

## شرایط تشکیل بلورهای گارنت زونینگ‌دار در دگرگونی مجاورتی توده‌نفوذی حسن‌آباد، جنوب‌غربی تفت

سمیرا زندی فر<sup>۱</sup>، محمد علی ولی‌زاده، محمد علی برقی

دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران

دریافت مقاله: ۱۳۸۸/۱/۱۸، نسخه نهایی: ۱۳۸۸/۴/۱۵

### چکیده

در هاله دگرگونی مجاورتی اطراف گراندیوریت‌های روستای حسن‌آباد یزد، فراوانی بلورهای گارنت در زون‌های مختلف دگرگونی، که برخی از این بلورها زونینگ واضحی را نشان می‌دهند، قابل توجه می‌باشد. نتایج حاصل از آنالیزهای نقطه‌ای گارنت‌ها با میکروسکپ الکترونی روبشی (SEM) از مرکز به سمت حاشیه نشان داد که گارنت‌ها متعلق به سری گراندیت می‌باشند و تغییر ناگهانی عناصر Al و Fe از مرکز به سمت حاشیه نشان‌دهنده تشکیل منطقه‌بندی گارنت‌ها در هنگام رشد بلور است، ولی در اطراف شکستگیها در اثر نفوذ آبگون‌ها منطقه‌بندی به‌طور موضعی از بین رفته است. بررسیهای انجام‌شده بر روی تغییرات عناصر از مرکز به حاشیه بلور نشان می‌دهد که عامل اصلی ایجاد منطقه بندی نوسانی در گارنت‌های مورد مطالعه، ناآمیختگی در سیستم دوتایی گروسولار-آندرادیت بوده و با تغییر در ترکیب آبگون‌های گرمابی ادامه یافته‌است.

**واژه‌های کلیدی:** گارنت، زونینگ، دگرگونی مجاورتی، روستای حسن‌آباد، یزد.

### مقدمه

می‌گردد. بر این اساس تعبیر و تفسیر داده‌های حاصل از آنالیزهای زونینگ گارنت به تعیین نوع ساختمان منطقه‌ای آن بستگی دارد. محققان عقیده دارند که بررسی زونینگ در گارنت‌های سری گراندیت می‌تواند رهگشای شناخت سیستم حاکم بر محیط در زمان تشکیل اسکارن باشد [۱۱]. در این بررسی بلورهای گارنت زونینگ‌دار در اسکارن مجاور توده‌نفوذی حسن‌آباد-یزد، با استفاده از تجزیه نقطه‌ای SEM بررسی و نوع زونینگ و همچنین دلایل تشکیل آنها مورد مطالعه قرار گرفت.

### زمین‌شناسی منطقه

اسکارن حسن‌آباد در اثر نفوذ توده گراندیوریتی با سن میوسن مربوط به نوار ارومیه- دختر در آهکهای کرتاسه ایجاد شده است (شکل ۱). این نوار ماگمایی- متالوژنیک موازی نوار چین خوردگی- برخوردی زاگرس می‌باشد که در شمال شرقی

یکی از مهمترین مسائل در مطالعه سنگ های دگرگونی، بازسازی شرایط فشار و دمایی می‌باشد که سنگ مورد مطالعه تحمل کرده‌است. گارنت به واسطه ترکیب خود به همراه کانیهای مناسب دیگر به عنوان ژئوترموبارومتری مطلوب عمل می‌نماید [۱]. مطالعه ترکیب شیمیایی زونینگ کانیهای آذرین و دگرگونی، همزمان با شروع استفاده از میکروسکپ الکترونی، یعنی از اوایل دهه ۷۰ میلادی آغاز شد، و اولین مطالعات انجام شده در خصوص ساختمان منطقه‌ای کانیهای دگرگونی بر روی زونینگ بلورهای گارنت بوده‌است [۲، ۳، ۴]. منطقه‌بندی کانیها در محیط‌های گوناگون زمین‌شناسی از دماهای بسیار پایین (در حد دیاژنز) [۵] تا رژیم‌های حرارتی بالا (حتی هنگام تبلور ماگما) [۶] مشاهده می‌شود.

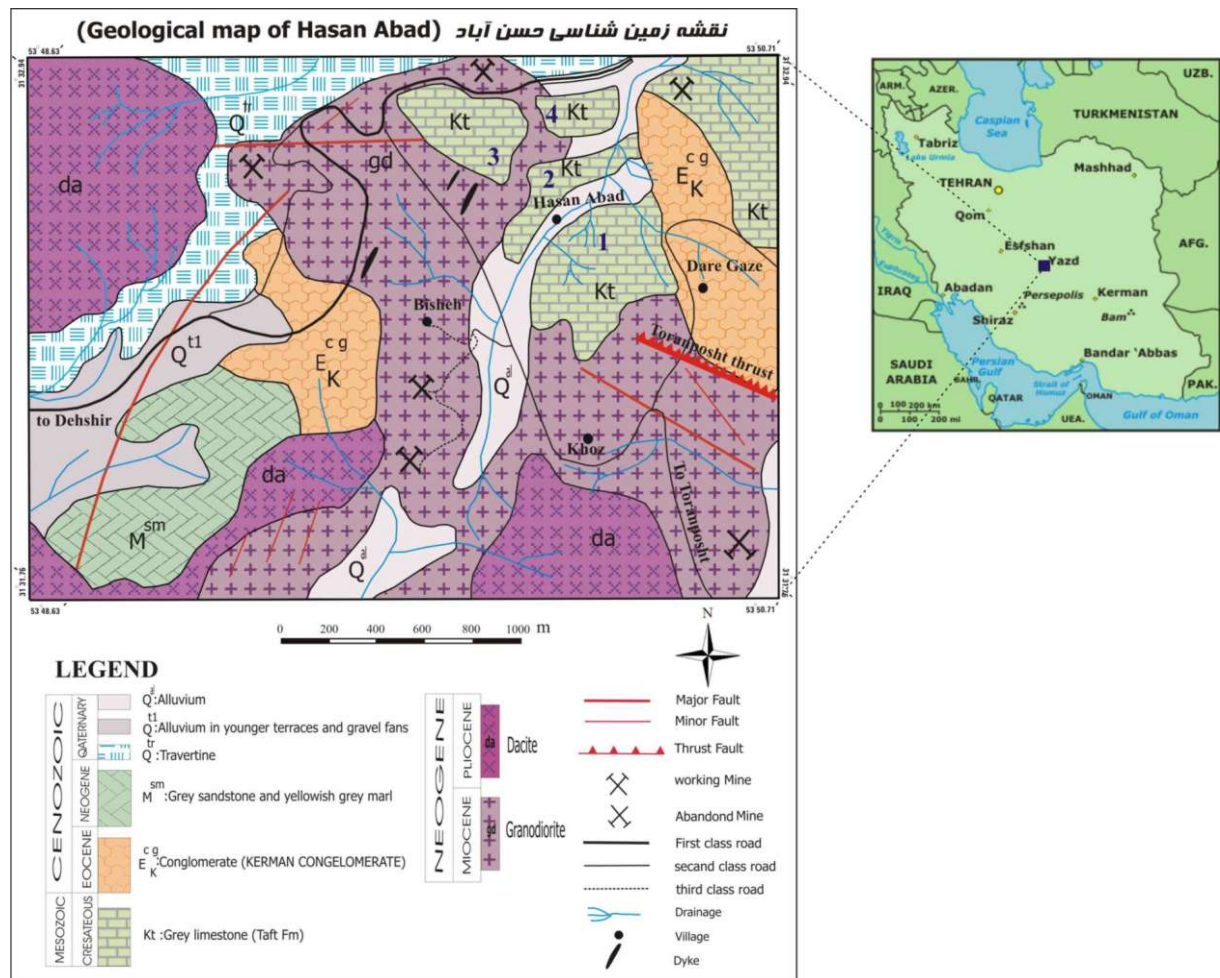
زونینگ بلورهای گارنت در سنگهای دگرگونی در اثر فرآیندهایی از قبیل رشد بلور [۷]، نشر [۸، ۹] و یا نشت آبگون‌ها در بلورهای گارنت قبلا تشکیل شده [۱۰] ایجاد

آبرفتها و همچنین تراورتنهای عهد حاضر که هم‌اکنون نیز از چشمه‌های تراورتن‌ساز در حال نهشته شدن است تشکیل می‌دهند (شکل ۲). توالی رسوبی مزوزوئیک به وسیله کنگلومرا (کنگلومرای کرمان) و سنگهای آتشفشانی-رسوبی ائوسن پوشیده می‌شود [۱۴]. نهشته‌های میوسن با رسوبات مارن و ماسه‌سنگ ریزدانه با رنگ عمومی ارغوانی آغاز می‌شود. پایان‌بخش رسوبات 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 دارای طیف ترکیبی از داسیت، آندزیت و گرانودیوریت، کوارتزدیوریت و دیوریت می‌باشند.

این زون گسلشی قرار دارد. ماگماتیسم و کانی‌زایی مرتبط با آن در نتیجه فرورانش در نوار برخوردی زاگرس ایجاد شده است [۱۲]. 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-شمس‌آباد که یکی از گسلهای فرعی و منشعب از آن است، بیش از مناطق مجاور می‌باشد. این پیکره گسلی متأثر از آخرین رخداد زمین‌ساختی آلپ بوده که پی‌آمد آن ولکانیسم به‌صورت گنبد‌های آتشفشانی است [۱۳]. قدیمی‌ترین سنگهایی که در این منطقه رخنمون دارند مربوط به کرتاسه بوده (آهک سازند تفت) و جوانترین سنگها را



شکل ۱. تصاویری از کنتاکت توده نفوذی در منطقه مورد مطالعه. شکل بالا نمایی دور از کنتاکت را نشان می‌دهد و تصویر پائین کنتاکت را از فاصله نزدیک به نمایش می‌گذارد (نگاه به غرب).



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

این منطقه هم برون اسکارن و هم درون اسکارن مشاهده شده است، اما عمدتاً برون اسکارن می باشد. چهار توده آهکی که دستخوش دگرگونی مجاورتی قرار گرفته اند در شکل ۱ با شماره مشخص شده اند. توده ۱، ۲ و ۳ کاملاً آهکی بوده و توده آهکی ۴ تا اندازه ای دولومیتی است.

در منطقه ۱ هاله دگرگونی مجاورتی گسترش زیادی دارد. بلورها دانه ریز و انهدرال تا سابهدرال هستند و بافت آن گرانوبلاستیک است. تنوع کانی شناسی در آن محدود بوده و پارائز کانیهای آن شامل: گارنت (گروسولار) + دیوپسید + وزوونایت + اپیدوت می باشد و زون بندی خاصی در اینجا قابل تشخیص نیست. مناطق ۲ و ۳ از تمام لحاظ شبیه هستند.

### دگرگونی مجاورتی

نفوذ استوک گرانودیوریتی - دیوریتی حسن آباد موجب دگرگونی مجاورتی سنگهای اطراف خود شده و مجموعه ای از سنگهای دگرگونی مجاورتی شامل متاولکانیک، متاسندستون و اسکارن را به وجود آورده است. گستردگی هاله های دگرگونی مجاورتی اطراف این توده های نفوذی متغیر بوده و در حد چندین سانتی متر تا ۷۰۰ متر می باشد. تغییرپذیری وسعت هاله های دگرگونی اسکارن حسن آباد می تواند با توده نفوذی زیرین در ارتباط باشد و همچنین دما و فعالیت سیال در سنگهای اطراف اسکارن می تواند دلایلی برای این تغییرپذیری باشند [۱۵]. این اسکارن ها در چهار منطقه مورد مطالعه قرار گرفته اند. پارائز کانیها در هر منطقه تا اندازه ای با مناطق دیگر متفاوت است. در

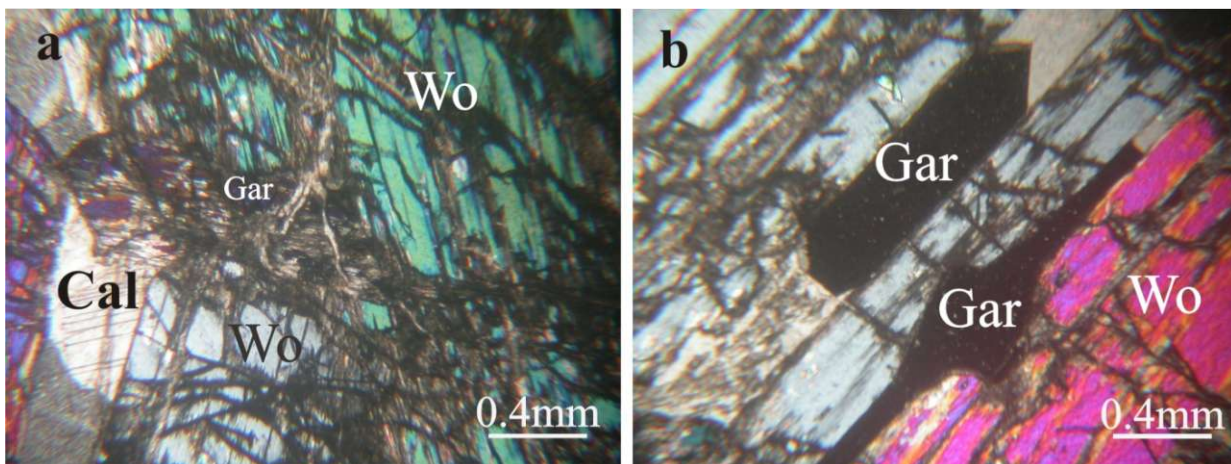
مشابه مناطق ۲ و ۳ و با اختلاف اندک در ترکیب کانی‌شناسی با هم تشخیص داده شده‌است، که از کنتاکت به سمت سنگهای میزبان عبارتند از: ۱- زون ولاستونیت- گارنت (شامل مجموعه کانیهای ولاستونیت، گارنت، دیوپسید، کلینتونیت، کلسیت، اسپینل، فورستریت)، ۲- زون ولاستونیت- دیوپسید (شامل مجموعه کانی‌های ولاستونیت+ دیوپسید + گارنت+ وزوویانیت + کلسیت+ کلینتونیت+ مارگاریت+ اسپینل)، ۳- زون وزوویانیت- دیوپسید (شامل مجموعه کانیهای وزوویانیت+ دیوپسید+ کلسیت+ گارنت+ اپیدوت) و ۴- زون کلسیت- اپیدوت (شامل مجموعه کانیهای کلسیت+ اپیدوت+ وزوویانیت + گارنت). شناسایی این کانیها توسط مقاطع میکروسکوپی و مطالعات دقیق تر ۶۰ نمونه با پراش پرتو ایکس (XRD) در آزمایشگاه XRD دانشگاه تهران صورت پذیرفت.

با توجه به گستردگی هاله دگرگونی در منطقه چهارم و تنوع کانیایی آن، در اینجا برای پرهیز از دوباره کاری، نتایج مطالعات این منطقه آورده شده‌است.

ابعاد کانیها در این هاله دگرگونی نسبتاً درشت است. ولاستونیت در محل کنتاکت از فراوانی زیادی برخوردار بوده و کانی‌هایی از قبیل گارنت، دیوپسید و کلسیت را به صورت ادخال در خود دارا هستند (شکل ۳).

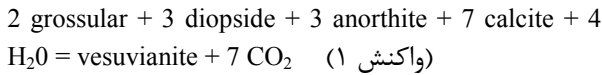
نتیجه دگرگونی مجاورتی این آهکها پیدایش چهار زون دگرگونی است. که به ترتیب از محل کنتاکت با توده نفوذی به سمت سنگهای میزبان عبارتند از:

زون ولاستونیت- گارنت (شامل مجموعه کانیهای ولاستونیت+ گارنت+ دیوپسید+ کلسیت)، زون ولاستونیت-وزوویانیت (شامل مجموعه کانی‌های ولاستونیت+ وزوویانیت+ گارنت+ دیوپسید+ کلسیت)، زون وزوویانیت- دیوپسید (شامل مجموعه کانیهای وزوویانیت+ دیوپسید+ کلسیت+ گارنت+ اپیدوت) و زون کلسیت- اپیدوت (شامل مجموعه کانیهای وزوویانیت+ اپیدوت+ کلسیت+ گارنت) می‌باشند. در این منطقه اندازه بلورها متوسط تا درشت بلور می‌باشند. برخی از گارنت‌هایی که ولاستونیت‌ها را احاطه کرده‌اند زونینگ نوسانی مشخصی را به نمایش می‌گذارند. آهکهای منطقه ۴ مقداری دولومیتی و آلومینیوم‌دار می‌باشند. این دولومیت منشا ثانوی دارد و می‌تواند به صورت بلورهای شفاف سنگ آهک، جانشین سازنده‌های فسیلی و یا پرکننده شکستگیهای کوچک بعدی پدیدار شود. این منطقه تا حد زیادی شبیه مناطق ۲ و ۳ است. به‌علت جهت‌گیری ترجیحی میکاها در این منطقه، لایه‌های روشنی در برخی مناطق به چشم می‌خورد (البته به آسانی قابل مشاهده نیستند). این میکاها شامل کلینتونیت و تا اندازه‌ای بسیار محدود مارگاریت (افزیت) می‌باشند. در اینجا نیز چهار زون



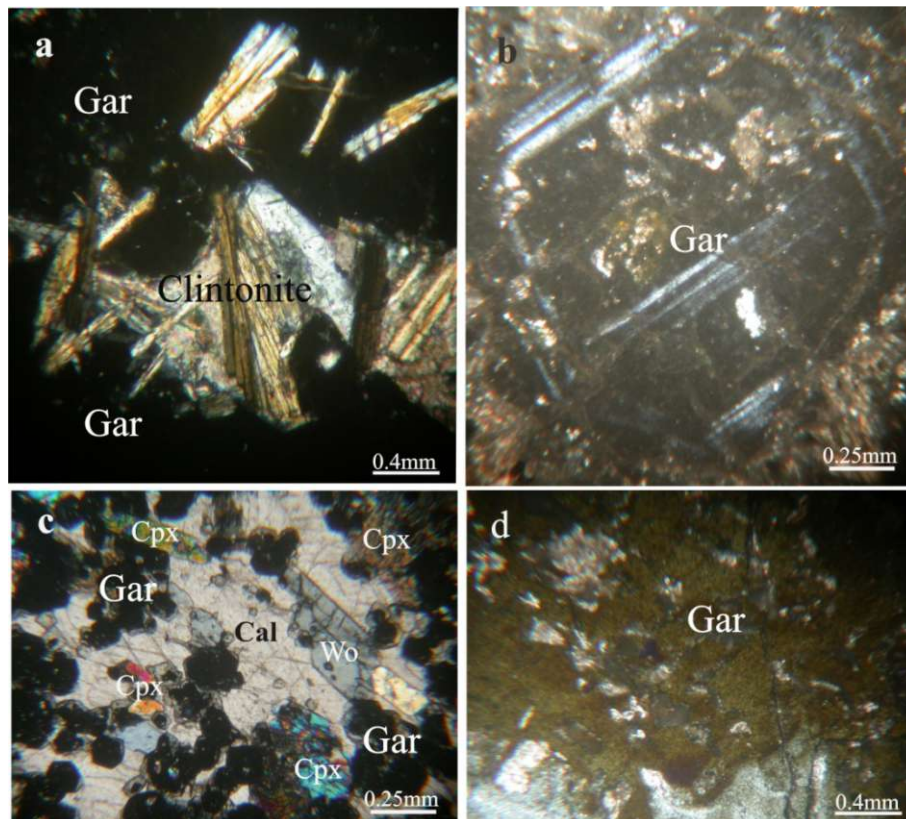
شکل ۳. تصاویر میکروسکوپی از ادخال گارنت و کلسیت درون ولاستونیت‌ها (نور pl). (Gr: گارنت، Cal: کلسیت، Wo: ولاستونیت).

وزوویانیت فراوانی زیادی در این منطقه دارد و در بعضی از موارد جانشین گارنت‌های درشت‌بلور نزدیک کنتاکت می‌شود (واکنش ۱) (شکل ۶).



مطالعات زیادی تأیید می‌کنند که پاراژنهای دارای وزوویانیت به سیالات غنی از آب منحصر می‌شوند [۲۰، ۱۹، ۱۸]. در یک آنالیز کیفی در سیستم  $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$  توسط [۱۸] 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. کانیهای فرعی شامل تورمالین و اپیک می‌باشند. پیریت یوهدرال افشان در سرتاسر نمونه‌ها مشاهده می‌شود. از دیگر کانیهای اپیک می‌توان مالاکیت، کالکوپیریت و هماتیت را نام برد.

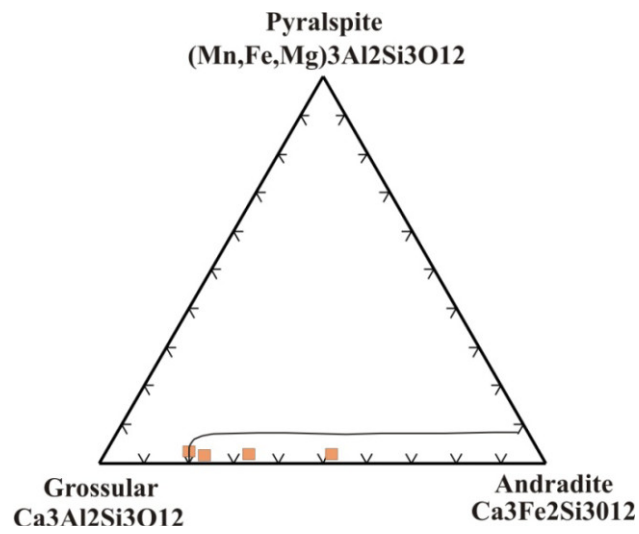
گارنت‌های احاطه کننده ولاستونیت‌ها درشت بلور و دارای زونینگ نوسانی می‌باشند، همراه برخی از این گارنت‌ها کلینتونیت مشاهده می‌شود (شکل ۴) و همچنین در بعضی از موارد حاشیه بلورهای گارنت در حال تبدیل به وزوویانیت می‌باشند. با دور شدن از توده آذرین گارنت دانه‌ریز و ایزوتروپ جانشین گارنت ان‌ایزوتروپ و درشت‌بلور می‌شود. آنالیزهای میکروپروپ گارنت‌های حسن‌آباد (جدول ۱) بر روی نمودار سه ضلعی گروسولار-آندرادیت-اسپسارتین [۱۵]، نشان می‌دهد که محتوای منگنز این کانیها قابل اغماض بوده و از نظر ترکیب کانی‌شناسی در دو قطب متفاوت آندرادیت و گروسولار قرار می‌گیرند (شکل ۵). بر اساس نمودار [۱۵]، گارنت‌های منطقه مورد مطالعه نشان‌دهنده اسکارن‌های مس، آهن و طلا هستند. کلینوپیروکسن‌های موجود با دانه‌های سابهدرال (بیشتر از ۱۰۰ میکرون) محلول جامدی از هدنبرژیت-دیوپسید را نشان می‌دهند [۱۷].



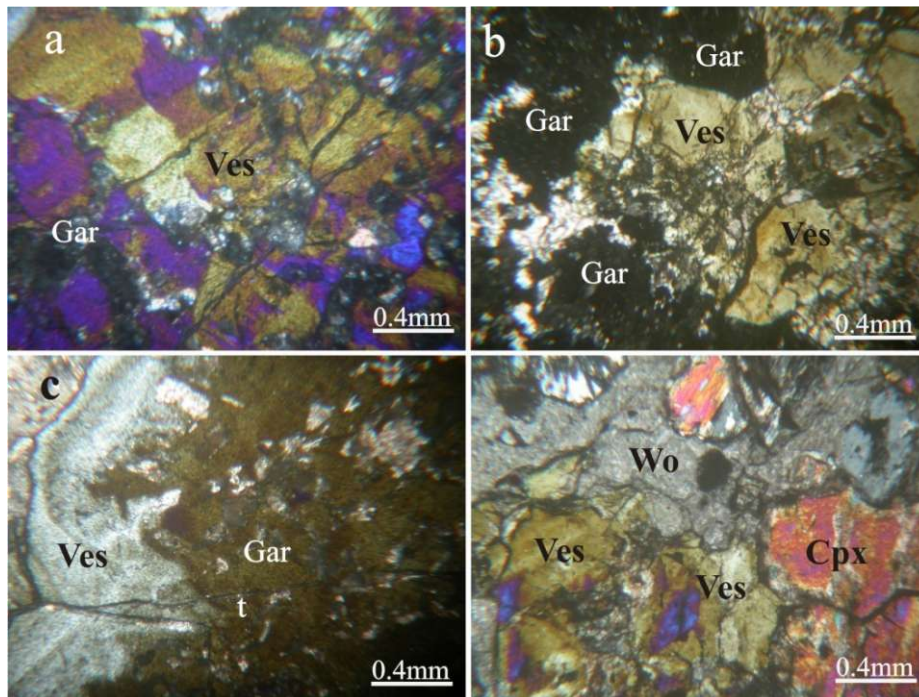
شکل ۴. گارنت‌های اولین زون دگرگونی همراه کانیهای همزیست با آن. (نور pl). (Gr): گارنت، Cal: کلسیت، Cpx: کلینوپیروکسن.

جدول ۱. نتایج الکترون میکروپروپ (به وسیله دستگاه میکروسکپ الکترونی روبشی (SEM) Vega مدل VG2080573IR شرکت متالوژی رازی) گارنت‌های اسکارن حسن‌آباد.

Sample	Gr	Gr2	Gr3	Gr4
SiO <sub>2</sub>	۳۵/۳۴	۳۸/۰۲	۳۸/۶۶	۳۸
TiO <sub>2</sub>	۲/۱			۰/۴۸
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۱۰/۱۷	۱۷/۰۸	۱۷/۴	۱۴/۵۹
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		۰/۱۶		
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۱۳/۸	۶/۹۷	۶/۰۵	۸/۹۷
FeO	۲/۹	۱/۶۵	۱/۴۷	۲/۳۵
MnO	۰/۰۷	۰/۱۱		۰/۰۳
MgO	۰/۵۱	۰/۰۸	۰/۵۴	۰/۳۲
CaO	۳۶	۳۶/۵۸	۳۶/۵۵	۳۶/۶۱
Total	۱۰۰/۸۹	۱۰۰/۶۵	۱۰۰/۶۷	۱۰۰/۳۵
Number of Ions on the basis of 24 oxygens				
Si	۵/۱۳	۵/۵۵	۵/۷	۵/۵۲
Ti	۰/۳۱	.	.	۰/۰۵۴
Al	۱/۴	۲/۴۵	۲/۵۷	۱/۶۸
Fe <sub>3</sub>	۲/۰۰۲	۰/۸۹	۰/۷۵	۱/۳۷
Cr	.	۰/۰۱	.	.
Fe <sub>2</sub>	۰/۲۹	۰/۱۸	۰/۱۵	۰/۲۳
Mg	۰/۰۱۲	۰/۰۱۱	۰/۱۴	۰/۰۷
Mn	۰/۰۰۴	۰/۰۰۷	.	۰/۰۰۲
Ca	۵/۸	۵/۹۱	۵/۸۹	۵/۷۱
And	۵۱/۱۷	۲۳/۶۰۶	۲۰/۹۵۲	۳۲/۵۰۲
Gross	۴۶/۷۴۹	۷۵/۳۵۷	۷۷/۰۳۳	۶۶/۱۹۸
Pyrope	۱/۹۳	۰/۳۰۳	۲/۰۱۴	۱/۲۳۴
Spess	۰/۱۵۱	۰/۲۳۶	.	۰/۰۶۶



شکل ۵. تغییرات ترکیبی گارنت در اسکارن روستای حسن‌آباد یزد.



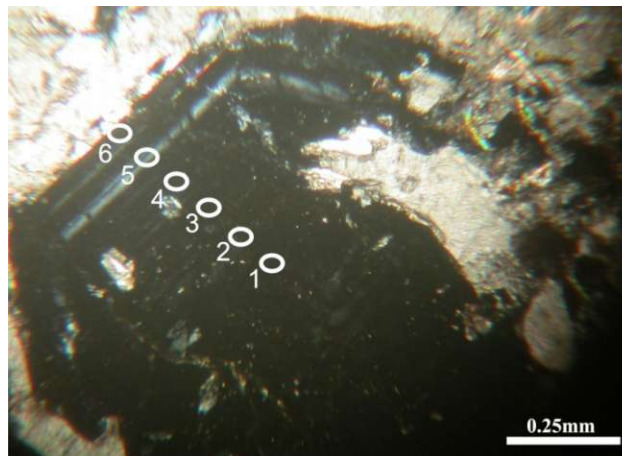
شکل ۶. تصویر میکروسکوپی وزوویانیت‌های اسکارن منطقه مورد مطالعه همراه کانیهای همزیست با آن، c: تبدیل گارنت به وزوویانیت را نشان می‌دهد (نورال). Gr: گارنت، Cal: کلسیت، Cpx: کلینوپیروکسن، Wo: ولاستونیت، Ves: وزوویانیت.

### بحث و بررسی

گارنت‌های موجود در منطقه مورد مطالعه دو نوعند. نوعی که ولاستونیت را احاطه کرده ایزوتروپ، قهوه‌ای، خودشکل و درشت‌بلور است. در این نوع زوناسیون مشاهده می‌گردد. با دور شدن از توده آذرین، ولاستونیت ناپدید می‌گردد و گارنت آن ایزوتروپ نیز جای خود را به نوع ایزوتروپ که دانه‌ریز است، می‌دهد.

تجزیه نقطه‌ای با دستگاه میکروسکپ الکترونی روبشی (SEM) Vega مدل VG2080573IR در شرکت متالوژی رازی روی نمونه‌های دارای گارنت‌های زونه اسکارن حسن‌آباد انجام شده است (جدول ۲). شکل ۷ تصویر میکروسکپی یک بلور گارنت با زون‌بندی مشخص را نشان می‌دهد. ظهور باند روشن در بلور گارنت، نشانه افزایش عضو انتهایی آندرادیت در سری محلول جامد گروسولار-آندرادیت بوده و ظهور باند تیره، نشانه افزایش عضو انتهایی گروسولار در سری محلول جامد است.

شکل ۸ تغییرات درصدوزنی اکسیدهای عناصر Si, Ca, Al, Fe را از مرکز به سمت حاشیه بلور نشان می‌دهد. تغییرات درصد وزنی  $\text{SiO}_2$  و  $\text{CaO}$  از مرکز به سمت حاشیه ناچیز است ولی درصد وزنی  $\text{Al}_2\text{O}_3$  و  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  مخصوصاً در حاشیه به شدت نوسان نشان می‌دهد. در شکل ۷ مرز بین دو زون کاملاً مشخص است که نشانگر تغییرات ناگهانی در ترکیب شیمیایی مواد تشکیل‌دهنده گارنت است. این تغییرات ناگهانی و نوسانی میزان عناصر و تکرار تغییرات مشخص دلالت بر آن دارد که تغییرات طی رشد، ایجادکننده منطقه‌بندی گارنت‌های مورد مطالعه می‌باشد. ساختمان منطقه‌ای رشدی به پدیده تفریق در طول رشد نسبت داده شده است [۲۱]. این منطقه‌بندی رشدی در اطراف بعضی از شکستگیها در اثر نشت آبگون‌ها به صورت موضعی از بین رفته است. در مجاورت این شکستگیها ترکیب گارنت‌ها متفاوت بوده است (شکل ۷). در دماهای پایین دگرگونی، گارنت‌ها معمولاً زونینگ مشخصی را نشان می‌دهند.

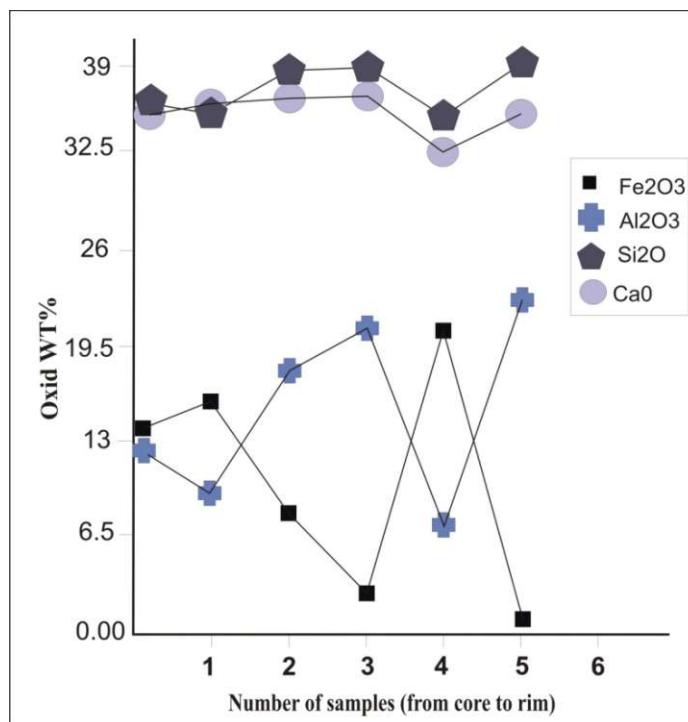


شکل ۷. تصویر یک بلور گارنت با زون‌بندی. دواپر سفید رنگ نشان‌دهنده مکان آنالیز است.



جدول ۲. نتایج تجزیه الکترون میکروپروب از بلور گارنت زونه در اسکارن روستای حسن‌آباد- یزد

Sample.n	G0	G1	G2	G3	G4	G5
SiO <sub>2</sub>	۳۷/۱۴	۳۵/۳۴	۳۸/۶۶	۳۸/۹	۳۵/۱	۳۹/۱
TiO <sub>2</sub>	۱/۵۹	۲/۱۰	-	-	۲/۱	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۱۲/۵۸	۱۰/۱۷	۱۷/۴۰	۲۱/۱	۶/۸	۲۳/۳
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۱۳/۱۵	۱۵/۸۰	۷/۰۵	۲/۳	۲۰/۹۹	۱/۵
FeO	۳/۰۴	۳/۱۲	۱/۴۷	۰/۷۸	۳/۷۵	۰/۲۵
MnO	-	۰/۰۷	-	-	-	۰/۵۳
MgO	۰/۵۰	۰/۵۱	۰/۳۴	-	۰/۹۹	-
CaO	۳۵/۰۷	۳۶/۰۰	۳۶/۵۵	۳۶/۹۹	۳۲/۰۵	۳۵/۲
Na <sub>2</sub> O	-	۰/۱۴	-	-	-	-
K <sub>2</sub> O	-	۰/۰۸	-	-	-	-
Total	۱۰۳/۰۴	۹۹/۷۵	۱۰۱/۴۷	۹۹/۷۴	۹۹/۴	۹۹/۸۸
Number of Ions on the basis of 24 oxygens						
Si	۵/۶۱	۵/۱۴	۵/۷	۵/۷۶	۵/۰۱	۵/۸۵
Ti	۰/۱۱	۰/۳۱	-	-	۰/۳۱	-
Al	۱/۵۹	۱/۴۵	۲/۵۶	۳/۸۰	۱/۳۱	۴/۰۶
Fe <sub>3</sub>	۱/۹۸	۲/۰۱	۰/۹	۰/۲۷	۲/۹۵	۰/۰۹۵
Fe <sub>2</sub>	۰/۳۲	۰/۴۲	۰/۱۹	۰/۰۹	۰/۱۸	۰/۰۳۴
Mn	-	۰/۰۰۵	-	-	-	۰/۱۱
Mg	۰/۱۷	۰/۱۸	۰/۱۳	-	۰/۱۱۹	-
Ca	۵/۶۱	۵/۸۱	۵/۸۹	۵/۹۵	۵/۱۲	۵/۶۹
Na	-	۰/۰۴۴	-	-	-	-
K	-	۰/۰۱۷	-	-	-	-
And	۵۱/۱۷	۵۲/۵	۳۷/۵	۱۰/۱	۹۲/۲	۴/۵
Gross	۴۶/۷۴۹	۴۵/۷۸	۴۱/۶	۸۹/۴	۶/۳	۹۴/۰
Pyrope	۱/۹۳	۱/۵	۱۸/۷	۰/۵	۲/۵	۱/۵
Spess	۰/۱۵۱	۰/۱۳	۲/۲	-	-	-



شکل ۸. نتایج تغییرات درصد وزنی اکسیدهای  $CaO$ ،  $SiO_2$ ،  $Al_2O_3$ ،  $Fe_2O_3$  در زونینگ بلور گارنت.

گارنت‌هایی که در فاصله زمانی بین دوره‌های جوشش رشد می‌کنند، مقدار گروسولار بالاتری در سری محلول جامد دارند (در این زمان فوگاسیته اکسیژن به‌وسیله مجموعه کانیهای موضعی به‌عنوان بافرهای فوگاسیته اکسیژن پایین نگه‌داشته می‌شود و در نتیجه میزان  $Fe^{+3}$  در ترکیب آبگون پایین می‌آید).

افزایش  $X_{CO_2}$ ،  $f_{O_2}$  و آبگون‌های با شوری بالا موجب افزایش عضو انتهایی آندرادیت در سری محلول جامد گراندیت می‌شود [۲۵]. حضور بالای آندرادیت در سری محلول جامد، با رشد سریع گارنت و شارش سریع آبگون‌های گرمایی همراه می‌باشد [۲۶].

دومین دلیل در منطقه‌بندی رشدی نوسانی گارنت‌هایی که با تغییرات ناگهانی در ترکیب شیمیایی همراه هستند، نامیختگی در سیستم دوتایی گروسولار-آندرادیت است. نمودار تغییرات درصد وزنی عناصر  $Al$  و  $Fe$  نشان می‌دهد که میزان این دو عنصر در مرکز بلور به طور ناگهانی تغییر می‌کند و جانشین یکدیگر می‌شوند که این موضوع می‌تواند نامیختگی در سیستم گراندیت را نشان دهد. این جانشینی در حاشیه‌های بلور کمتر می‌شود که به دلیل تغییر ترکیب آبگون‌های موجود در هنگام

زیرا بعضی عناصر بین گارنت و کانیهای همراه با آن به‌صورت همگن توزیع شده‌اند که ناشی از سرعت کند انتشار درون دانه‌ای است، اما زمانی که دمای دگرگونی بیش از ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد باشد، زونینگ رشدی گارنت‌ها در نتیجه سرعت بالاتر پخش تا حدودی یا کاملاً همگن خواهد شد [۲۲].

دو دلیل اصلی در مورد منطقه‌بندی رشدی نوسانی گارنت‌ها وجود دارد که عبارتند از: ۱- عوامل خارجی (که عمدتاً تغییرات در ترکیب آبگون‌های گرمایی می‌باشد که گارنت‌ها از آن نهشته می‌شوند)؛ ۲- نامیختگی در سیستم دوتایی گروسولار-آندرادیت. ترکیب آبگون‌های موجود در درز و ترکهای سنگ توسط عوامل خارجی (نشت) و داخلی (در اثر تجزیه کانیهای موجود در سنگ) کنترل می‌شود. در زون‌هایی که عضو انتهایی گروسولار افزایش می‌یابد، کنترل‌کننده‌های داخلی و در زون‌هایی که عضو انتهایی آندرادیت افزایش نشان می‌دهد، کنترل‌کننده‌های خارجی نقش بیشتری نشان می‌دهند [۲۳]. به عقیده [۲۴] دوره‌های متناوب شارش آبگون در سیستم‌های گرمایی با جوشش همراه است. فرآیند جوشش موجب اکسایش در آبگون و در نتیجه افزایش نسبت  $a_{Fe^{+3}}/a_{Al^{+3}}$  شده، لذا تمرکز عضو انتهایی آندرادیت در محلول جامد بالا می‌رود.

رشد بلور است.

با توجه به این که در نمونه‌های حاوی گارنت‌های زونه، کلینتونیت (به صورت انکلوزیون در گارنت) و وزوویانیت (در حاشیه بلور گارنت در حال تشکیل شدن می‌باشد) حضور دارند و هریک از این دو کانی در فوگاسیته اکسیژن خاص خود به وجود می‌آیند [۱۵] حضور این دو کانی در منطقه مورد مطالعه دلالت بر ناپایداری شرایط  $fO_2$  و در نتیجه شرایط آبگون در منطقه دارد. از این رو منطقه‌بندی گارنت‌ها به دلیل نامیختگی در سیستم گراندیت آغاز شده و بعد از آن تحت تاثیر تغییر ترکیب آبگون‌ها ادامه یافته‌است.

#### نتیجه‌گیری

تجزیه نقطه‌ای SEM گارنت‌های منطقه نشان می‌دهد که گارنت‌ها از مرکز به سمت حاشیه ناهمگن و دارای زون‌بندی نوسانی هستند و مرز بین زون‌ها، ناگهانی است این موضوع نشان‌دهنده تغییرات ناگهانی در ترکیب شیمیایی مواد تشکیل دهنده است.

در نتیجه منطقه‌بندی موجود در هنگام رشد کانی به وجود آمده است. جریان آبگون در سیستم حاکم بر اسکارن منطقه، با دوره‌های جوشش همراه است. فرآیند جوشش موجب افزایش  $fO_2$  شده و در پی آن موجب افزایش آندرادیت در سری محلول جامد می‌شود و در فاصله زمانی بین این دوره‌ها گروسولار به دلیل کاهش  $fO_2$ ، افزایش می‌یابد. در اثر نفوذ آبگون‌ها منطقه‌بندی گارنت‌ها در اطراف شکستگی‌ها از بین رفته است. منطقه‌بندی گارنت‌ها با نامیختگی در سیستم دوتایی گروسولار- آندرادیت شروع شده و با تغییر در ترکیب آبگون‌های گرمابی ادامه یافته است.

#### مراجع

- [4] Atherton M.P., Edmunds W.M. "A electron microprobe study of some zoned garnets from metamorphic rock", Earth Planet. Sci. Lett. (1966)185-193.
- [5] Reeder R.J., Grams J.C. "Sector Zoning in Calcite cement Crystals, Implications in carbonates". Geochimica et Cosmochimica Acta. 51(1987) 187-247.
- [6] Sibley D.F., Vogel T.A., Walther B.M., Byerly G. "The Origin of Oscillatory Zoning in plagioclase, Adiffusion and growth controlled model". American J. of Science. 276 (1976) 275-281.
- [7] Hollister L.S. "Garnet Zoning; An interpretation based on the Rayleigh fractionation model". Science. 154(1966) 1647-1651.
- [8] Blackburn W.H. "Zoned and unzoned garnets from the Grenville Gneisses around Gananoque Ontario". Canadian Mineral. 9(1969) 691-698.
- [9] Grant J.A., Weiblen P.W. "Retrograde zoning in garnet near the end Sillimanite isograd". Am. J. Sci. (1971)270-296.
- [10] Hwang S.L., Yui T.F., Chu H.T., Shen P. "Submicron polyphase inclusions in garnet from the Tananao metamorphic complex, Taiwan, a key to unraveling other wise unrecognized metamorphic events". J. of Metamorphic Geology. 19(2001) 599-605.
- [11] Clechenko C.C., Valley J.W. "Oscillatory zoning in garnet from the Willsboro Wollastonite Skarn, Adirondack Mts, New York, a record of shallow hydrothermal processes preserved in a granulite facies terrane". J. metamorphic Geol. 21(2003) 771-784.
- [12] Berberian M., King G.C.P. "Towards a paleogeography and tectonic evolution of Ira". Canadian Journal of Earth Sciences. 18(1981) 210-265.
- [۱۳] دهقان منشادی ب.، "مطالعه پترولوژی و ژئوشیمی ماگماتیسیم و دگرگونی منطقه دره زرشک توران پشت، جنوب غربی یزد". پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تهران، (۱۳۷۹).
- [14] Zarasvandi A., Liaghat S. "Geology of the Darreh-Zerreshk and Ali-Abad Porphyry Copper Deposits, Central Iran". International Geology Review. 47(2005) 620-646.
- [15] Timó'n S.M., Moro M.C., Cembranos M.L., Ferná'ndez A. "Contact metamorphism in the Los
- [1] Zeming Z., Yong Y., Zhang J. "The compositional zoning of garnet in eclogite from western segment of Altyn Tag". Chinese science Bulletin. 45(2000) 79-83.
- [2] Chinner G.A., "Almandine in thermal aureoles." J. Petrol. 3(1962) 316-340.
- [3] Banno S. "Notes on Rock Forming minerals, Zoned structure of pyralpsit in Sanbagawa schists in the Bessi area", Shikoku. J. Geol. Soc. Japan. 71(1965) 185-188.

- [22] Carlson W., Schwarze E. "Petrological significance of prograde homogenization of growth zoning in garnet: An example from the Liano Uplift". *J. of Metamorphic Geology*. 15(1997) 631-639.
- [23] Jamtveit B. "Oscillatory zonation patterns in hydrothermal grossular-andradite garnet, Nonlinear behavior in regions of immiscibility". *Am. Mineralogist*. 76(1991) 1319-1327.
- [23] Yardley B.W.D., Rochelle C.A., Barnicoat A.C., Lloyd G.E. "Oscillatory zoning in metamorphic minerals". An indicator of infiltration metasomatism. *Mineralogical Magazine*. 55(1991) 357-365.
- [25] Deer W. A., Howie R. A., Zussman J. "Rock-Forming Minerals Orthosilicates Garnet Groups 1A". pp. (1989) 467-657.
- [26] Jamtveit B., Wogelius R.A., Fraser D.G., "Zonation patterns of skarn garnets, Records of hydrothermal system evolution". *Geology*. 21(1993) 113-116.
- [27] Jankovic S. "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. (1984) 247-273.
- Santos W skarn (NW Spain)*". *Mineralogy and Petrology*. 90(2007)109-140.
- [16] Meinert L.D., "Skarn and skarn deposit". *Geoscience Canada*. 19(1992)145-162.
- [۱۷] زندى فر س. "بررسی کانی‌شناسی دگرگونی مجاورتی توده نفوذی روستای حسن‌آباد یزد (جنوب غربی تفت)". پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تهران، (۱۳۸۷) ۱۹۸ ص.
- [18] Valley J.W., Peacor D.R., Bowman J.R., Essene E.J., Allard M.J. "Crystal chemistry of a Mg-vesuvianite and implications for phase equilibria in the system  $CaO-MgO-Al_2O_3-SiO_2-H_2O-CO_2$ ". *J Metamorph Geol*. 3(1985) 137-153.
- [19] Labotka T.C., Nabelek P.I., Papike J.J., Hover-Granath V.C., Laul J.C. "Effects of contact metamorphism on the chemistry of calcareous rocks in The Big Horse Limestone member, Notch peak, Utah". *Am. Mineral*. 73(1988) 1095-1110.
- [20] Abart R. "Phase equilibrium and stable isotope constraints on the formation of metasomatic garnet-vesuvianite veins (SW Adamello, N Italy). *Contrib*". *Mineral. Petrol*. 122(1995) 116-133.
- [21] Atherton M.P. "The variety in garnet biotite and chlorite composite in medium grad pelitic rocks from the Dalradian, Scotland, with particular reference to zonation in garnet. *Contrib*". *Mineral Petrol*. 18(1968) 347-371 .