

ترمو-بارومتری توده گرانودیوریتی مجموعه گرانیتوئیدی قروه (جنوب شرقی استان کردستان)

اشرف ترکیان^۱ و زهرا طهماسبی^۲

۱- هیات علمی گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

۲- هیات علمی گروه معدن، دانشکده فنی، دانشگاه لرستان، خرم آباد

* مسئول مکاتبات - نشانی الکترونیکی: a-torkian@basu.ac.ir

دریافت: ۸۸/۷/۴ پذیرش: ۸۸/۱۱/۱۱

چکیده

در جنوب قروه (کردستان) باتولیت گرانیتوئیدی تیپ I وجود دارد که شامل طیفی از واحدهای کوارتز دیوریت، دیوریت، گرانودیوریت و گرانیت است. داده‌های حاصل از ریزپردازش الکترونی بلورهای آمفیبول در گرانودیوریت نشان می‌دهد که آمفیبول‌ها با دارا بودن محتوی $(Mg / (Mg + Fe^{2+}) < 0.3$ ، $(Na+K)_A < 0.3$ و $TSi < 6/5$ (در واحد فرمولی) در گروه منیزو-هورنبلندها هستند. کم بودن مقادیر Al_2O_3 ، $Al^{total} > 1/3$ و نیز فراوانی کم اکسید تیتانیوم ($wt\% 1/87 - 1/97$) و مقدار تیتان در فرمول ساختمانی این کانی (کمتر از ۱) بر حاکمیت فشار کم دلالت دارند. به علاوه، بر اساس مقدار Al موجود در ساختار هورنبلند چنین استنتاج می‌گردد که هورنبلندهای این واحد سنگی در فشار ۱/۷ تا ۲/۱ کیلو بار متبلور شده باشند. نمودارهای نسبت Al کل به Ti و Al کل به PS نیز مؤید تبلور ماگما در فشارهای مختلف طی صعود آن در پوسته می‌باشد. بیشینه دمای حاصل از ترمومتر "هورنبلند-پلاژیوکلاز" گرانودیوریت در فشار مذکور بین ۶۸۱ تا ۶۹۷ درجه سانتی‌گراد است که این دما بیانگر دمای زمان جایگزینی توده می‌باشد. داده‌های ترمومتری بر پایه زوج "بیوتیت-گارنت" به تعادل رسیدن هورنفلس مجاور آن را در فاصله دمایی بین ۴۳۸ تا ۵۳۷ درجه سانتی‌گراد نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: گرانودیوریت، ژئوترمتری، ژئوبارومتری، قروه، کردستان

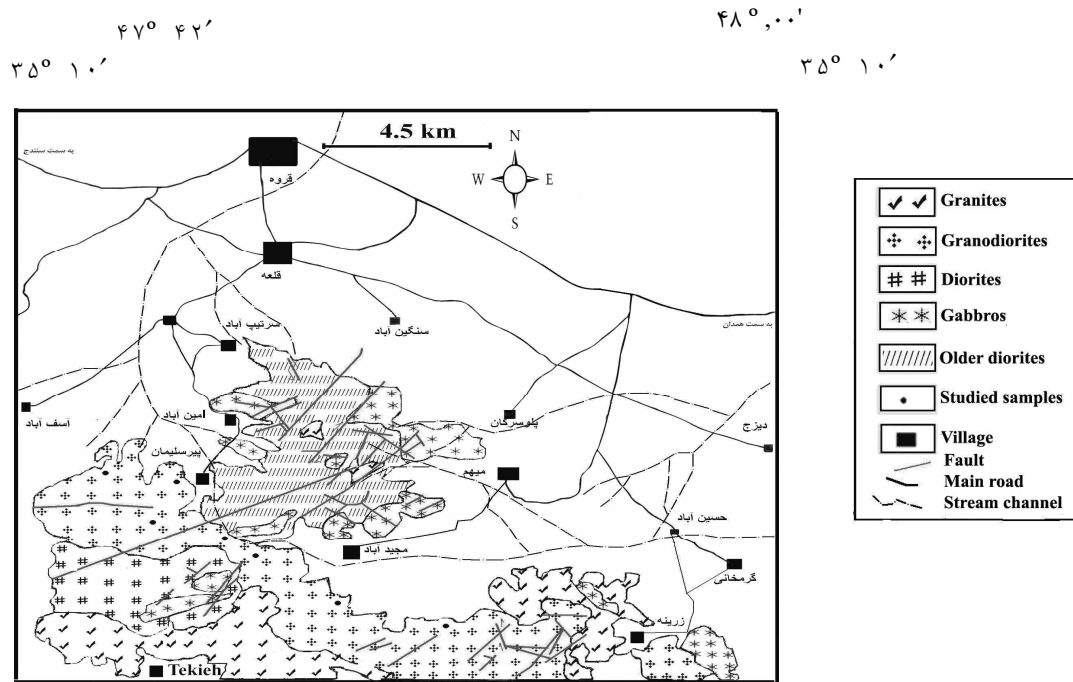
مقدمه

در جنوب قروه (کردستان) در ۸۰ کیلومتری شمال غرب همدان مجموعه نفوذی گرانیتوئیدی به سن ائوسن-اولیگوسن [۴]، به مختصات جغرافیائی ۴۲° ۴۷' تا ۴۸° ۴۸' طول شرقی و ۳۴° ۵۰' تا ۳۵° ۱۰' عرض شمالی وجود دارد که شامل طیفی از واحدهای سنگی گرانودیوریتی، کوارتز-دیوریتی، دیوریتی و گرانیتی است. حدود و مرزهای سنگ‌شناسی این مقاله بر پایه‌ی داده‌های منع [۵] می‌باشد (شکل ۱). براساس داده‌های صحرایی، پتروگرافی و ژئوشیمیایی توده‌های فلسیک این مجموعه از جمله گرانودیوریت‌ها با توده‌های مافیکتر دارای منشا متفاوتی هستند [۳].

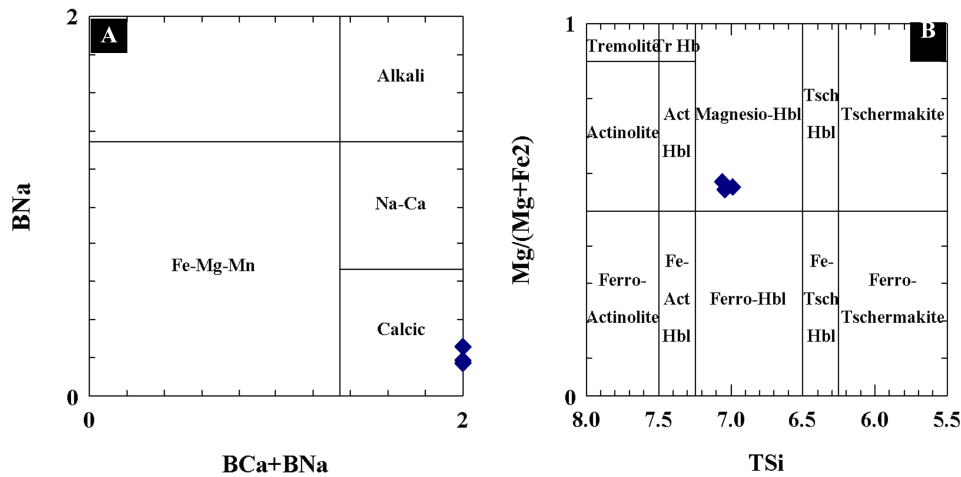
کانی‌هایی چون پلاژیوکلاز، آمفیبول، گارنت و بیوتیت از جمله کانی‌های کلیدی و بسیار ارزشمند جهت مطالعات پترولوژیست‌ها به ویژه از دیدگاه ژئوترمو-بارومتری در توده‌های نفوذی به شمار می‌روند. امروزه با پیشرفت تکنولوژی آنالیز کانی‌ها، امکان دستیابی دقیق به تمرکز عناصر و بررسی تغییرات آنها وجود دارد. ترکیب شیمیایی

کانی‌ها (شیمی بلور) و تغییراتی که در مقیاس بسیار ریز میکرونی در آنها صورت می‌گیرد در خصوص تعیین ویژگی‌های دمایی و فشاری جایگزینی ماگماها اطلاعاتی در اختیار قرار می‌دهند.

در این مقاله هدف این است که با استفاده از داده‌های تجزیه ریزپردازش الکترونی کانی‌های آمفیبول، پلاژیوکلاز، گارنت و بیوتیت، ضمن تعیین دقیق ترکیب این کانی‌ها، ژئوترمومتری، ژئوبارومتری توده گرانودیوریتی مورد مطالعه را در زمان تشکیل مشخص نماید. کانی‌های فوق با استفاده از دستگاه تجزیه ریزپردازنده الکترونی مدل CAMECA SX50 در دانشگاه اکلاهما (امریکا) برای شناسایی عناصر SiO_2 ، TiO_2 ، Al_2O_3 ، FeO^{total} ، MgO ، MnO ، CaO ، SrO ، BaO ، Na_2O ، K_2O ، F و Cl مورد تجزیه قرار گرفتند. این کار با ولتاژ شتاب-دهنده ۲۰ Kv، باریکه جریان ۲۰ nA و با قطر باریکه‌ای برابر ۲ μm صورت پذیرفته است. نتایج داده‌ها برای تمامی عناصر با کانی‌های استاندارد شناخته شده طبیعی، هم‌سنجی (کالیبره) شده و تنها برای عنصر Ba از شیشه مصنوعی استفاده گردیده است.



شکل ۱- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه که در آن واحدهای مختلف لیتولوژی ارائه گردیده است (براساس منبع [۵] با کمی تغییرات)



شکل ۲- (A) آمفیبول های گرانودیوریت ها در قلمرو آمفیبول های کلسیک قرار می گیرند. (B) نمودار نسبت محتوی $Mg/(Mg + Fe^2)$ به کل Si (TSi) [۴]. تصویر نمونه های آمفیبول در این نمودار در محدوده منیزو هورنبلندها واقع شده است.

سنگ شناسی توده گرانودیوریتی

بیوتیت، کوارتز است. زیرکن، آلانیت، آپاتیت، اسفن و مگنتیت کانی های اصلی را همراهی می کنند. پلاژیوکلازها متوسط تا درشت دانه و برخی به صورت بلورهای درشت تیغه ای ظاهر شده اند. اکثر بلورها خود شکل تا نیمه شکل-

گرانودیوریت مورد مطالعه متوسط تا درشت دانه و بافت آن عمدتاً گرانولار تا پورفیروئیدی است. ترکیب کانی-شناسی متشکل از پلاژیوکلاز، فلدسپار پتاسیم، آمفیبول،

[۴] و تعیین مقدار Fe^{+3} از روش های معرفی شده توسط [۶] و [۱۸] می باشد. بر مبنای فرمول ساختمانی کلی استاندارد آمفیبول $[Ca_2 [Mg, Fe]_4 (Al, Fe^{+3}) (OH)_2 (Si_7AlO_{22})]$ ، آمفیبول های مورد نظر از متغیرهای زیر برخوردار می باشند (جدول ۱):

$$Mg / (Mg + Fe^{+2}) > 0.67, Ca(M_4) = Na(M_4) > 2$$

$$Fe^{+2} + \text{ بیش از } 0.5, (Na+K)_A < 0.3$$

(در واحد فرمولی). این مشخصات خاص منیزیم هورنبلندهای کلسیک منوکلینیک است (شکل ۲) که با ویژگی های محتوی متغیرهای فرمولی ارائه شده توسط مجمع بین المللی کانی شناسی (IMA) [۴] نیز مطابقت نشان می دهد. کم بودن مقادیر Al_2O_3 و $Al^{total} > 1/3$ و نیز فراوانی کم TiO_2 (۰/۸۷ - ۰/۹۷ wt%) و تیتان کمتر از ۱ در فرمول ساختمانی به ترتیب بر حاکمیت فشار کم و بالا بودن مقدار فوگاسیته اکسیژن توده گرانودیوریتی دلالت دارند [۵ و ۸]. به علاوه محتوی آهن و منیزیم در کانی فوق نسبتاً بالاست به ویژه منیزیم که بین ۱۰/۲۱ تا ۱۰/۲۶ متغیر است و در همین حال نسبت اکسیدهای این دو عنصر نشان می دهند که فراتر از ۰/۵۳ نمی باشند.

[۱۱] چنین ویژگی را در هورنبلندها به ترکیب فلسیک مذاب والد آنها نسبت داده است. از طرفی پیش از این نیز [۹] مقادیر کم $Mg / (Mg + Fe^{+2})$ را ناشی از تبلور کانی در شرایط فشار کم و فوگاسیته اکسیژن زیاد تلقی کرده بودند. بنابراین هورنبلندهای این توده (جدول ۲ و ۳) با دارا بودن $Mg / (Mg + Fe^{+2})$ بیش از ۰/۷۱، برای استفاده در ژئوبارومتري به روش "محتوی Al در هورنبلند" و ژئوترمومتري بر اساس "زوج کانی های هورنبلند-پلاژیوکلاز" مناسب می باشند.

۲- شیمی پلاژیوکلاز

پلاژیوکلازهای این واحد سنگی در حدود ۳۰ تا ۳۸ درصد سنگ را تشکیل می دهند. بررسی ترکیب پلاژیوکلازهای توده گرانودیوریتی نشان می دهد که در برخی پلاژیوکلازها منطقه بندی نوسانی مشاهده می شود [۱]. مقدار آنورتیت در هسته این نوع پلاژیوکلازها از ۲۵ تا ۴۵ درصد متغیر

دار و ساخت منطقه ای یکی دیگر از ویژگی های این کانی است.

فلدسپار پتاسیم به دو صورت بلورهای نسبتاً درشت و بلورهای ریز زمینه، در این سنگ وجود دارند. اندازه آنها بین ۰/۳ تا ۳ میلی متر در نوسان است. این کانی به صورت ارتوکلاز دارای ماکل کارلسباد، ارتوکلاز پرتیتی، میکروکلین هایی با ماکل تارتن ظاهر شده است. میرمکیت نیز به مقدار کم در محل تماس آنها با پلاژیوکلازها تشکیل شده است. کوارتز بی شکل و در اندازه های متوسط تا ریز بلور متبلور شده و گاهی با خاموشی موجی مشاهده می شود. این کانی با فراوانی مودال بین ۱۳ تا ۳۰ درصد در این واحد سنگی یافت می شود.

مهمترین کانی فرعی و فرومنیزین گرانودیوریت مورد مطالعه، هورنبلند است که فراوانی آن به میزان ۱۰-۲۲ درصد در نوسان می باشد. این کانی سهم عمده ای در بین کانی های تشکیل دهنده این واحد داراست. هورنبلندها دارای رنگ سبز تا سبز-قهوه ای، در اندازه های متوسط تا درشت بلور و به صورت خود شکل تا نیمه شکل دار متبلور گردیده اند. گاهی ماکل کارلسباد در آنها به خوبی مشهود است. بیوتیت اولیه در این واحد سنگی به میزان کمتر از ۵ درصد وجود دارد ولی بیوتیت هایی نیز از دگرسانی آمفیبول ها بوجود آمده اند که مقدار آنها بسیار کم است. هم چنین اسفن به عنوان یک کانی اولیه در سنگ های گرانودیوریتی مشاهده شده است. توده گرانودیوریتی مورد مطالعه با CaO (۱۶/۳۶ - ۱۲/۸۱ %)، Al_2O_3 (۳/۲۴ - ۱/۲۴ %)، Na_2O (۳/۷۰ - ۵/۰۵ %)، K_2O (۲/۹۴ - ۶/۲۳ %) از نظر درجه اشباعی از آلومینا در رده متآلومین های فلسیک قرار می گیرد. ترکیب کانی شناسی گرانودیوریت مورد مطالعه و نیز داده های ژئوشیمیایی حاکی از دارا بودن اختصاصات گرانیتوئیدهای تیپ I می باشد [۱].

بررسی شیمی کانی ها

۱- شیمی آمفیبول

مبنای محاسبات تعیین فرمول ساختمانی این کانی، محاسبه ترکیب آن بر مبنای ۱۳ کاتیون (13 eCNK)

جدول ۱- نتایج داده‌های تجزیه ریزپردازش الکترونی (برحسب درصد وزنی) آمفیبول‌های منتخب از واحد گرانودیوریتی و فراوانی متغیرهای فرمولی (بر

حسب اتم در واحد فرمولی (apfu) آنها

| شماره نمونه | MMI-11 | MAJ.12 | MAJ.2 | MAJB.2 |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|
| SiO ₂ | ۴۶/۹۱ | ۴۷/۳۵ | ۴۷/۲۰ | ۴۷/۰۳ |
| TiO ₂ | ۰/۸۸ | ۰/۸۷ | ۰/۹۷ | ۰/۹۴ |
| Al ₂ O ₃ | ۶/۰۸ | ۵/۵۲ | ۵/۹۸ | ۶/۰۳ |
| FeO ^{total} | ۱۹/۵۴ | ۲۰/۲۴ | ۲۰/۴۲ | ۱۹/۴۷ |
| MgO | ۱۰/۲۵ | ۱۰/۲۱ | ۱۰/۲۴ | ۱۰/۲۶ |
| MnO | ۰/۵۵ | ۰/۶۵ | ۰/۶۵ | ۰/۵۳ |
| CaO | ۱۱/۳۰ | ۱۰/۸۸ | ۱۱/۴۳ | ۱۱/۳۹ |
| SrO | ۰/۰۲ | ۰/۰۵ | ۰/۰۴ | ۰/۰۴ |
| BaO | ۰ | ۰ | ۰/۰۲ | ۰/۰۱ |
| Na ₂ O | ۰/۹۳ | ۰/۹۷ | ۰/۹۵ | ۰/۹۲ |
| K ₂ O | ۰/۶۱ | ۰/۵۷ | ۰/۶۰ | ۰/۶۲ |
| F | ۰/۲۴ | ۰/۴۲ | ۰/۳۴ | ۰/۳۰ |
| Cl | ۰/۱۳ | ۰/۱۱ | ۰/۱۵ | ۰/۱۴ |
| MgO/FeO | ۰/۵۲ | ۰/۵۰ | ۰/۵۰ | ۰/۵۳ |
| Fe/(Fe+Mg) | ۰/۶۷ | ۰/۶۷ | ۰/۶۶ | ۰/۶۵ |
| O | (OH,F,Cl)۲۲+۲ | (OH,F,Cl)۲۲+۲ | (OH,F,Cl)۲۲+۲ | (OH,F,Cl)۲۲+۲ |
| Si | ۷/۰۲ | ۷/۰۶ | ۶/۹۸ | ۷/۰۴ |
| CTi | ۰/۹۹ | ۰/۹۸ | ۰/۱۱ | ۰/۱۱ |
| Al ^{total} | ۱/۹۴ | ۰/۹۷ | ۱/۰۴ | ۱/۰۶ |
| Al ^{IV} | ۰/۹۸ | ۰/۹۴ | ۱/۰۲ | ۰/۹۷ |
| Al ^{VI} | ۰/۹۶ | ۰/۰۳ | ۰/۰۳ | ۰/۱۰ |
| CMg | ۲/۲۹ | ۲/۲۷ | ۲/۲۶ | ۲/۲۹ |
| BCa | ۱/۸۱ | ۱/۷۴ | ۱/۸۱ | ۱/۸۲ |
| CMn | ۰/۰۷ | ۰/۰۸ | ۰/۰۸ | ۰/۰۷ |
| Na _(A+B) | ۰/۲۷ | ۰/۲۸ | ۰/۲۷ | ۰/۲۷ |
| AK | ۰/۱۲ | ۰/۱۱ | ۰/۱۱ | ۰/۱۲ |
| Fe ^{total} (Fe ⁺³ +CFe ⁺²) | ۱/۵۹ | ۱/۶۰ | ۱/۵۲ | ۱/۴۱ |
| CFe ⁺³ | ۰/۶۷ | ۰/۸۶ | ۰/۷۷ | ۰/۶۱ |
| CFe ⁺² | ۰/۹۲ | ۰/۷۵ | ۰/۷۵ | ۰/۸۰ |
| CCa(M ³) | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| BFe(M ⁴) | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| BCa(M ⁴) | ۱/۸۱ | ۱/۷۴ | ۱/۸۱ | ۱/۸۳ |
| BNa(M ⁴) | ۰/۱۹ | ۰/۲۷ | ۰/۱۹ | ۰/۱۸ |
| Na(A) | ۰/۰۹ | ۰/۰۲ | ۰/۰۸ | ۰/۰۹ |
| K(A) | ۰/۱۲ | ۰/۱۱ | ۰/۱۱ | ۰/۱۲ |
| Mg/(Mg + Fe ⁺²) | ۰/۷۱ | ۰/۷۵ | ۰/۷۵ | ۰/۷۵ |
| Fe ⁺³ /Fe ^{total} | ۰/۴۲ | ۰/۵۳ | ۰/۵۰ | ۰/۴۳ |

۲- ژئوترمومتری بر پایه روش زوج هورنبلند-پلاژیوکلاز

همان گونه که یادآوری شد پلاژیوکلازها و هورنبلندهایی که در مجاور یکدیگر قرار داشته باشند و بین آنها تعادل برقرار باشد برای ترمومتری مفید هستند. استفاده از این زوج کانی‌ها در سنگ‌های آذرین با حضور و بدون حضور کوارتز امکان پذیر است. محاسبه دما در فرمولی که توسط [۶] ارائه شده نشان می‌دهد (جدول ۴) که دمای توده گرانودیوریتی مورد مطالعه ۶۸۱ تا ۶۹۷ درجه سانتی‌گراد بوده است. این دما بیانگر دمای حدود زمان جایگیری و سرد شدن واحد گرانودیوریتی در مجموعه گرانیتوئیدی قروه است.

ژئوترمومتری به روش زوج کانی‌های بیوتیت-گارنت دمای تشکیل توده‌های نفوذی ارتباط نزدیکی با دمای به تعادل رسیدن زوج کانی‌های بیوتیت-گارنت در هورنفلس-های پیرامون آنها دارد. به این منظور یک هورنفلس از مجاور توده (مین آباد) با بافت گرانوبلاستیک و ترکیب کانی‌شناسی کوارتز، فلدسپارهای پتاسیم و پلاژیوکلاز، بیوتیت، گارنت نیز تجزیه و مورد بررسی قرار گرفت. دو گارنت و دو بیوتیت همزیست در این هورنفلس انتخاب و مورد تجزیه نقطه‌ای (الکترون میکروپروب) قرار گرفت. محاسبات ترمومتری گارنت-بیوتیت در سنگ‌های دگرگونی مجاورتی (به روش [۱۸]) (جدول ۵) نشان می‌دهند دما به طور متوسط بین ۴۳۸ تا ۵۳۷ درجه سانتی-گراد در تغییر بوده که بیانگر دمایی است که دو کانی (بیوتیت-گارنت) در این هورنفلس‌ها به تعادل رسیده‌اند. بی‌تردید دمای توده‌های نفوذی، سیالات همزمان و پس از نفوذ مجموعه پلوتونیک قروه نیز بر این تعادل موثر بوده است.

عمق جایگزینی توده گرانودیوریتی جنوب قروه

بارومتری براساس محتوی Al در هورنبلند به طور گسترده‌ای نیز در تخمین عمق جایگزینی سنگ‌های پلوتونیک فلسیک مورد استفاده قرار گرفته است (برای مثال به [۲۰-۱۹] مراجعه نمائید). مجموعه کانی‌های همراه با هورنبلند، در کنار مذاب و فاز سیال، بنا به آنچه [۶] توصیف کرد، در دمایی نزدیک به دمای سولیدوس به

می‌باشد. منطقه‌بندی نوسانی نشان‌دهنده‌ی تغییرات ناگهانی در مقدار An می‌باشد که بر ایجاد تغییر در شرایط ترمودینامیکی تبلور و یا اختلاط ماگمایی نسبت داده می‌شود. در مجموع دامنه تغییرات ترکیب شیمیایی کلی پلاژیوکلازها از $An_{۴۳}$ تا $An_{۴۶}$ متغیر است [۱]. به منظور ژئوترمومتری توده گرانودیوریتی مورد مطالعه به روش "زوج کانی‌های هورنبلند-پلاژیوکلاز" ترکیب پلاژیوکلازهای مجاور با هورنبلندها نیز بررسی شده‌اند.

ژئوبارومتری توده گرانودیوریتی

۱- بر پایه روش "محتوی Al در هورنبلند"

استفاده از این روش که از متداول ترین روش‌های ژئوبارومتری در سنگ‌های آذرین و به‌ویژه در مجموعه‌های نفوذی کالک آلکان می‌باشد مستلزم حضور مجموعه‌ای از کانی‌های کوارتز، پلاژیوکلاز، فلدسپار پتاسیم، بیوتیت، اسفن و اکسید آهن-تیتان در کنار هورنبلند است. با توجه به مشاهدات پتروگرافی علاوه بر همیافتی (پاراژنز) کانی‌های هفت‌گانه در این سنگ‌ها، بایستی به برخورداری آنها از حالت تعادل نسبی بین پلاژیوکلاز و هورنبلند نیز اشاره نمود که مورد اخیر در استفاده از این زوج، برای ژئوترمومتری، با اهمیت می‌باشد. در جدول (۴) نتایج بارومتری توده گرانودیوریتی مورد مطالعه با استفاده از معادلات مربوطه ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود حداکثر فشار به روش محتوی Al کل در هورنبلند در این توده ۲/۱ کیلو بار و حداقل آن برابر ۱/۷ کیلو بار است.

نمودار نسبت Ti به Al کل [۱۳] نیز تغییرات مابین ۱ تا ۳ کیلو بار را نشان می‌دهد. این دامنه از تغییرات فشار از ترکیب شیمیایی ساختمان هورنبلند نیز مورد انتظار بود. این فشار بیانگر عمق جایگزینی گرانودیوریت است. نامبردگان معتقدند وجود دامنه‌ای از فشارهای مذکور بر تبلور ماگما، در فشارهای مختلف، طی صعود از میان پوسته دلالت دارد. از طرفی تصویر مقادیر Al کل (در واحد فرمولی) در مقابل Ps، روند افزایشی و مثبتی را نشان می‌دهد. Ps عبارت از فشار مستقل از دما براساس بارومتر اشمیت [۶] که از فرمول زیر قابل محاسبه است:

$$Ps (\pm 0.6) = -3.01 + 4.76Al^{total}$$

جدول ۲ - نتایج داده‌های تجزیه ریزپردازش الکترونی (برحسب درصد وزنی) هورنبلندها و پلاژیوکلازهای مجاور آنها در گرانودیوریت

| شماره نمونه | MAJ.2: 10-5Hbl-1 | MAJ.12: 10-2Hbl-1 | MMI.11:105Hbl-4 |
|--------------------------------|------------------|-------------------|-----------------|
| SiO ₂ | ۴۶/۸۷ | ۴۶/۹۱ | ۴۷/۳۸ |
| TiO ₂ | ۰/۵۳ | ۰/۸۸ | ۰/۳۷ |
| Al ₂ O ₃ | ۵/۵۳ | ۶/۰۸ | ۵/۵۱ |
| FeO ^{total} | ۲۲/۲۶ | ۱۹/۵۴ | ۲۱/۷۸ |
| MgO | ۸/۸ | ۱۰/۲۵ | ۹/۲۳ |
| MnO | ۰/۵۵ | ۰/۵۵ | ۰/۵۳ |
| CaO | ۱۱/۰۹ | ۱۱/۳۰ | ۱۱/۳۶ |
| SrO | ۰ | ۰/۰۲ | ۰ |
| BaO | ۰/۰۲ | ۰ | ۰ |
| Na ₂ O | ۰/۸۶ | ۰/۹۳ | ۰/۸۶ |
| K ₂ O | ۰/۴۷ | ۰/۶۱ | ۰/۴۳ |
| F | ۰/۳۳ | ۰/۲۴ | ۰/۵۸ |
| Cl | ۰/۱۱ | ۰/۱۳ | ۰/۱ |
| O=F | -۰/۱۴ | -۰/۰۱ | -۰/۲۵ |
| O=Cl | -۰/۰۳ | -۰/۰۳ | -۰/۱۴ |
| Total | ۹۷/۲۶ | ۹۷/۳۲ | ۹۸/۲۶ |

جدول ۳- فراوانی متغیرهای فرمولی هورنبلند و پلاژیوکلازهای ارائه شده در جدول ۲

| شماره نمونه | MAJ.2:10-5Hbl-1 | MAJ.12: 10-2Hbl-1 | MMI.11: 10-5Hbl-4 |
|--|-----------------|-------------------|-------------------|
| O | ۲۳ | ۲۳ | ۲۳ |
| Si | ۷/۰۹ | ۷/۰۲ | ۷/۱۲ |
| Al ^{IV} | ۰/۹۱ | ۰/۹۸ | ۰/۸۹ |
| Al ^{VI} | ۰/۰۷ | ۰/۱۰ | ۰/۰۹ |
| Fe(iii) | ۰/۷۹ | ۰/۶۷ | ۰/۷۲ |
| Ti | ۰/۰۶ | ۰/۱۰ | ۰/۰۴ |
| Fe(ii) | ۲/۰۳ | ۱/۷۸ | ۲/۰۱ |
| Mn | ۰/۰۷ | ۰/۰۷ | ۰/۰۷ |
| Mg | ۱/۹۹ | ۲/۲۹ | ۲/۰۷ |
| Ca | ۱/۸۰ | ۱/۸۱ | ۱/۸۳ |
| Na | ۰/۲۵ | ۰/۱۹ | ۰/۳ |
| K | ۰/۰۹ | ۰/۱۲ | ۰/۰۹ |
| Total | ۱۵/۱۴ | ۱۵/۲۰ | ۱۵/۱۶ |
| Fe(iii)/FeO ^{total} | ۰/۲۸ | ۰/۲۷ | ۰/۲۶ |
| Fe ^{total} /(Fe ^{total} +Mg) | ۰/۵۹ | ۰/۴۳ | ۰/۵۷ |
| Al ^{total} | ۰/۹۹ | ۱/۰۷ | ۰/۹۸ |
| An% | ۰/۶۷ | ۰/۷۰ | - |
| Ab% | ۰/۳۳ | ۰/۳۰ | - |

جدول ۴- نتایج ترمو-بارومتري گرانودیوریت در نمونه‌های ارائه شده در جدول ۳

| شماره نمونه | MAJ.2: 10-5Hbl-1 | MAJ.12: 10-2Hbl-1 | MMI.11: 10-5Hbl-4 |
|----------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| [P (Kbars): [10 | ۱/۰۴ | ۱/۴۸ | ۰/۹۹ |
| [P (Kbars): [12 | ۰/۸ | ۱/۳ | ۰/۷۴ |
| [P (Kbars): [13 | ۰/۷۱ | ۱/۱ | ۰/۶۷ |
| [Ps (Kbars): [6 | ۱/۷ | ۲/۱ | ۱/۶۳ |
| P (Kbars): [4]([11]) | ۱/۵۵ | ۱/۹۵ | - |
| [P (Kbars): [6 | ۱/۵۴ | ۱/۹۲ | - |
| [P(Kbars): [11 | ۱/۶۶ | ۲/۰۳ | - |
| P(Kbars): [11]([6]) | ۱/۶۷ | ۲/۰۴ | - |
| [T°C: [11 | ۶۹۷ | ۶۹۷/۴ | - |
| [T°C: [6 | ۶۸۱/۳ | ۶۸۶/۲ | - |

جدول ۵ - نتایج داده‌های ترمومتري به روش [۱۸] زوج بیوتیت-گارنت در فشار ۲/۱ کیلوبار

| شماره نمونه | 12/HO-20: Bt-Grt-1 | 12/HO-20: Bt-Grt-2 |
|----------------|--------------------|--------------------|
| فشار (کیلوبار) | ۲/۱ | ۲/۱ |
| B92-HW | ۵۱۵ | ۵۱۰ |
| B92-GS | ۵۳۳ | ۵۳۷ |
| Dasg91 | ۴۲۲ | ۴۳۱ |
| FS78 | ۴۲۸ | ۴۲۷ |
| HS82 | ۴۵۰ | ۴۴۱ |
| PL83 | ۴۹۸ | ۴۹۲ |
| HL77 | ۴۷۶ | ۴۶۹ |
| T76 | ۴۷۴ | ۴۶۶ |
| متوسط دما | ۴۷۸ | ۴۷۲ |

صورت ترکیب هورنبلند عملاً عمقی را منعکس خواهد کرد که در آن عمق، ماگما منجمد و جایگزین شده است. بنابراین نتایج داده‌های بارومتري فوق، گرانودیوریت مجموعه

تبادل می‌رسند. متعاقب انجماد و سرد شدن ماگما، سیر دستیابی به وضع تعادل با کانی‌های بالا کند و بطئی گردیده و سپس به طور کامل متوقف خواهد شد. در این

منابع:

- [۱] حسینی، م. (۱۳۷۶)، نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، چهار گوش قروه، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- [۲] ترکیان، ا. (۱۳۸۷)، بررسی ماگماتیسم توده گرانودیوریتی منطقه قروه (کردستان)، پایان نامه دوره دکتری، دانشگاه اصفهان.
- [3] Ague, J.J. & Brandon, M.T., 1996, Regional tilt of the Mount Stuart batholith, Washington, determined using aluminum-in-hornblende barometry: implications for northward translation of Baja British Columbia, Geol. Soc. Am. Bull., 108, 471-488.
- [4] Anderson, J. L. & Smith, D. R. 1995, The effect of temperature and oxygen fugacity on Al-in hornblende barometry. Am. Mineral. 80, 549-59.
- [5] Bellon, H. & Braud, J., 1975, Donnes nouvelles sur le domaine metamorphique du Zagros (zone de Sanandaj- Sirjan) au niveau de Kermanshah- Hamadan (Iran), Nature, age et interpretation des series metamorphiques et des intrusions, evolution structural, Fac, Sci. d Orsay, Paris. 14.
- [6] Blundy, J.D. & Holland, T.J.B., 1990, Calcic amphibole equilibria and a new amphibole-plagioclase geothermometer, Contrib. Mineral. Petrol. 104, 208-224.
- [7] Dasgupta, S., Sengupta, P., Guha, D. & Fukuoka, M., 1991, A refined garnet-biotite Fe-Mg exchange thermometer and its application in amphibolites and granulites, Contrib. Mineral. Petrol. 190, 130-137.
- [8] Droop, G.T.R., 1987, A general equation for estimating Fe⁺³ concentrations in ferromagnesian silicates and from microprobe analyses, using stichiometric criteria, Mineralogical Mag. 51, 431-435.
- [9] Gribble, C.D., 1988, Rutlye's of mineralogy, 27th editions, Unwin Hyman, London.
- [10] Hammarstrom, J.M. & Zen, E-an., 1986, Aluminum in hornblende, an empirical igneous geo-barometer, Am. Mineral. 71, 1297-1313.
- [11] Holland, T. & Blundy, J., 1994. Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole & plagioclase thermometry. Contrib. Mineral. Petrol. 116: 433-447.
- [12] Hollister, L.S., Grisson, G.C., Peters, E.K., Stowell, H.H. & Sisson, V.B., 1987, Confirmation of the empirical correlation of Al in hornblende with pressure of solidification of calc-alkaline plutons, Am. Mineral. 72, 213-239.
- [13] Johnson, M. C. & Rutherford, M. J. 1989, Experimental calibration of an Al-in hornblende geobarometer with application to

پلوتونیک قروه در عمقی معادل با گرانیتوئیدهای کم عمق جایگزین شده است. عدم وجود دایکهای شعاعی [۱۹]، تیز و مشخص بودن مرزهای تماس مجموعه مورد مطالعه با سنگهای دربرگیرنده [۱۹] و نیز دادههای بارومتري همگی شواهدی بر این مطلب هستند که عمق تبلور و جایگزینی توده گرانودیوریتی این مجموعه بیش از ۷ کیلومتر نبوده است.

نتیجه گیری

مجموعه نفوذی گرانیتوئیدی جنوب قروه (کردستان) که توده گرانودیوریتی مورد مطالعه جزئی از آن می باشد در ائوسن - اولیگوسن در پهنه سنندج- سیرجان نفوذ کرده است. ترکیب کانی شناسی و دادههای ژئوشیمیائی حاکی از برخورداری گرانودیوریت از اختصاصات گرانیتوئیدهای تیپ I و در رده متالومینهای فلسیک قرار می گیرد. نتایج دادههای ریزپردازش الکترونی آمفیبول و پلاژیوکلاز نشان می دهد که آمفیبولها با دارا بودن محتوی $(Mg / (Mg + Fe^{+2} < 0.5, (Na+K)_A < 0.3$ و $TSi < 7/5 < 6/5$ (در واحد فرمولی) در قلمرو گروه هورنبلندها هستند. برمبنای روش "بارومتري بر پایه محتوی Al هورنبلند" های توده گرانودیوریتی کم بودن مقادیر Al_2O_3 و $Al^{total} > 1.87 wt\%$ و مقدار تیتان در فرمول ساختمانی این کانی (کمتر از ۱) حاکی از فشار کم توده در زمان جایگیری دارد. دادههای بارومتري توده مورد بررسی بر تبلور هورنبلندهای این واحد در حداکثر فشار ۲/۱ کیلو بار و حداقل فشار ۱/۷ کیلو بار دلالت دارد. نمودارهای نسبت Al کل به Al و Ti کل به Ps هر دو نیز تبلور پلی باریک ماگما در طی صعود آن را تأیید می نمایند. دادههای ترمومتري بر پایه روش- های زوج کانی های "هورنبلند- پلاژیوکلاز" نشان می دهند که توده گرانودیوریتی مورد مطالعه در فشار مذکور از دمایی بین ۶۸۱ تا ۶۹۷ درجه سانتی گراد برخوردار بوده و این دما بیانگر دمای زمان جایگزینی توده می باشد. دمای به تعادل رسیدن زوج "بیوتیت- گارنت" در هورنفلس مجاور آن از ۴۳۸ تا ۵۳۷ درجه سانتی گراد در تغییر بوده است.

- Long Valley caldera (California) volcanic rocks. *GEOL* 17, 837-841.
- [14] Leake, B.E., Woolley, A.R., Birch, W.D., Burke, E.A.J., Ferris, G., Grice, J.D., Hawthorne, F.C., Kisch, H.J., Krivovichev, V.G., Schumacher, J.C., Stephenson, N.C.N., Whittaker, E.J.W., 2004, Nomenclature of amphiboles, Additions and revisions to the International Mineralogical Association's amphibole nomenclature, *Am. Mineral*, 89, 883-887.
- [15] Leake, B.E. et al., 1997, Nomenclature of amphiboles, Report of Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on New Minerals and Mineral Names. *Euro. J. Mineral.*, 35, 623-651.
- [16] Le Maitre, R.W., 1976, The chemical variability of some common igneous rocks, *J. Petrol.*, 17, 589-638.
- [17] Schmidt, M.W., 1992. Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: an experimental calibration of the Al-in - hornblende barometer. *Contrib. Mineral. Petrol.* 110: 304-310.
- [18] Spear, F. S., 1995, Metamorphic phase equilibria and P-T-t paths, *Mineralogical Soci. Am.* 799p.
- [19] Sylvester, A.G., 1964, The Precambrian rocks of the telemark area, in south central Norway; geology of the Vardal granite, *Norsk geologisk tidsskrift* 44, 445-482.
- [20] Torkian, A., Khalili, M. & Sepahi, A.A. 2008, Petrology and geochemistry of the I-type calc-alkaline Qorveh Granitoid Complex, Sanandaj-Sirjan Zone, western Iran. *N. Jb. Miner. Abh.*, Vol. 185/2, p. 131-142.
- [21] Vyhenal, C.R., McSween, H.Y. & Speer, J.A., 1991, Hornblende chemistry in southern Appalachian granitoids: implications for aluminum hornblende thermobarometry and magmatic epidote stability, *Am. Mineral.* 76, 176-188

