



## سنگ شناسی، شیمی کانی و زمین دما - فشارسنجی برونوم‌های درون گنبد آتشفشانی کوه بارنده (شرق خوسف)

محمدحسین یوسف زاده<sup>۱\*</sup>، مسیب سبزه‌ئی<sup>۲</sup>

۱- گروه پژوهشی علوم زمین، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

۲- پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران.

(دریافت مقاله: ۹۰/۱/۱۴، نسخه نهایی: ۹۰/۶/۲)

**چکیده:** ترکیب گنبد آتشفشانی کوه بارنده از آندزیت، آندزیت داسیتی و داسیت با ترکیب نزدیک به آهکی - قلیایی تشکیل شده است. ویژگی چشمگیر این گنبد، حضور انواع برونوم‌ها با ترکیب، شکل و اندازه‌ی متفاوت است. بررسی‌های دقیق صحرایی و آزمایشگاهی نشان می‌دهد که این ترکیب‌ها را می‌توان به انواع زینولیتی و اتولیتی رده‌بندی کرد. زینولیت‌ها از سنگ اولیه و به صورت پلیتی و بازی دیده می‌شوند. زینولیت‌ها دو پدیده‌ی دگرگونی مشخص را نشان می‌دهند: (۱) پدیده‌ی دماجنشی ناحیه‌ای که با سمت یافتگی واضح و برگوارگی تأیید می‌شود. (۲) دگرگونی گرمایی که موجب تشکیل آندالوزیت، سیلیمانیت، کلدیریت و اسپینل به خرج کانی‌های قبلی مثل بیوتیت، موسکویت و غیره در سنگ پلیتی، و هورنبلند سبز به خرج هورنبلند قهوه‌ای در سنگ بازی شده است. اندازه‌گیری دما و فشار نشان می‌دهد که این زینولیت‌ها گستره‌ی دما و فشار (۷۶۸ - ۸۳۰ °C و ۷ - ۵ Kb) را در طی دگرگونی ناحیه - ای و محدوده‌ی دما و فشار (۷۴۷ - ۸۲۱ °C و ۶/۵ - ۳/۶ Kb) را در یک دگرگونی پسروده مجاورتی تحمل کرده‌اند.

**واژه‌های کلیدی:** گنبد آتشفشانی؛ برونوم؛ زینولیت؛ اتولیت؛ کوه بارنده؛ خوسف.

### مقدمه

اختلاط، به سرعت به خارج پرتاب و متبلور می‌شوند لذا اطلاعات مفیدی از تاریخچه‌ی اولیه تشکیل خود و ماگمای میزبان در اختیار می‌گذارند [۲]. نظر به اهمیت یاد شده، در این پژوهش، سنگ‌نگاری و شیمی کانی‌های تشکیل دهنده برونوم‌های نوع زینولیتی و سنگ میزبان آنها بررسی شده‌اند.

### روش کار

در این پژوهش، نخست ضمن بررسی صحرایی، نمونه‌برداری کاملی از سنگ‌های آتشفشانی منطقه و برونوم‌های آنها انجام پذیرفت. سپس تعداد زیادی مقطع نازک میکروسکوپی، آماده و ویژگی‌های کانی‌شناسی و بافتی آنها با میکروسکوپ قطبشی نوع لایتر بررسی شدند. در مرحله‌ی بعد، به وسیله‌ی یک

منطقه‌ی مورد بررسی در ۵ کیلومتری شرق خوسف (۳۵ کیلومتری جنوب غربی بیرجند)، در گستره‌ای با مشخصات  $58^{\circ} 56' 10''$  تا  $58^{\circ} 56' 32''$  طول شرقی و  $32^{\circ} 46' 17''$  تا  $32^{\circ} 46' 26''$  عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۱) [۱]. راه ارتباطی منطقه، جاده‌ی بیرجند - خوسف و راه فرعی خوسف - رچ است. گنبد آتشفشانی ترشیری کوه بارنده، آمیزه‌ی افیولیتی کرتاسه و فلیش‌های کرتاسه و پالئوسن را قطع می‌کند [۳]. نخستین کنکاش‌ها [۴، ۳] نشان می‌دهد ترکیب سنگ‌شناسی گنبد آتشفشانی یاد شده آندزیتی و آندزیت داسیتی بوده و دارای برونوم‌های فراوانی از نوع زینولیتی و اتولیتی است. در محیط‌های آتشفشانی، برونوم‌ها و سنگ میزبان، پس از

\* نویسنده مسئول: ، تلفن: ۹۱۵۳۶۲۰۱۱۸، نمابر: ۲۵۰۲۵۱۵ (۰۵۶۱)، پست الکترونیکی: mhyousefzadeh@yahoo.com

ریزکاونده‌ی الکترونی (EPMA) در دانشگاه منچستر انگلستان، تجزیه نقطه‌ای کانی‌ها انجام گرفت. در پایان، برای ترسیم نمودارهای معرف ترکیب کانی‌ها از نرم افزار Minpet استفاده شد.

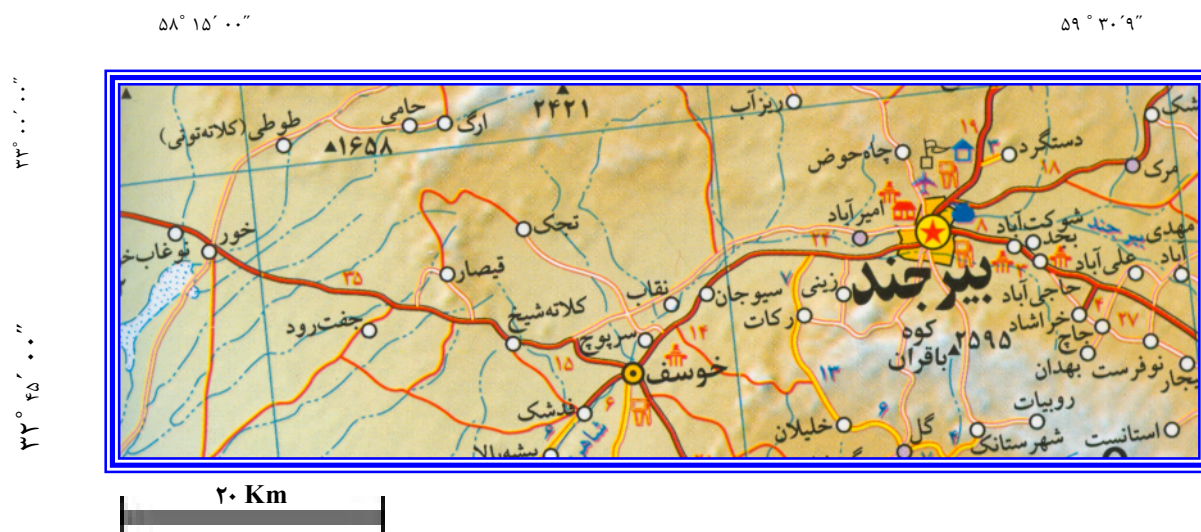
## سنگ‌نگاری سنگ‌های آتشفشانی کوه بارنده

مهم‌ترین کانی‌های آندزیت و آندزیت داسیتی کوه بارنده درشت بلورهای شکل‌دار یا نیمه‌شکل‌دار پلاژیوکلاز، هورنبلند سبز، بیوتیت و بلورهای ریز و متوسط کانی‌های کدر (مگنتیت و ایلمنیت) و به ندرت کلینوپیروکسن و ارتوپیروکسن هستند که در یک خمیره‌ی حاوی بلورهای ریز کوارتز قرار گرفته‌اند. منطقه‌بندی نوسانی در پلاژیوکلازها نشانه‌ی وجود شرایط عدم تعادل در زمان تشکیل آنهاست [۴] که در سنگ‌های آتشفشانی امری عادی است. بنابر [۴،۲]، برونوم‌های موجود در سنگ‌های منطقه به دو گروه زینولیتی و اتولیتی تقسیم می‌شوند که عبارتند از زینولیت‌ها شامل هورنفلس‌های بازی (آمفیبولیتی) و پلیتی (برگه‌ای) که در اینجا مورد بحث قرار می‌گیرند.

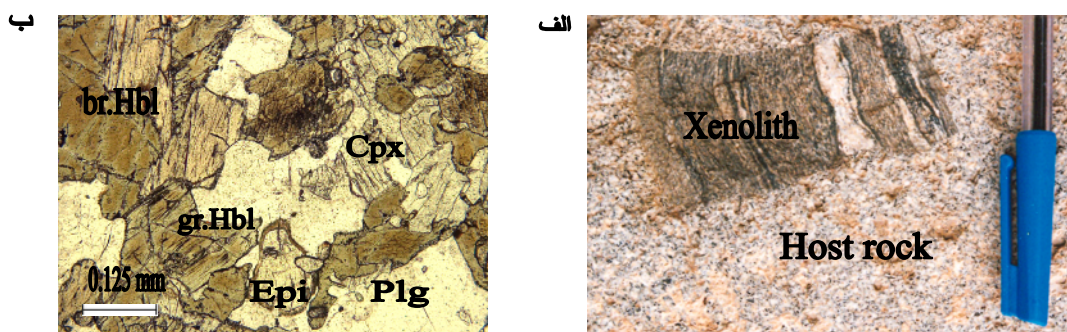
برونبوم های نوع هورنفلس بازیگ (آمفیبولیتی)

برونبوم‌های آمفیبولیتی فراوان‌ترین نوع برونبوم درون این سنگ‌ها بوده و ابعاد آنها به ۳۰ سانتی‌متر می‌رسد. در نمونه‌ی دستی، ریزدانه، میان دانه و به ندرت درشت دانه بوده و رنگ آنها از سبز روشن تا سبز تیره تغییر می‌کند. برونبوم‌های یاد شده به شکل‌های مختلف و نامنظم دیده شده‌اند و دارای مرز

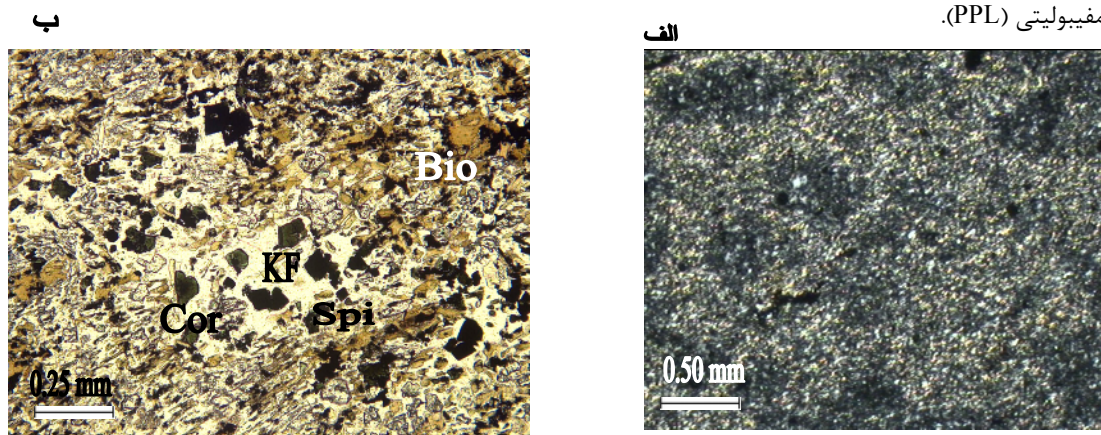
آشکاری با سنگ میزبانند. مهم‌ترین بافت این برونوم‌ها، میکروگرانوبلاستیک، گرانوبلاستیک و به ویژه نامتوبلاستیک و نواربندی بوده که گواه دگرگونی دماجنبشی‌اند (شکل ۲ و ۳). هورنبلند سبز و پلاژیوکلاز دو سازای اصلی آنها هستند. با افزایش درجه‌ی دگرگونی، کلینوپروکسن و هورنبلند قهوه‌ای نیز تشکیل شده‌اند (شکل ۲). با همخوانی این مجموعه با [۶] می‌توان زون‌های استارولیت و کیانیت و حد دگرگونی اواخر رخساره‌ی آمفیبولیت و مرز آن با گرانولیت را برای آنها در نظر گرفت. پلاژیوکلاز همزیست با اکتینولیت، آلبیت و پلاژیوکلاز همزیست با هورنبلند، اولیگوکلاز یا آندزین‌اند [۴]. به نظر [۶] تغییر هورنبلند سبز به هورنبلند قهوه‌ای در زون استارولیت رخ می‌دهد. هورنبلند در دمای حدود ۵۰۰ درجه‌ی سانتیگراد به جای اکتینولیت و ترمولیت متبلور می‌شود و متناسب با افزایش دما مقداری از آهن دو ظرفیتی آن به سه ظرفیتی تبدیل شده و رنگ قهوه‌ای به خود می‌گیرد [۷]. به نظر [۸] در دگرگونی کوهزائی (دماجنبشی) که در راستای زمین‌گرمایی کیانیت رخ می‌دهد گذر از رخساره شیست سبز به آمفیبولیت در دمای حدود ۵۰۰ °C و فشار ۵Kb انجام می‌گیرد و هم-زمینه کردن با اولیگوکلاز ( $An_{17}$ ) نشان‌دهنده‌ی آغاز رخساره آمفیبولیت است. بنابر [۹] واکنش بین آلبیت و ترمولیت که منجر به تشکیل ادنیت و کوارتز می‌شود از نوع انتقالی محض است (در برابر واکنش‌های تبادلی). با افزایش دما و این واکنش تخریب نهائی، ایدودت، مقدار  $An$  پلاژیوکلاز افزایش می‌یابد.



شکل ۱ موقعیت جغرافیائی و راه‌های ارتباطی منطقه‌ی مورد بررسی در شرق خوسف [۱].



شکل ۲ الف) نوارهای روشن غنی از پلاژیوکلاز و تیره غنی از هورنبلند در برونوم‌های آمفیبولیتی با بافت نواری و ب) پلاژیوکلاز (Plg)، کلینوپیروکسن (Cpx) و هورنبلندهای قهوه ای (br.Hbl) با کناره‌هایی از هورنبلند سبز (gr.Hbl) و اپیدوت (Epi) به صورت‌های برونوم پیروکسن آمفیبولیتی (PPL).



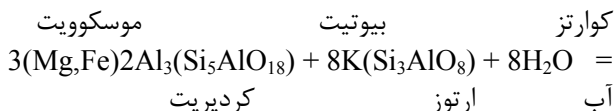
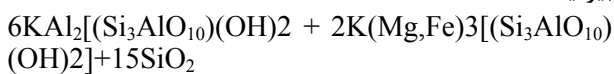
شکل ۳ الف) بافت لکه‌ای در اسلیت‌ها و فیلیت‌ها (XPL) و ب) بیوتیت (Bio)، فلدسپات پتاسیم (KF)، کروندوم (Cor) و اسپینل (Spi) در هورنفلس‌های برگه‌ای (PPL).

#### برونوم‌های نوع هورنفلس پلیتی (برگه‌ای)

این برونوم‌ها به دو گروه اسلیت‌ها و فیلیت‌های لکه‌دار و هورنفلس‌های غنی از بیوتیت تقسیم می‌شوند. در نمونه‌ی دستی، ریز دانه و به رنگ‌های سبز روشن تا تیره دیده شده و دارای ابعاد ۳ تا ۳۰ سانتی‌متر و شکل‌های نامنظم بوده و با مرزهای تیز از سنگ میزبان جدا می‌شوند. شواهد کانی‌شناسی و بافتی نشان می‌دهد که این برونوم‌ها نیز علاوه بر تحمل دگرگونی دماجنشی، به خوبی آثار دگرگونی همبری را نشان می‌دهند. تشکیل رخ سنگ‌های اسلیتی و برگوار، نشان دهنده‌ی اعمال دگرگونی دماجنشی است. تشکیل بافت لکه‌ای در اسلیت و فیلیت و کانی‌های حساس به گرما مثل آندالوزیت و سیلیمانیت در بیوتیت هورنفلس‌ها، نشانه دگرگونی همبری است (شکل ۳ الف). ذرات ریز کانی‌های فلسیک از قبیل کوارتز، ایلیت، سریسیت، آلبیت و فلدسپار پتاسیم نمادهای اصلی گروه اولند. گروه دوم هورنفلس‌های غنی از بیوتیت هستند که یا از نوع برگه‌ای خالص بوده و یا به صورت نواری با نوارهای سیلیکات قلیایی دیده می‌شوند. بررسی‌های میکروسکوپی،

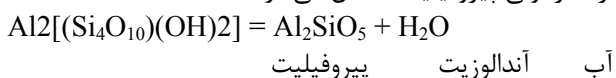
کلینوپیروکسن معمولاً در دمای حدود  $650^{\circ}\text{C}$  و در آمفیبولیت‌های درجه‌ی بالاتر ظاهر می‌شود [۹]. در سنگ‌های بازی طی فرآیند دگرگونی همبری، دامنه‌ی وسیعی از واکنش‌ها انجام می‌پذیرد هرچند دمای ماگمای انجام دهنده‌ی دگرگونی کمتر از کانی‌های سنگ هاله‌ی دگرگونی باشد [۱۰]. به همین دلیل در دگرگونی همبری ناشی از سقوط برونوم به درون ماگما، بخش‌های کناری هورنبلند قهوه‌ای به هورنبلند سبز و پلاژیوکلازهای کلسیم‌دارتر به پلاژیوکلازهای سدیم‌دارتر و اپیدوت تبدیل شده‌اند (شکل ۲). به نظر [۱۱، ۱۲] برای متابازیت‌های همبافت منطقه بروکن هیل، پاراژنهای وابسته به برونوم‌های آمفیبولیتی آن، در اواخر رخساره‌ی آمفیبولیت و هم مرز با رخساره‌ی گرانولیت شکل گرفته‌اند. با توجه به شباهت ترکیب شیمیایی برونوم‌های نوع اخیر با سنگ‌های بازی وابسته به آمیزه‌ی افیولیتی منطقه [۴، ۳]، به نظر می‌رسد که این برونوم‌ها، بخش‌های دگرگون شده‌ی سنگ‌های یاد شده، به عنوان پی سنگ پوسته زیرین منطقه باشند.

آب ارتوزوز کردیریت کوارتز آندالوزیت  
بیوتیت



واکنش اخیر در فشارهای ۱ تا ۲ کیلو بار به ترتیب در دماهای پایین ۵۸۰ و ۶۰۵ درجه‌ی سانتیگراد صورت می‌گیرد [۷].

تبلور آندالوزیت ویژه‌ی سنگ‌های برگه‌ای در دماهای است. شروع تبلور این کانی از دمای ۴۰۰ تا ۴۲۰ درجه سانتیگراد و از دگرگونی پیروفیلیت حاصل می‌شود [۱۳].



در سنگ‌های حاوی آلبیت و کوارتز تخریب موسکویت از واکنشی شبیه به واکنش زیر آغاز می‌شود [۹]:

آب + سیلیمانیت + فلدسپار پتاسیم = کوارتز + آلبیت + موسکویت

در سنگ‌های فاقد کوارتز، تخریب موسکویت نهائی از طریق واکنش‌های زیر است [۹]:

آب + کراندوم + آندالوزیت (سیلیمانیت) = موسکویت

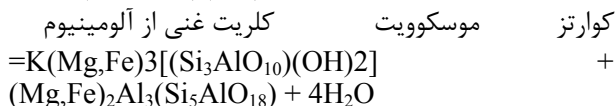
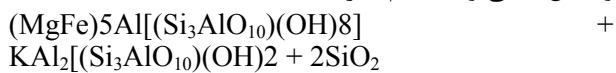
آب + کروندوم + فلدسپار پتاسیم = موسکویت

به نظر [۸] سنگ‌های پلیتی غالباً حاوی  $\text{XFe}$  حدود ۰/۸ هستند، و چنین سنگی در فشار پائین دارای کردیریت و با افزایش فشار از طریق واکنش زیر اسپینل (هرسینیت) تولید می‌شود:

کردیریت = ۵ کوارتز + ۲ اسپینل (هرسی نیت)

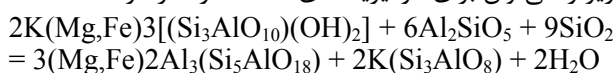
XRD و ریزکاوی نشان می‌دهد که نوارهای برگه‌ای ریز دانه شامل اسپینل، کروندوم، آندالوزیت، کردیریت، بیوتیت، فلدسپار پتاسیم، سیلیمانیت، پلاژیوکلاز و مگنتیت و نوارهای سیلیکات آهکی حاوی پلاژیوکلاز، کوارتز، کلینوپیروکسن و گارنت (شکل‌های ۳ و ۴) هستند. به نظر می‌رسد این برونوم‌ها، نخست طی دگرگونی دماجنبشی تا حد رخساره‌ی شیست سبز و آمفیبولیت دگرگون شده و سپس به دلیل سقوط به درون ماگما تا حد اواخر رخساره‌ی پیروکسن هورنفلس دگرگون شده و برگوارگی آنها از بین رفته است.

در فشارهای کمتر از ۳ کیلو بار و دمای ۵۰۰ درجه‌ی سانتیگراد واکنش ۱ می‌تواند انجام گیرد [۱۳]:

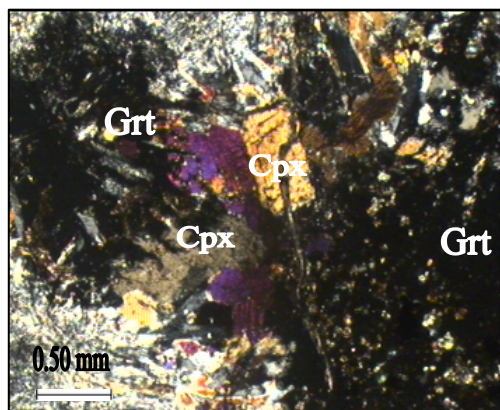


با توجه به پاراژنز موجود واکنش ۲ را می‌توان در نظر گرفت که بنابر [۱۴] در دمای  $550^\circ\text{C}$  و در فشارهای پائین‌تر از ۳Kb رخ می‌دهد: آب + سیلیمانیت (آندالوزیت) + بیوتیت = کوارتز + موسکویت + کردیریت

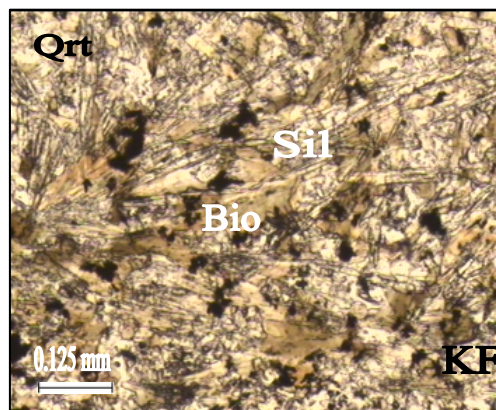
حد بالای شرایط فشار تبلور کردیریت از ۳ کیلو بار (قطب آهن‌دار) تا ۸ کیلو بار (قطب منیزیم‌دار) در تغییر است ولی دمای شروع تبلور کردیریت ۵۰۰ تا ۵۲۰ درجه‌ی سانتیگراد است. با توجه به پاراژنز موجود، علاوه بر واکنش ۱، واکنش‌های زیر را می‌توان برای کردیریت‌های منطقه در نظر گرفت [۷]:



ب



الف



شکل ۴ الف) بیوتیت (Bio)، سیلیمانیت (Sil)، فلدسپات پتاسیم (KF) و کوارتز (Qrt) به صورت‌های نوار برگه‌ای (PPL) و ب) کلینوپیروکسن (Cpx)، گارنت گروسولار (Grt) و پلاژیوکلاز به صورت‌های نوار سیلیکات آهکی (PPL).

### شیمی‌کانی‌های موجود در سنگ‌های آتشفشانی کوه بارنده و برونوم‌های آن

نقاط زیادی در بخش کناری و هسته‌ای هورنبلند سبز (جدول ۱)، میکا (جدول ۲) و پلاژیوکلاز (جدول ۳) به آندزیت داسیتی میزبان و کلینوپیروکسن (جدول ۴) وابسته‌اند، و کناره‌های سبز (جدول ۵) و هسته‌های قهوه‌ای هورنبلند (جدول ۶)

و پلاژیوکلاز (جدول ۷) وابسته به برونوم آمفیبولیتی آنالیز شده‌اند. بخش‌های کناری و هسته‌ای ارتوپیروکسن (جدول ۸)، هورنبلند (جدول ۹)، پلاژیوکلاز (جدول ۱۰) و میکا (جدول ۱۱) درون پیروکسن آندزیت و ولاستونیت، گروسولار (جدول ۱۲) و فلدسپار (جدول ۱۳) برونوم هورنفلس پلیتی، مورد آنالیز قرار گرفتند.

جدول ۱ داده‌های آنالیز نقطه‌ای آمفیبول در آندزیت داسیتی.

| نقطه                           | ۱Hbl  | ۲Hbl  | ۳Hbl  | ۴Hbl  | ۵Hbl  | ۶Hbl  |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| موقعیت                         | کناره | هسته  | هسته  | کناره | میانه | کناره |
| SiO <sub>2</sub>               | ۴۴٫۱۹ | ۴۳٫۵۵ | ۴۶٫۴۶ | ۴۵٫۷۰ | ۴۶٫۹۵ | ۴۶٫۷۵ |
| TiO <sub>2</sub>               | ۲٫۱۴  | ۲٫۵۰  | ۱٫۴۱  | ۱٫۳۶  | ۱٫۳۴  | ۱٫۳۲  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۱۱٫۲۸ | ۱۱٫۷۳ | ۹٫۲۴  | ۱۰٫۳۸ | ۸٫۳۴  | ۸٫۱۲  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۴٫۰۹  | ۴٫۱۸  | ۴٫۹۸  | ۴٫۳۷  | ۲٫۷۴  | ۳٫۳۲  |
| FeO                            | ۹٫۷۴  | ۱۰٫۲۳ | ۶٫۰۴  | ۷٫۹۹  | ۱۱٫۵۷ | ۱۱٫۱۸ |
| MnO                            | ۰٫۱۹  | ۰٫۱۹  | ۰٫۱۹  | ۰٫۳۷  | ۰٫۴۶  | ۰٫۴۹  |
| MgO                            | ۱۳٫۲۵ | ۱۲٫۸۳ | ۱۶٫۴۳ | ۱۴٫۸۴ | ۱۳٫۵۲ | ۱۳٫۶۴ |
| CaO                            | ۱۰٫۷۸ | ۱۰٫۵۸ | ۱۰٫۷۷ | ۱۰٫۸۲ | ۱۱٫۱۷ | ۱۱٫۰۳ |
| Na <sub>2</sub> O              | ۲٫۱۰  | ۲٫۳۵  | ۲٫۱۲  | ۲٫۲۵  | ۲٫۱۴  | ۲٫۰۵  |
| K <sub>2</sub> O               | ۰٫۴۲  | ۰٫۴۵  | ۰٫۴۸  | ۰٫۵۴  | ۰٫۴۵  | ۰٫۵۰  |
| Total                          | ۹۶٫۱۷ | ۹۸٫۶۰ | ۹۸٫۱۳ | ۹۸٫۶۲ | ۹۸٫۶۹ | ۹۸٫۳۹ |

جدول ۲ داده‌های آنالیز نقطه‌ای میکا در آندزیت داسیتی.

| نقطه                           | ۱Biot | ۲Biot | ۳Biot | ۴Biot | ۵Biot |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| موقعیت                         | هسته  | کناره | میانه | هسته  | میانه |
| SiO <sub>2</sub>               | ۳۸٫۳۸ | ۳۸٫۴۴ | ۳۷٫۵۲ | ۳۷٫۴۳ | ۳۸٫۰۴ |
| TiO <sub>2</sub>               | ۳٫۸۸  | ۳٫۷۲  | ۳٫۷۵  | ۳٫۶۰  | ۳٫۷۸  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۱۴٫۲۷ | ۱۴٫۴۸ | ۱۳٫۸۴ | ۱۴٫۵۳ | ۱۳٫۶۸ |
| FeO                            | ۱۳٫۸۶ | ۱۳٫۵۶ | ۱۴٫۶۳ | ۱۴٫۴۷ | ۱۲٫۹۰ |
| MnO                            | ۰٫۱۰  | ۰٫۰۸  | ۰٫۱۴  | ۰٫۱۲  | ۰٫۱۳  |
| MgO                            | ۱۵٫۸۶ | ۱۶٫۰۷ | ۱۵٫۴۳ | ۱۵٫۴۹ | ۱۶٫۶۱ |
| CaO                            | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۳  | ۰٫۰۰  | ۰٫۱۲  |
| Na <sub>2</sub> O              | ۰٫۴۲  | ۰٫۳۹  | ۰٫۴۹  | ۰٫۴۳  | ۰٫۲۸  |
| K <sub>2</sub> O               | ۹٫۱۵  | ۹٫۰۰  | ۸٫۴۸  | ۹٫۰۰  | ۸٫۴۲  |
| Total                          | ۹۵٫۹۱ | ۹۵٫۷۴ | ۹۴٫۳۲ | ۹۵٫۰۸ | ۹۳٫۹۵ |

جدول ۳ داده‌های آنالیز نقطه‌ای پلاژیوکلاز در آندزیت داسیتی.

| نقطه                           | ۱Plg   | ۲Plg   | ۳Plg   | ۴Plg   | ۵Plg   | ۶Plg   | ۷Plg   | ۸Plg   | ۹Plg   | ۱۰Plg  |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| موقعیت                         | کناره  | میانه  | میانه  | میانه  | هسته   | کناره  | میانه  | میانه  | میانه  | هسته   |
| SiO <sub>2</sub>               | ۶۵٫۲۵  | ۶۴٫۲۳  | ۶۵٫۱۲  | ۶۳٫۴۷  | ۶۴٫۶۶  | ۶۳٫۳۷  | ۶۵٫۳۵  | ۶۵٫۲۹  | ۶۴٫۱۳  | ۶۳٫۲۷  |
| TiO <sub>2</sub>               | ۰٫۰۱   | ۰٫۰۱   | ۰٫۰۱   | ۰٫۰۲   | ۰٫۰۱   | ۰٫۰۳   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۲   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۲۳٫۲۸  | ۲۳٫۴۷  | ۲۳٫۳۵  | ۲۴٫۱۸  | ۲۳٫۲۷  | ۲۳٫۵۹  | ۲۲٫۹۸  | ۲۲٫۷۶  | ۲۳٫۳۰  | ۲۳٫۴۹  |
| FeO                            | ۰٫۲۰   | ۰٫۱۱   | ۰٫۱۰   | ۰٫۱۱   | ۰٫۱۲   | ۰٫۲۲   | ۰٫۱۳   | ۰٫۱۳   | ۰٫۱۲   | ۰٫۱۳   |
| MnO                            | ۰٫۰۱   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   |
| MgO                            | ۰٫۰۱   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۱   | ۰٫۰۱   | ۰٫۰۱   | ۰٫۰۱   |
| CaO                            | ۴٫۲۷   | ۴٫۸۱   | ۴٫۵۲   | ۵٫۶۲   | ۴٫۵۷   | ۵٫۱۸   | ۴٫۲۲   | ۳٫۹۳   | ۴٫۶۶   | ۵٫۱۶   |
| Na <sub>2</sub> O              | ۷٫۵۷   | ۷٫۴۰   | ۷٫۵۶   | ۷٫۳۰   | ۷٫۷۵   | ۷٫۴۵   | ۷٫۸۱   | ۷٫۹۵   | ۷٫۷۵   | ۷٫۱۲   |
| K <sub>2</sub> O               | ۰٫۶۳   | ۰٫۶۹   | ۰٫۷۵   | ۰٫۴۶   | ۰٫۵۴   | ۰٫۵۱   | ۰٫۷۱   | ۰٫۷۵   | ۰٫۶۲   | ۰٫۵۵   |
| Total                          | ۱۰۱٫۲۳ | ۱۰۰٫۷۳ | ۱۰۱٫۴۱ | ۱۰۱٫۱۶ | ۱۰۰٫۹۲ | ۱۰۰٫۳۵ | ۱۰۱٫۲۱ | ۱۰۰٫۸۲ | ۱۰۰٫۵۹ | ۱۰۰٫۷۵ |

جدول ۴ داده‌های آنالیز نقطه‌ای کلینوپیروکسن در برونوم پیروکسن آمفیبولیتی.

| نقطه                           | ۱Cpx   | ۲Cpx   | ۳Cpx   | ۴Cpx   | ۵Cpx   | ۶Cpx   | ۷Cpx   | ۸Cpx   | ۹Cpx   | ۱۰Cpx  | ۱۱Cpx  | ۱۲Cpx  | ۱۳Cpx  | ۱۴Cpx  |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| موقعیت                         | کناره  | هسته   | میانه  | کناره  | میانه  | کناره  | هسته   | هسته   | میانه  | هسته   | میانه  | میانه  | میانه  | میانه  |
| SiO <sub>2</sub>               | ۵۱٫۵۲  | ۵۱٫۹۶  | ۵۱٫۳۹  | ۵۳٫۷۸  | ۵۳٫۶۹  | ۵۱٫۸۰  | ۵۲٫۹۶  | ۵۳٫۱۱  | ۵۱٫۱۱  | ۵۱٫۹۹  | ۵۲٫۷۹  | ۵۱٫۴۶  | ۵۱٫۶۳  | ۵۱٫۶۲  |
| TiO <sub>2</sub>               | ۰٫۲۶   | ۰٫۲۴   | ۰٫۲۹   | ۰٫۰۸   | ۰٫۱۱   | ۰٫۲۲   | ۰٫۰۸   | ۰٫۱۰   | ۰٫۲۱   | ۰٫۳۱   | ۰٫۱۲   | ۰٫۲۴   | ۰٫۲۹   | ۰٫۲۱   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۳٫۰۷   | ۲٫۹۳   | ۳٫۰۰   | ۱٫۵۷   | ۱٫۷۸   | ۲٫۵۶   | ۱٫۸۳   | ۱٫۹۴   | ۳٫۱۴   | ۳٫۵۳   | ۲٫۰۹   | ۲٫۸۲   | ۳٫۲۸   | ۲٫۶۷   |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۱   | ۰٫۰۲   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۲   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۲٫۶۹   | ۱٫۹۷   | ۱٫۷۷   | ۰٫۸۰   | ۱٫۰۳   | ۲٫۴۷   | ۱٫۸۸   | ۱٫۷۳   | ۳٫۳۵   | ۱٫۸۰   | ۱٫۹۲   | ۳٫۱۹   | ۲٫۱۵   | ۲٫۹۱   |
| FeO                            | ۵٫۹۵   | ۶٫۷۲   | ۸٫۳۲   | ۶٫۷۶   | ۶٫۴۳   | ۶٫۷۷   | ۵٫۸۴   | ۶٫۳۶   | ۶٫۴۳   | ۶٫۷۶   | ۶٫۶۰   | ۵٫۳۵   | ۶٫۴۷   | ۵٫۴۴   |
| MnO                            | ۰٫۳۳   | ۰٫۳۲   | ۰٫۳۴   | ۰٫۲۸   | ۰٫۳۰   | ۰٫۳۱   | ۰٫۳۲   | ۰٫۳۱   | ۰٫۳۴   | ۰٫۲۹   | ۰٫۳۲   | ۰٫۳۱   | ۰٫۳۳   | ۰٫۳۳   |
| MgO                            | ۱۲٫۳۸  | ۱۲٫۲۵  | ۱۱٫۶۷  | ۱۳٫۲۸  | ۱۳٫۲۴  | ۱۲٫۲۲  | ۱۳٫۲۴  | ۱۳٫۱۱  | ۱۱٫۹۲  | ۱۲٫۰۶  | ۱۲٫۶۱  | ۱۲٫۵۷  | ۱۲٫۱۹  | ۱۲٫۴۹  |
| CaO                            | ۲۳٫۴۲  | ۲۳٫۴۴  | ۲۲٫۸۱  | ۲۳٫۹۴  | ۲۳٫۹۲  | ۲۳٫۴۶  | ۲۳٫۸۴  | ۲۳٫۷۰  | ۲۳٫۱۱  | ۲۳٫۳۵  | ۲۳٫۶۶  | ۲۳٫۵۸  | ۲۳٫۲۶  | ۲۳٫۶۱  |
| Na <sub>2</sub> O              | ۰٫۷۵   | ۰٫۷۴   | ۰٫۶۵   | ۰٫۶۴   | ۰٫۷۱   | ۰٫۶۹   | ۰٫۶۷   | ۰٫۶۹   | ۰٫۷۹   | ۰٫۸۶   | ۰٫۷۶   | ۰٫۷۵   | ۰٫۷۹   | ۰٫۷۸   |
| K <sub>2</sub> O               | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   |
| Total                          | ۱۰۰٫۳۷ | ۱۰۰٫۵۸ | ۱۰۰٫۲۴ | ۱۰۱٫۱۳ | ۱۰۱٫۲۲ | ۱۰۰٫۵۰ | ۱۰۰٫۶۵ | ۱۰۰٫۰۶ | ۱۰۰٫۴۰ | ۱۰۰٫۹۵ | ۱۰۰٫۸۸ | ۱۰۰٫۲۸ | ۱۰۰٫۳۹ | ۱۰۰٫۰۷ |

جدول ۵ داده‌های آنالیز نقطه‌ای هورنبلند سبز در برونوم پیروکسن آمفیبولیتی.

| نقطه                           | ۸Hbl                 | ۱۲Hbl                | ۱۳Hbl                | ۱۶Hbl                | ۲۰Hbl                | ۲۱Hbl                |
|--------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| موقعیت                         | هورنبلند سبز (کناره) | هورنبلند سبز (میانه) | هورنبلند سبز (کناره) | هورنبلند سبز (کناره) | هورنبلند سبز (کناره) | هورنبلند سبز (کناره) |
| SiO <sub>2</sub>               | ۴۴٫۵۴                | ۴۴٫۶۳                | ۴۴٫۲۷                | ۴۴٫۹۹                | ۴۵٫۱۱                | ۴۵٫۲۹                |
| TiO <sub>2</sub>               | ۰٫۶۰                 | ۰٫۷۹                 | ۰٫۶۷                 | ۰٫۶۳                 | ۰٫۵۵                 | ۰٫۶۸                 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۱۱٫۰۳                | ۱۰٫۵۸                | ۱۱٫۴۲                | ۱۰٫۵۴                | ۱۰٫۲۸                | ۹٫۹۱                 |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۰٫۰۲                 | ۰٫۰۱                 | ۰٫۰۱                 | ۰٫۰۲                 | ۰٫۰۶                 | ۰٫۰۰                 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۲٫۵۳                 | ۳٫۵۴                 | ۳٫۶۷                 | ۳٫۹۲                 | ۲٫۲۹                 | ۲٫۶۶                 |
| FeO                            | ۱۱٫۹۲                | ۱۱٫۲۷                | ۱۱٫۶۶                | ۱۰٫۴۹                | ۱۱٫۷۲                | ۱۱٫۶۶                |
| MnO                            | ۰٫۲۹                 | ۰٫۲۸                 | ۰٫۲۷                 | ۰٫۳۰                 | ۰٫۲۶                 | ۰٫۲۹                 |
| MgO                            | ۱۲٫۱۷                | ۱۱٫۹۹                | ۱۱٫۸۵                | ۱۲٫۴۷                | ۱۲٫۳۹                | ۱۲٫۴۷                |
| CaO                            | ۱۲٫۱۰                | ۱۱٫۸۴                | ۱۲٫۰۶                | ۱۱٫۹۷                | ۱۲٫۰۴                | ۱۲٫۱۳                |
| Na <sub>2</sub> O              | ۲٫۱۷                 | ۱٫۷۵                 | ۲٫۰۲                 | ۱٫۸۰                 | ۱٫۹۷                 | ۱٫۸۸                 |
| K <sub>2</sub> O               | ۰٫۵۸                 | ۰٫۶۸                 | ۰٫۶۶                 | ۰٫۴۸                 | ۰٫۵۳                 | ۰٫۴۴                 |
| Total                          | ۹۷٫۹۴                | ۹۷٫۳۵                | ۹۸٫۵۶                | ۹۷٫۶۱                | ۹۷٫۲۰                | ۹۷٫۴۱                |

جدول ۶ داده‌های آنالیز نقطه‌ای هورنبلند قهوه‌ای در برونوم پیروکسن آمفیبولیتی.

| نقطه                           | ۷Hbl    | ۹Hbl    | ۱۰Hbl   | ۱۱Hbl   | ۲۲Hbl   | ۲۳Hbl   | ۱۴Hbl   | ۱۵Hbl   | ۱۷Hbl   |
|--------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| موقعیت                         | هسته    | هسته    | هسته    | هسته    | هسته    | هسته    | هسته    | هسته    | هسته    |
|                                | قهوه‌ای | قهوه‌ای | قهوه‌ای | قهوه‌ای | قهوه‌ای | قهوه‌ای | قهوه‌ای | قهوه‌ای | قهوه‌ای |
| SiO <sub>2</sub>               | ۳۴٫۴۴   | ۴۵٫۴۲   | ۴۴٫۹۷   | ۴۴٫۷۷   | ۴۲٫۷۰   | ۴۴٫۷۱   | ۴۵٫۰۲   | ۴۴٫۴۸   | ۴۵٫۸۰   |
| TiO <sub>2</sub>               | ۰٫۶۹    | ۰٫۵۴    | ۰٫۵۵    | ۰٫۶۷    | ۰٫۷۸    | ۰٫۶۰    | ۰٫۶۵    | ۰٫۶۷    | ۰٫۸۰    |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۱۱٫۹۷   | ۱۰٫۲۶   | ۱۰٫۲۹   | ۱۰٫۳۴   | ۱۱٫۸۹   | ۱۰٫۵۴   | ۱۰٫۷۵   | ۱۱٫۰۰   | ۱۰٫۱۶   |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۰٫۰۴    | ۰٫۰۱    | ۰٫۰۰    | ۰٫۰۱    | ۰٫۰۱    | ۰٫۰۱    | ۰٫۰۱    | ۰٫۰۰    | ۰٫۰۱۲   |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۴٫۳۳    | ۳٫۰۵    | ۲٫۸۶    | ۳٫۰۵    | ۳٫۵۶    | ۳٫۵۵    | ۲٫۲۷    | ۲٫۴۹    | ۲٫۹۶    |
| FeO                            | ۱۱٫۱۳   | ۱۱٫۱۷   | ۱۱٫۲۹   | ۱۱٫۴۱   | ۱۱٫۶۱   | ۱۱٫۱۱   | ۱۲٫۰۲   | ۱۲٫۰۵   | ۱۱٫۲۷   |
| MnO                            | ۰٫۲۷    | ۰٫۲۵    | ۰٫۲۸    | ۰٫۲۷    | ۰٫۲۹    | ۰٫۲۶    | ۰٫۲۷    | ۰٫۲۷    | ۰٫۳۰    |
| MgO                            | ۱۱٫۵۴   | ۱۲٫۵۳   | ۱۲٫۵۲   | ۱۲٫۲۶   | ۱۱٫۳۸   | ۱۲٫۲۸   | ۱۲٫۲۵   | ۱۱٫۹۷   | ۱۲٫۳۷   |
| CaO                            | ۱۲٫۰۲   | ۱۲٫۱۸   | ۱۲٫۰۹   | ۱۲٫۰۸   | ۱۲٫۰۱   | ۱۲٫۰۳   | ۱۲٫۱۰   | ۱۲٫۰۸   | ۱۲٫۰۰   |
| Na <sub>2</sub> O              | ۱٫۸۷    | ۱٫۶۹    | ۱٫۹۳    | ۱٫۸۱    | ۱٫۹۷    | ۱٫۸۶    | ۲٫۰۱    | ۲٫۰۰    | ۱٫۷۸    |
| K <sub>2</sub> O               | ۰٫۶۴    | ۰٫۵۲    | ۰٫۵۵    | ۰٫۵۱    | ۰٫۶۸    | ۰٫۵۶    | ۰٫۶۴    | ۰٫۶۱    | ۰٫۳۰    |
| Total                          | ۹۷٫۹۳   | ۹۷٫۶۲   | ۹۷٫۳۲   | ۹۷٫۱۷   | ۹۶٫۸۷   | ۹۷٫۵۰   | ۹۷٫۹۹   | ۹۷٫۶۲   | ۹۷٫۸۵   |

ادامه جدول ۶ داده‌های آنالیز نقطه‌ای هورنبلند قهوه‌ای و کناره‌های سبز آن در برونوم پیروکسن آمفیبولیتی.

| نقطه                           | ۱۸Hbl     | ۱۹Hbl     | Hbl8      | ۱۲Hbl     | ۱۳Hbl     | ۱۶Hbl     | ۲۰Hbl     | ۲۱Hbl     |
|--------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| موقعیت                         | کناره سبز | کناره سبز | کناره سبز | کناره سبز | کناره سبز | کناره سبز | کناره سبز | کناره سبز |
| SiO <sub>2</sub>               | ۴۴٫۶۲     | ۴۴٫۶۶     | ۴۴٫۵۴     | ۴۴٫۶۳     | ۴۴٫۲۷     | ۴۴٫۹۹     | ۴۵٫۱۱     | ۴۵٫۲۹     |
| TiO <sub>2</sub>               | ۰٫۶۱      | ۰٫۷۱      | ۰٫۶۰      | ۰٫۷۹      | ۰٫۶۷      | ۰٫۶۳      | ۰٫۵۵      | ۰٫۶۸      |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۱۱٫۳۹     | ۱۰٫۷۴     | ۱۱٫۰۳     | ۱۰٫۵۸     | ۱۱٫۴۲     | ۱۰٫۵۴     | ۱۰٫۲۸     | ۹٫۹۱      |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۰٫۱۲      | ۰٫۰۵      | ۰٫۰۲      | ۰٫۰۱      | ۰٫۰۱      | ۰٫۰۲      | ۰٫۰۶      | ۰٫۰۰      |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۲٫۶۲      | ۲٫۹۷      | ۲٫۵۳      | ۳٫۵۴      | ۳٫۶۷      | ۳٫۹۲      | ۲٫۲۹      | ۲٫۶۶      |
| FeO                            | ۱۱٫۸۳     | ۱۱٫۶۳     | ۱۱٫۹۲     | ۱۱٫۲۷     | ۱۱٫۶۶     | ۱۰٫۴۹     | ۱۱٫۷۲     | ۱۱٫۶۶     |
| MnO                            | ۰٫۲۷      | ۰٫۲۸      | ۰٫۲۹      | ۰٫۲۸      | ۰٫۲۷      | ۰٫۳۰      | ۰٫۲۶      | ۰٫۲۹      |
| MgO                            | ۱۱٫۹۰     | ۱۲٫۱۰     | ۱۲٫۱۷     | ۱۱٫۹۹     | ۱۱٫۸۵     | ۱۲٫۴۷     | ۱۲٫۳۹     | ۱۲٫۴۷     |
| CaO                            | ۱۲٫۰۶     | ۱۲٫۰۵     | ۱۲٫۱۰     | ۱۱٫۸۴     | ۱۲٫۰۶     | ۱۱٫۹۷     | ۱۲٫۰۴     | ۱۲٫۱۳     |
| Na <sub>2</sub> O              | ۱٫۹۳      | ۱٫۹۷      | ۲٫۱۷      | ۱٫۷۵      | ۲٫۰۲      | ۱٫۸۰      | ۱٫۹۷      | ۱٫۸۸      |
| K <sub>2</sub> O               | ۰٫۶۴      | ۰٫۴۷      | ۰٫۵۸      | ۰٫۶۸      | ۰٫۶۶      | ۰٫۴۸      | ۰٫۵۳      | ۰٫۴۴      |
| Total                          | ۹۷٫۹۹     | ۹۷٫۶۱     | ۹۷٫۹۴     | ۹۷٫۳۵     | ۹۸٫۵۶     | ۹۷٫۶۱     | ۹۷٫۲۰     | ۹۷٫۴۱     |

جدول ۷ داده‌های آنالیز نقطه‌ای پلاژیوکلاز در برونوم پیروکسن آمفیبولیتی.

| نقطه                           | ۱۱Plag | ۱۲Plag | ۱۳Plag | ۱۴Plag | ۱۵Plag | ۱۶Plag | ۱۷Plag | ۱۸Plag | ۱Qtz  |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| موقعیت                         | کناره  | هسته   | هسته   | کناره  | هسته   | هسته   | میانه  | هسته   | هسته  |
| SiO <sub>2</sub>               | ۵۹٫۸۲  | ۵۷٫۱۷  | ۵۷٫۵۹  | ۶۰٫۴۶  | ۵۶٫۷۲  | ۵۷٫۰۱  | ۵۹٫۱۰  | ۵۶٫۳۰  | ۵۷٫۱۸ |
| TiO <sub>2</sub>               | ۰٫۰۲   | ۰٫۰۱   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۱   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۲   | ۰٫۰۱   | ۰٫۰۲  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۲۴٫۸۷  | ۲۶٫۸۱  | ۲۵٫۸۵  | ۲۴٫۶۶  | ۲۷٫۰۵  | ۲۷٫۴۱  | ۲۵٫۳۹  | ۲۷٫۳۳  | ۲۶٫۱۱ |
| FeO                            | ۰٫۱۱   | ۰٫۰۹   | ۰٫۱۲   | ۰٫۰۹   | ۰٫۰۵   | ۰٫۰۶   | ۰٫۱۰   | ۰٫۰۸   | ۰٫۰۷  |
| MnO                            | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۲  |
| MgO                            | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۳   | ۰٫۰۱   | ۰٫۰۱   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۱   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۱  |
| CaO                            | ۷٫۰۳   | ۹٫۶۱   | ۸٫۹۶   | ۶٫۸۲   | ۱۰٫۰۹  | ۱۰٫۰۰  | ۷٫۹۴   | ۱۰٫۲۱  | ۸٫۶۳  |
| Na <sub>2</sub> O              | ۶٫۷۱   | ۵٫۴۹   | ۶٫۰۵   | ۷٫۰۱   | ۵٫۴۴   | ۵٫۵۰   | ۶٫۴۲   | ۵٫۴۷   | ۶٫۲۶  |
| K <sub>2</sub> O               | ۰٫۵۱   | ۰٫۳۰   | ۰٫۳۳   | ۰٫۴۰   | ۰٫۱۸   | ۰٫۲۱   | ۰٫۳۳   | ۰٫۲۵   | ۰٫۳۲  |
| Total                          | ۹۹٫۰۶  | ۹۹٫۴۹  | ۹۸٫۹۰  | ۹۹٫۴۵  | ۹۹٫۵۴  | ۱۰۰٫۲۰ | ۹۹٫۳۰  | ۹۹٫۶۵  | ۹۸٫۵۹ |

ادامه جدول ۷ داده‌های آنالیز نقطه‌ای پلاژیوکلاز در برونوم پیروکسن آمفیبولیتی.

| نقطه                           | ۲Qtz  | ۱۹Plag | ۲۰Plag | ۲۱Plag | ۲۳Plag | ۲۴Plag | ۲۵Plag | ۲۶Plag |
|--------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| موقعیت                         | کناره | میانه  | کناره  | کناره  | میانه  | میانه  | هسته   | کناره  |
| SiO <sub>2</sub>               | ۵۶٫۶۸ | ۵۴٫۴۸  | ۵۵٫۱۲  | ۵۷٫۵۹  | ۵۸٫۲۲  | ۵۹٫۳۰  | ۵۵٫۳۱  | ۵۷٫۵۵  |
| TiO <sub>2</sub>               | ۰٫۰۱  | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۱   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۱   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۲۶٫۴۵ | ۲۸٫۱۴  | ۲۷٫۶۱  | ۲۶٫۸۲  | ۲۶٫۱۲  | ۲۶٫۲۵  | ۲۷٫۷۹  | ۲۶٫۹۵  |
| FeO                            | ۰٫۰۵  | ۰٫۰۷   | ۰٫۱۱   | ۰٫۱۸   | ۰٫۰۹   | ۰٫۱۳   | ۰٫۰۹   | ۰٫۰۹   |
| MnO                            | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۱   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   |
| MgO                            | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۱   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۱   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۱   |
| CaO                            | ۹٫۱۸  | ۱۱٫۳۵  | ۱۰٫۶۶  | ۹٫۵۹   | ۸٫۶۳   | ۸٫۷۹   | ۱۰٫۹۸  | ۹٫۷۲   |
| Na <sub>2</sub> O              | ۵٫۸۶  | ۴٫۹۷   | ۵٫۲۹   | ۵٫۹۰   | ۶٫۲۲   | ۶٫۰۰   | ۴٫۹۲   | ۵٫۷۳   |
| K <sub>2</sub> O               | ۰٫۳۴  | ۰٫۱۸   | ۰٫۲۱   | ۰٫۲۹   | ۰٫۲۷   | ۰٫۳۷   | ۰٫۱۶   | ۰٫۳۰   |
| Total                          | ۹۸٫۵۷ | ۹۹٫۲۰  | ۹۹٫۰۰  | ۱۰۰٫۳۸ | ۹۹٫۵۵  | ۱۰۰٫۸۵ | ۹۹٫۲۳  | ۱۰۰٫۳۵ |

جدول ۹ نتایج آنالیز نقطه‌ای آمفیبول در پیروکسن آندزیت.

| نقطه                           | ۱Hbl  | ۲Hbl  |
|--------------------------------|-------|-------|
| موقعیت                         |       |       |
| SiO <sub>2</sub>               | ۴۱٫۰۶ | ۴۳٫۰۷ |
| TiO <sub>2</sub>               | ۱٫۶۹  | ۱٫۶۹  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۱۲٫۸۸ | ۱۱٫۳۷ |
| FeO                            | ۱۲٫۶۵ | ۱۲٫۴۱ |
| MnO                            | ۰٫۱۷  | ۰٫۱۹  |
| MgO                            | ۱۳٫۵۵ | ۱۴٫۱۰ |
| CaO                            | ۱۱٫۷۳ | ۱۱٫۳۵ |
| Na <sub>2</sub> O              | ۱٫۹۵  | ۱٫۸۵  |
| K <sub>2</sub> O               | ۱٫۰۴  | ۰٫۹۷  |
| Total                          | ۹۶٫۷۱ | ۹۶٫۹۹ |

جدول ۸ نتایج آنالیز نقطه‌ای ارتوپروکسن در پیروکسن آندزیت.

| نقطه                           | ۱Px   | ۲Px   | ۳Px   | ۴Px    | ۵Px   | ۶Px   |
|--------------------------------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| موقعیت                         | میانه | میانه | هسته  | میانه  | کناره | کناره |
| SiO <sub>2</sub>               | ۵۲٫۹۳ | ۵۳٫۲۷ | ۵۳٫۰۸ | ۵۳٫۷۶  | ۵۳٫۳۲ | ۵۴٫۲۰ |
| TiO <sub>2</sub>               | ۰٫۱۳  | ۰٫۰۹  | ۰٫۱۴  | ۰٫۰۹   | ۰٫۰۷  | ۰٫۱۸  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۰٫۵۰  | ۰٫۳۹  | ۰٫۵۴  | ۰٫۵۰   | ۰٫۵۰  | ۰٫۳۷  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۱٫۱۷  | ۰٫۸۰  | ۰٫۵۹  | ۰٫۰۰   | ۰٫۴۵  | ۰٫۰۶  |
| FeO                            | ۱۷٫۸۲ | ۱۷٫۸۹ | ۱۸٫۲۱ | ۱۹٫۰۴  | ۱۸٫۰۷ | ۱۶٫۲۲ |
| MnO                            | ۲٫۹۵  | ۳٫۰۵  | ۳٫۳۰  | ۲٫۸۲   | ۲٫۶۴  | ۱٫۶۶  |
| MgO                            | ۲۲٫۹۱ | ۲۳٫۰۰ | ۲۲٫۵۷ | ۲۳٫۱۰  | ۲۳٫۵۰ | ۲۵٫۳۴ |
| CaO                            | ۱٫۲۷  | ۱٫۲۶  | ۱٫۲۷  | ۰٫۸۱   | ۰٫۹۱  | ۱٫۴۶  |
| Na <sub>2</sub> O              | ۰٫۰۳  | ۰٫۰۴  | ۰٫۰۴  | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۱  | ۰٫۰۱  |
| K <sub>2</sub> O               | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۰  |
| Total                          | ۹۹٫۷۱ | ۹۹٫۷۹ | ۹۹٫۷۵ | ۱۰۰٫۱۳ | ۹۹٫۴۷ | ۹۹٫۴۹ |

**جدول ۱۰** نتایج آنالیز نقطه‌ای پلاژیوکلاز در پیروکسن آندزیت و بخش سیلیکات آهکی در برونوم.

| نقطه                           | Biot <sub>۴</sub> | Biot <sub>۵</sub> | نقطه                           | ۱PI    | ۲PI   | ۳PI    | ۴PI   | ۵PI    | ۶PI   | ۷PI   | ۸PI   | ۹PI    | ۲۲Fsp         |
|--------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------------------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|---------------|
| SiO <sub>۲</sub>               | ۳۵٫۹۴             | ۳۶٫۵۵             | موقعیت                         | کناره  | میانه | کناره  | میانه | کناره  | کناره | میانه | میانه | هسته   | کالک سیلیکاته |
| TiO <sub>۲</sub>               | ۳٫۸۷              | ۳٫۸۷              | SiO <sub>۲</sub>               | ۵۸٫۴۸  | ۵۵٫۶۹ | ۵۷٫۸۲  | ۵۷٫۷۸ | ۶۰٫۹۹  | ۵۵٫۴۴ | ۵۷٫۰۰ | ۵۷٫۷۵ | ۵۸٫۵۳  | ۴۵٫۴۰         |
| Al <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub> | ۱۷٫۸۰             | ۱۸٫۵۳             | TiO <sub>۲</sub>               | ۰٫۰۱   | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۴   | ۰٫۰۴  | ۰٫۰۳   | ۰٫۰۲  | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۱  | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۱          |
| FeO                            | ۹٫۶۳              | ۹٫۲۰              | Al <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub> | ۲۶٫۱۸  | ۲۷٫۱۴ | ۲۶٫۹۷  | ۲۶٫۱۳ | ۲۴٫۴۴  | ۲۷٫۳۵ | ۲۶٫۱۸ | ۲۵٫۷۹ | ۲۶٫۲۳  | ۳۴٫۲۴         |
| MnO                            | ۰٫۱۲              | ۰٫۱۲              | FeO                            | ۰٫۱۷   | ۰٫۱۸  | ۰٫۱۳   | ۰٫۱۶  | ۰٫۲۸   | ۰٫۲۴  | ۰٫۲۱  | ۰٫۱۹  | ۰٫۱۹   | ۰٫۱۸          |
| MgO                            | ۱۷٫۵۹             | ۱۸٫۰۰             | MnO                            | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۲  | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۱  | ۰٫۰۱   | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰          |
| CaO                            | ۰٫۰۱              | ۰٫۰۲              | MgO                            | ۰٫۰۱   | ۰٫۰۱  | ۰٫۰۱   | ۰٫۰۱  | ۰٫۰۲   | ۰٫۰۲  | ۰٫۰۱  | ۰٫۰۲  | ۰٫۰۱   | ۰٫۰۱          |
| Na <sub>۲</sub> O              | ۰٫۴۱              | ۰٫۳۸              | CaO                            | ۸٫۵۸   | ۱۰٫۴۴ | ۹٫۳۸   | ۹٫۰۷  | ۶٫۴۵   | ۱۰٫۲۶ | ۹٫۳۲  | ۸٫۶۹  | ۸٫۷۱   | ۱۸٫۲۰         |
| K <sub>۲</sub> O               | ۹٫۴۱              | ۹٫۴۵              | Na <sub>۲</sub> O              | ۶٫۴۲   | ۵٫۴۰  | ۵٫۹۲   | ۶٫۰۷  | ۷٫۴۹   | ۵٫۷۱  | ۶٫۱۵  | ۶٫۲۰  | ۶٫۱۸   | ۱٫۲۷          |
| Total                          | ۹۴٫۷۷             | ۹۶٫۱۳             | K <sub>۲</sub> O               | ۰٫۴۶   | ۰٫۲۹  | ۰٫۳۶   | ۰٫۳۶  | ۰٫۶۱   | ۰٫۳۵  | ۰٫۳۶  | ۰٫۴۱  | ۰٫۳۹   | ۰٫۰۴          |
|                                |                   |                   | Total                          | ۱۰۰٫۲۹ | ۹۹٫۱۶ | ۱۰۰٫۶۳ | ۹۹٫۶۲ | ۱۰۰٫۳۰ | ۹۹٫۳۹ | ۹۹٫۲۳ | ۹۹٫۰۶ | ۱۰۰٫۲۴ | ۹۹٫۳۴         |

**جدول ۱۲** نتایج آنالیز ولاستونیت و گروسولار در کالک سیلیکات آهکی در برونوم برگه‌ای- سیلیکات- آهکی.

| نقطه                           | ۱Woll | ۲Woll | ۳Woll | ۴Woll | ۵Woll | ۶Woll | ۷Woll | ۲۱Fsp | ۴Grs  |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SiO <sub>۲</sub>               | ۳۶٫۷۰ | ۳۷٫۰۶ | ۳۷٫۸۶ | ۳۶٫۹۳ | ۳۶٫۱۵ | ۳۵٫۹۰ | ۳۵٫۱۰ | ۳۴٫۴۶ | ۵۹٫۰۹ |
| TiO <sub>۲</sub>               | ۰٫۰۲  | ۰٫۰۱  | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۲  | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۲  | ۰٫۰۱  | ۰٫۰۱  |
| Al <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub> | ۰٫۷۸  | ۰٫۸۳  | ۰٫۱۹  | ۰٫۷۵  | ۰٫۷۷  | ۰٫۷۸  | ۱٫۰۲  | ۱٫۰۰  | ۱٫۹۱۳ |
| FeO                            | ۰٫۰۶  | ۰٫۱۰  | ۰٫۰۲  | ۰٫۳۵  | ۰٫۱۰  | ۰٫۱۲  | ۰٫۱۷  | ۰٫۱۵  | ۰٫۰۵  |
| MnO                            | ۰٫۰۵  | ۰٫۰۸  | ۰٫۰۱  | ۰٫۱۰  | ۰٫۱۱  | ۰٫۰۹  | ۰٫۱۰  | ۰٫۱۲  | ۰٫۰۱  |
| MgO                            | ۰٫۰۱  | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۰  | ۰٫۳۳  | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۱  | ۰٫۰۲  |
| CaO                            | ۳۲٫۱۴ | ۳۱٫۷۷ | ۳۳٫۶۰ | ۳۱٫۴۲ | ۳۱٫۷۰ | ۳۱٫۹۹ | ۳۱٫۰۸ | ۳۱٫۶۷ | ۹٫۴۴  |
| Na <sub>۲</sub> O              | ۰٫۰۹  | ۰٫۱۰  | ۰٫۰۱  | ۰٫۱۷  | ۰٫۱۲  | ۰٫۰۹  | ۰٫۱۰  | ۰٫۱۱  | ۰٫۱۴  |
| K <sub>۲</sub> O               | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۰  | ۰٫۱۶  |
| Total                          | ۶۹٫۸۴ | ۶۹٫۹۵ | ۷۱٫۶۹ | ۷۰٫۰۷ | ۶۸٫۹۴ | ۶۸٫۹۸ | ۶۷٫۵۸ | ۶۷٫۵۲ | ۸۸٫۰۴ |

**ادامه جدول ۱۳** نتایج آنالیز نقطه‌ای

فلدسپار در برونوم برگه‌ای.

| نقطه                           | ۶Fsp  | ۱۰Fsp | ۱۶Fsp | ۱۷Fsp |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| SiO <sub>۲</sub>               | ۶۱٫۴۱ | ۶۰٫۰۸ | ۶۰٫۶۵ | ۶۰٫۸۱ |
| TiO <sub>۲</sub>               | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۵  | ۰٫۰۱  | ۰٫۰۲  |
| Al <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub> | ۱۷٫۵۷ | ۱۷٫۵۱ | ۱۸٫۲۷ | ۱۷٫۶۱ |
| FeO                            | ۰٫۱۴  | ۰٫۳۲  | ۰٫۰۴  | ۰٫۰۴  |
| MnO                            | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۱  | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۰  |
| MgO                            | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۲  | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۱  |
| CaO                            | ۸٫۶۵  | ۸٫۸۳  | ۸٫۸۰  | ۸٫۸۰  |
| Na <sub>۲</sub> O              | ۰٫۲۲  | ۰٫۱۸  | ۰٫۲۲  | ۰٫۲۳  |
| K <sub>۲</sub> O               | ۰٫۱۸  | ۰٫۱۷  | ۰٫۱۸  | ۰٫۱۹  |
| Total                          | ۸۸٫۱۸ | ۸۷٫۱۷ | ۸۸٫۱۶ | ۸۷٫۷۰ |

**جدول ۱۳** نتایج آنالیز نقطه‌ای فلدسپار در برونوم برگه‌ای.

| نقطه                           | ۲Fsp   | ۴Fsp   | ۵Fsp  | ۷Fsp   | ۸Fsp   | ۹Fsp   | ۱۱Fsp | ۱۲Fsp  | ۱۳Fsp  | ۱۴Fsp | ۱۵Fsp  |
|--------------------------------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|
| SiO <sub>۲</sub>               | ۶۲٫۷۵  | ۶۶٫۰۹  | ۶۴٫۹۸ | ۶۵٫۳۸  | ۶۵٫۹۹  | ۶۵٫۹۴  | ۶۴٫۸۹ | ۶۵٫۶۰  | ۶۶٫۰۴  | ۶۵٫۳۶ | ۶۷٫۱۱  |
| TiO <sub>۲</sub>               | ۰٫۰۶   | ۰٫۰۳   | ۰٫۰۳  | ۰٫۰۴   | ۰٫۰۱   | ۰٫۰۵   | ۰٫۰۳  | ۰٫۰۲   | ۰٫۰۵   | ۰٫۰۳  | ۰٫۰۰   |
| Al <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub> | ۲۴٫۰۶  | ۱۹٫۱۹  | ۱۹٫۱۲ | ۱۹٫۳۵  | ۱۹٫۴۷  | ۱۸٫۸۴  | ۱۸٫۸۸ | ۱۹٫۱۶  | ۱۸٫۸۰  | ۱۹٫۳۵ | ۱۸٫۸۳  |
| FeO                            | ۰٫۱۴   | ۰٫۱۷   | ۰٫۰۶  | ۰٫۱۹   | ۰٫۰۷   | ۰٫۱۳   | ۰٫۱۱  | ۰٫۱۳   | ۰٫۰۵   | ۰٫۰۱  | ۰٫۰۶   |
| MnO                            | ۰٫۰۱   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۱  | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۰   |
| MgO                            | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۱  | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰   | ۰٫۰۰  | ۰٫۰۱   |
| CaO                            | ۴٫۸۸   | ۰٫۴۵   | ۰٫۲۸  | ۰٫۵۱   | ۰٫۳۷   | ۰٫۲۹   | ۰٫۱۹  | ۰٫۳۲   | ۰٫۰۳   | ۰٫۳۱  | ۰٫۰۴   |
| Na <sub>۲</sub> O              | ۸٫۲۲   | ۳٫۲۶   | ۳٫۲۵  | ۳٫۴۵   | ۲٫۸۸   | ۲٫۸۲   | ۲٫۹۲  | ۳٫۱۳   | ۳٫۲۴   | ۳٫۳۰  | ۳٫۴۷   |
| K <sub>۲</sub> O               | ۰٫۵۱   | ۱۱٫۵۹  | ۱۱٫۴۳ | ۱۱٫۱۹  | ۱۲٫۱۹  | ۱۲٫۳۹  | ۱۲٫۰۸ | ۱۱٫۷۸  | ۱۱٫۸۹  | ۱۱٫۶۰ | ۱۱٫۵۲  |
| Total                          | ۱۰۰٫۶۳ | ۱۰۰٫۷۶ | ۹۹٫۱۵ | ۱۰۰٫۱۱ | ۱۰۰٫۹۸ | ۱۰۰٫۴۷ | ۹۹٫۱۱ | ۱۰۰٫۱۴ | ۱۰۰٫۲۱ | ۹۹٫۹۶ | ۱۰۱٫۰۴ |

گستره‌ی بین آنیت-فلوگوپیت (شکل ۶ الف)، میکاهای سنگ میزبان نمونه‌ی پیروکسن آندزیتی در گستره‌ی آنیت-فلوگوپیت و میکاهای نوار برگه‌ای برونوم تقریباً در مرز بین فلوگوپیت و ایستونیت (شکل ۶ ب) قرار می‌گیرند.

به نظر [۱۷] در نمودار An-Ab-Or، پلاژیوکلازهای دارای منطقه‌بندی نوسانی سنگ میزبان نمونه آندزیت داسیتی در گستره اواسط تا اواخر اولیگوکلاز و پلاژیوکلازهای وابسته به برونوم در گستره‌ی اوایل آندزین تا اواسط لابرادوریت (شکل ۷ الف)، ترکیب پلاژیوکلازهای دارای منطقه‌بندی نوسانی سنگ میزبان نمونه‌ی پیروکسن آندزیتی در گستره‌ی اوایل تا اواخر

به نظر [۱۵] در نمودار BNa نسبت به BCa + BNa، تمام آمفیبول‌های وابسته به سنگ میزبان آندزیتی و برونوم‌ها در گروه کلسیک و در نمودار  $Mg/(Mg + Fe + 2)$  نسبت به TSi، بیشتر نقاط معرف ترکیب آمفیبول‌های نمونه آندزیت داسیتی در گستره‌ی ادنیت هورنبلند و تعداد کمی در گستره‌ی فروئن پارگازیت هورنبلند (شکل ۵ الف و ب) و آمفیبول‌های سنگ میزبان پیروکسن آندزیتی در گستره‌های هاستینگزیت و منیزیم هاستینگزیت هورنبلند (شکل ۵ پ و ت) جای می‌گیرند. برابر [۱۶] در نمودار AIV نسبت به  $Fe/(Fe + Mg)$ ، میکاهای وابسته به سنگ میزبان نمونه‌ی آندزیت داسیتی در

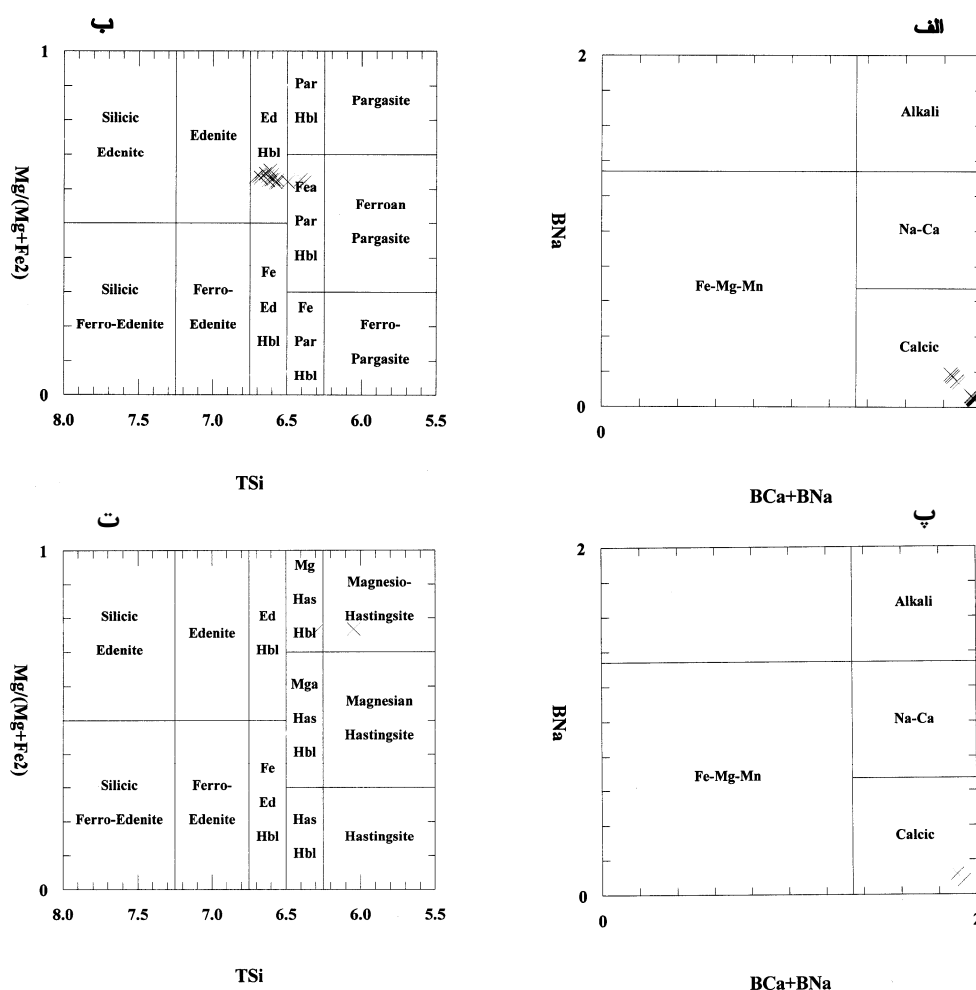
گستره‌ی گسترده‌ای از دما ( $1150^{\circ}\text{C}$  -  $400$ ) و فشار (۲۳Kb - ۱) تشکیل می‌شوند [۲۰]. مقدار  $\text{Ti}$ ،  $\text{Ca}$ ،  $\text{Na}$  و  $\text{Al}$  موجود در ترکیب آمفیبول، به فشار، دما و گریزندگی اکسیژن بستگی دارد. کاتیون هائی مثل  $\text{Ti}$ ،  $\text{Al}$  و  $\text{Al}$  کل و  $\text{Al}$  موقعیت‌های چهار وجهی نیز نسبت به دما حساس‌اند، به طوری که افزایش دما، باعث افزایش میزان  $\text{Ti}$  و نیز افزایش مقدار  $\text{AlIV}$  می‌شود [۲۱]. به ازای هر ۱۰۰ درجه افزایش دما، به طور معمول حدود ۰/۳ کاتیون به میزان  $\text{AlIV}$  اضافه می‌شود. برعکس  $\text{AlIV}$ ، مقدار  $\text{AlVI}$  متناسب با افزایش فشار، زیاد شده و دما، بر آن بی‌تأثیر است. برآورد مقدار  $\text{AlVI}$  و  $\text{AlTotal}$ ، اساس اندازه‌گیری فشار بر پایه‌ی ترکیب آمفیبول است؛ چون مقدار  $\text{Al}$  موجود در آمفیبول، تابع غلظت آن در ماگمای مادر نبود، و به فشار حاکم در زمان تبلور آن بستگی دارد. مقدار  $\text{Si}$  موجود در آمفیبول، تابع مقدار آن در ماگما بوده و دما و فشار بر آن بی‌تأثیر است.

آندزین و به ندرت اوایل لابرادوریت و پلاژیوکلازهای نوار برگه-ای برونوم در گستره‌ی اولیگوکلاز (در حدود ۲۵٪ آنورتیت) و پلاژیوکلازهای نوار کالک سیلیکات آهکی در اواخر بیتونیت و فلدسپارهای پتاسیم نوار برگه‌ای در گستره‌ی سانیدین (شکل ۷ ب) قرار گرفته‌اند.

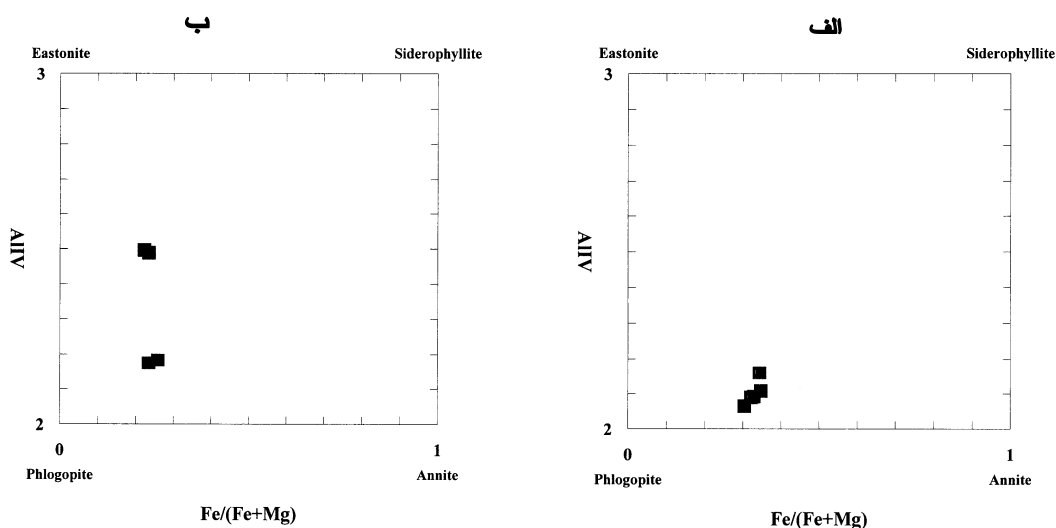
بر اساس [۱۸] در نمودار (Ca-Mg-Fe-Cpx) En-Fs- Wo، کلینوپروکسن‌های نمونه آندزیت داسیتی در گستره‌ی دیوپسید (شکل ۸) و پیروکسن‌های برونوم برگه‌ای - سیلیکات آهنی درون پیروکسن آندزیت در گستره‌ی هذمبرزیت (نمودار ۴) و پیروکسن‌های سنگ میزبان در گستره‌ی انستاتیت قرار می‌گیرند.

## زمین دما-فشارسنجی

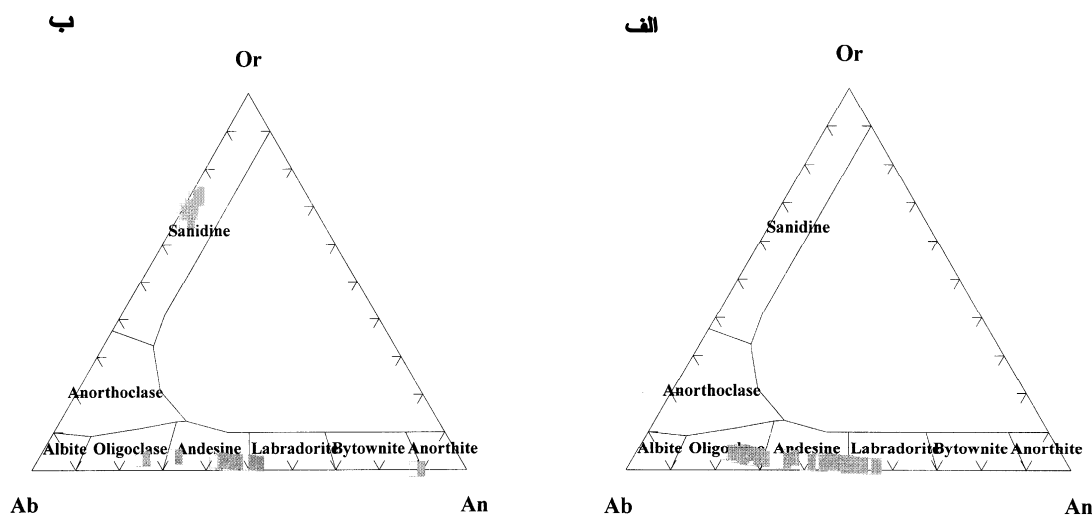
آمفیبول ها، از نظر ترکیب شیمیائی و ساختار کانی شناسی دارای گوناگونی چشمگیری بوده [۱۹] به نحوی که در محدوده وسیعی از سنگ های آذرین فلسیک، حدواسط و مافیک و در



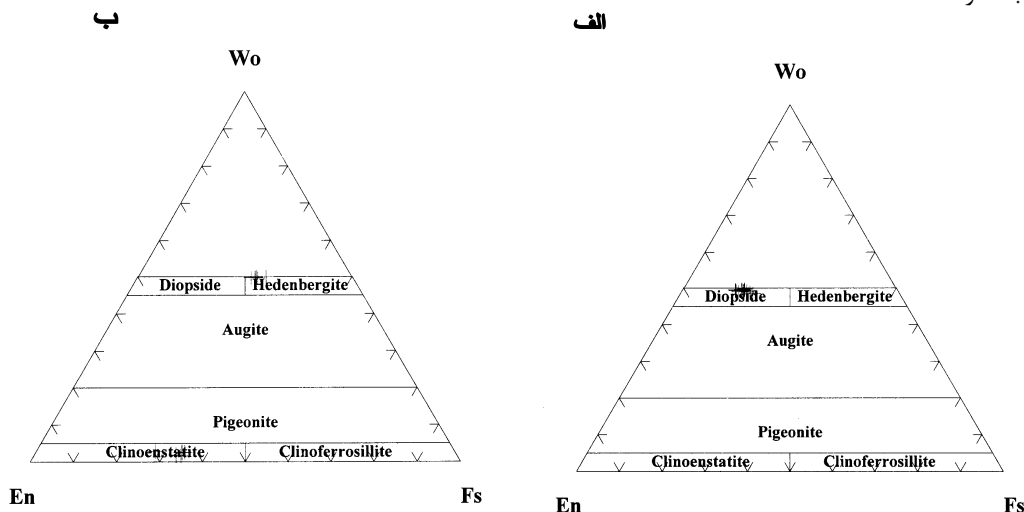
شکل ۵ ترکیب آمفیبول‌های الف و ب) وابسته به آندزیت داسیتی و پرونیوم آمفیبولیتی، آن، پ و ت) وابسته به پیروکسن آندزیت از نظر [۱۵].



شکل ۶ ترکیب میکاهای (الف) وابسته به آندزیت داسیت و برونوم آمفیبولیتی آن و (ب) وابسته به پیروکسن آندزیت و برونوم برگه ای آن به نظر [۱۶].



شکل ۷ (الف) ترکیب پلاژیوکلازهای وابسته به آندزیت داسیتی و (ب) پلاژیوکلازهای وابسته به پیروکسن آندزیت و فلدسپارهای پتاسیم درون برونوم برگه‌ای به نظر [۱۷].



شکل ۸ (الف) ترکیب پیروکسن‌های (الف) وابسته به آندزیت داسیتی و (ب) وابسته به پیروکسن آندزیت و بخش سیلیکات آهکی برونوم بر اساس [۱۸].

### زمین‌فشارسنجی بر اساس مقدار آلومینیوم موجود در هورنبلند

ترکیب آمفیبول، علاوه بر فشار به درجه حرارت، فوگاسیته اکسیژن، ترکیب کل و فازهای همزیست وابسته می باشد [۲۱]. با لحاظ پارامترهای فوق، به ویژه میزان  $Al_{Total}$  آمفیبول، تا به حال فرمول‌های متعددی، برای برآورد فشار ارائه شده که بهترین آنها [۲۲] می باشد. طبق این ژئوبارومتر، فشار از رابطه زیر به دست می آید (جدول ۱۴):

$$P [\pm 0.6 \text{ Kbar}] = -3.01 + 4.76 Al_{Total}$$

در این فرمول،  $P$ ، فشار بر حسب کیلو بار و  $Al_{Total}$ ، میزان آلومینیوم کل در ترکیب آمفیبول است.

### زمین‌دماسنجی

برای دماسنجی نمونه‌های منطقه، از [۱۹] استفاده شد (جدول ۱۴). در این ارزیابی آنها ارتباط‌های ممکن بین فشار، دما و ترکیب شیمیایی، فرمول زیر را برای اندازه‌گیری دما ارائه کرده اند:

$$T = 25.3P + 654.9$$

در این رابطه، دما، بر حسب درجه‌ی سانتیگراد و فشار، بر حسب کیلو بار است.

روش دیگر دماسنجی استفاده از ترکیب هورنبلند و پلاژیوکلاز است. هر چند هنوز تردیدهایی در مورد روش دماسنجی هورنبلند- پلاژیوکلاز وجود دارد، ولی، فعلاً یکی از روش‌های رایج برای دماسنجی سنگ‌های آهکی-قلیایی به حساب می‌آید [۲۴]. برای محاسبه‌ی دما، با این روش، بایستی زوج درشت بلورهای آمفیبول کلسیم‌دار و پلاژیوکلاز به صورت همزیست بوده و آمفیبول‌ها، فاقد حاشیه اکتینولیتی باشند [۲۵]. این روش زمین- دماسنجی، از یک زمین- دماسنج تبادلی استفاده می‌شود که بر اساس واکنش‌های زیر انجام می‌گیرد [۲۵]:

$$\text{ادنیت} + ۴ \text{ کوارتز} = \text{ترمولیت} + \text{آلبیت}$$

$$\text{ادنیت} + \text{آلبیت} = \text{ریشتریت} + \text{آنورتیت}$$

واکنش اول برای سنگ‌های دارای کوارتز و واکنش دوم بدون سنگ‌های کوارتز است [۲۵]. بر اساس واکنش ادنیت- ترمولیت فرمول زیر برای دماسنجی آمفیبول- پلاژیوکلاز ارائه

شده است [۲۶] (جدول ۱۵). این دماسنج در سنگ‌های آذرین فلسیک و حد واسطی که دارای کوارتز، پلاژیوکلاز با ۹۲٪  $An <$  و آمفیبول‌هایی با  $Si \leq 7/8$  هستند کاربرد داشته و برای دماهای ۵۰۰ تا ۱۱۰۰ درجه‌ی سانتیگراد، همسنجی شده است [۲۶]:

$$T [\pm 311^\circ K] = 0.667 P [Kbar] - 48.98 + YAb / - 0.0429 - 0.0083144 \ln \{ (Si - 4) / (8 - Si) XAb \}$$

در این رابطه،  $T$  دمای تعادلی بر حسب درجه‌ی کلوین،  $P$  فشار بر حسب کیلو بار،  $Si$  تعداد کاتیون‌های سیلیس در فرمول ساختاری آمفیبول،  $XAb$  مقدار درصد آلبیت در پلاژیوکلاز است. مقدار  $YAb$  از روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$XAb > 0.5 \rightarrow YAb = 0$$

$$XAb < 0.5 \rightarrow YAb = 8.06 + 25.5(1 - XAb)^2$$

### برداشت

بررسی‌های صحرایی و مقایسه پروتولیت برونوم‌های دگرگونی با واحدهای آمیزه افیولیتی و شبه پلیتی کرتاسه و پالئوسن منطقه و نیز مقایسه کانی‌شناسی و شیمی‌کانی‌ها نشان می‌دهد که زینولیت‌ها دارای دو پروتولیت متفاوت شبه پلیتی و شبه بازی بوده‌اند که به ترتیب بقایای سنگ‌های فلیشی و بازی آمیزه، افیولیتی شرق کشور به شمار می‌آیند. زینولیت‌های شبه پلیتی شامل اسلیت، فیلیت و میکاشیست‌ها هستند که تحت تأثیر دمای ماگما هورنفلسی شده‌اند. زینولیت‌های بازی منطقه آمفیبولیتی هستند. شواهد کانی‌شناسی و بافتی حکایت از اعمال دو نوع دگرگونی دماجنشی و همبری روی برونوم‌ها دارد. در طول دگرگونی دماجنشی پروتولیت اولیه این برونوم-ها، یعنی فلیش‌ها و سنگ‌های آمیزه‌ی افیولیتی تا حد اواخر رخساره‌ی آمفیبولیت دگرگون شده‌اند به طوری که فلیش‌ها به اسلیت، فیلیت و میکاشیست و سنگ‌های بازی به آمفیبولیت تبدیل شده‌اند. در طول دگرگونی همبری ناشی از سقوط برونوم‌ها به درون ماگمای مادر سنگ‌های آتشفشانی، در اسلیت‌ها و فیلیت‌ها، بافت‌های لکه‌ای و در میکاشیست‌ها کانی-های آندالوزیت، سیلیمانیت، کردیریت، کروندوم و هرسی نیت تشکیل و آثار برگوارگی محو شده است. در آمفیبولیت‌ها نیز هورنبلندهای قهوه‌ای تشکیل شده در اواخر رخساره آمفیبولیت

دگرگونی دماجنشی، دوباره به هورنبلند سبز تبدیل شده است. دمای تشکیل هورنبلندهای موجود در آندزیت داسیتی °C ۷۴۷-۸۲۱ و فشار مربوطه ۳/۶-۶/۵ Kbar معادل اعماق ۲۴-۲۶ Km است. دمای تشکیل هورنبلندهای موجود در برونوم آمفیبولیتی °C ۷۸۶-۸۳۰ و فشار تشکیل آنها Kbar

۷-۵ معادل عمق ۲۸-۲۰ Km بوده که بیشترین آن مربوط به هورنبلندهای قهوه‌ای هسته‌ای مرکزی بوده و کمترین مقادیر به بخش کناری آنها وابسته‌اند که مشابه هورنبلندهای سبز سنگ میزبانند.

جدول ۱۴ دما و فشار برآورد شده برای آندزیت‌های داسیتی کوه بارنده و برونوم آمفیبولیتی آن.

| شماره | نوع سنگ           | نقطه تجزیه شده       | P(Kbar) بر اساس [۲۸] | T(°C) بر اساس [۲۹] |
|-------|-------------------|----------------------|----------------------|--------------------|
| ۲۶۴   | آندزیت داسیتی     | Hbl۱ (کناره)         | ۶/۱۹۵۸۴              | ۸۱۱/۶۵۴۷۵          |
| ۲۶۴   | آندزیت داسیتی     | Hbl۲ (هسته)          | ۶/۵۶۷۱۲              | ۸۲۱/۰۴۸۱۳          |
| ۲۶۴   | آندزیت داسیتی     | Hbl۳ (هسته)          | ۴/۴۱۰۸۴              | ۷۶۶/۴۹۴۲۵          |
| ۲۶۴   | آندزیت داسیتی     | Hbl۴ (کناره)         | ۵/۳۶۲۸۴              | ۷۹۰/۵۷۹۸۵          |
| ۲۶۴   | آندزیت داسیتی     | Hbl۵ (میانه)         | ۳/۷۸۷۲۸              | ۷۵۰/۷۱۸۱۸          |
| ۲۶۴   | آندزیت داسیتی     | Hbl۶ (کناره)         | ۳/۶۳۰۲               | ۷۴۶/۷۴۴۰۶          |
| ۲۶۴   | برونوم آمفیبولیتی | Hbl۷ (هسته قهوه ای)  | ۶/۹۰۵۰۸              | ۸۲۹/۵۹۸۵۲          |
| ۲۶۴   | برونوم آمفیبولیتی | Hbl۸ (کناره سبز)     | ۶/۱۰۵۴               | ۸۰۹/۳۶۶۶۲          |
| ۲۶۴   | برونوم آمفیبولیتی | Hbl۹ (هسته قهوه ای)  | ۵/۴۴۳۷۶              | ۷۹۲/۶۲۷۱۲          |
| ۲۶۴   | برونوم آمفیبولیتی | Hbl۱۰ (هسته قهوه ای) | ۵/۵۱۹۹۲              | ۷۹۴/۵۵۳۹۷          |
| ۲۶۴   | برونوم آمفیبولیتی | Hbl۱۱ (هسته قهوه ای) | ۵/۵۷۷۰۴              | ۷۹۵/۹۹۹۱۱          |
| ۲۶۴   | برونوم آمفیبولیتی | Hbl۱۲ (میانه سبز)    | ۵/۷۶۷۴۴              | ۸۰۰/۸۱۶۲۳          |
| ۲۶۴   | برونوم آمفیبولیتی | Hbl۱۳ (کناره سبز)    | ۶/۳۸۶۲۴              | ۸۱۶/۴۷۱۸۷          |
| ۲۶۴   | برونوم آمفیبولیتی | Hbl۱۲ (هسته قهوه ای) | ۶/۹۶۶۹۶              | ۸۳۱/۱۶۴۰۸          |
| ۲۶۴   | برونوم آمفیبولیتی | Hbl۱۳ (هسته قهوه ای) | ۵/۷۱۵۰۸              | ۷۹۹/۴۹۱۵۲          |
| ۲۶۴   | برونوم آمفیبولیتی | Hbl۱۴ (هسته قهوه ای) | ۵/۸۵۷۸۸              | ۸۰۳/۱۰۴۳۶          |
| ۲۶۴   | برونوم آمفیبولیتی | Hbl۱۵ (هسته قهوه ای) | ۶/۱۰۵۴               | ۸۰۹/۳۶۶۶۲          |
| ۲۶۴   | برونوم آمفیبولیتی | Hbl۱۶ (کناره سبز)    | ۵/۶۸۱۷۶              | ۷۹۸/۶۴۸۵۲          |
| ۲۶۴   | برونوم آمفیبولیتی | Hbl۱۷ (هسته قهوه ای) | ۵/۳۲۹۵۲              | ۷۸۹/۷۳۶۸۵          |
| ۲۶۴   | برونوم آمفیبولیتی | Hbl۱۸ (هسته قهوه ای) | ۶/۳۸۱۴۸              | ۸۱۶/۳۵۱۴۴          |
| ۲۶۴   | برونوم آمفیبولیتی | Hbl۱۹ (هسته قهوه ای) | ۵/۸۷۶۹۲              | ۸۰۳/۵۸۶۰۷          |
| ۲۶۴   | برونوم آمفیبولیتی | Hbl۲۰ (کناره سبز)    | ۵/۵۱۵۱۶              | ۷۹۴/۴۳۳۵۴          |
| ۲۶۴   | برونوم آمفیبولیتی | Hbl۲۱ (کناره سبز)    | ۵/۱۹۶۲۴              | ۷۸۶/۳۶۴۸۷          |

جدول ۱۵ فشار و دما محاسبه شده برای آندزیت داسیتی کوه بارنده و زینولیت های آمفیبولیتی آن [۲۶].

| نمونه | نوع سنگ              | نقطه  | دما و فشار بر پایه [۲۶]                                                              |
|-------|----------------------|-------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| ۲۶۴   | آندزیت داسیتی        | hbl۱  | P ۰ ۵ ۱۰ ۱۵ kbar<br>T (ed-tr) ۷۷۴ ۷۴۷ ۷۲۱ ۶۹۴ degC<br>T (ed-ri) ۷۱۳ ۷۳۹ ۷۶۵ ۷۹۱ degC |
| ۲۶۴   | انکلاو<br>آمفیبولیتی | hbl۸  | P ۰ ۵ ۱۰ ۱۵ kbar<br>T (ed-tr) ۷۱۹ ۷۰۷ ۶۹۶ ۶۸۴ degC<br>T (ed-ri) ۶۵۸ ۶۹۱ ۷۲۴ ۷۵۸ degC |
| ۲۶۴   | انکلاو<br>آمفیبولیتی | hbl۸  | P ۰ ۵ ۱۰ ۱۵ kbar<br>T (ed-tr) ۷۲۵ ۷۱۴ ۷۰۲ ۶۹۰ degC<br>T (ed-ri) ۶۶۵ ۶۹۸ ۷۳۲ ۷۶۵ degC |
| ۲۶۴   | انکلاو<br>آمفیبولیتی | hbl۱۳ | P ۰ ۵ ۱۰ ۱۵ kbar<br>T (ed-tr) ۷۴۴ ۷۳۱ ۷۱۹ ۷۰۶ degC<br>T (ed-ri) ۶۷۹ ۷۱۲ ۷۴۶ ۷۷۹ degC |
| ۲۶۴   | انکلاو<br>آمفیبولیتی | hbl۱۳ | P ۰ ۵ ۱۰ ۱۵ kbar<br>T (ed-tr) ۷۳۸ ۷۲۵ ۷۱۲ ۷۰۰ degC<br>T (ed-ri) ۶۷۳ ۷۰۵ ۷۳۸ ۷۷۱ degC |
| ۲۶۴   | انکلاو<br>آمفیبولیتی | hbl۱۶ | P ۰ ۵ ۱۰ ۱۵ kbar<br>T (ed-tr) ۷۶۸ ۷۵۲ ۷۳۶ ۷۱۹ degC<br>T (ed-ri) ۷۰۶ ۷۳۹ ۷۷۱ ۸۰۴ degC |
| ۲۶۴   | انکلاو<br>آمفیبولیتی | hbl۲۰ | P ۰ ۵ ۱۰ ۱۵ kbar<br>T (ed-tr) ۷۴۵ ۷۳۲ ۷۱۹ ۷۰۶ degC<br>T (ed-ri) ۶۷۸ ۷۲۱ ۷۵۵ ۷۹۰ degC |
| ۲۶۴   | انکلاو<br>آمفیبولیتی | hbl۲۱ | P ۰ ۵ ۱۰ ۱۵ kbar<br>T (ed-tr) ۷۷۸ ۷۵۷ ۷۳۵ ۷۱۳ degC<br>T (ed-ri) ۷۰۰ ۷۳۱ ۷۶۲ ۷۹۲ degC |
| ۲۶۴   | آندزیت داسیتی        | hbl۱  | P ۰ ۵ ۱۰ ۱۵ kbar<br>T (ed-tr) ۷۸۲ ۷۵۵ ۷۲۸ ۷۰۲ degC<br>T (ed-ri) ۷۲۶ ۷۵۲ ۷۷۸ ۸۰۵ degC |
| ۲۶۴   | آندزیت داسیتی        | hbl۴  | P ۰ ۵ ۱۰ ۱۵ kbar<br>T (ed-tr) ۷۷۳ ۷۴۶ ۷۲۰ ۶۹۳ degC<br>T (ed-ri) ۷۱۱ ۷۳۷ ۷۶۳ ۷۸۹ degC |
| ۲۶۴   | آندزیت داسیتی        | hbl۴  | P 0 5 10 15 kbar<br>T (ed-tr) ۷۵۹ ۷۲۸ ۶۹۶ ۶۶۴ degC<br>T (ed-ri) ۷۱۴ ۷۳۸ ۷۶۲ ۷۸۶ degC |
| ۲۶۴   | آندزیت داسیتی        | hbl۱  | P ۰ ۵ ۱۰ ۱۵ kbar<br>T (ed-tr) ۷۶۷ ۷۳۵ ۷۰۳ ۶۷۱ degC<br>T (ed-ri) ۷۲۷ ۷۵۱ ۷۷۶ ۸۰۰ degC |
| ۲۶۴   | آندزیت داسیتی        | hbl۴  | P ۰ ۵ ۱۰ ۱۵ kbar<br>T (ed-tr) ۷۵۸ ۷۲۷ ۶۹۵ ۶۶۳ degC<br>T (ed-ri) ۷۱۲ ۷۳۶ ۷۶۰ ۷۸۴ degC |
| ۲۶۴   | آندزیت داسیتی        | hbl۶  | P ۰ ۵ ۱۰ ۱۵ kbar<br>T (ed-tr) ۷۶۳ ۷۱۷ ۶۷۱ ۶۲۴ degC<br>T (ed-ri) ۷۱۸ ۷۳۴ ۷۴۹ ۷۶۴ degC |
| ۲۶۴   | آندزیت داسیتی        | hbl۶  | P ۰ ۵ ۱۰ ۱۵ kbar<br>T (ed-tr) ۷۶۲ ۷۱۶ ۶۷۰ 623 degC<br>T (ed-ri) ۷۱۷ ۷۳۲ ۷۴۷ ۷۶۲ degC |

## مراجع

- commission on new minerals and mineral names", Eur. J. mineral, 9 (1997) 623-651.
- [12] Rieder M., Cavazzini G., D'yakonov Y., Frank-Kamenetskii V.A., Gottardi G., Guggenheim S., Koval P.V., Muller G., Neiva A.M.R., Radoslovich E., Robert J.L., Sassi F.P., Takeda H., Weiss Z., Wones D., "Nomenclature of the micas", The Canadian Mineralogist 36, (1998) x-xx.
- [13] Deer W.A., Howie R.A., Zussman J., "An introduction to the rock-forming minerals", Longman Scientific & Technical, (1991) 528p.
- [14] Morimoto N., "Nomenclature of pyroxenes", Mineralogical Magazine, 52 (1988) 535-550.
- [15] Esawi E.K., "AMPH-CLASS: An excel spreadsheet for the classification and nomenclature of amphibole based on the 1997 recommendations of the international mineralogical Association", Computers Geosciences, 30 (2004) 753-760.
- [16] Blundy J.D., Holland T.J.B., "Calcic amphibole equilibria and a new amphibole-plagioclase geothermometer", Contrib Mineral Petrol 104 (1990) 208-224.
- [17] Hammarstrom Jane. M., E-AN Zen., "Aluminum in hornblende: An empirical igneous geobarometer", American Mineralogist 71 (1986) 1297-1313.
- [18] Schmidt M.W., "Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: an experimental calibration of the Al-in hornblende barometer", Contrib Mineral Petrol 110 (1992) 304-310.
- [19] Vynhal C.R., McSween H.Y., Jr., "Hornblende chemistry in southern Appalachian granitoids Implications for aluminum hornblende thermobarometry and magmatic epidote stability", Am. Mineral. 76 (1991) 176-188.
- [20] Stein E.M., Dietl C., "Hornblende thermometry of granitoids from the central Odenwald Germany and their implications for the geotectonic development of the Odenwald", Mineralogy and Petrology 72 (2001) 185-207.
- [21] Helmy H.M., Ahmed A.F., El Mahallawi M.M., Ali S.M., "Pressure, temperature and oxygen fugacity conditions of calc-alkaline granitoids, Eastern Desert of Egypt, and tectonic implications", Journal of African Earth Science 38 (2004) 255-268.
- [22] Blundy J.D., Holland T.J.B., "Calcic amphibole equilibria and a new amphibole-plagioclase geothermometer-reply to the comment of Poli and Schmidt", Contribution to Mineralogy and Petrology 111 (1992) 278-282.
- [۱] مؤسسه جغرافیائی و کارتوگرافی گیتاشناسی، "نقشه راه-های ایران"، (۱۳۸۴).
- [2] Didier j., Barbarin B., "Enclaves and granite petrology", Elsevier science publishers (1991) 625p.
- [۳] یوسفزاده م.ح.، "پترولوژی پدیده‌های لیستونیتی شدن در مجموعه‌های آذرین و رسوبی شرق خوسف (جنوب غربی بیرجند)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی (شاخه پترولوژی)، دانشگاه اصفهان، ۲۹۱ صفحه.
- [۴] یوسفزاده م.ح.، "پتروگرافی، ژئوشیمی و پتروژنز سنگ‌های آتشفشانی ترشیری منطقه بیرجند - خوسف با نگرشی ویژه برانکلاوهای موجود در آن"، پایان‌نامه دوره دکتری پترولوژی، دانشگاه شهید بهشتی (۱۳۸۸) ۲۸۶ صفحه.
- [5] Barbarin B., "Contrasted origins for the polygenic and monogenic enclave swarms in some granitoids of the Sierra Nevada batholith, California", terra Abstr., 3 (1991) 32.
- [6] Best M.G., "Igneous and Metamorphic Petrology", Blackwell Publishing, (2003).
- [۷] معین وزیری ح.، "پترولوژی سنگ‌های دگرگونی"، انتشارات دانشگاه تربیت معلم (۱۳۷۷) ۳۳۶ صفحه.
- [۸] ولی زاده م. و.، صادقان م.، "پتروژنز سنگ‌های دگرگونی (ترجمه)"، انتشارات دانشگاه تهران (۱۳۷۹) ۴۰۴ ص.
- [9] Miyashiro A., "Metamorphic Petrology", UCL Press (1994) 404p.
- [۱۰] پورمعافی م.، "پتروگرافی و پترولوژی دگرگونی"، انتشارات یکان (۱۳۸۳)، ۲۲۲ص.
- [11] Binns R.A., "Metamorphic pyroxenes from the Broken Hill district, New South Wales", Mineralogical Magazine, 33 (1962) 320-38.
- [12] Binns R.A., "The mineralogy of metamorphosed basic rocks from the Willyama complex, Broken Hill district, New South Wales", Mineralogical Magazine, 35 (1965a,b) 306-26, 269-84.
- [13] Spear F.S., Cheney J.T., "A petrogenetic grid for politic schists in the system SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-FeO-MgO-K<sub>2</sub>O-H<sub>2</sub>O", Contr.Mineral. Petrol.101 (1989) 149-164.
- [14] Harte B., Hudson N.F.C., "Pelitic facies series and the temperatures and pressures of Dalradian metamorphism in E. Scotland", (1979) In KORNPROBST, (1996).
- [11] Leake B.E., et al., "Nomenclature of amphiboles of the subcommittee on amphiboles of the international mineralogical association