

Zoning and chemistry of garnets in eclogites and blueschists in ophiolitic complex of eastern Birjand: An evidence for subduction process in eastern Iran

G. Fotoohi Rad¹, S. Amini²

1-Department of Mining Exploration , Faculty of Engineering , Birjand University, Birjand , Iran.

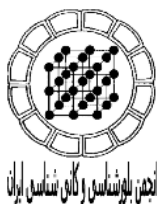
2- Department of Geology , Faculty of Sciences ,Teacher Training University of Tehran, Iran.

E-mail: gfotohi@yahoo.com

(Received: 24/4/2007 , in revised form: 19/11/2007)

Abstract: The ophiolitic complex of eastern Birjand consists of various rocks of a complete ophiolitic complex. Except for basaltic pillow lavas which are changed to metabasites such as eclogites and blueschists under metamorphic conditions, all other rock types of an ophiolitic complex could be seen in this sequence. Chemistry of garnets and their zoning patterns indicates the occurrence of subduction in the study area. The presence of the low-temperature and medium-temperature eclogites in the study area also may show the collision process between Lut and Afghan Blocks which has occurred after the subduction process. This collision process has lead to the occurrence of medium-temperature eclogites in response to the increase of temperature in the study area and then uplifting of the eclogitic rocks during the emplacement of area ophiolite in the suture zone between Lut and Afghan Blocks.

Keywords: *Birjand, Ophiolitic complex, Garnet Zoning, Eclogites and Blueschists, Subduction.*



منطقه بندی و شیمی گارنت‌های موجود در اکلوزیت‌ها و شیت‌های آبی مجموعه افیولیتی شرق بیرجند: شاهدهی بر فرآیند فرورانش در شرق ایران

غلامرضا فتوحی راد^۱، صدرالدین امینی^۲

۱- گروه مهندسی اکتشاف معدن، دانشکده مهندسی، دانشگاه بیرجند، بیرجند.

۲- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه تربیت معلم تهران، تهران.

E-mail: gfotohi@yahoo.com

(دریافت مقاله ۱۳۸۵/۸/۱۳، نسخه نهایی ۱۳۸۶/۸/۱۹)

چکیده: مجموعه افیولیتی شرق بیرجند شامل سنگ‌های مختلف یک همبافت افیولیتی است. به استثنای بازالت‌های بالشی که دستخوش دگرگونی شده و به متابازیت‌های مختلف از جمله اکلوزیت‌ها و شیت‌های آبی تبدیل شده‌اند، تمامی سنگ‌های متعلق به مجموعه‌های افیولیتی، در این همبافت افیولیتی مشاهده می‌شوند. شیمی گارنت‌ها و الگوهای منطقه‌بندی آنها، مؤید فرایند فرورانش در منطقه مورد مطالعه است. همچنین با توجه به وجود اکلوزیت‌های با دمای پایین و متوسط در منطقه مورد مطالعه، پس از فرایند فرورانش یاد شده، برخورد دوصفحه بلوک لوت و بلوک افغان نیز احتمالاً رخ داده است؛ که منجر به افزایش دما و تشکیل اکلوزیت‌های با دمای متوسط و سپس بالا آمدن سنگ‌های یاد شده طی جایگیری افیولیت منطقه در محل جوش خوردگی دوصفحه بلوک لوت و افغان (هلمند) شده است.

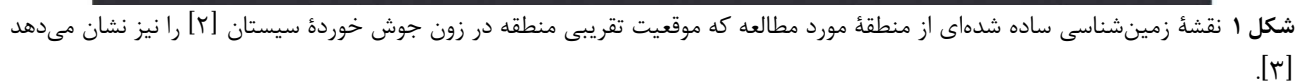
واژه‌های کلیدی: بیرجند، مجموعه افیولیتی، منطقه‌بندی گارنت‌ها، اکلوزیت‌ها و شیت‌های آبی، فرورانش.

زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

مجموعه افیولیتی مورد نظر، در فاصله‌ای در حدود ۱۲۰ تا ۱۳۰ کیلومتری شرق بیرجند در چارگوش گزیک و شاهرخت [۱] قرار دارد. مناطق گزیک و شاهرخت، چنانکه شکل ۱ نشان می‌دهد در شرق ایران واقع شده است.

افیولیت‌های شرق ایران به صورت منشورهای به هم افزوده در شرق، جنوب شرق و نیز جنوب بیرجند و شرق نهبندان و در همبافت‌های نه و رتوک واقع شده‌اند (شکل ۱ سمت چپ)، که روند کلی آنها شمال غربی - جنوب شرقی است (N20W-S20E). افیولیت‌ها بیش از ۳۰ درصد زون جوش خورده

سیستان را تشکیل می‌دهند [۲] که در بعضی مناطق سازندهای فلیش با آنها مخلوط شده‌اند. در منطقه مورد مطالعه نیز چنین وضعیتی مشاهده می‌شود که افیولیت و سازندهای فلیش دگرگون شده و دگرگون نشده (به صورت مخلوط) با راستاهای شمال - شمال غربی، جنوب - جنوب شرقی در بخشهای مرکزی و شمالی چارگوش گزیک و بخشهای جنوبی و مرکزی چهارگوش شاهرخت مشخصند، و رخنمونهای نسبتاً گسترده‌ای در ناحیه مجاور (ناحیه بیرجند) به سمت غرب نشان می‌دهند. بنا براین ناحیه مورد مطالعه تنها دربردارنده کناره شرقی این زون افیولیتی بزرگ است.



سنگ‌شناسی سنگهای دگرگونی مورد مطالعه

در این بخش نخست سنگ‌شناسی سنگهای دگرگونی رخساره شیبست آبی و سپس سنگ‌شناسی سنگهای دگرگونی رخساره اکلوزیت مورد بحث قرار گرفته است.

الف- سنگ‌شناسی سنگهای دگرگونی رخساره شیبست آبی

سنگهای دگرگونی رخساره گلوکوفان شیبست در منطقه مورد مطالعه وسعت تقریباً قابل توجهی دارند. این سنگ‌ها همراه اکلوزیت‌ها و گاهی در کنار آنها دیده می‌شوند (با وسعت ۵ تا حدود ۶۰ متر مربع)؛ اینگونه سنگ‌ها حاصل دگرگونی پسروده اکلوزیت‌ها هستند.

بعضی از سنگهایی که در این رخساره قرار می‌گیرند، مجموعه کانیائی رخساره‌های دگرگونی اپیدوت آمفیبولیت، آمفیبولیت و تعدادی از مجموعه کانیائی رخساره اکلوزیت را نیز نشان می‌دهند؛ زیرا دارای هورنبلند سبز متمایل به آبی، اپیدوت، هورنبلند سبز متمایل به قهوه‌ای و نیز بقایایی از گارنت پیروپ و امفاسیت هستند. این سنگ‌ها نشاندهنده بخشهای با دمای بالاتر از رخساره شیبست آبی یعنی شیبست آبی دارای اپیدوت هستند. محاسبات دما-فشارسنجی برای بعضی از این سنگ‌ها که در این پژوهش انجام شده این دمای بالا (بالاتر از 500°C) را تایید می‌کند (بخش زمین دما-فشارسنجی).

الف-۱- گلوکوفان شیبست‌ها

این سنگ‌ها در نمونه دستی به رنگ خاکستری متمایل به آبی تا آبی متمایل به بنفش و ریز دانه (کوچتر از ۰/۱ میلی متر) هستند و در مجاورت گلوکوفان آلبیت آمفیبولیت‌های توده‌ای نیز مشاهده می‌شوند.

در مقطع نازک نمونه یکی از این سنگها، کانیهی کروسیست - گلوکوفان (در حدود ۲۰ درصد) + کوارتز (در حدود ۱۰ درصد) + گارنت اسپسارتین (در حدود ۱۰ درصد) + مسکویت (در حدود ۱۰ درصد) + کربنات (در حدود ۲۰ درصد) + آلبیت (در حدود ۲۰ درصد) + اسفن + کانیهی کدر به صورت کانی فرعی مشاهده می‌شوند. گارنت‌ها در این نمونه بیشتر ریز دانه-اند و تنها با بزرگنمایی بالا در میکروسکوپ قابل تشخیص‌اند. بر پایه تجزیه ریزپردازانه، ترکیب این گارنت‌ها اسپسارتین - آلمانین است. نام کالک گارنت کروسیست - گلوکوفان شیبست برای این نمونه مناسب است. بافت میکروسکوپیکی این سنگها پورفیروبلاستیکی تا نماتوبلاستیکی است.

به طور کلی اجزای افیولیتی روی زمین، از بالا به پایین به قرار زیرند: ۱- گدازه‌های بالشی دگرگون شده، چرت‌ها و رادیولاریت‌های نواری و ژاسپر ۲- گدازه‌ها و توفهای بازیکی که برخی دگرگون شده‌اند ۳- دایکهای صفحه‌ای بسیار مشخص دگرگون شده ۴- میکروگابروها و دولریت‌ها که بعضی رخنمونها دگرگون شده هستند ۵- گابروهای لایه‌ای و همسانگرد از انواع دگرگون شده و دگرگون نشده ۶- سنگ‌های فرا بازی که سرپانتینی و دگرگون شده‌اند ۷- زون دگرگونی در بخش شرقی افیولیت. سنگهای دگرگونی شیبست آبی، آمفیبولیت، اپیدوت آمفیبولیت و اکلوزیت غالباً به صورت عدسیهایی با روند شمال غربی - جنوب شرقی همانند روند کلی افیولیت در منطقه رخنمون دارند که می‌تواند از نکات قابل توجه باشد، زیرا علاوه بر رخنمون، در میان سنگهای رخساره شیبست سبز واقع شده-اند.

به طور کلی فلیش و افیولیت‌های مخلوط شده با آن، تحت تأثیر یک دگرگونی با شدت متغیر از دگرگونی درجه خفیفی پایین تا دگرگونی رخساره شیبست آبی با فشار بالا و برخی رخساره آمفیبولیت و اکلوزیت (به عنوان مثال در زون دگرگونی کوه جاج و نیز زون دگرگونی شمال گزیک) قرار گرفته‌اند. فاز اصلی تغییر شکل و دگرگونی بنا بر سن ایزوتوپی تعیین شده [۳]، طی والانژینین تا بارمین و آغاز آپسین (یعنی در کرتاسه زیرین) رخ داده است. این دگرگونی از والانژینین تا بارمین در کرتاسه زیرین و در حدود ۲۰ میلیون سال ضمن فرآیند فروانش رخ داده است. وجود سنگ آهکهای میکریتی حاوی ریزسنگواره اوربیتوئیدس، سن جایگیری نهایی را اوایل ماستریشتین (آخرین اشکوب کرتاسه فوقانی) برای افیولیت‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. جایگیری نهایی افیولیت ملانژ در کرتاسه فوقانی و ضمن ادامه فروانش پوسته اقیانوسی وابسته به بلوک لوت به زیر بلوک هلمند و سپس برخورد دو بلوک لوت و هلمند انجام شده است.

آهکهای میکریتی با سنگواره‌های شاخص ماستریشتین زیرین نشان می‌دهد که یک حوضه دریایی پشت خوکی [۴] در محل ترنج در این زمان وجود داشت که بعداً این سنگ‌ها با افیولیت ملانژ مخلوط شده‌اند. ته نشستهای ماستریشتین پسین بدون دگرگونی و به صورت دگرشیبی، افیولیت را پوشانده است [۲].

الف-۲- گارنت منیز یوربیکیت - گلوکوفان آل بیت آمفیبولیت‌ها

این سنگ‌ها دارای ساخت متراکم و درشت دانه‌اند. در نمونه دستی بسیار سخت و متراکم و بلورهای گلوکوفان در زمینه غنی از آل بیت در بعضی از انواع آنها دیده می‌شود. در مقطع نازک یکی از این سنگ‌ها، کانیهای آل بیت (در حدود ۱۵ درصد) + هورنبلند سبز آبی سدیم‌دار (باروئیزیت در حدود ۳۵ درصد) + منیز یوربیکیت - گلوکوفان (در حدود ۱۰ درصد) + بیوتیت سبز (در حدود ۵ درصد) + میکای سفید (پاراگونیت - فنژیت - مسکویت در حدود ۵ درصد) + اپیدوت (در حدود ۱۰ درصد) + کوارتز (در حدود ۵ درصد) + روتیل، اسفن، بقایای کلینوپیروکسن و کانیهای کدر (مجموعاً در حدود ۱۵ درصد) به عنوان کانیهای فرعی مشاهده می‌شوند. پیروکسینها باقیمانده-های واکنش امفاسیت و کوارتز هستند که آل بیت و دیوپسید و گاهی آل بیت و باروئیزیت حاصل می‌شوند. باروئیزیت به صورت بلورهای منشوری درون بلورهای آل بیت بی‌شکل که به صورت پویکیلوبلاست عمل می‌کند مشاهده می‌شود. بافت سنگ گرانوماتوبلاستیکی، پویکیلوبلاستیکی و گرانولیدوبلاستیکی است. درجه دگرگونی این سنگ متوسط - پایین و رخساره دگرگونی آن اپیدوت شیت آبی است.

ب- سنگ‌شناسی سنگ‌های دگرگونی رخساره اکلوزیت

سنگ‌های دگرگونی رخساره اکلوزیت تنها در زون دگرگونی افیولیت که در شرقی ترین بخش آن قرار گرفته است، رخنمون دارند. این سنگ‌ها به صورت عدسیه‌ای با روند شمال غربی - جنوب شرقی مطابق روند کلی افیولیت بین سنگ‌های دگرگونی با درجه پایین‌تر و نیز کلریت شیت‌ها، تالک شیت‌ها و سنگ‌های اولترامافیک سرپنتینه شده و با ارتباط گسلی، مشاهده می‌شوند. گسترش این سنگ‌ها از ۵ تا حدود ۸۰۰ متر مربع در نقاط مختلف متغیر است. بزرگترین رخنمون این سنگ‌ها در رأس رشته کوه گزیک و در فاصله حدود ۱۰ کیلومتری شمال غرب گزیک و در زون دگرگونی قرار دارد (شکل ۲- B).

ب-۱- اکلوزیت‌های متراکم

این سنگ‌ها در نمونه دستی درشت دانه و به رنگ سبز پسته‌ای تا سبز تیره هستند که بلورهای سرخ گارنت در سطح آنها قابل مشاهده‌اند (شکل ۲- A). در مقطع نازک یکی از این سنگ‌ها

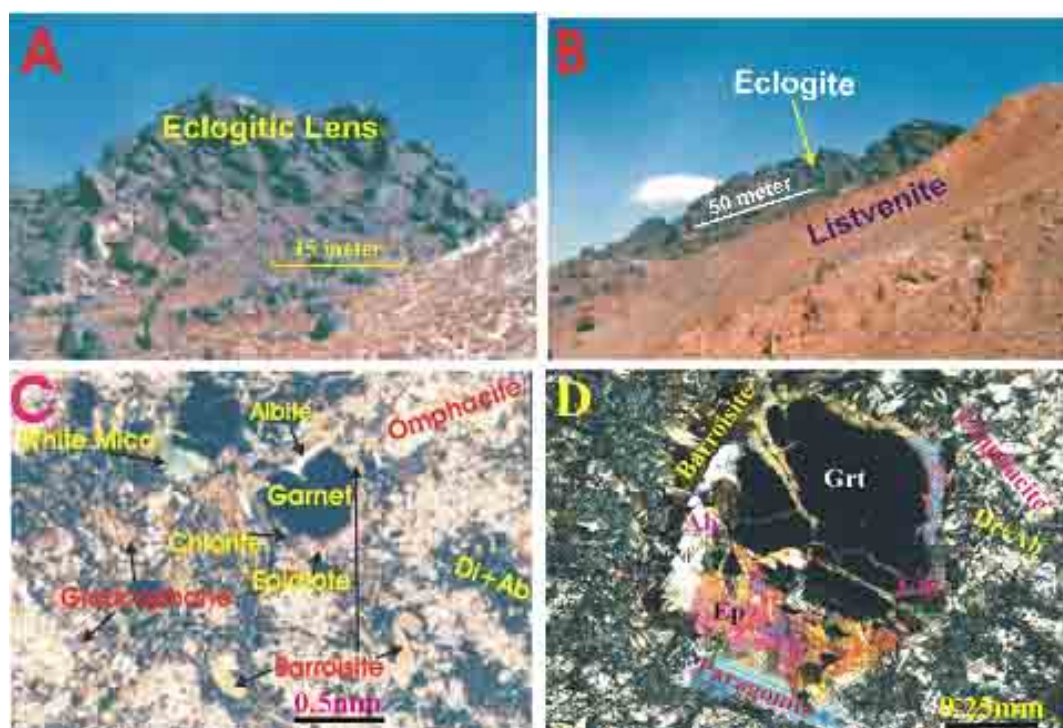
(شکل ۲- C)، کانیهای گارنت حاوی پیروپ (در حدود ۲۰ درصد) + امفاسیت (در حدود ۳۰ درصد) + گلوکوفان (۵ درصد) + باروئیزیت (در حدود ۱۰ درصد) + میکای سفید (پاراگونیت - فنجیت و مسکویت در حدود ۱۰ درصد) + روتیل و کلریت (در حدود ۵ درصد) + اپیدوت و کلینوزوئیزیت و زوئیزیت (مجموعاً در حدود ۵ درصد) + آل بیت (در حدود ۵ درصد) + دیوپسید (در حدود ۵ درصد) + اسفن، کانیهای اوپک (پیریت و کالکوپیریت که در نمونه‌های دستی مشخص است) و اکسیدهای آهن به عنوان کانیهای فرعی وجود دارند.

در حاشیه تعدادی از گارنت‌های این سنگ‌ها، آمفیبول باروئیزیت، کلریت، اپیدوت، و آل بیت به صورت محصولات دگرگونی پسروده مشاهده می‌شوند که یک بافت هاله‌ای ایجاد کرده‌اند (شکل ۲- D). گارنت‌ها همچنین حاوی درونگیرهایی از باروئیزیت، اپیدوت، فیلسیلیکاتهای بی‌رنگ و آل بیت ثانویه هستند. بعضی از گارنت‌ها انکلیزیه‌هایی از امفاسیت نیز دارند. میکای سفید سدیم‌دار در بعضی نقاط به آل بیت و کلریت تبدیل شده است. همچنین وجود بقایایی از امفاسیت در درون باروئیزیت‌ها، حاکی از دگرگونی پسروده این کانیها به آمفیبول‌های مزبور است.

در تعدادی از این سنگ‌ها پیش از دگرگونی پسروده یاد شده، به رخساره اپیدوت آمفیبولیت و آمفیبولیت، سنگ در یک مرحله دستخوش کاهش فشاری تک دما را نیز شده است که طی آن از واکنش امفاسیت با کوارتز، دیوپسید و آل بیت خالص تولید شده است (۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲) (شکل ۲- C, D) :

امفاسیت + کوارتز $\rightarrow$ دیوپسید + آل بیت

در مجموعه کانیایی اوج دگرگونی اکلوزیت‌های متراکم، علاوه بر امفاسیت و گارنت، کانیهای گلوکوفان - منیز یوربیکیت + میکای سفید سدیم دار (پاراگونیت و فنجیت) و در مواردی مسکویت نیز در حال تعادل بوده‌اند که بر این اساس محاسبات دما-فشارسنجی در دانشگاه منچستر انگلستان انجام شده است. در بعضی از این سنگ‌ها فشار و دمای تعادلی مجموعه کانیایی رخساره اپیدوت آمفیبولیت و یا آمفیبولیت نیز به دست آمده است که در بخش ژئو زمین دما- فشار سنجی نتایج آن عنوان شده‌اند.



شکل ۲ A - عدسیه‌هایی از اکلوزیت‌های توده‌ای ۱۰ کیلومتری شمال گزیک که شبیه ساخت بالشی گدازه‌های بازالتی کف دریا هستند (دید به سمت شمال شرق). B - رخنمون اکلوزیت‌های توده‌ای در ۱۰ کیلومتری شمال گزیک (دید به سمت شمال شرق). C - عکس میکروسکوپی اکلوزیت توده‌ای سولا‌بست که بافت هاله‌ای و فراوانی امفاسیت را نشان می‌دهد (XPL). D - عکس میکروسکوپی اکلوزیت توده‌ای شمال گزیک که گارنت، امفاسیت، رشد درهم دیوپسید و آلبیت و باروئیزیت، کلریت و اپیدوت که حاصل دگرگونی پسروده گارنت‌اند در آن مشخص است (XPL).

ب-۲- اکلوزیت‌های دارای شیستوزیته

این سنگ‌ها دارای شیستوزیته هستند و با ارتباط گسلی با سنگ‌های رخساره شیست سبز در روی زمین دیده می‌شوند. در مقطع میکروسکوپی یکی از این سنگ‌ها، کانیهای امفاسیت (در حدود ۲۵ درصد) + گارنت (در حدود ۱۰ درصد) + باروئیزیت - وینچیت (در حدود ۱۰ درصد) + گلوکوفان - منیزوریبیکیت (در حدود ۱۰ درصد) + کوارتز (در حدود ۱۰ درصد) + آلبیت (در حدود ۵ درصد) + مسکویت، پاراگونیت و فنجیت (در حدود ۱۰ درصد) + روتیل + اپیدوت، کلینوزوئیزیت و زوئیزیت و کلریت (در حدود ۱۵ درصد) + آپاتیت، اسفن، کانیهای اوپک و اکسید آهن به عنوان کانیهای فرعی (مجموعاً در حدود ۵ درصد) مشاهده می‌شوند. دگرگونی پسروده به رخساره اپیدوت آمفیبولیت با تبدیل گارنت به اپیدوت، کلینوزوئیزیت، کلریت و آلبیت و تبدیل امفاسیت به باروئیزیت، آلبیت و کلریت مشخص است. درجه دگرگونی این سنگ‌ها بالا، رخساره دگرگونی آنها اکلوزیت - اپیدوت آمفیبولیت و بافت

میکروسکوپیکی آنها، پورفیروبلاستیکی، گرانوپوئیکیلوبلاستیکی، لپیدوبلاستیکی و نماتوبلاستیکی است. این سنگ‌ها در مواردی به رخساره شیست آبی تحول یافته‌اند؛ وجود گلوکوفان - منیزوریبیکیت و آلبیت خالص ثانویه می‌تواند دلیلی بر این رخداد باشد.

روش پژوهش

پس از مطالعات صحرایی به ویژه سنگ شناسی، مشخص شد که اکلوزیت‌ها و شیست‌های آبی مورد نظر دارای گارنت‌هایی هستند که غالباً منطقه‌بندی آنها زیر میکروسکوپ به خوبی دیده می‌شوند. به همین دلیل چند نمونه از سنگ‌های نامبرده برای بررسی‌های منطقه‌بندی و نیز زمین دما- فشارسنجی انتخاب شدند که پس از تهیه مقاطع نازک صیقلی آنها، در گروه علوم زمین دانشگاه منچستر انگلستان و با استفاده از ریزپردازنده الکترونی مورد آنالیز قرار گرفتند؛ دستگاه مورد استفاده در این کار پژوهشی یک دستگاه زمین پویا ساخت کمبریج بود که به سیستم QX-2000 ساخت آکسفورد وصل

قرار گرفته و آنالیزهای گارنت‌های یاد شده در جداول ۱ تا ۸ ارائه شده‌اند. نتایج این تجزیه‌ها نشان می‌دهد که گارنت‌ها در سنگ‌های دگرگونی مختلف منطقه دارای منطقه‌بندی شیمیایی مشخصی هستند که مورد نظر این کار پژوهشی است. در نمونه اکلوژیت بین دمدمه و توتک (۳D-3a)، گارنت‌ها از انواع گارنت‌های اکلوژیت‌های گروه C [۷] هستند. از طرف دیگر منطقه‌بندی مشخص گارنت نشان دهنده رشد این گارنت‌ها ضمن افزایش عمق، با توجه به افزایش منیزیم و کاهش آهن و منگنز از مرکز به حاشیه است ([۱۹، ۱۲، ۱۱]). بر پایه [۲۱، ۲۰، ۱۹، ۱۱] این نوع منطقه‌بندی معلوم شد که رشد گارنت‌ها طی فرآیند فرورانش شکل گرفته‌اند.

در نمونه اکلوژیت توده‌ای سولابست (SF-22)، گارنت‌ها از انواع گارنت‌های اکلوژیت نوع C هستند. از طرفی با توجه به شکل ۳-C این کانیها در گروه گارنت‌های اکلوژیت نوع C [۷] با دمای پایین [۶]، قرار می‌گیرند. همچنین بنابر نمودار مثلثی شکل ۳-D این کانیها در میدان گارنت‌های اکلوژیت‌های فرانسیسکن آمریکا که مشابه منطقه مورد مطالعه است، ترسیم شده‌اند و یک نمونه نزدیک به میدان اکلوژیت‌های متوسط [۶] یعنی اکلوژیت‌های نوع B [۷] است. از طرف دیگر منطقه‌بندی مشخص گارنت‌های این نمونه بنا بر شکل ۴ نشان دهنده رشد این گارنت‌ها ضمن افزایش عمق با توجه به افزایش منیزیم و کاهش آهن و منگنز از مرکز به حاشیه است ([۱۹، ۱۲، ۱۱]). با توجه به [۲۱، ۲۰، ۱۹، ۱۱] این نوع منطقه‌بندی نشان‌دهنده رشد گارنت‌ها طی فرآیند فرورانش است.

گارنت‌های نمونه دیگری از اکلوژیت‌های توده‌ای سولابست (Sb-1) که توسط محسن موذن در دانشگاه منچستر تجزیه شده، و در [۲۴] مورد استفاده قرار گرفت، در میدان اکلوژیت-های با دمای پایین تا دمای متوسط [۶] انواع C و B [۷] قرار گرفته‌اند. حاشیه‌های این گارنت‌ها در میدان انواع اکلوژیت‌های با دمای متوسط قرار گرفته‌اند که وابستگی آنها را به مناطق برخوردی ([۲۲، ۲۱]) نشان می‌دهند (شکل ۳-C دایره‌ها). لازم به یاد آوری است که بر پایه محاسبات دما-فشار سنجی [۳] اکلوژیت یاد شده در گروه اکلوژیت‌های با دمای متوسط کلمن و دیگران [۷] قرار گرفته است که با توجه به نزدیکی ترکیب حاشیه غنی از منیزیم گارنت‌ها به میدان اکلوژیت‌های با دمای متوسط، می‌توان تا حد زیادی به این که این اکلوژیت از نوع با

بوده است و تجزیه‌ها با یک بیناب سنج پاشنده انرژی پرتو X با دقت در حدود ۰/۲ درصد وزنی انجام شد. پردازش با یک ولتاژ شتاب دهنده ۱۵ kv و با زمان شمارش ۴۰ ثانیه برای هر تجزیه صورت گرفت که قبلاً تصحیح خودکار ZAF با استفاده از نرم افزار اتصالی ZAF4/FLS به عمل آمده بود. به دلیل اینکه EPMA مقدار Fe^{2+} و Fe^{3+} را نمی‌تواند تعیین و جدا کند، Fe کانیها باید یا به صورت Fe^{2+} و یا به صورت Fe^{3+} داده شود. در این کار پژوهشی برای کانیهای آهن داری مانند پیروکسن‌ها، گارنت‌ها، و اسپینل‌ها که نسبت‌های متفاوتی از Fe^{2+}/Fe^{3+} دارند، مقدار Fe^{3+} با استفاده از معادله دروپ [۵] بر پایه عنصرسنجی کانیهای یاد شده بر آورد شد. به دلیل اینکه ارائه تمامی آنالیزهای مورد استفاده در محاسبات دما-فشار سنجی موجب طولانی شدن بیش از حد این نوشته می‌شود لذا در این نوشته تنها میانگین نتایج آنالیز ریز پردازش گارنت‌های مورد مطالعه در جدول‌های ۱ تا ۸ ارائه شده است و نتایج تجزیه سایر کانیها در [۳] آورده شده‌اند.

بر پایه نتایج آنالیز ریزپردازش الکترونی کانیهای سنگ‌های دگرگونی فوق الذکر، فعالیت کانیهای مختلف این سنگ‌ها با نرم افزار مربوطه [۳] به دست آمد که برای محاسبه فعالیت کانیهای مختلف از روشهای پژوهشگران مختلفی نیز استفاده شده است. به عنوان مثال برای کلینوپیروکسنها با استفاده از روش [۱۳] و برای پلاژیوکلاز با روش [۱۴]، محاسبه شدند. همچنین از میان دو نرم افزار مهم مربوطه برای محاسبات دما-فشارسنجی یعنی TWEEQU برمن [۱۵] و Thermocalc هلند و پاول [۱۶]، از نرم افزار دیگری که تصحیحات لازم در محاسبات را به صورت خود کار انجام می‌دهد استفاده شد. همچنین در همه نمونه‌ها، همسنجی‌های مختلفی که توسط پژوهشگران مختلفی ارائه می‌شود، مورد استفاده قرار گرفت.

بحث و بررسی

گارنت‌های مورد مطالعه فراوان‌ترین کانی‌ها در اکلوژیت‌ها و بعضی از شیت‌های آبی منطقه مورد مطالعه را تشکیل می‌دهند و در اکلوژیت‌ها یکی از دو کانی اصلی در تعیین رخساره دگرگونی و نیز نامگذاری این سنگ‌ها هستند. این کانی‌های سنگ‌های دگرگونی مختلف منطقه، در دانشگاه منچستر انگلستان توسط نگارنده اول مورد تجزیه ریز پردازش الکترونی

دمای متوسط است اطمینان پیدا کرد؛ با توجه به اینکه در دمای رخساره اکلوزیت مورد استفاده قرار گرفته است. محاسبات دما- فشار سنجی اکتیویته حاشیه کانیها برای تعیین

جدول ۱ نتایج تجزیه ریز پردازش الکترونی گارنت‌ها در نمونه اکلوزیت دارای شلیستوزیته دمدمه (D3a) در تمام جدولها n.d.= not detect و ave= average

Sample No	D3a	D3a	D3a	D3a	D3a	D3a	D3a	D3a	D3a
Oxides/Min.	gt3	gt5	gt6	gt7	gt8	gt16	gt17	gt20	gt-ave
SiO ₂	۳۷٫۸۸	۳۷٫۷۸	۳۸٫۳۶	۳۸٫۲۱	۳۷٫۸۰	۳۸٫۶۱	۳۸٫۳۶	۳۸٫۵۴	۳۸٫۱۹
TiO ₂	۰٫۰۲	۰٫۰۲	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	۰٫۰۱
Al ₂ O ₃	۲۱٫۰۴	۲۱٫۰۷	۲۰٫۹۵	۲۱٫۰۱	۲۰٫۷۰	۲۰٫۹۵	۲۰٫۹۶	۲۱٫۳۹	۲۱٫۰۱
Cr ₂ O ₃	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Fe ₂ O ₃	۰٫۲۴	۰٫۱۹	n.d.	۰٫۱۶	۰٫۵۰	۰٫۳۶	۰٫۱۸	۰٫۳۷	۰٫۲۵
FeO	۲۹٫۰۵	۲۸٫۲۵	۲۷٫۵۶	۲۶٫۹۵	۲۵٫۲۷	۲۸٫۶۸	۲۹٫۴۱	۲۹٫۵۸	۲۸٫۰۹
MnO	۱٫۸۴	۳٫۷۲	۴٫۲۳	۴٫۸۶	۶٫۱۳	۲٫۲۶	۱٫۸۲	۰٫۹۱	۳٫۲۲
MgO	۲٫۸۳	۲٫۰۶	۱٫۷۱	۱٫۸۷	۱٫۸۹	۲٫۵۱	۲٫۶۷	۴٫۴۰	۲٫۴۹
CaO	۶٫۸۹	۷٫۱۲	۷٫۳۵	۷٫۳۵	۷٫۴۸	۷٫۲۸	۶٫۶۶	۵٫۷۷	۶٫۹۹
Total	۹۹٫۸۰	۱۰۰٫۲۱	۱۰۰٫۱۵	۱۰۰٫۴۰	۹۹٫۷۷	۱۰۰٫۶۴	۱۰۰٫۰۸	۱۰۰٫۹۵	۱۰۰٫۲۵
Formula (corr.)	12(O)	12(O)	12(O)	12(O)	12(O)	12(O)	12(O)	12(O)	12(O)
Si	۳٫۰۳۰	۳٫۰۲۰	۳٫۱۱۰	۳٫۰۷۰	۳٫۰۵۰	۳٫۰۹۰	۳٫۰۹۰	۳٫۰۲۰	۸۳٫۰۶۰
Ti	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Al	۱٫۹۹۰	۱٫۹۹۰	۲٫۰۰۰	۱٫۹۹۰	۱٫۹۷۰	۱٫۹۸۰	۱٫۹۹۰	۱٫۹۸۰	۱٫۹۹۰
Cr	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Fe ³⁺	۰٫۰۱۰	۰٫۰۱۰	n.d.	۰٫۰۱۰	۰٫۰۳۰	۰٫۰۲۰	۰٫۰۱۰	۰٫۰۲۰	۰٫۰۱۰
Fe ²⁺	۱٫۹۵۰	۱٫۸۹۰	۱٫۸۷۰	۱٫۸۱۰	۱٫۷۱۰	۱٫۹۲۰	۱٫۹۸۰	۱٫۹۴۰	۱٫۸۸۰
Mn	۰٫۱۳۰	۰٫۲۵۰	۰٫۲۹۰	۰٫۳۳۰	۰٫۴۲۰	۰٫۱۵۰	۰٫۱۲۰	۰٫۰۶۰	۰٫۲۲۰
Mg	۰٫۳۴۰	۰٫۲۵۰	۰٫۲۱۰	۰٫۲۲۰	۰٫۲۳۰	۰٫۳۰۰	۰٫۳۲۰	۰٫۵۱۰	۰٫۳۰۰
Ca	۰٫۵۹۰	۰٫۶۱۰	۰٫۶۴۰	۰٫۶۳۰	۰٫۶۵۰	۰٫۶۳۰	۰٫۵۸۰	۰٫۴۹۰	۰٫۶۰۰
Total	۸٫۰۳۰	۸٫۰۳۰	۸٫۱۱۰	۸٫۰۷۰	۸٫۰۵۰	۸٫۰۹۰	۸٫۰۹۰	۸٫۰۲۰	۸٫۰۶۰
Almandine	۶۴٫۸۴۰	۶۳٫۰۴۰	۶۲٫۲۱۰	۶۰٫۴۰۰	۵۶٫۸۶۰	۶۴٫۰۸۰	۶۶٫۰۰۰	۶۴٫۴۸۰	۶۲٫۷۶۰
Spessartine	۴٫۱۷۰	۸٫۴۲۰	۹٫۶۷۰	۱۱٫۰۳۰	۱۳٫۹۷۰	۵٫۱۱۰	۴٫۱۴۰	۲٫۰۱۰	۷٫۳۲۰
Pyrope	۱۱٫۲۸۰	۸٫۱۸۰	۶٫۸۷۰	۷٫۴۷۰	۷٫۶۰۰	۹٫۹۸۰	۱۰٫۷۰۰	۱۷٫۱۵۰	۹٫۹۰۰
Grossular	۱۹٫۵۷۰	۲۰٫۲۵۰	۲۱٫۲۵۰	۲۰٫۹۹۰	۲۱٫۲۴۰	۲۰٫۶۲۰	۱۹٫۰۶۰	۱۵٫۹۸۰	۱۹٫۸۷۰
Andradite	۰٫۱۴۰	۰٫۱۲۰	n.d.	۰٫۱۰۰	۰٫۳۳۰	۰٫۲۲۰	۰٫۱۰۰	۰٫۱۸۰	۰٫۱۵۰

جدول ۲ نتایج تجزیه ریز پردازش الکترونی گارنت‌ها در نمونه اکلوزیت توده‌ای سولابست (SF22)

Sample No	SF22	SF22	SF22	SF22	SF22	SF22	SF22	SF22
Oxides/Min.	gt1	gt2	gt3	gt4	gt5	gt6	gt7	gt-ave
SiO ₂	۳۸٫۷۵	۳۸٫۷۴	۳۹٫۱۳	۳۸٫۵۶	۳۸٫۵۵	۳۸٫۰۵	۳۸٫۹۲	۳۸٫۶۷
TiO ₂	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Al ₂ O ₃	۲۱٫۳۶	۲۱٫۸۱	۲۱٫۹۰	۲۱٫۳۵	۲۱٫۵۵	۲۱٫۱۲	۲۱٫۴۲	۲۱٫۵۰

Cr ₂ O ₃	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Fe ₂ O ₃	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
FeO	۲۷٫۶۰	۲۶٫۴۰	۲۸٫۱۱	۲۷٫۷۳	۲۷٫۹۵	۲۸٫۳۳	۲۸٫۰۵	۲۷٫۷۴
MnO	۱٫۴۸	۰٫۹۳	۱٫۵۹	۱٫۹۱	۱٫۹۷	۳٫۶۳	۳٫۱۰	۲٫۰۹
MgO	۵٫۲۵	۶٫۳۰	۵٫۵۵	۴٫۵۲	۴٫۵۱	۳٫۳۹	۳٫۴۹	۴٫۷۲
CaO	۵٫۵۴	۵٫۴۲	۵٫۵۱	۶٫۰۵	۵٫۸۸	۵٫۶۸	۶٫۱۵	۵٫۷۵
Total	۹۹٫۹۸	۹۹٫۶۰	۱۰۱٫۸۰	۱۰۰٫۱۲	۱۰۰٫۴۱	۱۰۰٫۱۹	۱۰۱٫۱۳	۱۰۰٫۴۶
Formula (corr.)	12(O)	12(O)	12(O)	12(O)	12(O)	12(O)	12(O)	12(O)
Si	۳٫۰۳۰	۳٫۰۲۰	۳٫۰۱۰	۳٫۰۳۰	۳٫۰۲۰	۳٫۰۲۰	۳٫۰۴۰	۳٫۰۲۰
Ti	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Al	۱٫۹۷۰	۲٫۰۰۰	۱٫۹۹۰	۱٫۹۸۰	۱٫۹۹۰	۱٫۹۷۰	۱٫۹۷۰	۱٫۹۸۰
Fe ³⁺	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Fe ²⁺	۱٫۸۱۰	۱٫۷۲۰	۱٫۸۱۰	۱٫۸۲۰	۱٫۸۳۰	۱٫۸۸۰	۱٫۸۳۰	۱٫۸۱۰
Mn	۰٫۱۰۰	۰٫۰۶۰	۰٫۱۰۰	۰٫۱۳۰	۰٫۱۳۰	۰٫۲۴۰	۰٫۲۱۰	۰٫۱۴۰
Mg	۰٫۶۱۰	۰٫۷۳۰	۰٫۶۴۰	۰٫۵۳۰	۰٫۵۳۰	۰٫۴۰۰	۰٫۴۱۰	۰٫۵۵۰
Ca	۰٫۴۷۰	۰٫۴۵۰	۰٫۴۵۰	۰٫۵۱۰	۰٫۴۹۰	۰٫۴۸۰	۰٫۵۱۰	۰٫۴۸۰
Total	۷٫۹۸۰	۷٫۹۸۰	۸٫۰۰۰	۷٫۹۹۰	۷٫۹۹۰	۸٫۰۰۰	۷٫۹۷۰	۷٫۹۹۰

جدول ۳ نتایج تجزیه ریز پردازش الکترونی گارنت‌ها در نمونه اکلوزیت توده‌ای سولابست (Sb-1).

Sample No.	Sb-1	Sb-1	Sb-1	Sb-1	Sb-1	Sb-1
Oxides/Min.	gt19	gt25	gt29	gt35	gt36	gt-ave
SiO ₂	۴۰٫۱۳	۳۸٫۱۷	۳۷٫۳۳	۴۰٫۶۳	۴۰٫۸۶	۳۹٫۴۲
TiO ₂	۰٫۰۳	۰٫۱۸	۰٫۱۵	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۹
Al ₂ O ₃	۲۲٫۰۳	۲۰٫۴۷	۲۰٫۴۷	۲۱٫۹۹	۲۲٫۲۱	۲۱٫۴۳
Cr ₂ O ₃	۰٫۰۵	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۴	۰٫۰۵	۰٫۰۳
Fe ₂ O ₃	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
FeO	۱۹٫۷۳	۲۶٫۷۹	۲۷٫۶۷	۱۸٫۸۵	۱۹٫۳۴	۲۲٫۴۸
MnO	۰٫۵۰	۱٫۴۲	۱٫۳۲	۰٫۶۴	۰٫۴۸	۰٫۸۷
MgO	۱۰٫۵۵	۲٫۰۹	۲٫۹۵	۱۰٫۶۵	۹٫۸۸	۷٫۲۲
CaO	۷٫۸۴	۱۱٫۱۵	۹٫۶۶	۸٫۲۸	۹٫۳۰	۹٫۲۵
Total	۱۰۰٫۸۴	۱۰۰٫۲۷	۹۹٫۵۶	۱۰۱٫۱۲	۱۰۲٫۱۷	۱۰۰٫۷۹
Formula (corr.)	12(O)	12(O)	12(O)	12(O)	12(O)	12(O)
Si	۳٫۰۰۰	۳٫۰۲۰	۲٫۹۸۰	۳٫۰۲۰	۳٫۰۲۰	۳٫۰۱۰
Ti	n.d.	۰٫۰۱۰	۰٫۰۱۰	n.d.	n.d.	۰٫۰۱۰
Al	۱٫۹۴۰	۱٫۹۱۰	۱٫۹۳۰	۱٫۹۳۰	۱٫۹۳۰	۱٫۹۳۰
Cr	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Fe ³⁺	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Fe ²⁺	۱٫۲۳۰	۱٫۷۸۰	۱٫۸۵۰	۱٫۱۷۰	۱٫۲۰۰	۱٫۴۵۰
Mn	۰٫۰۳۰	۰٫۱۰۰	۰٫۰۹۰	۰٫۰۴۰	۰٫۰۳۰	۰٫۰۶۰
Mg	۱٫۱۸۰	۰٫۲۵۰	۰٫۳۵۰	۱٫۱۸۰	۱٫۰۹۰	۰٫۸۱۰
Ca	۰٫۶۳۰	۰٫۹۵۰	۰٫۸۳۰	۰٫۶۶۰	۰٫۷۴۰	۰٫۷۶۰
Total	۸٫۰۲۰	۸٫۰۱۰	۸٫۰۴۰	۸٫۰۱۰	۸٫۰۱۰	۸٫۰۲۰

جدول ۴ نتایج تجزیه ریز پردازش الکترونی گارنت‌ها در نمونه اکلوزیت توده‌ای شمال گزیک (F3).

Sample No	F3	F3	F3	F3	F3	F3	F3
Oxides/Min.	gt6	gt9	gt23	gt27	gt31	gt36	gt-ave
SiO ₂	۳۸٫۵۰	۳۸٫۲۸	۳۸٫۵۷	۳۷٫۶۵	۳۷٫۹۶	۳۸٫۴۵	۳۸٫۲۴
TiO ₂	۰٫۱۰	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	۰٫۱۰
Al ₂ O ₃	۴۱٫۰۹	۴۱٫۰۳	۴۱٫۲۹	۴۱٫۰۶	۴۱٫۰۷	۴۱٫۰۶	۴۱٫۱۰

Cr ₂ O ₃	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Fe ₂ O ₃	۰٫۲۲	۰٫۲۲	۰٫۰۷	۰٫۰۳	۰٫۳۳	۰٫۲۳	۰٫۱۸
FeO	۲۹٫۸۱	۲۹٫۴۱	۳۰٫۰۴	۲۴٫۴۲	۲۹٫۴۵	۲۹٫۰۴	۲۸٫۷۰
MnO	۰٫۹۳	۱٫۰۹	۰٫۹۹	۷٫۱۸	۱٫۹۰	۲٫۰۸	۲٫۳۶
MgO	۳٫۴۶	۳٫۳۵	۳٫۵۶	۱٫۵۷	۲٫۷۷	۲٫۶۳	۲٫۸۹
CaO	۶٫۲۱	۶٫۴۴	۶٫۰۲	۷٫۸۵	۶٫۷۷	۷٫۰۰	۶٫۷۲
Total	۱۰۰٫۳۲	۹۹٫۸۳	۱۰۰٫۵۵	۹۹٫۷۶	۱۰۰٫۲۴	۱۰۰٫۴۹	۱۰۰٫۲۰
Formula (corr.)	12(O)	12(O)	12(O)	12(O)	12(O)	12(O)	12(O)
Si	۳٫۰۸۰	۳٫۰۷۰	۳٫۰۷۰	۳٫۰۳۰	۳٫۰۳۰	۳٫۰۸۰	۳٫۰۶۰
Ti	۰٫۰۱۰	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	۰٫۰۱۰
Al	۱٫۹۹۰	۱٫۹۹۰	۲٫۰۰۰	۲٫۰۰۰	۱٫۹۸۰	۱٫۹۹۰	۱٫۹۹۰
Cr	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Fe ³⁺	۰٫۰۱۰	۰٫۰۱۰	n.d.	n.d.	۰٫۰۲۰	۰٫۰۱۰	۰٫۰۱۰
Fe ²⁺	۱٫۹۹۰	۱٫۹۷۰	۲٫۰۰۰	۱٫۶۵۰	۱٫۹۶۰	۱٫۹۴۰	۱٫۹۲۰
Mn	۰٫۰۶۰	۰٫۰۷۰	۰٫۰۷۰	۰٫۴۹۰	۰٫۱۳۰	۰٫۱۴۰	۰٫۱۶۰
Mg	۰٫۴۱۰	۰٫۴۰۰	۰٫۴۲۰	۰٫۱۹۰	۰٫۳۳۰	۰٫۳۱۰	۰٫۳۴۰
Ca	۰٫۵۳۰	۰٫۵۵۰	۰٫۵۱۰	۰٫۶۸۰	۰٫۵۸۰	۰٫۶۰۰	۰٫۵۸۰
Total	۸٫۰۸۰	۸٫۰۷۰	۸٫۰۷۰	۸٫۰۳۰	۸٫۰۳۰	۸٫۰۸۰	۸٫۰۶۰

جدول ۵ نتایج تجزیه ریز پردازش الکترونی گارنت‌ها در نمونه اکلویٹ شمال گزیک (FGE3).

Sample No	FGE3	FGE3	FGE3	FGE3	FGE3	FGE3	FGE3	FGE3
Oxides,Min.	gt4	gt5	gt6	gt7	gt8	gt10	gt11	gt-ave
SiO ₂	۳۹٫۲۱	۳۹٫۳۴	۳۸٫۹۷	۳۸٫۶۳	۳۸٫۶۶	۳۹٫۲۸	۳۹٫۰۸	۳۹٫۰۲
TiO ₂	n.d.	۰٫۰۸	۰٫۷۲	۰٫۰۳	۰٫۸۲	n.d.	۰٫۲۲	۰٫۲۷
Al ₂ O ₃	۲۰٫۵۸	۲۰٫۷۲	۲۰٫۳۷	۲۰٫۶۴	۲۰٫۷۹	۲۰٫۷۵	۲۰٫۶۸	۲۰٫۶۵
Cr ₂ O ₃	n.d.	۰٫۰۷	n.d.	۰٫۱۱	n.d.	n.d.	n.d.	۰٫۰۳
Fe ₂ O ₃	۰٫۱۴	۰٫۱۲	۰٫۲۱	۰٫۱۶	۰٫۰۵	۰٫۱۰	۰٫۱۰	۰٫۱۳
FeO	۲۸٫۹۱	۲۸٫۷۶	۲۸٫۴۶	۲۸٫۵۶	۲۹٫۱۳	۲۹٫۱۱	۲۹٫۰۶	۲۸٫۸۶
MnO	۰٫۹۵	۰٫۷۴	۰٫۹۲	۰٫۸۲	۰٫۷۵	۰٫۸۷	۰٫۸۵	۰٫۸۴
MgO	۲٫۷۹	۳٫۲۰	۳٫۰۰	۳٫۳۳	۳٫۱۷	۲٫۹۵	۲٫۷۷	۳٫۰۳
CaO	۶٫۹۱	۶٫۹۱	۶٫۷۲	۶٫۷۹	۶٫۶۳	۶٫۸۲	۷٫۰۲	۶٫۸۳
Total	۹۹٫۴۸	۹۹٫۹۳	۹۹٫۳۸	۹۹٫۰۶	۹۹٫۹۹	۹۹٫۸۸	۹۹٫۷۸	۹۹٫۶۴
Formula (corr.)	12(O)	12(O)	12(O)	12(O)	12(O)	12(O)	12(O)	12(O)
Si	۳٫۲۲۰	۳٫۲۰۰	۳٫۲۳۰	۳٫۱۵۰	۳٫۱۵۰	۳٫۲۰۰	۳٫۲۰۰	۳٫۱۹۰
Ti	n.d.	۰٫۰۱۰	۰٫۰۵۰	n.d.	۰٫۰۵۰	n.d.	۰٫۰۱۰	۰٫۰۲۰
Al	۱٫۹۹۰	۱٫۹۹۰	۱٫۹۹۰	۱٫۹۸۰	۲٫۰۰۰	۱٫۹۹۰	۱٫۹۹۰	۱٫۹۹۰
Cr	n.d.	۰٫۰۱۰	n.d.	۰٫۰۱۰	n.d.	n.d.	n.d.	۰٫۰۱۰
Fe ³⁺	۰٫۰۱۰	۰٫۰۱۰	۰٫۰۱۰	۰٫۰۱۰	n.d.	۰٫۰۱۰	۰٫۰۱۰	۰٫۰۱۰
Fe ²⁺	۱٫۹۹۰	۱٫۹۶۰	۱٫۹۷۰	۱٫۹۵۰	۱٫۹۹۰	۱٫۹۹۰	۱٫۹۹۰	۱٫۹۸۰
Mn	۰٫۰۷۰	۰٫۰۵۰	۰٫۰۷۰	۰٫۰۶۰	۰٫۰۵۰	۰٫۰۶۰	۰٫۰۶۰	۰٫۰۶۰
Mg	۰٫۳۴۰	۰٫۳۹۰	۰٫۳۷۰	۰٫۴۰۰	۰٫۳۹۰	۰٫۳۶۰	۰٫۳۴۰	۰٫۳۷۰
Ca	۰٫۶۱۰	۰٫۶۰۰	۰٫۶۰۰	۰٫۵۹۰	۰٫۵۸۰	۰٫۶۰۰	۰٫۶۲۰	۰٫۶۰۰
Total	۸٫۲۲۰	۸٫۲۱۰	۸٫۲۷۰	۸٫۱۵۰	۸٫۲۰۰	۸٫۲۰۰	۸٫۲۱۰	۸٫۲۱۰

جدول ۶ نتایج تجزیه ریز پردازش الکترونی حاشیه گارنت‌ها در نمونه اکلویٹ اپیدوت آمفیبولیتی شده شمال گزیک (F2).

Sample No	F2	F2	F2	F2	F2	F2	F2	F2
Oxides,Min.	gt15	gt20	gt29	gt30	gt31	gt32	gt33	gt-ave
	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim	rim
SiO ₂	۳۸٫۲۷	۳۸٫۳۹	۴۶٫۳۸	۳۶٫۳۸	۱۱٫۳۸	۵۵٫۳۸	۴۸٫۳۸	۳۷٫۳۸
TiO ₂	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	۰٫۴۰	۰٫۴۰

Al ₂ O ₃	۲۱,۲۱	۲۱,۲۵	۰,۹۲۱	۲۲,۲۱	۷۱,۲۰	۲۰,۲۱	۲۸,۲۱	۱۴,۲۱
Cr ₂ O ₃	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	۰,۴۰	۱۵,۰	n.d.	۱۰,۰
Fe ₂ O ₃	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
FeO	۳۰,۹۶	۲۹,۷۴	۵۵,۲۹	۴۲,۳۰	۳۰,۳۰	۸۰,۲۹	۸۱,۲۹	۰,۸۳۰
MnO	۰,۷۱	۰,۹۴	۸۷,۰	۷۳,۰	۶۵,۰	۶۹,۰	۹۱,۰	۷۹,۰
MgO	۲,۹۷	۳,۰۴	۶۹,۲	۰,۱۳	۰,۲۳	۷۳,۳	۵۲,۳	۳,۱۴
CaO	۶,۷۹	۷,۲۱	۷۶,۷	۰,۹۶	۰,۴۷	۲۷,۶	۸۳,۶	۸۶,۶
Total	۱۰۰,۹۲	۱۰۰,۵۷	۴۲,۱۰۰	۸۲,۹۹	۸۶,۹۹	۴۰,۱۰۰	۸۶,۱۰۰	۴۱,۱۰۰
Formula (corr.)	12(O)	12(O)	12(O)	12(O)	12(O)	12(O)	12(O)	12(O)
Si	۳,۰۲۰	۳,۰۳۰	۰,۴۰,۳	۰,۴۰,۳	۰,۳۰,۳	۰,۳۰,۳	۰,۲۰,۳	۰,۳۰,۳
Ti	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Al	۱,۹۷۰	۱,۹۷۰	۹۶,۰۱	۹۸,۰۱	۹۴,۰۱	۹۷,۰۱	۹۷,۰۱	۹۶,۰۱
Cr	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	۰,۱۰,۰	n.d.	۰,۱۰,۰
Fe ³⁺	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Fe ²⁺	۲,۰۴۰	۱,۹۶۰	۹۵,۰۱	۰,۲۰,۲	۰,۲۰,۲	۹۶,۰۱	۹۶,۰۱	۹۸,۷۱
Mn	۰,۰۵۰	۰,۰۶۰	۰,۶۰,۰	۰,۵۰,۰	۰,۴۰,۰	۰,۵۰,۰	۰,۶۰,۰	۰,۵۳,۰
Mg	۰,۳۵۰	۰,۳۶۰	۳۲,۰۰	۳۶,۰۰	۳۶,۰۰	۴۴,۰۰	۴۱,۰۰	۳۷,۱۰
Ca	۰,۵۷۰	۰,۶۱۰	۶۶,۰۰	۵۲,۰۰	۶۰,۰۰	۵۳,۰۰	۵۷,۰۰	۵۸,۰۰
Total	۸,۰۰۰	۷,۹۹۰	۹۸,۰۷	۹۷,۰۷	۰۰,۰۸	۹۸,۰۷	۹۹,۰۷	۹۸,۷۷

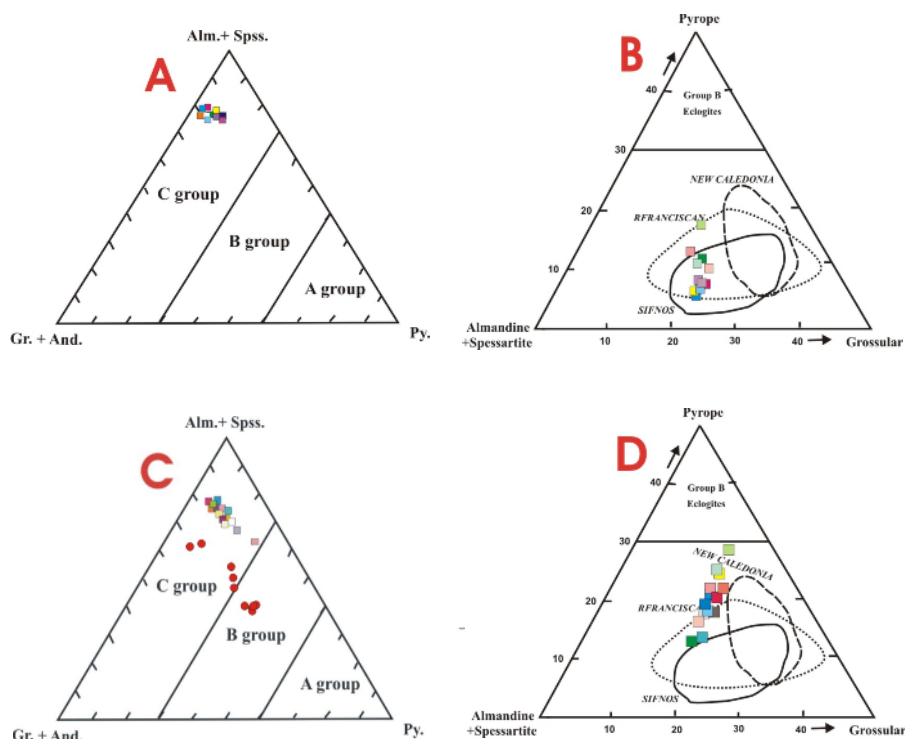
جدول ۷ نتایج تجزیه ریز پردازش الکترونی گارنت‌ها در شیت آبی گارنت‌دار سولابست (FSD8a).

Sample No	FSD8a	FSD8a	FSD8a	FSD8a	FSD8a	FSD8a	FSD8a	FSD8a
Oxides/Min.	gt1	gt2	gt3	gt4	gt6	gt8	gt10	gt-ave
SiO ₂	۲۸,۳۸	۴۸,۳۷	۲۵,۳۷	۳۹,۳۸	۹۹,۳۷	۳۹,۳۸	۳۵,۳۷	۸۹,۳۷
TiO ₂	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	۰,۵۰	n.d.	۰,۵۰
Al ₂ O ₃	۴۲,۲۱	۷۲,۲۰	۰,۶۲۱	۰,۷۲۱	۰,۲۲۱	۷۰,۲۰	۴۲,۲۰	۹۲,۲۰
Cr ₂ O ₃	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Fe ₂ O ₃	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
FeO	۳۱,۳۰	۳۹,۳۰	۷۵,۲۹	۰,۸۳۰	۱۵,۳۰	۴۳,۲۳	۸۱,۲۵	۵۶,۲۸
MnO	۷۸,۰	۱۹,۱	۷۴,۰	۷۵,۰	۷۷,۱	۵۶,۷	۰,۵۵	۵۵,۲
MgO	۳۰,۳	۴۱,۲	۱۶,۳	۹۱,۲	۱۷,۲	۳۱,۱	۴۶,۱	۳۹,۲
CaO	۴۵,۶	۶۳,۶	۶۷,۶	۸۱,۶	۱۴,۷	۹۴,۸	۱۰,۸	۲۵,۷
Total	۶۳,۱۰۰	۸۳,۹۸	۶۴,۹۸	۰۰,۱۰۰	۲۵,۱۰۰	۳۷,۱۰۰	۲۱,۹۸	۵۶,۹۹
Formula (corr.)	12(O)	12(O)	12(O)	12(O)	12(O)	12(O)	12(O)	12(O)
Si	۰,۲۰,۳	۰,۲۰,۳	۰۰۰,۳	۰,۴۰,۳	۰,۲۰,۳	۰,۵۰,۳	۰,۴۰,۳	۰,۳۰,۳
Ti	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Al	۹۹۰,۱	۹۷۰,۱	۰۰۰,۲	۹۷۰,۱	۹۷۰,۱	۹۴۰,۱	۹۶۰,۱	۹۷۰,۱
Cr	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Fe ³⁺	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Fe ²⁺	۰۰۰,۲	۰,۵۰,۲	۰۰۰,۲	۹۹۰,۱	۰,۱۰,۲	۵۶۰,۱	۷۶۰,۱	۹۱۰,۱
Mn	۰,۵۰,۰	۰,۸۰,۰	۰,۵۰,۰	۰,۵۰,۰	۱۲۰,۰	۵۱۰,۰	۳۵۰,۰	۱۷۰,۰
Mg	۳۹۰,۰	۲۹۰,۰	۳۸۰,۰	۳۴۰,۰	۲۶۰,۰	۱۶۰,۰	۱۸۰,۰	۲۹۰,۰
Ca	۵۴۰,۰	۵۷۰,۰	۵۸۰,۰	۵۸۰,۰	۶۱۰,۰	۷۶۰,۰	۷۱۰,۰	۶۲۰,۰
Total	۹۹۰,۷	۹۹۰,۷	۰۰۰,۸	۹۷۰,۷	۹۹۰,۷	۹۸۰,۷	۹۸۰,۷	۹۹۰,۷

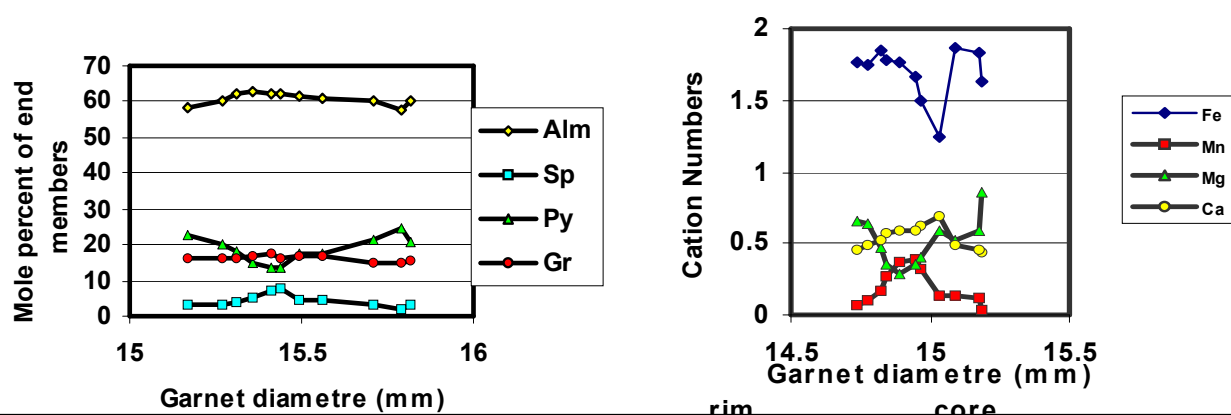
جدول ۸ نتایج تجزیه ریز پردازش الکترونی گارنت‌ها در شیت آبی گارنت‌دار شمال گزیک (متاجرت منگن‌دار) (GOF5).

Sample No	GOF5	GOF5	GOF5	GOF5	GOF5	GOF5	GOF5
Oxides/Min.	gt2	gt4	gt5	gt3	gt7	gt12	gt-ave
SiO ₂	۲۸,۷۶	۲۸,۴۲	۲۸,۲۹	۲۸,۳۵	۲۸,۲۸	۲۸,۲۳	۲۸,۳۹
TiO ₂	n.d.	n.d.	n.d.	۰,۰۴	۰,۶۹	۰,۰۴	۰,۱۳
Al ₂ O ₃	۲۰,۷۲	۲۰,۲۰	۲۰,۶۸	۲۰,۷۸	۱۹,۶۹	۲۰,۷۰	۲۰,۴۶

Cr ₂ O ₃	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Fe ₂ O ₃	۰٫۳۴	۰٫۶۸	۰٫۱۵	۰٫۲۵	۱٫۱۷	۰٫۲۳	۰٫۴۷
FeO	۲۲٫۷۰	۲۰٫۲۰	۲۲٫۱۵	۲۳٫۳۲	۱۶٫۶۷	۲۱٫۸۴	۲۱٫۱۵
MnO	۹٫۱۰	۱۱٫۰۳	۹٫۷۱	۸٫۳۷	۱۴٫۲۲	۱۰٫۱۹	۱۰٫۴۴
MgO	۲٫۱۵	۱٫۶۷	۱٫۷۴	۲٫۱۰	۱٫۲۰	۱٫۹۵	۱٫۸۰
CaO	۶٫۶۳	۷٫۲۴	۶٫۸۹	۶٫۸۱	۷٫۸۰	۶٫۵۸	۶٫۹۹
Total	۱۰۰٫۳۹	۹۹٫۴۵	۹۹٫۶۰	۱۰۰٫۰۲	۹۹٫۷۲	۹۹٫۷۷	۹۹٫۸۲
Formula (corr.)	12(O)	12(O)	12(O)	12(O)	12(O)	12(O)	12(O)
Si	۳٫۱۴۰	۳٫۱۶۰	۳٫۱۳۰	۳٫۱۱۰	۳٫۱۸۰	۳٫۱۱۰	۳٫۱۴۰
Ti	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	۰٫۰۴۰	n.d.	۰٫۰۴۰
Al	۱٫۹۸۰	۱٫۹۶۰	۱٫۹۹۰	۱٫۹۹۰	۱٫۹۳۰	۱٫۹۹۰	۱٫۹۷۰
Cr	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Fe ³⁺	۰٫۰۲۰	۰٫۰۴۰	۰٫۰۱۰	۰٫۰۲۰	۰٫۰۷۰	۰٫۰۱۰	۰٫۰۳۰
Fe ²⁺	۱٫۵۴۰	۱٫۳۹۰	۱٫۵۱۰	۱٫۵۸۰	۰٫۱۶۰	۱٫۴۹۰	۱٫۴۴۰
Mn	۰٫۶۳۰	۰٫۷۷۰	۰٫۶۷۰	۰٫۵۷۰	۱٫۰۰۰	۰٫۷۰۰	۰٫۷۲۰
Mg	۰٫۲۶۰	۰٫۲۱۰	۰٫۲۱۰	۰٫۲۵۰	۰٫۱۵۰	۰٫۲۴۰	۰٫۲۲۰
Ca	۰٫۵۸۰	۰٫۶۴۰	۰٫۶۰۰	۰٫۵۹۰	۰٫۶۹۰	۰٫۵۷۰	۰٫۶۱۰
Total	۸٫۱۴۰	۸٫۱۶۰	۸٫۱۳۰	۸٫۱۱۰	۸٫۲۲۰	۸٫۱۲۰	۸٫۱۶۰



شکل ۳ A, C- نمودار شاخص گارنتهای انواع اکلوژیت‌ها به ترتیب در اکلوژیت دارای شیسستوزیته دمدمه (D-3a) و اکلوژیت‌های توده‌ای سولا بست (SF-22 = مربع و Sb-1 = دایره)؛ اقتباس از [۷]. B, D - تغییرات ترکیبی گارنتها به ترتیب در اکلوژیت دارای شیسستوزیته دمدمه (D-3a) و اکلوژیت توده‌ای سولا بست (SF-22). خط بین اکلوژیت‌های نوع B و C از [۷] اقتباس از [۷].



شکل ۴ سمت راست: منطقه‌بندی شیمیایی در قطر ناحیه تجزیه شده A گارنت در اکلوزیت توده‌ای سولابست (SF-22)، سمت چپ- منطقه-بندی شیمیایی در قطر ناحیه تجزیه شده D گارنت در اکلوزیت توده‌ای سولابست (SF-22).

سنگ بوده است. بر پایه نمودار مثلثی ترکیب گارنت در منبع [۳] گارنت‌های این نمونه از شیت آبی در میدان گارنت‌های اکلوزیت‌های با دمای پایین [۶] یا گارنت‌های نوع C [۷] ترسیم شده است؛ که شاهدهی است بر این مدعا که این شیت آبی از شیت‌های آبی وابسته و همراه با اکلوزیت‌های با دمای پایین [۶] حاصل شده است؛ این همراهی بنا بر نظر بسیاری از پژوهشگران (۲۲ و ۲۳) مؤید فرایند فرورانش در منطقه مورد مطالعه و در به طور کلی در شرق ایران است.

در جهت تأیید نتایج حاصل از منطقه‌بندی گارنت‌ها و شیمی آنها، خلاصه نتایج دما- فشار سنجی ۱۴ نمونه از سنگ-های دگرگونی منطقه مورد مطالعه را که نقطه فشار - دمای آن انحراف معیار قابل قبولی دارد (منبع [۳]) در شکل ۷، ارائه کرده‌ایم.

در بیشتر سنگ‌های این گروه با توجه به تعداد کانیهای در تعادل با رخساره‌های دگرگونی مختلف و با استفاده از نتایج تجزیه‌های ریز پردازی و فعالیتهای محاسبه شده (با استفاده از نرم افزار محاسبه فعالیت^۲ اعضای پایانی کانیها <http://www.esc.cam.ac.uk/pub/minp/AX/> (جدول ۵-۱) [۳])، برای تعیین دما و فشار تشکیل و تبلور مجموعه‌های کانیایی این سنگها از نرم افزار کامپیوتری ترموکالک [۱۶؛ ۳/۱، ۲۰۰۱] استفاده شد.

در این بخش خلاصه نتایج زمین دما- فشارسنجی و تعبیر و تفسیر همه این نمونه‌ها برای تأیید نتایج حاصل از گارنت‌ها

در اکلوزیت‌های توده‌ای شمال گزیک (FGE-3 و F-2) نیز گارنت‌ها از انواع گارنت‌های اکلوزیت‌هاست. بنا بر نمودارمثلثی شکل ۶- A گارنت‌های دو نمونه بالا، در میدان گارنت‌های اکلوزیت‌های با دمای پایین [۶] یا گارنت‌های نوع C [۷] ترسیم شده است. همچنین بنا بر نمودار مثلثی شکل ۶- B گارنت‌های این دو نمونه یاد شده (FGE-3 و F-2) در میدان گارنت‌های اکلوزیت‌های فرانسيسکن آمریکا که مشابه منطقه مورد مطالعه است، ترسیم شده‌اند که این گارنت‌ها خود در میدان اکلوزیت‌های با دمای پایین [۶] که معادل اکلوزیت‌های نوع C [۷] است قرار گرفته است.

از طرف دیگر منطقه‌بندی مشخص گارنت‌های اکلوزیت‌های توده‌ای شمال گزیک، مثل نمونه F-3، با توجه به شکل ۵ سمت راست، می‌تواند نشان دهنده رشد این گارنت‌ها ضمن افزایش عمق با افزایش منیزیم و کاهش منگنز از مرکز به حاشیه باشد (۱۱، ۱۸، ۱۹). چنانکه پیش از این عنوان شد بر پایه [۱۱، ۱۹، ۲۰، ۲۱] این نوع منطقه‌بندی نشاندهنده رشد گارنت‌ها طی فرایند فرورانش است.

در نمونه شیت آبی گارنت‌دار سولابست (FSD-8a) نیز، منطقه‌بندی مشخص گارنت، با توجه به [۳] و شکل ۵ سمت چپ، می‌تواند نشان دهنده رشد این گارنت‌ها با افزایش منیزیم و کاهش منگنز از مرکز به حاشیه باشد (۱۱، ۱۸، ۱۹).

در نمونه شیت آبی گارنت‌دار شمال گزیک (GOF-5)، گارنت‌ها از انواع گارنت‌های شیت‌های آبی منگنزدارند که؛ منبع [۳] آن را تأیید می‌کند؛ بنا بر این می‌توان چنین نتیجه گرفت که سنگ اولیه این سنگ احتمالاً یک چرت منگنزدار با توجه به درصد بالای مدال کوارتز و اسپسارتین (جدول ۱) در

با ارائه نمودار P-T-Path سنگهای دگرگونی حاوی گارنت در شکل ۷ عنوان شده است.

با توجه به بافت هاله‌ای در مقطع نازک اغلب اکلوزیت‌ها که از باروئیزیت، آلبیت، زوئیزیت، کلینوزوئیزیت، اپیدوت، و کلریت تشکیل شده است (بخش سنگ شناسی) و مجموعه کانیاپی رخساره اپیدوت آمفیبولیت را نشان می‌دهد، و بر پایه نتایج دما-فشارسنجی برای رخساره اپیدوت آمفیبولیت در سنگ‌های یاد شده و نیز نتایج دما-فشارسنجی رخساره اپیدوت آمفیبولیت در سنگ‌های وابسته به اکلوزیت‌ها (مثل F-2, F-2a, TDF-26، این اکلوزیت‌ها و نمونه‌های وابسته پس از مراحل یاد شده به سمت سطح زمین حرکت کرده‌اند و با کاهش فشار، مجموعه کانیاپی اکلوزیت در آنها به صورت بخشی به مجموعه کانیاپی رخساره اپیدوت آمفیبولیت تبدیل شده است. در مرحله بالا آمدن که احتمالاً طی راندگی این سنگ‌ها در اواخر مرحله فرورانش و یا طی مرحله برخورد دو بلوک لوت و افغان صورت گرفته است، این سنگ‌ها بر پایه نتایج دما-فشارسنجی فوق‌الذکر از اعماق مختلف با گرادیان دمایی متفاوتی به سمت سطح زمین حرکت کرده‌اند [۲۴]؛ زیرا تعدادی از اکلوزیت‌ها از انواع متوسط [۶] و یا نوع B [۷] هستند که بنا بر [۶]، [۲۲]، [۲۴]، و [۲۵] خاص مناطق فرورانش و برخوردی هستند.

بنا بر این اکلوزیت‌ها، اکلوزیت‌های اپیدوت آمفیبولیتی شده، شیست‌های آبی و اپیدوت آمفیبولیت‌ها طی مرحله برگشت به سطح زمین مسیرهای متفاوتی را پیموده‌اند. به عبارت دیگر به صورت بلوک‌های زمین ساختی و از مسیرهای مختلفی بالا آمده‌اند. به صورتی که بعضی ضمن بالا آمدن و کاهش فشار، تحت تأثیر افزایش دمای ناچیزی نیز قرار گرفته‌اند که می‌تواند در ارتباط با واکنشهای آگیری و تبدیل رخساره اکلوزیت به اپیدوت آمفیبولیت طی بالا آمدن و گرمای اصطکاکی باشد [۳]. تعدادی نیز بدون هیچگونه افزایش یا کاهش دما و به صورت بی‌دررو به بالا راه یافته‌اند. بعضی از نمونه‌های دیگر نیز مسیر کاهش دما و فشار همزمان را پیموده‌اند (شکل ۷).

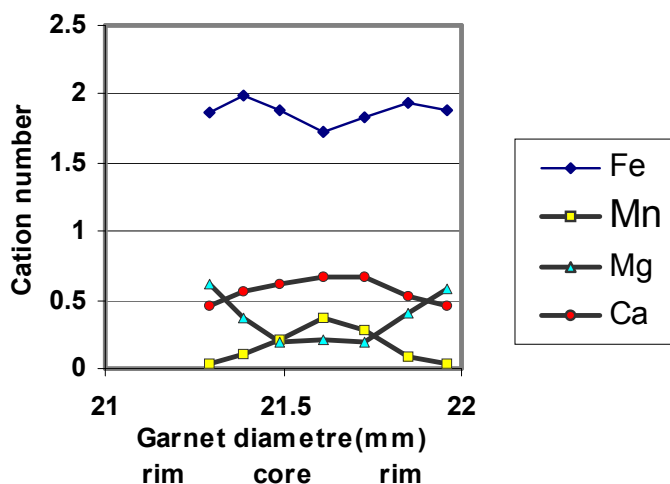
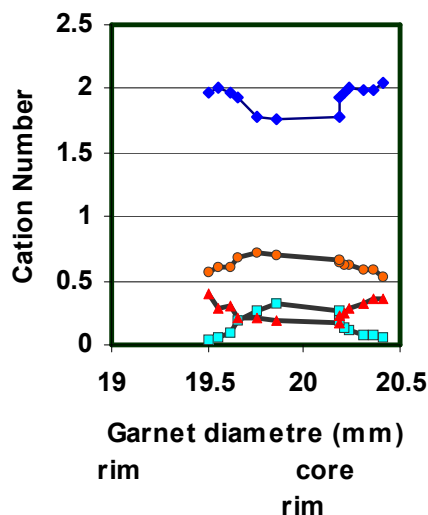
به طور کلی مسیرهای فشار - دمایی متفاوت برای سنگ‌های یاد شده (شکل ۷) نشان می‌دهد که این سنگ‌ها از اعماق متفاوت با گرادیانهای زمین گرمایی مختلفی ریشه گرفته و به صورت بلوک‌هایی زمین ساختی در مسیرهای متفاوتی نیز به سمت سطح زمین بالا آمده و نخست در اعماق حدود ۱۰ تا ۲۰ کیلومتری سطح زمین جایگیری کرده (گستره تشکیل رخساره اپیدوت آمفیبولیت با توجه به نتایج دما-فشارسنجی، و فشار تشکیل نمونه‌های F-2, E-6, D-3a, FSd-8a) و سپس به سطح زمین حرکت کرده‌اند، و با بخشهای دیگر افیولیت جایگیری کرده‌اند. نمودار شکل ۷ نشان می‌دهد که اوج دما و فشار تعادلی کلیه سنگ‌های مورد مطالعه در گستره پایداری کوارتز بوده است.

بنا بر نتایج بالا، دمای تبلور تعادلی در اوج رخساره دگرگونی شیست آبی گارنت‌دار گزیک (GOF-5) از ۴۸۵ به ۴۹۶ و سپس به ۵۰۹ درجه سانتی‌گراد افزایش و فشار نیز از ۱۹/۴ به ۲۰ کیلو بار افزایش (مسیر فرورونده طی فرورانش) و سپس به ۱۸/۱ کیلو بار کاهش یافته است (مرحله بالا آمدن تقریباً بی‌دررو) [۳]. این وضعیت با مسیر فشار - دمای منحنی (پیکان کوچک) در شکل ۷ (b) ترسیم شده است. بنابر این در این مورد نیز سرگذشتی مشابه بعضی از اکلوزیت‌های یاد شده دنبال شده است؛ هرچند تفاوت‌هایی در هر نمونه مشاهده می‌شود که به دلیل تفاوت در خاستگاه و مسیر برگشت توده‌های سنگی مختلف به سمت سطح زمین به صورت بلوک‌های زمین ساختی است.

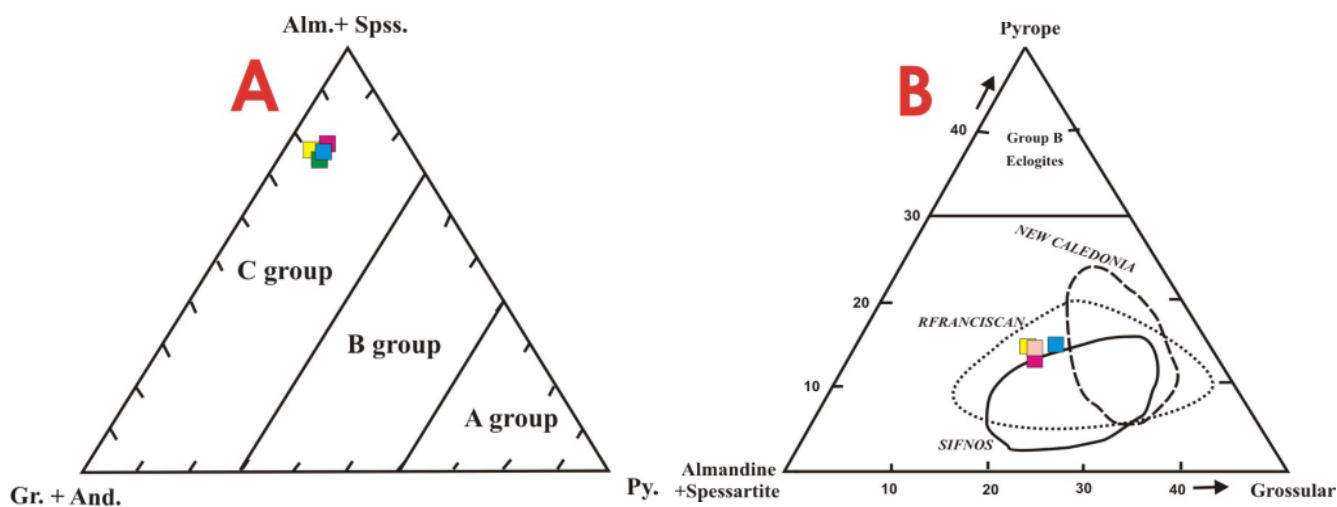
به طور کلی نتایج دما-فشارسنجی شیست‌های آبی گارنت-دار، انواع اکلوزیت‌ها و نیز مجموعه نتایج دما-فشار سنجی سنگ‌های دگرگونی دیگر منطقه مورد مطالعه که به اختصار در شکل ۷ ترسیم شده است، یک مسیر فشار - دمایی در مناطق فرورانش را پیشنهاد می‌کند که مؤید نتایج منطقه‌بندی و ترکیب شیمیایی گارنت‌هاست. هرچند بخش آغازین مسیر P-T به دلیل نبود مجموعه کانیاپی اولیه این سنگ‌ها طی فرورانش نمی‌تواند با اطمینان ترسیم شود. لذا این بخش از مسیر فشار - دمای در شکل ۷ ترسیم نشده است. در نهایت گرادیان زمین گرمایی با دمای پایین خاص مناطق فرورانش [۳]، با توجه به

در یک زون بنیوف صورت گرفته است که مؤید نتایج حاصل از این نوشته است.

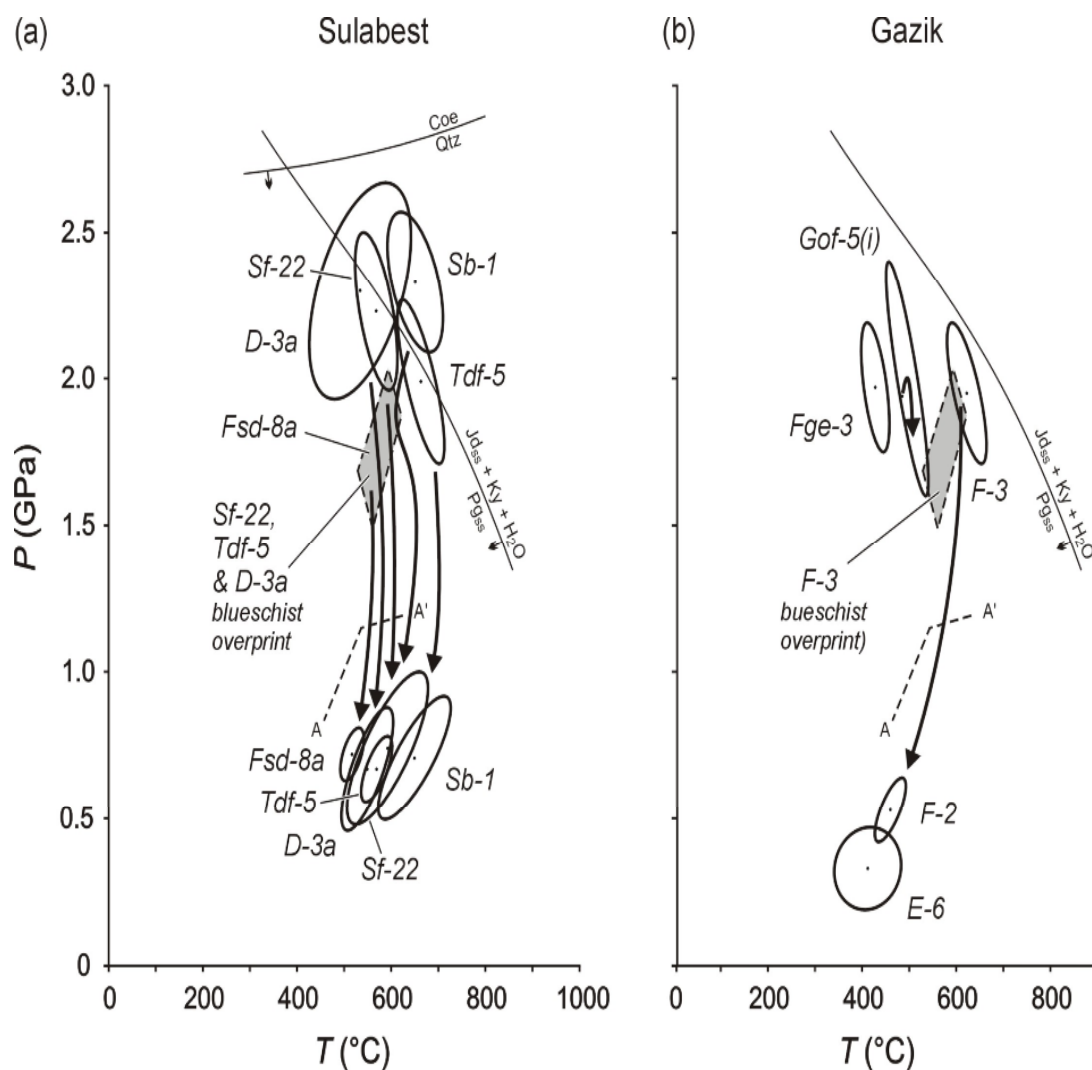
دماها و فشارهای به دست آمده یاد شده نیز نشان می‌دهد که تحولات چنین سنگ‌هایی به ویژه اکلوژیت‌ها و شیست‌های آبی



شکل ۵ سمت راست: منطقه‌بندی شیمیایی در قطر ناحیه تجزیه شده E گارنت در اکلوژیت توده‌ای شمال گزیک (F-3). سمت چپ: منطقه-بندی شیمیایی در قطر ناحیه تجزیه شده A گارنت در شیست آبی گارنت‌دار سولاوست (FSD-8a).



شکل ۶ A- ترکیب حاشیه گارنت‌ها به ترتیب در اکلوژیت گزیک (FGE-3) و اکلوژیت اپیدوت آمفیبولیتی شده گزیک (F-2)؛ اقتباس از [۷].
B- ترکیب حاشیه گارنت‌ها به ترتیب در اکلوژیت گزیک (FGE-3) و اکلوژیت اپیدوت آمفیبولیتی شده گزیک (F-2)؛ خط بین اکلوژیت‌های نوع B و C از [۷]؛ اقتباس از [۶].



شکل ۷ نتایج محاسبات P-T میانگینی با استفاده از ترموکلک (۱۶؛ شماره ۳/۱، ۲۰۰۱) برای سنگ‌های دگرگونی نواحی سولا بست (a) و گزیک (b) در منطقه مورد مطالعه. بیضیهای ترسیم شده میزان انحراف معیار 1δ فشار و دمای محاسبه شده با ترموکلک را می‌دهد. پیکانهای سیاه پیوسته، P-T Paths برای هر نمونه (عدسی سنگی) را نشان می‌دهند. منحنی تعادلی کوارتز-کونزیت و $Pa = Jd + Ky + H_2O$ با استفاده از ترموکلک ۳/۱ محاسبه و به دست آمده است. این منحنی تعادلی با استفاده از تجزیه‌های ریز پردازش الکترونی کانیهای محلول جامد پاراگونیت و امفاسیت موجود در نمونه اکلوزیت Tdf-5 محاسبه شده است. میدان سایه گسترده محدوده پایداری $Grt + Czo + Gln + Pa + Qtz + H_2O$ و خط A-A' حد بالای پایداری مجموعه کانیایی $Hbl + Chl + Ab + Qtz + H_2O$ است که از [۲۶] اقتباس شده است (اقتباس از [۳]).

برداشت

- ۱- افزایش میزان منیزیم از مرکز به حاشیه گارنت‌ها مؤید رشد گارنت‌ها طی افزایش فشار و دماست (افزایش عمق).
- ۲- شیمی گارنت‌های اکلوزیت‌ها و شیب‌های آبی به ویژه الگوهای منطقه‌بندی که این گارنت‌ها نشان می‌دهند، می‌تواند

مؤید فرایند فرورانش در منطقه مورد مطالعه و در نتیجه در شرق ایران باشد.

۳- وجود متاجرت‌هایی که در شرایط رخساره شیب‌های آبی دگرگونی شده‌اند و دارای اسپسارترین و درصد کوارتز بالا هستند و الگوهای منطقه‌بندی گارنت‌های آنها نیز تأیید کننده فرایند فرورانش در منطقه مورد مطالعه و شرق ایران است؛

- [7] Coleman R. G., Lee D.E., Beatty L.B., Brannock W.W., "Eclogites and Eclogites: their differences and similarities", Geological Society of America Bulletin, (1965)76, 483-508.
- [8] Vogel D.E., "Nature and chemistry of the formation of clinopyroxene-plagioclase symplectite from omphacite", Neues Jahrbuch der Mineralogie, Monatshefte, (1966)185-189.
- [9] Velde B., Herve F., Kornprobst J., "The eclogite-amphibolite transition at 650°C and 6.5 kbar pressure, as exemplified by basic rocks of the Uzerche area, central France", American Mineralogist. (1970)55, 953-974.
- [10] Mysen B.O., Griffin W.L., "Pyroxene stoichiometry and breakdown of omphacite", American Mineralogist. (1973)58, 60-63.
- [11] Zhang J., Zhang Z., Xu Z., Yang J., Cui J., "Petrology and geochronology of eclogites from the western segment of the Altyn Tagh, northwestern China", Lithos, (2001)56, 187-206.
- [12] Zhang R.Y., Liou J.G., Zheng Y.F., Fu B., "Transition of UHP eclogites to gneissic rocks of low-amphibolite facies during exhumation: evidence from the Dabie terrane, central China", Lithos, (2002)70, 269-291.
- [13] Holland T.J.B., Powell R., "An enlarged and updated internally consistent thermodynamic dataset with uncertainties and correlations: The system $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{MgO}-\text{MnO}-\text{FeO}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{TiO}_2-\text{C}-\text{H}_2-\text{O}_2$ ", Journal of Metamorphic Geology, (1990)8, 89-124.
- [14] Holland T.J.B., Powell R., "Plagioclase-feldspar activity- composition relations based on Darkens Quadratic formation and Landau theory", American Mineralogist, (1992)77,53-61.
- [15] Berman R.G. "Thermobarometry using multi-equilibrium calculations: a new technique, with petrological applications", Canadian Mineralogist, (1991)29, 833-855.
- [16] Holland T.J.B., Powell R. "An internally consistent thermodynamic data set for phases of petrological interest", Journal of Metamorphic Geology. (1998)16, 309-343.
- [17] Powell R. and Holland, T. J.B. "Optimal geothermometry and geobarometry", Am. Moneralogist, (1994) Vol. 79, p. 120-133.

چنین سنگهایی در منطقه فرورانش فرانسیسکن کالیفرنیا نیز گزارش شده‌اند.

۴- خلاصه نتایج زمین دما- فشارسنجی سنگ‌های دگرگونی نیز کاملاً مؤید نتایج حاصل از شیمی گارنت‌ها و الگوهای منطقه‌بندی آنهاست.

تشکر و قدردانی

در این کار پژوهشی از راهنماییها و کمکهای بی دریغ دانشمندان و سروران زیادی بهره‌مند بوده‌ایم که لازم است از همه آنها به خصوص آقای دکتر جایلز دروپ استاد سنگ- شناسی دگرگونی دانشگاه منچستر انگلستان که استاد راهنمای موقت نگارنده اول در دوره کارهای پژوهشی بوده‌اند، تشکر و قدردانی نمائیم. از اساتید ارجمندی که در مرحله داوری این مقاله با یادآوری اشتباهات نویسندگان، این نوشته را پربارتر کرده‌اند نیز سپاسگزاریم.

مراجع

- [1] Maorizot P., Guillou Y., Vaslet D., Dellavillen H., "Geology of Gazik Quadrangle", 1:250000 Scale: Report Submitted to the Geological and Mineralogical Survey of Iran, (1980)172p.
- [2] Tirrul R., Bell I.R., Griffis R.J., Camp V.E., "The Sistan Suture Zone of eastern Iran", Geological Society of America Bulletin, (1983)V. 94, P.134-150,12.
- [۳] فتوحی راد، غ.، "پترولوژی و ژئوشیمی/فیولیت‌های دگرگونی شده شرق بیرجند"، رساله دکتری پترولوژی، دانشگاه تربیت معلم تهران، (۱۳۸۳) ۳۲۱ صفحه.
- [4] Busby C.J. & Ingersoll R.V., "Tectonics of Sedimentary Basins", Blackwell Science, Inc. (1995)579P.
- [5] Droop G.T.R., "A general equation for estimating Fe^{3+} concentrations in ferromagnesian Silicates and Oxides from microprobe analyses, using stoichiometric criteria", Mineralogical Magazine. (1987) 51, 431-435.
- [6] Carswell D. A., "Eclogite facies rocks", Glasgow, Newyork; Blackie and Son. Ltd, Chapman and Hall. (1990)396 P.

- [23] Giaramita J., Sorensen S. S., "Primary fluids in low temperature eclogites; Evidence from two subduction complexes (Dominican Republic and California, U.S.A.)", Contributions to Mineralogy and Petrology. (1994) 117; 279-292.
- [24] Fotoohi Rad G.R., Droop G.T.R., Amini S. & Moazzen M., "Eclogites and blueschists of the Sistan Suture Zone, eastern Iran: a comparison of P-T histories from a subduction mélange", Lithos, 84(2005)1-24.
- [25] Nakamura D. "Kinetics of decompressional reactions in eclogitic rock-formation of plagioclase coronas around kyanite". Journal of Metamorphic Geology, (2002) 20, 325-333.
- [26] Wei C.J., Powell R., Zhang L.F., "Eclogites from the south Tianshan, China: petrological characteristic and calculated mineral equilibria in the $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{FeO}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ system". J. of Metamorphic Geology. (2003) 21, 163-179.
- [18] Hyndman D.W., "Petrology of Igneous and Metamorphic Rocks", Second Edition. Mc Graw-Hill Book Co., New York (1985).
- [19] Dobrzhinetskaya L.F., Schweinehage R., Massonne H.J., and Green H.W., "Silica precipitates in omphacite from eclogite at Alpe Arami, Switzerland: evidence of deep subduction", J. of Metamorphic Geology, (2002) 20, 481-492.
- [20] Aoya M., "P-T-D Path of Eclogite from the Sambagawa Belt Deduces from Combination of Petrological and Microstructural analyses", Journal of Petrology, (2001) V. 42, N.7, P. 1225-1248.
- [21] Garcia-Casco R.L., Torres-Roldan, Millan G., Monie P. and Schneider J., "Oscillatory zoning in eclogitic garnet and amphibole, -Northern Serpentine Melange, Cuba a record of tectonic instability during the subduction?", Journal of Metamorphic Geology, (2002) 20, 581-598.
- [22] Carswell D.A., O'Brien P.J., Wilson R.N. and Zhai M., "Thermobarometry of phengite-bearing eclogites in the Dabie Mountains of central China. Journal of Metamorphic Geology", (1997), 15, 239-252.