

بررسی تغییرات ترکیب شیمیایی کانی‌های دگرگونه در سنگ‌های بازیگ میلوئیتی و متاسوماتیک شمال باختر ارومیه

کوروش محمدیها^۱، مسیب سبزه‌ای^۲، مهرداد قهرایی پور^۱، عبدالله کوثری تربه‌بر^۳

^۱ کارشناس ارشد، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

^۲ دکتری، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

^۳ کارشناس ارشد، سازمان انرژی‌های نو ایران، دفتر زمین گرمایی

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۶/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۱/۲۷

چکیده

منطقه مورد مطالعه بخشی از پهنه سندانج - سیرجان بوده که به طور عمده از سنگ‌های دگرگونی تشکیل یافته است و دارای سنگ‌های متنوعی با منشا آذرین اسیدی و بازیگ است. مطالعه و بررسی سنگ‌های دگرگون شده بازیگ منطقه حاکی از این است که متاسوماتیسم و دگرریختی مکانیکی دو فرایند اصلی تبلور دگرگونی بوده و تغییرات شیمیایی همراه با پیشرفت متاسوماتیسم و دگرشکلی ایجاد شده است (محمدیها، ۱۳۷۹). آمفیبول و پلاژیوکلاز از جمله کانی‌های اصلی موجود در سنگ‌های بازیگ منطقه هستند و در این نوشتار سعی شده است تا ماهیت تغییرات شیمیایی آمفیبول‌ها و پلاژیوکلازهای دگرگونی با توجه به سنگ‌های میزبان و تغییرات پیشرونده مورد بررسی قرار گیرد. نتایج حاصل از تجزیه میکروپروب کانی‌های آمفیبول نشان می‌دهد که طی میلوئیتی شدن گابروها در این منطقه میزان Al_2O_3 و TiO_2 افزایش و میزان MgO و MnO کاهش یافته است و نیز متاسوماتیسم باعث افزایش میزان Al_2O_3 و Na_2O در این کانی‌ها شده است. نتایج تجزیه مربوط به کانی پلاژیوکلاز بیانگر آن است که طی میلوئیتی و متاسوماتیسم شدن میزان CaO کاهش یافته و در عوض در اثر متاسوماتیسم شدن میزان Al_2O_3 و Na_2O در آن افزایش می‌یابد. به طور کلی این تغییرات تحت تأثیر ترکیب شیمیایی توده، شرایط فشار و حرارت، فوگاسیته اکسیژن و حضور فازهای متعادل با این کانی‌هاست. افزایش میزان Al باعث افزایش جانشینی چرماتیکی در آمفیبول‌های سنگ‌های دگرریخت شده می‌شود و از طرفی افزایش میزان Na در سنگ‌های متاسوماتیک، باعث شده که جانشینی ادیتی در آمفیبول این قبیل سنگ‌ها از جانشینی‌های شاخص به شمار آید.

کلید واژه‌ها: تغییرات شیمیایی، سنگ‌های دگرگونی بازیگ، میلوئیت، متاسوماتیسم، آمفیبول، پلاژیوکلاز، ارومیه

* نویسنده مسئول: کوروش محمدیها

E-mail: K.Mohammadiha@gmail.com

۱- مقدمه

هستند. خط‌وارگی این سنگ‌ها بیشتر به دلیل کشیدگی و انتظام کانی‌هایی مانند آمفیبول در اثر نیروهای برشی به وجود آمده است و می‌توان آنها را ناشی از فرایند میلوئیتی شدن در نظر گرفت. در بیشتر مناطق در داخل توده‌های آمفیبولیتی بقایایی از گابرو و دیوریت که به طور سالم بافت اولیه از دگرریختی و دگرگونی در امان مانده‌اند وجود دارد و این مطلب نشان می‌دهد که آمفیبولیت‌های این گروه از فرایند میلوئیتی شدن و دگرریختی توده‌های بازیگ درونی به وجود آمده‌اند. (۲) آمفیبولیت‌هایی که فابریک خط‌وارگی ضعیفی نشان می‌دهند و یا فاقد آن هستند که این مطلب نشانگر تأثیر ناچیز نیروهای برشی در این قبیل از سنگ‌ها است. این سنگ‌ها در مناطقی دیده می‌شوند که توده‌های اسیدی مانند گرانیت به داخل توده بازیگ یا اولترابازیگ نفوذ کرده‌اند. پس می‌توان نتیجه گرفت که این چنین آمفیبولیت‌ها در اثر متاسوماتیسم سنگ‌های بازیگ و اولترابازیگ حاصل شده‌اند.

به منظور بررسی تغییرات شیمیایی طی پدیده دگرریختی و متاسوماتیسم از بین کانی‌های مختلف کانی‌های آمفیبول و پلاژیوکلاز که در تمام سنگ‌های این منطقه به وفور یافت می‌شوند انتخاب شده و در آزمایشگاه الکترون میکروپروب سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور و با روش W.D.S تحت تجزیه نقطه‌ای قرار گرفته‌اند (پیوست ۱ و ۲).

۳-۱. آمفیبول

برای بررسی و سنجش بهتر، این کانی را در قالب ۳ دسته سنگ موجود در منطقه به صورت زیر تفکیک می‌کنیم:

- ۱-۷۴: میانگین ترکیبی آمفیبول‌های اولیه موجود در گابروها (سنگ مادر) (شکل ۲)
 - ۱-۹۱: میانگین ترکیبی آمفیبول‌های حاصل از میلوئیتی‌زاسیون (شکل ۳)
 - ۵-۷۴: میانگین ترکیبی آمفیبول‌های حاصل از متاسوماتیسم (شکل ۴)
- همانگونه که در شکل ۵ مشخص است، میزان Al_2O_3 آمفیبول‌های حاصل از

مطالعه جزئیات سنگ‌های حاصل از دگرریختی و نیز متاسوماتیسم گابروهای منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که ارتباط محکمی بین واکنش‌های شیمیایی و عوامل مکانیکی وجود دارد. در واقع دگرریختی، زمینه را برای ایجاد واکنش و یا پیشرفت واکنش مهیا می‌سازد و در نبود دگرریختی، پیشرفت واکنش‌ها محدود می‌شود. برای پی بردن به این ارتباط، اقدام به تجزیه نقطه‌ای (میکروپروب) کانی‌های موجود در سنگ‌های گابرویی (دارای بافت آذرین) به عنوان سنگ اولیه، آمفیبولیت‌های حاصل از میلوئیتی شدن گابروها و نیز متاسوماتیت‌ها که حاصل متاسوماتیسم گابروها توسط توده‌های اسیدی هستند، شده است. سنگ‌های دگرگونی این منطقه در قلمرو سنگ‌های بازیگ جای دارند و واکنش‌های شیمیایی در حین دگرگونی در این سنگ‌ها برخلاف سنگ‌های پلیتی از نوع واکنش‌های پیوسته است.

۲- موقعیت جغرافیایی

منطقه مورد مطالعه در شمال و شمال باختری شهرستان ارومیه بین طول‌های جغرافیایی $45^{\circ} 44'$ و $45^{\circ} 00'$ و عرض‌های جغرافیایی $37^{\circ} 45'$ و $38^{\circ} 00'$ قرار گرفته است. این منطقه بخشی از پهنه سندانج - سیرجان بوده که به طور عمده از سنگ‌های دگرگونی تشکیل یافته است و مشتمل بر سنگ‌های متنوعی با منشا آذرین اسیدی، بازیگ و رسوبی است، (سبزه‌ای و محمدیها، ۱۳۸۳).

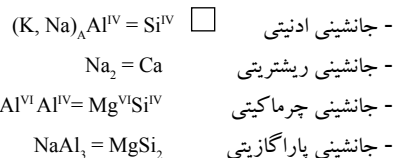
۳- بحث

سنگ‌های دگرگونی مورد مطالعه شامل توالی ستبری از آمفیبولیت‌های نواری هستند که عموماً از کانی‌های تیره آمفیبول (هورنبلند) و نوارهای سفید رنگ فلدسپات تشکیل شده‌اند. آمفیبولیت‌های موجود در منطقه را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد: (۱) آمفیبولیت‌هایی که دارای فابریک برگ‌وارگی و خط‌وارگی کاملاً مشخص

قرارگیری در شبکه این کانی را دارند، توانایی این را دارد که در پاسخ به تغییرات محیطی در نحوه قرارگیری و نوع کاتیون‌های موجود در ساختمان خود تغییراتی را ایجاد نماید. اگر فرمول کلی آمفیبول را به صورت $A(M_4)(M_1,3)(M_2)_2(OH)_2(T_1)4(T_2)$ فرض نماییم، مهم‌ترین اعضای نهایی آن به صورت نوشته شده در جدول ۱ است.

همانگونه که مشخص است، این اعضا با تغییر شرایط P-T و نیز ترکیب شیمیایی توده با جابجایی مکان کاتیون یا کاتیون‌ها و یا تعویض کاتیون‌ها به یکدیگر تبدیل می‌شوند. برای مثال از تلفیق ادنیت و هورنبلند - چرماکیتی، ساختار پاراگازیت حاصل می‌شود.

تغییرات ترکیبی مهمی که در آمفیبول‌ها رخ می‌دهد به صورت زیر است (Shido, 1958)



تغییرات فوق را می‌توان به وسیله یک نمودار سه تایی که رئوس آن شامل Al^{IV} (معادل ادنیت)، فضای خالی جایگاه A (هم‌ارز ترمولیت) و Al^{VI} می‌باشد نشان داد. شکل ۱۱ محل آمفیبول‌های موجود در سنگ‌های محدوده مورد مطالعه در این نمودار است. علاوه بر ادنیت و ترمولیت که در رئوس مثلث قرار دارند، ترکیبات پاراگازیت، چرماکیت و هورنبلند نیز در این نمودار جای دارند.

روند قرارگیری نمونه‌ها را می‌توان موازی با چند بردار که هر یک بیانگر یکی از جانشینی‌های اشاره شده در بالا است، تصور کرد که از این بین، بردار Tr-Ed (جانشینی ادنیتی) نمود بهتری دارد. این جانشینی زمانی تحقق می‌یابد که یک فضای خالی در جایگاه آلکالی‌ها (A) وجود داشته باشد که طبق این جانشینی Al^{IV} و Na به ترتیب در جایگاه خالی آلکالی‌ها و جایگاه تراهدری (به جای Si) جایگزین می‌گردند، (شکل ۱۲).

طی این جابه‌جایی وقتی که میزان Al^{IV} افزایش می‌یابد، به ناچار مقدار Al^{VI} کاهش می‌یابد (با فرض این که مقدار Al^{tot} در آمفیبول ثابت است) ناگزیر یک یا چند کاتیون که در جایگاه او کناهدرا جای دارند (Mn Mg, Fe^{+2} , Fe^{+3} , Ti, Ca) با افزایش خود این کمبود را جبران می‌نمایند.

یکی دیگر از جانشینی‌های موجود در نمونه‌های منطقه مورد مطالعه، جانشینی چرماکیتی است که طی آن Al^{IV} به جای Si و Al^{VI} به جای Mg می‌نشیند (شکل ۱۳). در آمفیبول‌های کلسیک معمولاً جانشینی ادنیتی با جانشینی چرماکیتی به نسبت ۱:۱ ترکیب شده (هرچند این نسبت با توجه به نوع سنگ و شرایط P-T ممکن است تغییر کند) و جانشینی پاراگازیتی را ایجاد می‌کند. به طور معمول در فشار متوسط ۸۰ تا ۹۰ درصد تغییرات شیمیایی در آمفیبول‌های کلسیک بین اکتینولیت و هورنبلند در راستای جانشینی پاراگازیتی انجام می‌شود، (Spear, 1973).

۳-۲. پلاژیوکلاز

نتایج حاصل از تجزیه میکروپروب پلاژیوکلازها (پیوست ۲) و ترکیب ساختاری آنها نشان می‌دهد که تغییرات قابل توجهی در داخل هر کدام از نمونه‌ها اتفاق افتاده است. نمونه‌هایی که دارای درصد بالایی از مؤلفه آنورتیتی هستند در سنگ‌های گابرویی و نیز سنگ‌های بازیگی که کمتر دگرریخت شده‌اند دیده می‌شوند ولی سنگ‌هایی که تحت تأثیر دگرریختی واقع شده‌اند و یا متحمل متاسوماتیسم گردیده‌اند به طور مرتب از میزان مؤلفه آنورتیتی آنها کاسته می‌شود.

تفاوت پلاژیوکلازهایی که تحت تأثیر دگرریختی و دگرگونی دینامیک قرار گرفته‌اند با پلاژیوکلازهایی که متأثر از متاسوماتیسم هستند در این است که پلاژیوکلازهای دگرریخت شده نسبت به پلاژیوکلازهای اولیه و پلاژیوکلازهای

میلونیتی شدن و آمفیبول‌های حاصل از متاسوماتیسم منطقه، از میزان Al_2O_3 آمفیبول‌های اولیه بیشتر است.

تغییرات Al تحت تأثیر دو عامل قرار دارد: الف) از آنجا که Al جزو عناصری است که تحرک بسیار پایینی دارد، مقدار آن در صورتی تغییر خواهد کرد که سرعت انتشار به دلیل بالا بودن حرارت، بالا باشد (Laird & Albee, 1981). این تفسیر زمانی درست است که مقدار Al در کل توده نیز افزایش یافته باشد. ب) اگر مقدار Al در کل سنگ ثابت باشد ولی مقدار آن در آمفیبول افزایش یافته باشد، می‌توان این تغییر را این گونه تفسیر کرد که رشد آمفیبول‌های آلومینیم‌دارتر حاکی از مرحله‌ای هستند که دگرریختی و تجزیه یک فاز آلومینیم‌دار مانند پلاژیوکلاز وجود داشته باشد. در این حالت بایستی شواهد کافی از تجزیه پلاژیوکلاز کلسیک و تشکیل پلاژیوکلاز سدیک‌تر داشته باشیم (Nyman & Tracy, 1993).

با توجه به مطالعات سنگ شناختی و نیز نتایج تجزیه نقطه‌ای پلاژیوکلازها در این سنگ‌ها، حالت دوم برای تغییرات Al منطقی‌تر به نظر می‌رسد.

آمفیبول‌های حاصل از میلونیتی شدن نسبت به دو گروه دیگر از MgO کمتری برخوردارند (شکل ۶). در آمفیبول‌ها تغییرات Mg مشابه تغییرات Fe^{+3} است. به عبارتی در آمفیبول‌های غنی از Fe^{+3} مقدار Mg نیز بالاست ولی Fe^{+2} از فراوانی کمتری برخوردار است. این تغییرات حاکی از تأثیر مستقیم فوگاسیته اکسیژن است، (Bard, 1970).

این مطلب را می‌توان این گونه بیان کرد که با بالا رفتن فوگاسیته اکسیژن، آهن کل موجود در آمفیبول بیشتر به صورت Fe^{+3} نمایان می‌شود و از پی آن مقدار Fe^{+2} در جایگاه او کناهدرا کاسته می‌گردد؛ بنابراین Mg کمبود Fe^{+2} را در این جایگاه جبران می‌کند و از نظر کمی افزایش می‌یابد و برعکس در مواقعی که فوگاسیته اکسیژن کاهش می‌یابد، مانند آنچه در این منطقه طی دگرریختی اتفاق افتاده، مقدار Mg نیز کاهش می‌یابد.

میزان Ca موجود در آمفیبول‌ها وابسته به فازهای کلسیم‌دار موجود در سنگ است. به این معنی که فازهایی از قبیل پیروکسن‌های کلسیم‌دار، پلاژیوکلازهای کلسیک، اسفن و اپیدوت میزان ورود کلسیم به شبکه آمفیبول را کنترل می‌کنند و با توجه به این که این فازها طی تغییرات دگرگونی و دگرریختی به یکدیگر تبدیل می‌شوند و تقریباً همواره در نمونه‌ها به همراه آمفیبول حضور دارند در نتیجه تغییرات چندانی در میزان CaO آمفیبول‌های ۳ گروه ذکر شده به وجود نمی‌آید (شکل ۷).

آمفیبول‌های حاصل از متاسوماتیسم نسبت به دو گروه دیگر از Na_2O بیشتری برخوردارند (شکل ۸) که این موضوع بیان‌کننده ورود مقدار زیادی سدیم به ترکیب سنگ طی متاسوماتیسم است که این تغییر شیمیایی در ترکیب آمفیبول نیز کاملاً آشکار است.

مقدار Ti موجود در آمفیبول‌ها تابع سه عامل است (Cooper & Lovering, 1970).

الف) افزایش درجه حرارت باعث افزایش Ti آمفیبول می‌گردد.
ب) حضور فازهای حاوی Ti مانند اسفن و ایلمنیت سبب کاهش مقدار Ti آمفیبول می‌شود.

ج) افزایش فوگاسیته اکسیژن باعث کاهش Ti آمفیبول می‌گردد.

با توجه به آنچه در مورد Mg گفته شد، مشخص گردید که طی میلونیتی شدن، فوگاسیته اکسیژن کاهش یافته و در نتیجه افزایش میزان Ti موجود در آمفیبول‌های حاصل از دگرریختی منطقه را می‌توان به این عامل نسبت داد (شکل ۹).

طبق مطالعات Hashimoto et al. (1977)، مقدار Mn آمفیبول‌ها با میلونیتی شدن کاهش می‌یابد، (شکل ۱۰).

آمفیبول از جمله کانی‌هایی است که به واسطه تنوع جایگاه‌های قرارگیری کاتیون‌ها در شبکه استوکیومتری و نیز به دلیل تنوع و فراوانی عناصری که قابلیت

متحرکی مانند Na, Si در پلاژیو کلازها دانست و به همین دلیل است که میزان Al_2O_3 در پلاژیو کلازهای حاصل از متاسوماتیسم نسبت به پلاژیو کلازهای اولیه و دگرشکل یافته کمتر شده است.

پایین بودن میزان CaO در پلاژیو کلازهای حاصل از متاسوماتیسم را نیز می توان به ورود Na نسبت داد و از مقایسه شکل های ۱۷ و ۱۹ می توان دریافت که چرا طی پدیده متاسوماتیسم به دلیل افزایش Na، پلاژیو کلازهای کلسیک به پلاژیو کلازهای سدیک تر تبدیل شده و با آزاد شدن Ca، کانی هایی مانند اپیدوت تشکیل می شوند. شواهد این موضوع در مقاطع میکروسکوپی سنگ های منطقه به روشنی دیده می شود. البته در پلاژیو کلازهای حاصل از میلوئیتی شدن نفوذ Na عامل اصلی به شمار نمی رود، بلکه دگرگونی دینامیک باعث تبدیل پلاژیو کلاز کلسیک به پلاژیو کلاز سدیک می گردد (شکل ۱۸).

۴- نتیجه گیری

آمفیبول ها و پلاژیو کلازهای موجود در سنگ های دگرگونی بازیک شمال باختر ارومیه از نظر ترکیب شیمیایی مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است که نتایج حاصل به شرح زیر است:

- براساس نتایج به دست آمده از تجزیه نقطه ای آمفیبول ها مشخص گردید طی میلوئیتی و متاسوماتیسم شدن میزان Al_2O_3 و TiO_2 در این کانی افزایش و میزان MgO، Na_2O و MnO کاهش می یابد و همچنین در پلاژیو کلازها نیز میزان Al_2O_3 و Na_2O افزایش یافته و از میزان CaO کاسته شده است که این تغییرات تحت کنترل ترکیب شیمی توده، شرایط P-T، فوگاسیته اکسیژن و حضور فازهای متعادل با این کانی ها است.

- به دلیل افزایش میزان Al آمفیبول هایی که تحت تأثیر دگرریختی قرار گرفته اند، جانیشینی چرمکیتی از جابجایی های شاخص به شمار می رود.

- تجزیه های شیمیایی و پاراژنز کانیایی در متاسوماتیت ها نشان می دهد که فرایند متاسوماتیسم در منطقه از نوع آکالین بوده که تأثیر آن به صورت جایگزینی پلاژیو کلازهای سدیک به جای پلاژیو کلازهای کلسیک و افزایش جانیشینی ادیتی در آمفیبول ها است.

متاسوماتیک از نظر اندازه، ابعاد کوچک تری دارند و افزون بر این، آثار دگرریختی مانند خاموشی موجی و تیغه های دگرریختی در آنها کاملاً مشهود است و در ضمن جهت یافتگی بسیار مشخصی در این دسته از پلاژیو کلازها وجود دارد. تمام نمونه ها شامل پلاژیو کلاز بوده و مقدار مؤلفه آنورتیتی آنها در محدوده $85 < An < 5\%$ قرار دارد. معمولاً پورفیرو کلاست ها از لحاظ ترکیبی در محدوده لابرادوریت و لابرادوریت - آندزین قرار می گیرند ولی دانه های ریز حاشیه پورفیرو کلاست ها و پلاژیو کلازهای متبلور شده در فولیاسیون و شکستگی ها در محدوده آندزین - اولیگو کلاز و اولیگو کلاز جای دارند. نمایش نمادین پلاژیو کلازهایی که تحت تأثیر متاسوماتیسم و دگرریختی قرار گرفته اند، با استفاده از نتایج تجزیه میکروپروپ به همراه عکس های میکروسکوپی گویای تغییرات مؤلفه آنورتیتی این کانی هاست (شکل های ۱۴ و ۱۵).

نکته قابل ذکر در مورد پلاژیو کلازهای حالت اخیر، همزیستی این کانی ها با کانی های گروه اپیدوت (اپیدوت، زونیزیت و کلینوزونیزیت) است که می توان نتیجه گرفت در اثر تغییرات قبل از دگرریختی، پلاژیو کلازهای کلسیک به دو مؤلفه کلسیک و سدیک تجزیه شده اند که مؤلفه های سدیک آن باعث تشکیل پلاژیو کلازهای آلپیتی تر (اولیگو کلاز) و مؤلفه کلسیک آن باعث تبلور کانی های گروه اپیدوت شده است.

برای پی بردن به تغییرات اکسیدهای نظیر Al_2O_3 ، CaO و Na_2O در پلاژیو کلازهای موجود در منطقه آنها را به ۳ گروه، پلاژیو کلازهای اولیه (حاصل از ماگما)، پلاژیو کلازهای حاصل از متاسوماتیسم و پلاژیو کلازهای حاصل از دگرریختی تقسیم کرده و نسبت به هم مورد سنجش و ارزیابی قرار داده ایم.

V4-1: میانگین ترکیبی پلاژیو کلازهای اولیه موجود در گابروها (سنگ مادر)

I9-1: میانگین ترکیبی پلاژیو کلازهای حاصل از میلوئیتی شدن

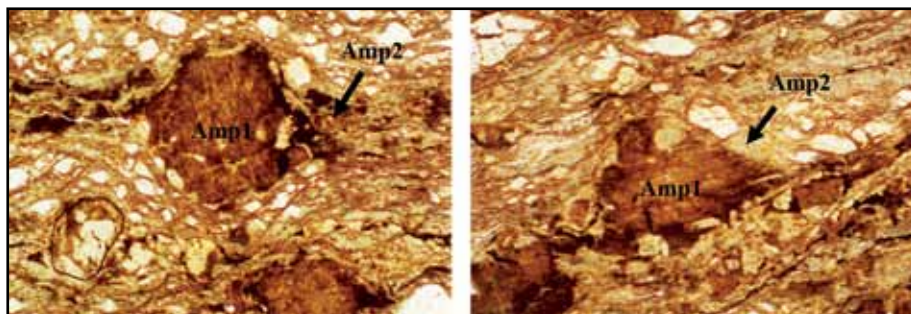
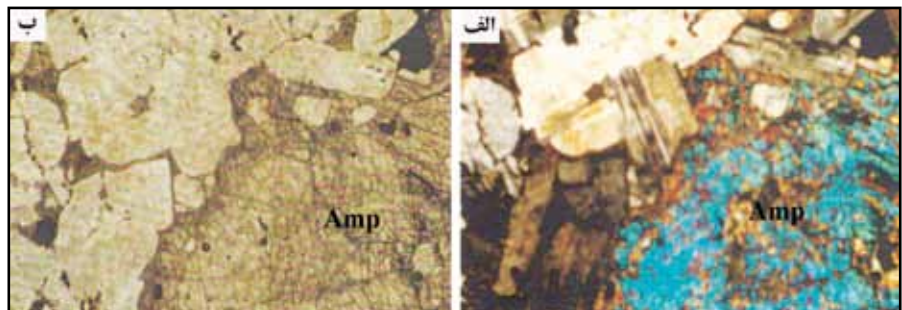
W4-5: میانگین ترکیبی پلاژیو کلازهای حاصل از متاسوماتیسم

همانگونه که در شکل ۱۶ که مشخص است، تغییرات Al_2O_3 در ۳ گروه از پلاژیو کلازها بسیار ناچیز بوده و کاهش نسبی آن در پلاژیو کلازهای حاصل از متاسوماتیسم را می توان این گونه بیان کرد که از آنجا که Al جزو کاتیون هایی است که تحرک بسیار پایینی دارد، کاهش نسبی آن را می توان ناشی از افزایش کاتیون های



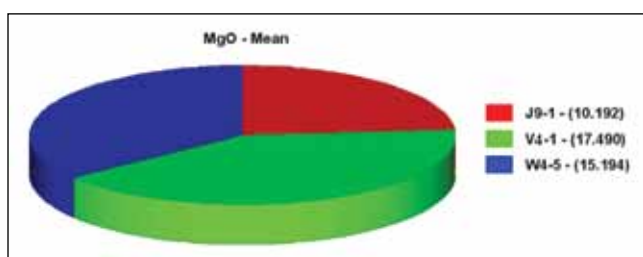
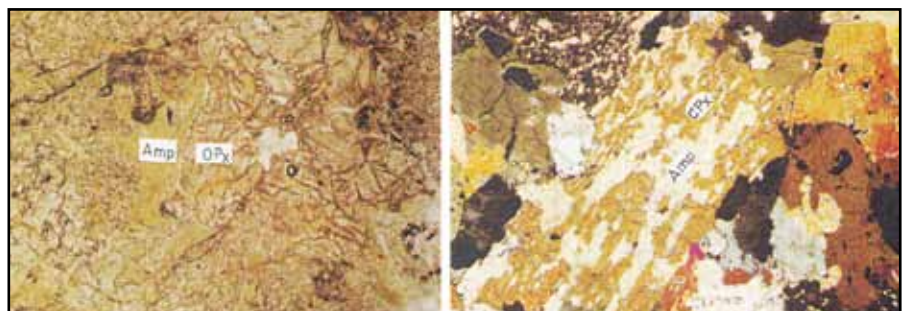
شکل ۱- موقعیت ورقه ۱:۰۰۰۰۰۰ سرو (گنگجین) و منطقه مورد مطالعه

شکل ۲- آمفیبول‌های موجود در سنگ‌های بازیگ منطقه که جزو سنگ‌های مادر (سنگ‌های ماگمایی هم‌ارز پروتولیت سنگ‌های دگرگونی) به شمار می‌آیند، (بزرگنمایی ۴۰). الف) نور پلاریزه، ب) نور طبیعی

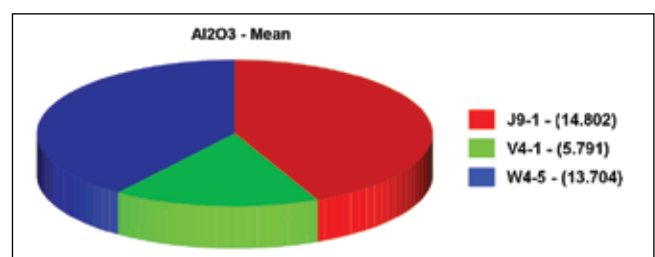


شکل ۳- آمفیبول‌هایی که به صورت پورفیرو کلاست از سنگ مادر به جا مانده‌اند (Amp1) و آمفیبول‌هایی که در حین میلونیتی شدن در مناطق سایه فشار پورفیرو کلاست‌ها تبلور یافته‌اند (Amp2)، (بزرگنمایی ۴۰)

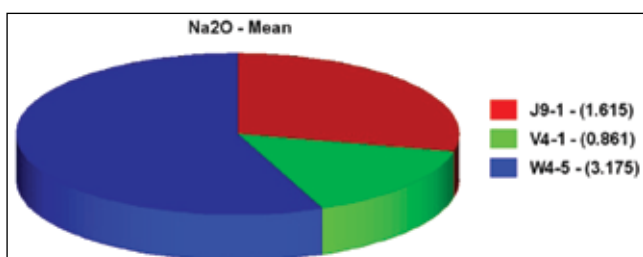
شکل ۴- آمفیبول‌هایی که در اثر متاسوماتیسم سنگ‌های بازیگ تشکیل شده‌اند، (بزرگنمایی ۴۰)



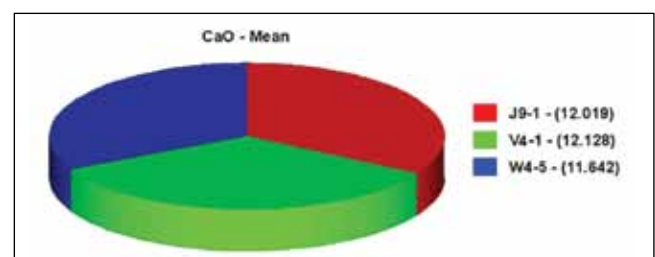
شکل ۶- مقایسه MgO آمفیبول‌های اولیه (V₄-1)، آمفیبول‌های حاصل از دگرشکلی (J₉-1) و آمفیبول‌های حاصل از متاسوماتیسم (W₄-5)



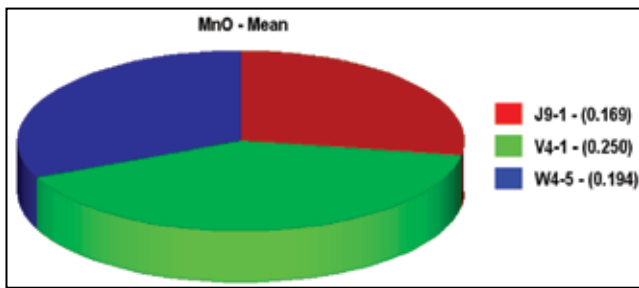
شکل ۵- مقایسه Al₂O₃ آمفیبول‌های اولیه (V₄-1)، آمفیبول‌های حاصل از دگرشکلی (J₉-1) و آمفیبول‌های حاصل از متاسوماتیسم (W₄-5)



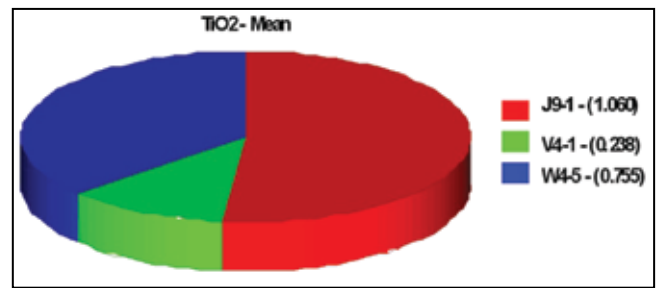
شکل ۸- مقایسه Na₂O آمفیبول‌های اولیه (V₄-1)، آمفیبول‌های حاصل از دگرشکلی (J₉-1) و آمفیبول‌های حاصل از متاسوماتیسم (W₄-5)



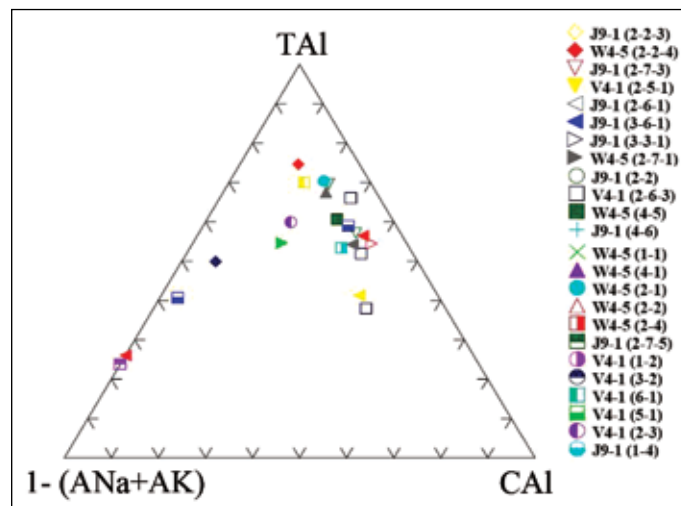
شکل ۷- مقایسه CaO آمفیبول‌های اولیه (V₄-1)، آمفیبول‌های حاصل از دگرشکلی (J₉-1) و آمفیبول‌های حاصل از متاسوماتیسم (W₄-5)



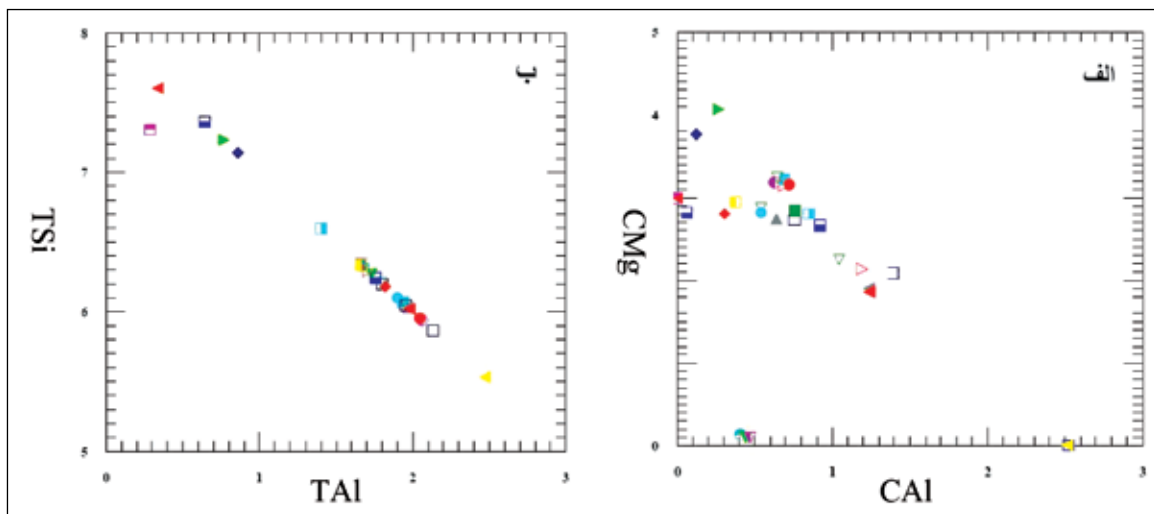
شکل ۱۰ - مقایسه MnO آمفیبول‌های اولیه (V₄-1)، آمفیبول‌های حاصل از دگرشکلی (J₉-1) و آمفیبول‌های حاصل از متاسوماتیسم (W₄-5)



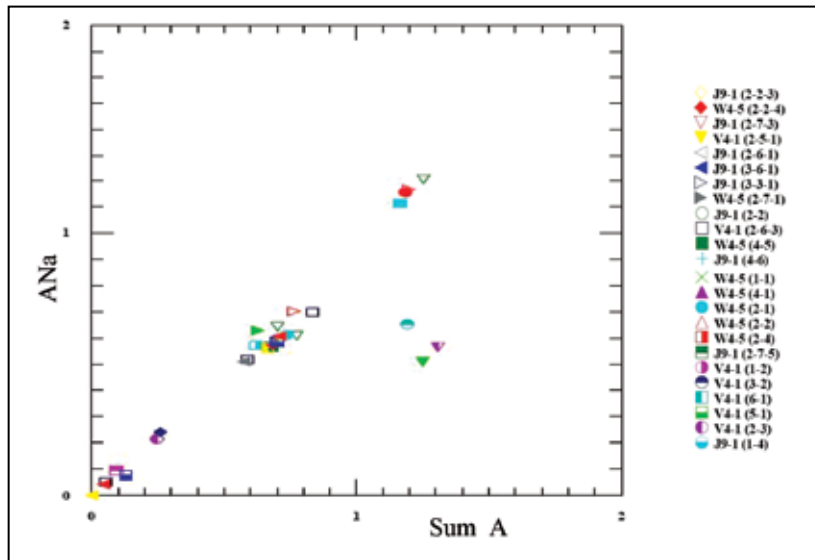
شکل ۹ - مقایسه TiO₂ آمفیبول‌های اولیه (V₄-1)، آمفیبول‌های حاصل از دگرشکلی (J₉-1) و آمفیبول‌های حاصل از متاسوماتیسم (W₄-5)



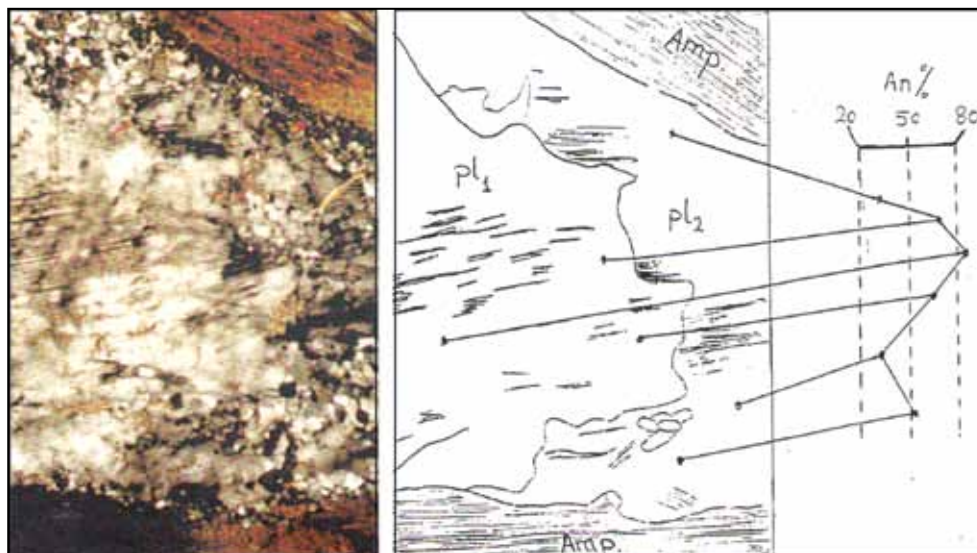
شکل ۱۱ - روند تغییرات ترکیبی میان آمفیبول‌های موجود در منطقه



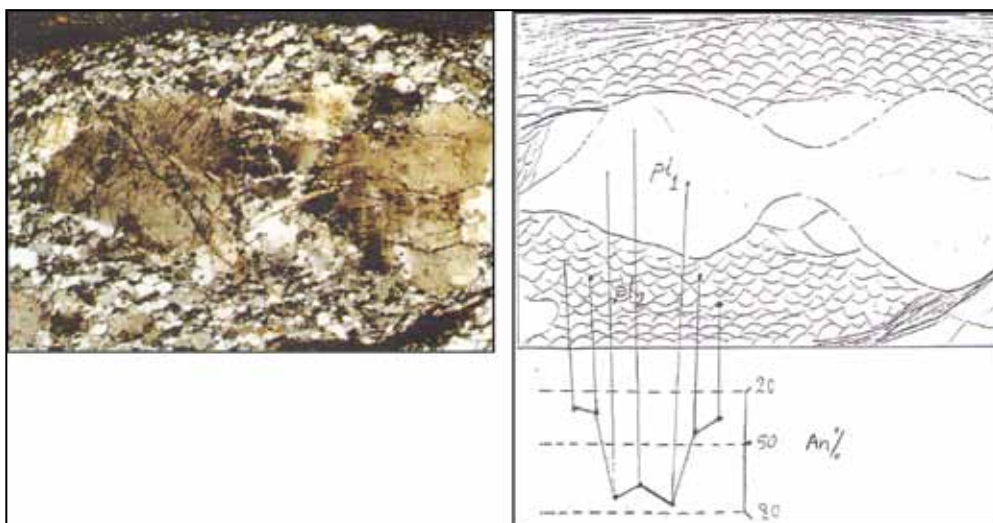
شکل ۱۲ - نمایش واکنش چرماکتی ($Al^{VI}Al^{IV} = Mg^{VI}Si^{IV}$)، الف) با افزایش Al در موقعیت تراهدر از میزان Si کاسته می‌شود. ب) با افزایش Al در موقعیت اکتاهدر از میزان Mg در این جایگاه کاسته می‌شود (نشانه نمونه‌ها مشابه شکل ۱۱ هستند).



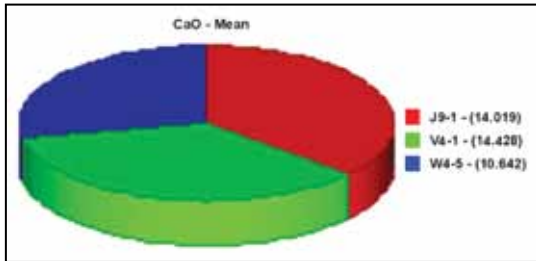
شکل ۱۳- نمایش واکنش ادنیته (□) $AAI^{IV} = Si^{IV} + (K, Na)$ با ورود Na میزان تصرف جایگاه A نیز افزایش یافته است



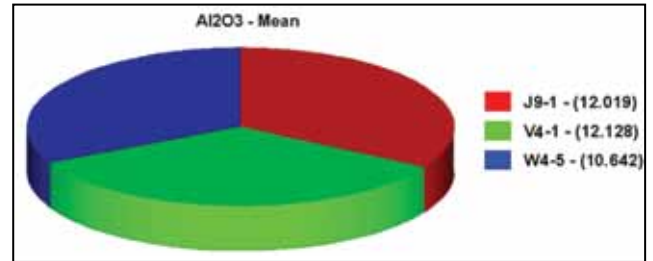
شکل ۱۴- تغییرات مؤلفه آنورتیتی پلاژیو کلازا ضمن فرایند متاسوماتیسم، بزرگنمایی ۴۰، (Pl₁ = پلاژیو کلاز اولیه، Pl₂ = پلاژیو کلاز نوزاد)



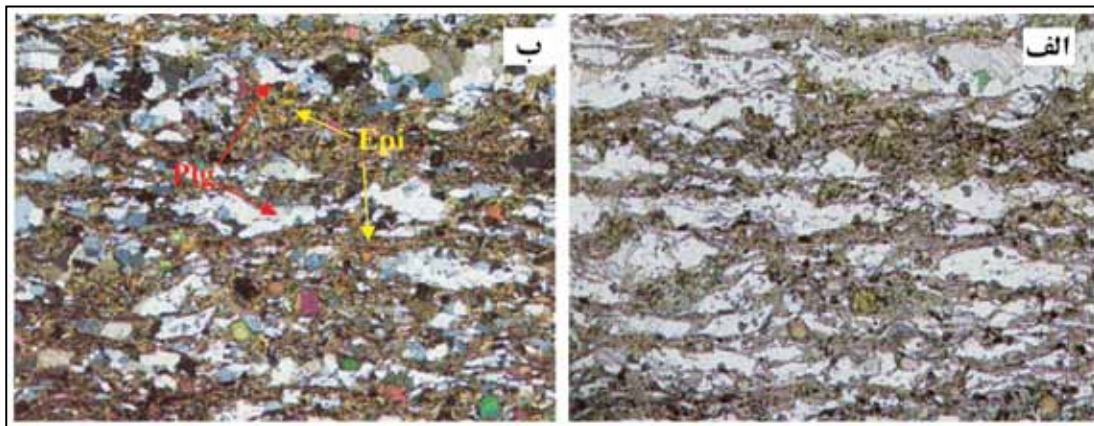
شکل ۱۵- تغییرات مؤلفه آنورتیتی پلاژیو کلازا ضمن فرایند میلوئیتی شدن، بزرگنمایی ۴۰، (Pl₁ = پلاژیو کلاز اولیه، Pl₂ = پلاژیو کلاز نوزاد)



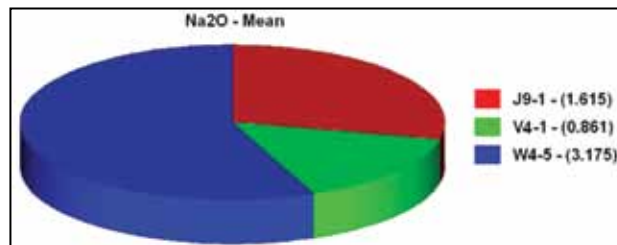
شکل ۱۷- مقایسه CaO پلاژیوکلازهای اولیه (V4-1)، پلاژیوکلازهای حاصل از دگرشکلی (J9-1) و پلاژیوکلازهای حاصل از متاسوماتیسم (W4-5)



شکل ۱۶- مقایسه Al₂O₃ پلاژیوکلازهای اولیه (V4-1)، پلاژیوکلازهای حاصل از دگرشکلی (J9-1) و پلاژیوکلازهای حاصل از متاسوماتیسم (W4-5)



شکل ۱۸- در اثر میلونیتی شدن پلاژیوکلازهای کلسیک به پلاژیوکلازهای سدیک تبدیل شده و به خرج آنها کانی‌هایی مانند اپیدوت و اسفن تشکیل می‌شود (بزرگنمایی ۴۰). الف) نور طبیعی ب) نور پلاریزه



شکل ۱۹- مقایسه Na₂O پلاژیوکلازهای اولیه (V4-1)، پلاژیوکلازهای حاصل از دگرشکلی (J9-1) و پلاژیوکلازهای حاصل از متاسوماتیسم (W4-5)

جدول ۱- مهم‌ترین اعضای نهایی آمفیبول.

	A	M4	M1,3	M2	T2	T1
Tr		Ca2	Mg3	Mg2	Si4	Si4
Ed	Na	Ca2	Mg3	Mg2	Si4	Al,Si3
Hb		Ca2	Mg3	Mg,Al	Si4	Al,Si3
Pg	Na	Ca2	Mg3	Mg,Al	Si4	Al ₂ ,Si ₂

پیوست ۱- نتایج حاصل از تجزیه میکروپروب کانی‌های آمفیبول در سنگ‌های منطقه

Group	V4-1							
	1-2	3-2	6-1	5-1	2-3	2-5-1	2-6-3	3-3-1
Sample	Amp.	Amp.	Amp.	Amp.	Amp.	Amp.	Amp.	Amp.
SiO ₂	49.990	49.483	37.389	36.877	37.215	37.041	40.38	50.447
TiO ₂	0.179	0.238	0.390	0.351	0.292	0	0.276	0.116
Al ₂ O ₃	1.653	5.791	10.464	10.869	10.613	28.356	18.98	1.894
FeO	12.291	11.805	33.088	33.121	32.939	9.203	15.97	17.724
MnO	0.297	0.250	1.20	2.080	0.953	0.015	0.211	0.293
MgO	13.754	17.490	1.550	.394	0.397	1.048	10.357	14.318
CaO	19.818	12.128	10.118	10.053	11.111	22.346	10.67	13.620
Na ₂ O	0.332	0.861	1.984	1.542	1.707	0	1.781	0.148
K ₂ O	0	0.105	2.508	3.419	3.418	0	0.369	0.015
Total	98.314	98.151	98.691	98.706	98.645	98.009	98.994	98.575
TSi	7.304	7.140	6.324	6.269	6.341	5.529	6.046	7.602
TAl	0.284	0.860	1.676	1.731	1.659	2.471	1.954	0.336
TFe3	0.412	0.000	0.000	0.000	0.000	0	0	0.062
TTi	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0	0	0.000
Sum_T	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8	8	8.000
CAI	0.000	0.124	0.409	0.445	0.470	2.514	1.393	0.000
CCr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0	0	0.000
CFe3	0.563	0.425	0.000	0.000	0.000	0	0	0.325
CTi	0.020	0.026	0.050	0.045	0.037	0	0.031	0.013
CMg	2.996	3.762	0.139	0.100	0.101	0.011	2.089	2.992
CFe2	0.283	0.664	4.398	4.411	4.392	0.899	1.488	1.594
CMn	0.037	0.000	0.006	0.000	0.000	0.002	0	0.037
CCa	1.102	0.000	0.000	0.000	0.000	1.574	0	0.038
Sum_C	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5	5	5.000
BMg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0	0	0.000
BFe2	0.000	0.095	0.000	0.014	0.017	0	0.262	0.000
BMn	0.000	0.031	0.166	0.156	0.138	0	0.027	0.000
BCa	2.000	1.875	1.834	1.831	1.846	2	1.712	2.000
BNa	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0	0	0.000
Sum_B	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2	2	2.000
ACa	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0	0	0.000
ANa	0.094	0.241	0.651	0.508	0.564	0	0.517	0.043
AK	0.000	0.019	0.541	0.741	0.743	0	0.07	0.003
Sum_A	0.094	0.260	1.192	1.250	1.307	0	0.588	0.046
Sum_cat	15.094	15.260	16.192	16.250	16.307	15	15.588	15.046
CCl	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0	0	0.000
CF	0.000	0.000	0.145	0.000	0.063	0	0	0.000
OH	0.629	0.615	0.049	0.049	0.049	0	0	0.801
Sum_oxy	23.000	23.000	23.012	23.026	23.096	23.022	23.044	23.000

ادامه پیوست ۱

Group	J9-1							
	2-2	4-6	1-4	2-2-3	2-6-1	2-7-3	2-7-5	3-6-1
Mineral	Amp.	Amp.	Amp.	Amp.	Amp.	Amp.	Amp.	Amp.
SiO ₂	42.208	41.11	43.868	41.626	41.088	36.699	39.379	47.459
TiO ₂	2.461	2.231	0.444	2.543	1.727	0.028	0.428	0.127
Al ₂ O ₃	13.217	13.97	12.728	11.399	15.076	16.659	15.283	3.84
FeO	13.831	14.657	14.247	15.488	14.755	19.464	19.260	20.818
MnO	0.213	0.131	0.172	0.373	0.211	0.115	0.038	0.108
MgO	13.037	12.735	12.501	12.983	12.531	9.596	10.569	12.188
CaO	10.729	11.362	11.775	11.938	10.898	13.814	11.482	13.517
Na ₂ O	2.126	2.127	1.962	1.904	2.092	1.909	2.100	0.254
K ₂ O	0.876	0.672	0.252	0.524	0.506	0.491	0.298	0.268
Total	98.698	98.995	97.949	98.778	98.884	98.775	98.837	98.579
TSi	6.24	6.1	6.596	6.335	6.032	6.02	6.208	7.359
TAI	1.76	1.9	1.404	1.665	1.968	1.98	1.792	0.641
Sum_T	8	8	8	8	8	8	8.000	8.000
CAI	0.541	0.541	0.85	0.378	0.638	1.238	1.045	0.060
CFe3	0	0.122	0	0.041	0.259	0.025	0.000	0.423
CTi	0.274	0.249	0.05	0.291	0.191	0.003	0.051	0.015
CMg	2.873	2.817	2.802	2.946	2.742	1.858	2.249	2.817
CFe2	1.312	1.271	1.298	1.344	1.17	1.876	1.655	1.686
CMn	0	0	0	0	0	0	0.000	0.000
CCa	0	0	0	0	0	0	0.000	0.000
Sum_C	5	5	5	5	5	5	5.000	5.000
BMg	0	0	0	0	0	0	0.000	0.000
BFe2	0.274	0.177	0.242	0.331	0.26	0.083	0.225	0.073
BMn	0.027	0.016	0.022	0.048	0.026	0.016	0.005	0.014
BCa	1.699	1.806	1.736	1.62	1.714	1.901	1.770	1.913
Sum_B	2	2	2	2	2	2	2.000	2.000
ANa	0.609	0.612	0.572	0.562	0.595	0.607	0.642	0.076
AK	0.165	0.127	0.048	0.102	0.095	0.103	0.060	0.053
Sum_A	0.775	0.739	0.62	0.664	0.69	0.71	0.702	0.129
Sum_cat	15.775	15.739	15.62	15.664	15.69	15.71	15.702	15.129
OH	0.622	0.627	0.632	0.802	0	0	0.000	0.824
Sum_oxy	23.051	23	23.083	23	23	23	23.028	23.000

ادامه پوست ۱

Group	W4-5							
	1-1	4-1	2-1	2-2	2-4	4-5	2-7-1	2-2-4
Mineral	Amp.	Amp.	Amp.	Amp.	Amp.	Amp.	Amp.	Amp.
SiO ₂	51.202	40.416	40.555	40.942	39.788	42.556	39.375	41.553
TiO ₂	0.414	0.754	0.813	0.950	0.735	1.258	0.349	3.128
Al ₂ O ₃	6.213	15.528	14.916	15.212	15.719	13.801	17.752	12.126
FeO	7.909	13.771	12.202	9.839	12.339	13.408	19.626	14.56
MnO	0.183	0.221	0.111	0.205	0.135	0.336	0.2	0.268
MgO	19.349	14.528	14.433	14.795	14.159	12.777	8.319	12.639
CaO	11.745	12.932	11.425	11.692	11.547	11.274	10.937	10.671
Na ₂ O	2.293	0.753	3.831	4.076	3.982	1.961	1.715	1.988
K ₂ O	0	0.176	0.284	0.163	0.155	0.594	0.337	0.583
Total	99.308	99.079	98.570	97.874	98.559	97.965	98.610	97.516
TSi	7.232	5.939	6.066	6.042	5.953	6.339	6.033	6.18
TAl	0.768	2.061	1.934	1.958	2.047	1.661	1.967	1.82
TFe3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0	0	0
TTi	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0	0	0
Sum_T	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8	8	8
CAI	0.266	0.627	0.694	0.686	0.723	0.759	1.236	0.303
CCr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0	0	0
CFe3	0.000	1.020	0.000	0.000	0.000	0	0.075	0.134
CTi	0.044	0.083	0.091	0.105	0.083	0.141	0.04	0.35
CMg	4.074	3.183	3.218	3.145	3.158	2.837	1.9	2.802
CFe2	0.616	0.088	0.996	1.064	1.037	1.263	1.748	1.411
CMn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0	0	0
CCa	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0	0	0
Sum_C	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5	5	5
BMg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0	0	0
BFe2	0.201	0.094	0.155	0.126	0.132	0.158	0.179	0.266
BMn	0.022	0.028	0.014	0.026	0.017	0.042	0.026	0.034
BCa	1.778	1.879	1.831	1.849	1.851	1.799	1.795	1.7
BNa	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0	0	0
Sum_B	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2	2	2
ACa	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0	0	0
ANa	0.628	0.215	1.111	1.166	1.155	0.566	0.51	0.573
AK	0.000	0.033	0.054	0.031	0.030	0.113	0.066	0.111
Sum_A	0.628	0.248	1.165	1.197	1.185	0.679	0.575	0.684
Sum_cat	15.628	15.248	16.165	16.197	16.185	15.679	15.575	15.684
CCI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0	0	0
CF	0.000	0.000	0.789	0.000	0.565	0	0	0
OH	0.594	0.634	0.629	0.621	0.630	0.627	0	0.786
Sum_oxy	23.107	23.000	23.054	23.068	23.013	23.03	23	23

پیوست ۲- نتایج حاصل از تجزیه میکروپروب کانی های پلاژیوکلاز در سنگ های منطقه

Group	V4-1							
Sample	1-1	1-3	2-1-1	2-2-1	3-1	4-3	1-4	4-1
Mineral	Pl.	Pl.	Pl.	Pl.	Pl.	Pl.	Pl.	Pl.
SiO ₂	45.737	46.941	49.040	47.764	47.481	47.197	43.668	45.973
TiO ₂	0	0	0	.097	0	0.004	0	0
Al ₂ O ₃	32.942	33.891	33.295	34.074	33.066	34.664	34.363	35.174
FeO	0.409	0.451	.133	.048	0	0.184	0.103	0.164
MnO	0.050	0.041	.058	.010	0.066	0.017	0.075	0
MgO	0.103	0.004	.025	.020	0.036	0	0	0.058
BaO	0.125	0	*	*	0	0.165	0	0
CaO	17.041	15.917	14.416	14.480	15.071	15.815	17.535	16.369
Na ₂ O	2.779	2.815	3.255	2.612	3.482	2.770	2.881	2.455
K ₂ O	0.020	0.046	0	.056	0	0	0.051	0.010
Total	99.186	100.060	100.222	99.105	99.202	100.816	98.625	100.193
Si	8.653	4.324	4.446	4.348	4.395	4.290	4.152	4.208
Al	7.340	3.676	3.554	3.652	3.605	3.710	3.848	3.792
Fe3	*	*	*	*	*	*	*	*
Ti	0.000	0.000	0.000	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe2	0.065	0.035	0.010	0.004	0.000	0.014	0.008	0.013
Mn	0.008	0.003	0.004	0.001	0.005	0.001	0.006	0.000
Mg	0.029	0.001	0.003	0.003	0.005	0.000	0.000	0.008
Ba	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000	0.000
Ca	3.049	1.571	1.400	1.412	1.495	1.540	1.786	1.605
Na	1.020	0.503	0.572	0.461	0.625	0.488	0.347	0.436
K	0.005	0.005	0.000	0.007	0.000	0.000	0.006	0.001
Cations	*	*	*	*	*	*	*	*
Z	4.185	2.118	1.989	1.888	2.130	2.049	2.153	2.063
Ab	25.0	24.2	29.0	24.5	29.5	24.1	16.2	21.4
An	74.8	75.6	71.0	75.1	70.5	75.9	83.5	78.6
Or	0.1	0.2	0.0	0.4	0.0	0.0	0.3	0.0

ادامه پیوست ۲

Group	J9-1						
Sample	1-2	2-7-4	3-1	4-1	2-2	3-2	4-5
Mineral	Pl.	Pl.	Pl.	Pl.	Pl.	Pl.	Pl.
SiO ₂	54.117	48.251	46.905	49.380	49.263	54.993	55.194
TiO ₂	0	.005	0	0	0.008	.029	0
Al ₂ O ₃	29.151	33.710	34.389	33.122	33.487	29.016	28.233
FeO	0.184	.349	0.441	0.010	0.133	.152	.091
MnO	0	.078	0.183	0	0.149	.055	0
MgO	0	.020	0	0	0.667	0	0
BaO	0	*	0.099	0.046	0.013	0	0
CaO	9.105	13.215	14.194	13.639	12.68	8.707	9.565
Na ₂ O	6.364	3.996	3.658	3.876	4.244	6.673	7.026
K ₂ O	0.036	.061	0.010	0.061	0	.012	0
Total	98.921	99.624	99.869	100.073	99.644	99.625	100.109
Si	5.029	4.510	4.412	4.530	4.564	5.000	4.863
Al	2.971	3.490	3.588	3.470	3.436	3.000	3.137
Fe3	*	*	*	*	*	*	*
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.000
Fe2	0.014	0.027	0.035	0.001	0.010	0.012	0.007
Mn	0.000	0.006	0.015	0.000	0.012	0.004	0.000
Mg	0.000	0.003	0.000	0.000	0.009	0.000	0.000
Ba	0.000	0.000	0.004	0.002	0.000	0.000	0.000
Ca	0.906	1.323	1.431	1.340	1.159	0.848	0.903
Na	1.147	0.724	0.667	0.689	0.762	1.177	1.200
K	0.004	0.007	0.001	0.007	0.000	0.001	0.000
Cations	*	*	*	*	*	*	*
Z	2.071	2.090	2.153	2.039	1.952	2.042	2.110
Ab	55.8	35.2	31.8	33.8	39.7	58.1	57.1
An	44.0	64.4	68.2	65.8	60.3	41.9	42.9
Or	0.2	0.3	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0

Group	W4-5						
	2-1	5-4	5-5	5-1	2-2	2-2-2	2-7-2
Sample	Pl.	Pl.	Pl.	Pl.	Pl.	Pl.	Pl.
SiO ₂	64.542	66.238	61.469	55.526	59.028	57.661	59.111
TiO ₂	0	0	.008	.004	.049	.005	0
Al ₂ O ₃	24.633	23.699	22.892	30.646	25.512	27.628	27.905
FeO	.020	0	0	.010	.020	.374	.204
MnO	.012	0	.032	.077	.022	.126	0
MgO	0	0	0	0	.070	.062	0
BaO	0	0	.088	.044	.007	*	*
CaO	.448	.284	.619	7.709	6.100	5.664	4.468
Na ₂ O	9.992	9.490	14.349	6.789	9.279	7.180	7.701
K ₂ O	.375	.284	.380	.149	0	.010	.072
Total	99.647	99.711	99.457	99.805	100.087	98.700	99.389
Si	5.812	5.925	5.792	5.043	5.232	5.323	5.419
Al	2.188	2.075	2.208	2.957	2.768	2.677	2.581
Fe3	*	*	*	*	*	*	*
Ti	0.000	0.000	0.001	0.000	0.003	0.000	0.000
Fe2	0.002	0.000	0.000	0.001	0.001	0.029	0.016
Mn	0.001	0.000	0.003	0.006	0.002	0.010	0.000
Mg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	0.009	0.000
Ba	0.000	0.000	0.003	0.002	0.000	0.000	0.000
Ca	0.043	0.027	0.062	0.750	0.579	0.560	0.439
Na	1.745	1.646	2.622	1.196	1.595	1.285	1.369
K	0.043	0.032	0.046	0.017	0.000	0.001	0.008
Cations	*	*	*	*	*	*	*
Z	1.834	1.705	2.736	1.972	2.186	1.894	1.832
Ab	95.3	96.5	96.0	60.9	73.4	69.6	75.4
An	2.3	1.6	2.3	38.2	26.6	30.3	24.2
Or	2.3	1.9	1.7	0.9	0.0	0.1	0.4

کتابنگاری

سبزه‌ای، م.، محمدیها، ک.، ۱۳۸۳- نقشه زمین‌شناسی گنگجین (سرو)، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
 محمدیها، ک.، ۱۳۷۹- پترولوژی دگرگونی سنگ‌های بازیک و الترابازیک بر گره ۵۰۰۰۰:۱ فولنجی (شمال ارومیه) پایان نامه کارشناسی ارشد، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

References

- Bard, J. P., 1970- Composition of hornblendes formed during the hercynian progressive metamorphism of the Metamorphic Belt (SW Spain). *Contr. Min. Petrol.*, 28:117-134
- Cooper, A. F. & Lovering, J. F., 1970- Green schist amphiboles from River, New Zealand. *Contr. Min. Petrol.* , 27:11-24
- Hashimoto, S., Grapes, R. H. & Miyashita, S., 1977- amphiboles of a metagabbro- amphibolite sequence, Hidaka Metamorphic Belt, Hokida. *J. Petrol.*, 18:285-318.
- Laird, J. & Albee, A.L., 1981- pressure, temperature and time indicators in mafic schist: their application to reconstructing the polymetamorphic history of Vermont. *Am. J. Sci.*, 281:127-175.
- Nyman, M. W. & Tracy, R. J., 1993- petrological evolution of amphibolite shear zones, Cheyenne Belt, South-eastern Wyoming, U.S.A., *J. metamorphic Geol.*, 11:757-773.
- Shido, F., 1958- plutonic and metamorphic rocks of the Nakora and Iritona Districts in the Central Akukuma plateau. *J. Fac. Sci. Univ. Tokyou, sect II*, 11:131-217.
- Spear, F. S., 1981- An experimental study hornblende stability and Compositional variability in amphibolites. *Am. J. Sci.*, 281:697-734
- Spear, F.S., 1993- Metamorphic phase equilibria and pressure-temperature-time paths, 799pp.