



IRANIAN SOCIETY of  
CRYSTALLOGRAPHY  
and MINERALOGY

RAVAN JOURNAL of  
CRYSTALLOGRAPHY  
and MINERALOGY

Vol.16, No. 1, Spring 1387/2008

## Crystal chemistry and comparison of mineralogical composition of Eocene volcanic rocks and their basic enclaves in north of Anarak (NE of Isfahan province)

M. Sayari<sup>1</sup>, I. Noorbehesht<sup>1</sup>, GH. Torabi<sup>1</sup>, A. Davoudian Dehkordi<sup>2</sup>

1) Department of Geology, Isfahan University

2) Faculty of Agriculture, Shahre-Kord University

E-Mail: m.sayari@gmail.com

(Received: 12/4/2006, in revised form: 23/10/2007)

**Abstract:** Eocene volcanic rocks of north Anarak area are as scattered as masses. These rocks cross the Anarak schists and Ashin-Zavar ophiolites but had not metamorphosed them. Their outcrops follow the direction of within the area faults. Mineralogically, these rocks are limited in composition from Andesi-Basalt and Andesite to Dacite. These rocks have phenocrysts of amphibole and plagioclase in microcrystalline and microlitic matrix. The andesitic and andesibasaltic rocks in the study area have a lot of enclaves that contain many amphiboles. Type of the amphiboles is Magnesiohastingsite. Similarity of composition of amphiboles and biotites in the volcanic rocks and their enclaves indicate that these volcanic rocks and their enclaves are possibly cogenesis. There are three types of feldspar in these rocks that are andesine-oligoclase, alkali feldspar and bytownite. Bytownite is found only in certain enclaves. Geothermometry studies on phenocrysts of plagioclase and amphibole, that are in equilibrium, indicate that crystallization temperature of these phenocrysts is 835°C to 925°C.

**Keywords:** Eocene volcanic rocks, Enclave, Anarak, Microprobe analysis, Geothermometry.



## شیمی بلورها و مقایسه ترکیب کانی‌شناسی سنگ‌های آتشفسانی ائوسن و برونبومهای آذرین بازی آنها در شمال اناارک (شمال شرق استان اصفهان)

محمد سیاری<sup>۱</sup>، ایرج نوربهشت<sup>۱</sup>، قدرت ترابی<sup>۱</sup>، علیرضا داوودیان دهکردی<sup>۲</sup>

(۱) گروه زمین‌شناسی دانشگاه اصفهان

(۲) دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد

پست الکترونیکی: m.sayari@gmail.com

(دریافت مقاله ۱۳۸۵/۱/۲۳، نسخه نهایی ۱۳۸۶/۸/۱)

**چکیده:** سنگ‌های آتشفسانی به سن ائوسن در شمال منطقه اناارک به صورت پراکنده دیده می‌شوند. این سنگ‌ها شیسته‌ها و افیولیت‌های عشین - زوار را قطع کرده‌اند ولی آنها را دگرگون نساخته‌اند. رخنمون این سنگ‌ها بیشتر از روند گسل‌های منطقه پیروی می‌کند. از نظر ترکیب کانی‌شناسی، سنگ‌های مورد مطالعه در گستره آندزی بازالت و آندزیت، تا داسیت قرار می‌گیرند. این سنگ‌ها بیشتر حاوی فنوکریسته‌های آمفیبول، و پلازیوکلاز هستند که در زمینه ریزبلورین و میکرولیتی قرار دارند. سنگ‌های آندزیتی و آندزی بازالتی منطقه مورد مطالعه به فراوانی حاوی برونبوم آذرین بازیکی هستند که غنی از آمفیبول‌اند. آمفیبول‌ها از نوع مینیزیوهاستینگسیت هستند. شباهت ترکیب آمفیبول‌ها و بیوتیت‌های موجود در این سنگ‌های آتشفسانی با آمفیبول‌ها و بیوتیت‌های موجود در برونبوم‌های آنها نشان می‌دهد که احتمالاً سنگ‌های آتشفسانی مورد مطالعه با برونبوم‌هایشان هم خاستگاهند. فلدسپات‌های موجود در این سنگ‌ها عبارتند از فلدسپات‌های قلیابی، پلازیوکلاز با ترکیب آندزین - الیگوکلاز و نیز بیتونیت که تنها در برخی برونبوم‌ها دیده می‌شوند. بررسی‌های زمین دماسنجه زوج درشت بلور در تعادل با آمفیبول و پلازیوکلاز نشان می‌دهد که دمای تبلور این درشت بلورها در حدود ۸۳۵ تا ۹۲۵ درجه سانتیگراد است.

**واژه‌های کلیدی:** سنگ‌های آتشفسانی ائوسن، برونبوم، اناارک، آنالیز ریزپردازش، زمین دماسنجه.

**افیولیت ملاتر عشین - زوار به سن مزوژوئیک [۲]** را قطع کرده‌اند. این سنگ‌ها اغلب به مقدار زیاد حاوی آمفیبول‌اند. همچنین در حوالی عشین - زوار این سنگ‌های آتشفسانی به مقدار زیادی دارای برونبوم‌هایی هستند که غنی از آمفیبول بوده و برخی از آنها با سمتگیری ترجیه‌ی هستند. هدف از ارائه این مقاله شناسایی و تعیین فرمول ساختاری کانی‌های موجود در سنگ‌های آتشفسانی ائوسن در شمال اناارک و مقایسه آنها از نظر ترکیبی با کانی‌های موجود در برونبوم‌های همراه است.

### مقدمه

فعالیت آتشفسانی ائوسن، یکی از مهمترین پدیده‌های زمین-شناسی ایران در زمان ائوسن است. آثار آن در اغلب مناطق ایران به غیر از زاگرس و کپه داغ، به چشم می‌خورد. در منطقه اناارک آثار فعالیت آتشفسانی ائوسن به صورت نکه‌ای کوچک، گدازه و گنبد به ابعاد چند متر تا چند صد متر، با روند تقریبی شرقی - غربی، به چشم می‌خورد که عموماً از روند گسل‌های منطقه پیروی می‌کنند. این آتشفسانی‌ها، قدیمی‌ترین سنگ‌های منطقه، یعنی شیسته‌ها، به سن پرکامبرین [۱] و نیز

ساختی دارای گذشته پیچیده‌ای است. در این منطقه سنگ‌های آتشفشاری افسن به صورت پراکنده و جدا از هم در حوالی علی، عشین - زوار، و سفی آباد وجود دارند.

قدیمی‌ترین سنگ‌های منطقه انارک، افیولیت انارک (بیشتر سرپانتینیت)، به سن پرکامبرین است. شیسته‌ها و دگرگون‌های انارک نیز سن پرکامبرین دارند، ولی از نظر سنی نسبت به افیولیت انارک جوان‌ترند [۲] از دوران پالئوزوئیک نیز سازنده‌ای شیرگشت (اردویسین)، نیور (سیلورین)، پادها (دونین زیرین)، دولومیت سیزار (دونین میانی)، آهک بهرام (دونین بالایی)، شیستو (دونین بالایی - کربونیفر زیرین)، سردر (کربونیفر)، جمال (پرمین) قابل ذکرند [۵-۷].

سنگ‌های سازند چاه پلنگ (ژوراسیک - کرتاسه) به صورت بسیار محدود در جنوب معدن متروکه ترکمانی مشاهده می‌شوند. سنگ‌های ژوراسیک (سازند شمشک) نیز در منطقه وجود دارند [۸-۹].

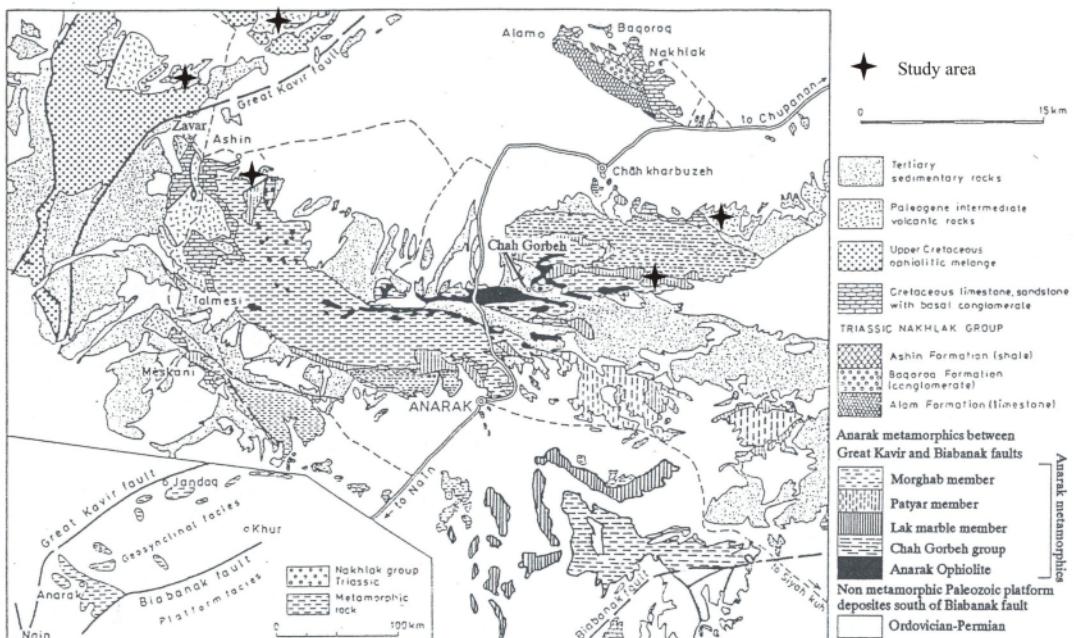
در ناحیه انارک - خور سنگ‌های کرتاسه مهمترین رخمنون سنگ‌های مزوژوئیک عشین - زوار دارای واحدهای سنگی مختلف با سن‌های متفاوت است، ولی آخرین فعالیت‌های ماقمایی آن در اوخر کرتاسه صورت گرفته است که چرت‌های رادیولر و سنگ آهک‌های پلاژیک کرتاسه بالایی، واحدهای سنگی آن را می‌توشانند [۲]. از دوران سنوزوئیک نیز بیشتر، سازنده‌ای تخریبی در منطقه وجود دارند.

## روش کار

نخست بررسی‌های صحرایی و نمونه برداری از منطقه مورد مطالعه صورت گرفت. سپس نمونه‌های مناسب برای تهیه مقاطع نازک و مقاطع نازک - صیقلی با استفاده از پوشش رزینی انتخاب شدند. مطالعات سنگ شناختی با استفاده از میکروسکوپ قطبشی پلاریزان با نور عبوری مدل BH2 انجام گرفت. آنالیزهای نقطه‌ای انجام شده روی کانی‌ها با استفاده از ریز پردازنده الکترونی JEOL XA-8800 مدل با ولتاژ شتابدهنده ۲۰ کیلو ولت و جریان ۱۲ نانو آمپر در دانشگاه کانازاوا ژاپن صورت گرفت.

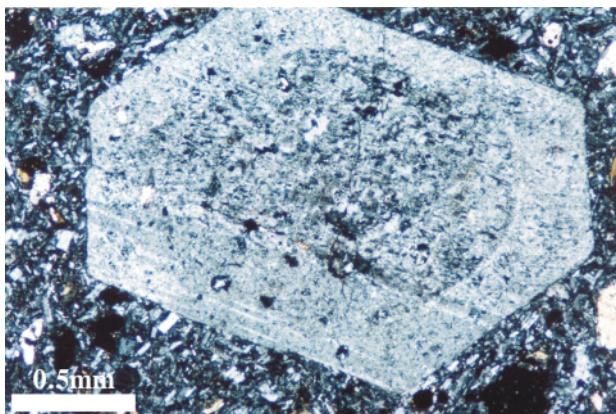
## زمین‌شناسی منطقه انارک

منطقه انارک در فاصله ۲۲۰ کیلومتری شمال شرق اصفهان و ۷۶ کیلومتری شمال شرقی شهرستان نایین قرار گرفته است. این منطقه در حاشیه جنوبی دشت کویر (کویر مرکزی)، بین طول‌های جغرافیایی ۵۳-۵۴ درجه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۳-۳۴ درجه شمالی واقع شده است. ارتفاع شهر انارک از سطح دریا، ۱۲۲۰ متر است. این منطقه در تقسیمات زون‌های زمین‌شناسی ایران در زون ایران مرکزی قرار دارد [۳] و [۴]. شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی کلی منطقه انارک و موقعیت سنگ‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد [۲]. این منطقه خود بخشی از ناحیه چین خورده آلپ یا کمریند چین خورده آلپ - هیمالیا ( مدیترانه‌ای ) است. منطقه انارک از نظر، چینه‌شناسی، آتشفشاری و کانسارسازی بسیار متنوع، و از نظر زمین

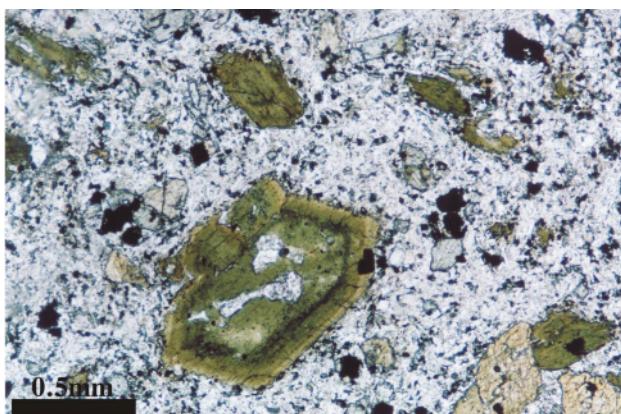


شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی منطقه انارک (ترابی، ۱۳۸۳).

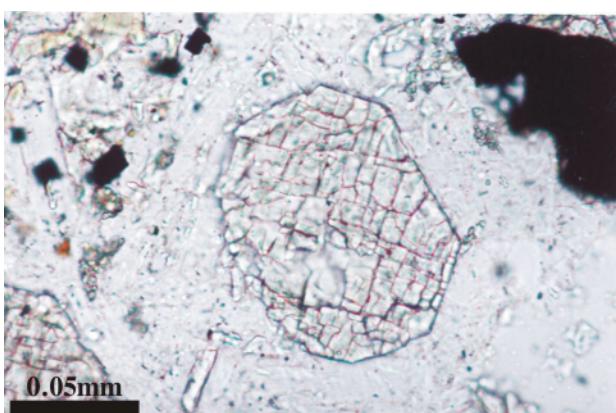
تجزیه به سرسیت هستند (شکل ۸). آپاتیت، اسفن و زیرکن نیز به مقدار کم در این سنگ‌ها یافت می‌شوند.



شکل ۲ تصویری از فنوکریست خودشکل پلازیوکلاز همراه با منطقه‌بندی در متن سنگ آندزیتی (نور PPL).



شکل ۳ تصویری از فنوکریست خودشکل آمفیبول همراه با منطقه-بندي در متن سنگ آندزیتی (نور XPL).



شکل ۴ مقطع عرضی کلینوپیروکسن (نور PPL).

### مدل سنگ زایی

از آنجا که منطقه مورد مطالعه جزئی از زون ارومیه - دختر نیست و روند سنگ‌های آتشفسانی آن نیز با ارومیه - دختر مطابقت ندارد، بنابراین ممکن است وابسته به با فرورانش احتمالی حاصل از پوسته اقیانوسی نارس پیرامون خرده قاره ایران مرکزی باشد، ولی از آنجا که فرورانش نئوتیس نیز به سمت شمال شرق است، نمی‌توان آثار فرورانش نئوتیس را نادیده گرفت.

### سنگ شناسی سنگ‌های آتشفسانی

بافت سنگ‌های آتشفسانی مورد مطالعه پورفیری، هیالوپورفیری، و ریز بلور پورفیری است. بر پایه مطالعات میکروسکوپیکی، سنگ‌های مورد مطالعه از نظر کانی‌شناسی، به طور کلی به سه دسته تقسیم می‌شوند.

**۱- آندزیت‌ها و آندزی بازالت‌ها:** این سنگ‌ها بیشتر از فنوکریست‌های پلازیوکلاز (شکل ۲)، آمفیبول (شکل ۳) و کمی کلینوپیروکسن (شکل ۴) هستند که در زمینه‌ای شیشه‌ای و ریز بلورین از پلازیوکلاز قرار گرفته‌اند. آمفیبول‌ها خود شکل بوده و تا اندازه‌ای به کلریت تجزیه شده، و فلدسپات‌ها به سرسیت و کائولینیت دگرسان شده‌اند. فراوانی آمفیبول در این سنگ‌ها به اندازه‌ای است که می‌توان آنها را آمفیبول آندزیت و آمفیبول آندزی بازالت نامید.

کانی‌های فرعی موجود در این سنگ‌ها شامل اسفن، آپاتیت، و زیرکن است که به میزان بسیار کم وجود دارند.

**۲- داسیت‌ها:** این سنگ‌ها حاوی پلازیوکلاز، کوارتز و سانیدین هستند. کوارتزها دارای حاشیه واکنشی و پلازیوکلازها غبار آلودند که نشانی از آمیختگی ماگمایی دارند. حالت اسفلولیتی پلازیوکلازها نیز دلالت بر سرد شدن سریع ماگما دارد. وجود کوارتز با خوردگی خلیجی در این سنگ‌ها حاکی از کاهش ناگهانی فشار در زمان فوران است (شکل ۵ و ۶).

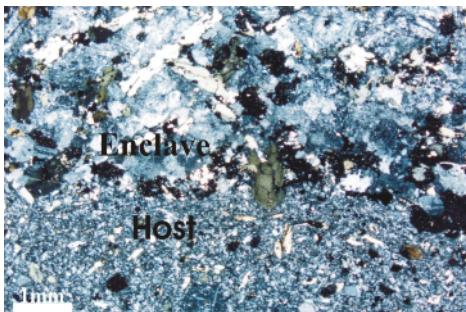
**۳- آندزیت‌های بیوتیت‌دار:** این سنگ‌ها که فقط در حوالی معلی یافت می‌شوند، تفاوت چشمگیری که با آندزیت‌های گروه اول دارند وجود بیوتیت در آنهاست. این سنگ‌ها واجد پلازیوکلاز، بیوتیت و آمفیبول هستند. در این سنگ‌ها عموماً بیوتیت‌ها سالم مانده‌اند در صورتی که آمفیبول‌ها اغلب به کلریت دگرسان شده‌اند (شکل ۷). پلازیوکلازها نیز در حال

آتشفشاری میزبان کاملاً متعادل بوده و اثری از حواشی واکنشی دیده نمی‌شود (شکل ۹ و ۱۰). این برونبوم‌ها از نظر کانی-شناسی شباهت زیادی به سنگ میزبان خود دارند ولی از نظر بافتی کاملاً با آنها متفاوتند برونبوم‌های آذرین بازیک نیز به فراوانی حاوی آمفیبیول اند. (شکل ۱۱).

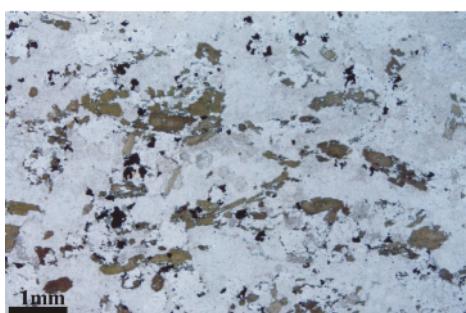
علاوه بر این برونبوم‌ها، برونبوم‌هایی از شیسته‌ها و افیولیت‌ها نیز در نمونه‌ها وجود دارند که بررسی آنها مورد نظر نیست. برونبوم‌های مورد مطالعه (آذرین بازیک) نیز به فراوانی حاوی آمفیبیول‌های کلسیک از نوع منیزیوہاستینگستیت هستند. پلازیوکلاز از دیگر کانی‌های موجود در برونبوم‌ها هستند. برخی از این پلازیوکلازها کلسیک و از نوع بیتونیت بوده و برخی نیز قلیایی‌اند. پلازیوکلاز‌های برونبوم‌ها، یافته‌های دگرشکلی را نیز نشان می‌دهند.



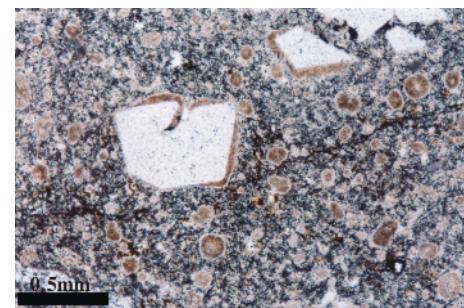
شکل ۹ برخوردگاه برونبوم همگن هموزن با سنگ آتشفشاری (نور.(PPL).



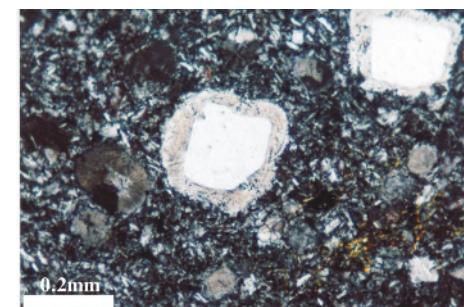
شکل ۱۰ برخوردگاه برونبوم آذرین بازیک با سنگ آتشفشاری (نور.(XPL).



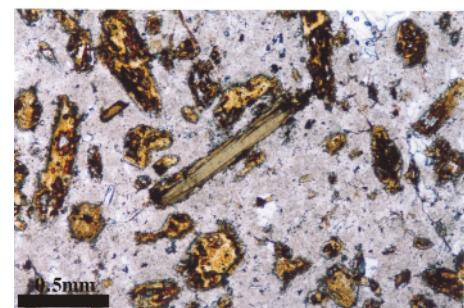
شکل ۱۱ تصویری از آمفیبیول‌های موجود در برونبوم‌های آذرین بازیک(نور.(PPL).



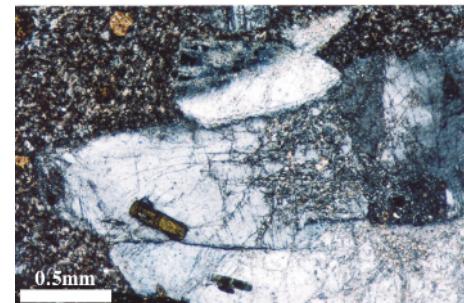
شکل ۵ فنوکریست‌های کوارتز با خوردگی خلیجی و حاشیه غبار آلود همراه با پلازیوکلاز‌های اسفلولیتی (نور (PPL).



شکل ۶ فنوکریست‌های کوارتزیا حاشیه واکنشی (نور (XPL).



شکل ۷ فنوکریست بیوتیت به همراه آمفیبیول‌هایی که در حال تجزیه به کلریت هستند (نور (PPL).



شکل ۸ فنوکریست پلازیوکلاز در حال تجزیه به سرسیت، همراه با نفوذ آمفیبیول (نور (XPL).

### سنگ شناسی برونبوم‌ها

سنگ‌های آندزیتی و آندزی باالتی مورد مطالعه اغلب حاوی برونبوم‌های فراوانند. محل تماس برخی از برونبوم‌ها با سنگ

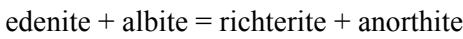
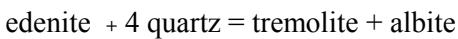
## شرايط تبلور فنوکريستهای سنگهای آتشفسانی شمال

انارک

سنگهای آتشفسانی با بافت یورفیری دو مرحله تبلور را پشت سر گذاشته‌اند، يك مرحله در بیرون و يا نزدیک به سطح زمین و مرحله دیگر در عمق که با تبلور فنوکريستهای درشت بلورتر مشخص می‌شوند، در اینجا به منظور تعیین شرايط تبلور فنوکريستهای سنگ آتشفسانی از روش‌های زمین دماستجی استفاده شده است که برای زمین دما سنجی از نرم‌افزارهای کامپیوتربه‌گیری شده است. يکی از نرم‌افزارهای نسبتاً جامع، نرم‌افزار PET [۱۰، ۱۱] است.

بر پایه شواهد سنگ‌شناختی، زوج فنوکريستهای آمفیبول کلسیم‌دار و پلازیوکلاز در تعادل قرار دارند (شکل ۱۵)، زیرا نمونه‌های آمفیبول کلسیم دار انتخاب شده فاقد حاشیه اکتینولیتی بوده و دارای مرزهای دانه‌ای عادی با پلازیوکلاز همیست و مجاور خود هستند، و به همین دلیل برای برآورد شرايط دمای تشکیل سنگ در عمق از این زوج استفاده شده است.

این روش زمین دماستجی، با يك زمین دماستج تبدالی کار می‌کند که بر پایه واکنش‌های زیر صورت می‌گیرد:



واکنش اول به شرايطی مربوط است که کوارتز در سنگ حضور دارد، و واکنش دوم در شرايطی است که کوارتز در سنگ وجود ندارد.

مهمترین همسنجی زمین دماستجی آمفیبول - پلازیوکلاز بر پایه روش ارائه شده توسيط [۱۴] است. روش دماستجی آمفیبول - پلازیوکلاز که توسيط [۱۴] ارائه شده است، برای سنگ‌های ماگمايی قابل استفاده است [۱۵، ۱۶]. در اینجا محاسبات با استفاده از نرم افزار PET انجام شده است. برآورد ميانگين دما با اين روش، نشان مى دهد که در گستره فشارهای متعارف بين ۱ تا ۱۰ کيلو بار برای زوج‌های آمفیبول - پلازیوکلاز در تشکیل فنوکريستهای سنگ بين حداقل ۸۳۵ تا حداقل ۹۲۵ درجه سانتيگراد بوده است (جدول ۴).

منظور از فشار در اين محاسبات، فشار سنگ ايستايی بوده است که [۱۴] در محاسبات خود از آن استفاده کرده است. چگونگي محاسبه دما با استفاده از اين روش با استفاده از فرمول زير است که در آن T بحسب درجه سانتيگراد برابر است با:

## شيمى بلورها

كانى‌های سنگهای آتشفسانی مورد مطالعه در شمال انارک نيز مورد آناليز ريز پردازی قرار گرفتند، و دستيابي به فرمول ساختاري آنها با استفاده از نرم افزار \* PET [۱۰، ۱۱] انجام گرفته است (جداول ۱، ۲، ۳).

محاسبه فرمول ساختاري آمفیبول‌های آناليز شده نشان مى دهد که همه آنها دارای گستره تركيبی مشابه بوده و در قلمرو آمفیبول‌های كلسيک قرار مى گيرند (شکل ۱۲). اين آمفیبول‌ها از نوع منيزيوهاستينگسيت هستند که همراه با پارگازيت در يك گستره قرار مى گيرند (شکل ۱۳).

فرمول‌های ساختاري به دست آمده برای بيوتيت‌های موجود در متن سنگهای آتشفسانی، و بيوتيت‌های موجود در برونيوم‌ها شاهدت بسيار زيادي با هم دارند (جدول ۳). ترکيب فلدسيپات‌های موجود در سنگ‌های آتشفسانی و برونيوم‌هاي همراهشان در شکل (۱۴) مشخص شده است. از روی نتائج حاصل از ريزپردازی مى توان سه دسته فلدسيپات را در سنگ‌های آتشفسانی و نيز برونيوم‌هاي آنها مشخص کرد.

دسته اول، پلازیوکلازهاي نوع آندزين - الیگوکلاز. اين پلازیوکلازها در متن سنگ‌های آتشفسانی و نيز درون برخی از برونيوم‌ها يافت مى شوند و با آمفیبول‌ها در تعادلنده.

دسته دوم فلدسيپات‌های قلياني هستند که بر پایه، مطالعات سنگ شناختي معلوم شد که برخی از اين فلدسيپات‌های قلياني اوليه و برخی دیگر ثانويه هستند که از پلازیوکلازهاي گروه اول حاصل شده‌اند يعني در اثر سوسوريتی شدن پلازیوکلازهاي اوليه ايجاد شده‌اند. اين دسته نيز هم درون برونيوم‌ها وجود دارند و هم در متن سنگ‌های آتشفسانی دیده مى شوند.

دسته سوم، پلازیوکلازهاي کلسیم‌دار با ترکيب بیتونیت. اين نوع پلازیوکلاز فقط در برخی از برونيوم‌ها حضور دارند. وجود پلازیوکلازهاي کلسیم‌دار، نظير بیتونیت دور از تصور نیست. فنوکريستهای پلازیوکلاز در ماگماهای کمانی (Arcmagmas) به شدت کلسیم دارند [۱۳]. وجود پلازیوکلازهاي کلسیم دار در ماگماهای کمانی مربوط به حضور آب است، چرا که آب دمای حلقة تعادل آبگون - جامد (ساليروس و ليكيدوس) در سистем آلبيت - آبورتیت را کاهش مى دهد. در نتيجه، در يك دمای ثابت، يك ماگماي آبدار، پلازیوکلازهاي کلسیم دار ترى نسبت به ماگماي مشابه، و در شرايط خشك متبلور مى سازد [۱۳].

\* Petrological elementary tools for Mathematica

مقدار آلبیت پلازیوکلار بیش از ۰/۵ باشد صفر در نظر گرفته می‌شود. ارتباط فشار با دمای محاسبه شده به ترکیب هر دو زوج فنوکریست آمفیبول و پلازیوکلار بستگی دارد، و مستقیماً از رابطه بالا بدست می‌آید.

$$T(\pm 40^\circ C) = \begin{bmatrix} -76.95 + 0.79P + Y_{ab} + 39.4X_{Na}^{ab} \\ + 22.4X_K^{ab} + (41.5 - 2.89P)X_{Al}^{ter} \\ - 0.0650 - RLn[(27X_{Na}^{ab} \\ X_{Si}^{ter} X_{ab}^{pl})/(256X_{Na}^{ab} X_{Al}^{ter})] \end{bmatrix} - 273$$

در این فرمول P فشار (بر حسب کیلوبار)، ضریب R برابر با ۰۰۰۸۳۱۴۴ کیلوژول بر کیلومول، و Y<sub>ab</sub> نیز در صورتی که

جدول ۱ نتیجه آنالیز ریزپردازش فنوکریست‌های آمفیبول و محاسبه فرمول ساختاری آنها بر پایه ۲۳ اکسیدها بر حسب درصد. علامت × مربوط به نمونه‌های درون برونزوم‌هاست.

اکسیدها	نمونه‌ها	نمونه ۴۹	نمونه ۵۰	نمونه ۵۱	نمونه ۵۰	نمونه ۶۰	نمونه ۶۶	نمونه ۷۲	نمونه ۷۴	نمونه ۸۵	نمونه ۸۶	نمونه ×۸۸
SiO <sub>۲</sub>	۴۱,۶۶۹	۴۰,۴۰۷	۴۱,۴۰۷	۴۰,۴۰۷	۴۱,۸۱۷	۴۰,۵۶۶	۴۱,۵۶۶	۴۰,۶۸۰	۴۱,۲۷۲	۴۱,۵۶	۴۰,۵۶	۴۱,۸۱۷
TiO <sub>۲</sub>	۲,۱۶۴	۲,۷۷۷	۲,۱۰۸	۱,۲۵۵	۲,۰۲۷	۲,۰۶۵	۲,۰۲۷	۲,۰۶۵	۲,۰۲۷	۲,۱۷۸	۲,۰۲۷	۲,۰۲۷
Al <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub>	۱۲,۵۳۲	۱۲,۷۷۲	۱۲,۹۱۲	۱۳,۷۷۲	۱۳,۲۰۵	۱۱,۳۲۴	۱۳,۲۰۵	۱۲,۷۱۲	۱۱,۸۸۶	۱۳,۵۷۶	۱۲,۱۷۴	۱۲,۱۷۴
Cr <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub>	۰,۰۱۹	۰,۰۲۸	۰,۰۲۸	۰,۰۴۲	۰,۰۳۴	۰,۰۳۴	۰,۰۵۵	۰,۰۰۰	۰,۰۳۲	۰,۰۱۳	۰,۰۱۳	۰,۰۰۵
FeO	۱۰,۳۵۶	۱۳,۷۶۶	۱۲,۲۲۵	۱۲,۷۶۶	۱۳,۷۷۲	۱۲,۲۰۵	۱۳,۷۷۲	۱۲,۷۱۲	۱۱,۸۸۶	۱۴,۶۴۸	۱۴,۵۸۱	۱۴,۵۹۳
MnO	۰,۱۰۵	۰,۳۱۲	۰,۳۱۲	۰,۱۴۱	۰,۲۲۲	۰,۱۲۲	۰,۲۵۶	۰,۳۸۳	۰,۲۱۳	۰,۱۹۶	۰,۲۸۵	۰,۰۰۵
MgO	۱۴,۸۳۳	۱۲,۰۷۲	۱۲,۰۷۲	۱۳,۳۰۰	۱۴,۷۳۰	۱۱,۸۱۵	۱۱,۵۹۵	۱۲,۰۲۳	۱۱,۰۹۰	۱۳,۵۹۰	۱۱,۴۱۱	۱۱,۴۱۱
CaO	۱۱,۷۳۱	۱۱,۷۴۹	۱۱,۶۱۱	۱۱,۶۱۱	۱۱,۵۸۹	۱۱,۴۵۷	۱۱,۶۹۸	۱۱,۶۹۸	۱۱,۴۵۷	۱۱,۵۰۵	۱۱,۳۰۸	۱۱,۶۹۶
Na <sub>۲</sub> O	۲,۵۱۷	۲,۵۳۷	۲,۳۹۵	۱,۹۸۷	۲,۳۲۴	۲,۲۵۹	۲,۲۶۶	۲,۰۲۴	۲,۰۲۴	۲,۰۲۴	۲,۰۲۴	۲,۰۵۶
K <sub>۲</sub> O	۰,۹۷۲	۰,۸۱۹	۰,۸۱۹	۰,۸۹۵	۱,۴۲۳	۱,۶۱۳	۰,۹۵۲	۰,۹۵۴	۰,۸۸۲	۰,۹۵۴	۰,۹۵۴	۰,۹۵۴
NiO	۰,۰۳۰	۰,۰۱۷	۰,۰۱۷	۰,۰۰۰	۰,۰۳۱	۰,۰۳۱	۰,۰۳۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰
مجموع	۹۶,۹۲۸	۹۷,۳۹۶	۹۷,۷۸۷	۹۶,۷۸۷	۹۷,۴۱۱	۹۷,۱۷۷	۹۷,۴۳۸	۹۷,۴۶۱	۹۷,۴۹۱	۹۷,۴۳۲	۹۷,۴۹۱	۹۷,۵۷۲

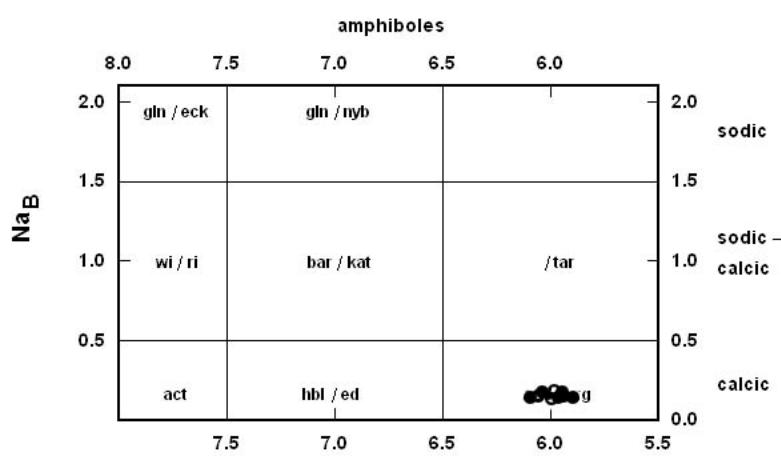
کاتیون‌ها

Si	۶,۰۹۶	۵,۹۹۷	۵,۹۴۱	۵,۹۱	۶,۵۰۳	۶,۰۱۳	۶,۰۶۶	۶,۱۸۲	۶,۰۰۲	۶,۱۳۵	۶,۱۳۵	۵,۸۹۹
Ti	۰,۲۳۸	۰,۳۱۰	۰,۲۲۴	۰,۱۳۷	۰,۲۲۲	۰,۲۲۲	۰,۲۸۳	۰,۲۴۳	۰,۲۵۲	۰,۲۷۲	۰,۲۵۲	۰,۲۷۲
Al	۲,۱۶۰	۲,۲۵۸	۲,۲۵۸	۲,۱۳۲	۲,۳۹۲	۱,۹۳۲	۲,۲۶۸	۲,۲۳۴	۲,۰۸۴	۲,۱۴۰	۲,۱۴۰	۲,۴۴۴
Cr	۰,۰۰۲	۰,۰۰۴	۰,۰۰۴	۰,۰۰۳	۰,۰۰۵	۰,۰۰۷	۰,۰۰۰	۰,۰۰۴	۰,۰۰۴	۰,۰۰۱	۰,۰۰۱	۰,۰۰۱
Fe <sup>۲+</sup>	۰,۵۶۵	۰,۵۲۱	۰,۷۰۲	۰,۷۸۳	۰,۳۸۳	۰,۶۴۱	۰,۵۲۸	۰,۴۵۹	۰,۵۵۸	۰,۶۰۰	۰,۶۰۰	۰,۵۸۳
Fe <sup>۳+</sup>	۰,۷۰۲	۱,۱۸۸	۱,۱۸۸	۰,۸۰۵	۰,۸۳۹	۰,۸۳۹	۰,۵۶۳	۱,۲۹۰	۱,۳۶۳	۱,۱۶۸	۰,۹۵۰	۱,۲۳۰
Mn	۰,۰۱۴	۰,۰۳۹	۰,۰۱۷	۰,۰۲۷	۰,۰۱۵	۰,۰۳۳	۰,۰۴۸	۰,۰۲۶	۰,۰۲۵	۰,۰۲۵	۰,۰۳۷	۰,۰۳۷
Mg	۳,۲۳۴	۲,۶۷۰	۲,۹۲۲	۳,۱۸۰	۳,۲۸۸	۲,۶۲۸	۲,۵۷۲	۲,۶۵۱	۲,۹۷۲	۲,۹۷۲	۲,۵۲۸	۱,۲۳۰
Ca	۱,۸۳۹	۱,۸۶۸	۱,۸۶۸	۱,۸۲۳	۱,۷۹۸	۱,۷۹۸	۱,۸۲۶	۱,۸۳۱	۱,۸۵۰	۱,۷۷۸	۱,۷۷۸	۱,۸۶۳
Na	۰,۷۱۵	۰,۷۳۱	۰,۶۸۶	۰,۶۸۶	۰,۵۵۹	۰,۶۵۵	۰,۶۵۳	۰,۶۵۵	۰,۷۲۳	۰,۷۲۳	۰,۷۳۸	۰,۷۳۸
K	۰,۱۸۱	۰,۱۵۵	۰,۱۵۵	۰,۱۸۹	۰,۱۸۹	۰,۲۲۵	۰,۲۶۴	۰,۳۰۶	۰,۱۸۰	۰,۱۷۹	۰,۱۶۵	۰,۱۸۰
Ni	۰,۰۰۴	۰,۰۰۲	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۳	۰,۰۰۳	۰,۰۰۴	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰
مجموع	۱۵,۷۵۰	۱۵,۷۴۳	۱۵,۷۴۳	۱۵,۷۰۵	۱۵,۷۰۵	۱۵,۷۷۵	۱۵,۷۷۵	۱۵,۷۸۱	۱۵,۷۸۱	۱۵,۷۴۳	۱۵,۷۴۳	۱۵,۷۵۰

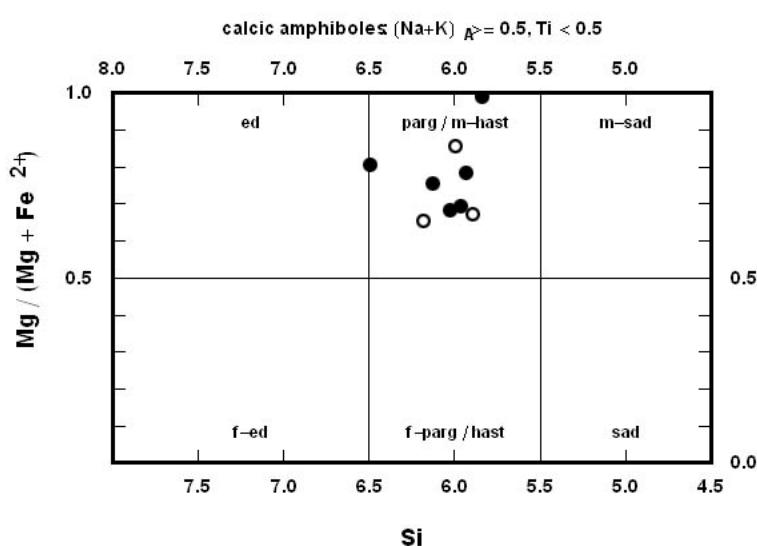
جدول ۲ نتیجه آنالیز ریزپردازش فنورکریستهای فلدسپات و محاسبه فرمول ساختاری آنها بر پایه ۸ اکسیژن ساختاری (اکسیدها بر حسب درصد). عالمت  $\times$  مربوط به نمونه‌های درون برونبوم است.

جدول ۳ نتیجه آنالیز ریزپردازش بیوتیت‌های موجود در سنگ‌های آتشفشاری (اکسیدها بر حسب درصد وزنی) و محاسبه فرمول ساختاری آنها بر پایه ۲۲ اکسیژن ساختاری (علامت  $\times$  مربوط به نمونه‌های درون برنیوم‌هاست).

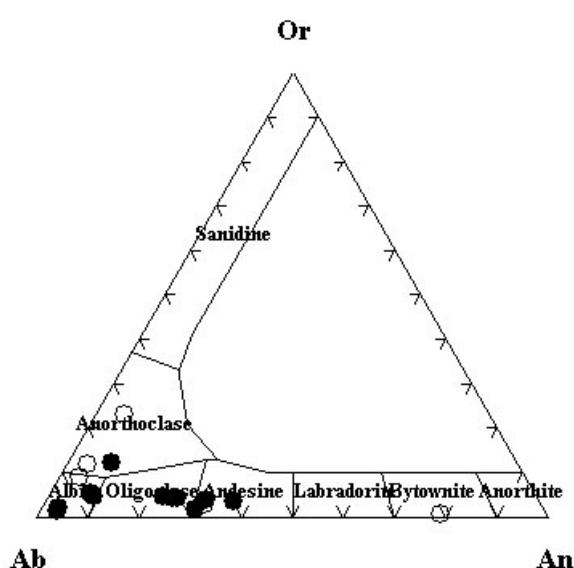
$\times ۸۱$ نمونه	$\times ۱۰$ نمونه	۷۸ نمونه	۷۷ نمونه	۷۶ نمونه	۵۹ نمونه	اکسیدها
۳۶,۵۲۵	۳۶,۲۱۶	۳۶,۴۰۲	۳۷,۴۴۷	۳۷,۵۵۰	۳۶,۷۳۸	$\text{SiO}_۴$
۲,۲۹۶	۲,۹۴۱	۳,۱۳۲	۲,۶۶۲	۳,۱۲۱	۳,۲۰۲	$\text{TiO}_۴$
۱۵,۹۷۶	۱۵,۵۵۲	۱۵,۳۷۲	۱۵,۴۳۵	۱۴,۹۸۶	۱۵,۷۳۸	$\text{Al}_۲\text{O}_۴$
۰,۰۰۶	۰,۰۱۳	۰,۰۰۰	۰,۰۴۰	۰,۰۷۴	۰,۰۵۸	$\text{Cr}_۲\text{O}_۴$
۱۸,۰۳۲	۱۸,۶۳۸	۱۸,۶۷۱	۱۷,۷۴۷	۱۷,۶۷۰	۱۴,۱۳۴	$\text{FeO}$
۰,۳۱۷	۰,۳۱۲	۰,۳۲۸	۰,۳۵۳	۰,۴۲۶	۰,۱۸۴	$\text{MnO}$
۱۲,۱۳۱	۱۱,۸۹۸	۱۱,۸۲۵	۱۲,۴۲۰	۱۲,۲۲۰	۱۴,۹۰۶	$\text{MgO}$
۰,۰۴۴	۰,۰۰۲	۰,۰۱۷	۰,۰۰۶	۰,۰۱۲	۰,۰۰۰	$\text{CaO}$
۰,۲۶۵	۰,۳۰۵	۰,۳۲۴	۰,۲۷۷	۰,۲۱۳	۰,۳۵۴	$\text{Na}_۲\text{O}$
۹,۱۶۱	۹,۲۹۷	۹,۳۶۸	۹,۳۵۳	۹,۲۵۷	۹,۴۳۸	$\text{K}_۲\text{O}$
۰,۰۳۷	۰,۰۰۴	۰,۰۰۰	۰,۰۱۳	۰,۰۲۵	۰,۰۳۲	$\text{NiO}$
۹۴,۷۹۰	۹۵,۱۷۸	۹۵,۴۴۹	۹۵,۷۵۳	۹۵,۵۵۴	۹۴,۷۸۴	مجموع
کاتیون‌ها						
۲,۷۸۳	۲,۷۶۳	۲,۷۷۰	۲,۸۱۹	۲,۸۳۱	۲,۷۵۴	$\text{Si}$
۰,۱۳۲	۰,۱۶۹	۰,۱۷۹	۰,۱۵۱	۰,۱۷۷	۰,۱۸۰	$\text{Ti}$
۱,۴۳۵	۱,۳۹۸	۱,۳۷۹	۱,۳۷۰	۱,۳۳۲	۱,۳۹۰	$\text{Al}$
۰,۰۰۱	۰,۰۰۱	۰,۰۰۰	۰,۰۰۲	۰,۰۰۰۴	۰,۰۰۴	$\text{Cr}$
۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	$\text{Fe}^{+۲}$
۱,۱۴۹	۱,۱۸۹	۱,۱۸۸	۱,۱۱۷	۱,۱۱۴	۰,۸۸۶	$\text{Fe}^{+۳}$
۰,۰۲۱	۰,۰۲۰	۰,۰۲۱	۰,۰۲۲	۰,۰۲۷	۰,۰۱۱	$\text{Mn}$
۱,۳۷۸	۱,۳۵۳	۱,۳۴۳	۱,۳۹۴	۱,۳۷۴	۱,۶۶۶	$\text{Mg}$
۰,۰۰۳	۰,۰۰۰	۰,۰۰۲	۰,۰۰۱	۰,۰۰۱	۰,۰۰۰	$\text{Ca}$
۰,۰۴۰	۰,۰۴۶	۰,۰۴۷	۰,۰۴۱	۰,۰۳۱	۰,۰۵۱	$\text{Na}$
۰,۸۹۰	۰,۹۰۵	۰,۹۱۰	۰,۸۹۸	۰,۸۹۱	۰,۹۰۳	$\text{K}$
۰,۰۰۲	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۱	۰,۰۰۲	۰,۰۰۲	$\text{Ni}$
۷,۸۳۴	۷,۸۴۴	۷,۸۳۹	۷,۸۱۶	۷,۷۸۴	۷,۸۴۷	مجموع



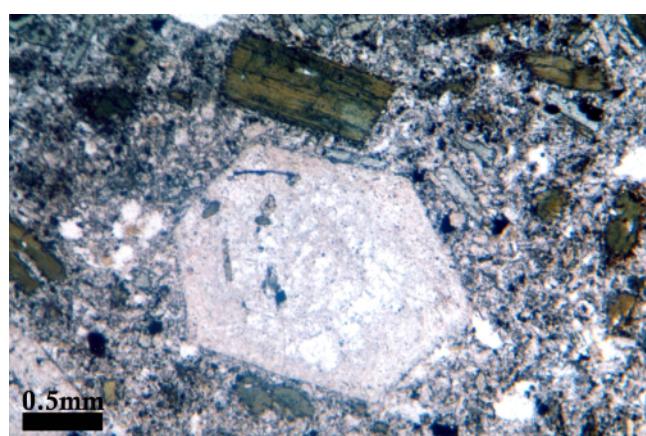
شکل ۱۲ نمودار تقسیم بندی آمفیبولها [۱۲]، در شکل مشخص است نمونه‌های مورد آنالیز در بخش کلسیک قرار می‌گیرند (دوایر توپر مربوط به نمونه‌های درون سنگ‌های آتشفشاری و دوایر توخالی مربوط به نمونه‌های درون برنیوم‌هاست).



شکل ۱۳ نمودار آمفیبول‌ها [۱۲]، نمونه‌های آنالیز شده در گسترهٔ منیزیوهاستینگست قرار دارند (علاوهً مانند شکل ۱۲).



شکل ۱۴ فلدویت‌های موجود در سنگ‌های آتشفشاری، (دواوی توبیر) و پر نیوم‌های آنها (دواوی توخال).



شکل ۱۵ تصویری از فن‌کریستهای در تعادل پلازیوکلاز و آمفیبیول (نور PPL).

جدول ۴ دماهای محاسبه شده در فشارهای ۱ تا ۱۰ کیلوبار برای زوج‌های آمفیبیول و پلازیوکلاز انتخابی و مقادیر میانگین آنها در سنگ‌های آتشفشارانی شمال انارک.

فشار(کیلو	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
نمونه ۱	۹۲۳	۸۳۴	۸۴۵	۸۵۶	۸۶۷	۸۷۹	۸۹۰	۹۰۱	۹۱۲	۸۲۳
نمونه ۲	۸۴۵	۸۵۶	۸۶۸	۸۷۹	۸۹۱	۹۰۲	۹۱۴	۹۲۵	۹۳۷	۸۴۵
نمونه ۳	۸۳۵	۸۴۴	۸۵۲	۸۶۰	۸۶۸	۸۷۶	۸۸۴	۸۹۲	۹۰۱	۸۳۵
نمونه ۴	۸۳۹	۸۴۹	۸۵۸	۸۶۷	۸۷۷	۸۸۶	۸۹۵	۹۰۴	۹۱۳	۸۳۹
میانگین	۹۲۵	۹۱۶	۹۰۵	۸۹۶	۸۸۶	۸۷۶	۸۶۵	۸۵۶	۸۴۶	۸۳۵

آتشفشارانی را ساخته‌اند. به عبارت دیگر برونبوم‌ها معادلهای

#### برداشت

درونی سنگ‌های آتشفشارانی هستند. ماگمای تشکیل دهنده سنگ‌های آتشفشارانی اوسن در شمال انارک دارای وشکسانی نسبتاً بالایی است، زیرا این گدازه مولد دارای فوران‌های گسترده نبوده و بیشتر بیرون زدگی‌های این سنگ‌ها به صورت گنبد است.

سنگ‌های آتشفشارانی مورد مطالعه، شیسته‌های پرکامبرین و افیولیت ملاتر عشین - زوار را قطع کرده‌اند، ولی آنها را دگرگون نساخته و تنها آثار پختگی اندکی مشاهده می‌شود. نتایج آنالیز ریزپردازش نشان می‌دهد که ترکیب آمفیبیول-های موجود در سنگ‌های آتشفشارانی شمال انارک و نیز آمفیبیول‌های موجود در برونبوم‌های آنها مشابه و از نوع آمفیبیول کلسيک و نوع منيزيوهاستينگسيت است.

شباهت ترکیب آمفیبیول‌های موجود در متن سنگ با آمفیبیول‌های موجود در برونبوم‌ها می‌تواند نشانه‌ای دال بر مشترک بودن خاستگاه ماگمای مولد سنگ آتشفشارانی و برونبوم موجود در آن باشد. از طرف دیگر، شباهت بسیار نزدیک میان ترکیب بیوتیت‌های موجود در متن سنگ‌های آتشفشارانی، و برونبوم‌های همراه، شاهد دیگری بر این مدعای است.

بر پایه شباهت ترکیب کانی‌شناسی برونبوم‌های مورد بحث و سنگ آتشفشارانی میزان ممکن است سنگ خاستگاه این دو یکسان بوده و پس از ذوب بخشی گروهی در زیر سطح زمین منجمد شده و تشکیل سنگ‌های پلوتونیک را داده‌اند و گروه دیگر پس از رسیدن به سطح زمین منجمد شده و سنگ‌های

فلدسپات‌های موجود در سنگ‌های آتشفشارانی و نیز

برونبوم‌های آنها شامل پلازیوکلازهای آندزین - الیگوکلاز، فلدسپات‌های قلیایی و پلازیوکلاز نوع بیتونیت است.

دمای تبلور فنوکربست‌های آمفیبیول و پلازیوکلاز بر پایه معادلات زمین دما‌سنجی در حدود ۹۲۵ - ۸۳۵ درجه سانتی- گراد محاسبه شده است.

#### تشکر و قدردانی

بدین وسیله از تحصیلات تكمیلی دانشگاه اصفهان سپاسگذاری می‌شود.

#### مراجع

[1] Reyer D., Mohafez S., "The first contribution of the NIOC-ERAP agreements to knowledge of Iranian geology", edition techniq, Paris, (1972) 58p.

[۲] ترابی ق، "پترولوری افیولیت‌های منطقه انارک (شمال شرق استان اصفهان)"، رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، (۱۳۸۳)، ۲۴۰ صفحه.

[۳] نبوی م. ح، "دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی، (۱۳۵۵) ۱۰۹ صفحه.

[4] Stocklin J., Nabavi M. H., "Tectonic map of Iran", Geol. Surv. Iran. (1973).

*subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on New Minerals and Mineral Names*”, European Journal of Mineralogy, 9 (1997) 623–651.

[13] Sisson T. W., Grove T. L., “*Experimental investigations of the role of H<sub>2</sub>O in calc-alkaline differentiation and subduction zone magmatism*”, Contributions to Mineralogy and Petrology, 113 (1993) 143-166.

[14] 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.

[15] Stein E., 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.

[16] Claeson D. T., Meurer W. P., “*An occurrence of igneous orthorhombic amphibole, Eriksberg gabbro, southern Sweden*”, American Mineralogist, 87 (2002) 699-708.

[۵] آقاباتی ع., ”زمین‌شناسی ایران“، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، (۱۳۸۳) ۵۸۶ صفحه.

[۶] خسرو تهرانی خ., ”زمین‌شناسی ایران“، انتشارات دانشگاه پیام، (۱۳۷۷) ۳۲۷ صفحه.

[۷] درویش زاده ع., ”زمین‌شناسی ایران“، انتشارات امیرکبیر، (۱۳۷۰) ۹۰۱ صفحه.

[۸] Technoexport, “*Geological maps of Anarak (1.250,000), Anarak (1.100,000), No. G7; Sheet: 6756; Sheet: 6656, respectively*”, Geological Survey of Iran, (1984).

[۹] Technoexport, “*Geology of the Anarak area (Central Iran)*”, Geological Survey of Iran, Report TE/No. 19. (1984).

[۱۰] Dachs, E., “*PET: Petrological elementary tools for Mathematica*”, Computers and Geoscience, 24 (1998) 219-235.

[۱۱] Dachs, E., “*PET: Petrological elementary tools for Mathematica: an update*”, Computers and Geoscience, 30 (2004) 173-182.

[۱۲] Leake B. E., Woolley A. R., Birch W. D., et al., “*Nomenclature of amphiboles—Report of the*