

Textural and mineralogical evidences of magma mixing in the trachyandesitic lava flows in the Ab-e-Torsh district, Western Qazvin, Iran

A. Asiabanha¹, A. Kananian²

1- Geology Dept. Faculty of Science, Imam Khomeini Int. University

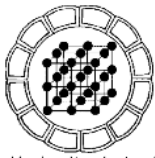
2- Geology Dept. Faculty of Science, Tehran University

Email: asiabanha@ikiu.ac.ir

(Received: 28/11/2004, received in revised form: 18/08/2005)

Abstract: Trachyandesitic rocks in the Ab-e-Torsh region, western Qazvin, have considerable thickness and extensive outcrops ($>200 \text{ Km}^2$) that form parts of the Alborz Paleogene volcanic belt. These rocks that can be correlated with the upper member of the Karaj formation, are subaerial eruptions with lava flows and some lava domes. Geochemically, these are classified as shoshonitic series. Occurrence of some textural evidences (e.g., reaction rims, sieve textures and oscillatory zoning in feldspars and augites phenocrysts) and coexistence of inequilibrium plagioclase phenocrysts (An_{5-20} , An_{36-61} , An_{77-93}), as well as compositional differences between phenocrysts and their surrounded mesostasis, all suggest that the magmatic evolutionary processes could have been occurred in an open system. On the other hand, existence of some alterations such as opacitization in phlogopitic biotites and paragasitic hornblends might be related to the late stages of the magmatic evolution with high f_{O_2} and $P_{\text{H}_2\text{O}}$. Considering textural and mineralogical observations, as well as dispersion of the whole rock geochemical data, one may conclude that the magmatic evolution have been occurred by periodic refreshment of alkaline and basic magma by a more acidic intrusion.

Keywords: *Trachyandesite, Alborz Zone, Paleogene belt, Sieve texture, Oscillatory zoning, Magma mixing.*



شواهد بافتی - کانی شناسی حاکی از وقوع اختلاط ماگمایی در گدازه‌های تراکی آندزیتی پالئوژن منطقه آبترش، غرب قزوین

عباس آسیابانها^۱، علی کنعانیان^۲

۱ - دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، دانشکده علوم پایه، گروه زمین شناسی

۲ - دانشگاه تهران، دانشکده علوم، گروه زمین شناسی

پست الکترونیکی: asiabanha@ikiu.ac.ir

(دریافت مقاله ۱۳۸۳/۹/۷، دریافت نسخه نهایی ۱۳۸۴/۵/۲۷)

چکیده: سنگهای تراکی آندزیتی منطقه آبترش در غرب قزوین با حجم و ضخامت زیاد، در گستره وسیعی (بیش از ۲۰۰ کیلومتر مربع) در غرب زون آتشفشانی البرز رخمون دارند. این سنگها که به صورت روانه گدازه و ندرتاً دم گدازه در محیط هوایی خارج شده‌اند، آخرین واحد از سنگهای معادل سازند کرج به سن پالئوژن را شامل می‌شوند و از نظر ژئوشیمیایی جزء سری شوشونیتی رده بندی می‌شوند. مشاهده برخی روابط بافتی نظیر حاشیه‌های واکنشی، بافت غربالی و منطقه بندی نوسانی در فنوکریستهای فلدسپات و اوژیت و وجود پلاژیوکلازهایی با ترکیب نامتعادل با هم (An_{5-20} , An_{36-61} , An_{77-93}) و نیز تفاوت‌های ترکیبی فاحش بین ترکیب فنوکریستها و مزوستاز دربرگیرنده آنها، حکایت از وقوع فرایندهای تحول ماگمایی در یک سیستم ترمودینامیکی باز می‌کند. همچنین شواهدی چون آپاسیتی شدن بیوتیت‌های فلوگوپیتی و هورنبلندهای پاراگازیتی نشان از بالا بودن f_{O_2} و P_{H_2O} طی آخرین مرحله تشکیل سنگهای مذکور دارد. با توجه به مجموع مشاهدات بافتی و کانی شناسی فوق و نیز پراکندگی داده‌های شیمی سنگهای مذکور در نمودارهای ژئوشیمیایی می‌توان نتیجه گرفت که فرایندهای ماگمایی گدازه تراکی آندزیتی از طریق ورود ضربانهایی از ماگماهای اسیدی تر به داخل مخزن ماگمایی بازیک و آلوکالن قابل توضیح است.

واژه‌های کلیدی: تراکی آندزیت، زون البرز، نوار پالئوژن، بافت غربالی، منطقه بندی نوسانی، اختلاط ماگمایی

مقدمه

سنگهای آتشفشانی و آذرآواری نوار پالئوژن در زون البرز، محصول فعل و انفعاله‌های متعددی حین تشکیل، صعود و تبلور ماگمای پدید آورنده آنهاست. از دیگر سو فرایندهایی چون زمین ساختی، پلوتونیزم و دگرسانی گسترده باعث پیچیده‌تر شدن و گاه مخدوش شدن آثار و پیامدهای ناشی از فعالیتهای آتشفشانی شده است. معیذا کانیهای سنگهای آتشفشانی همچون کانیهای شاخص دگرگونی، می‌توانند نشانه‌هایی از حوادث صورت گرفته طی تبلور و انجماد را نشان دهند و از این رهگذر، اهمیت بالقوه‌ای در تمایز فرایندهای زمین شناسی ایفا می‌کنند.

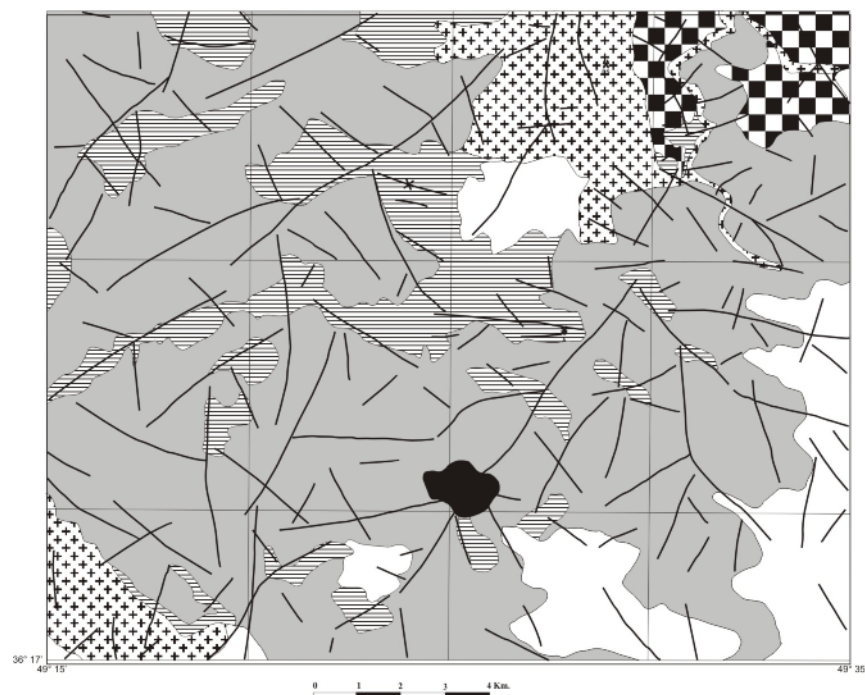
منطقه آبرش واقع در شمال غرب قزوین و جنوب لوشان از نظر تقسیمات زمین شناسی ایران، در بخشهای غربی زون البرز قرار دارد (شکل ۱). به غیر از رخنمونهای معدود آبرفتی پلیوکواترنر و نیز توده‌های نفوذی نیمه عمیق مونزونیتی تا گرانیتوئیدی، سایر رخنمونها از توالیهای ضخیم آتشفشانی و ولکانی کلاستیکی پالئوژن تشکیل شده‌اند و در مجموع منطقه‌ای با توپوگرافی کوهستانی را تشکیل می‌دهند.

بخش اعظم منطقه مورد مطالعه از سنگهای آتشفشانی و آذرآواری پالئوژن تشکیل شده است (شکل ۱) که در چینه شناسی ایران، معادل سازند کرج [۱] در نظر گرفته می‌شود. اما به غیر از مانستگیه‌های سنی با مقطع نمونه در دره کرج، تفاوت‌های لیتولوژیکی بارزی بین آنها مشهود است [۲]. بر اساس همین تفاوت‌های لیتولوژیکی که خود منبعث از تفاوت فرایندها و محیط‌های به وجود آورنده آنهاست، محققین مختلف [۲ و ۳] تقسیمات جداگانه‌ای را برای سنگهای مزبور ارائه کرده‌اند. به نحوی که مهمترین واحدهای آتشفشانی و ولکانی کلاستیک منطقه آبرش که در شرایط هوایی به منصه ظهور رسیده‌اند [۴] برحسب ترتیب سنی عبارتند از: ۱- روانه گدازه‌های تراکی‌بازالتی، ۲- دم گدازه‌های داسیتی، ۳- سنگهای آذرآواری، ۴- روانه گدازه‌های تراکی‌اندزیتی.

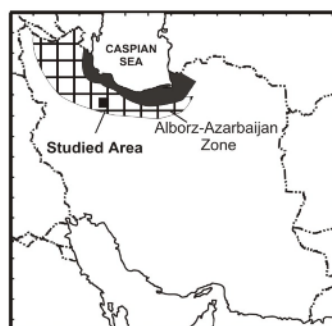
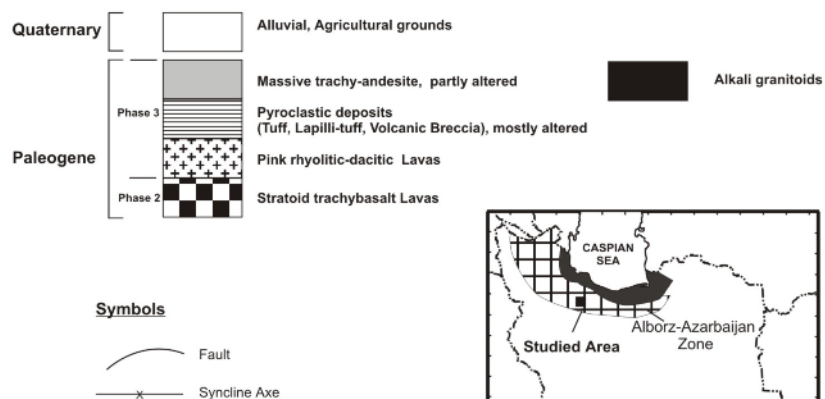
از آنجا که بیشتر حجم محصولات آتشفشانی منطقه در این زمان از جنس گدازه هستند تا سنگهای آذرآواری. به همین دلیل نام «ولکانیکهای پالئوژن» را که واژه عمومی‌تری است به جای نام سازند کرج برگزیده‌ایم. آخرین واحد آتشفشانی منطقه که در بخشهای جنوبی منطقه از حجم و گسترش قابل توجهی برخوردار است و در واقع بالاترین افق چینه‌شناسی را به خود اختصاص می‌دهد روانه گدازه‌های توده‌ای و گاه دمه‌ای گدازه با ترکیب تراکی‌اندزیتی (لاتیتی) است که در اغلب رخنمونها روی پیروکلاستیکهای ریزشی یا به صورت بین لایه‌ای با آنها قرار می‌گیرد و گاه بین این دو یک افق پالئوسل نیز دیده می‌شود که خود تأییدی است بر محیط هوایی فوران [۴].

به علاوه، زمین ساختی فعال منطقه، باعث بروز گسل خوردگی پس از تشکیل سنگهای مزبور شده و از این جهت در حوادث پلوتونیک و گرمایی بعدی موجبات دگرسانی بعدی را فراهم کرده و حتی در آنها ذخایری از نوع کائولینیت، سیلیس و آلونیت را پدید آورده است [۵]

و ۶. هدف از انجام این مطالعه، تفسیر فرآیندهای ماگمایی بوجود آورنده گدازه تراکی آندزیتی از روی روابط بافتی و شیمی کانیهاست.



LEGEND



شکل ۱ نقشه زمین شناسی منطقه و موقعیت آن در زون البرز.

روش مطالعه

برای دستیابی به فرایندهای پدید آورنده گدازه‌های تراکی‌آندزیتی، پس از مشخص شدن پراکندگی و نیز روابط صحرایی روانه گدازه مورد بحث از طریق نقشه برداری صحرایی، اقدام به نمونه‌گیریهای متعدد از بخشهای مختلف رخنمون مورد بحث گردید. پس از مطالعات سنگ-شناسی اولیه، شواهدی از وقوع بافتهای نامتعادل مشاهده شد. به همین منظور ادامه بررسیها موکول به کسب داده‌های ژئوشیمیایی از سنگ کل و نیز آنالیز میکروپروب الکترونی از برخی فنوکریستها شد. برای تعیین روابط ژئوشیمیایی، نمونه‌هایی جهت آنالیز XRF به آزمایشگاه شیمی سازمان زمین‌شناسی کشور ارسال شد و برای آنالیز میکروپروب نیز، نمونه‌هایی در مرکز فرانسوی تحقیقات دریایی اروپا (IFREMER) به وسیله دستگاه CAMECA-SX50 مورد تجزیه نقطه‌ای قرار گرفت (جدول ۱ و ۲).

سنگ شناسی

سنگهای تراکی‌آندزیتی مورد بحث، در نمونه دستی به رنگ خاکستری تیره هستند و بافتهای متنوعی چون میکروولیتیک پورفیری، جریانی، گلومروپورفیری و فلسیتیک را نشان می‌دهند. در این سنگها فنوکریستهای پلاژیوکلاز (الیگوکلاز تا آندزین)، سانیدین، کوارتز، مقدار کمی اوژیت و الیوین همراه با فلوگوپیت آهن‌دار و هورنبلند پاراگازیتی و ریز بلورهای آپاتیت و کانیه‌های کدر (شامل ماگنتیت، کالکوپریت و هماتیت) در خمیره‌ای شیشه‌ای و میکروولیتی قرار گرفته‌اند. به دلیل دگرسانیهای دوتریک، گرمایی و حتی دویتریک، کانیه‌های مورد اشاره غالباً به کانیه‌های ثانویه دیگری تبدیل شده‌اند که مشاهدات زیر حکایت از وقوع این پدیده‌ها دارند:

- اکسایش بیوتیت و هورنبلند به اکسیده‌های آهن هنگام بیرون ریزی گدازه در محیط هوایی.
- سریسیتی شدن پلاژیوکلاز و سانیدین ناشی از دگرسانی گرمایی.
- کلریتی شدن فازهای مافیک نظیر بیوتیت، آمفیبول، اوژیت و مزوستاز بین بلورها ناشی از دگرسانی گرمایی و دویتریک.
- ژئولیتی شدن ناشی از دگرسانی گرمایی.
- ایدینگسیتیزاسیون الیوین.
- سوسوریتیزاسیون و سیلیسی شدن فلدسپاتها.

شکل ۲ نام سنگهای مذکور را در نمودار TAS [۷] نشان می‌دهد. در نمودار مذکور جهت مقایسه و طرح مبانی بحث قسمت بعد، نقاط مبین روانه گدازه‌های تراکی بازالتی نیز آورده شده‌اند. چنانچه معلوم است این نمونه‌ها با نمونه‌های تراکی‌آندزیتی قرابت ترکیبی زیادی نشان می‌دهند. موضوع چگونگی ارتباط زایشی بین آنها بحث برانگیز و پاسخ به آن مورد توجه این بررسی بوده است.

جدول ۱ نتایج تجزیه میکروپروپ فنوکریستهای پلاژیوکلاز.

شماره نقطه	۱۹۳/۱۳۲	۱۹۵/۱۳۲	۱۹۶/۱۳۲	۱۹۷/۱۳۲	۱۹۸/۱۳۲	۱۹۹/۱۳۲	۲۰۱/۱۳۲
SiO ₂	۴۶/۵۶۷	۵۴/۶۹۶	۵۴/۴۷	۵۴/۸۵	۵۳/۸۹۹	۴۹/۱۳۷	۴۸/۴۱۲
TiO ₂		۰/۰۱۵		۰/۱۴۲	۰/۰۵۴	۰/۰۲	۰/۰۵۶
Al ₂ O ₃	۳۲/۶۲۹	۲۸/۱۶۷	۲۸/۰۶۴	۲۷/۳۸۵	۲۶/۶۱۹	۳۲/۰۲۴	۳۲/۰۳۵
FeO _(t)	۰/۸۹۱	۰/۶۱	۰/۷۹۷	۰/۵۶۹	۰/۵۷۳	۰/۷۰۱	۰/۵۵۷
MnO	۰/۰۳	۰/۰۴۱	۰/۰۲				
MgO	۰/۰۴۷	۰/۰۶۳	۰/۰۹۳	۰/۰۲	۰/۰۹۹	۰/۰۸۷	۰/۰۵۲
CaO	۱۷/۰۷۴	۱۱/۶۴۸	۱۱/۶۲۶	۱۰/۷۷۸	۱۰/۶۴۳	۱۵/۸۵۱	۱۶/۵۷۱
Na ₂ O	۱/۶۷۳	۴/۵۹۲	۴/۳۲۹	۴/۸۸۴	۴/۵۲۲	۲/۵۸	۲/۱۸۷
K ₂ O	۰/۰۹۶	۰/۶۸۵	۰/۶۲۶	۰/۷۴۳	۰/۸۰۴	۰/۲۳۵	۰/۱۸
P ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-
Total	۹۹/۰۰۷	۱۰۰/۵۲	۱۰۰/۰۳	۹۹/۴۵	۹۷/۲۱	۱۰۰/۶۴	۱۰۰/۰۵
%An	۸۲/۲۰	۵۶/۰۷	۵۷/۵۴	۵۲/۵۷	۵۳/۸۰	۷۶/۲۱	۷۹/۸۹
شماره نقطه	۲۴۶/۱۲۲	۲۴۷/۱۲۲	۹/۱۳۵	۱۵/۱۴۰	۱۶/۱۴۰	۱۷/۱۴۰	۱۸/۱۴۰
SiO ₂	۵۴/۷۸	۵۶/۴۶۱	۵۵/۲۴۳	۵۸/۴۶۹	۵۸/۸۷۲	۶۰/۲۶۳	۵۸/۴۰۶
TiO ₂	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۹۳	۰/۰۵۶	۰/۰۴۳	۰/۰۵۴	۰/۰۶۶
Al ₂ O ₃	۲۷/۹۶۵	۲۷/۰۶۵	۲۷/۴۸۲	۲۵/۶۴۲	۲۶/۹۲۷	۲۴/۶۰۷	۲۵/۶۳
FeO _(t)	۰/۴۷۵	۰/۴۵۷	۰/۵۹۶	۰/۵۷۶	۰/۵۶۳	۰/۳۹۴	۰/۴۹۲
MnO	-	۰/۰۱۲	۰/۰۲۸		۰/۰۴۸	۰/۰۴۸	۰/۰۳
MgO	۰/۰۷۱	۰/۰۳۱	۰/۰۷۷	۰/۰۶۹	۰/۰۳۱	۰/۰۰۴	۰/۰۴۶
CaO	۱۱/۲۴	۱۰/۱۸۵	۱۱/۲۶۳	۸/۴۳۳	۹/۶۹۳	۷/۳۲	۸/۵۵۳
Na ₂ O	۴/۶۹۵	۵/۳۴۷	۴/۶۷۸	۶/۰۶۹	۵/۴۶۸	۶/۷۱۲	۶/۰۱۱
K ₂ O	۰/۷۰۹	۰/۸۹۵	۰/۶۹۲	۰/۹۴۶	۰/۹۷	۱/۰۶۴	۱/۱۲۴
P ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-
Total	۹۹/۹۶۵	۱۰۰/۵۰	۱۰۰/۱۵	۱۰۰/۲۹۶	۱۰۲/۶۲	۱۰۰/۴۷	۱۰۰/۳۶
%An	۵۴/۶۲	۴۸/۶۷	۵۴/۸۰	۴۱/۰۵	۴۶/۷۳	۳۵/۳۱	۴۱/۱۸
نقطه شماره	۱۹/۱۴۰	۲۱/۱۴۰	۲۴/۱۴۶	۲۵/۱۴۶	۲۶/۱۴۶	۱۷/۱۵۸	۱۸/۱۵۳
SiO ₂	۵۷/۷۲۵	۵۵/۲۹۷	۶۰/۶۲۹	۶۰/۳۳۶	۶۰/۸۶۳	۵۵/۳۵۷	۵۷/۳۹۸
TiO ₂	۰/۰۱	۰/۰۴۶	۰/۰۳۷	۰/۰۳۴	۰/۰۲۸	-	-
Al ₂ O ₃	۲۵/۹۳۴	۲۷/۷۶۴	۲۴/۷۴۴	۲۴/۹۷۵	۲۵/۰۶۱	۲۷/۴۲۳	۲۶/۹۶۴
FeO _(t)	۰/۵۷۶	۰/۳۹۳	۰/۱۵۸	۰/۲۱۶	۰/۲۲۸	۰/۴۳۳	۰/۲۵۸
MnO	۰/۰۲۲	-	-	-	-	۰/۰۴۸	-
MgO	۰/۰۶۶	۰/۰۱	-	۰/۰۰۱	-	۰/۰۳۴	-
CaO	۹/۰۲۶	۱۰/۷۴۸	۶/۹۳۲	۷/۸۵۲	۷/۴۰۹	۱۰/۸۵۴	۹/۲۵۳
Na ₂ O	۵/۷۹۲	۴/۹۴۹	۶/۹۱۶	۷/۰۵۹	۷/۱۶۶	۵/۳۳۳	۶/۲۴۳
K ₂ O	۱/۰۲۱	۰/۸۰۱	۱/۰۱۶	۰/۵۹۶	۰/۶۰۲	۰/۶۲۲	۰/۵۷۶
P ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-
Total	۱۰۰/۱۷	۱۰۰/۰۱	۱۰۰/۴۳	۱۰۱/۰۷	۱۰۱/۳۶	۱۰۰/۱۰	۱۰۰/۷۹
%An	۴۳/۵۶	۵۲/۰۳	۳۳/۵۵	۳۶/۸۰	۳۵/۱۲	۵۱/۰۱	۴۴/۲۶

ادامه جدول ۱ نتایج تجزیه میکروپروب فنوکریستهای پلاژیوکلاز.

شماره نقطه	۱۱۹/۱۵۳	۱۲۰/۱۵۳	۱۲۱/۱۵۳	۱۲۲/۱۵۳	۱۲۳/۱۵۳	۱۲۵/۱۵۳	۱۲۶/۱۵۳
SiO ₂	۵۸/۴۵۵	۵۵/۷۳۴	۵۷/۵۵۹	۵۷/۷۸۴	۵۸/۲۶۱	۵۸/۹۱۸	۵۸/۴۷۹
TiO ₂	۰/۰۴۲	۰/۰۱۹	۰/۰۵۷	-	۰/۰۴	۰/۰۲۷	۰/۰۳۴
Al ₂ O ₃	۲۶/۶۷۱	۲۷/۲۹	۲۶/۱۱۶	۲۶/۱۳۸	۲۵/۷۸۵	۲۵/۳۱۱	۲۵/۷۳۲
FeO _(t)	۰/۱۹۷	۰/۲۴۸	۰/۴۲۳	۰/۱۹۸	۰/۳۷۶	۰/۴۶۹	۰/۳۱۷
MnO	۰/۰۱۹	۰/۰۱۳	۰/۰۵	۰/۱۴۹	۰/۰۳۲	-	۰/۰۸۴
MgO	۰/۰۱۳	۰/۰۰۳	۰/۰۶	۰/۰۳	۰/۰۲۹	۰/۰۳۹	۰/۰۱۳
CaO	۸/۸۲	۱۰/۰۹۴	۸/۷۱۱	۹/۳۹۱	۸/۵۸	۸/۱۱۵	۸/۳۹۶
Na ₂ O	۶/۳۵۲	۵/۵۹۱	۶/۲۶۹	۶/۰۶۷	۶/۳۹۳	۶/۴۷۷	۶/۴۸۵
K ₂ O	۰/۶۱۱	۰/۴۸۵	۰/۶۵۳	۰/۶۳۳	۰/۷۱۶	۰/۷۶۵	۰/۷۵
P ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-
Total	۱۰۱/۱۸	۹۹/۵۸	۹۹/۹۰	۱۰۰/۳۹	۱۰۰/۲۱	۱۰۰/۱۲	۱۰۰/۲۸
%An	۴۱/۹۲	۴۸/۵۵	۴۱/۸۱	۴۴/۴۶	۴۰/۵۵	۳۹/۱۲	۳۹/۹۳
شماره نقطه	۱۲۷/۱۵۳	۱۲۸/۱۵۳	۱۲۹/۱۵۳	۱۶۸/۱۴۸	۱۶۹/۱۴۸	۱۷۱/۱۴۸	۱۷۴/۱۴۸
SiO ₂	۵۲/۹۰۵	۵۶/۶۵۴	۵۸/۴۰۹	۶۳/۳۷۱	۶۵/۹۶۷	۶۵/۱۰۶	۴۵/۷۰۱
TiO ₂	-	۰/۰۲	-	۰/۰۰۷	۰/۰۱	۰/۰۲۰۵	-
Al ₂ O ₃	۲۹/۱۲۲	۲۵/۵۸۵	۲۵/۸۰۸	۲۰/۷۴۹	۲۰/۸۰۵	۲۰/۸۲۴	۱۶/۷۴۴
FeO _(t)	۰/۲۴۱	۰/۱۲۵	۰/۲۸	۰/۰۰۹	-	-	-
MnO	-	-	-	۰/۰۴۸	۰/۰۱۹	۰/۰۳۹	۰/۰۶۴
MgO	۰/۰۴۴	۰/۰۱۶	۰/۰۱۶	۰/۰۰۳	۰/۰۵	۰/۰۲۴	۰/۰۰۸
CaO	۱۲/۴۱۴	۸/۵۱۹	۸/۴۷۶	۱/۹۴۶	۱/۸۹۸	۲/۱۸۲	۹/۰۴
Na ₂ O	۴/۳۹۲	۶/۵۸	۶/۲۱۳	۱۰/۰۸۵	۱۰/۵۴۹	۱۰/۱۸۲	۰/۲۲۲
K ₂ O	۰/۲۹۹	۰/۶۵۳	۰/۷۳۱	۰/۰۵۷	۰/۰۱	۰/۰۳۸	۰/۷
P ₂ O ₅	-	-	-	-	-	۰/۰۰۳	-
Total	۹۹/۴۲	۹۸/۱۵	۹۹/۹۳	۹۶/۲۷۵	۹۹/۳۱	۹۸/۴۲	۷۲/۵۱
%An	۵۹/۹۲	۴۰/۱۷	۴۱/۱۷	۹/۸۳	۹/۴۰	۱۰/۸۴	۸۸/۰۵
شماره نقطه	۲۰۲/۱۳۲	۲۰۳/۱۳۲	۲۴۰/۱۳۲	۲۴۱/۱۳۲	۲۴۴/۱۳۲	۲۴۵/۱۳۲	۱۷۸/۱۴۸
SiO ₂	۴۵/۷۹۲	۴۶/۶۳۱	۵۸/۵۹۳	۵۳/۹۹۴	۵۷/۰۱۱	۵۷/۰۳۸	۶۷/۷۰۵
TiO ₂	-	-	-	۰/۱۲۳	۰/۰۲۹	۰/۰۵۶	-
Al ₂ O ₃	۳۴/۳۷۶	۳۳/۸۲۳	۲۵/۶۸۴	۲۸/۵۶۴	۲۶/۹۶۷	۲۶/۵۸۱	۱۹/۹۶۴
FeO _(t)	۰/۶	۰/۵۷	۰/۲۸۹	۰/۲۸۸	۰/۵۰۵	۰/۳۰۲	۰/۰۴۲
MnO	-	-	۰/۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۳	۰/۰۲۲	۰/۰۵۵
MgO	۰/۰۴۴	۰/۰۶۹	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۴۶	۰/۰۷	-
CaO	۱۸/۳۶۳	۱۷/۷۲۲	۸/۷۸۱	۱۲/۱۰۲	۹/۸۸۵	۹/۹۰۷	۰/۷۳۳
Na ₂ O	۰/۷۸۶	۱/۳۴	۶/۰۰۳	۴/۳۲۹	۵/۳۹۹	۵/۲۸۸	۱۱/۴۶۸
K ₂ O	۰/۰۴۷	۰/۰۷۷	۰/۹۵۹	۰/۵۵۷	۰/۶۰۳	۰/۹۳۹	۰/۰۴۳
P ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-
Total	۱۰۰/۰۱	۱۰۰/۲۳	۱۰۰/۳۹	۱۰۰/۰۱	۱۰۰/۴۸	۱۰۰/۲۰	۱۰۰/۰۱
%An	۹۲/۵۵	۸۷/۵۷	۴۲/۲۵	۵۸/۷۵	۴۸/۵۲	۴۸/۱۰	۳/۷۴

ادامه جدول ۱ نتایج تجزیه میکروپروب فنوکریستهای پلاژیوکلاز.

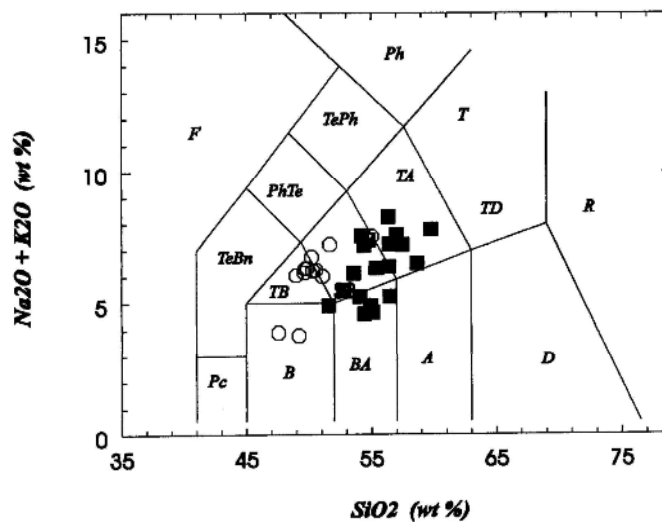
شماره نقطه	۱۷۹/۱۴۸	۱۸۰/۱۴۸	۱۸۱/۱۴۸	۱۸۲/۱۴۸
SiO ₂	۶۵/۹۶	۶۷/۱۴۶	۶۶/۲۲۲	۶۲/۹۵۹
TiO ₂	-	۰/۰۱	-	-
Al ₂ O ₃	۲۰/۷۳۲	۲۰/۲۶۵	۱۹/۴۴۶	۲۰/۳۶۲
FeO _(t)	۰/۰۵۳	۰/۰۵۸	۰/۰۸۹	۰/۳۱۲
MnO	۰/۰۱۸		۰/۰۰۱	۰/۰۸۲
MgO	۰/۰۷	-	-	۰/۶۳
CaO	۱/۵۲۷	۰/۹۳۴	۰/۷۰۳	۲/۵۰۹
Na ₂ O	۱۰/۵۹۹	۱۰/۹۹۱	۱۰/۹۰۳	۹/۳۱۲
K ₂ O	۰/۱۳۹	۰/۰۲۸	۰/۰۶۷	۰/۳۰۳
P ₂ O ₅	-	۰/۰۱۸	-	-
Total	۹۹/۱۰	۹۹/۴۵	۹۷/۴۳	۹۶/۴۷
%An	۷/۹۹	۴/۶۸	۳/۷۶	۱۷/۶۷

جدول ۲ نتایج تجزیه میکروپروب فنوکریستهای پیروکسن.

شماره نقطه	۱۹۴/۱۳۲	۲۰۰/۱۳۲	۲۴۲/۱۲۲	۷/۱۳۵	۸/۱۳۵	۱۰/۱۳۵	۱۱/۱۳۵
SiO ₂	۵۲/۲۴۴	۵۱/۷۲۹	۵۲/۳۳۳	۵۱/۷۵۳	۵۲/۸۱۵	۵۲/۷۵	۵۱/۶۷۶
TiO ₂	۰/۶۵۸	۰/۶۵۲	۰/۴۶۳	۰/۵۶۵	۰/۴۷	۰/۴۸۲	۰/۶۵۵
Al ₂ O ₃	۲/۳۱۹	۳/۲۷	۱/۴۰۹	۳/۱۰۷	۲/۰۷۵	۲/۱۱۹	۲/۷۰۲
FeO _(t)	۸/۳۹۵	۸/۱۱۷	۸/۶۹۴	۸/۵۷۹	۸/۲۰۲	۷/۸	۸/۴۰۴
MnO	۰/۳۲۸	۰/۲۷۷	۰/۵۱۳	۰/۴۱۷	۰/۵۷۱	۰/۴۴۲	۰/۳۰۵
MgO	۱۵/۴۶۱	۱۴/۷۰۷	۱۵/۲۵۹	۱۵/۰۴۶	۱۵/۵۴۲	۱۵/۶۸۲	۱۵/۴۲۹
CaO	۲۱/۳۲۳	۲۱/۸۴	۲۰/۵۱۸	۲۱/۰۲۷	۲۰/۳۵۳	۲۱/۱۴۴	۲۱/۱۹۵
Na ₂ O	۰/۳۱۳	۰/۲۵۸	۰/۴۲۴	۰/۳۱۱	۰/۳۵۷	۰/۳۸	۰/۳۶۲
K ₂ O	۰/۰۰۳	-	-	-	-	-	۰/۰۰۱
P ₂ O ₅	۰/۰۱۵	-	۰/۰۲۲	-	-	۰/۰۴۶	-
Total	۱۰۱/۰۶	۱۰۰/۸۵	۹۹/۶۳۵	۱۰۰/۸۱	۱۰۰/۳۹	۱۰۰/۸۵	۱۰۰/۷۳
شماره نقطه	۱۲/۱۳۵	۱۳/۱۳۵	۱۴/۱۳۵	۱۸/۱۵۸	۲۲/۱۴۶	۲۳/۱۴۶	۱۲۴/۱۵۳
SiO ₂	۵۲/۰۱۷	۵۱/۹۸۹	۵۱/۹۳۹	۵۲/۴۹۴	۵۲/۳۳۶	۵۲/۵۰۵	۵۲/۸۲۷
TiO ₂	۰/۵۸۸	۰/۵۸۸	۰/۵۹۲	۰/۳۶۷	۰/۵۱۸	۰/۵۹	۰/۲۱۲
Al ₂ O ₃	۲/۱۲	۲/۵۰۷	۲/۹۹۲	۱/۴۷۸	۱/۹۷۷	۱/۷۸۴	۰/۹۸۳
FeO _(t)	۸/۵۶۴	۸/۴۹۴	۸/۶۰۶	۸/۴	۸/۳۶۷	۹/۴۰۵	۸/۱۴۳
MnO	۰/۶۱۷	۰/۳۷۴	۰/۲۹۶	۰/۲۷۲	۰/۵۶۱	۰/۲۱۲	۰/۶۲۸
MgO	۱۵/۵۶	۱۵/۴۹۸	۱۵/۲۰۷	۱۵/۱۶	۱۵/۳۲۹	۱۵/۴۵۵	۱۴/۶۹۵
CaO	۲۰/۶۵۴	۲۱/۰۶۲	۲۱/۸۲۱	۲۱/۹۴۸	۲۰/۷۶۱	۲۰/۴۱	۲۲/۵۳
Na ₂ O	۰/۳۷۸	۰/۳۸۴	۰/۳۳۷	۰/۳۷۴	۰/۴۳۳	۰/۲۹۳	۰/۳۶۵
K ₂ O	۰/۰۵۳	۰/۰۰۲	-	-	-	-	-
P ₂ O ₅	-	۰/۰۱۹	۰/۰۸۲	۰/۰۱۷	۰/۰۶	۰/۰۲۴	-
Total	۱۰۰/۵	۱۰۰/۹۲	۱۰۱/۸۷	۱۰۰/۵۱	۱۰۰/۳۴	۱۰۰/۶۸	۱۰۰/۳۸

ادامه جدول ۲ نتایج تجزیه میکروپروب فنوکریستهای پیروکسن.

شماره نقطه	۱۷۵/۱۴۸	۱۷۶/۱۴۸	۱۷۷/۱۴۸
SiO ₂	۵۲/۴۶۴	۴۸/۷۵۸	۴۵/۹۸۶
TiO ₂	۰/۱۹۶	۰/۵۵۵	۱/۲۶۳
Al ₂ O ₃	۰/۷۳۴	۳/۸۰۶	۶/۶۰۵
FeO _(t)	۵/۰۳	۶/۷۵۹	۸/۳۸۶
MnO	۰/۶۸۱	۰/۱۴۳	۰/۱۵۱
MgO	۱۴/۶۲۹	۱۴/۴۱۴	۱۲/۹۸۱
CaO	۲۱/۹۸۵	۲۲/۶۹۴	۲۲/۴۱۷
Na ₂ O	۰/۳۲۶	۰/۲۲۵	۰/۲۶۳
K ₂ O	-	-	-
P ₂ O ₅	۰/۰۱۹	-	-
Total	۹۶/۰۶	۹۷/۳۵	۹۸/۰۵



شکل ۲ رده‌بندی شیمیایی نمونه‌های گدازه تراکی‌آندزیتی در نمودار TAS. جهت مقایسه پترولوژیکی، همراه با نمونه‌های تراکی‌آندزیتی (■)، نمونه‌های تراکی‌بازالتها (○) نیز آورده شده‌اند [۷].

ویژگیهای شیمیایی و بافتی کانیها

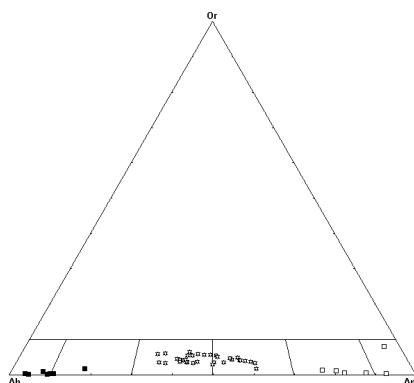
از آنجا که هدف این نوشتار، ارائه سلسله شواهدی مبنی بر روند تحولی ماگمای تراکی‌آندزیتی منطقه آبترش در سیستمی باز است که در آن ماگمای حاصل از ذوب بخشی در یک مخزن ماگمایی اختلاط پیدا کرده‌اند، در ادامه مشخصات بافتی و شیمیایی هر یک از فنوکریستهای موجود در سنگ به طور جداگانه مورد بحث قرار می‌گیرد و در پایان به بحث و نتیجه‌گیری می‌پردازیم.

(۱) فلدسیاتها

فئوکریست غالب سنگ، پلاژیوکلاز و ندرتاً سانیدین است که فراوانی مودال مجموع آنها بیش از ۴۰٪ است. داده‌های تجزیه میکروپروب همراه با مشاهدات میکروسکوپی، وجود اختصاصات زیر را در کانیهای مذکور نشان می‌دهد:

الف) ترکیب چندگانه: نمایش داده‌های ترکیبی پلاژیوکلاز بر حسب $An\%$ روی مثلث ترکیب فلدسیاتها (شکل ۳) حاکی از وجود یک دامنه ترکیبی گسترده از پلاژیوکلازها از آلیت نسبتاً خالص تا آنورتیت تقریباً خالص در نمونه‌هاست که با توجه به وجود وقفه‌های ترکیبی می‌توان آنها را به سه جمعیت جداگانه شامل: An_{5-20} ، An_{36-61} ، و بالاخره An_{77-93} تقسیم کرد. مسلماً این سه جمعیت که به فاصله کوتاهی از هم جدا می‌شوند، محصول بلور شدن آبگونیایی هستند که امکان همزیستی تعادلی در کنار هم را نداشته‌اند [۸ تا ۱۰].

ب) منطقه‌بندی: همانند اغلب سنگهای آتشفشانی، پلاژیوکلازهای این روانه‌ها نیز منطقه‌بندی ترکیبی نشان می‌دهند. نوع منطقه‌بندی با توجه به داده‌های میکروپروب از چند نمونه پلاژیوکلاز (جدول ۳) از نوع نوسانی تشخیص داده شد که خود حکایت از نوسان در شرایط فیزیکوشیمیایی حاکم بر سیستم بلوری شدن دارد [۸].



شکل ۳ نمایش سه مجموعه ترکیبی مختلف در فئوکریستهای پلاژیوکلاز روانه تراکی‌آندزیتی با وقفه‌های فاحش بین آنها.

جدول ۳ مقادیر $An\%$ در مناطق حاشیه، وسط و مرکز چند فئوکریست پلاژیوکلاز. داده‌های ردیفهای اول و سوم، به ترتیب مربوط به شکلهای ۴-الف و ب هستند.

شماره نمونه	حاشیه $An\%$	وسط $An\%$	مرکز $An\%$
A.132	۵۵	۶۰	۵۸
A.132	۸۱	۹۳	۸۸
A.122	۴۵	---	۶۱
A.122	۵۰	۵۷	۵۱
A.140	۳۸	۴۴	۴۶
A.140	۴۳	---	۴۹
A.146	۳۶	۳۸	۳۶
A.153	۴۳	۴۶	۴۳
A.153	۵۰	۴۳	۴۵

ج) حاشیه‌های واکنشی پتاسیک: پدیده غالب در مورد تمام پلاژیوکلازها اعم از اینکه دارای منطقه‌بندی باشند یا نباشند، وجود حاشیه‌های واکنشی نازک در حد فاصل بین فنوکریست و خمیره شیشه‌ای آنهاست (شکل ۵-ب، د، ه). تجزیه شیمیایی این حاشیه‌ها، ترکیبشان را از نوع پتاسیم فلدسپات نشان داده است. با توجه به ترکیب پتاسیک کلی سنگ ($K_2O = 1/8 - 3/8 \%$) و فراوانی کمتر فنوکریستهای پتاسیم فلدسپات، می‌توان نتیجه گرفت که ترکیب خمیره شیشه‌ای سنگ، پتاسیک باشد.

د) خوردگی شیمیایی: تقریباً در بیشتر فنوکریستها اعم از پلاژیوکلاز، سانیدین، کوارتز و حتی برخی کانیه‌های مافیک، بافتهای خوردگی مشاهده می‌شود (شکل ۶-ج، د) که این نیز نشان از ناپایداری فیزیکوشیمیایی فنوکریستها در آبگونی اشباع شده از آن فاز در حین فوران و انجماد نهایی دارد [۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴].

ه) بافت غربالی: به دام افتادن ورودیهای آبگون در پلاژیوکلازهای این روانه، شکلهای مختلفی از بافت غربالی را ایجاد کرده است که از آن جمله است: ورودیهای آبگون موازی با سطوح ماکل، مدل منطقه‌بندی موازی با حاشیه بلور، مدل بلور اسکلتی شده (شکل ۵). با توجه به مشاهده چنین بافتهایی توسط مؤلفین مختلف [۱۳ تا ۱۶] می‌توان علت تشکیل آنها را به ناپایداری فنوکریستهای پلاژیوکلاز در آبگون اشباع شده از آن و لذا تفاوت ترکیب فاحش بین آنها در نظر گرفت. این موضوع توسط این محققین و افراد دیگر [۸ تا ۱۰، ۱۳، ۱۶ و ۱۷] حمل بر اختلاط ماگمایی شده است.

۲) اوژیت

اوژیت دیوپسیدی با طیف ترکیب محدود (شکل ۷) هم به صورت فنوکریست و هم به صورت ذرات ریز داخل خمیره و بین میکرولیت‌ها دیده می‌شود. از این رو تشکیل آن از ابتدا تا انتهای بلوری شدن با ترکیبی نسبتاً ثابت به طول انجامیده است.

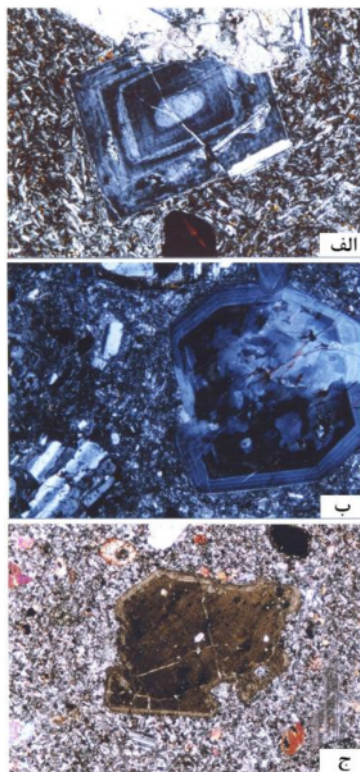
با این حال، در مواردی به دلیل مشاهده بافتهای غربالی، منطقه بندی (شکل ۴-ج) و حاشیه‌های واکنشی، می‌توان انتظار تغییرات فاحش خمیره دربرگیرنده فنوکریستها را داشت. مسلماً ترکیب این خمیره پس از تشکیل فنوکریستها، تا حدودی از این فاز اشباع شده است که توانسته است چنین شکلی را بوجود آورد. از طرفی حضور یک مورد بافت اکسولوشنی (شکل ۶-الف) در داخل پیروکسن و عدم حضور این بافت در سایر فنوکریستهای پیروکسن می‌تواند نشان دهنده شرایط متفاوت تشکیل این بلورها و عدم تعادل آنها با یکدیگر باشد. چرا که اکسولوشن در صورتی بوجود می‌آید که منحنیهای سالیدوس و سالووس از لحاظ دمایی با یکدیگر فاصله داشته باشند و به محض از بین رفتن فاصله دمایی بین آنها شاهد بلوری شدن همزمان بلورهای مجزای دو قطب انتهایی محلول جامد خواهیم بود. بنابراین حضور بلورهای

واجد اکسولوشن در کنار انواع فاقد این بافت می‌تواند نشانه وجود دو نسل متفاوت پیروکسن نا همزیست در کنار هم و به عبارتی مبین فرایند اختلاط ماگمایی باشد.

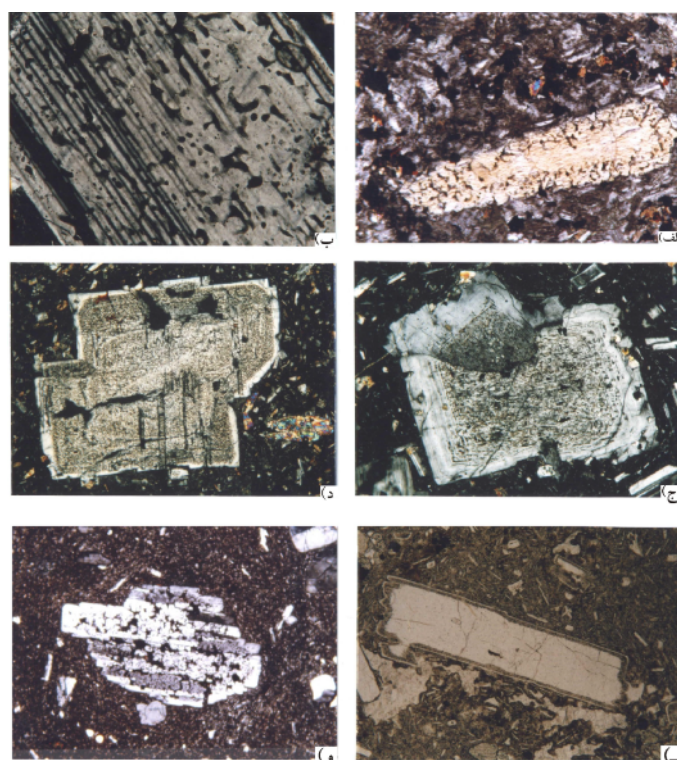
۳) بیوتیت و آمفیبول

تجزیه شیمیایی دو نمونه بیوتیت و آمفیبول موجود در این روانه گدازه ترکیب دقیق آن را در محدوده فلوگوپیت آهن‌دار $K_2(Mg_{3/3}, Fe_{1/25})_{4/6}(Al, Ti)_{1/4}(Si_6, Al_2)O_{20}(OH, F)_4$ و هورنبلند پاراگازیتی $NaCa_2Mg_3Fe_{1/3}Ti_{0/2}Al_{0/5}(Si_{6/6}, Al_{1/4})O_{22}(OH, F)_2$ نشان می‌دهد که همگی حاشیه‌های اپاسیتی شده دارند (شکل ۶-ب). پایداری کانیه‌های مافیک آبدار نظیر آمفیبول مستلزم بالا بودن نسبی P_{H_2O} و پایین بودن نسبی فشار و دما و اشباع بودن آبگون از عناصر آلکالن نظیر Na_2O است [۱۸ تا ۲۰]. به علاوه، وجود اشکال اکسایش بیوتیت و آمفیبول، بر بالا بودن P_{H_2O} و f_{O_2} محیط دربرگیرنده فازهای فنوکریستی و از دست رفتن آب حین بالا آمدن صحه می‌گذارد که این می‌تواند موجب بروز حالت واجذبی کامل یا ناقص شود [۱۱ و ۱۸].

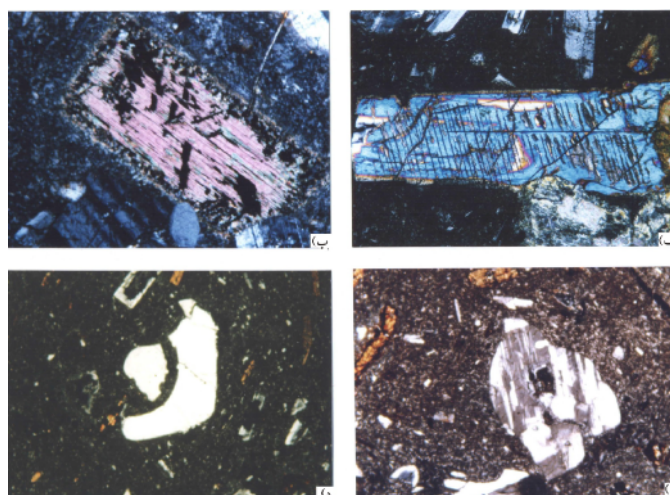
ماگنتیت در اثر تحمل حرارت زیاد و f_{O_2} بالا از طرف مذاب دربرگیرنده (ج) ایجاد و گسترش خلیج خوردگی در فنوکریست پلاژیوکلاز توسط مذاب احاطه کننده که در ضمن باعث گردشگری آن نیز شده است. (د) پیشرفت خلیج خوردگی در فنوکریست کوارتز که باعث انفکاک دو قطعه و نیز گردش آن شده است. (به شکل ۴-ج نیز توجه شود).



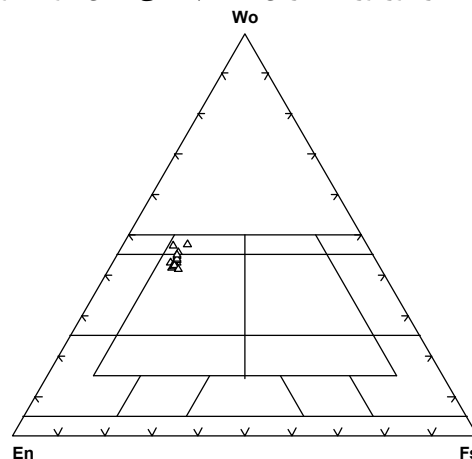
شکل ۴ نمایش انواع منطقه‌بندیها در فنوکریستهای پلاژیوکلاز و پیروکسن. (الف) فنوکریست پلاژیوکلاز دارای منطقه‌بندی نوسانی در یک زمینه تراکیتی. (ب) فنوکریست پلاژیوکلاز دارای منطقه‌بندی نوسانی با هسته همگن و حاشیه‌ای نازک از جنس پتاسیم فلدسپات. (ج) ظهور خلیج خوردگی در یک فنوکریست اوژیت دارای منطقه‌بندی. (داده‌های میکروپروب شکلهای «الف» و «ب» در ردیفهای اول تا سوم جدول-۳ آورده شده‌اند).



شکل ۵ انواع بافت‌های غربالی در (الف) اوژیت و پلاژیوکلاز: (ب) موازی با سطوح ماکل، (ج) مدل منطقه‌ای (د) پراکندگی همگن ادخالها در متن بلور و تشکیل حاشیه واکنشی پتاسیک در اطراف آن. (هـ) تمرکز در حاشیه‌ها و احاطه شدن با حاشیه واکنشی پتاسیک. (و) تشکیل بلور اسکلتی در اثر گسترش خوردگی و به دام افتادن لکه‌های مذاب.



شکل ۶ بافتهای مبین تغییرات شرایط فیزیکی تبلور. (الف) تشکیل تیغه‌های اکسولوشنی ارتوپروکسن به موازات سطح (100) در بلور اوژیت میزبان. (ب) اپاسیتی شدن بیوتیت و تشکیل بلورهای ریز.



شکل ۷ نمودار نشان دهنده ترکیب شیمیایی فنوکریستهای پروکسن در محدوده اوژیت و سالیته.

بحث و برداشت

تنوع و پیچیدگیهای بیشتر ولکانیسم پالئوژن در بخشهای غربی البرز نسبت به بخشهای مرکزی موجب شده است که علاوه بر فازهای انفجاری، فازهای کمتر انفجاری نیز به منصه ظهور برسند که برون ریزی انواع مختلف گدازه‌های بازیک تا حدواسط و اسیدی از آن جمله است. نحوه تشکیل و روند تحولات روانه گدازه آندزیتی - تراکی آندزیتی منطقه آبترش به دلیل مشاهده روابط بافتی ویژه، گسترش زیاد و نیز میزبانی انواع کانسارهای فلزی و غیر فلزی مورد توجه این بررسی قرار گرفت.

با استناد به داده‌های شیمی کانیهای مختلف و شواهد سنگ شناسی و سنگ زائی، می‌توان چگونگی تشکیل و تکوین این واحد گدازه‌ای را با توجه به مشخصات بافتی و شیمیایی اشاره شده، به شرح زیر نتیجه گیری کرد:

(۱) چنانکه در شکل ۲ ملاحظه می‌شود نمونه‌های مبین گدازه تراکی آندزیتی با نمونه‌های تراکی بازالتی منطقه قرابت نزدیکی نشان می‌دهند. این پندار که ممکن است گدازه‌های تراکی آندزیتی با ترکیب اسیدی تر و آکالن تر، از تفريق روانه‌های تراکی بازالتی بوجود آمده باشند با مجموعه خصوصیات یاد شده هماهنگی ندارد. بلکه این بررسی نشان می‌دهد که ارتباط دو ماگما با یکدیگر، از طریق اختلاط ماگمایی هماهنگی بیشتری با شواهد به دست آمده دارد.

(۲) گدازه‌های تراکی آندزیتی منطقه، به دلیل دارا بودن مقدار آلکالیهای زیاد ($\text{Na}_2\text{O} = 1/8 - 3/8\%$, $\text{K}_2\text{O} = 1/8 - 3/8\%$) جزء سنگهای آکالن محسوب می‌شوند. اما به دلیل آنکه فازهای فنوکریستی غالب سنگ (پلاژیوکلاز و اوژیت) حاوی پتاسیم کمی

هستند می‌توان نتیجه گرفت که بیشتر این مقدار پتاسیم را باید در مزوستاز سنگ جستجو کرد. از دیگر سو مشاهده حاشیه‌های واکنشی پتاسیک در گرداگرد برخی فنوکریستهای پلاژیوکلاز و خوردگی شیمیایی در اغلب فنوکریستها می‌تواند بر ناپایداری شیمیایی این فازها و اشباع بودن آنها در آبگون دربرگیرنده‌شان صحنه گذارد [۱۱ تا ۱۴].

۳) مشاهده سه جمعیت پلاژیوکلاز با ترکیب متفاوت (An_{5-20} و An_{36-61} و نیز An_{77-93}) احتمال بلوری شدن آنها از آبگونهای مختلف را تقویت می‌کند [۸ تا ۱۰]. به علاوه وجود انواع منطقه‌بندیهای نوسانی این کانیها، تغییرات ترکیبی فاز لیکیدوس در طول تبلور را نشان می‌دهد. این پدیده می‌تواند مبین ضربانهای ماگمایی با ترکیب مختلف به داخل مخزن ماگمایی نیز باشد.

۴) از آنجا که بافتهای غربالی در پلاژیوکلازها از گسترش قابل توجهی برخوردارند، اشکال مختلف چنین بافتی، تفکر تشکیل آنها در اثر اختلاط ماگمایی را به ذهن متبادر می‌سازد که مورد نظر مؤلفین مختلف نیز هست [۸ و ۹ و ۱۰ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۷].

۵) مشاهده سوختگی در کانیهای آبداری چون بیوتیت فلوگوپیتی و هورنبلند پاراگازیتی از یک طرف و بالابودن P_{H_2O} در انتهای تاریخ بلوری شدن از طرف دیگر، بالا بودن f_{O_2} هنگام برون ریزی گدازه را نشان می‌دهد. به علاوه مشاهده بافت اکسولوشنی در برخی فنوکریستهای پیروکسن در کنار انواع فاقد این بافت می‌تواند نشانه همزیستی دو نسل پیروکسن (یکی در شرایط P_{H_2O} بالا و دیگری در شرایط P_{H_2O} پایین) باشد که خود تأییدی بر وقوع فرایند اختلاط ماگمایی است. [۱۱ و ۱۸ و ۱۹].

۶) مشاهده زینولیت‌های مختلف (اعم از آتشفشانی و ساب ولکانیک) به عنوان قطعات بیگانه با سایر ساختارها و نیز وجود احتمالی زینوکریستهای حاصل از هضم آنها و یا از هر منشأ احتمالی دیگر، می‌تواند دلیلی دیگر بر ورود مواد به داخل مخزن ماگمایی به عنوان سیستمی باز باشد.

مراجع

- [1] De-Dual E., "Zur geologie des mittleren und unteren Karaj-Tales, Zentral Elburz (Iran)", Mitt.Geol.Inst.E.T.H.U., Thesis.Univ.Zurich, no.76 (1967) 125p.
- [2] Annells R.N., Artherton R.S., Bazely R.A., Davies R.G., "Explanatory text of the Qazvin and Rasht quadrangle map (1:250000)", G.S.I. Rep., noE3,E4 (1975) 94p.
- [3] Stocklin J., Eftekhari-nezhad J., "Explanatory text of the Zanzan quadrangle map (1:250000)", G.S.I. Rep., noD4 (1969) 61p.
- [۴] آسیابانها ع.، زمین‌شناسی و پتروژنز رخساره‌های آتشفشانی منطقه یوزباشی چای (غرب قزوین). رساله دکتري دانشگاه تربیت مدرس (۱۳۸۰) ۳۲۱ص.

- [۵] درویش زاده ع.، آسیابانها ع.، "نقش آذرآواریه‌ها در گسترش ترجیحی دگرسانی گرمابی در منطقه آتشفشانی آبتروش"، فصلنامه علوم زمین، شماره ۳۷-۳۸ (۱۳۸۰) ص ۴۸-۵۹.
- [۶] حسینی م.، "آلونیت زایی در منطقه طارم"، مجموعه مقالات دومین همایش انجمن زمین شناسی ایران (۱۳۷۷) ص ۱۷۹-۱۸۵.
- [7] Le Maitre R.W.(eds)., "A classification of igneous rocks and glossary of terms", (1989), Blackwell. 128p.
- [8] Halsor S.P., "Large glass inclusions in plagioclase phenocrysts and their bearing on the origin of mixed andesitic lavas at Toliman Volcano, Guatemala", Bull Volcanol 51 (1989) 271-280
- [9] Eichberger J.C., "Andesites in island arcs and continental margins: relationships to crustal evolution", Bull. Volcanol 41 (1978) 480-500
- [10] Nelson S.T., Montana A., "Sieve-textured plagioclase in volcanic rocks produced by rapid decompression", American Mineralogist 77 (1992) 1242-1249
- [11] Best M.G., Christiansen E.H., "Igneous Petrology", Blackwell (2001) 458p.
- [12] Bard J.P., "Microtextures of igneous and metamorphic rocks", Reidel (1986) 264p.
- [13] Tsuchiyama A., "Dissolution kinetics of plagioclase in the melt of the system diopside-albite-anorthite and origin of dusty plagioclase in andesites", Contrib.Mineral.Petrol. 89 (1985) 1-16
- [14] Stamatelopoulou-Seymour K., Vlassopoulos D., Pearce H.T., Rice C., "The record of magma chamber processes in plagioclase phenocryst at Thera Volcano, Aegean Volcanic Arc, Greece", Cont. Min. Pet. 104 (1990) 73-84.
- [15] Singer S.B., Pearce H.T., Kolisnik A.M., Myers D.J., "Plagioclase zoning in mid-Pleistocene lavas from the Seguam volcanic center, central Aleutian arc", Alaska. Am. Min. 78(1993) 143-157.
- [16] Kawamoto T., "Dusty and honeycomb plagioclase: indicators of processes in the Uchino stratified magma chamber", Izu Peninsula, Japan. Journal of Volcanology and Geothermal Research. 49(1992) 191-208.
- [17] Dungan M.A., Rhodes J.M., "Residual glasses and melt inclusions in basalts from DSDP Legs 45 and 46: evidence from magma mixing", Contrib.Mineral.Petrol. 67 (1978) 417-431
- [18] Hess P.C., "Origins of Igneous Rocks", Harvard University. Cambridge. (1989) 336p.
- [19] Sigurdsson H., Houghton B., Rymer H., Stix J., McNutt S., "Encyclopedia of Volcanoes", Academic Press. (2000) 1000p.
- [20] Merzbacher C., Eggler DH., "A magmatic geohygrometer: Application to Mount St. Helens and other dacitic magmas", Geology 14 (1984) 804-806
- [۲۱] درویش زاده ع.، پترولوژی، انتشارات دانشگاه پیام نور (۱۳۸۲). ۳۱۰ص
- [۲۲] کریم‌پور م.ج.، "پترولوژی سنگهای آذرین و کانسارهای ماگمایی"، نشر مشهد (۱۳۷۷). ۳۴۳ص.