

بررسی پراکندگی اندازه بلورهای (CSD) گارنت در دگرگونی مجاورتی روستای حسن آباد یزد

سمیرا زندی فر^{۱*}، محمدولی ولیزاده^۲، محمدعلی برقی^۱ و محمدرضا فرودی جهرمی^۲

^۱ دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران

^۲ گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۰۱/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۷/۰۳/۱۱

چکیده

سرگذشت تبلور یک سنگ در اندازه و پراکندگی کانی‌های آن ثبت می‌شود. اندازه بلورهای پورفیروبلاست در سنگ‌های دگرگونی، اطلاعات مفیدی را درباره محیط رشد آنها ارائه می‌کند. با توجه به تنوع کانی‌شناسی در اسکارن حسن آباد و فراوانی پورفیروبلاست‌های گارنت در زون‌های مختلف دگرگونی و بویژه ابعاد متفاوت این کانی در اولین زون دگرگونی اسکارن شمال‌خاور روستای حسن آباد، پراکندگی اندازه بلورهای این کانی مورد مطالعه قرار گرفته است. از آنجا که این مطالعات، به دقت بالایی نیاز دارد، از سطح برش نمونه‌ها، تصاویر رقومی تهیه و در نرم‌افزار تخصصی تجزیه تصاویر جی‌میکروویژن (JMicrovision) تجزیه و تحلیل شد. همان‌طور که انتظار می‌رفت، دو شیب متفاوت به دست آمده در این مطالعه ما را با سه فرض احتمالی روبرو می‌کند: ۱- تأثیر ترکیب سنگ اولیه؛ ۲- زمان رشد بلور؛ ۳- شارش سیال‌های اطراف توده نفوذی. با توجه به حضور کانی کلبتونیت، وزوویانیت و گارنت و وجود درز و شکاف‌های فراوان در منطقه، نقش سیال در درشت شدن اندازه پورفیروبلاست گارنت در محل‌هایی از اولین زون دگرگونی پراهمیت‌تر به نظر می‌رسد.

کلید واژه‌ها: پراکندگی اندازه بلورها، گارنت، دگرگونی مجاورتی، جی‌میکروویژن، روستای حسن آباد یزد.

* نویسنده مسئول: سمیرا زندی فر

۱- مقدمه

روستای حسن آباد یزد در جنوب‌باختری شهرستان نفت و بر روی نوار ماگماتیک سنوزویک ایران مرکزی مشهور به ارومیه- دختر واقع شده است (Jankovic, 1984). توده گرانودیوریتی حسن آباد با نفوذ به درون آهک‌های سازند نفت (کرتاسه زیرین)، این سنگ‌ها را دگرگون کرده است. پاراژنز کانی‌ها در این اسکارن مطالعه و زون‌های کانی‌شناسی تعیین شده است. سرگذشت تبلور یک سنگ در اندازه و پراکندگی کانی‌های آن ثبت می‌شود (Muller et al., 2006).

اندازه بلورهایی که در سنگ‌های آذرین و دگرگونی به صورت پورفیروبلاست یا پورفیر ظاهر می‌شوند، اطلاعات قابل توجهی را در مورد محیط رشد آنها ارائه می‌کند. نخستین بار این روش توسط Marsh (1988) با بهره‌گیری از تحقیقات پژوهشگران مهندسی شیمی در زمینه فرایندهای صنعتی تبلور معرفی شد. (Cashman & Ferry, 1988) نیز اولین کسانی بودند که اقدام به بررسی پورفیروبلاست‌های سنگ‌های دگرگونی ناحیه‌ای و مجاورتی با این روش کردند. اصول این روش مبتنی بر اندازه‌گیری آماری سطح مقطع بلورهای منفرد (به صورت پورفیر یا پورفیروبلاست) در سطح برش سنگ در مقیاس میکروسکوپی یا میکروسکوپی است. این روش با توجه به هزینه ناچیز قابل مقایسه با روش پرهزینه XRD سه‌بعدی نیست (عضدی، ۱۳۸۶). در این‌جا با توجه به فراوانی پورفیروبلاست‌های گارنت در زون‌های مختلف دگرگونی و بویژه ابعاد متفاوت این کانی در اولین زون دگرگونی اسکارن شمال‌خاور روستای حسن آباد، پراکندگی اندازه بلورهای این کانی مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

۲- زمین‌شناسی منطقه

اسکارن حسن آباد در اثر نفوذ توده گرانودیوریتی مربوط به نوار ارومیه- دختر در آهک‌های کرتاسه ایجاد شده است. این نوار ماگمایی- متالوژنیک موازی نوار چین خوردگی- برخوردی زاگرس است که در شمال خاوری این زون گسلی قرار دارد. پلوتونیک، آتشفشان و کانی‌زایی مرتبط با آن در نتیجه فرورانش در نوار برخوردی

زاگرس ایجاد شده است (Berberian & King, 1981) (شکل ۱).

منطقه مورد مطالعه به شدت تکتونیزه بوده و کلیه واحدهای سنگی آن جابه‌جا شده‌اند. این فعالیت به علت قرارگیری آن در یک زون گسلی بین گسل اصلی دهشیر- بافت و گسل توران‌پشت- شمس آباد که یکی از گسل‌های فرعی و منشعب از آن است، بیش از مناطق مجاور است. این پیکره گسلی متأثر از آخرین رخداد زمین‌ساختی آلپ بوده که پیامد آن آتشفشانی خیزی گنبد‌های آتشفشانی است (منشادی، ۱۳۷۹). قدیمی‌ترین سنگ‌هایی که در این منطقه رخنمون دارند مربوط به کرتاسه بوده (آهک سازند نفت) و جوان‌ترین سنگ‌ها را آبرفت‌ها و همچنین تراورتن‌های عهد حاضر که هم‌اکنون نیز از چشمه‌های تراورتن‌ساز در حال نهشته شدن است تشکیل می‌دهند (شکل ۲). توالی رسوبی مزوزویک به وسیله کنگلومرا (کنگلومرای کرمان) و سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی اوسن پوشیده می‌شود (Zarasvandi & Liaghal, 2005). نهشته‌های سیوسن بارسویات مارن و ماسه‌سنگ ریزدانه با رنگ عمومی ارغوانی شروع می‌شود. پایان بخش رسویات میوسن در ناحیه مورد بررسی، لایه‌های ماسه‌سنگ و کنگلومرا به رنگ خاکستری تیره است. سنگ‌های آذرین، گسترش وسیعی در منطقه مورد مطالعه دارند. این سنگ‌ها که در نقشه زمین‌شناسی خضرآباد به عنوان گنبد‌های آتشفشانی (نیمه ژرف) و نفوذی نوژن معرفی شده‌است، دارای طیف ترکیبی شامل داسیت، آندزیت و گرانودیوریت است. کانی عمده این سنگ‌ها پلاژیوکلاز است.

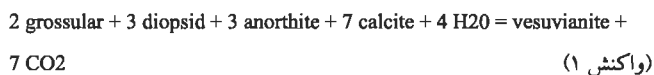
یک توده گرانودیوریتی در کنار روستای حسن آباد به درون سنگ‌های آهکی سازند نفت تزریق شده و در آن دگرگونی مجاورتی ایجاد کرده است که کانی‌های ولاستونیت، گارنت، دیوپسید، وزوویانیت، ایدوت، افزیت و بریاریت در اثر این دگرگونی ایجاد شده‌است.

۳- دگرگونی مجاورتی

نفوذ استوک گرانودیوریتی- دیوریتی حسن آباد موجب دگرگونی مجاورتی

منطقه‌بندی نوسانی هستند. این گارنت‌ها متعلق به سری گراندیت بوده و عامل اصلی ایجاد این منطقه‌بندی نوسانی، ناآمیختگی در سیستم دوتایی گروسولار-آندرادت است و با تغییر در ترکیب آبگون‌های گرمایی ادامه یافته‌است (زندفرو و همکاران، ۱۳۸۶). همراه بعضی از این گارنت‌ها، کلیتوتیت مشاهده می‌شود و همچنین در بعضی موارد، حاشیه بلورهای گارنت در حال تبدیل به وزوویانیت است (شکل ۳). با دور شدن از توده آذرین گارنت دانه‌ریز و ایزوتروپ جانشین گارنت ایزوتروپ و درشت‌بلور می‌شود. کلیتوپروکسن‌های موجود با دانه‌های ساب‌هدرال (بیشتر از ۱۰۰ میکرون) محلول جامدی از هیدنیریت-دیوپسید را نشان می‌دهند.

وزوویانیت فراوانی زیادی در این منطقه دارد و در بعضی موارد جانشین گارنت‌های درشت‌بلور نزدیک همبری می‌شود (واکنش ۱).



کانی‌های فرعی شامل تورمالین و کانی‌های تیره است. پیریت یوهدرال افشان در سرتاسر نمونه‌ها مشاهده می‌شود. از دیگر کانی‌های تیره می‌توان مالاکیت، کالکوپیریت و هماتیت را نام برد.

۴- روش مطالعه و بحث

برای اندازه‌گیری اندازه بلورهای گارنت در اولین زون دگرگونی آهک‌های شمال‌خاور (منطقه ۴) روستای حسن آباد، دو نمونه مقطع ماکروسکوپی از گارنت‌های ریزدانه و دو نمونه گارنت دانه درشت‌تر از سنگ‌های این زون انتخاب شد. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود این نمونه‌ها از محل همبری با توده نفوذی برداشت و به گونه‌ای انتخاب شده‌اند که فراوانی یکنواخت را در متن سنگ نشان بدهند. کلیه این نمونه‌ها سالم و قابل شناسایی هستند (شکل ۴).

از آنجا که بررسی پراکندگی اندازه بلورها (CSD) یک روش آماری است، بنابراین در یک برش انتخابی سنگ، نیاز به دست کم ۳۰ بلور برای اندازه‌گیری است. در مجموع چهار نمونه سنگ برای تحلیل توزیع اندازه دانه در نمونه سنگ مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به دقت بسیار بالای مورد نیاز در این مطالعات، از سطح نمونه‌های سنگی تصاویر رقومی (digital) تهیه و در نرم‌افزار تخصصی تجزیه تصاویر جی‌میکروویژن (JMicroVision) تجزیه و تحلیل شد.

این نرم‌افزار دارای توانایی‌های منحصر به فردی در زمینه تجزیه اندازه ذرات و پارامترهای مربوط به آن است. اندازه‌گیری متغیرهایی از قبیل طول، محیط، مساحت و پارامترهای مختلف مربوط به شکل ذرات و شمارش نقطه‌ای (Point counting) در این نرم‌افزار به سادگی امکان‌پذیر است.

در ابتدا نرم‌افزار با استفاده از حدتفکیک (resolution) تصویر رقومی، کالیبره می‌شود؛ به عبارت دیگر نرم‌افزار با استفاده از حد تفکیک تصویر، ابعاد مورد اندازه‌گیری را با اندازه‌های واقعی اعلام می‌کند. تصاویر رقومی تهیه شده به نرم‌افزار منتقل شده و دو قطر بزرگ و کوچک هر بلور با دقت $\pm 0.1 \text{ mm}$ اندازه‌گیری شد. مساحت تصویر مورد مطالعه نیز در نرم‌افزار محاسبه شد. کلیه داده‌ها در نرم‌افزار پس از پایان اندازه‌گیری به صورت جدول‌های عددی برای تجزیه‌های ریاضیاتی به نرم‌افزار Excel منتقل شد.

فراوانی تجمعی گارنت در واحد حجم، طبق روش (Peterson 1996) محاسبه و نمودار فراوانی تجمعی گارنت در واحد حجم برای هر دو دسته در برابر کمترین قطر بلور آن دسته رسم شد (شکل ۵). با توجه به حجم بالای داده‌ها، ارائه کلیه آنها در اینجا امکان‌پذیر نبوده و تنها جدول ۱ به عنوان نمونه ارائه شده است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود در همه نمونه‌ها، نمودار CSD یک خط مستقیم

سنگ‌های اطراف خود شده و مجموعه‌ای از سنگ‌های دگرگونی مجاورتی شامل متاولکانیک، متاسندستون و اسکارن را به وجود آورده‌است. گسترده‌گی هاله‌های دگرگونی مجاورتی اطراف این توده‌های نفوذی در حد چندین سانتی‌متر تا ۷۰۰ متر است. تغییرپذیری وسعت هاله‌های دگرگونی اسکارن حسن آباد می‌تواند با توده نفوذی زیرین در ارتباط باشد و همچنین دما و فعالیت سیال در سنگ‌های اطراف اسکارن می‌تواند دلایلی برای این مطلب باشد (Timon et al., 2007).

این اسکارن‌ها در چهار منطقه مطالعه شده‌اند. پاراژنز کانی‌ها در هر منطقه تا اندازه‌ای با مناطق دیگر متفاوت است. در این منطقه هم برون‌اسکارن و هم درون‌اسکارن مشاهده شده‌است، اما به‌طور عمده برون‌اسکارن هستند. چهار توده آهکی که دستخوش دگرگونی مجاورتی شده‌اند، در شکل ۲ با شماره مشخص شده‌اند. توده ۱، ۲ و ۳ به‌طور کامل آهکی بوده و توده ۴ تا اندازه‌ای آهک دولومیتی است. در منطقه ۱ وسعت هاله دگرگونی مجاورتی زیاد است. بلورها دانه‌ریز و انهدرال تا سابه‌درال، با بافت گرانوبلاستیک هستند. تنوع کانی‌شناسی کم و پاراژنز کانی‌ها شامل: گارنت (گروسولار)، دیوپسید، اپیدوت است. زون‌بندی خاصی در اینجا قابل تشخیص نیست. منطقه ۲ و ۳ از هر لحاظ مشابه یکدیگرند. نتیجه دگرگونی مجاورتی این آهک‌ها پیدایش چهار زون دگرگونی است که به ترتیب از محل همبری با توده نفوذی به سمت سنگ‌های میزبان عبارتند از:

- ۱- زون ولاستونیت- گارنت (شامل مجموعه کانی‌های ولاستونیت، گارنت، دیوپسید، کلسیت)، ۲- زون ولاستونیت- وزوویانیت (شامل مجموعه کانی‌های ولاستونیت، وزوویانیت، گارنت، دیوپسید، کلسیت)، ۳- زون وزوویانیت- دیوپسید (شامل مجموعه کانی‌های وزوویانیت، دیوپسید، کلسیت، گارنت، اپیدوت) و ۴- زون وزوویانیت- اپیدوت (شامل مجموعه کانی‌های وزوویانیت، اپیدوت، کلسیت، گارنت). شناسایی این کانی‌ها توسط مقاطع میکروسکوپی و مطالعات دقیق‌تر ۶۰ نمونه با پراش پرتو ایکس (XRD) صورت پذیرفت. در این منطقه اندازه بلورها در حد متوسط تا درشت است. برخی از گارنت‌هایی که ولاستونیت‌ها را احاطه کرده‌اند، زونینگ نوسانی مشخصی را به نمایش می‌گذارند. آهک‌های منطقه ۴، دارای مقداری دولومیت و آلومینیم هستند که در بعضی مناطق فراوانی آنها بیشتر از آهک‌ها می‌شود. این دولومیت منشأ ثانوی دارد و می‌تواند به صورت بلورهای شفاف سنگ‌آهک، جانشین سازنده‌های فسیلی و یا پرکننده شکستگی‌های کوچک بعدی، پدیدار شود. این منطقه تا حد زیادی شبیه مناطق ۲ و ۳ است. به واسطه جهت‌گیری ترجیحی میکاها در این منطقه، لایه‌های روشنی در برخی مناطق به چشم می‌خورد (البته به آسانی قابل مشاهده نیستند). این میکاها شامل کلیتوتیت و تا اندازه خیلی کمی مارگاریت (افزیت) است.

در اینجا نیز چهار زون مشابه مناطق ۲ و ۳ با اختلاف اندک در ترکیب کانی‌شناسی تشخیص داده شده‌است که از محل همبری به سمت سنگ‌های میزبان عبارتند از:

- ۱- زون ولاستونیت- گارنت (شامل مجموعه کانی‌های ولاستونیت، گارنت، دیوپسید، کلیتوتیت، مارگاریت، اسپینل، فورستریت، کلسیت)، ۲- زون ولاستونیت- وزوویانیت (شامل مجموعه کانی‌های ولاستونیت، وزوویانیت، گارنت، دیوپسید، کلسیت، کلیتوتیت، مارگاریت، اسپینل)، ۳- زون وزوویانیت- دیوپسید (شامل مجموعه کانی‌های وزوویانیت، دیوپسید، کلسیت، گارنت، اپیدوت) و ۴- زون وزوویانیت- اپیدوت (شامل مجموعه کانی‌های وزوویانیت، اپیدوت، کلسیت، گارنت).

ابعاد کانی‌ها در این هاله دگرگونی درشت است. ولاستونیت در محل همبری فراوانی زیادی دارد و کانی‌هایی از قبیل دیوپسید و کلسیت را به‌صورت ادخال در خود نگه داشته است. گارنت‌های احاطه‌کننده ولاستونیت‌ها درشت بلور و دارای

(Müller et al., 2006) CSD اطلاعاتی را درباره پیچیدگی واکنش هسته‌زایی و رشد کانی‌ها، با توجه به تغییر فشار، دما و ترکیب سیال فراهم می‌کند. در نتیجه با توجه به وجود شکستگی‌های فراوان و پایداری کانی‌های مارگاریت و گارنت، در حضور فاز سیال غنی از آب (Shelly, 1993) و همچنین وجود مطالعات زیادی که تأیید می‌کند، پاراژنهای دارای وزوویانیت به سیال‌های غنی از آب منحصر می‌شوند (Valley et al., 1985; Labotka et al., 1988; Abart, 1995). در یک تجزیه کیفی در سامانه $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO-CaO}$ ، Valley et al. (1985) نشان داده شد که وزوویانیت در دماهای بالا در غیاب کوارتز و موقعیت‌های غنی از آب ($X_{\text{H}_2\text{O}} > 0.8$) پایدار است؛ این احتمال به حقیقت نزدیک‌تر است. البته لازم به یادآوری است که مطالعات کمتری در مورد تأثیر دما و فشار بر روی شارش سیال‌های انجام شده است.

۵- نتیجه گیری

بررسی پراکندگی اندازه بلورهای (CSD) گارنت در اولین زون دگرگونی اسکارن روستای حسن‌آباد، نشان‌دهنده دو شیب متفاوت در نمودارهای CSD است، که این مطلب بیانگر وجود گارنت‌هایی با ابعاد مختلف در این زون دگرگونی است. با توجه به تحقیقات پیشین و همچنین مطالعات کانی‌شناسی و ساختاری منطقه مورد مطالعه، احتمالاتی که در این خصوص می‌تواند وجود داشته باشد، عبارتند از:

۱- تأثیر ترکیب سنگ اولیه، و به احتمال پیرو آن، تأثیر فشار بخار آب بر رشد بیشتر و سریع‌تر این بلورها.

۲- زمان رشد بلور به صورت مدت زمان پایایی گرما طی دگرگونی مجاورتی (تفاوت در پراکندگی اندازه بلورها که به طور معمول به وسیله نرخ گرمایی، درجه دمای دگرگونی و مدت زمان تأثیر دمای نفوذ توده آذرین کنترل می‌شود).

۳- شارش انتخابی سیال‌های اطراف توده نفوذی.

تأثیر ترکیب مذاب یا ماگما نیز بر رشد بلورهای سنگ‌های آذرین گزارش شده است که البته تأثیر آن بر سنگ‌های دگرگونی بیشتر، و نرخ رشد کانی‌ها نسبت به ترکیب شیمیایی و کانی‌شناسی سنگ‌های دگرگونی حساس‌تر است.

به دلیل حضور گارنت‌های مورد مطالعه در یک فاصله نسبت به توده نفوذی و وجود دو کانی مارگاریت و وزوویانیت و همچنین وجود درز و شکاف‌های فراوان منطقه (همان‌طور که پیش‌تر گفته شد منطقه به شدت تکنونیزه است)، احتمال سوم به حقیقت نزدیک‌تر و عبارت است از این که حضور سیال‌ها در قسمتی از زون بیشتر از قسمت دیگر است. هر چند که با توجه به تحقیقات اندکی که در زمینه نرخ و زمان رشد کانی‌های دگرگونی وجود دارد نمی‌توان بدون استفاده از مدلی حرارتی از سرد شدن توده نفوذی و هاله مجاورتی آن، مقدار تقریبی آنها را برآورد کرد. استفاده از نرم‌افزار تخصصی JMicroVision برای اندازه‌گیری ابعاد بلورها در بررسی‌های انجام شده، در کمترین زمان و با دقت بالاتر، نتایج قابل قبولی را ارائه نموده است و این نرم‌افزار در مطالعات CSD پیشنهاد می‌شود. تحقیقات در زمینه CSD هنوز به داده‌های بیشتری در این زمینه نیاز دارد.

را نشان می‌دهد و بیانگر این است که گارنت‌ها تنها در اثر یک رخداد (دگرگونی مجاورتی) به وجود آمده‌اند و دگرگونی دیگری بر آنها تأثیر نداشته است (Cashman & Ferry, 1988).

R-Square یا ارزش برازش که در شکل ۶ برای هر نمودار با R2 نشان داده شده است بیانگر انحراف خطوط رسم شده از نقاط است که هرچه به ۱ نزدیک‌تر باشد خطوط از دقت بیشتری برخوردارند. مطالعه دقیق‌تر نمودارهای CSD گارنت، نشانگر انحراف از خط مستقیم در لبه‌های منحنی هر چهار نمونه است. این انحراف از ویژگی‌های خاص و طبیعی این نمودار است (Peterson, 1996).

مقایسه نمودارهای CSD نمونه‌ها در شکل ۵ نشانگر کاهش شیب خط آنها با افزایش سیانگین اندازه گارنت‌هاست. شیب خط در این نمودار با معکوس حاصل ضرب نرخ رشد در زمان رشد برابر است (Peterson, 1996). بنابراین تغییر در شیب خط مربوط به تغییر در نرخ رشد، تغییر در زمان رشد بلورهای گارنت و یا تغییر همزمان آنها است. از آنجا که زمان رشد با افزایش فاصله از توده نفوذی کاهش می‌یابد (Cashman & Ferry, 1988)، بنابراین انتظار می‌رود که به دلیل هم‌مکانی این دو نمونه کانی در یک زون دگرگونی و در نتیجه فاصله یکسان از توده نفوذی، شیب خطوط نمودارها از شماره ۱ تا ۴ یکسان باشند. اما همان‌طور که مشاهده می‌شود شیب دو نمودار اول با شیب نمودارهای ۳ و ۴ متفاوت و نشان‌دهنده اندازه کوچک‌تر آنهاست (به صورت مقایسه‌ای در شکل ۶ نشان داده شده است). در سنگ‌های دگرگونی در این مورد بحث‌های کافی وجود ندارد، بنابراین به‌ناچار به نتایج تحقیقاتی که در مورد پراکندگی اندازه بلورها در سنگ‌های آتشفشانی به دست آمده است می‌پردازیم.

طبق مطالعه‌ای که Peterson (1990) در مورد CSD پورفیرهای مختلف گدازه بازالتی، نفلیتیتی و کرناتیتهی انجام داده است، به این نتیجه رسیده است که نرخ رشد بیشتر کانی‌های مورد مطالعه در گدازه‌های بازالتی و نفلیتیتی تقریباً برابر، اما در گدازه کرناتیتهی تا پنج برابر افزایش می‌یابد. این افزایش شدید نرخ رشد کانی‌ها در ارتباط با گرانیروی کم گدازه کرناتیتهی است که تا حد زیادی به انتشار سرعت می‌بخشد.

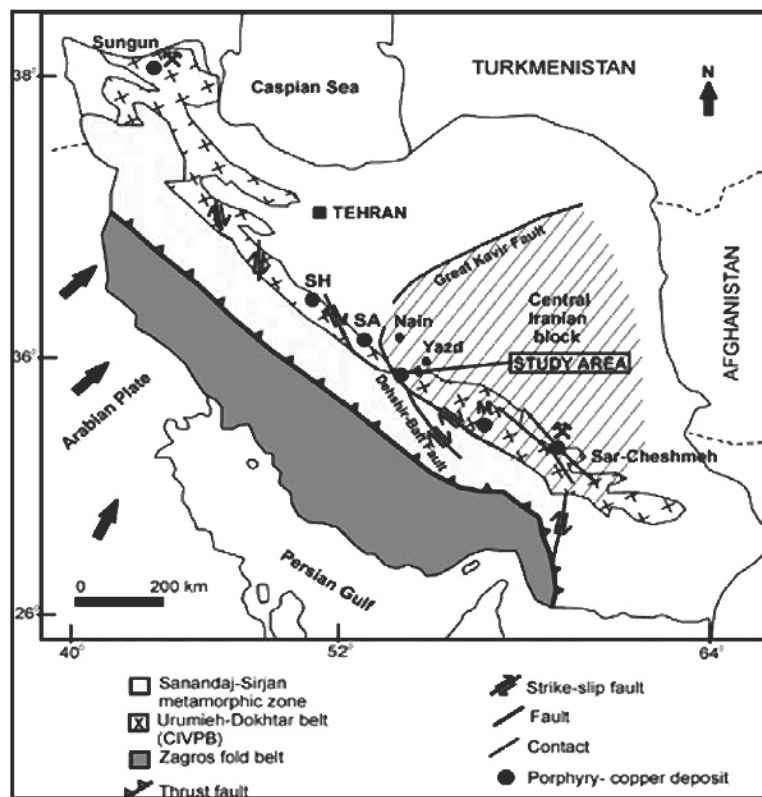
با مقایسه وضعیت انتشار در مذاب‌های گوناگون با وضعیت آن در حالت جامد که در سنگ دگرگونی پیش می‌آید، می‌توان چنین نتیجه گرفت که نرخ رشد کانی دگرگونی با افزایش مقدار مواد تشکیل دهنده آن در سنگ اولیه افزایش پیدا می‌کند، زیرا انتشار در آن آسان‌تر صورت می‌پذیرد.

همچنین افزایش فشار بخار آب نیز باعث سریع‌تر شدن انتشار در طی فرایند دگرگونی می‌شود. در نتیجه، درشت‌شدن پورفیروبلاست‌های گارنت را باید به ترکیب سنگ اولیه آنها مربوط دانست.

با توجه به آنچه Kaneko et al. (2005) اعلام داشته‌اند، ترکیب شیمیایی سنگ‌های رسوبی یک عامل مهم در کنترل CSD است و تفاوت در ترکیب شیمیایی سنگ‌های میزبان بر روی سازوکار رشد پورفیروبلاست‌های گارنت تأثیر می‌گذارد.

تفاوت در پراکندگی اندازه بلورها به طور معمول به وسیله نرخ گرمایی، درجه دمای دگرگونی و مدت زمان تأثیر دمای نفوذ توده آذرین کنترل می‌شود (Kaneko et al., 2005). بنابراین رشد بلور به مدت زمان پایایی گرما در طی دگرگونی مجاورتی بستگی دارد.

احتمال دیگری که در اینجا مطرح است، شارش انتخابی سیال‌های اطراف توده نفوذی در گارنت‌هاست که می‌تواند سبب درشت‌شدن اندازه پورفیروبلاست‌های گارنت شود. مطالعه این پدیده توسط پژوهشگران مختلف نشان می‌دهد که اگرچه این پدیده در اطراف توده‌های نفوذی کره زمین عمومیت دارد، اما بیشتر در سنگ‌های کرناتنه سیلیسی رخ می‌دهد (Ferry, 1989) و طبق گفته‌های



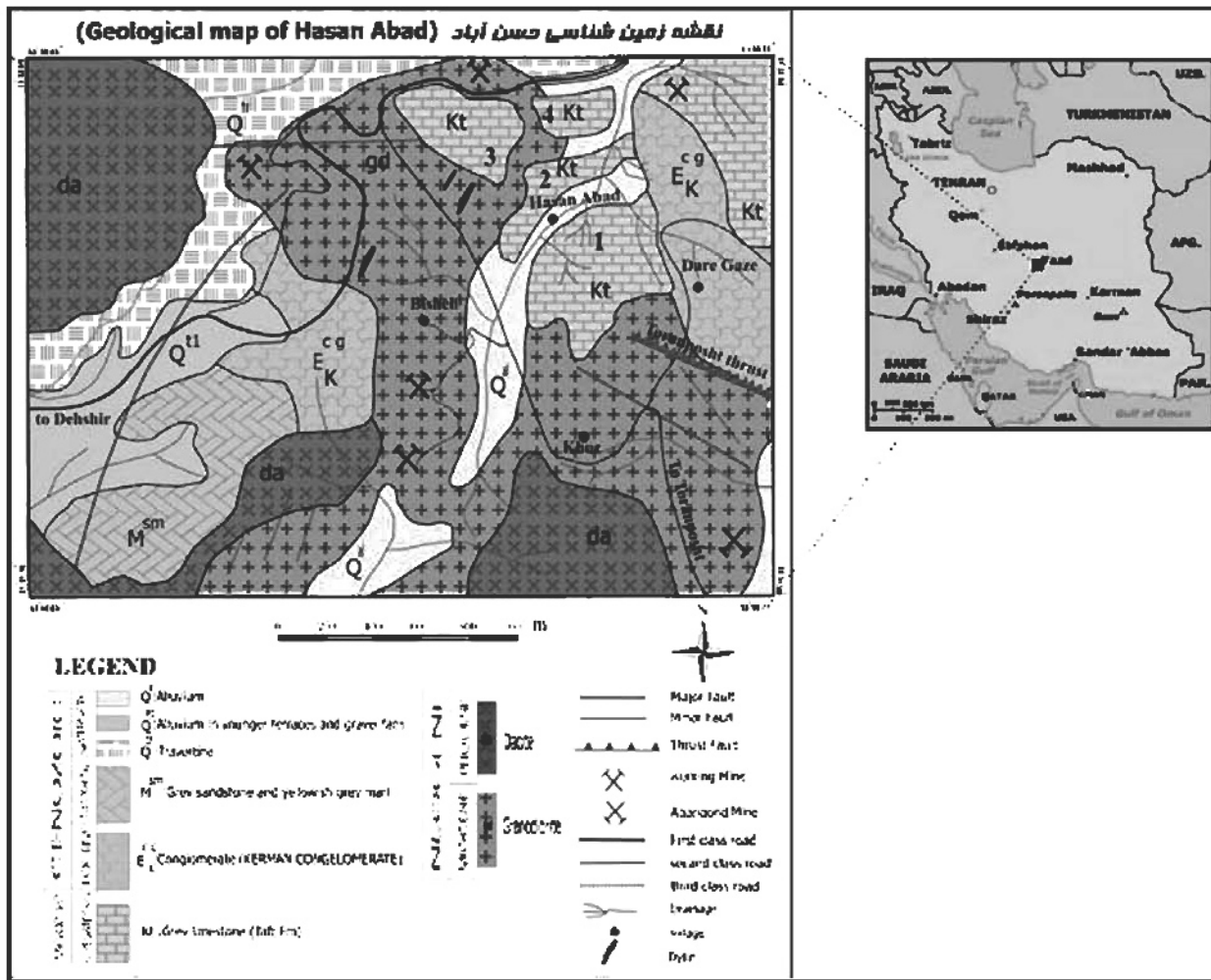
شکل ۱- نقشه راهنمای موقعیت جغرافیایی و زون‌های زمین‌ساختی اصلی ایران.

M: نهشته‌های مس پورفیری میچوک، SA: بخش جنوبی نهشته‌های پورفیری اردستان، SH: نهشته‌های مس پورفیری شریف‌آباد (Zarasvandi and Liaghat, 2005).

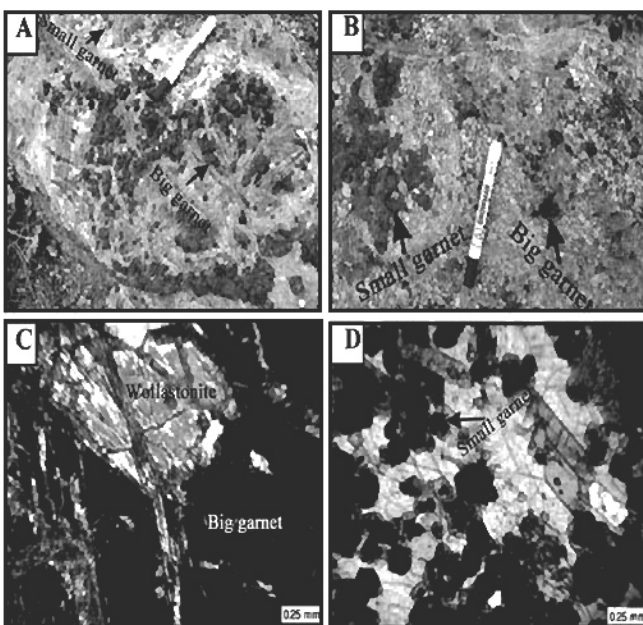
جدول ۱- جدول مربوط به مطالعه پراکندگی اندازه دانه‌های گارنت در Sample 1-1. L در اینجا نشان دسته در نظر گرفته شده است. Diamine: میانگین قطر بزرگ و کوچک دانه‌ها، n: فراوانی هر دسته، N: فراوانی تجمعی

Diamine				
1.109075	1.619133	1.935671	2.290797	2.952696
1.350082	1.686112	1.972661	2.479808	3.019292
1.350082	1.73479	2.033442	2.516259	3.149468
1.41338	1.769048	2.044999	2.606031	3.291432
1.568347	1.7983	2.07105	2.623095	3.464721
1.572864	1.854795	2.118403	2.731471	3.683858
1.57304	1.858328	2.207623	2.73188	3.684267
1.607702	1.87054	2.209344	2.930445	3.785656

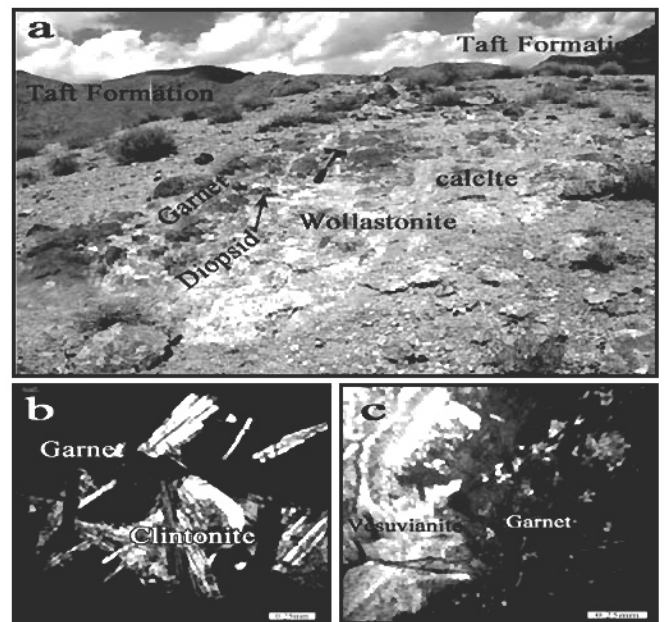
L (mm)	n	N	N2D ($a = 3536.9 \text{ mm}^2$)	N3D=N2d/L	LN(N3D)
0.25	0	40	0.011309	0.045237	-3.09585
0.75	0	40	0.011309	0.015079	-4.19446
1.25	4	40	0.011309	0.009047	-4.70529
1.75	14	36	0.010178	0.005816	-5.14712
2.25	8	22	0.00622	0.002764	-5.89091
2.75	7	14	0.003958	0.001439	-6.54357
3.25	4	7	0.001979	0.000609	-7.40377
3.75	3	3	0.000848	0.000226	-8.39417



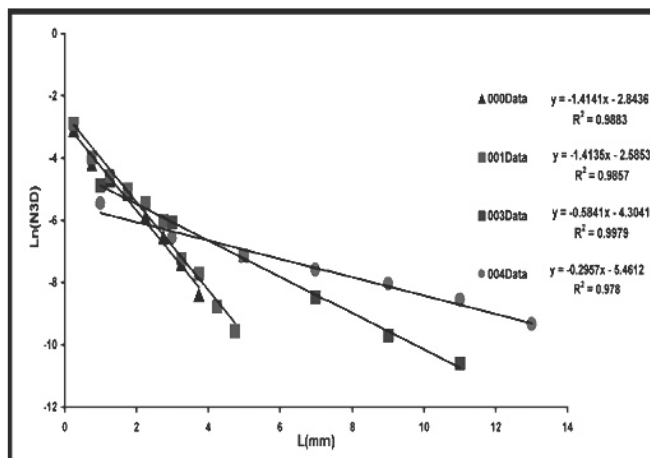
شکل ۲- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه در جنوب باختری شهرستان یزد.



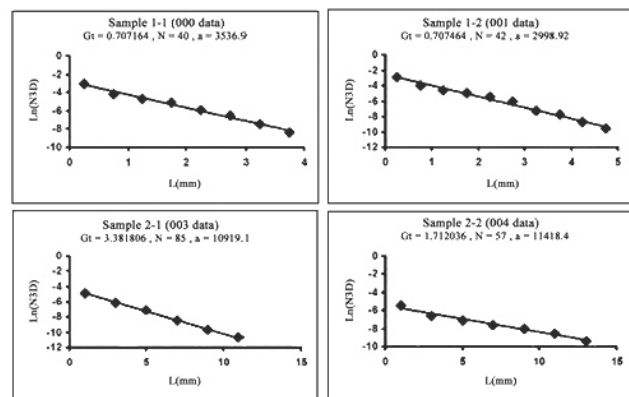
شکل ۴- (A,B) تصاویر گارنت‌های کوچک و بزرگ در منطقه مورد مطالعه. (C,D) تصاویر این گارنت‌ها در مقطع میکروسکوپی.



شکل ۳- (a) نمای کلی بخشی از منطقه دگرگون شده چهار. (b) حضور بلورهای تیفه‌ای کلینتونیت به صورت درون گیر در گارنت. (c) تبدیل حاشیه بلور گارنت به وزوویانیت.



شکل ۵- نموداری مقایسه‌ای از نمودارهای شکل ۵ R-Square: R² (ارزش برازش).



شکل ۶- نمودارهای CSD نمونه‌های مطالعه شده. نمودارهای 1-1 Sample و 1-2 Sample مربوط به گارنت‌های ریزدانه و نمودارهای 1-1 Sample و 2-2 Sample مربوط به گارنت‌های درشت دانه است. G معرف نرخ رشد، t معرف زمان رشد، N معرف تعداد بلورهای اندازه گیری شده و a معرف مساحت اندازه گیری شده است.

کتابنگاری

- دهقان منشادی، ب.، ۱۳۷۹- مطالعه پترولوژی و ژئوشیمی ماگماتیسیم و دگرگونی منطقه دره زرشک - توران پشت، جنوب غربی یزد، رساله کارشناسی ارشد دانشگاه تهران.
- زندفر، س.، ولی‌زاده، م.و.، برقی، م.ع.، اسماعیلی، د.، ۱۳۸۶- بررسی زونینگ بلورهای گارنت در دگرگونی مجاورتی توده نفوذی حسن‌آباد، جنوب غربی یزد پانزدهمین همایش انجمن بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران. مشهد.
- عضدی، ع.، ۱۳۸۶- مطالعه دگرگونی و پتروفابریک، سنگ‌های دگرگونی جنوب گرانت شاهکوه. رساله کارشناسی ارشد دانشگاه تهران.

References

- Abart, R., 1995- Phase equilibrium and stable isotope constraints on the formation of metamorphic garnet-vesuvianite veins (SW Adamello, N Italy), *Contrib Mineral Petrol*, 122: 116-133.
- Berberian, M., & King G. C. P., 1981- Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran, *Canadian Journal of Earth Sciences*, 18: 210-265.
- Cashman, K. V. & Ferry, J. M., 1988- Crystal size distribution (CSD) in rocks and the kinetics and dynamics of crystallization, *Contrib. Mineral. Petrol.* 99: 401-415.
- Ferry, J. M., 1989- Contact metamorphism of roof pendants at Hope Valley, Alpine County, California, USA, *Contrib. Mineral. Petrol.* 101: 402-417.
- Jankovic, S., 1984- Metallogeny of the Alpine granitoids in the Tethyan-Eurasian metallogenic belt, in *Proceedings of the 27th International Geological Congress, Moscow, August 4-14, 12: Utrecht, Netherlands, VNU Science Press, 247-273.*
- Kaneko, Y., Tsunogae, T., & Miano, T., 2005- Crystal-size distributions of garnets in metapelites from the northeastern Bushveld contact aureole, South Africa, *American Mineralogist*. 90: 1422-1433
- Labotka, T. C., Nabelek, P. I., Papike, J. J., Hoyer-Granath, V. C., & Laul, J. C., 1988- Effects of contact metamorphism on the chemistry of calcareous rocks in The Big Horse Limestone member, Notch peak, Utah. *Am Mineral*, 73: 1095-1110
- Müller, T., Baumgartner, L. P., Foster, C. T., & Bowman, J. R., 2006- Crystal size distribution (CSD) of periclase in contact metamorphic dolomite marbles from the southern Adamello Massif, Italy. *European Geosciences*. 8: 08370
- Marsh, B. D., 1988- Crystal size distribution (CSD) in rocks and the kinetics and dynamics of crystallization. 1: Theory. *Contrib. Mineral. Petrol.* 99: 277-291
- Peterson, T. D., 1990- Petrology and genesis of netrocarbonatite, *Contrib. Mineral. Petrol.* 105: 143-155
- Peterson, T. D., 1996- A refined technique for measuring crystal size distribution in thin section, *Contrib. Mineral. Petrol.* 124: 394-405.
- Shelly, D., 1993- Igneous and metamorphic rocks under the microscope, Chapman and Hall; Landan. 445p.
- Timon, S. M., Morol, M. C., Cembranos, M. L., Fernandez, A., & Crespo, J. L., 2007- Contact metamorphism in the Los Santos W skarn (NW Spain), *Mineralogy and Petrology*. 90: 109-140
- Valley, J. W., Peacor, D. R., Bowman, J. R., Essene, E. J., & Allard, M. J., 1985- Crystal chemistry of a Mg-vesuvianite and implications for phase equilibria in the system CaO-MgO-Al₂O₃-SiO₂-H₂O-CO₂, *J Metamorph Geol*, 3: 137-153
- Zarasvandi, A. & Liaghat, S., 2005- Geology of the Darreh-Zerreshk and Ali-Abad Porphyry Copper Deposits, Central Iran, *International Geology Review*, 47: 620-646

*Corresponding author: R. Mirzaee Mohmoodabadi; E-mail: rmirzaeem@hotmail.com

The Study of the Crystal Size Distribution (CSD) of Garnet in the Hassan-Abaad Contact Metamorphism of Yazd

S. Zandifar^{1*}, M.V. Valizadeh¹, M. A. Barghi¹ & M. R. Foroodijahromi²

¹School of Geology, University College of Sciences, Tehran University, Tehran, Iran

²Department of Geology, Islamic Azad University, Science and Research campus, Tehran, Iran

Received: 2008 April 02

Accepted: 2008 July 01

Abstract

The crystallization history of a rock is recorded by the size and the distribution of its minerals. The porphyroblast crystal size in metamorphic rocks can give notable information about its growing medium. Considering the varieties of mineralogy in the Hassan-Abad's skarn and high frequency of garnet porphyroblasts in different metamorphic zones and special different sizes in the first metamorphic zone of the NE skarn, the crystal size distributions of this mineral is studied. With regard to this, digital photos of cutting surface were provided and analyzed by JMicrovision software. It has been expected, two different slopes can show three suspicions: 1- parent rock composition effect; 2- crystal growing time; 3- fluid flow around plutonic rock. According to the presence of clintonite, vesuvianite and garnet and as many as joints in the region, the role of fluid in growing the size of garnet porphyroblast in part of the first metamorphic zone seem to be noticeable.

Keywords: Crystal size distribution, Garnet, Contact metamorphism, JMicrovision, Hassan-Abad village of Yazd.

For Persian Version see pages 147 to 152

*Corresponding author: S. Zandifar; E- mail: tec1319_sh@yahoo.com

Diagenesis and Geochemistry of the Ziyarat Formation in the Type Section, Tochal, (Alborz)

M. H. Adabi¹, M. Khatibi Mehr^{1*}, A. Moallemi², A. Sadeghi¹ & M. A. Salehi³

¹ Faculty of Earth Science, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

² Research Institute of Petroleum Industry, Tehran, Iran

³ Ferdowsi University, Mashhad, Iran

Received: 2007 July 07

Accepted: 2008 December 10

Abstract

The Ziyarat Formation is an Upper Paleocene to Middle Eocene carbonate sequences, located in North of Tochal Village (south-east of Tehran), near Emam Zadeh Abdollah. The Ziyarat Formation with the total thickness of 212.5 m conformably overlies the Fajan conglomerate and is overlain by greenish tufaceous siltstone of the Karj Formation. Petrographic studies led to the recognition of 11 microfacies. Different facies and evidences such as the absence of reefal facies, calciturbidite deposits, and widespread tidal flat deposits indicate that the Ziyarat Formation was deposited in a homoclinal carbonate ramp environment. Micritization, cementation, compaction, neomorphism, dissolution, dolomitization, fracturing and silicification are the major diagenetic processes in the Ziyarat Formation, occurring in meteoric and burial diagenetic environments. Major and minor elements and oxygen and carbon isotope values indicate that Ziyarat carbonates were deposited in a shallow warm water tropical environment and original carbonate mineralogy was aragonite. Bivariate plots of Mn versus Sr/Ca and $\delta^{18}O$ illustrate that Ziyarat limestones were affected by open system diagenesis with high water/rock interaction. Early burial diagenetic temperature calculation based on heaviest oxygen isotope