از پلاژیوکلاز تونالیتی است (شکل‌های ۸ و ۹). این مشاهدات بیان می‌کند که بارگزاری متوالی ماگمای تأثیر بیشتری در بخش درونی آن (سنگ‌های کوارتز دیوریتی) نسبت به بخش بیرونی توده (سنگ‌های تونالیتی) داشته است. بررسی شیمی سنگ‌کل توده‌های کوارتزدیوریتی و تونالیتی نیز تاییدی بر تأثیر تزریق‌های متوالی ماگمای مافیک‌تر در مخزن ماگمای توده نفوذی فلسیک است، اما تأثیر بارگزاری‌های متوالی در حدی نبوده است که بتواند ترکیب شیمیایی کل مخزن ماگمای را تغییر دهد و فقط باعث تغییر در عناصر فرعی شیمی سنگ‌کل توده‌ها شده است [۳۱]. نمودارهای شکل ۱۰ نشان می‌دهند که جانشینی‌ها در بخش بیرونی و درونی توده یکسان است. این شواهد نشان می‌دهد که تعادل دمایی هنگام تبلور ماگما ایجاد شده است و بارگزاری‌های متوالی مخزن ماگمای در حدی نبوده است که مانع تعادل دمایی ماگما شود [۳۰].

در سیستم‌های دوتایی شبیه به پلاژیوکلاز، عناصر اصلی برای تشخیص پارامترهای متعددی که ترکیب کانی‌ها را کنترل می‌کنند کافی نیستند، به همین دلیل توجه به فراوانی عناصری که در پلاژیوکلازها کمیاب هستند مانند Fe, Mg و Ti می‌تواند در درک شرایط تبلور پلاژیوکلازها موثر باشند. تغییرات دما، فشار و مقدار آب می‌تواند بر مقدار آنورتیت پلاژیوکلازها تأثیر داشته باشد، ولی تغییرات چندانی در مقدار Fe, Mg و Ti بلور ایجاد نمی‌کنند، در حالی که تغییر ترکیب شیمیایی ماگما تأثیر بسیاری بر فراوانی عناصر نامبرده دارد [۱۰].

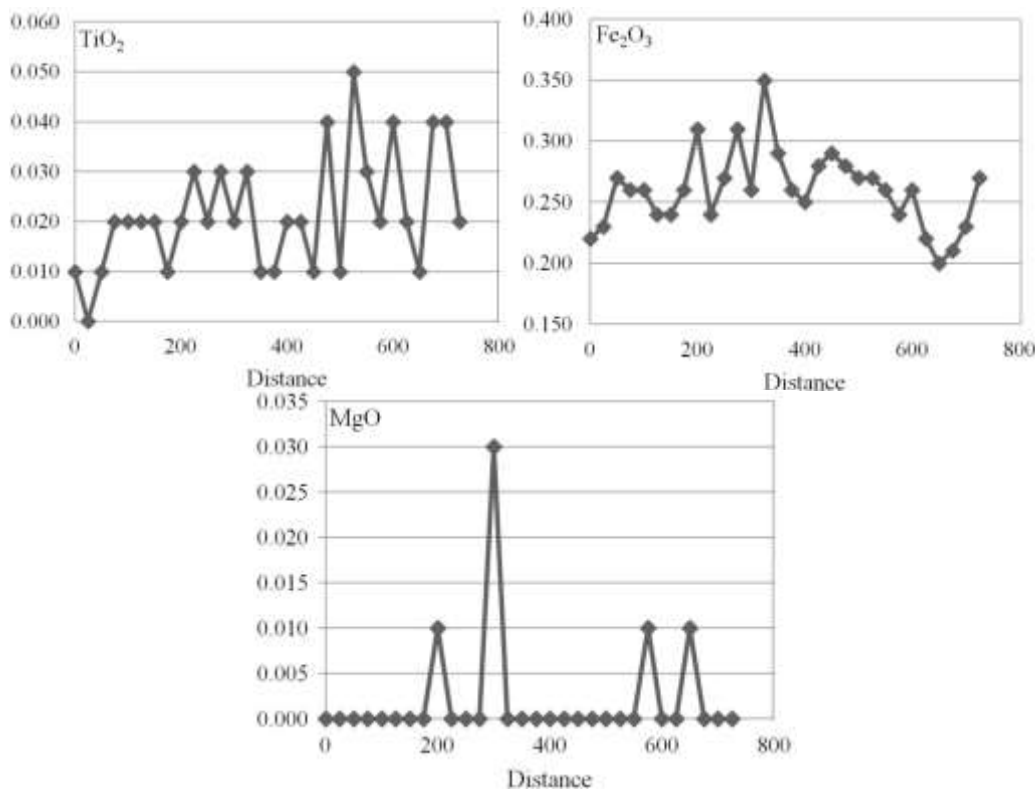
تغییرات نوسانی مقدار Fe, Mg و Ti از مرکز به لبه پلاژیوکلازها نشانگر تغییر ترکیب شیمیایی ماگماست [۲۲، ۲۴]. تغییرات ناگهانی اکسیدهای Fe, Mg و Ti (بر حسب درصد وزنی) از لبه به لبه (شکل‌های ۱۲ و ۱۳) با افزایش مقدار آنورتیت پلاژیوکلازهای منطقه همراه است؛ این روند نشان‌دهنده تغییر فراوانی عناصر کمیاب در مذاب در تعادل با بلورها و بیانگر هجوم ماگمای مافیک به درون اتاق ماگمایی است [۱۹].

منفی بین این دو مقدار در اثر فرآیند جدایش ماگمایی ایجاد می شود [۲۳].

روند صعودی مقدار Fe^{+3} نسبت به An (شکل ۱۱) بیانگر آمیختگی شیمیایی در ماگماست [۲۱]، در صورتی که روند



شکل ۱۲ نمودار تغییرات مقدار اکسیدهای Fe, Mg و Ti در پلاژیوکلازهای نمونه تونالیتی.



شکل ۱۳ نمودار تغییرات مقدار اکسیدهای Fe, Mg و Ti در پلاژیوکلازهای نمونه کوارتز دیوریتی.

برداشت

در منطقه راونج، با بررسی سنگ نگاری و شیمی کانی پلاژیوکلاز در توده‌های میکروکوآرتزدیوریتی، کوآرتزدیوریتی و تونالیتی می‌توان نتایج زیر را در مورد روند تبلور ماگمایی منطقه بیان کرد:

۱- درصد مولی آنورتیت بلور پلاژیوکلازهای دارای منطقه‌بندی به طور کلی از مرکز به لبه روند کاهشی را نشان می‌دهد که نشان دهنده تاثیر فرآیند تبلور جدایشی است.

۲- بلور پلاژیوکلازها دارای منطقه‌بندی نوسانی بوده که احتمالاً بر اثر بارگزاری متوالی و تزریق مذاب مافیک‌تر به درون اتاق ماگمایی فلسیک در حال تبلور رخ داده است که باعث ایجاد تغییرات مقدار آنورتیت در ساختار پلاژیوکلازها شده است.

۳- ترکیب پلاژیوکلازها دارای منطقه‌بندی توسط جانیشینی‌های مهمی شکل گرفته است که نشان دهنده وجود تعادل گرمایی طی تبلور ماگما است.

۴- بارگزاری متوالی در اثر تزریق ماگمای مافیک‌تر به درون اتاق ماگمایی فلسیک یک فرآیند ماگمایی متداول طی تبلور توده نفوذی بوده است که در چندین مرحله رخ داده و باعث ایجاد تغییرات در ترکیب شیمیایی پلاژیوکلازها شده است.

۵- توده نفوذی راونج بخشی از فاز فعالیت ماگمایی میوسن کمان ماگمایی ارومیه دختر بوده که در اثر فرورانش نفوتتیس به زیر صفحه ایران مرکزی شکل گرفته است و احتمالاً فرآیندهای تبلور جدایشی و بارگزاری متوالی ماگمایی نقش مهمی را در تکامل توده نفوذی راونج داشته است.

مراجع

- Crystallography and Mineralogy 25 (2017) 393-410.
- [4] Mohammadi S.S., Bayani R., Nakhaei M., Chung S.L., Zarrinkoub M.H., "Petrography, mineral chemistry, geochemistry and tectonic setting of Tertiary volcanic rocks in Shoushk area (east of Sarbisheh), Southern Khorasan", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 25 (2017) 167-186.
- [5] Niktabar S.M., Moradian A., Ahmadipour H., "The study of mineralogy and geochemistry of Lalezar Granitoid (Bardsir-Kerman)", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 23 (2016) 803-818.
- [6] Kahl M., Chakraborty S., Pompilio M., Costa F., "Constraints on the Nature and Evolution of the Magma Plumbing System of Mt. Etna Volcano (1991–2008) from a Combined Thermodynamic and Kinetic Modelling of the Compositional Record of Minerals", Journal of Petrology 56 (2015) 2025-2068.
- [7] Viccaro M., Calcagno R., Garozzo I., "Continuous magma recharge at Mt. Etna during the 2011–2013 period controls the style of volcanic activity and compositions of erupted lavas", Mineralogy and Petrology 109 (2015) 67-83.
- [8] Pietranik A., Koepke J., Puziewicz J., "Crystallization and resorption in plutonic plagioclase: Implications on the evolution of granodiorite magma (Gesiniac granodiorite, Strzelin Crystalline Massif, SW Poland)", Lithos 86 (2006) 260-280.
- [9] Ginibre C., Kronz A., Wörner G., "High-resolution quantitative imaging of plagioclase composition using accumulated back scattered electron images: new constraints on oscillatory zoning", Contributions to Mineralogy and Petrology 142 (2002) 436-448.
- [10] Ginibre C., Wörner G., Kronz A., "Crystal Zoning as an Archive for Magma Evolution", Mineralogical Society of America 3(4) (2007) 261–266.
- [11] Brophy J.G., Dorais M.J., Donnelly-Nolan J., Singer B.S., "Plagioclase zonation styles in hornblende gabbro inclusions from little Glass Mountain, Medicine Lake volcano, California: implications for fractionation mechanisms and the formation of composition gaps", Contributions to Mineralogy and Petrology 126 (1996) 121–136.
- [12] Hattorý K., Sato H., "Magma evolution recorded in plagioclase zoning in 1991 Pinatubo
- [1] Ahmadi A., Firouzkouhi Z., Moridi Farimani, A.A., Richard Ientz D.R., "Geochemical and textural characteristics of plagioclase as evidence for open-system processes: Case study from Bazman volcano (SE Iran)", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 25 (2017) 367-380.
- [2] Molaei Yeganeh T., Torkian A., Sepahi A.A., "Source and geothermobarometry of the gabbrodioritic intrusive body, (S-Qorveh-Kurdistan); with emphasis on minerals chemistry", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 25 (2017) 153-166.
- [3] Ghodsi M.R., Boomeri M., "Petrography, mineralogy and mineral chemistry of Bazman intrusive rocks, SE Iran", Iranian Journal of

- [22] Barbarin B., "Granitoids: main petrogenetic classifications in relation to origin and tectonic setting", *Geological Journal* 25 (1990) 227-238.
- [23] Tegner C., "Iron in plagioclase as a monitor of the differentiation of the Skaergaard intrusion" *Contributions to Mineralogy and Petrology* 128 (1997) 45-51.
- [24] Müller A., Breiter K., Seltmann R., Pécskay Z., "Quartz and feldspar zoning in the eastern Erzgebirge volcano-plutonic complex (Germany, Czech Republic): evidence of multiple magma mixing", *Lithos* 80 (2005) 201-227.
- [25] Ghalamghash J., Babakhani A.R., "Geological map of the Kahak Sheet, scale 1:100000", Iran Geological Survey and Mineral Exploration country, Tehran (1993).
- [26] Deer W.A., Howie R.A., Zussman J., "An Introduction to the Rock Forming Minerals", 17th, Longman Ltd (1991) 528 p.
- [27] Smith J.V., "Phase equilibria of plagioclase, In: Ribbe PH (ed) *Feldspar mineralogy*", 2nd edn, Mineralogical Society of America, Washington DC *Reviews in Mineralogy* 2 (1983) 223-239.
- [28] Smith J.V., Brown W.L., "Feldspar minerals, Crystal structures, physical, chemical and microtextural properties, Springer", Berlin Heidelberg New York (1988) 828.
- [29] Vernon R.H., Johnson S.E., Melis E.A., "Emplacement-related microstructures in the margin of a deformed pluton: the San José tonalite, Baja California, Mexico", *Journal of Structural Geology* 26 (2004) 1867-1884.
- [30] Karsli O., Aydın F., Sadıklar M.B., "Magma interaction recorded in plagioclase zoning in granitoid systems, Zigana Granitoid, eastern Pontides, Turkey", *Turkish Journal of Earth Sciences* 13 (2004) 287-305.
- [31] Khademiparsa M., "Petrology of ore forming intrusive and subvolcanic bodies and their related aureoles in NE Delijan (Urmia-Dokhtar Zone)", PhD thesis in petrology, Shahid Beheshti University (2017). 413pp (in Persian).
- eruption products", *American Mineralogist* 81 (1996) 982-994.
- [13] Housh T.B., Luhr J.F., "Plagioclase-melt equilibria in hydrous systems", *American Mineralogist* 76 (1991) 477-492.
- [14] Blundy J.D., Wood B.J., "Crystal-chemical controls on the partitioning of Sr and Ba between plagioclase feldspar, silicate melts, and hydrothermal solutions", *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 55 (1991) 193-209.
- [15] L'heureux I., Fowler A.D., "A nonlinear dynamical model of oscillatory zoning in plagioclase", *American Mineralogist* 79 (1994) 885-891.
- [16] Longhi J., Fram M.S., Vander Auwera J., Montieth J.N., "Pressure effects, kinetics, and rheology of anorthositic and related magmas", *American Mineralogist* 78 (1993) 1016-1030.
- [17] Loomis T.P., Welber P.W., "Crystallization processes in the Rocky Hill Granodiorite Pluton, California: An interpretation based on compositional zoning of plagioclase", *Contributions to Mineralogy and Petrology* 81 (1982) 230-239.
- [18] Waight T.E., Maas R., Nicholls I.A., "Fingerprinting feldspar phenocrysts using crystal isotopic composition stratigraphy: implications for crystal transfer and magma mingling in S-type granites", *Contributions to Mineralogy and Petrology* 139 (2000) 227-39.
- [19] Smith V.C., Blundy J.D., Arce J.L., "A temporal record of magma accumulation and evolution beneath Nevado de Toluca, Mexico, preserved in plagioclase phenocrysts", *Journal of Petrology* 50 (2009) 405-426.
- [20] Yoder H.S., Stewart D.B., Smith J.R., "Ternary feldspar", *Carnegie Institution of Washington Year Book* 56 (1957) 206-214.
- [21] Ruprecht P., Worner G., "Variable regimes in magma systems documented in plagioclase zoning patterns: El Misti stratovolcano and Andahua monogenetic cones", *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 165 (2007) 142-162.