

سنگ نگاری، دما - فشارسننجی و تعیین سری ماقمایی مجموعه‌ی آذرین نفوذی شرق نابر (جنوب غرب کاشان)

سولماز عباسی دهقی^{۱*}، سید محسن طباطبایی منش^۱، محمد رضا ایران نژادی^۲

۱- گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان

۲- دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان

(دریافت مقاله: ۹۲/۵/۱۱، نسخه نهایی: ۹۲/۱۰/۲۵)

چکیده: سنگ‌های آذرین نفوذی شرق نابر در شمال غرب اصفهان و در راستای کمربند ماقمایی ارومیه - دختر رخمنون یافته‌اند. بر اساس بررسی‌های سنگ‌شناسی، این توده‌ها از گابرو، گابرودیوریت، دیوریت، کوارتزدیوریت، تونالیت و کوارتزمونزونیت تشکیل شده و از نظر سری ماقمایی آهکی-قلیایی و از گرانیتوئیدهای گروه I هستند. براساس نتایج آنالیز شیمی‌کانی‌ها، ترکیب پیروکسن‌های منطقه از نوع فقیر از سدیم بوده و شامل کلینوپیروکسن با ترکیب دیوپسید و ارتوپیروکسن با ترکیب هیپرستن هستند. ترکیب آمفیبول‌های موجود در سنگ‌های منطقه در دو گروه از آمفیبول‌های Fe-Mg-Mn و آمفیبول‌های کلسیک قرار می‌گیرند. ترکیب پلازیوکلаз‌ها در سنگ‌های آنالیز شده از الیگوکلاز تا بیتونیت متغیر است، و بیوتیت‌ها غنی از مینیزیم هستند. با استفاده از روش فشار سننجی Al در هورنبلند، فشاری که برای توده نفوذی برآورد می‌شود در حدود ۲ کیلوبار است.

واژه‌های کلیدی: سنگ‌های آذرین نفوذی؛ الیگو-میوسن؛ شیمی‌کانی؛ آهکی-قلیایی؛ ارومیه-دختر؛ اصفهان؛ نابر.

از فروزانش است. این مقاله نخستین پژوهش در زمینه‌ی بررسی‌های زمین فشارسننجی با تکیه بر داده‌های جدید ریزپردازشی در مجموعه‌ی نفوذی شرق نابر محسوب می‌شود. علاوه بر این سعی شده است تا با تأکید بر ترکیب کانی‌شناسی، ویژگی‌های ماقمای سازنده‌ی این مجموعه، ارزیابی فشار و دما، سنگ‌زایی و در نهایت سری ماقمایی منطقه، مورد بررسی قرار گیرد.

روش بررسی

در این کار تحقیقاتی، مجموعاً ۱۵۸ آنالیز نقطه‌ای از کانی‌های پیروکسن، آمفیبول، بیوتیت، پلازیوکلاز، تیتانیت، اپیدوت، کلریت، مگنتیت و تیتانومگنتیت به عمل آمد که در این مقاله، تنها برخی از این داده‌ها مورد استفاده قرار گرفتند. آنالیزها در دانشگاه دولتی مسکو با یک ریزپردازنده‌ی JEOL مدل-JXA-8800 و ولتاژ شتاب دهنده‌ی 20KV و جریان

مقدمه

به دنبال فروزانش نئوتیس به زیر صفحه‌ی ایران مرکزی در طول کرتاسه فوقانی تا نتوژن و برخورد صفحات ایران و عربستان، کمربند ماقمایی ارومیه - دختر ایجاد شد. منطقه‌ی مورد بررسی در شرق روستای نابر (جنوب غرب کاشان) و در راستای کمربند ماقمایی ارومیه - دختر بین طول جغرافیایی ۱۵°۵۱' شرقی و عرض جغرافیایی ۳۳°۵۲' شمالی واقع شده است (شکل ۱) [۱]. با نفوذ توده‌ی مورد بررسی، با طیف ترکیبی گابرو تا کوارتز مونزونیت به درون واحدهای آهکی سازند قم و تشکیل جریان‌های گرمایی و سیال از توده به سمت سنگ‌های درون گیر، دگرگونی مجاورتی و اسکارن‌زایی نه چندان وسیعی در اطراف توده ایجاد شده‌اند. بررسی‌های ژئوشیمیایی [۲] نشان می‌دهد که این توده‌ی نفوذی از نوع I آهکی-قلیایی، شبه رخشان و در گستره‌ی ماقمایی برگرفته

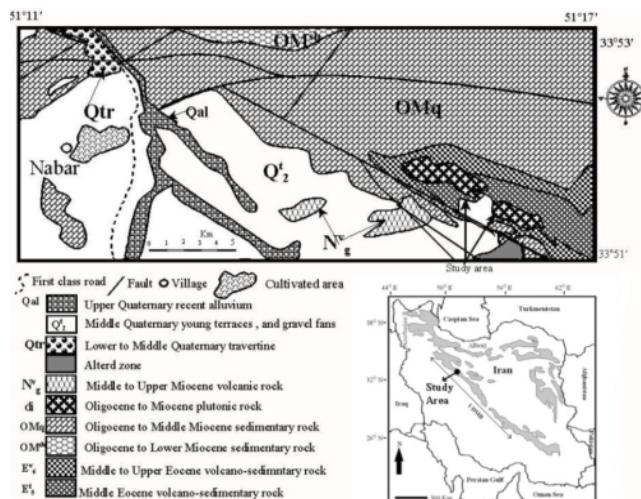
* نویسنده مسئول، تلفن نمابر: ۰۳۱۳۴۴۱۵۴۷۱، پست الکترونیکی: abasi.solmaz66@gmail.com

بیوتیت، کلریت و باریکه‌هایی از پلازیوکلاز و برخی در حال تجزیه شدن به بیوتیت هستند (شکل ۲-پ). کانی بیوتیت در این سنگها نیز به دو شکل اولیه و ثانویه مشاهده می‌شوند. از پدیده‌های بسیار مشخص و رایج در سنگ‌های این منطقه وجود حاشیه واکنشی در اطراف اغلب کانی‌های مافیک اولیه از جمله بیوتیت است (شکل ۲-ت). این تبادلات وقتی که بلور با شرایط دما و فشاری کاملاً متفاوت با شرایط تبلور خود مواجه است صورت می‌گیرد. تغییرات فشار بخار آب و افزایش محتوای سیلیس ماقمای از جمله عوامل بر هم زننده‌ی تعادل کانی‌های مافیک در شرایط جدیدند. حضور کانی آپاتیت به صورت میان بار سوزنی شکل نشان دهنده‌ی سرد شدن ناگهانی گدازه در اثر اختلاط ماقمایی است [۶] (شکل ۲-ث). وجود بقایایی از کلینوپیروکسن که به‌وسیله‌ی آمفیبیول احاطه شده است می‌تواند نشانی از اختلاط ماقمایی [۷] و یا حاکی از آن باشد که پیروکسن در شرایط مرز انجماد پایدار نبوده است [۸] (شکل ۲-ج). پدیده‌ی اورالیتی شدن در برخی از کلینوپیروکسن‌ها احتمالاً نشانه هجوم آب به داخل شبکه این کانی است. نکته جالب در سنگ‌های کوارتز دیوریت، تونالیت و کوارتز مونزونیت حضور پرنگتر کوارتز و پتانسیم فلدسپار است. در حقیقت با ادامه‌ی فرآیند تبلور ماقمایی و فقیر شدن گدازه باقی مانده از عنصر مافیک و پایین آمدن دمای ماقمایی، رفته زمینه برای تبلور و حضور کانی‌های روشن فراهم آمده است. در کوارتز مونزونیت‌ها، فلدسپار پتانسیم نقش مهمی در ایجاد بافت آنتی‌رایکیوی و نیز بافت ریزدانه‌ای (شکل ۲-چ) داشته است.

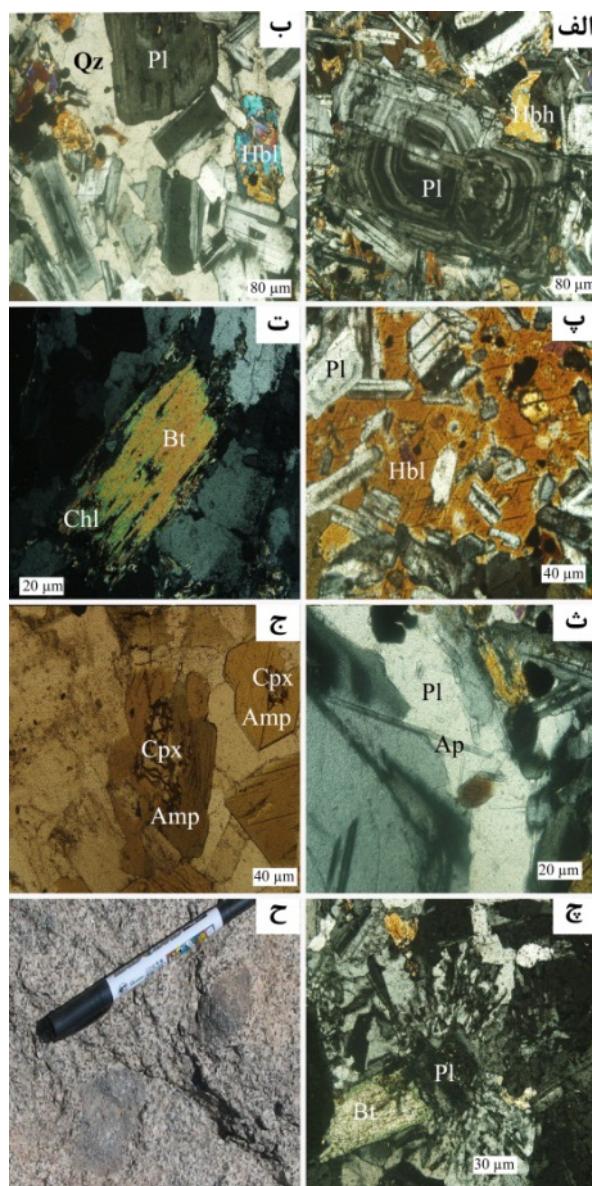
۱۲nA، و در دانشگاه دولتی مکریک با یک ریزپردازنده-
ی JEOL مدل JXA-8900 و نیز در دانشگاه CAMECA SX 100 آلمان با ریزپردازنده‌ی گرفت.

سنگ‌نگاری

پژوهش‌های [۲] نشان می‌دهد که توده‌ی نفوذی شرق نابر از گابرو، گابرو دیوریت، دیوریت، کوارتز دیوریت، تونالیت و کوارتز مونزونیت تشکیل شده است. گابرو قدیمی‌ترین واحد را در سنگ‌های نفوذی شرق نابر تشکیل می‌دهد. پلازیوکلاز و پیروکسن به‌عنوان کانی‌های اصلی موجود در این سنگ، پایداری بیشینه‌ای نداشته و تحت تاثیر فرآیندهای تاکیری دگرسان شده‌اند. سنگ‌های حد واسط (گابرو دیوریت، دیوریت و کوارتز دیوریت) غالب‌ترین انواع سنگی مشاهده شده در این منطقه‌اند. بیشتر سنگ‌های این منطقه دارای بلورهای پلازیوکلاز، با منطقه‌بندی و حواشی نامنظم و گرد شده هستند. گرم شدن پلازیوکلاز در دمای بالاتر از دمای انجماد آن باعث انحلال حواشی این بلور می‌شود [۳]. وجود منطقه‌بندی نوسانی در این کانی را می‌توان به نوسان‌های فشار بخار آب نسبت داد [۴]. بنابر نظر برخی از پژوهشگران [۵، ۳] منطقه-بندي نوسانی به پدیده‌ی اختلاط ماقمایی وابسته است (شکل ۲-الف). در سنگ‌های کوارتز دیوریتی، کوارتز به صورت پویی کیلیتیک و بی‌شک کانی‌های قبلی را در برگرفته است (شکل ۲-ب). آمفیبیول به عنوان مهم‌ترین کانی مافیک در این سنگ‌ها به دو صورت اولیه و ثانویه مشاهده می‌شود. آمفیبیول‌های اولیه اغلب شکل دار تا نیمه شکل دار، دارای ادخال‌هایی از کانی کدر،



شکل ۱ جایگاه منطقه‌ی مورد بررسی نسبت به کمان ماقمایی ارومیه - دختر و نقشه زمین‌شناسی ساده شده از منطقه‌ی مورد بررسی بر اساس نقشه‌ی ۱:۱۰۰۰۰۰ چهار گوشه کاشان [۱].

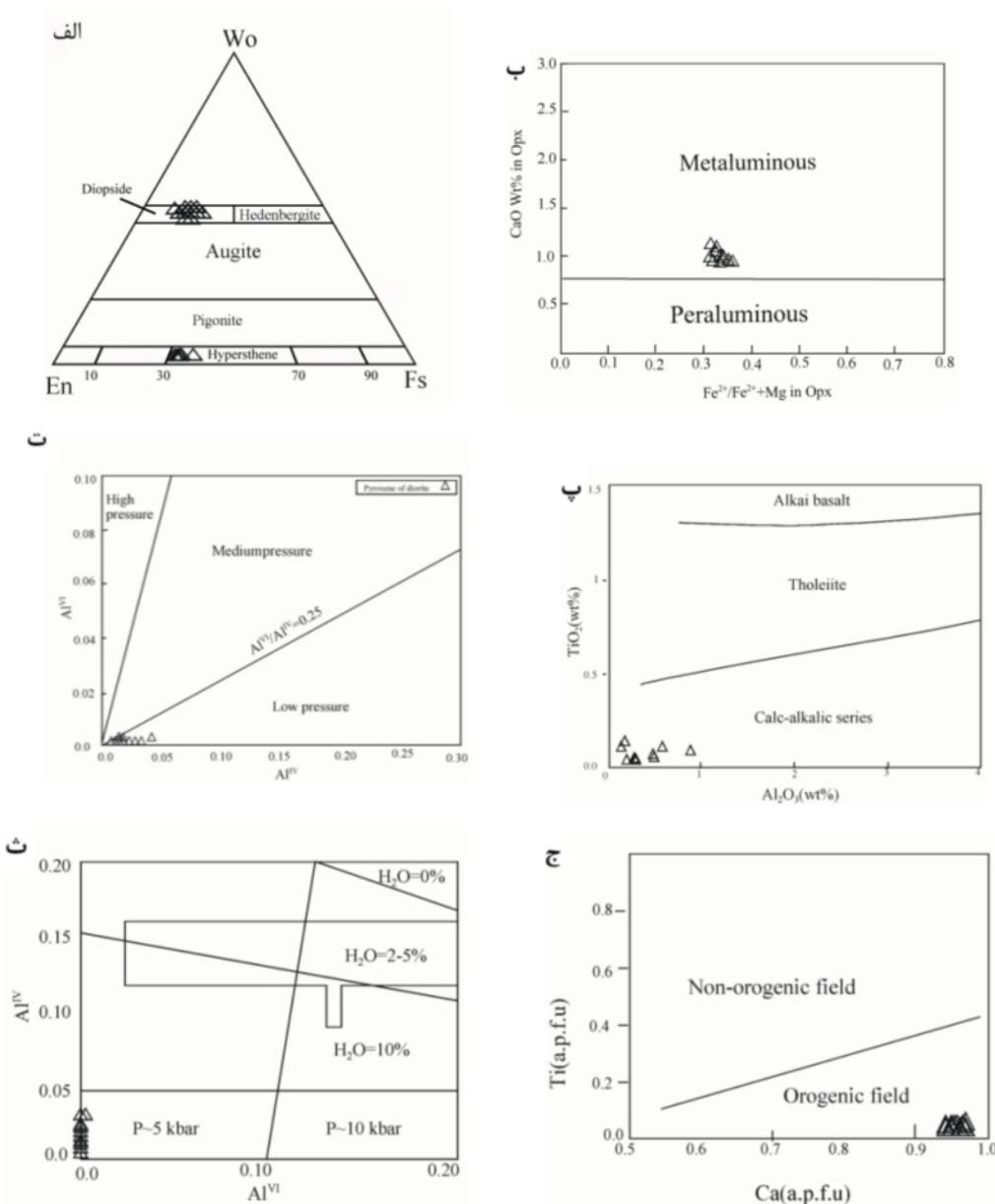


شکل ۲ الف) منطقه‌بندی در پلاژیوکلاز در سنگ گابرو دیوریت (XPL)، ب) ادخال‌هایی از دانه‌های کوچک آمفیبول و پلاژیوکلاز در بلور کوارتز در کوارتز دیوریت (XPL)، پ) آمفیبول با ادخال‌هایی از کانی کدر و پلاژیوکلاز در گابرو دیوریت (XPL)، ت) بیوتیت تجزیه شده به کلریت در تونالیت (XPL)، ث) آپاتیت سوزنی در گابرو دیوریت (XPL)، ج) آمفیبول جایگزین شده به جای پپروکسین در دیوریت (XPL)، خ) بافت ریزدانه‌ای در کوارتز مونزونیت (XPL)، ح) شکل‌های بیضوی و گرد شده برونبیوم ریز دانه‌ای منطقه شرق نابر.

میکروسکوپی برونبیوم‌های ریزدانه مافیک شرق نابر کم و بیش شبیه سنگ میزبان در برگیرنده آن‌هاست، اما از لحاظ مقدار و سهم کانی‌های مافیک کاملاً متفاوتند به طوری که این برونبیوم‌ها نسبت به سنگ میزبان خود دارای کانی‌های مافیک بیشتر و کوارتز کمتری هستند. ترکیب برونبیوم‌های ریزدانه منطقه شرق نابر بیشتر میکرودیوریت و میکروکوارتز دیوریت تشخیص داده شده و بافت اصلی آن‌ها ریزدانه، پویی‌کیلیتیک.

بیشتر برونبیوم‌های متلبور شده در منطقه شرق نابر برونبیوم ریزدانه مافیک تشخیص داده شده‌اند. اندازه‌ی این برونبیوم‌ها از چند میلی متر تا چند دسی متر در نوسان است که بیشتر مجرزا و گاهی به صورت اجتماعات متمرکز حضور دارند (شکل ۲-ح). این برونبیوم‌ها نسبت به سنگ میزبان خود ریز دانه‌تر و مافیک‌تر بوده و به راحتی از میزبان خود جدا نمی‌شوند چون در فاصله زمانی محدودی با میزبان خود متلبور شده‌اند و با حاشیه‌ی بیونیتی نیز احاطه نشده‌اند. ویژگی‌های

تشکیل شده‌اند که در نمودار رده‌بندی [۹] به ترتیب در گستره‌های هیپرستن و دیوپسید قرار گرفته‌اند (شکل ۳-الف). نتیجه‌ی آنالیز ریزپردازشی برخی از ارتوبیروکسن‌ها و کلینوبیروکسن‌های موجود در سنگ‌های پیروکسن دیوریتی منطقه‌ی شرق نابر همراه با محاسبه‌ی فرمول ساختاری آن‌ها براساس ۶ اکسیژن در جدول ۱ آورده شده‌اند.



شکل ۳ (الف) موقعیت قرار گیری پیروکسن‌های سنگ‌های نفوذی شرق نابر با استفاده از نمودار [۹] (ب) موقعیت قرار گیری پیروکسن‌های سنگ‌های نفوذی شرق نابر در نمودار [۱۰]. (پ) نمودار TiO_2 در برابر Al_2O_3 [۱۱]. (ث) موقعیت قرار گیری پیروکسن‌های سنگ‌های نفوذی شرق نابر در نمودار دو تایی Al_{IV} در مقابل Al_{VI} [۱۲]. (ج) نمودار Al_{IV} در مقابل Al_{VI} [۱۳]. (د) نمودار TiO_2 (wt%) در مقابل Al_2O_3 (wt%) [۱۴] کلینوبیروکسن‌ها زمانی که فشار ۵ کیلوبار و آب مagmaی بیش از ۱۰٪ بوده متبلور شده‌اند. (ج) قرار گیری ترکیب کلینوبیروکسن‌های نمونه‌های منطقه شرق نابر در گستره‌ی کوهزایی نمودار Ti در مقابل Ca [۱۵].

بحث و برداشت پیروکسن

پیروکسن یک کانی مهم برای تعبیر و تفسیرهای سنگ‌شناسی محسوب می‌شود. این کانی‌ها قادرند حوادث مختلفی را که حین تبلور رخ داده است در خود ثبت کنند. پیروکسن‌های منطقه شرق نابر از دو نوع ارتوبیروکسن و کلینوبیروکسن

جدول ۱ نتایج آنالیز ریزپردازشی پیروکسن‌های موجود در نمونه پیروکسن دیوریت انتخاب شده از سنگ‌های نفوذی شرق نابر.

Sample Analysis Mineral	22 Rim Pyroxene	22 Core Pyroxene	22 Rim Pyroxene	22 Rim Pyroxene	22 Core Pyroxene	22 Rim Pyroxene	22 Rim Pyroxene	22 Rim-Core Pyroxene	22 Core Pyroxene	22 Rim-Core Pyroxene	22 Rim Pyroxene
SiO ₂	۵۰,۹۷	۵۲,۹۰	۵۲,۴۰	۵۲,۱۴	۵۱,۲۶	۵۱,۷۴	۵۱,۹۶	۵۲,۳۳	۵۳,۳۳	۵۲,۷۳	۵۲,۱۶
TiO ₂	۰,۰۹	۰,۱۰	۰,۰۷	۰,۱۹	۰,۲۳	۰,۲۲	۰,۰۷	۰,۱۲	۰,۱۲	۰,۰۸	۰,۰۳
Al ₂ O ₃	۱,۲۳	۰,۷۱	۰,۷۶	۰,۶۷	۰,۹۶	۰,۸۹	۰,۵۷	۰,۷۴	۰,۲۱	۰,۹۲	۰,۲۶
FeO ^۱	۲۴,۸۱	۲۱,۴۲	۲۲,۰۶	۲۲,۰۸	۲۲,۵۸	۲۲,۴۲	۱۱,۶۲	۹,۷۴	۷,۱۵	۹,۰۰	۷,۲۰
MnO	۰,۹۷	۰,۹۲	۰,۹۶	۰,۹۳	۰,۹۸	۱,۰۰	۰,۲۳	۰,۱۵	۰,۴۱	۰,۱۳	۰,۳۰
MgO	۲۰,۵۶	۲۲,۹۷	۲۲,۸۰	۲۳,۱۶	۲۲,۸۶	۲۲,۹۰	۱۱,۶۴	۱۳,۰۳	۱۴,۸۸	۱۲,۲۶	۱۴,۸۰
CaO	۰,۶۷	۰,۹۴	۰,۹۰	۱,۲۰	۱,۰۹	۱,۱۷	۲۳,۹۸	۲۳,۵۳	۲۳,۸۷	۲۳,۷۹	۲۴,۲۶
Na ₂ O	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۴	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۳	۰,۳۶	۰,۳۵	۰,۲۳	۰,۳۴	۰,۲۱
K ₂ O	۰,۱۹	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۲	۰,۰۳	۰,۰۴	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱
Total	۹۹,۴۸	۹۹,۹۸	۹۹,۹۰	۱۰۰,۳۹	۹۹,۹۸	۱۰۰,۴۱	۱۰۰,۴۱	۹۹,۹۸	۱۰۰,۰۰	۱۰۰,۲۳	۱۰۰,۲۳
Number of ions on the basis of 6 Oxygens											
Si	۱,۹۲۹	۱,۹۶۳	۱,۹۴۷	۱,۹۲۸	۱,۹۰۶	۱,۹۱۵	۱,۹۵۵	۱,۹۵۹	۱,۹۷۱	۱,۹۶۴	۱,۹۶۴
Ti	۰,۰۰۲	۰,۰۰۳	۰,۰۰۲	۰,۰۰۵	۰,۰۰۶	۰,۰۰۶	۰,۰۰۲	۰,۰۰۳	۰,۰۰۱	۰,۰۰۲	۰,۰۰۱
Al ^{IV}	۰,۰۵۵	۰,۰۳۱	۰,۰۳۳	۰,۰۲۹	۰,۰۴۲	۰,۰۳۹	۰,۰۲۵	۰,۰۳۳	۰,۰۰۹	۰,۰۳۶	۰,۰۱۱
Fe ²⁺	۰,۶۹۲	۰,۶۲۵	۰,۶۱۴	۰,۵۷۷	۰,۵۸۸	۰,۵۷۲	۰,۲۷۸	۰,۲۳۶	۰,۱۵۸	۰,۲۲۷	۰,۱۴۸
Fe ³⁺	۰,۰۹۳	۰,۰۳۹	۰,۰۷۲	۰,۱۰۶	۰,۱۳۴	۰,۱۲۳	۰,۰۸۷	۰,۰۶۹	۰,۰۶۴	۰,۰۵۳	۰,۰۷۴
Mn	۰,۰۳۱	۰,۰۲۹	۰,۰۳۰	۰,۰۲۹	۰,۰۳۱	۰,۰۳۱	۰,۰۰۷	۰,۰۰۵	۰,۰۱۳	۰,۰۰۴	۰,۰۰۹
Mg	۰,۱۶۰	۱,۲۷۱	۱,۲۶۳	۱,۲۷۷	۱,۲۶۷	۱,۲۶۳	۰,۶۶۳	۰,۷۲۷	۰,۸۲۱	۰,۷۳۶	۰,۸۱۵
Ca	۰,۰۲۷	۰,۰۳۷	۰,۰۳۶	۰,۰۴۷	۰,۰۴۳	۰,۰۴۶	۰,۹۶۶	۰,۹۴۴	۰,۹۴۷	۰,۹۴۹	۰,۹۶۱
Na	۰,۰۰۲	۰,۰۰۲	۰,۰۰۳	۰,۰۰۱	۰,۰۰۰	۰,۰۰۲	۰,۰۲۶	۰,۰۲۵	۰,۰۱۶	۰,۰۲۵	۰,۰۱۵
K	۰,۰۰۹	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۱	۰,۰۰۱	۰,۰۰۲	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰
Cations	۳,۹۹۱	۴,۰۰۰	۴,۰۰۰	۳,۹۹۹	۳,۹۹۹	۳,۹۹۸	۴,۰۰۰	۴,۰۰۰	۴,۰۰۰	۴,۰۰۰	۴,۰۰۰
Fe [#]	۰,۴۹۷	۰,۳۳۰	۰,۳۲۷	۰,۳۱۱	۰,۳۰۹	۰,۳۱۱	۰,۲۹۹	۰,۲۴۵	۰,۱۶۱	۰,۲۳۵	۰,۱۵۴
Mg [#]	۰,۵۰۳	۰,۶۷۰	۰,۶۷۳	۰,۶۸۹	۰,۶۹۱	۰,۶۸۹	۰,۷۰۱	۰,۷۵۵	۰,۸۳۹	۰,۷۶۵	۰,۸۴۶
Fe [#] =Fe ²⁺ /(Fe ²⁺ +Mg)											
Mg [#] =Mg/(Mg+Fe ²⁺)											

(شکل ۳-ث). موقعیت قرارگیری پیروکسن‌ها در نمودار در مقابل Ti [۱۵] خاستگاه سنگ‌ها از محیط‌های وابسته به کوهزایی را تایید می‌کند (شکل ۳-ج).

آمفیبیول

آمفیبیول یک کانی مافیک مهم در سنگ‌های حدوداست شرق نابر محسوب می‌شود. نقاط آنالیز شده از این کانی به همراه فرمول ساختاری آن بر اساس ۲۳ اتم اکسیژن در جدول ۲ آمده است. ترکیب آمفیبیول‌های موجود در سنگ‌های منطقه بر اساس نمودار [۱۶] در دو گروه آمفیبیول‌های Fe-Mg-Mn و آمفیبیول‌های کلسیک قرار می‌گیرند (شکل ۴-الف). آمفیبیول حاصل از تجزیه‌ی حاشیه هیپرسن از نوع Fe-Mg-Mn (ثانویه) است. در صورتی که سایر آمفیبیول‌های موجود در دیوریت و گابرو دیوریت از نوع کلسیک هستند. بیشتر آمفیبیول‌های کلسیک اولیه در گستره مگنزیو‌هورنبلند و نمونه‌های

[۱۰] نشان می‌دهند که میزان جایگزینی دو عنصر کلسیم و آلومینیم در کانی ارتوپیروکسن به نحوی است که می‌تواند شرایط سنگ‌زایی ماقمای مادر را در خود حفظ کند. بر اساس نمودار CaO نسبت به Fe[#] [۱۰] ارتوپیروکسن‌های نمونه پیروکسن دیوریتی شرق نابر از یک ماقمای متالومینه متبلور شده‌اند (شکل ۳-ب) براساس نمودار R-۵-بندی [۱۱]، همه کلینوپیروکسن‌ها در گستره آهکی-قلایی قرار می‌گیرند (شکل ۳-پ). میزان Al^{VI} در کلینوپیروکسن با تغییرات فشار تغییر می‌کند [۱۲]. براساس نمودار Al^{IV} در Al^{VI} [۱۳] نمونه‌های پیروکسن دیوریتی در گستره‌ی فشار پایین قرار گرفته‌اند (شکل ۳-ت). نمودار [۱۴] نشان می‌دهد قرارگیری آلومینیم در جایگاه چهار وجهی و هشت وجهی کلینوپیروکسن برای براورد درصد آب ماقما روش مناسبی است. بنابراین نمودار نمونه‌ها در گستره فشار ۵ کیلوبار و زمانی که مقدار آب ماقمای بیشتر از ۱۰٪ بوده، تشکیل شده‌اند

ماگما به محیط زمین ساختی‌ای که ماگما از آن ریشه گرفته است بستگی دارد. به عقیده‌ی [۱۸] ماگماهایی که در مرز ورقه‌های همگرا تشکیل می‌شوند دارای گریزندگی اکسیژن بالایی هستند. به عقیده‌ی [۱۹] آمفیبولهایی که دارای $\text{Al}^{\text{IV}} > 0.75$ و $\text{Fe}^{\text{Total}} / (\text{Fe}^{\text{Total}} + \text{Mg}) > 0.3$ باشند، برای تعیین گریزندگی اکسیژن مناسب هستند. از بین آمفیبولهای آنالیز شده تنها مگنزیوهرنبلندها دارای شرایط فوق می‌باشند. براساس این نمودار مگنزیوهرنبلندهای موجود در سنگ‌های پیروکسن دیوریتی و گلبرودیوریتی شرق نابر در گستره‌ی گریزندگی بالای اکسیژن واقع شده‌اند (شکل ۴-ج).

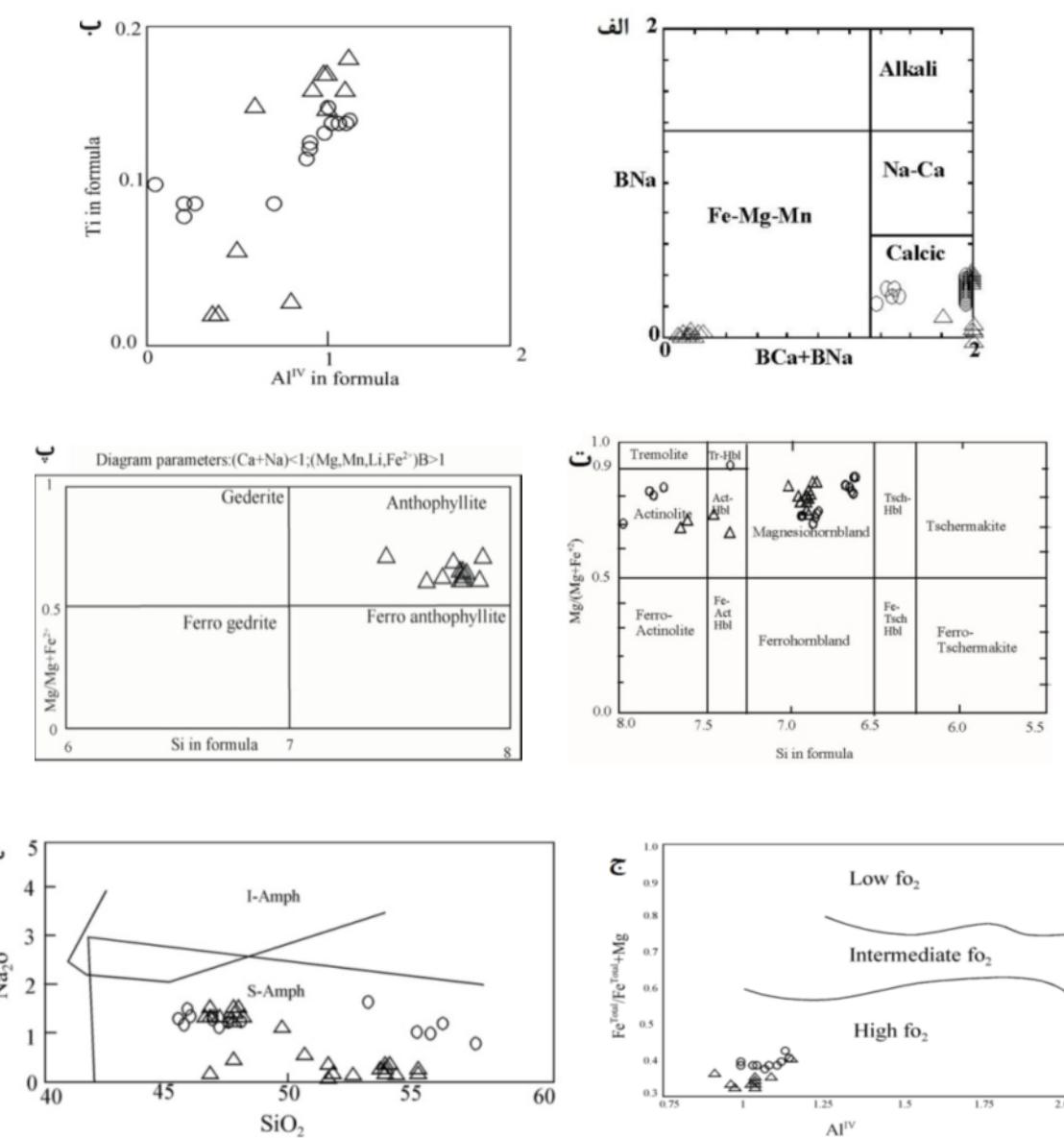
کلسیک ثانویه در گستره‌ی اکتینولیت و هورنبلند - اکتینولیت قرار می‌گیرند (شکل ۴-پ). همه‌ی آمفیبولهای کلسیک کمتر از ۰/۵ اتم Ti در فرمول ساختاری دارند و ارتباط مثبتی را با Al^{IV} نشان می‌دهند (شکل ۴-پ). آمفیبولهای ثانویه که با جایگزینی ارتوبیروکسن تشکیل شده‌اند در گستره آنتوفیلیت قرار می‌گیرند (شکل ۴-ت). آمفیبولهای وابسته به فرورانش، Na_2O و TiO_2 پایین‌تری نسبت به انواع میان صفحه‌ای (I-Amph) دارند. براساس نمودار جداکننده [۱۷]، آمفیبولهای این منطقه در گستره‌ی آمفیبولهای وابسته به فرورانش (S-Amph) قرار می‌گیرند (شکل ۴-ث). مقدار گریزندگی یک

جدول ۲ نتایج آنالیز ریزپردازشی آمفیبولهای موجود در نمونه پیروکسن دیوریت و گلبرودیوریت سنگ‌های نفوذی شرق نابر.

Sample	۴۱	۴۱	۴۱	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲
Analysis	Core	Rim	Core	Rim	Rim	Rim	Core	Core	Rim	Rim	Rim
Mineral	Amphibole										
SiO ₂	۴۷,۵۰	۴۷,۹۸	۴۶,۱۶	۵۲,۴۶	۴۸,۲۳	۴۸,۰۴	۴۷,۹۵	۴۷,۲۸	۵۳,۹۵	۵۴,۱۱	۵۴,۲۶
TiO ₂	۱,۳۵	۱,۱۶	۱,۰۸	۰,۲۰	۱,۰۰	۱,۵۹	۱,۵۸	۱,۶۶	۰,۱۰	۰,۰۸	۰,۰۶
Al ₂ O ₃	۶,۲۲	۵,۸۶	۵,۹۹	۳,۱۰	۵,۸۱	۶,۱۶	۶,۰۹	۷,۷۸	۰,۶۵	۰,۶۶	۰,۶۷
Cr ₂ O ₃	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
FeO	۱۵,۲۳	۱۵,۴۲	۱۶,۲۰	۱۲,۸۴	۱۳,۲۶	۱۲,۹۳	۱۲,۷۶	۱۵,۴۵	۲۳,۴۷	۲۳,۰۹	۲۲,۷۲
MnO	۰,۴۸	۰,۵۷	۰,۵۴	۰,۱۹	۰,۲۴	۰,۲۸	۰,۲۳	۰,۳۸	۰,۷۰	۰,۶۵	۰,۶۱
MgO	۱۴,۱۶	۱۳,۹۰	۱۴,۰۷	۱۴,۹۸	۱۵,۹۲	۱۵,۵۱	۱۵,۴۴	۱۲,۷۵	۱۷,۱۵	۱۷,۵۹	۱۸,۰۴
CaO	۱۱,۶۱	۱۱,۴۴	۱۱,۰۱	۱۲,۵۵	۱۱,۱۰	۱۱,۴۸	۱۱,۱۳	۱۰,۷۶	۰,۹۰	۰,۷۲	۰,۵۴
Na ₂ O	۱,۳۶	۱,۳۳	۱,۲۱	۰,۳۸	۱,۰۶	۱,۴۹	۱,۳۵	۱,۵۳	۰,۰۶	۰,۰۵	۰,۰۴
K ₂ O	۰,۴۶	۰,۳۹	۰,۴۳	۰,۲۹	۰,۳۵	۰,۳۸	۰,۳۴	۰,۴۱	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۱
Total	۹۸,۳۶	۹۸,۰۵	۹۶,۸۱	۹۶,۹۸	۹۷,۹۷	۹۷,۴۸	۹۶,۸۷	۹۸,۰۱	۹۷,۰۹	۹۶,۹۶	۹۶,۹۵

Number of ions on the basis of 23 Oxygens

Si	۶,۸۵۴	۶,۹۴۲	۶,۷۴۱	۷,۶۲۰	۶,۸۷۳	۶,۸۸۹	۶,۹۱۲	۶,۸۳۳	۷,۸۵۰	۷,۹۵۷	۷,۹۶۰
Ti	۰,۱۴۷	۰,۱۲۶	۰,۱۱۹	۰,۰۲۱	۰,۱۶۱	۰,۱۷۲	۰,۱۷۱	۰,۱۸۰	۰,۰۱۰	۰,۰۱۰	۰,۰۱۰
Al ^{IV}	۱,۰۵۷	۰,۹۹۸	۰,۰۳۱	۰,۳۷۹	۰,۹۷۶	۰,۰۳۹	۰,۰۳۴	۱,۱۶۷	۰,۰۵۰	۰,۰۴۳	۰,۰۴۰
Al ^{VI}	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۱۵۱	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۱۵۸	۰,۰۷۰	۰,۰۷۱	۰,۰۷۰
Fe ²⁺	۰,۹۵۰	۰,۹۹۸	۰,۶۳۳	۰,۴۴۱	۰,۵۰۸	۰,۷۲۱	۰,۶۱۷	۱,۰۵۳	۲,۹۰۰	۲,۸۳۹	۲,۸۹۰
Fe ³⁺	۰,۸۸۸	۰,۸۷۹	۱,۳۴۶	۰,۱۱۹	۱,۰۷۲	۰,۸۳۰	۰,۹۲۱	۰,۸۱۴	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰
Mn	۰,۰۵۹	۰,۰۷۰	۰,۰۶۷	۰,۰۲۳	۰,۰۲۹	۰,۰۳۴	۰,۰۲۸	۰,۰۴۸	۰,۰۹۰	۰,۰۸۱	۰,۰۸۰
Mg	۲,۰۴۵	۲,۹۹۸	۲,۰۶۳	۳,۲۴۴	۳,۳۸۲	۲,۳۱۵	۳,۳۱۷	۲,۷۴۹	۳,۷۷۰	۳,۸۵۶	۳,۹۴۰
Ca	۱,۷۹۴	۱,۷۷۳	۱,۷۴۰	۱,۹۵۳	۱,۶۹۵	۱,۷۶۳	۱,۷۱۹	۱,۶۶۶	۰,۱۴۰	۰,۱۱۳	۰,۱۰۸
Na	۰,۳۸۰	۰,۳۷۲	۰,۳۴۳	۰,۱۰۷	۰,۴۳۱	۰,۴۱۳	۰,۳۷۷	۰,۴۲۸	۰,۰۳۰	۰,۰۱۴	۰,۰۳۰
K	۰,۰۸۵	۰,۰۷۱	۰,۰۸۱	۰,۰۵۳	۰,۰۶۴	۰,۰۷۰	۰,۰۶۳	۰,۰۷۶	۰,۰۰۰	۰,۰۰۲	۰,۰۰۰
Cations	۱۵,۲۵۹	۱۵,۲۱۶	۱۵,۱۶۳	۱۵,۱۱۳	۱۵,۱۹۱	۱۵,۲۴۶	۱۵,۱۵۹	۱۵,۱۷۰	۱۴,۹۱۰	۱۴,۹۸۵	۱۵,۰۰۰
Fe#	۰,۲۳۷	۰,۲۴۸	۰,۱۷۱	۰,۳۰۸	۰,۱۳۱	۰,۱۷۹	۰,۱۵۷	۰,۲۷۷	۰,۴۳۰	۰,۴۲۰	۰,۴۲۰
Mg#	۰,۷۶۲	۰,۷۵۴	۰,۸۲۸	۰,۶۹۱	۰,۸۶۹	۰,۸۲۱	۰,۸۴۳	۰,۷۲۳	۰,۷۸۰	۰,۵۸۰	۰,۸۰۰



شکل ۴ (الف) موقعیت قرار گیری آمفیبول‌های سنگ‌های نفوذی شرق نابر در نمودار Al^{IV} - Ti در آمفیبول‌های کلسیک. تمامی نمونه‌ها کمتر از ۰/۵ اتم Ti در فرمول ساختاری خود دارند. پ) ترکیب آمفیبول‌های آهن، منیزیم، منگنز و لیتیم‌دار پیروکسن دیوریت آنالیز شده در نمودار [۱۶] در گستره‌ی آنتوفیلیت واقع می‌شوند. ن) ترکیب آمفیبول‌های کلسیک آنالیز شده در نمودار [۱۶] در گستره‌ی مگنزویوهورنبلند، هورنبلند-اکتینولیت و اکتینولیت تصویر شده‌اند. ث) نمودار جدا کننده‌ی ویژگی دگرنهادی محیط‌های تکنوماقمایی مختلف [۱۷]، که در آن S-Amph بیانگر آمفیبول‌های دهنده‌ی هستند و I-Amph نشان دهنده‌ی آمفیبول‌های فرورانش هستند و میان صفحه‌ای. ج) نمودار تعیین گریزندگی اکسیژن به وسیله شیمی آمفیبول [۱۹].

ویژگی‌های شیمیایی این کانی استفاده شده است. نتایج آنالیز بیوتیت‌های مورد بررسی همراه با فرمول ساختاری آن‌ها بر اساس ۲۲ اکسیژن در جدول ۳ آورده شده‌اند. میکاهای موردن بررسی در نمودار Al^{IV} - $Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg)$ نسبت به Al^{IV} در سمت بیوتیت قرار گرفته‌اند و بر اساس $Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg)$

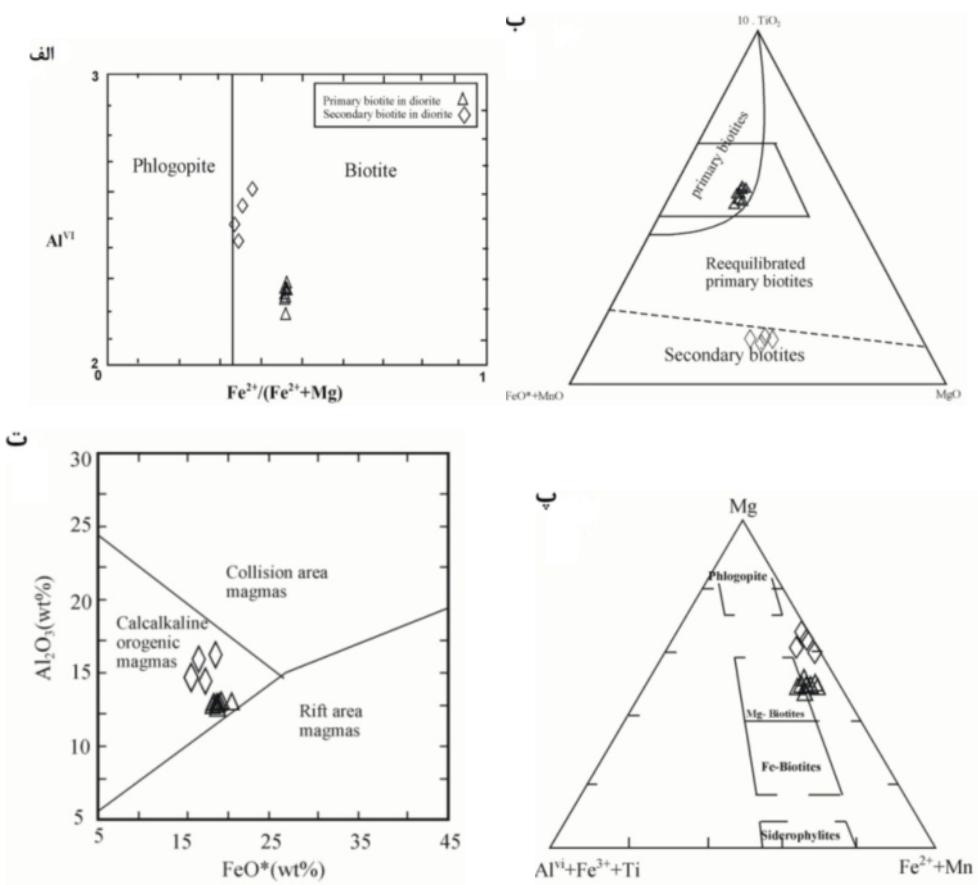
بیوتیت در بررسی‌های سنگ‌نگاری وجود دو نوع بیوتیت، یکی اولیه (حاصل از تبلور ماقما) و دیگری ثانویه (حاصل از دگرسانی کانی‌های مافیک) در سنگ‌های ماقمایی مشخص شده‌اند. به منظور بررسی دقیق‌تر و جدایش بهتر این دو بیوتیت، از

گریزندگی نسبتاً بالای اکسیژن هستند (شکل ۵-پ). به عقیده‌ی [۲۳] بیوتیت‌ها سرشت و محیط زمین‌ساختی سنگ‌های میزبان را بازتاب می‌دهند. موقعیت بیوتیت‌های سنگ‌های Al_2O_3 پیروکسن دیوریتی شرق نابر در نمودار FeO^{\ddagger} در برابر Al_2O_3 [۲۳] در گستره‌ی ماقماهای آهکی-قلیابی نواحی برخوردي قرار می‌گیرند (شکل ۵-ت).

(<۰,۳۳) از فلوگوپیت‌ها تفکیک شده‌اند (شکل ۵-الف). بر اساس نمودار $(\text{FeO}^{\ddagger}+\text{MnO})-10^*\text{TiO}_2-\text{MgO}$ [۲۱] بیوتیت سنگ‌های پیروکسن دیوریتی این منطقه در هر دو گستره بیوتیت‌های اولیه و بیوتیت‌های ثانویه قرار گرفته‌اند (شکل ۵-ب). بنابر نمودار مثلثی $\text{Mg}-(\text{Mn}+\text{Fe}^{2+})$ (شکل ۵-ب) بیوتیت‌های این منطقه بیشتر در گستره بیوتیت‌های منیزیم‌دار قرار می‌گیرند و نشان دهنده

جدول ۳ نتایج آنالیز ریزپردازشی بیوتیت‌های موجود در نمونه‌ی پیروکسن دیوریت انتخاب شده از سنگ‌های نفوذی شرق نابر

Sample	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲
Analysis	Core	Core	Core	Core	Rim	Rim	Rim	Rim	Rim	Rim	Core	Rim	
Mineral	Biotite												
SiO_2	۳۶,۲۳	۳۶,۲۸	۳۶,۶۲	۳۶,۲۱	۳۶,۱۴	۳۶,۳۵	۳۶,۷۸	۳۵,۲۳	۳۵,۲۳	۳۷,۸۶	۳۵,۹۹	۳۶,۵۵	
TiO_2	۳,۷۰	۳,۹۲	۴,۰۴	۴,۰۱	۳,۹۷	۴,۰۰	۳,۷۳	۳,۷۲	۰,۵۸	۰,۶۲	۰,۵۸	۰,۵۳	
Al_2O_3	۱۲,۱۶	۱۲,۰۶	۱۲,۹۶	۱۲,۸۶	۱۲,۱۳	۱۲,۰۱	۱۲,۵۳	۱۲,۹۹	۱۶,۰۹	۱۴,۴۷	۱۵,۰۸	۱۵,۱۰	
FeO^{\ddagger}	۱۹,۲۴	۱۹,۱۱	۱۸,۹۲	۱۹,۱۳	۱۹,۶۶	۱۹,۲۵	۱۹,۱۰	۲۰,۴۱	۱۹,۹۲	۱۶,۹۴	۱۷,۹۴	۱۶,۵۵	
MnO	۰,۱۳	۰,۱۴	۰,۱۳	۰,۱۸	۰,۰۲	۰,۱۴	۰,۱۹	۰,۲۵	۰,۲۵	۰,۰۹	۰,۰۹	۰,۱۵	
MgO	۱۲,۶۳	۱۲,۱۲	۱۲,۰۸	۱۲,۷۸	۱۲,۱۱	۱۲,۷۹	۱۲,۳۱	۱۲,۱۶	۱۷,۸۵	۱۸,۱۵	۱۹,۰۲	۱۸,۹۵	
CaO	۰,۱۸	۰,۱۲	۰,۱۳	۰,۰۵	۰,۱۰	۰,۱۴	۰,۲۴	۰,۵۰	۱,۱۶	۰,۴۹	۱,۲۳	۰,۸۳	
Na_2O	۰,۱۳	۰,۱۰	۰,۱۲	۰,۰۹	۰,۰۹	۰,۰۹	۰,۱۰	۰,۰۸	۰,۰۹	۰,۰۷	۰,۰۸	۰,۱۲	
K_2O	۸,۸۱	۹,۲۱	۸,۶۵	۹,۰۶	۸,۸۹	۹,۱۹	۸,۸۱	۸,۲۲	۳,۵۷	۶,۷۹	۴,۳۳	۵,۴۷	
BaO	۰,۲۶	۰,۳۷	۰,۳۰	۰,۴۰	۰,۳۷	۰,۳۳	۰,۱۶	۰,۱۷	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۴	۰,۰۳	
Total	۹۴,۴۷	۹۵,۴۳	۹۴,۹۵	۹۷,۹۴	۹۵,۴۸	۹۵,۳۰	۹۴,۹۵	۹۴,۸۲	۹۴,۷۴	۹۵,۴۸	۹۴,۸۸	۹۴,۲۸	
Number of inos on the basis of 22 Oxygens													
Si	۵,۳۴۳	۵,۳۱۱	۵,۳۵۷	۵,۳۳۱	۵,۲۸۵	۵,۳۲۳	۵,۳۸۸	۵,۲۲۴	۵,۰۳۷	۵,۳۵۵	۵,۱۰۳	۵,۲۱۱	
Ti	۰,۴۱۱	۰,۴۲۳	۰,۴۴۴	۰,۴۴۴	۰,۴۳۶	۰,۴۲۲	۰,۴۱۱	۰,۴۱۳	۰,۶۲	۰,۶۶	۰,۶۱	۰,۵۶	
AlIV	۲,۲۸۶	۲,۲۵۲	۲,۲۲۳	۲,۲۲۰	۲,۲۶۱	۲,۲۴۶	۲,۱۶۱	۲,۲۶۱	۲,۷۰۹	۲,۴۱۱	۲,۶۰۱	۲,۵۳۶	
Fe^{2+}	۲,۳۷۳	۲,۳۳۹	۲,۳۱۵	۲,۳۸۰	۲,۴۰۴	۲,۳۶۰	۲,۳۴۱	۲,۵۲۳	۲,۳۸۲	۲,۰۰۵	۲,۱۲۷	۱,۹۷۴	
Mn	۰,۰۱۷	۰,۰۱۷	۰,۰۱۶	۰,۰۲۲	۰,۰۲۳	۰,۰۱۷	۰,۰۲۳	۰,۰۲۱	۰,۰۳۰	۰,۰۱۰	۰,۰۱۰	۰,۰۱۸	
Mg	۲,۷۷۶	۲,۸۶۲	۲,۸۵۲	۲,۸۰	۲,۸۵۷	۲,۷۹۵	۲,۹۰۸	۲,۹۰۰	۳,۸۰۶	۳,۸۲۸	۴,۰۲۰	۴,۰۲۶	
Ca	۰,۰۲۸	۰,۱۹	۰,۲۱	۰,۰۰۷	۰,۰۱۶	۰,۰۲۲	۰,۰۳۸	۰,۰۷۹	۰,۱۷۸	۰,۰۷۴	۰,۲۰۲	۰,۱۲۷	
Na	۰,۰۲۸	۰,۰۲۹	۰,۰۳۵	۰,۰۲۶	۰,۰۲۴	۰,۰۳۰	۰,۰۲۹	۰,۰۲۲	۰,۰۲۴	۰,۰۱۸	۰,۰۲۲	۰,۰۳۴	
K	۱,۶۵۷	۱,۷۲۰	۱,۶۱۵	۱,۷۰۱	۱,۶۵۹	۱,۷۱۹	۱,۶۴۶	۱,۵۵۱	۰,۶۵۱	۱,۲۲۵	۰,۷۸۵	۰,۹۹۷	
Ba	۰,۰۲۱	۰,۰۲۱	۰,۰۱۷	۰,۰۲۳	۰,۰۲۱	۰,۰۱۹	۰,۰۰۹	۰,۰۱۰	۰,۰۰۱	۰,۰۰۲	۰,۰۰۱		
Cations	۱۴,۹۵۰	۱۵,۰۰۲	۱۴,۹۰۵	۱۴,۹۷۰	۱۴,۹۸۶	۱۴,۹۷۶	۱۴,۹۵۴	۱۵,۰۱۴	۱۴,۸۸۰	۱۴,۹۹۲	۱۴,۹۳۳	۱۴,۹۷۶	
Fe#	۰,۴۶۰	۰,۴۵۰	۰,۴۵۰	۰,۴۶۰	۰,۴۶۰	۰,۴۶۰	۰,۴۵۰	۰,۴۷۰	۰,۳۸۰	۰,۳۴۰	۰,۳۵۰	۰,۳۳۰	
Mg#	۰,۵۴۰	۰,۵۵۰	۰,۵۵۰	۰,۵۴۰	۰,۵۴۰	۰,۵۴۰	۰,۵۵۰	۰,۵۳۰	۰,۶۲۰	۰,۶۶۰	۰,۶۵۰	۰,۶۷۰	



شکل ۵ (الف) موقعیت قرارگیری بیوتیت سنگ‌های پیروکسن دیوریتی شرق نابر در نمودار [۲۰] ب) جدایی بیوتیت‌های مورد بررسی در نمودار FeOt [۲۳]. (ب) رده‌بندی بیوتیت‌ها بر اساس [۲۲]. (ت) موقعیت بیوتیت سنگ‌های پیروکسن دیوریتی شرق نابر در نمودار Al_2O_3 در برابر FeO^* [۲۱].

موقعیت هشت‌وجهی به صورت Fe^{2+} به شدت به حالت اکسایش بستگی دارد [۲۶]. پژوهش‌های [۲۷، ۲۸] روی پلازیوکلازهای طبیعی نشان می‌دهد که میزان آهن در پلازیوکلازها با افزایش درصد آنورتیت آن‌ها افزایش می‌یابد. ویژگی یاد شده در بلورهای پلازیوکلاز سنگ‌های پیروکسن دیوریتی و گابرودیوریتی شرق نابر قابل رویت است (شکل عپ). بیشتر بلورهای پلازیوکلاز منطقه‌ی شرق نابر منطقه‌بندی نوسانی نشان می‌دهند. در مشاهدات میکروسکوپی این منطقه بندی با تنوع رنگی یا دوشکستی مشخص می‌شود. منطقه بندی نوسانی به واسطه تغییرات ناگهانی در مقدار آنورتیت پلازیوکلازها حاصل می‌شود. ایجاد این تغییرات ناگهانی مستلزم رخدادهای ناگهانی در شرایط دینامیکی تبلور است [۲۹]. به نظر [۳۰] افزایش فشار بخار آب ماقما در اثر آزاد شدن آب از صفحه‌ی فرورونده طی افزایش فشار، پیشرفت واکنش‌های دگرگونی و رسوب‌های همراه آن از عوامل تاثیر گذار در تغییر شرایط فیزیکوشیمیایی محیط تشکیل این بلورهاست. به منظور

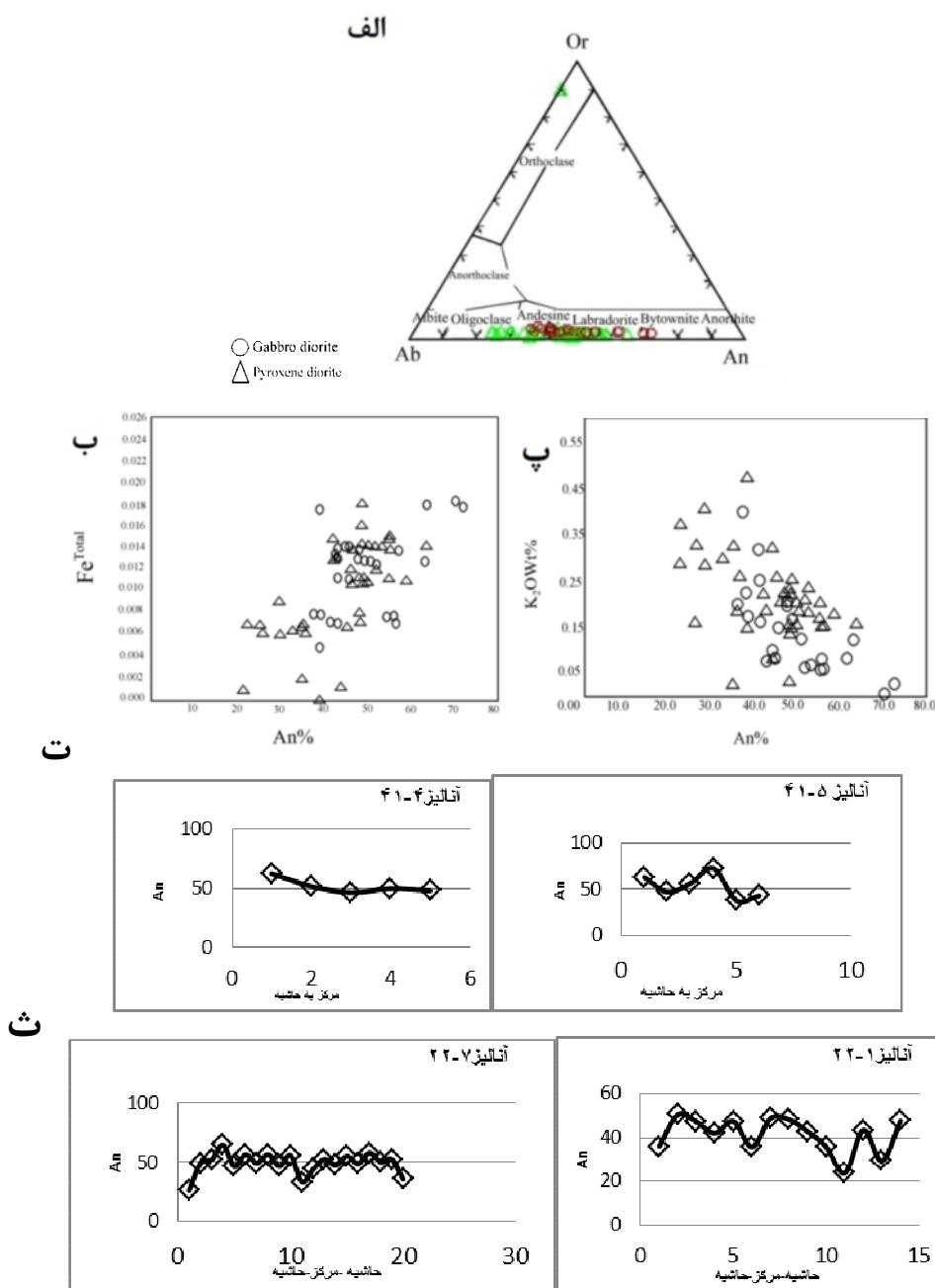
فلدسبار

ترکیب فلدسبارها علاوه بر ترکیب و دمای ماقما، به گازهای ماقمایی نیز بستگی دارد [۲۴]. بر اساس نمودار Or-Ab-An [۲۰] پلازیوکلازهای موجود در سنگ‌های گابرودیوریتی شرق نابر در گستره‌ی آندزین، لابرادوریت و بیتونیت و ترکیب فلدسبارهای سنگ‌های پیروکسن دیوریتی این منطقه در گستره‌ی الیگوکلاز، آندزین، لابرادوریت و ارتوكلاز واقع می‌شوند (شکل ۶-الف). نتایج آنالیز برخی از فلدسبارهای سنگ‌های آنالیز شده شرق نابر به همراه محاسبه‌ی فرمول ساختاری آن‌ها براساس ۸ اکسیژن در جدول ۴ آمده است.

به عقیده‌ی [۲۵] روند خطی An در K_2O نسبت به Fe^{2+} در پلازیوکلازها نشانگر آن است که پلازیوکلاز فاز اصلی در ماقماست. پلازیوکلازهای سنگ‌های پیروکسن دیوریتی و گابرودیوریتی شرق نابر در نمودار دوتایی An-K₂O نسبت به Fe^{2+} روند خطی را نشان می‌دهند (شکل ۶-ب). میزان جایگزینی آهن در پلازیوکلاز در موقعیت چهاروجهی به صورت Fe^{2+} و Fe^{3+} در

اند. الگوی نوسانی و آنالیز نقطه‌ای پلازیوکلازها از مرکز به حاشیه در نمونه‌های گابرو دیوریتی و پیروکسن دیوریتی شرق نابر نیز این موضوع را تایید می‌کند.

بررسی کامل‌تر و صحت این پدیده چند نمونه پلازیوکلاز منطقه‌بندی شده‌ی نمونه‌های پیروکسن دیوریتی و گابرو دیوریتی شرق نابر انتخاب شدند. میزان تغییرات آنورتیت در این پلازیوکلازها در شکل‌های ۶-ت و ۷ نشان داده شده-



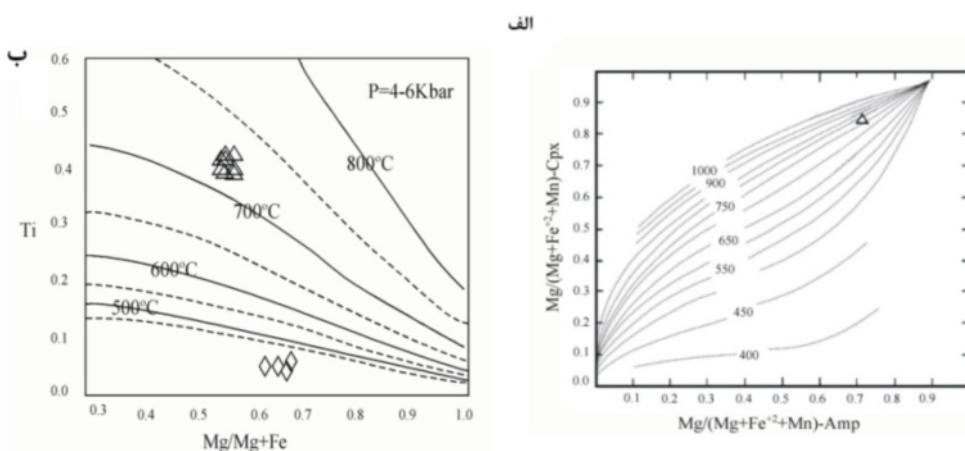
شکل ۶ (الف) ترکیب پلازیوکلازهای موجود در سنگ‌های گابرو دیوریتی و پیروکسن دیوریتی شرق نابر، بر اساس نمودار [Or-Ab-An] [۲۰]. (ب) روند خطی نمونه‌های شرق نابر در نمودار $\text{An} \%$ K_2O نسبت به $\text{An} \%$ است که کانی پلازیوکلاز فاز اصلی در مagmaست. (پ) در نمودار تغییرات میزان آنورتیت نسبت به آهن کل، آهن در پلازیوکلاز با افزایش آنورتیت افزایش می‌یابد. (ت) بررسی منطقه‌بندی نوسانی پلازیوکلازهای زونه نمونه‌های گابرو دیوریتی منطقه‌ی شرق نابر. (ث) بررسی منطقه‌بندی نوسانی پلازیوکلازهای زونه نمونه‌های پیروکسن دیوریتی منطقه‌ی شرق نابر.

جدول ۴ نتایج آنالیز ریزبردازشی فلدسپارهای موجود در نمونه‌ی پیروکسن دیوریت و گابرودیوریت سنگ‌های نفوذی شرق نابر.

Sample	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۴۱	۴۱	۴۱	۴۱	۴۱
Analysis	core	core	core	core	core	rim	core	core	core	Core-rim	Core-rim
Mineral	Plagioclase	Plagioclase	Plagioclase	Plagioclase	Plagioclase	Orthoclase	Plagioclase	Plagioclase	Plagioclase	Plagioclase	Plagioclase
SiO ₂	۵۷,۲۳	۵۴,۷۲	۵۶,۴۷	۵۴,۳۲	۵۵,۹۷	۶۴,۷۸	۵۲,۰۱	۵۱,۳۷	۵۴,۷۰	۵۳,۰۵	۴۸,۸۹
TiO ₂	۰,۰۱	۰,۰۲	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۳	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۱
Al ₂ O ₃	۲۶,۶۷	۲۸,۱۰	۲۶,۷۹	۲۸,۴۰	۲۷,۳۹	۱۸,۰۵	۳۸,۸۵	۳۱,۲۹	۲۸,۸۹	۳۰,۲۷	۳۲,۱۳
FeO*	۰,۲۷	۰,۰۴	۰,۳۷	۰,۳۰	۰,۲۲	۰,۳۲	۰,۳۵	۰,۴۶	۰,۳۸	۰,۳۶	۰,۴۲
MnO	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۲	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۴	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱
MgO	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۳	۰,۰۵	۰,۰۱	۰,۰۲
CaO	۹,۲۷	۱۱,۱۳	۱۰,۰۹	۱۱,۶۷	۱۰,۲۹	۰,۰۴	۱۲,۵۰	۱۲,۶۷	۹,۸۱	۱۱,۴۱	۱۴,۵۰
Na ₂ O	۶,۲۶	۵,۴۳	۶,۰۶	۵,۱۳	۵,۸۲	۱,۱۱	۴,۰۷	۲,۹۷	۵,۸۷	۴,۸۴	۲,۹۶
K ₂ O	۰,۳۰	۰,۱۹	۰,۱۵	۰,۲۰	۰,۲۳	۱۵,۱۳	۰,۰۹	۰,۱۷	۰,۲۷	۰,۰۸	۳,۰۳
Total	۱۰۰,۰۰	۱۰۰,۰۰	۹۹,۹۷	۱۰۰,۰۳	۹۹,۹۷	۹۹,۸۱	۹۹,۹۸	۱۰۰,۰۰	۹۹,۹۸	۱۰۰,۰۴	۹۹,۹۷
Number of inos on the basis of 8 Oxygens											
Si	۲,۵۷۲	۲,۴۷۶	۲,۵۴۶	۲,۴۵۹	۲,۵۲۴	۲,۰۰۱	۲,۳۶۳	۲,۳۳۴	۲,۴۶۹	۲,۳۹۹	۲,۲۳۳
Al	۱,۴۱۱	۱,۴۹۷	۱,۴۲۳	۱,۵۱۴	۱,۴۵۴	۰,۹۸۵	۱,۶۴۷	۱,۶۷۴	۱,۵۲۶	۱,۶۱۲	۱,۷۸۱
Fe ²⁺	۰,۰۱۰	۰,۰۱۴	۰,۰۱۴	۰,۰۱۱	۰,۰۰۸	۰,۰۱۲	۰,۰۱۳	۰,۰۱۸	۰,۰۱۴	۰,۰۱۴	۰,۰۱۶
Ca	۰,۴۴۶	۰,۵۳۹	۰,۴۷۸	۰,۵۶۶	۰,۴۹۷	۰,۰۰۲	۰,۶۰۷	۰,۶۱۷	۰,۴۷۴	۰,۵۵۳	۰,۷۰۹
Na	۰,۵۴۵	۰,۴۷۶	۰,۵۳۰	۰,۴۵۰	۰,۵۰۹	۰,۱۰۰	۰,۳۵۳	۰,۳۵۰	۰,۵۱۴	۰,۴۲۴	۰,۲۶۲
K	۰,۰۱۷	۰,۰۱۱	۰,۰۰۹	۰,۰۱۲	۰,۰۱۳	۰,۸۹۵	۰,۰۰۵	۰,۰۱۰	۰,۰۱۶	۰,۰۰۵	۰,۰۰۲
Cations	۵,۰۱۱	۵,۰۱۷	۵,۰۱۰	۵,۰۱۲	۵,۰۰۶	۵,۰۰۹	۴,۹۹۳	۵,۰۰۷	۵,۰۲۶	۵,۰۰۸	۵,۰۰۵
Ab	۵۴,۱۰۰	۴۶,۴۰۰	۵۱,۷۰۰	۴۳,۸۰۰	۵۰,۰۰۰	۱۰,۰۰۰	۳۶,۹۰۰	۳۵,۸۰۰	۵۱,۲۰۰	۴۳,۲۰۰	۲۶,۹۰۰
An	۴۴,۲۰۰	۵۲,۵۰۰	۴۷,۵۰۰	۵۵,۱۰۰	۴۸,۸۰۰	۰,۲۰۰	۶۲,۶۰۰	۶۲,۲۰۰	۴۷,۲۰۰	۵۶,۳۰۰	۷۲,۹۰۰
Or	۱,۷۰۰	۱,۱۰۰	۰,۹۰۰	۱,۲۰۰	۱,۳۰۰	۸۹,۸۰۰	۰,۵۰۰	۱,۰۰۰	۱,۶۰۰	۰,۵۰۰	۰,۲۰۰

روش دمای تعادل آمفیبیول و پلازیوکلاز در نمونه گابرودیوریت حدود ۹۱۱ درجه‌ی سانتی گراد برآورد شده است. از آنجایی که احتمالاً این گابرو دیوریتها در اثر آمیختگی گدازه‌های حاصل از ذوب سنگ‌های پوسته‌ی زیرین و ماقمایی مافیک حاصل از ذوب‌بخشی گوشه‌ی فوچانی ایجاد شده است، این دما احتمالاً دمای مربوط به برقراری دوباره‌ی تعادل بین کانی‌ها در مراحل آخر ماقمایی و یا پس از ماقمایی است. بر اساس نمونه Ti نسبت به $Mg/Mg+Fe$ [۳۲] دمای تشکیل بیوتیت‌های سنگ‌های پیروکسن دیوریتی شرق نابر به ترتیب در حدود بالاتر از $700^{\circ}C$ برای بیوتیت‌های اولیه و حدود کمتر از $500^{\circ}C$ برای بیوتیت‌های حاصل از دگرسانی برآورد شده است (شکل ۷-ب).

دما - فشار سنجی
یکی از روش‌های دماسنجی بر پایه‌ی تبادل کاتیون‌های Fe و Mg بین کانی‌های آمفیبیول و کلینوپیروکسن همزیست است [۳۱] که از طریق آن دمای تعادل این دو کانی حاصل می‌شود. در این روش از ترکیب کانی، در حاشیه‌ی بلور استفاده شده است؛ زیرا به برقراری تعادل ترمودینامیکی پیرامون بلور می‌توان اطمینان بیشتری داشت. با استفاده از این روش دمای تعادلی این دو کانی در نمونه پیروکسن دیوریت در حدود ۷۵۰ تا ۸۰۰ درجه‌ی سانتی گراد برآورد شده است (شکل ۷-الف). لزوم استفاده از زوج آمفیبیول-پلازیوکلاز به عنوان دماسنج این است که، در بررسی های سنگ‌نگاری آمفیبیول و پلازیوکلاز به صورت همزیست در کنار یکدیگر باشند [۳۲]. با استفاده از این



شکل ۷ (الف) دمای تعادل کلینوپیروکسن و آمفیبول همزیست در نمونه پیروکسن دیوریت [۳۱]. (ب) نمودار تعیین دمای تبلور بیوتیت‌های سنگ‌های آذرین [۳۳].

برداشت

شواهد سنگنگاری به دست آمده در سنگ‌ها و برونوم‌های شرق روسیه نابر نظیر ساختار منطقه‌ای، بافت پویی کیلیتیک، حواشی غبارآلود، تحلیل رفته و واکنشی، باریکه‌های پلازیوکلاز، آپاتیت‌های سوزنی و وجود برونوم‌های ریز دانه‌ای مافیک همگی حاکی از عدم تعادل و شرایط ناپایدار در محیط تشکیل این سنگ‌ها است و واضح است که این سنگ‌ها از تبلور ساده یک مagma اولیه به وجود نیامده و احتمالاً در اثر فرآیندهای نظیر آلایش و اختلاط magma، هضم و جدایی ایجاد شده‌اند. بررسی نتایج حاصل از آنالیز نقطه‌ای، کانی‌های موجود در دو نمونه از سنگ‌های شرق نابر نشان می‌دهد که پیروکسن‌های موجود در این مقاطع از انواع فقیر از سدیم هستند. ترکیب کلینوپیروکسن‌ها بیشتر در گسترده‌ی دیوپسید و ارتوبیروکسن‌ها در گسترده‌ی هیپرستن قرار می‌گیرند. ترکیب این کانی منطبق بر پیروکسن‌های موجود در سری magma آهکی-قلیایی بوده و در یک محیط زمین‌ساختی وابسته به حاشیه‌ای قاره‌ای فعال تشكیل شده‌اند. آمفیبول‌های موجود در سنگ‌های منطقه‌ی مورد بررسی در دو گروه آمفیبول‌های Fe-Mg-Mn و آمفیبول‌های کلسیک قرار می‌گیرند. آمفیبول‌های حاصل از تجزیه حاشیه ارتوبیروکسن هیپرستنی، از نوع (ثانویه) است، در صورتی که آمفیبول‌های دیگر موجود در سنگ‌های پیروکسن دیوریتی و گابرودیوریتی از نوع کلسیک

برای براورد فشار حاکم در زمان تبلور سنگ‌های این منطقه، از نتایج آنالیز نقطه‌ای آمفیبول‌های اولیه موجود در نمونه گابرودیوریتی و پیروکسن دیوریتی این منطقه استفاده شده است. با توجه به حضور مجموعه‌ی کانی‌ای کوارتز-فلدسبار-قلیایی-پلازیوکلاز-بیوتیت-تیتانیت-مگنتیت در سنگ‌های پیروکسن دیوریتی و گابرو دیوریتی شرق نابر می‌توان فشار تبلور آمفیبول را به روش‌های گوناگون محاسبه کرد. براساس معادله‌ی زمین-فشارسنگی [۳۴] می‌توان از Al^{Total} موجود در هورنبلند برای دستیابی به فشار تبلور آن استفاده کرد.

$$P (\pm 0.6 \text{ Kbar}) = -3.01 + 4.76 Al^{Total} = Al^{IV} + Al^{VI}$$

بر اساس این معادله فشار تشکیل آمفیبول به ترتیب ۲/۱۵ کیلوبار (گابرودیوریت) و ۲/۰۵ کیلوبار (دیوریت) محاسبه شده است. براساس فشار محاسبه شده می‌توان عمق جایگیری magma قبل از صعود را براورد کرد. با فرض اینکه فشار حاکم در زمان تبلور آمفیبول، فشار همه جانبه لیتواستاتیک، ناشی از وزن سنگ‌های فوکانی بوده، با استفاده از رابطه‌ی $P = \rho.h.g$ می‌توان عمق (h) را محاسبه کرد. البته فشارهای زمین ساختی نیز تاثیرگذار هستند، با فرض این که اهمیت و اثر آن‌ها در قیاس با فشار لیتواستاتیک ناچیز است، می‌توان از آن چشم‌پوشی کرد. عمق جایگیری در حدود ۸/۱ کیلومتر (برای گابرودیوریت) و ۷/۷۴ کیلومتر (برای پیروکسن دیوریت) می‌باشد.

- [5] Perugini D., Poli G., Valentini L., "Strange attractors in plagioclase oscillatory zoning: petrological implications", Contributions to Mineralogy and Petrology 149 (2005) 482-497.
- [6] Kadioglu Y. K., Gulec N., "Types and genesis of the enclaves in Central Anatolian granitoids", Journal of Geology 34 (1999) 234-256.
- [7] Hibbard M. J., "Petrology to petrogenesis", Prentice Hall, New Jersey (1991) 587p.
- [8] Anderson A. T. J., "Probable relations between plagioclase zoning and magma dynamics, Fuego Volcano, Guatemala", American Mineralogist 69 (1984) 660-676.
- [9] Morimoto N., Fabries J., Ferguson A. K., Ginzburg I. V., Ross M., Seifert F. A., Zussman J., Aoki K., Gottardi G., "Nomenclature of pyroxenes", American Mineralogist 65 (1988) 1-28.
- [10] Maeda J., Shimura T., Arita K., Osanami Y., Murata M., Bamba M., Suetake S., "Chemical features of orthopyroxene in peraluminous igneous rocks", American Mineralogist 76 (1991) 1674-1682.
- [11] Le Bas N. J., "The role of aluminium in igneous clinopyroxenes with relation to their parentage", American Journal of Science 260 (1962) 267-288.
- [12] Wass S. Y., "Multiple origins of clinopyroxenes in alkali basaltic rocks", Lithos 12 (1979) 115-132.
- [13] Aoki K., Shiba I., "Pyroxenes from lherzolite inclusions of Itinom egata, Japan", Lithos 6 (1993) 41-51.
- [14] Helz R. T., "Phase relations of basalts in their melting range at $P\text{H}_2\text{O} = 5 \text{ kb}$ as a function of oxygen fugacity", Journal of Petrology 14 (1973) 249-302.
- [15] Sun C. M., Bertrand J., "Geochemistry of clinopyroxenes in plutonic and volcanic sequences from the Yanbian Proterozoic ophiolites (Sichuan Province, China)", Petrographische Mitteilungen 71 (1991) 59-243.
- [16] Leake B. E., Wolley A. R., Arps C. E. S., Birch W. D., Gilbert M. C., Grice J. D., Hawthorne F. C., Kato H. J., Kisch V. G., Krivovichev K., Linthout J., Laird J., Mandarino W. V., Maresch E. H., Nickel N. M. S., Rock J. C., Schumacher D. C.,

هستند. بعضی از آمفیبول‌های کلسیک موجود در این سنگ‌ها مگنیوهوربنلند (اولیه) و بخشی دیگر اکتینولیت و هوربنلند اکتینولیت (ثانویه) هستند. بررسی‌های فشار سنگی نمونه‌ها بر پایه Al موجود در آمفیبول [۳۴]، تبلور آمفیبول به ترتیب در فشارهای ۲/۱۵ کیلوبار (برای نمونه گابرو دیوریتی) و ۲/۰۵ کیلوبار (برای نمونه پیروکسین دیوریتی) صورت گرفته است. عمق جایگیری در حدود ۸/۱ کیلومتر (برای گابرو دیوریت) و ۷/۷۴ کیلومتر (برای پیروکسین دیوریت) است. ترکیب پلازیوکلازهای موجود در سنگ‌های گابرو دیوریتی شرق نابر در گستره‌ی آندزین تا بیتونیت و ترکیب پلازیوکلازهای سنگ‌های پیروکسین دیوریتی براساس روش [۳۲] حدود ۹۱۱ درجه‌ی سانتی‌گراد برآورد شده است. بیوتیت منطقه بیشتر از نوع بیوتیت غنی از Mg است. بر پایه رده بندی [۲۳] ماقمای سازنده‌ی بیوتیت‌های منطقه در گستره‌ی آهکی-قلیایی قرار می‌گیرند. بر پایه ترکیب آمفیبول‌ها، بیوتیت‌ها و کلینوپیروکسین‌ها احتمالاً میزان گریزندگی اکسیژن در ماقمای سازنده نمونه‌های پیروکسین دیوریتی و گابرو دیوریتی این منطقه نسبتاً بالاست.

مراجع

- [۱] امامی م. ھ، نقشه چهارگوشه کاشان، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰، سازمان زمین شناسی کشور.
- [۲] عباسی دهقی س.، "پتروگرافی و پترولوزی سنگ‌های حدواسط در منطقه شرق نابر (جنوب غرب کاشان)"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان، (۱۳۹۱) ص ۱۸۶.
- [۳] Halsor S. P., "Large glass inclusions in plagioclase phenocrysts and their bearing on the origin of mixed andesitic lavas at Toliman Volcano, Guatemala", Bulletin of Volcanology 51 (1981) 271-280.
- [۴] Loomis T. P., "Numerical simulations of crystallization processes of plagioclase in complex melts: the origin of major and oscillatory zoning in plagioclase", Contributions to Mineralogy and Petrology 81 (1982) 219-229.

- [26] Tegner C., "Iron in plagioclase as a monitor of the differentiation of the Skaergaard intrusion", Contribution to Mineralogy and Petrology 128 (1997) 45-51.
- [27] Smith J. V., "Phase equilibria of plagioclase, In: Ribbe, P. H. (ed) *Feldspar mineralogy*, 2ndedn Mineralogy 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-NewYork (1988) 828.
- [۲۹] شلی د. "بررسی میکروسکوپی سنگ‌های آذرین و دگرگونی", مترجم: آسیابانها، ع، دانشگاه بین المللی امام خمینی، (۱۹۹۳) ص ۶۳۰
- [30] Sisson T. W., Grove T. L., "Experimental investigation of the role of water in calc-alkaline differentiation and subduction zone magmatism", Contributions to Mineralogy and Petrology 113 (1993) 143-166.
- [31] Perchuk L. L., Aranovich L. Y., Podlesskii K. K., Layrant'eva I. V., Gerasimov V. Y., Fed'kin V. V., "Precambrian granulites of the Aidam Shield, eastern Siberia, USSR", Journal of Metamorphic Geology 3 (1985) 265-310.
- [32] Holland T., Blundy J., "Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry", Contributions to Mineralogy and Petrology 116 (1994) 433-447.
- [33] Henry D. J., Guidotti C. V., Thomson J. A., "The Ti-saturation surface for low-to-medium pressure metapelitic biotite: Implications for Geothermometry and Ti-substitution Mechanisms", American Mineralogist 90 (2005) 316-328.
- [34] Schmidt W. S., "Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: an experimental calibration of the Al-in-hornblend barometer", Contributions to mineralogy and Petrology 110 (1992) 304-310.
- Smith N. C. N., Stephenson L., Ungaretti E. J. W., whittaker G., Youzhi, "Nomenclature of Amphiboles, report of the subcommittee on amphiboles of the international mineralogical association commission on new minerals and mineral names", The Canadian Mineralogist 35 (1997) 1 219-246.
- [17] Coltorti M., Bonadiman C., faccini B., Gregoire M., O'Reilly S. Y., Powell W., "Amphiboles from suprasubduction and intraplate lithospheric mantle", Lithos 99 (2007) 68-84.
- [18] Ewart A., "A review of the mineralogy and chemistry of tertiary recent dacitic, latitic, rhyolitic and related salic volcanic rocks, In: Fred, B. (Ed), *Trondhjemites, dacites, and related rocks*", (1979).
- [19] Anderson J. L., Smith D. R., "The effects of temperature and fO_2 on the Al-in-hornblende barometer", American Mineralogist 80 (1995) 549-559.
- [20] Deer W. A., Howie R. A., Zussman J., "An introduction to the rockforming minerals", Second Longman Editions, Longman, London (1992) 696.
- [21] Nachit H., Ibhi A., Abia E. H., Ohoud M. B., "Discrimination between primary magmatic biotites, reequilibrated biotites and neoformed biotites", Geomaterials (Mineralogy), CopmtesRendus, Geoscience 337 (2005) 1415-1420.
- [22] Foster M. D., "Interpretation of the composition of the trioctahedral micas", United States Geological Survey Professional Paper 354-B (1960) 11-49.
- [23] Abdel-Rahmane A., "Nature of biotite from Alkaline, Calc-alkaline, and Per-aluminous Magmas", Journal of Petrology 35 (1994) 525-541.
- [24] Hattori K., Sato H., "Magma evolution recorded and plagioclase zoning in 1991 Pinatubo eruption products", American Mineralogist 81 (1996) 982-994.
- [25] Piettranik A., Koepke J., Puziewicz J., "Crystallization and resorption in plutonic plagioclase: Implications on the evolution of granodiorite magma (Gesiniesgranodiorite, Strzelin Crystalline Massif, SW Poland)", Lithos 86 (2006) 260-280.