

## مطالعه شیمی مگا کریست های گارنت در توده اسکارنی دهنو

### (شمال غرب مشهد)

صمدی، رامین<sup>۱</sup> - ولی زاده، محمدولی<sup>۱</sup> - میرنژاد، حسن<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> دانشکده زمین شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران

Ramin\_samadi@geologist.com

### چکیده

در حاشیه توده تونالیتی دهنو در شمال غرب مشهد، رخنمون هایی از اسکارن با بلورهای فراوان گارنت همراه با لایه بندی مشخص دیده می شود. پروتولیت این توده ها سنگ های کربناته ای است که در اثر تزریق توده تونالیتی در طی دگرگونی متاسوماتوز به اسکارن تبدیل شده است. برای تعیین ترکیب شیمیایی این گارنت ها بررسی نقطه ای الکترون میکروپروپ آنالیزور در مرکز و حاشیه بلور در موسسه مطالعه تحولات کره زمین ژاپن انجام شد. نتایج حاصل نشان دادند که محتوای کروم و منگنز این کانی ها قابل اغماض بوده و از لحاظ ترکیب کانی شناسی با توجه به چگونگی تغییر عناصر آلومینیم و آهن در مرکز و حاشیه کانی، متعلق به سری گرانادیت (گروسولار - آندرادیت) می باشند. گارنت های مورد مطالعه نشان دهنده اسکارن کلسیک با پتانسیل کانه زایی طلا، قلع و سرب - روی می باشند.

**واژه های کلیدی:** اسکارن، گارنت، ترکیب شیمیایی، دهنو

### مقدمه

گارنت ها گروه مهمی از کانیهای ارتوسیلیکاته هستند که در محیطهای گوناگون زمین شناسی مشاهده می شوند. ساختار بلور گارنت همیشه به عنوان یک مجموعه شیمیایی با اهمیت تلقی شده است. با توجه به نوع سنگ دربرگیرنده، ترکیب زمینه، مجموعه کانیهای پیرامون و شرایط دما - فشار عناصر مختلفی در ترکیب این کانی شرکت کرده و در نتیجه انواع کانی گارنت را ایجاد می کند. اولین مطالعات انجام شده در خصوص ساختمان منطقه ای کانی های دگرگونی بر روی زونینگ بلورهای گارنت بوده است. زونینگ بلورهای گارنت در سنگ های دگرگونی در اثر فرآیندهایی از قبیل رشد بلور (Hollister, 1966)، نشر (Grant & Weiblen, 1971) و یا نشت آبگون در بلورهای گارنت پیشین (Hwang et al., 2001) ایجاد می شود. ساختمان رشد منطقه ای طی تبلور و انواع ساختمان منطقه ای نشتی یا ساختمان منطقه ای ایجاد شده در اثر آبگونی ثانوی بعد از تبلور گارنت به وجود می آید. اگرچه فرآیندهای طی رشد مهمترین عامل ایجاد ساختمان منطقه ای در گارنت است، اما فرآیندهای نشر و نشت آبگون پس از تبلور بلور تعادل اولیه گارنت را دچار اختلال می کند. امروزه مطالعات گسترده ای بر روی گارنت های دارای ساختمان منطقه ای نوسانی انجام می شود و به عقیده محققین بررسی زونینگ در گارنت های سری گرانادیت می تواند راهگشای شناخت سیستم های حاکم بر محیط در حین تشکیل اسکارن باشد (Clechenko & Valley, 2003).

## زمین شناسی منطقه

منطقه مورد مطالعه در شمال‌خاوری ایران، در ۱۵ کیلومتری شمال‌غرب شهر مشهد واقع گردیده است (شکل ۱). این ناحیه در محدوده زون ساختاری بینالود و در امتداد شمال‌شرقی سلسله جبال البرز، در حد فاصل طولهای جغرافیایی  $۲۲^{\circ} ۵۹'$  تا  $۲۶^{\circ} ۵۹'$  شرقی و عرضهای جغرافیایی  $۲۰^{\circ} ۳۶'$  تا  $۲۲^{\circ} ۳۶'$  شمالی قرار دارد. جایگزینی توده گرانیتی مشهد در سری ولکانیک - رسوبی متعلق به پالئوزوئیک فوقانی که بر اساس شواهد موجود در اواخر تریاس صورت پذیرفته، سبب دگرگونی‌هایی گردیده است. آثار این دگرگونی شامل تبلور، تبلور مجدد، دگرشکلی پلاستیک و الاستیک و نیز کانه‌سازی بوده است.

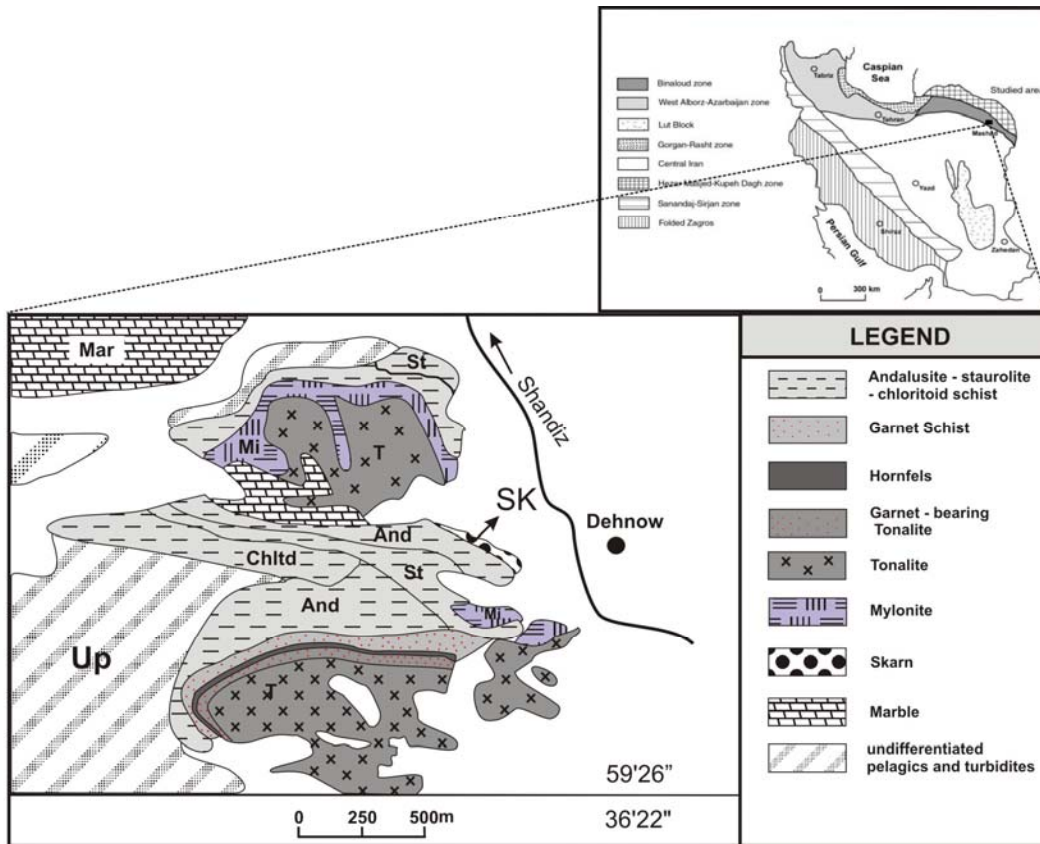
توده‌های نفوذی رخنمون‌یافته در منطقه از نوع توده‌های مزوکرات و جزء فاز ماگمایی  $G_1$  محسوب می‌گردند، که شامل تونالیت، گرانودیوریت و کوارتزدیوریت بوده و رگه‌های آپلیتی و پگماتیتها نیز در آن برونزد دارند. این سنگها حاوی آنکلوهای از شیبست‌ها، فیلیت‌ها و مجموعه افیولیتی میزبان خود هستند. از نظر کانی‌شناسی این سنگها شامل کوارتز، فلدسپات پتاسیک، پلاژیوکلاز، بیوتیت و گاهی آمفیبول و پیروکسن به عنوان کانی‌های اصلی و آپاتیت، زیرکان و گارنت به عنوان کانی‌های فرعی می‌باشند (ولی‌زاده و کریم‌پور، ۱۳۷۴).

سنگهای دگرگونی منطقه را اسلیت، فیلیت، گارنت‌شیست، آندالوزیت‌شیست، کلریتوئیدشیست، استرولیت‌آندالوزیت‌گارنت‌شیست، استرولیت‌آندالوزیت‌شیست، مرم، کوارتزیت و اسکارن تشکیل می‌دهند. دگرگونی مجاورتی در منطقه، درجه پایین دگرگونی را نشان می‌دهد. تنها شواهد واضح دگرگونی مجاورتی حضور دو توده در محل‌های دهنو در حاشیه توده تونالیتی و دیگری در دره کاکوتی در داخل مرمرها می‌باشد.

مجیدی (۱۹۷۸) گرانیت‌های منطقه را به انواع  $G_1$ ,  $G_2$ ,  $G_3$  تقسیم نموده و سه فاز دگرگونی ناحیه‌ای و دگرگونی مجاورتی پیرامون مشهد را به ترتیب زیر بیان داشته است: (۱) دگرگونی ناحیه‌ای؛ که باعث تشکیل اسلیت، فیلیت، شیست، مرم و کوارتزیت شده است. (۲) دگرگونی دینامیک؛ که باعث تشکیل میلونیت و سنگ‌های کاتاکلاستیک شده است. (۳) دگرگونی مجاورتی؛ به علت نفوذ توده‌های گرانیتوئیدی که در نتیجه آن کانیها و سنگهای دگرگونی مجاورتی و همچنین توده‌های اسکارنی به وجود آمده‌اند.

## نتایج و بحث

گارنت یکی از مهمترین کانی‌های سیلیکاته در اسکارنها می‌باشد. گارنت‌های مورد مطالعه به رنگ قهوه‌ای، بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار با بافت پورفیروبلاستیک و لایه‌بندی مشخص در اسکارن منطقه مشاهده می‌شوند. بر اساس ترکیب شیمیایی، اسکارنهای منطقه عمدتاً از نوع اسکارنهای کلسیک بوده و از نظر کانی‌شناسی توده اسکارنی شامل کلسیت به عنوان کانی اصلی و دیوپسید، ولاستونیت، اپیدوت و گارنت به عنوان کانی فرعی می‌باشد. گارنت‌ها با ابعاد ۲ تا ۲/۵ میلیمتر عموماً با ادخالهایی از کوارتز و بیوتیت همراه با شکستگی‌های فراوان مشاهده می‌گردند. مطالعات صحرایی و شواهد پتروگرافی نشان می‌دهد که این توده‌ها متشکل از باندهای گارنت و پیروکسن بوده و در شرایط دگرگونی زیاد تا کم شکل گرفته‌اند. بر اساس ترکیب کانی‌شناسی، آنها به زون‌های گارنت - ولاستونیت و گارنت - پیروکسن تقسیم می‌شوند.



شکل ۱: نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

(اقتباس از نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰۰ طبقه، تهیه شده توسط سازمان زمین‌شناسی ایران)

برای تعیین ترکیب شیمیایی گارنت‌های توده اسکارنی دهنو تعداد ۲۰ تجزیه نقطه‌ای از مرکز و حاشیه بلورها در موسسه مطالعه تحولات کوه‌زمین ژاپن انجام شد (جدول ۱ و ۲).

جدول ۱: نتایج آنالیز نقطه‌ای (EPMA) در مرکز بلورهای گارنت

Sample	Grt <sub>1</sub>	Grt <sub>2</sub>	Grt <sub>3</sub>	Grt <sub>4</sub>	Grt <sub>5</sub>	Grt <sub>6</sub>	Grt <sub>7</sub>	Grt <sub>8</sub>	Grt <sub>9</sub>	Grt <sub>10</sub>
SiO <sub>2</sub>	۳۸,۵	۳۸,۱	۳۸,۸	۳۸,۶	۳۸,۶	۳۸,۵	۳۸,۳	۳۸,۲	۳۸,۷	۳۸,۶
TiO <sub>2</sub>	۰,۳۳	۰,۴۲	۰,۴۰	۰,۳۵	۰,۴۰	۰,۱۴	۰,۳۸	۰,۴۳	۰,۳۲	۰,۶۵
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۱۹,۹	۱۹,۳	۱۹,۸	۲۰,۱	۱۹,۵	۱۹,۲	۱۹,۱	۱۹,۶	۲۰,۱	۲۰,۲
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۴
FeO	۴,۲۶	۳,۲۲	۴,۵۷	۴,۳۳	۴,۸۹	۵,۴۳	۵,۵۳	۴,۶۱	۳,۷۷	۳,۹۸
MnO	۰,۱۴	۰,۰۹	۰,۰۲	۰,۱۴	۰,۰۵	۰,۰۴	۰,۰۵	۰,۰۷	۰,۱۱	۰,۱۴
MgO	۰,۱۱	۰,۰۱	۰,۱۱	۰,۱۰	۰,۱۰	۰,۱۲	۰,۱۵	۰,۰۹	۰,۱۱	۰,۱۳
CaO	۳۴,۷۵	۳۷,۴۰	۳۶,۰۷	۳۵,۸۲	۳۵,۸۲	۳۵,۱۳	۳۵,۵۷	۳۵,۹۴	۳۴,۷۳	۳۵,۹۲
Na <sub>2</sub> O	۰,۰۱	۰,۰۳	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۲	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۱
K <sub>2</sub> O	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
Total	۹۸,۰	۹۸,۷	۹۹,۷	۹۹,۴	۹۹,۳	۹۸,۶	۹۹,۱	۹۹,۰	۹۷,۹	۹۹,۷

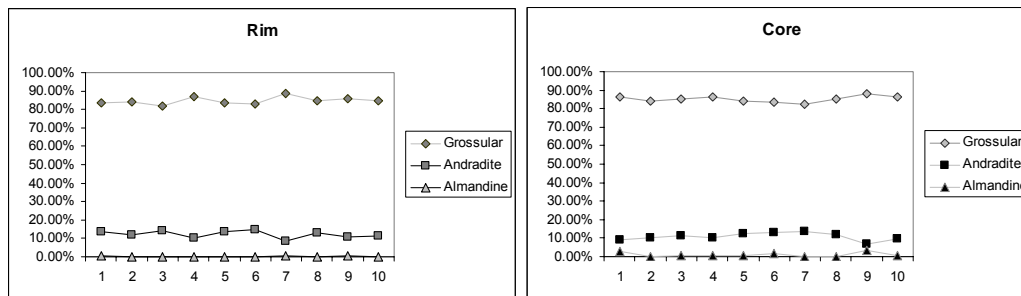
جدول ۲: نتایج آنالیز نقطه ای (EPMA) در حاشیه بلورهای گارنت

Sample	Grt <sub>1</sub>	Grt <sub>2</sub>	Grt <sub>3</sub>	Grt <sub>4</sub>	Grt <sub>5</sub>	Grt <sub>6</sub>	Grt <sub>7</sub>	Grt <sub>8</sub>	Grt <sub>9</sub>	Grt <sub>10</sub>
SiO <sub>2</sub>	۳۹,۰	۳۸,۵	۳۸,۶	۳۸,۴	۳۸,۵	۳۸,۶	۳۸,۸	۳۸,۴	۳۸,۶	۳۹,۰
TiO <sub>2</sub>	۰,۵۰	۰,۶۲	۰,۴۳	۰,۴۱	۰,۲۸	۰,۳۱	۰,۳۵	۰,۳۷	۰,۴۰	۰,۷۵
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۱۹,۲	۱۹,۹	۱۸,۸	۱۹,۸	۱۹,۲	۱۹,۱	۲۰,۴	۱۹,۲	۱۹,۷	۱۹,۵
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۳	۰,۰۵	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۲	۰,۰۶	۰,۰۲
FeO	۴,۷۳	۴,۴۰	۴,۵۴	۳,۸۸	۵,۱۴	۵,۴۴	۳,۵۳	۴,۵۵	۴,۰۷	۳,۷۳
MnO	۰,۰۶	۰,۱۵	۰,۱۴	۰,۱۲	۰,۰۳	۰,۰۸	۰,۱۲	۰,۰۳	۰,۱۴	۰,۲۰
MgO	۰,۱۶	۰,۱۳	۰,۰۱	۰,۱۳	۰,۱۶	۰,۱۳	۰,۱۲	۰,۰۸	۰,۱۱	۰,۱۷
CaO	۳۶,۰۷	۳۶,۵۹	۳۷,۱۷	۳۵,۷۱	۳۵,۹۴	۳۶,۰۹	۳۶,۰۰	۳۵,۹۸	۳۵,۹۳	۳۶,۴۱
Na <sub>2</sub> O	۰,۰۲	۰,۰۰	۰,۰۳	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱
K <sub>2</sub> O	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۱
Total	۹۹,۷	۱۰۰,۳	۹۹,۸	۹۸,۵	۹۹,۳	۹۹,۸	۹۹,۳	۹۸,۶	۹۹,۱	۹۹,۸

نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که عناصر کلسیم، آهن و آلومینیم تغییرات متناوبی در هسته و حاشیه بلور نشان می‌دهند. عناصر منیزیم، منگنز و همچنین تیتانیم به صورت نسبی از هسته بلور به سوی حاشیه افزایش نشان می‌دهند. عنصر سیلیسیم در هسته و حاشیه تغییرات اندکی را نشان می‌دهد. توزیع عناصر Fe, Mn, Mg و Ca در گارنت اساساً تحت تاثیر درجه دگرگونی، دما، نرخ سرد شدگی، ماهیت سیال دگرگونی و شیمی سنگ مادر می‌باشد (Harangi et al., 2001).

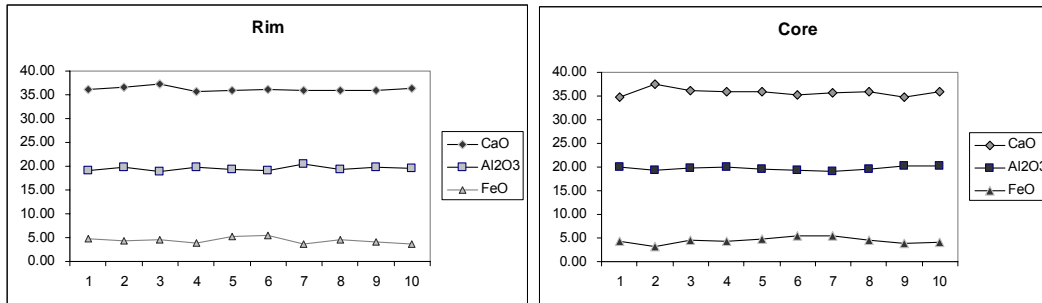
با توجه به نوسانات درصدوزنی اکسیدها در مرکز و حاشیه بلور، این تغییرات نوسانی عناصر و تکرار آن دلالت بر تغییرات در طی رشد دارد، که ایجاد کننده منطقه‌بندی محدود در گارنت‌ها می‌باشد. ساختمان رشد منطقه‌ای به پدیده تفریق در حین رشد نسبت داده شده است (Atherton & Edmunds, 1966). در دماهای پایین دگرگونی، گارنت معمولاً زونینگ مشخصی را به دلیل توزیع همگن برخی عناصر بین گارنت و کانی‌های همراه نشان می‌دهد. که این امر ناشی از سرعت کند انتشار درون دانه‌ای می‌باشد، اما زمانی که دمای دگرگونی متجاوز از ۷۰۰ درجه سانتیگراد باشد، زونینگ‌رشدی گارنت‌ها در نتیجه سرعت بالاتر توزیع، تا حدودی یا کاملاً همگن خواهد شد (Carlson & Schwarze, 1997).

گارنت‌های مورد مطالعه (نمودار ۱)، از نظر ترکیب شیمیایی شامل درصد بالایی از گروسولار (۸۲/۶۲٪ تا ۸۸/۴۳٪)، آندرادیت (۶/۷۵٪ تا ۱۴/۴۷٪)،  $\{\text{Ca}_3\}[\text{Fe}_2^{3+}](\text{Si}_3)\text{O}_{12}$ ؛ و درصد کمتری موریموتیت  $\{\text{Ca}_3\}[\text{TiFe}^{2+}](\text{Si}_3)\text{O}_{12}$ ؛ آلماندن  $\{\text{Fe}_3^{2+}\}[\text{Al}_2](\text{Si}_3)\text{O}_{12}$ ؛ پیروپ  $\{\text{Mg}_3\}[\text{Al}_2](\text{Si}_3)\text{O}_{12}$ ؛ و اووارویت  $\{\text{Ca}_3\}[\text{Cr}_2](\text{Si}_3)\text{O}_{12}$  هستند.



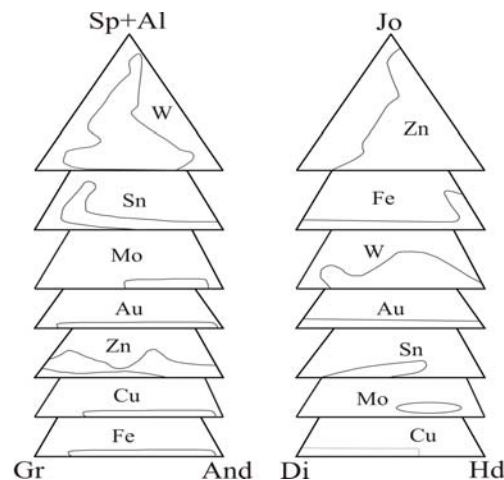
نمودار ۱: تغییرات اعضای انتهایی (گروسولار، آندرادیت و آلماندین) بلورهای گارنت در مرکز و حاشیه

نمودار (۲) تغییرات درصد وزنی اکسیدهای  $\text{CaO}$ ،  $\text{FeO}$  و  $\text{Al}_2\text{O}_3$  را در مرکز و حاشیه بلورها نشان داده است. در این نمودارها درصد وزنی اکسیدهای آهن و آلومینیم در هسته و حاشیه بلور نوسان کمی نشان می‌دهند. در نقاطی که درصد وزنی آهن (شاخص آندرادیت) افزایش یافته است، درصد وزنی آلومینیم (شاخص گروسولار) کاهش نشان می‌دهد و بالعکس.



نمودار ۲: تغییرات اکسیدهای  $\text{CaO}$  و  $\text{Al}_2\text{O}_3$  و  $\text{FeO}$  در مرکز و حاشیه بلورهای گارنت

نتایج آنالیزهای میکروپروپ گارنت‌های توده اسکارنی دهنو (جدول ۲ و ۱)، بر روی نمودار مثلثی گروسولار - آندرادیت - اسپسارتین (Meinert, 1992)، نشان داد که محتوای منگنز و کروم این کانی‌ها قابل اغماض بوده و از نظر ترکیب کانی‌شناسی در دو قطب متفاوت آندرادیت و گروسولار قرار می‌گیرند. مینرت (۱۹۹۲)، به بیان رابطه‌ای بین ترکیب شیمیایی کانی‌های اصلی سازنده اسکارن و نوع کانه‌زایی در آن می‌پردازد و این رابطه را در قالب نمودار (شکل ۲) نشان داده است. براین اساس در اسکارن‌های مس ترکیب گارنت، آندرادیت می‌باشد؛ ترکیب گارنت در اسکارنهای قلع، گروسولار - آندرادیت - آلماندین؛ در اسکارنهای تنگستن، اسپسارتین؛ در اسکارنهای روی - سرب، گروسولار - آندرادیت؛ در اسکارنهای طلا، گروسولار - آندرادیت و در اسکارنهای آهن و مولیبدن، آندرادیت می‌باشد. بر این اساس گارنت‌های مورد مطالعه نشان دهنده اسکارن‌های طلا، قلع و سرب - روی هستند.



شکل ۲: رابطه بین ترکیب شیمیایی کانی‌های پروکسن و گارنت و نوع کانه‌زایی در انواع مختلف اسکارن (Meinert, 1992)

## نتیجه گیری

با توجه به چگونگی تغییر عناصر آلومینیم و آهن در مرکز و حاشیه بلور، گارنت‌های مورد مطالعه از لحاظ ترکیب کانی‌شناسی متعلق به سری گرانیدیت (گروسولار - آندرادیت) می‌باشند. زونینگ حاصل از نوسانات محدود عناصر در مقیاس میکروسکوپی مشاهده نمی‌شود اما در آنالیز نقطه‌ای میزان منیزیم، منگنز و تیتانیم به صورت نسبی از هسته بلور به سوی حاشیه افزایش می‌یابد، در حالی که کلسیم، آهن و آلومینیم تغییرات متناوب و سیلیسیم تغییرات اندکی را نشان می‌دهد. تکرار تغییرات نوسانی در میزان این عناصر، گویای آن است که این پدیده حاصل پدیده نشر نبوده و در طی رشد امکان ایجاد اینگونه نوسانات ممکن است. از این رو تغییرات همزمان با رشد ایجادکننده ساختمان منطقه‌ای گارنت‌های مورد مطالعه بوده است. بر اساس نمودار مثلثی گروسولار - آندرادیت - اسپسارتین، اسکارن منطقه دارای پتانسیل کانه‌زایی طلا، قلع و سرب - روی می‌باشد.

## سپاسگزاری

از همکاریهای ارزنده دکتر هیروشی کاواباتا از موسسه مطالعه تحولات کره زمین کشور ژاپن و مهندس رضا صمدی سپاسگزاری می‌گردد.

## مرجع‌ها

1. ولی‌زاده، م. و کریم‌پور، م. ح.، ۱۳۷۴. منشا و موقعیت تکنونیک‌های گرانیت‌های جنوب مشهد. مجله علوم دانشگاه تهران، ۲۱، ۸۲-۷۱.
- 2 - Atherton M. P., Edmunds W. M. (1966). An electron Microprobe Study of some zoned garnets from metamorphic rocks. *Earth Planet. Sci. Lett.* 185-193
- 3 - Carlson W., Schwartze E. (1997). Petrological significance of prograde homogenization of growth zoning in garnet: An example from the Liano Uplift. *J. of Metamorphic G.* 15, 631-639
- 4 - Clechenko, C. C., Valley J. W. (2003). 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. 771-784.
- 5 - Grant, J.A. and Weiblen, P.W., 1971, Retrograde zoning in garnet near the second sillimanite isograd: *Amer. Jour. Science*, v. 270. 281-296.
- 6 - Harangi SZ., Downes H., Kosa L., Szabo CS., Thirlwall M. F., Mason P. R. D., Matthey D. (2002). Almandine Garnet in Calc-Alkaline Volcanic Rocks of the Pannonian Basin (Eastern-Central Europe): Geochemistry, Petrogenesis and Geodynamic Implications: *Jour. of Petrology*, No.10. 1813-1843.
- 7 - Hollister L. S. (1966). Garnet zoning, An interpretation based on the Rayleigh fractionation model, *Science* 154. 1647-1651.
- 8 - Hwang S. L., Yui T. F., Shen P. (2001). Submicron polyphase inclusions in garnet from the Tananao metamorphic complex, Taiwan, a key to unraveling other wise unrecognized metamorphic events, *J. of Meta. Geology.* 19. 599-605
- 9 - Madjidi, B. (1978). Etude Petrostructurale de la ergion de Mashhad(Iran). These docteur. Ingeniever, Univ. Sci. ct. Med. de Grenoble, France.
- 10 - Meinert, L. D. (1992). Skarn and skarn deposit. *Geosci. Canada*, 19, 145-172.