

سنگ‌نگاری، شیمی کانی‌ها و دما و فشار دگرگونی شیست‌های رسی شمال گلپایگان، استان اصفهان

سید نوید سید مردانی^۱، محسن موذن^۲ و احمد جهانگیری^۲

^۱دکتر، گروه علوم زمین، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

^۲استاد، گروه علوم زمین، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۵/۰۱

چکیده

مجموعه دگرگونی موته- گلپایگان در شمال شهرستان گلپایگان در استان اصفهان واقع شده است. این مجموعه دارای انواع سنگ‌های دگرگونی است که از جمله آنها می‌توان به انواع شیست‌های رسی، آمفیبولیت‌ها، نایس‌ها، کوارتزیت‌ها و مرمرها اشاره کرد. گارنت شیست‌ها از جمله شیست‌های منطقه هستند که از لحاظ کانیایی انواع مختلفی را شامل می‌شوند. این سنگ‌های دگرگونی شامل کانی‌های گارنت، کوارتز، کلریت، مسکوویت، بیوتیت، استارولیت، آندالوزیت، کیانیت و سیلیمانیت هستند. بافت‌های لپیدوبلاستی، پورفیروبلاستی، پویی‌کیلوبلاستی، چشمی و میلپید در این شیست‌ها قابل مشاهده هستند. در منطقه مطالعاتی با حرکت از جنوب باختری به سمت شمال خاوری بر درجه دگرگونی سنگ‌ها افزوده می‌شود. به طوری که سنگ‌های دگرگونی در جنوب باختری در حد اسلیت و فلیت هستند و به تدریج به سمت شمال خاور سنگ‌های دگرگونی کلریت شیست، بیوتیت شیست، گارنت شیست، استارولیت شیست، سیلیمانیت شیست و کیانیت شیست به ترتیب بروز دارند. بروز این سنگ‌ها با پدیدار شدن زون‌های کلریت، بیوتیت، گارنت، استارولیت، سیلیمانیت و کیانیت در منطقه همراه است. توالی این زون‌ها با گرادان دگرگونی نوع باروون در دگرگونی ناحیه‌ای تطابق کامل دارد. زون‌های کلریت، بیوتیت و گارنت مربوط به رخساره شیست سبز و زون‌های استارولیت، کیانیت و سیلیمانیت مربوط به رخساره آمفیبولیت هستند. به روش دماسنجی گارنت-بیوتیت برای گارنت شیست‌های مورد مطالعه بازه دمایی در حد ۴۷۱ تا ۵۸۱ به دست آمد. این دگرگونی در نتیجه برخورد قاره‌ای اتفاق افتاده است.

کلیدواژه‌ها: موته- گلپایگان، شیست، گارنت، رخساره شیست سبز، رخساره آمفیبولیت، گرادان نوع بارو.

E-mail: moazzen@tabrizu.ac.ir

*نویسنده مسئول: محسن موذن

۱- پیش‌نوشتار

سنگ‌های دگرگونی یکی از مهم‌ترین انواع سنگ‌ها در زون سندج- سیرجان هستند. از جمله مناطق دارای بروز گسترده از سنگ‌های دگرگونی در مجموعه دگرگونی موته- گلپایگان در شمال شهرستان گلپایگان واقع شده است. در این مجموعه تنوعی از سنگ‌های دگرگونی بروز دارد که از جمله بارزترین آنها انواع گارنت شیست‌هاست. مطالعات زمین‌شناسی متعددی توسط زمین‌شناسان مختلف (برای مثال موسوی و محجل، ۱۳۹۳؛ کریمی و طباطبایی منش، ۱۳۹۱؛ میرلوحی و همکاران، ۱۳۹۴؛ 2014؛ Moosavi et al., 2002؛ Rashidnejade-Omran et al., 2006؛ Moritz et al., 2006) بر روی شیست‌ها به ویژه گارنت شیست‌های مجموعه دگرگونی موته- گلپایگان صورت گرفته است. موسوی و محجل (۱۳۹۳) قدیمی‌ترین واحد دگرگون شده در مجموعه دگرگونی موته- گلپایگان را متعلق به پرکامبرین پسین می‌دانند که در هسته تاقدیسی در شمال روستای اسفاجرد رخنمون دارد. این واحد سنگی از میکاشیست‌های گارنت، سیلیمانیت و کیانیت‌دار تشکیل شده است و می‌توان آن را گارنت-میکاشیست زیرین نامید. در بخش میانی تاقدیس یاد شده، واحدی تشکیل شده از مرمر و گاهی آمفیبول شیست و در بخش رویی واحدی از میکاشیست‌های گارنت و استارولیت‌دار و کمتر کوارتزیت جای دارند. این میکاشیست‌ها را می‌توان میکاشیست بالایی نامید (موسوی و محجل، ۱۳۹۳).

طبق نظر موسوی و محجل (۱۳۹۳) در مجموعه دگرگون شده شمال گلپایگان درجه دگرگونی ناحیه‌ای از خاور به باختر و با افزایش عمق ساختاری افزایش می‌یابد. میکاشیست‌های رخنمون یافته در هسته تاقدیس شمال اسفاجرد، با توجه به مجموعه کانی‌های دگرگونی گارنت، استارولیت، کیانیت و سیلیمانیت، بالاترین درجه دگرگونی ناحیه‌ای را در بخش غربی این مجموعه دگرگونی دارند. بنا به نظر Moosavi et al. (2014) در بخش مرکزی مجموعه دگرگونی موته- گلپایگان درجه دگرگونی نسبتاً بالا و در حد رخساره آمفیبولیت است و با حرکت به سمت خاور و باختر - به موازات کاهش سن چینه‌ای از نوپروتروزوئیک به پرمین - درجه

دگرگونی به رخساره شیست سبز کاهش می‌یابد. میرلوحی و همکاران (۱۳۹۴) اوج دگرگونی در شیست‌های واقع در کوه حاجی قارا (شمال گلپایگان) را در حد رخساره آمفیبولیت می‌دانند که پس از پیشرفت دگرگونی تا این حد، مسیر دگرگونی به سمت کاهش فشار و افزایش دما تغییر می‌یابد که شواهد موجود اشاره به حضور توده نفوذی در این محل دارد که موجب رشد پورفیروبلاست‌های گارنت، بیوتیت، مسکوویت و آندالوزیت در شیست‌های این منطقه شده است.

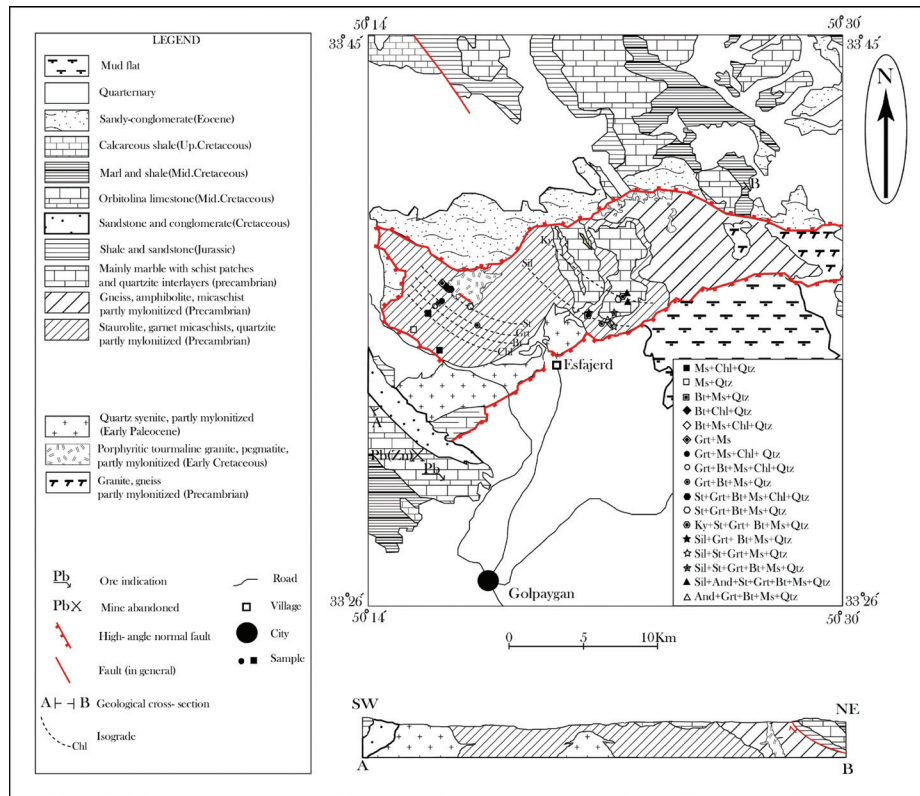
برای شیست‌های مجموعه دگرگونی موته- گلپایگان سن‌های مختلفی بیان شده است. به عنوان مثال Thiele et al. (1968) قدیمی‌ترین سنگ‌های دگرگونی این منطقه را متعلق به پرکامبرین می‌دانند. بر اساس پژوهش‌های سن‌سنجی Rashidnejad-Omran et al. (2002) شیست‌های منطقه شمال گلپایگان متعلق به ژوراسیک است. Moritz et al. (2006) متاپلیت‌های کوه حاجی قارا را متعلق به بخش فوقانی کرتاسه زیرین (آلبین) می‌دانند. به نظر کریمی و طباطبایی منش (۱۳۹۱) در منطقه گلپایگان رسوبات در زمان تریاس- ژوراسیک تشکیل و در زمان ژوراسیک با فاز سیمبرین پسین دگرگون شده‌اند.

۲- زمین‌شناسی منطقه

مجموعه دگرگونی موته- گلپایگان در شمال خاوری شهرستان گلپایگان (۱۵۶ کیلومتری شمال باختری اصفهان) و در حدفاصل طول‌های جغرافیایی $50^{\circ}14'00''$ تا $50^{\circ}30'00''$ و عرض‌های جغرافیایی $33^{\circ}26'00''$ تا $33^{\circ}45'00''$ واقع شده است. این منطقه در تقسیم‌بندی Stöcklin (1968) و نبوی (۱۳۵۵) در زون سندج- سیرجان قرار می‌گیرد. مجموعه دگرگونی موته- گلپایگان دارای گستره‌ای به طول ۵۰ کیلومتر و عرض ۵ کیلومتر بوده و S شکل است. این مجموعه دگرگونی در بخش‌های انتهایی خود روند شمال خاور- جنوب باختر ولی در بخش مرکزی روندی خاوری- باختری دارد.

برونزد هستند. واحدهای مزوزویک رخنمون یافته در منطقه مطالعاتی شامل شیل و ماسه سنگ به سن ژوراسیک، ماسه سنگ، کنگلومرا، سنگ آهک اوریتولین دار، مارن، شیل و شیل آهکی به سن کرتاسه هستند. سنگ‌های سنوزویک منطقه شامل کنگلومرا ماسه‌ای به سن ائوسن است. بخش گسترده‌ای از منطقه را رسوبات و جریان‌های گلی به سن کواترنری دربر می‌گیرد. سنگ‌های نفوذی منطقه شامل گرانیت-نایس (ارتونایس) به سن پرکامبرین، پگماتیت-گرانیت تورمالین دار به سن کرتاسه پیشین و کوارتزسینیت به سن پالئوسن است (شکل ۱).

در مجموعه موته- گلپایگان انواع سنگ‌های دگرگونی (سنگ‌های دگرگونی ناحیه‌ای و مجاورتی) قابل مشاهده هستند که از جمله این سنگ‌های دگرگونی می‌توان به انواع شیست‌ها (کلریت شیست، بیوتیت شیست، گارنت شیست، استارولیت شیست، کیانیت شیست، سیلیمانیت شیست، آندالوزیت شیست)، آمفیبولیت، مرمر، کوارتزیت و نایس اشاره کرد. علاوه بر سنگ‌های دگرگونی، سنگ‌های آذرین و رسوبی نیز رخنمون زیادی دارند. واحدهای سنگی مربوط به پالئوزویک در این قسمت از منطقه مطالعاتی فاقد



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی گلپایگان (برگرفته از Sheikholeslami et al., 2008 و Thiele et al., 1968). (Moosavi et al., 2014)

منطقه مطالعاتی برای تجزیه شیمیایی انتخاب شدند و توسط دستگاه میکروپروپ JEOL8800 در دانشگاه پتسدام آلمان مورد تجزیه قرار گرفتند. مقدار جریان الکتریکی برای نمونه ۱۵ کیلوولت و زمان تجزیه برای هر نقطه ۴۰ ثانیه در نظر گرفته شد. از استانداردهای مختلف شامل کانی‌های طبیعی و مواد مصنوعی برای کالیبراسیون دستگاه استفاده شده و اندازه پرتو الکترونی بین ۳ تا ۵ میکرون است. با استفاده از نرم‌افزارهای مربوطه، سیگنال‌های حاصل از دستگاه میکروپروپ به درصد اکسیدها تبدیل شده و فرمول شیمیایی کانی‌ها بر اساس تعداد مناسب اکسیژن محاسبه شده است.

۴- پتروگرافی و پتروفابریک گارنت‌شیست‌ها

مجموعه کانیایی در گارنت‌شیست‌های منطقه گلپایگان را می‌توان در سیزده مورد دسته‌بندی کرد. لازم به ذکر است که تنها کانی‌های سیستم KFMASH در این فهرست آورده شده‌اند و کانی‌های غیر KFMASH مانند پلاژیوکلاز، کانی‌های تیره و سایر کانی‌های فرعی نیز در نمونه‌های مطالعه شده دیده می‌شوند:

- 1- Grt+Ms
- 2- Grt+Ms+Qtz
- 3- Grt+Ms+Chl+ Qtz
- 4- Grt+Bt+Ms+Chl+Qtz

در منطقه مطالعاتی سنگ‌های دگرگونی برونزد یافته در نزدیکی روستای چشمه سفید در حد اسلیت و فیلیت هستند و به تدریج سنگ‌های دگرگونی مانند کلریت شیست، بیوتیت شیست، گارنت شیست، استارولیت شیست، سیلیمانیت شیست و کیانیت شیست برونزد پیدا می‌کنند. با ظهور این شیست‌ها می‌توان ایزوگرادهای کانی‌ها را رسم کرد (شکل ۱). این ایزوگرادها روند شمال باختر- جنوب خاور دارند و نشان‌دهنده اولین ظهور کانی‌های کلریت، بیوتیت، گارنت، استارولیت، سیلیمانیت و کیانیت در منطقه مطالعاتی هستند. بر اساس این ایزوگرادها می‌توان اینگونه بیان کرد که با حرکت از جنوب باختر به سمت شمال خاور بر درجه دگرگونی سنگ‌ها افزوده می‌شود.

در بعضی از بخش‌های منطقه مورد مطالعه یک قسمت از سنگ‌های شیستی و فیلیتی با سنگ‌های آهکی به صورت میان‌لایه‌ای قرار دارد و سنگ‌هایی با پروتولیت آهکی نیز دگرگون و تبدیل به مرمر شده‌اند. تناوبی از کوارتزیت، مرمر و شیست نیز به طور محدود دیده می‌شود.

۳- روش مطالعه

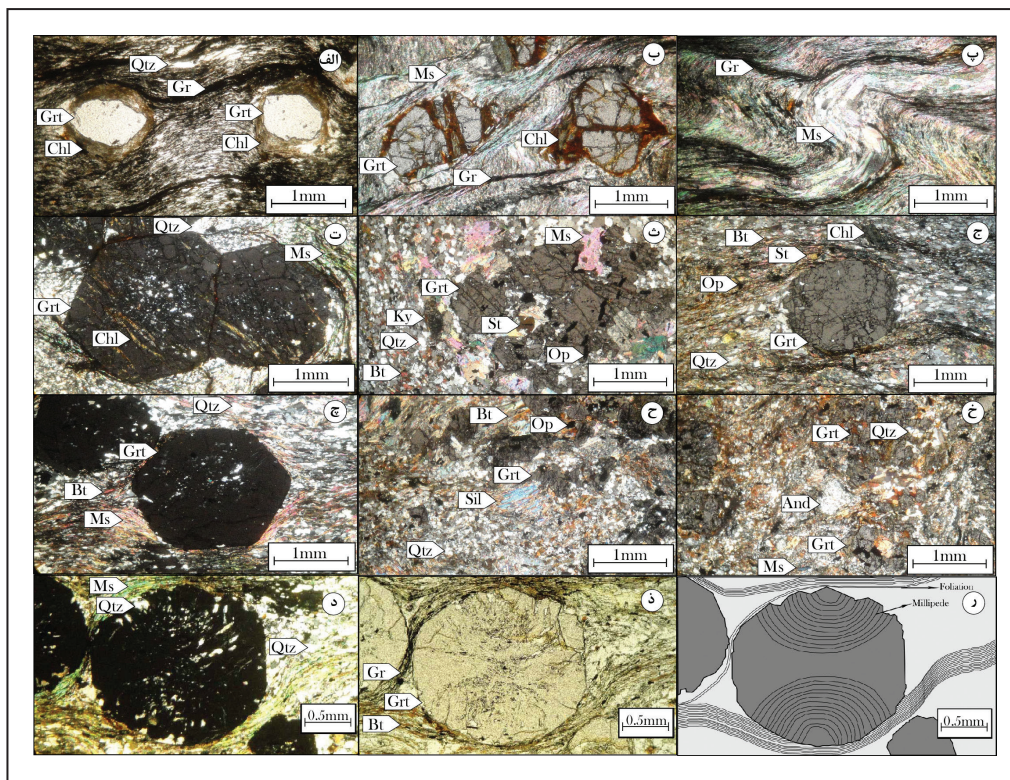
طی مطالعات صحرایی در حدود ۴۰۰ نمونه از سنگ‌های دگرگونی منطقه مطالعاتی برداشت شد. از این میان ۶۲ نمونه برای تهیه مقاطع میکروسکوپی و مطالعات سنگ‌شناسی با میکروسکوپ پلاریزان و از بین این ۶۲ نمونه، ۵ نمونه از شیست‌های

Bell (1981) در بعضی از پورفایروبلاست‌های هم‌تکتونیک و بین‌تکتونیک حالت خاصی را مشاهده کردند که آن را ریزساختار میلپید نامیدند. این حالت به درشت‌بلورهای هم‌زمان و بین‌تکتونیکی مربوط می‌شود که در آنها فولیاسیون خارجی یا Se در دو جهت مخالف هم انکسار یافته‌اند (Passchier and Trouw, 2005). همان‌گونه که ذکر شد در این سنگ‌ها نیز بافت میلپید وجود دارد. ولی با این تفاوت که فولیاسیون داخلی یا Si در گارنت قابل مشاهده بوده ولی Se قابل مشاهده نیست. ظاهراً ابتدا این بافت در سنگ تشکیل شده و سپس در اثر فاز دگرگونی بعدی، Se از بین رفته و تنها اثر Si در داخل پورفایروبلاست گارنت باقی مانده است (شکل‌های ۲-د تا ر).

بعضی از این سنگ‌های دگرگونی دارای پروتولیت رسی و بعضی نیز دارای پروتولیت نیمه‌رسی هستند. برگوارگی در بعضی از نمونه‌ها به صورت پیوسته (شکل ۲-پ) و در بعضی نیز از نوع ناپیوسته (شکل ۲-چ) است. در شیب‌های مورد مطالعه کانی‌های گارنت معمولاً به صورت شکل‌دار (شکل‌های ۲-ت و ج) تا نیمه‌شکل (شکل ۲-ب) و اکثراً پیش‌تکتونیک هستند ولی در بعضی موارد گارنت‌های پس‌تکتونیک نیز دیده می‌شود. گارنت‌ها از حاشیه (شکل ۲-الف) و یا از شکستگی‌ها به کلریت تبدیل شده‌اند (شکل ۲-ت). در برخی موارد نیز گارنت‌ها از حاشیه به کلریت و اکسید آهن تجزیه شده‌اند (شکل ۲-ب). در بعضی از نمونه‌ها کلیواژهای کنگره‌ای و ریزچین‌ها مشاهده می‌شوند (شکل ۲-پ).

- 5- Grt+Bt+Ms+Qtz
- 6- St+Grt+Bt+Ms+Chl+Qtz
- 7- St+Grt+Bt+Ms+Qtz
- 8- Ky+St+Grt+ Bt+Ms+Qtz
- 9- Sil+Grt+ Bt+Ms+Qtz
- 10- Sil+St+Grt+Ms+Qtz
- 11- Sil+St+Grt+Bt+Ms+Qtz
- 12- Sil+And+St+Grt+Bt+Ms+Qtz
- 13- And+Grt+Bt+Ms+Qtz

همان‌گونه که در مجموعه کانیایی بالا قابل مشاهده است، کانی‌های موجود در گارنت‌شیست‌های منطقه مطالعاتی شامل گارنت، کوارتز، مسکوویت، بیوتیت، کلریت، استارولیت، آندالوزیت (شکل ۲-خ)، سیلیمانیت (شکل ۲-ح) و کیانیت (شکل ۲-ث) هستند. همچنین گرافیت و کانی‌های تیره فلزی نیز در برخی نمونه‌ها مشاهده می‌شوند. گارنت‌شیست‌های منطقه مطالعاتی دارای بافت‌های لپیدوبلاستی، پورفایروبلاستی (پورفایروبلاست‌های گارنت، استارولیت و کلریت)، پویی‌کیلوبلاستی (به عنوان مثال وجود کانی‌های استارولیت، مسکوویت و کوارتز در داخل پورفایروبلاست‌های گارنت، شکل ۲-ث)، چشمی (شکل ۲-ج) هستند. علاوه بر بافت‌های ذکر شده، بافت میلپید (millipede) نیز در بعضی از نمونه‌ها، در داخل کانی گارنت قابل مشاهده است. Bell and Rubenach (1980)



شکل ۲- الف) گارنت‌هایی که از حاشیه به کلریت تبدیل شده‌اند (نور PPL)؛ ب) گارنت نیمه‌شکل‌دار که از اطراف به کلریت تبدیل شده است (نور XPL)؛ پ) کلیواژ کنگره‌ای (نور XPL)؛ ت) گارنت‌های شکل‌دار که از محل شکستگی به کلریت تبدیل شده‌اند (نور XPL)؛ ث) بافت پویی‌کیلوبلاستی (نور XPL)؛ ج) گارنت شکل‌دار که موجب تشکیل بافت چشمی شده است (نور XPL)؛ چ) گارنت شکل‌دار (نور XPL)؛ ح) کانی سیلیمانیت در گارنت‌شیست‌ها (نور XPL)؛ خ) کانی آندالوزیت در گارنت‌شیست‌ها (نور XPL)؛ د، ذ و ر) بافت میلپید در گارنت (د: نور XPL؛ ذ: نور PPL؛ ا: تصویر شماتیک از مقطع میکروسکوپی). علائم اختصاری کانی‌های (به استثنای Op) از Kretz (1983) گرفته شده است.

۵- شیمی گارنت

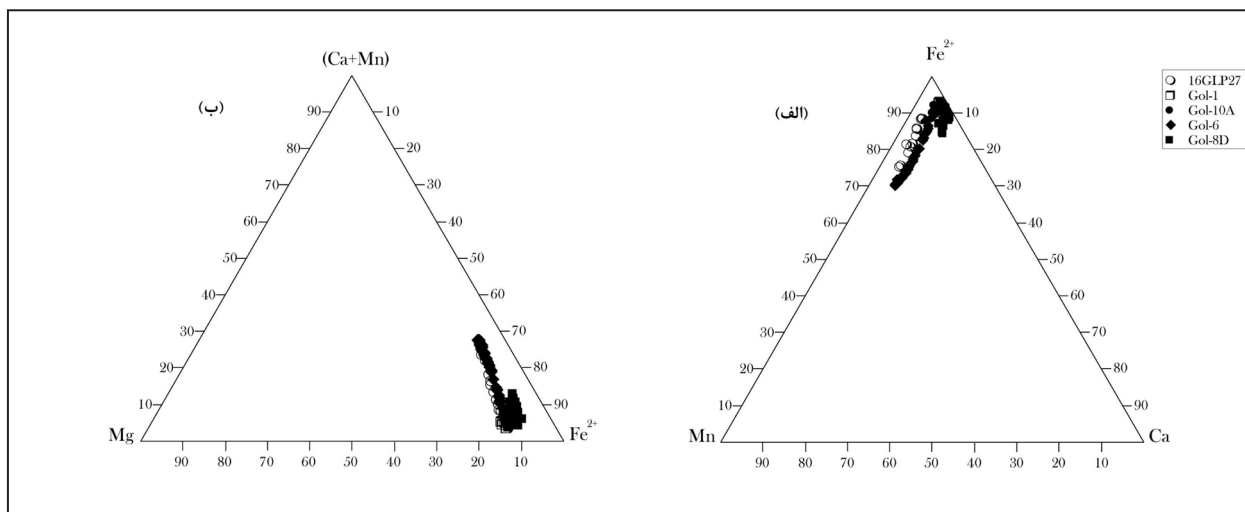
استفاده این اکسیدها در نمودارهای ژئوشیمیایی، سعی شده است شیمی و نوع گارنت موجود در این سنگ‌ها مورد مطالعه قرار گیرد.

در این بخش با استفاده از تجزیه میکروپروب کانی‌ها و با بررسی رفتارهای ژئوشیمیایی اکسیدهای اصلی موجود در کانی گارنت در نمونه‌های مورد مطالعه و

Fe^{2+} از حدود ۷۰ تا ۹۰ درصد هستند. در نتیجه مقدار عضو آلماندن و اسپسارتین و گروه اگراندیت در این نمونه‌ها متغیر است. ولی عضو پیروپ در این دو نمونه همانند نمونه‌های Gol-1، Gol-8D و Gol-10A کمترین مقدار را دارد. در نمونه‌های مورد نظر با کاهش مقدار آهن از مقدار منیزیم کاسته می‌شود و این احتمالاً به دلیل جانشینی عناصر منگنز و کلسیم در شبکه بلوری گارنت است.

در نمودار Fe^{2+} - Mn- Ca (شکل ۳- الف) گارنت‌های نمونه‌های Gol-1، Gol-8D و Gol-10A همانند نمودار Fe^{2+} - Mg- (Ca+Mn) غنی‌شدگی از آهن نشان می‌دهند. در بعضی از نقاط تجزیه شده در نمونه‌های مورد نظر، عضو اسپسارتین در کمترین مقدار بوده و تقریباً نزدیک به صفر است. در گارنت‌های نمونه‌های Gol-6 و 16GLP27 همانند نمودار Fe^{2+} - Mg- (Ca+Mn) تغییر واضحی از حدود ۷۰ تا ۹۰ درصد نشان می‌دهد و عضو آلماندن این دو نمونه همانند نمونه‌های Gol-8D و Gol-1، Gol-10A بیشترین مقدار را دارد و عضو اسپسارتین متغیر است. اعضای گروه اگراندیت تقریباً ۷ تا ۱۰ درصد کل اعضا را به خود اختصاص داده است.

۱۴۶ نقطه از کانی‌های گارنت نمونه‌های مورد مطالعه (نمونه‌های Gol-1، Gol-6، Gol-8D، Gol-10A و 16GLP27) مورد تجزیه قرار گرفته‌اند. جدول ۱ نتایج این تجزیه را نشان می‌دهد. به دلیل زیاد بودن تعداد نقاط تجزیه‌ای، سعی شده است تا ویژگی‌های ژئوشیمیایی گارنت‌های هر نمونه به صورت معرف آورده شود. در این جدول فرمول گارنت به ازای ۲۴ اتم اکسیژن محاسبه شده است. مجموع اکسیدهای کانی‌های گارنت بین ۹۹/۰۴ تا ۱۰۱/۹۶ است. مقدار TiO_2 در نمونه‌های مورد نظر کم است (کمتر ۰/۱ درصد). ترکیب شیمیایی گارنت‌های تجزیه شده بر روی نمودارهای سه‌تایی Fe^{2+} - Mn- Ca و Fe^{2+} - Mg- (Ca+Mn) (شکل‌های ۳- الف و ب) نشان داده شده است. رسم داده‌های شیمیایی گارنت‌های موجود در نمونه‌های Gol-8D، Gol-1 و Gol-10A در نمودار Fe^{2+} - Mn- Ca (شکل ۳- ب) نشان‌دهنده نزدیکی این مقادیر به قطب Fe^{2+} و بیانگر این مطلب است که گارنت‌های این نمونه‌ها غنی از عضو آلماندن هستند و عضوهای پیروپ و اسپسارتین و گروه اگراندیت در نمونه‌های مورد نظر مقدار کمی را شامل می‌شوند. اما نمونه‌های Gol-6 و 16GLP27 در این نمودار نشان‌دهنده بازه



شکل ۳- ترکیب ژئوشیمیایی گارنت‌های تجزیه شده در نمونه‌های Gol-1، Gol-6، Gol-8D، Gol-10A و 16GLP27 در نمودارهای: الف) Fe^{2+} - Mn- Ca؛ ب) $(Ca+Mn)$ - Mg- Fe^{2+} (Deer et al., 1992).

جدول ۱- تجزیه‌های معرف میکروپروپ گارنت در شیبست‌های شمال گلپایگان. ND پایین‌تر از حد آشکار سازی دستگاه.

	Gol-1	Gol-6	Gol-8D	Gol-10A	16GLP27
SiO_2	۳۷/۲۰	۳۶/۸۶	۳۷/۱۳	۳۶/۹۴	۳۶/۹۴
TiO_2	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۴
Al_2O_3	۲۱/۷۵	۲۱/۱۸	۲۱/۳۷	۲۱/۵۴	۲۲/۲۲
FeO	۳۷/۶۷	۲۸/۸۷	۳۶/۶۶	۳۵/۹۰	۲۹/۷۱
MnO	۰/۲۲	۱۰/۱۰	۰/۴۰	۱/۵۳	۸/۹۵
MgO	۲/۸۷	۱/۵۹	۲/۰۵	۲/۶۰	۱/۸۷
CaO	۱/۸۱	۱/۷۷	۲/۴۲	۱/۴۷	۱/۰۷
Na_2O	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۴
K_2O	۰/۰۱	ND	۰/۰۱	ND	۰/۰۱
Cr_2O_3	ND	۰/۰۳	۰/۰۲	ND	ND
مجموع	۱۰۱/۵۸	۱۰۰/۴۸	۱۰۰/۱۳	۱۰۰/۰۱	۱۰۰/۸۵

فرمول بر اساس ۱۲۴ اکسیژن

ادامه جدول ۱

	Gol-1	Gol-6	Gol-8D	Gol-10A	16GLP27
Si	۵/۹۱۹	۵/۹۶۶	۵/۹۸۸	۵/۹۶۰	۵/۹۲۵
Ti	۰/۰۰۲	۰/۰۰۸	۰/۰۰۷	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴
Al	۴/۰۸۰	۴/۰۴۰	۴/۰۶۳	۴/۰۹۶	۴/۲۰۲
Fe	۵/۰۱۲	۳/۹۰۸	۴/۹۴۴	۴/۸۴۳	۳/۹۸۵
Mn	۰/۰۲۹	۱/۳۸۴	۰/۰۵۵	۰/۲۰۹	۱/۲۱۵
Mg	۰/۶۸۱	۰/۳۸۳	۰/۴۹۳	۰/۶۲۵	۰/۴۴۷
Ca	۰/۳۰۹	۰/۳۰۷	۰/۴۱۸	۰/۲۵۴	۰/۱۸۴
Na	۰/۰۰۸	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶	۰/۰۰۵	۰/۰۱۲
K	۰/۰۰۳	ND	۰/۰۰۱	ND	۰/۰۰۲
Cr	ND	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳	ND	ND
مجموع	۱۶/۰۴۳	۱۶/۰۰۶	۱۵/۹۷۸	۱۵/۹۹۳	۱۵/۹۷۶

و پیروپ بسیار محدود باشد. در حالی که در مورد گارنت‌های طبیعی چنین نیست. تناقض بین پیش‌بینی و مشاهدات در کانی‌های طبیعی را می‌توان با در نظر گرفتن پیچیدگی ساختمان بلوری گارنت توضیح داد. در ساختمان پیچیده گارنت، تراهرهای SiO_4 می‌توانند تا حدودی بچرخند. این امر باعث افزایش اندازه موقعیت‌های بلوری A می‌شود و تأثیر جانشینی Ca-I (Fe, Mg) را جبران می‌کند (Putnis, 1992). به همین علت در شرایط رخساره آمفیبولیت انحلال جامد بین گروسولار، آلماندین و پیروپ بسیار معمول است (Will, 1998). در نمونه‌های مورد مطالعه نیز وجود عناصر کلسیم، منیزیم و آهن در موقعیت‌های بلوری و احتمالاً جانشینی این عناصر با تغییر درجه دگرگونی نیز بدین علت است.

۶- زمین‌دما - فشارسنجی

برای دما- فشارسنجی نمونه‌های مورد نظر از چندین روش استفاده شد که این روش‌ها شامل دماسنجی به روش گارنت- بیوتیت (بر روی نمونه‌های Gol-6, Gol-10A, Gol-8D و 16GLP27)، فشارسنجی به روش GASP (بر روی نمونه Gol-10A) و دما- فشارسنجی توسط نرم‌افزار THERMOCALC (version 2.4) بر روی نمونه‌های Gol-10A و Gol-8D است. در ادامه دما و فشارهای به دست آمده توسط روش‌های فوق ذکر آورده شده است:

(۱) کالیبراسیون دماسنجی با استفاده از زوج کانی گارنت- بیوتیت طبق مدل (Perchuk and Lavrent'eva, 1983) به صورت زیر است:

$$T = (3947.1 + 0.0126P) / \{\ln K_D^{(2)} + 2.868\}$$

که در این معادله K_D بدین شکل محاسبه می‌شود:

$$K_D^{(2)} = [X_{\text{Mg}} / (1 - X_{\text{Mg}})]^{\text{Bt}} \times [(1 - X_{\text{Mg}}) / X_{\text{Mg}}]^{\text{Grt}}$$

دمای به دست آمده از این کالیبراسیون برای نمونه Gol-6 ۵۴۴-۴۷۱ درجه سانتی‌گراد، برای نمونه Gol-8D ۶۱۴-۵۰۱ درجه سانتی‌گراد، برای نمونه Gol-10A ۵۷۵-۴۹۸ درجه سانتی‌گراد و برای نمونه 16GLP27 ۵۸۱-۵۲۱ درجه سانتی‌گراد است.

(۲) فشار به دست آمده برای نمونه Gol-10A به روش GASP بر اساس کالیبراسیون (Perchuk and Lavrent'eva, 1983) ۴/۴ تا ۴/۳ کیلوپا است.

(۳) با استفاده از نرم‌افزار THERMOCALC (version 2.4) که توسط (Holland and Powell, 1998) ارائه شده، میانگین دما و فشار به دست آمده برای نمونه Gol-1 به ترتیب شامل 27 ± 61 درجه سانتی‌گراد و $1/8 \pm 4/7$ کیلوپا، برای

شکل‌های ۴ و ۵ نشان‌دهنده تغییرات مقادیر اکسیدهای آلومینیم، آهن، منگنز، منیزیم و کلسیم در گارنت در نمونه‌های Gol-1، Gol-6، Gol-8D و Gol-10A است. در نمونه‌های Gol-1 و Gol-6 تجزیه‌های انجام گرفته از مرکز به حاشیه ولی در نمونه‌های Gol-8D و Gol-10A از حاشیه به حاشیه است. مقادیر اکسیدهای Al_2O_3 ، FeO ، MnO ، MgO و CaO نمونه‌های نامبرده در جدول‌های ۲، ۳، ۴ و ۵ آورده شده است. در نمونه Gol-6A ۵۵ نقطه از یک گارنت مورد تجزیه قرار گرفته (شکل ۴- الف) که در این نمونه مقادیر اکسید آلومینیم در کل یک روند خطی داشته است و افزایش و کاهش زیادی نشان نمی‌دهد؛ به استثنای یک نقطه که مقدار اکسید آلومینیم آن بیش از ۲۲ درصد است. مقادیر اکسیدهای آهن و منیزیم از مرکز به حاشیه روند افزایشی و در مقابل، مقادیر اکسیدهای منگنز و کلسیم روند کاهشی نشان می‌دهند. این موضوع احتمالاً به دلیل جانشینی عناصر منگنز و کلسیم توسط عناصر آهن و منیزیم در طی دگرگونی بوده که خود نشان‌دهنده افزایش درجه دگرگونی (دگرگونی پیش‌رونده) است. در نمونه Gol-1 ۱۰ نقطه از یک گارنت مورد تجزیه قرار گرفت (شکل ۴- ب). مقادیر تمامی اکسیدهای آلومینیم، آهن، منیزیم، منگنز و کلسیم در این نمونه تغییرات زیادی از خود نشان نمی‌دهند (به استثنای اکسید کلسیم که در کل تقریباً روند خطی دارد ولی از مرکز به حاشیه مقداری جری کاهش و دوباره افزایش می‌یابد). تعداد نقاط گارنت تجزیه شده در نمونه Gol-8D ۲۲ است (شکل ۵- الف). مقادیر اکسید آلومینیم در این نمونه روند خطی نشان می‌دهد. مقادیر اکسیدهای آهن و منیزیم از حاشیه به مرکز مقداری کاهش و از مرکز به حاشیه دیگر دوباره افزایش می‌یابد. ولی در مقابل، مقادیر اکسید منگنز و تا حدی اکسید کلسیم از حاشیه به حاشیه افزایش و دوباره کاهش می‌یابد. همان‌گونه که در بالا نیز بیان شد این موضوع احتمالاً بیانگر جانشینی این دو عنصر توسط عناصر آهن و منیزیم در طی افزایش درجه دگرگونی است. در نمونه Gol-10A نیز ۱۴ نقطه از یک گارنت مورد تجزیه میکروپروب قرار گرفته است (شکل ۵- ب). در این نمونه اکسیدهای آلومینیم و منیزیم روند خطی دارد و مقادیر اکسیدهای آهن، منگنز و کلسیم افزایش و کاهشی از خود نشان می‌دهند.

به علت اندازه بسیار مشابه کاتیون‌های دو ظرفیتی که در موقعیت A جانشین هم می‌شوند، جانشینی اتمی بین اعضای نهایی خانواده پیرالسپیت به راحتی صورت می‌گیرد. همین موضوع در مورد اعضای نهایی گروه اگراندیت نیز صدق می‌کند. در این گروه کاتیون‌های سه‌ظرفیتی با کئوردیناسیون هشت که در موقعیت M می‌نشینند از نظر اندازه بسیار مشابه هستند. با توجه به مطالب ذکر شده انتظار می‌رود که جانشینی بین گروسولار، آلماندین

زون‌های کلریت، بیوتیت، گارنت، استارولیت، سیلیمانیت و کیانیت در منطقه هستند. بر اساس ظهور کانی‌های نامبرده می‌توان ایزوگراد آنها را رسم کرد. این ایزوگرادها روند شمال باختر- جنوب خاور دارند و افزایش درجه دگرگونی سنگ‌ها از جنوب باختر به سمت شمال خاور را نشان می‌دهند. این زون‌های کانیایی مربوط به دگرگونی ناحیه‌ای و گرادیان نوع بارو هستند. در دگرگونی ناحیه‌ای نوع بارو سنگ‌های رسی، زون‌های کلریت، بیوتیت و گارنت مربوط به رخساره شیبست سبز و زون‌های استارولیت، کیانیت و سیلیمانیت مربوط به رخساره آمفیبولیت است.

به دلیل اینکه در گارنت‌های مورد مطالعه در بین عناصر آهن، کلسیم، منیزیم و منگنز، آهن بیشترین فراوانی را دارد (بیش از ۷۰ درصد)؛ از این رو گارنت‌های مورد مطالعه در کل غنی از آلماندن هستند.

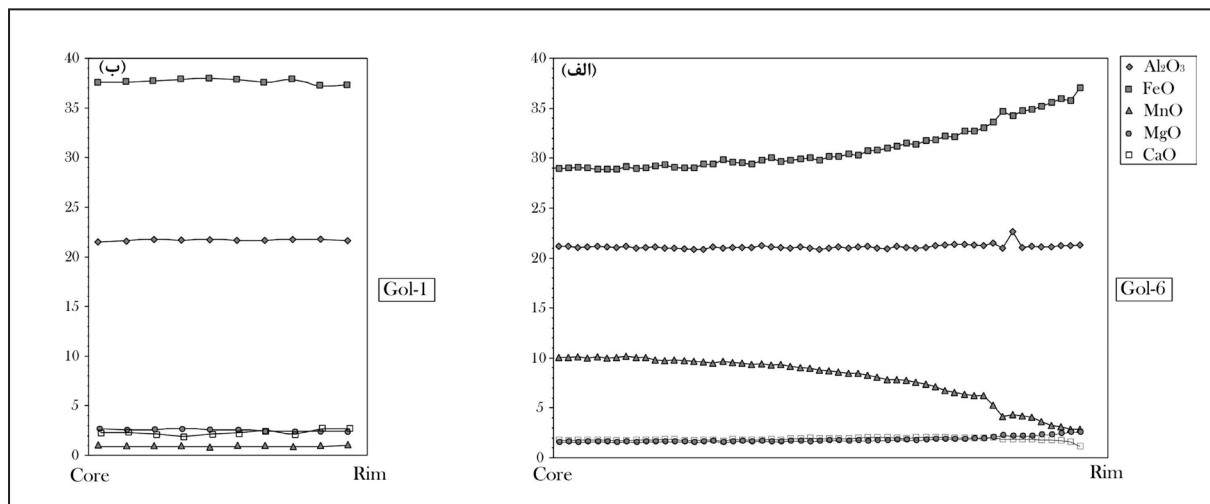
گرادیان نوع بارو وین بیانگر دگرگونی در یک محیط برخوردی است. افزایش درجه دگرگونی از جنوب باختر به شمال خاور نشانگر فرورانش و سپس برخورد از شمال خاور به سمت جنوب باختر بوده که برای بررسی جزئیات آن، به مطالعات بیشتر نیاز است.

نمونه Gol-8D به ترتیب شامل 687 ± 84 درجه سانتی‌گراد و $6 \pm 2/5$ کیلوبار، برای نمونه Gol-10A به ترتیب شامل 699 ± 51 درجه سانتی‌گراد و $6/3 \pm 2/4$ کیلوبار و برای نمونه 16GLP27 به ترتیب شامل 723 ± 57 درجه سانتی‌گراد و $6/3 \pm 2/8$ کیلوبار است. در مورد نمونه Gol-6 در حالات مختلف داده‌های ورودی (حذف یا اضافه کردن نوع کانی‌ها یا وارد کردن داده‌های گارنت و بیوتیت با منیزیم بالا و پایین)، نرم‌افزار THERMOCALC یا قادر به محاسبه میانگین دما- فشار این نمونه نمی‌شود و یا انحراف معیار به دست آمده برای فشار این نمونه بسیار بالاست (به عنوان مثال $8 \pm 7/5$ کیلوبار). اما میانگین دمای محاسبه شده برای نمونه Gol-6 در حدود 574 ± 51 درجه سانتی‌گراد است.

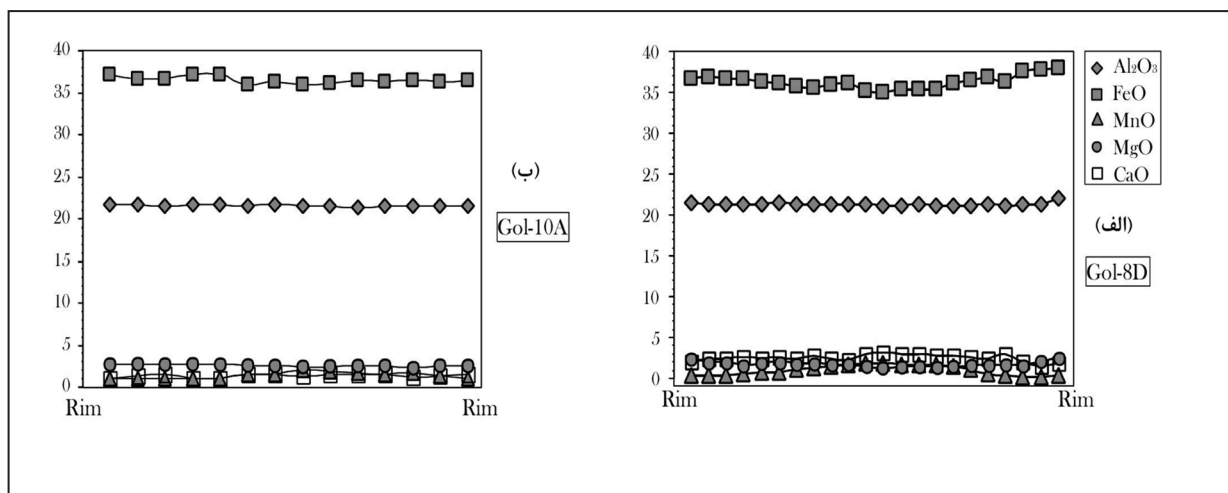
در کل بازه دمایی نمونه‌های مورد نظر در حد رخساره شیبست سبز فوقانی تا رخساره آمفیبولیت است.

۷- نتیجه‌گیری

در منطقه مطالعاتی با حرکت از باختر به خاور به ترتیب کانی‌های کلریت، بیوتیت، گارنت، استارولیت، سیلیمانیت و کیانیت در سنگ‌ها ظاهر می‌شوند که نشان‌دهنده



شکل ۴- زونینگ اکسیدهای Al_2O_3 ، FeO ، MnO ، MgO و CaO در نمونه Gol-6 (الف) و Gol-1 (ب).



شکل ۵- زونینگ اکسیدهای Al_2O_3 ، FeO ، MnO ، MgO و CaO در نمونه Gol-8D (الف) و Gol-10A (ب).

جدول ۲- مقادیر اکسیدهای CaO و Al_2O_3 ، FeO ، MnO ، MgO (برحسب درصد وزنی) موجود در گارنت

نمونه Gol-6.

	Al_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO
۱	۲۱/۱۶	۲۸/۹۸	۱۰/۰۷	۱/۵۵	۱/۷۷
۲	۲۱/۱۷	۲۸/۹۹	۱۰/۰۷	۱/۵۸	۱/۶۹
۳	۲۱/۰۷	۲۸/۰۸	۱۰/۱۳	۱/۵۵	۱/۷۷
۴	۲۱/۱۴	۲۸/۹۸	۱۰/۰۰	۱/۵۷	۱/۷۸
۵	۲۱/۱۷	۲۸/۸۷	۱۰/۰۹	۱/۵۸	۱/۷۷
۶	۲۱/۰۹	۲۸/۸۸	۹/۹۵	۱/۵۷	۱/۷۶
۷	۲۱/۰۲	۲۸/۸۹	۱۰/۰۲	۱/۵۲	۱/۷۴
۸	۲۱/۱۶	۲۹/۱۴	۱۰/۱۹	۱/۵۸	۱/۶۹
۹	۲۱/۹۹	۲۸/۹۰	۱۰/۰۵	۱/۵۵	۱/۷۵
۱۰	۲۱/۰۷	۲۸/۹۸	۱۰/۰۲	۱/۶۱	۱/۷۵
۱۱	۲۱/۱۱	۲۹/۱۸	۹/۸۰	۱/۵۷	۱/۷۶
۱۲	۲۱/۹۹	۲۹/۳۳	۹/۷۵	۱/۶۱	۱/۸۶
۱۳	۲۱/۰۰	۲۹/۰۷	۹/۷۹	۱/۵۸	۱/۸۲
۱۴	۲۰/۹۴	۲۹/۰۳	۹/۷۵	۱/۵۹	۱/۷۴
۱۵	۲۰/۸۳	۲۹/۰۱	۹/۶۹	۱/۵۵	۱/۷۴
۱۶	۲۰/۸۶	۲۹/۳۹	۹/۶۰	۱/۵۸	۱/۷۸
۱۷	۲۱/۱۱	۲۹/۳۹	۹/۴۸	۱/۶۵	۱/۷۹
۱۸	۲۰/۹۹	۲۹/۸۵	۹/۶۵	۱/۵۵	۱/۶۶
۱۹	۲۱/۰۲	۲۹/۵۷	۹/۵۵	۱/۶۰	۱/۸۳
۲۰	۲۱/۰۴	۲۹/۴۹	۹/۴۵	۱/۶۴	۱/۷۷
۲۱	۲۱/۰۷	۲۹/۳۹	۹/۳۳	۱/۶۰	۱/۸۱
۲۲	۲۱/۲۵	۲۹/۷۳	۹/۳۸	۱/۶۳	۱/۷۹
۲۳	۲۱/۱۲	۳۰/۰۴	۹/۲۷	۱/۵۷	۱/۸۴
۲۴	۲۱/۰۵	۲۹/۶۰	۹/۳۳	۱/۵۸	۱/۸۱
۲۵	۲۰/۹۶	۲۹/۷۹	۹/۱۳	۱/۶۳	۱/۸۷
۲۶	۲۱/۰۸	۲۹/۸۸	۹/۰۲	۱/۶۴	۱/۹۳
۲۷	۲۰/۹۷	۲۹/۹۹	۸/۹۳	۱/۶۰	۱/۹۶
۲۸	۲۰/۸۳	۲۹/۷۵	۸/۷۴	۱/۶۸	۱/۹۳
۲۹	۲۰/۹۹	۳۰/۱۵	۸/۷۴	۱/۶۸	۱/۹۲
۳۰	۲۱/۰۸	۳۰/۱۱	۸/۵۷	۱/۷۰	۱/۹۳
۳۱	۲۰/۹۷	۳۰/۴۰	۸/۴۷	۱/۶۷	۱/۹۳
۳۲	۲۱/۱۴	۳۰/۲۵	۸/۴۳	۱/۶۹	۱/۹۹
۳۳	۲۱/۱۴	۳۰/۷۴	۸/۲۹	۱/۶۵	۲/۰۴
۳۴	۲۰/۹۷	۳۰/۸۰	۸/۱۰	۱/۷۳	۲/۰۰
۳۵	۲۰/۹۳	۳۰/۹۵	۷/۸۵	۱/۷۲	۲/۰۲
۳۶	۲۱/۱۴	۳۱/۱۷	۷/۸۴	۱/۷۵	۱/۹۹
۳۷	۲۱/۰۶	۳۱/۴۶	۷/۷۳	۱/۷۸	۱/۹۲
۳۸	۲۱/۰۰	۳۱/۳۷	۷/۵۹	۱/۷۳	۲/۰۰

ادامه جدول ۲

	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO
۳۹	۲۱/۰۲	۳۱/۷۴	۷/۳۸	۱/۷۷	۲/۰۱
۴۰	۲۱/۲۵	۳۱/۸۰	۷/۰۹	۱/۸۶	۲/۰۰
۴۱	۲۱/۳۱	۳۲/۱۶	۶/۷۶	۱/۸۱	۲/۰۵
۴۲	۲۱/۳۴	۳۲/۱۰	۶/۵۷	۱/۸۵	۱/۹۹
۴۳	۲۱/۳۸	۳۲/۷۰	۶/۳۸	۱/۸۶	۱/۹۴
۴۴	۲۱/۲۷	۳۲/۶۹	۶/۲۵	۱/۹۰	۱/۹۵
۴۵	۲۱/۲۱	۳۳/۰۳	۶/۲۱	۱/۹۳	۱/۹۸
۴۶	۲۱/۴۸	۳۳/۵۸	۶/۲۹	۲/۰۳	۲/۰۰
۴۷	۲۱/۹۷	۳۴/۶۳	۴/۱۴	۲/۲۱	۱/۸۴
۴۸	۲۲/۶۴	۳۴/۱۸	۴/۳۴	۲/۱۵	۱/۸۴
۴۹	۲۱/۰۱	۳۴/۷۲	۴/۲۲	۲/۱۸	۱/۸۴
۵۰	۲۱/۱۶	۳۴/۸۳	۴/۰۷	۲/۱۸	۱/۸۵
۵۱	۲۱/۱۴	۳۵/۱۷	۳/۶۲	۲/۲۹	۱/۷۷
۵۲	۲۱/۱۰	۳۵/۵۵	۳/۲۶	۲/۳۱	۱/۷۸
۵۳	۲۱/۲۳	۳۵/۹۵	۳/۰۹	۲/۴۴	۱/۶۹
۵۴	۲۱/۲۱	۳۵/۷۵	۲/۸۵	۲/۵۱	۱/۶۱
۵۵	۲۱/۲۹	۳۵/۰۰	۲/۸۵	۲/۵۶	۱/۱۵

 جدول ۳- مقادیر اکسیدهای Al₂O₃، FeO، MnO، MgO و CaO (برحسب درصد وزنی) موجود در گارنت نمونه Gol-1.

	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO
۱	۲۱/۵۶	۳۷/۵۱	۰/۱۵	۲/۸۱	۲/۰۶
۲	۲۱/۶۴	۳۷/۶۴	۰/۲۴	۲/۶۷	۱/۹۶
۳	۲۱/۸۵	۳۷/۷۵	۰/۲۳	۲/۶۶	۱/۸۱
۴	۲۱/۷۴	۳۸/۰۱	۰/۲۱	۲/۷۶	۱/۵۷
۵	۲۱/۸۷	۳۸/۰۷	۰/۲۴	۲/۵۹	۱/۸۸
۶	۲۱/۷۵	۳۷/۸۷	۰/۲۰	۲/۵۶	۲/۰۸
۷	۲۱/۶۵	۳۷/۶۸	۰/۲۷	۲/۴۸	۲/۴۸
۸	۲۱/۸۶	۳۷/۹۴	۰/۲۷	۲/۴۶	۱/۸۹
۹	۲۱/۸۰	۳۷/۱۰	۰/۲۷	۲/۳۸	۲/۵۷
۱۰	۲۱/۶۶	۳۷/۲۵	۰/۳۰	۲/۳۹	۲/۶۰

جدول ۴- مقادیر اکسیدهای CaO و Al_2O_3 ، FeO ، MnO ، MgO (برحسب درصد وزنی) موجود در گارنت نمونه Gol-8D.

	Al_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO
۱	۲۱/۴۶	۳۶/۶۳	۰/۲۹	۲/۴۶	۱/۹۷
۲	۲۱/۳۸	۳۶/۸۳	۰/۲۹	۲/۱۲	۲/۳۸
۳	۲۱/۳۷	۳۶/۶۶	۰/۴۰	۲/۰۵	۲/۴۲
۴	۲۱/۳۲	۳۶/۷۲	۰/۵۶	۱/۷۳	۲/۶۲
۵	۲۱/۲۸	۳۶/۳۸	۰/۸۰	۱/۹۰	۲/۴۱
۶	۲۱/۵۵	۳۶/۱۶	۰/۸۱	۱/۹۹	۲/۶۶
۷	۲۱/۲۲	۳۵/۷۷	۱/۰۴	۱/۸۶	۲/۴۴
۸	۲۱/۲۰	۳۵/۴۹	۱/۲۴	۱/۸۲	۲/۸۵
۹	۲۱/۲۰	۳۵/۹۵	۱/۵۳	۱/۶۳	۲/۳۲
۱۰	۲۱/۳۲	۳۶/۱۶	۱/۶۵	۱/۶۱	۲/۲۹
۱۱	۲۱/۳۳	۳۵/۲۱	۱/۸۷	۱/۴۴	۳/۰۱
۱۲	۲۱/۱۹	۳۵/۰۶	۱/۸۶	۱/۳۷	۳/۱۳
۱۳	۲۱/۱۷	۳۵/۳۲	۱/۷۴	۱/۴۴	۲/۹۷
۱۴	۲۱/۲۷	۳۵/۴۵	۱/۷۲	۱/۴۵	۳/۰۴
۱۵	۲۱/۱۰	۳۵/۴۳	۱/۶۱	۱/۵۰	۲/۸۶
۱۶	۲۱/۱۸	۳۶/۰۶	۱/۴۲	۱/۵۱	۲/۷۳
۱۷	۲۱/۱۵	۳۶/۴۱	۱/۰۳	۱/۵۵	۲/۶۲
۱۸	۲۱/۲۱	۳۶/۹۳	۰/۶۳	۱/۶۸	۲/۴۴
۱۹	۲۱/۱۹	۳۶/۲۱	۰/۴۱	۱/۶۱	۲/۹۱
۲۰	۲۱/۲۵	۳۷/۶۴	۰/۲۵	۱/۶۷	۲/۱۰
۲۱	۲۱/۲۹	۳۷/۶۸	۰/۱۹	۲/۱۲	۱/۵۳
۲۲	۲۱/۰۹	۳۷/۹۸	۰/۲۹	۲/۵۱	۱/۸۱

جدول ۵- مقادیر اکسیدهای CaO و Al_2O_3 ، FeO ، MnO ، MgO (برحسب درصد وزنی) موجود در گارنت نمونه Gol-10A.

	Al_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO
۱	۲۱/۷۶	۳۷/۰۸	۱/۰۲	۲/۷۷	۰/۹۳
۲	۲۱/۷۱	۳۶/۵۴	۱/۰۲	۲/۷۵	۱/۴۳
۳	۲۱/۵۳	۳۶/۵۶	۱/۰۰	۲/۷۲	۱/۵۶
۴	۲۱/۷۵	۳۷/۱۳	۱/۰۰	۲/۷۳	۱/۰۸
۵	۲۱/۶۵	۳۷/۱۶	۱/۰۲	۲/۷۹	۱/۹۸
۶	۲۱/۵۳	۳۵/۸۹	۱/۵۳	۲/۵۹	۱/۴۷
۷	۲۱/۶۶	۳۶/۳۰	۱/۵۲	۲/۵۶	۱/۵۴
۸	۲۱/۵۴	۳۵/۸۵	۲/۰۸	۲/۳۷	۱/۴۳
۹	۲۱/۵۶	۳۶/۰۲	۱/۸۴	۲/۴۰	۱/۴۷
۱۰	۲۱/۳۸	۳۶/۳۶	۱/۶۷	۲/۵۴	۱/۴۸
۱۱	۲۱/۵۰	۳۶/۳۲	۱/۴۶	۲/۴۸	۱/۵۴
۱۲	۲۱/۵۰	۳۶/۳۷	۱/۶۳	۲/۳۶	۱/۲۲
۱۳	۲۱/۵۸	۳۶/۲۵	۱/۴۱	۲/۴۷	۱/۳۳
۱۴	۲۱/۴۷	۳۶/۳۸	۱/۰۷	۲/۵۰	۱/۵۵

کتابنگاری

- کریبی، س. و طباطبایی‌منش، م.، ۱۳۹۱- پتروگرافی و پترولوژی متاپلیت‌های بخش میانی زون سنندج- سیرجان (شمال گلپایگان)، نشریه علوم دانشگاه تربیت معلم، جلد ۱۰، شماره ۲، ص. ۸۰۷ تا ۸۲۴.
- موسوی، ا. و محجل، م.، ۱۳۹۳- ساختار پهنه برشی و الگوهای تداخلی چین‌ها در شمال اسفاجرد، پهنه سنندج- سیرجان، مجله علوم زمین، شماره ۹۱، ص. ۱۳۰ تا ۱۹۹.
- میرلوحی، ا. ا.، خلیلی، م. و طباطبایی‌منش، س. م.، ۱۳۹۴- شیمی میکاها و رخدادهای دگرگونی در گارنت‌میکاشیست‌های ارتفاعات حاجی‌قارا، شمال گلپایگان، نشریه علوم دانشگاه خوارزمی، جلد ۱، شماره ۱، ص. ۷۱ تا ۸۸.
- نبوی، م.، ۱۳۵۵- دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۰۹ ص.

References

- Bell, T. H. and Rubenach, M. J., 1980- Crenulation cleavage development- evidence for progressive bulk inhomogeneous shortening from "millipede" microstructures in the Robertson River Metamorphics. *Tectonophysics* 68:T9- T15.
- Bell, T. H., 1981- Foliation development- the contribution, geometry and significance of progressive bulk inhomogeneous shortening. *Tectonophysics* 75:273-296.
- Deer, W. A., Howie, R. A. and Zussman, J., 1992- Rock forming minerals. 3rd edition, Longman, 696 p.
- Holland, T. J. B. and Powell, R., 1998- An internally consistent thermodynamic dataset for phases of petrological interest: *Journal of Metamorphic Geology*, v. 16, p. 309- 334.
- Kretz, R., 1983- Symbol for rock-forming minerals, *American Mineralogist*, 68: 277- 279.
- Moosavi, E., Mohajjel, M. and Rashidnejad-Omran, N., 2014- Systematic changes in orientation of linear mylonitic fabrics: An example of strain partitioning during transpressional deformation in north Golpaygan, Sanandaj-Sirjan zone, Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 94 55-67.
- Moritz, R., Ghazban, F. and Singer, B., 2006- Eocene gold ore formation at Muteh, Sanandaj-Sirjan tectonic zone, western Iran: a result of late-stage extension and exhumation of metamorphic basement rocks within the Zagros Orogen. *Economic Geology* 101, 1497- 1524.
- Passchier, C. W. and Trouw, R. A. J., 2005- *Microtectonics*. 2nd edition, Springer, 366 p.
- Perchuk, L. L. and Lavrent'eva, I. V., 1983- Experimental investigation of exchange equilibria in the system cordierite-garnet-biotite. In: Saxena SK (ed) *Kinetics and equilibrium in mineral reactions, advances in physical geochemistry*, vol 3, Springer. Berlin, Heidelberg, New York, pp 199- 239.
- Putnis, A., 1992- *Introduction to mineral sciences*. Cambridge University Press, Cambridge, 457p.
- Rashidnejad-Omran, N., Emami, M. H., Sabzehi, M., Rastad, E., Belon, H. and Pique, A., 2002- Lithostratigraphie et histoire paléozoïque à Paléocène des complexes métamorphiques de la region de Muteh, zone de Sanandaj-Sirjan (Iran méridional). *Comptes Rendus Geosciences* 334, 1185- 1191.
- Sheikholeslami, M. R., Zamani Pedram, M. and Hosseini, H., 2008- Geological map of Iran, 1:100,000 series, Sheet No. 6057, Mahallat. Geological Survey of Iran, Tehran, Iran.
- Stöcklin, J., 1968- Structural history and tectonics of Iran: a review. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 52 (7), 1229- 1258.
- Thiele, O., Alavi-Naini, M., Assefi, R., Houshmandzadeh, A., Seyed- Emami, K. and Zahedi, M., 1968- Explanatory text of the Golpaygan Quadrangle E7. 1:250000, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran, 24 pp.
- Will, T. M., 1998- *Phase equilibria in metamorphic rocks: thermodynamics background and petrological application*. Springer, 324 p.

Petrography, mineral chemistry and P-T estimation of pelitic schists from north of Golpayegan, Isfahan province

S. N. Seyed Mardani¹, M. Moazzen^{2*} and A. Jahangiri²

¹Ph.D., Department of Earth Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

²Professor, Department of Earth Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Received: 2018 June 17

Accepted: 2018 July 23

Abstract

The Muth-Golpayegan metamorphic complex is situated at north of Golpayegan city in the Isfahan province. This complex is constituted from different metamorphic rocks including variety of pelitic schists, amphibolite, gneiss, quartzite and marble. Garnet schists are dominant lithology in the area and contain different minerals, such as garnet, quartz, chlorite, muscovite, biotite, staurolite, andalusite, kyanite and sillimanite. Lepidoblastic, porphyroblastic, poikiloblastic, augen and millipede are the main textures in these rocks. The degree of metamorphism increases from SW to NE in a way that slate and phyllite at SW change gradually to chlorite schist, biotite schist, garnet schist, staurolite schist, sillimanite schist and kyanite schist. The occurrence of these schists is accompanied by appearance of chlorite, biotite, garnet, staurolite, sillimanite and kyanite mineralogical zones in the field. The succession of these zones is compatible with Barrovian regional metamorphic gradient. Chlorite, biotite and garnet zones belong to the greenschist facies and staurolite, sillimanite and kyanite zones belong to the amphibolite facies. Temperature range calculated for these rocks by garnet-biotite thermometry is 471-581 C. This metamorphic gradient is a result of continental collision.

Keywords: Muteh- Golpayegan, Schist, Garnet, Greenschist facies, Amphibolite facies, Barrovian gradient.

For Persian Version see pages 3 to 12

*Corresponding author: M. Moazzen; E-mail: moazzen@tabrizu.ac.ir