

مطالعات زمین‌شناسی، سنگ‌نگاری و میانبارهای سیال اندیس گارنت بابا نظر (تکاب، استان آذربایجان غربی)

صمد علیپور^{۱*}، پروا شیرمحمدی^۲، یوسف رحیم سوری^۳ و هاشم باقری^۴

^۱ دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
^۲ کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
^۳ استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
^۴ دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۲/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۶/۳۰

چکیده

اندیس گارنت بابانظر در ۸۰ کیلومتری شمال خاوری شهرستان تکاب در پهنه ساختاری سندانج- سیرجان قرار دارد. واحدهای سنگی رخنمون یافته در منطقه از جمله هورنفلس و گارنتیت در تماس با توده گرانیتی نشان می‌دهد که گارنت در محل برخورد توده گرانیتی با توده‌های آرژیلیتی یا ماسه‌سنگی و آهکی در طی دگرگونی همبری تشکیل شده است. نتایج مطالعات کانی‌شناسی و سنگ‌نگاری، سیر تحول کانی‌سازی در محدوده مورد مطالعه را در طی چندین مرحله دگرسانی پیشرونده، پسروده و برونزاد بیان می‌کند و گارنت در طی مرحله دگرسانی پیشرونده تشکیل شده است. نتایج حاصل از بررسی سنگ‌نگاری میانبارهای سیال نشان می‌دهد که بیشتر میانبارهای سیال در بلورهای گارنت از دید زمان تشکیل از نوع: (۱) اولیه در امتداد سطوح رشد بلور و به صورت پراکنده و نامنظم و (۲) ثانویه در امتداد شکستگی‌ها و سطوح رخ هستند. از دید تعداد فازهای درونی، این میانبارها در چهار دسته: (۱) تک‌فازی مایع، (۲) دوفازی مایع- بخار، (۳) چندفازی جامد، و (۴) دوفازی مایع- مایع رده‌بندی می‌شوند. مطالعات ریزدماستجی میانبارهای سیال در این اندیس نشان می‌دهد، دمای همگن‌شدگی شوری در گارنت به ترتیب میان ۳۱۸ تا ۴۳۸ درجه سانتی‌گراد و ۱۸/۶۳ تا ۲۲/۷۱ درصد وزنی نمک طعام و در کوارتز میان دو محدوده ۲۰۹ تا ۲۱۹ و ۲۳۹ تا ۲۵۴ درجه سانتی‌گراد و ۴/۱۸ تا ۱۰/۶۱ درصد وزنی نمک طعام قرار دارند.

کلیدواژه‌ها: گارنت، بابانظر، میانبارهای سیال، ریزدماستجی، تکاب.

*نویسنده مسئول: صمد علیپور

E-mail: s.alipour@urmia.ac.ir

۱- پیش‌نوشتار

اندیس گارنت بابانظر در ۸۰ کیلومتری شمال خاوری تکاب (استان آذربایجان غربی) میان طول‌های جغرافیایی 47° 16' 00" E تا 47° 17' 00" E و عرض‌های جغرافیایی 36° 37' 00" N تا 36° 38' 00" N شمالی جای دارد (شکل ۱). در هنگام تبلور برخی از بلورها، سیال‌هایی به شکل فاز همگن و یکنواخت در فضای خالی میان سطوح بلوری و یا درزهای ایجاد شده در هنگام رشد بلور به دام می‌افتند و با بسته شدن فضای خالی و سرد شدن سیال، به فازهای مختلف گاز، جامد و مایع تفکیک می‌شوند که با نام میانبارهای سیال شناخته می‌شوند (حاج‌علیلو، ۱۳۸۷). تاکنون مطالعات فراوانی روی میانبارهای سیال در کانی‌های مختلف از جمله کوارتز (طالع‌فاضل و همکاران، ۱۳۹۰؛ Siahcheshm et al., 2014)، کلسیت (Singoyi & Zaw, 2001)، فلوریت (Singoyi & Zaw, 2001) و غیره به دلیل شفاف و روشن بودن این کانی‌ها صورت گرفته است ولی مطالعات کافی روی میانبارهای سیال گارنت صورت نگرفته است (Korsakov et al., 2011). با توجه به تشکیل گارنت در محیط دگرگونی یکی از هدف‌های اصلی این پژوهش بررسی دمای تشکیل گارنت از راه مطالعه میانبارهای سیال این کانی است.

گارنت‌های تشکیل شده در سنگ‌های هورنفلس‌دار منطقه بابانظر میزبان میانبارهای سیال بسیاری هستند و تاکنون مطالعه‌ای روی سنگ‌نگاری و ریزدماستجی این میانبارهای سیال صورت نگرفته است. با توجه به اینکه این میانبارها نمونه‌های کوچکی از سیال‌های سازنده گارنت هستند، اندازه‌گیری‌های ریزدماستجی گارنت با هدف تعیین دمای تشکیل گارنت و شوری، چگالی و ترکیب شیمیایی سیال سازنده این کانی انتخاب شد. افزون بر این با بررسی و مطالعه کانی‌شناسی و سنگ‌نگاری مقاطع تهیه شده از زون گارنتیت اگرواسکارن در منطقه، ترتیب توالی تبلور کانی‌ها (توالی پاراژنزی) با هدف بررسی و تحلیل سیر تحول کانی‌سازی و تقدم و تأخر تشکیل کانی‌ها و مشخص کردن نسل‌های مختلف کانی‌سازی همراه گارنت رسم شده است.

۲- روش مطالعه

بر پایه مشاهدات صحرایی ۲۲ مقطع نازک و صیقلی برای مطالعات سنگ‌نگاری تهیه و بررسی شد. پس از بررسی و مطالعه این مقاطع با توجه به انواع کانی‌ها، ارتباط میان کانی‌ها و بافت‌های مشاهده شده در مقاطع، ترتیب توالی تبلور کانی‌ها تعیین شده است. در کنار این مطالعات ۶ مقطع دوبر صیقلی برای مطالعه میانبارهای سیال تهیه و سنگ‌نگاری و ریزدماستجی این میانبارها بحث و بررسی شده است. مطالعات ریزدماستجی با استفاده از میکروسکوپ Ziess مجهز به صفحه Linkam مدل THM-600 با کنترل‌کننده گرمایی TMS-94 و سردکننده JNP، در دانشگاه اصفهان انجام گرفت. در مطالعات ریزدماستجی، میانبارهای دوفازی مایع- بخار موجود در کانی‌های گارنت و کوارتز بررسی شده است. نتایج آزمایش‌های گرمایش برای تعیین دمای همگن‌شدگی (دمای تبدیل میانبارهای دوفازی مایع- بخار به تک‌فازی مایع) و آزمایش‌های سرمای‌شدگی برای تعیین دمای ذوب اولیه (دمای یوتکتیک) و پایانی یخ، در جدول ۱ آمده است. با توجه به اینکه دمای ذوب پایانی یخ منطبق بر دمای انجماد آن است و کاهش نقطه انجماد ارتباط مستقیم با مقدار نمک موجود در سیال دارد، مطالعات سرمای‌شدگی و دمای ذوب پایانی یخ حاصل از این آزمایش بهترین روش برای تعیین شوری میانبارهای سیال است. در این مطالعه برای تعیین شوری از معادله زیر استفاده شده است (Bodnar, 1993):

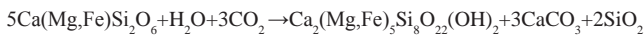
$$\text{Salinity}(\% \text{Wt NaCl}) = 1.78 \theta - 0.0442 \theta^2 + 0.000557 \theta^3$$

که در آن، θ ، دمای ذوب پایانی یخ و $\% \text{Wt NaCl}$ ، درصد وزنی معادل نمک طعام است.

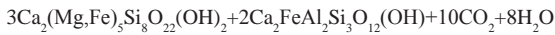
۳- مشاهدات زمین‌شناسی

از دیدگاه تقسیم‌بندی پهنه‌های ساختاری ایران، منطقه بابانظر در محدوده پهنه سندانج- سیرجان و محل برخورد پهنه‌های ساختمانی البرز- آذربایجان و ایران مرکزی قرار دارد (Gilg et al., 2006) (شکل ۱).

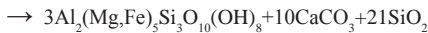
ترمولیت- اکتینولیت و کلریت در طی فرایند کربن‌گیری و آب‌پوشی همراه با تشکیل کوارتز و کلسیت ثانویه بر پایه واکنش‌های زیر می‌تواند صورت گرفته باشد (Deer et al., 1992):



کوارتز کلسیت ترمولیت- اکتینولیت → کلینوپروکسن



اپیدوت ترمولیت- اکتینولیت



کوارتز کلسیت کلریت →

اپیدوت یکی دیگر از کانی‌های ثانویه حاصل از دگرسانی گارنت است که احتمالاً در نتیجه تأثیر محلول‌های غنی از CO_2 و H_2O در طی واکنش زیر همراه با کلسیت و کوارتز تشکیل شده است (مختاری و همکاران، ۱۳۹۱) و در مقایسه با همه کانی‌های اولیه و ثانویه فراوانی بیشتری دارد (شکل‌های ۴-الف و ب).



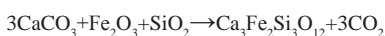
کوارتز کلسیت اپیدوت → اوگراندیت

۴-۴. واحد کالک‌سیلیکاتی هورنفلس (زون آگرواسکارن)

اسکارن‌ها بر پایه موقعیت‌شان نسبت به توده نفوذی به دو گروه اندوآسکارن و آگروآسکارن تقسیم‌بندی شده‌اند (Meinert, 1983). با توجه به تقسیم‌بندی یاد شده، در سامانه اسکارن منطقه مورد مطالعه زون آگروآسکارن قابل تشخیص است. بر پایه مطالعات میکروسکوپی، کانی‌های اولیه شامل کلسیت، گارنت، اپیدوت، کلینوپروکسن و پلاژیوکلاز و کانی‌های ثانویه حاصل دگرسانی شامل اپیدوت، کلریت و ترمولیت- اکتینولیت از کانی‌های تشکیل شده در این زون است.

– **کلسیت:** کلسیت از کانی شاخص و اصلی زون اسکارن در منطقه است. این کانی بیشتر در زمینه سنگ و کناره‌های گارنت به صورت بلورهای بی‌شکل با اندازه‌های مختلف دیده شده و بافت موزاییکی تشکیل داده است (شکل‌های ۶-الف و ب). در برخی از نمونه‌ها دو جهت رخ روموندرال کلسیت کاملاً مشخص است (شکل ۶-ج). همچنین، کلسیت به همراه کوارتز در رگه‌ها و رگچه‌ها هم دیده می‌شود (شکل ۸-الف). این نوع کلسیت در نتیجه تزریق سیال گرمایی غنی از کربنات کلسیم در درزها و شکاف‌های گارنت که تحت تأثیر نیروهای زمین‌ساختی قرار گرفته‌اند، تشکیل شده است.

– **گارنت:** بلورهای گارنت در نمونه‌های دستی بیشتر به رنگ‌های سبز تیره تا کم رنگ و قهوه‌ای روشن تا تیره دیده می‌شود (شکل ۵). گارنت در مقاطع میکروسکوپی به صورت بلورهای نیمه‌شکل‌دار عمدتاً بی‌شکل و همسانگرد با برجستگی بالا و شکستگی فراوان دیده می‌شود. گارنت‌ها بر پایه موقعیت آنها در محیط اسکارن به رنگ‌های مختلفی دیده می‌شوند؛ به این ترتیب که معمولاً در مجاورت توده نفوذی و رخدادهای حاشیه‌ای به رنگ قهوه‌ای- سرخ تیره و در نزدیکی تماس با توده نفوذی و واحد کربناتی به رنگ سبز دیده می‌شوند (Atkinson & Einaudi, 1978). بلورهای گارنت در نور طبیعی به رنگ سبز زیتونی دیده می‌شوند (شکل‌های ۶-الف و ب). بیشتر بلورهای گارنت به کانی‌های ثانویه اپیدوت (شکل‌های ۶-پ و ت) و کلریت (شکل‌های ۷-الف و ب) دگرسان شده‌اند و بخش کمی از این بلورها سالم باقی مانده‌اند. نوع گارنت‌های تشکیل شده در این منطقه مورد مطالعه بیشتر از نوع آندرادیت و گروسولار است (شیرمحمدی، ۱۳۹۳). گارنت آندرادیت در اثر ترکیب کلسیم سنگ‌های کربناتی با سیلیس و اکسید آهن، و گارنت گروسولار در اثر ترکیب کلسیم سنگ‌های کربناتی با کائولن و سیلیس می‌تواند بر پایه واکنش زیر تشکیل می‌شود (Beane, 1982):



آندرادیت → هماتیت کلسیت

اندیس گارنت با بانظر در نقشه زمین‌شناسی تخت‌سلیمان با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ (باباخانی و قلمقاش، ۱۳۷۱) و نقشه زمین‌شناسی تکاب با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ (علوی نائینی و همکاران، ۱۳۶۱) جای دارد. واحدهای سنگی رخنمون یافته در منطقه با بانظر (شکل ۱) شامل هورنفلس، توده گرانیتی، گدازه‌های آندزیت پورفیری جوان، واحد کالک‌سیلیکاتی هورنفلس (زون گرانیت آگرواسکارن) و به مقدار جزئی شیست است. هورنفلس در منطقه به شکل متناوب با توده گرانیتی دیده شده و ناخالصی‌های پلیتی سنگ اولیه آن به احتمال مربوط به رسوبات شیلی و ماسه‌سنگی سازند کهر است. این سنگ ساخت اولیه خود را حفظ کرده و لایه‌بندی ماسه‌ای- آرزلیتی در آن مشخص است. توده گرانیتی در نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ چهارگوش تکاب با عنوان گرانیت دوران منتسب به پرکامبرین نامیده شده است؛ در حالی که این توده رسوبات ماسه‌سنگی سازند لالون را قطع کرده و توسط رسوبات آهکی سازند قم با سن الیگوسن بالا- میوسن زیرین (اکیتانین- بوردیگالین) با ناپیوستگی پوشیده می‌شود (باباخانی و قلمقاش، ۱۳۷۱). از این رو با توجه به شواهد یاد شده زمان تشکیل این گرانیت پس از کامبرین و پیش از الیگوسن است.

۴- سنگ‌نگاری

۴-۱. واحد کوارتز سریسیت شیست

بافت دیده شده در این سنگ از نوع بافت دانه‌ای و شیستوزیته است (شکل ۲-الف). در مقاطع مطالعه شده کوارتز با اندازه‌های مختلف و مسکوویت سریسیتی شده به صورت کشیده در میان کانی‌های کوارتز به مقدار فراوان (شکل ۲-الف) دیده می‌شوند و کانی‌های اصلی این سنگ را تشکیل می‌دهند. برخی از بلورهای کوارتز به شکل بلورهای بیضوی درشت با خاموشی موجی دیده می‌شود و در پیرامون این بلورهای درشت بیشتر کوارتز حاصل از تبلور دوباره تجمع یافته است (شکل ۲-ب). افزون بر کانی‌های یاد شده، بیوتیت (شکل ۲-ب)، پلاژیوکلازها به شکل بلورهای درشت نیمه‌شکل‌دار با ماکل پلی‌سننتیک (شکل ۲-ت) و کانی‌های کدر به مقدار جزئی به صورت پرکننده فضاهای خالی و یا ادخال درون کانی‌های سیلیکاتی (شکل ۲-ت) دیده می‌شوند.

۴-۲. توده نفوذی گرانیت

بافت‌های دیده شده در این سنگ از نوع بافت دانه‌ای (شکل ۳-ت) و به مقدار جزئی بافت غربالی در بلورهای پلاژیوکلاز (شکل ۳-الف) است. بافت غربالی به‌عنوان یکی از بافت‌های رایج در پلاژیوکلازها در نتیجه آمیختگی ماگمایی و یا ناپایداری بلورهای پلاژیوکلاز در هنگام حرکت سریع ماگما به سوی بالا ایجاد می‌شود (Gutman, 1977; Stewart & Pearce, 2004). کانی‌های کوارتز با خاموشی موجی (شکل ۳-پ)، فلدسپار (شکل ۳-ت) و بیوتیت جزو کانی‌های اصلی این سنگ هستند. بیشتر بیوتیت‌های موجود در گرانیت دگرسان شده‌اند و آثار کمی از این کانی سالم باقی مانده است (شکل‌های ۳-الف و ب). افزون بر این کانی‌ها، پلاژیوکلازهای سوسورتی شده با ماکل کارلسباد به مقدار جزئی دیده می‌شوند (شکل ۳-الف).

۴-۳. واحد هورنفلس

این سنگ از کانی‌های اولیه گارنت، کلینوپروکسن، پلاژیوکلاز (با ماکل پلی‌سننتیک و کارلسباد) و اسفن تشکیل شده است. گارنت به صورت بلورهای بی‌شکل و همسانگرد با برجستگی بالا و کلینوپروکسن به صورت بلور شکل‌دار، انیزوتروپ و بدون چندرنگی است. (شکل‌های ۴-پ و ت). اسفن به صورت بلور کاملاً شکل‌دار لوزی شکل با برجستگی بالا در میان بلورهای پلاژیوکلاز حضور دارد و دارای چندرنگی ضعیفی است (شکل ۴-ج). در این سنگ دگرگونی با پیشرفت دگرسانی، کلینوپروکسن به ترمولیت- اکتینولیت و در نهایت در حضور اپیدوت به کلریت تبدیل شده است (شکل ۴-ث). تبدیل کلینوپروکسن به

به صورت ثانویه تشکیل شود (Deer et al., 1992). در محدوده مورد مطالعه بر پایه مقاطع بررسی شده هماتیت به مقدار فراوان در طی دگرسانی گارنت‌های اوگراندیت (آندرادیت و گروسولار) همراه با کلسیت تشکیل شده است. افزون بر این، هماتیت در طی اکسایش دو نسل مگنتیت نیز به دست آمده است (شکل‌های ۹-پ و ت).

۴-۵. واحد تراکی آندزیت

این سنگ بیشتر از پلاژیوکلازهای درشت به صورت بلورهای شکل‌دار با ماکل پلی‌سنتیک و کارلسباد (شکل‌های ۱۰-الف و پ) و تعدادی کانی‌های کدر در زمینه پورفیری و به صورت ادخال در کلاز (شکل‌های ۱۰-ب و ت) تشکیل شده است. در این سنگ آتشفشانی بافت میکروولیتیک پورفیریک به شکل درشت‌بلورهای درشت پلاژیوکلاز در زمینه میکروولیتی دیده می‌شود و کانی‌های سوزنی در زمینه میکروولیتی نیز از نوع پلاژیوکلاز است (شکل ۱۰-الف). دگرسانی رایج در این سنگ از نوع سوسوریتی شدن است و کانی‌های ثانویه کلاز آهن‌دار، آلیت و کلسیت در طی این دگرسانی تشکیل شده‌اند (شکل‌های ۱۰-پ و ت).

۵- توالی تبلور کانی‌ها (توالی پاراژنزی)

توالی پاراژنزی یک کانسار، ترتیب تشکیل کانی‌ها، تقدم و تأخر زمانی رخدادهایی که سبب تشکیل کانسار شده‌اند و فراوانی نسبی کانی‌ها را نشان می‌دهد. در این بخش توالی پاراژنزی کانی‌ها در گارنت با نظر به توجه به مطالعات میکروسکوپی رسم شده است (شکل ۱۱). بر پایه نتایج حاصل از این مطالعات سیر تحول کانی‌سازی در طی سه مرحله (دگرسانی پیشرونده، پسرورنده و برنوزاد) به شرح زیر صورت گرفته است.

۵-۱. مرحله پیشرونده

در ابتدا پس از تشکیل واحد کربناتی با ناخالصی‌های پلیتی (ماسه و رس آرژیلیتی) به‌عنوان سنگ میزبان، در طی مرحله پیشرونده توده گرانیتی در این واحدها نفوذ کرده و تأثیرات گرمای حاصل از این توده در طی دگرگونی مجاورتی سبب تشکیل واحد کالک‌سیلیکاته هورنفلس شده است. انتقال گرما در سنگ‌های اشاره شده سبب تبلور دوباره کلسیت شده است. افزون بر این، مقدار محدودی کانی‌های کالک‌سیلیکاتی ریزبلور (گارنت، کلینوپیروکسن و اپیدوت نسل اول) تشکیل شده است. تشکیل کانی‌های گارنت و کلینوپیروکسن در اثر ناخالصی‌های پلیتی سنگ‌های کربناتی است. در ادامه کاهش حجم سنگ‌ها و فشارهای وارده از سوی توده نفوذی و سیال حاصل از آنها سبب ایجاد شکستگی‌هایی شده و معابری برای عبور سیال‌های ماگمایی ایجاد کرده است.

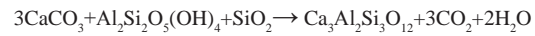
با شروع سرد شدن توده نفوذی و ورود محلول‌های گرمایی حاصل از این توده از راه شکستگی‌ها به درون سنگ‌های درونگیر، کانی‌های کالک‌سیلیکاتی گارنت درشت‌بلور و کلینوپیروکسن تشکیل شده‌اند. در سامانه اسکارن، بخش‌های پایانی مرحله پیشرونده، روندی به سوی غنی‌شدگی کالک‌سیلیکات‌ها از آهن و فقیر شدن آنها از منیزیم دارد. این روند تکاملی در اسکارن‌های کلسیک توسط تشکیل گارنت‌های غنی از آهن سه‌ظرفیتی (آندرادیت) دنبال می‌شود (شهاب‌پور، ۱۳۸۰). افزون بر کانی‌های کالک‌سیلیکاتی، مگنتیت و کوارتز هم جزو کانی‌های تشکیل شده در مرحله پیشرونده هستند.

۵-۲. مرحله پسرورنده (قهقراپی)

کالک‌سیلیکات‌های بدون آب که در دماهای به نسبت بالا تشکیل شده‌اند در اثر ورود سیال‌های گرمایی دما پایین‌تر و فرایندهای آب‌کافت، آب‌پوشی و کربن‌گیری دگرسان شده و به مجموعه‌ای از کانی‌های کم‌دما از جمله ترمولیت-اکتینولیت، کلریت، اپیدوت، کوارتز، کلسیت، مگنتیت و هماتیت تبدیل شده‌اند. کالکوپیریت از کانی‌های تشکیل شده در این مرحله است.

۵-۳. مرحله برنوزاد (سوپرن)

در شرایط سطحی، آب جوی بر کانه‌زایی اثر گذاشته و موجب تبدیل کانی سولفیدی



گروسولار → کائولینیت کلسیت
در منطقه مورد مطالعه کائولن و کلسیت در سنگ اولیه وجود داشته، اکسید آهن از توده گرانیت تأمین شده و بخشی از سیلیس از توده گرانیتی تأمین شده و بخشی در سنگ میزبان وجود داشته است.

– **اپیدوت:** اپیدوت دومین کانی فراوان پس از گارنت است و به صورت بلورهای شکل‌دار اولیه جانشین شده درون کلسیت (شکل ۶-ث) و بلورهای بی‌شکل ثانویه ناشی از دگرسانی گارنت (شکل‌های ۶-پ و ت) دیده می‌شود. اپیدوت‌های اولیه در طی مرحله پیشرونده و اپیدوت‌های ثانویه به احتمال زیاد در نتیجه افزایش فوگاسیته اکسیژن در مرحله پسرورنده پیشین در طی واکنش زیر تشکیل شده‌اند (Deer et al., 1992):



هماتیت اپیدوت کلسیت → اوگراندیت
– **کلینوپیروکسن:** کلینوپیروکسن یکی دیگر از کانی‌های همراه گارنت است که به صورت بلورهای شکل‌دار، دارای رخ و با برجستگی بالا دیده می‌شود. بخشی از این کانی‌ها در طی اورالیتی شدن به اکتینولیت-ترمولیت دگرسان شده‌اند (شکل ۷). درصد بالای گارنت نسبت به کلینوپیروکسن در منطقه مورد مطالعه می‌تواند بیانگر حالت اکسیدان توده نفوذی گرانیت و سیال گرمایی حاصل از این توده باشد (Meinert, 1997).

– **کوارتز:** کوارتز بیشتر به صورت رگه‌های کوارتزی در محیط تزریق شده و تشکیل رگه و رگچه‌ها را داده است. این کانی در مقاطع مطالعه شده دارای خاموشی مویی است که احتمالاً در نتیجه فرایندهای زمین‌ساختی ایجاد شده است (شکل ۸-الف).
– **پلاژیوکلاز:** پلاژیوکلاز به مقدار جزئی به صورت بلور شکل‌دار با ماکل پلی‌سنتیک دیده می‌شود و در نتیجه نیروهای زمین‌ساختی حالت خم‌شدگی پیدا کرده است (شکل ۸-ب).

از کانی‌های فلزی همراه گارنت می‌توان به کانی‌های اکسیدی هماتیت، مگنتیت، کانی‌های هیدرواکسیدی گوتیت، لیمونیت و فاز سولفیدی کالکوپیریت اشاره کرد.
– **گوتیت:** گوتیت به‌عنوان فاز حد واسط هماتیت و لیمونیت، جزو کانی‌های هیدرواکسیدی آهن است و در نتیجه هوازدگی یا دگرسانی کانی‌های آهن‌دار (هماتیت، پیریت، کالکوپیریت و غیره) تشکیل می‌شود (Nesse, 2000). در مقاطع مورد مطالعه گوتیت به میزان فراوان در پیرامون کالکوپیریت دیده می‌شود (شکل‌های ۹-الف و ب). وجود کالکوپیریت به صورت میانبار درون گوتیت نشان‌دهنده تقدم تشکیل کالکوپیریت است و گوتیت می‌تواند در طی واکنش زیر از اکسایش این فاز سولفیدی تشکیل شده باشد (Guilbert & Park, 1997). با پیشرفت دگرسانی، گوتیت نیز به لیمونیت تبدیل شده و در مقاطع به رنگ قهوه‌ای دیده می‌شود (شکل ۹-الف).



اسیدسولفوریک + اسید کربنیک + سولفات مس + گوتیت → کالکوپیریت
– **مگنتیت:** دو نسل مگنتیت در مقاطع صیقلی دیده می‌شود: نسل اول به صورت ادخال درون گارنت و نسل دوم در محل شکستگی‌های گارنت (شکل‌های ۹-پ و ت). کانی مگنتیت با کاهش دما و افزایش فوگاسیته CO_2 ، همراه با کلسیت و کوارتز از دگرسانی آندرادیت در طی مرحله قهقراپی پیشین اسکارن‌زایی حاصل می‌شود (Einaudi, 1982). مگنتیت تشکیل شده در این مرحله در محل شکستگی‌های گارنت دیده می‌شود.



مگنتیت کوارتز کلسیت → آندرادیت
– **هماتیت:** هماتیت می‌تواند به صورت اولیه در شرایط فوگاسیته اکسیژن بالاتر و یا

۳) میانبارهای چندفازی جامد (S+L±V) دارای یک یا چند فاز بلورین جامد یا کانی‌های نوزاد (daughter minerals) که برخی ۵۰ درصد حجم داخلی میانبار یا بیشتر از آن را اشغال کرده‌اند و فاز بخار تنها در شماری از این میانبارها همراه دو فاز دیگر وجود دارد (شکل ۱۵-پ).

۴) میانبارهای دوفازی مایع-مایع (L+LCO₂) دارای مایع دی‌اکسید کربن که پیرامون حباب بخار حلقه زده‌اند. این میانبارهای دوفازی در مقایسه با ۳ نوع دیگر فراوانی کمتری دارند (شکل ۱۵-ت). حضور فاز دی‌اکسید کربن به احتمال زیاد مربوط به عبور سیال از درون سنگ کربناتی است.

۶-۳. ریزدماسنجی میانبارهای سیال

– **دمای همگن‌شدگی و شوری:** از میان ۶ سیال مورد بررسی بلور گارنت، دمای ذوب اولیه یخ (جدول ۱) میان ۴۲- تا ۴۷- تغییر می‌کند که نشان می‌دهد ترکیب سیال کانی‌ساز بیشتر NaCl+H₂O بوده است (رجب‌زاده و اسدی، ۱۳۹۰) و همگن‌شدگی در محدوده دمایی میان ۳۱۸ تا ۴۳۸ درجه سانتی‌گراد قرار دارد. از دید آماری بیشترین تعداد، مربوط به بازه دمایی ۴۱۸ تا ۴۴۱ درجه سانتی‌گراد است. شوری میانبارهای سیال این بلور بر پایه رابطه (Bodnar, 1993)، ۱۸/۶۳ تا ۲۲/۷۱ درصد وزنی نمک طعام است و از نظر آماری بیشترین مقدار شوری در بازه ۱۸ تا ۱۹ درصد وزنی نمک طعام و ۲۲ تا ۲۳ درصد وزنی نمک طعام قرار دارد (شکل‌های ۱۶-الف و ب). نبود سیالات غنی از بخار در کنار سیالات دوفازی مایع-بخار بر پایه مطالعات سنگ‌نگاری و عدم اختلاف شدید شوری و ثابت نبودن دمای همگن‌شدگی در نمونه‌های مختلف بر پایه اندازه‌گیری‌های ریزدماسنجی نشان می‌دهد که فرایند جوشش در تکامل سیالات نقش نداشته است (Roedder, 1984). بنابراین به دلیل نبود فرایند جوشش، دمای همگن‌شدگی به‌عنوان کمترین دمای تشکیل گارنت در نظر گرفته شده است.

نتایج به دست آمده از مطالعه میانبارهای سیال کانی کوارتز که به عنوان یک فاز تأخیری در شکستگی‌های گارنت دیده می‌شود، نشان می‌دهد که مقادیر دمای همگن‌شدگی و شوری میانبارهای این کانی در مقایسه با گارنت کمتر است. با توجه به نمودار ستونی فراوانی شکل ۱۶-پ، دمای همگن‌شدگی دو گروه مجزا از هم را نشان می‌دهد که یکی در محدوده دمایی ۲۰۹ تا ۲۱۹ درجه سانتی‌گراد و دیگری در محدوده ۲۳۹ تا ۲۵۴ درجه سانتی‌گراد قرار دارد. شوری میانبارهای سیال این کانی از ۴/۱۸ تا ۱۰/۶۱ درصد وزنی نمک طعام در تغییر بوده است و بیشترین مقدار شوری از دید آماری در بازه ۴ تا ۶ درصد وزنی نمک طعام قرار دارد (شکل ۱۶-ت). شوری پایین میانبارهای سیال این کانی نشان می‌دهد که در این میانبارها، در طی سرد شدن و تفکیک، فاز کانی دختر تشکیل نشده است.

– **چگالی میانبارهای سیال:** مقدار چگالی را می‌توان از راه قرار دادن داده‌های دمای همگن‌شدگی و شوری روی یک نمودار به دست آورد (شکل ۱۷). در این نمودار، خط‌چین‌ها چگالی سیال را نشان می‌دهند و دو نوع سیال با دما و شوری بالا مربوط به سیال سازنده گارنت و دما و شوری پایین مربوط به سیال سازنده کوارتز قابل تشخیص است. بر پایه موقعیت نمونه‌ها روی این نمودار، چگالی سیال سازنده هر دو کانی میان ۰/۸ تا ۰/۹ گرم بر سانتی‌متر مکعب در تغییر بوده است.

۷- نتیجه‌گیری

– حضور هورنفلس و توده گرانیته نشان می‌دهد که کانی‌سازی گارنت در محل برخورد توده گرانیته با توده‌های رسی یا ماسه‌سنگ و آهکی در نتیجه دگرگونی همبری با نوع اسکارن تشکیل شده است.
– کانی‌های تشکیل شده در زون آگروسکارن شامل کانی‌های اصلی گارنت و

کالکوپیریت به هیدرواکسیدهای آهن (گویتیت و لیمونیت) شده است. افزون بر این، مقداری هماتیت در نتیجه اکسایش مگنتیت که در مراحل پیش تشکیل شده، حاصل شده است.

۶- میانبارهای سیال

۶-۱. سنگ‌نگاری میانبارهای سیال گارنت با بانظر

– **شکل و ابعاد:** بر پایه مطالعات صورت گرفته، میانبارها از دید شکل ظاهری بیشتر نامنظم، کروی تا دوکی‌شکل، میله‌ای، سوزنی و تیغه‌ای هستند و تنها در یک نمونه شکل منفی بلوری (negative crystal shape) دیده می‌شود (شکل ۱۲-الف). شکل منفی بلور به‌صورت فضای خالی هم‌شکل با شکل اصلی بلور گارنت (مکعبی) درون بلور است. اندازه این میانبارها از ۵ تا ۳۲ میکرون متغیر است.

– **فازهای درونی:** فازهای جامد شامل بلورهای هالیت (مکعبی شکل)، سیلویت (مثلثی شکل)، انیدریت (مستطیلی شکل)، هماتیت (بی‌شکل) و داوسونیت (مثلثی شکل با انعکاس درونی زرد تا خاکستری و بیشتر همراه با فاز مایع CO₂, CH₄) است (شکل‌های ۱۲-ب، پ و ت). در میان فازهای جامد، بلور هالیت نسبت به فازهای دیگر فراوان‌تر است. حضور این فازهای جامد بسیار و فراوانی هالیت در میانبارهای سیال نشان‌دهنده شوری بالای محلول‌های سازنده بلور گارنت است.

– **باریک‌شدگی (necking down):** باریک‌شدگی میانبارهای سیال یکی از پدیده‌هایی است که در نتیجه عوامل مختلفی همچون انقباض ناشی از سرد شدن بلورها، کشیدگی ناشی از نیروهای زمین‌ساختی، یخ‌زدگی محتوای درونی میانبارها و غیره شکل می‌گیرد (حاج‌علیلو، ۱۳۸۷). در میانبارهای مطالعه شده، این پدیده در میانبارهای ثانویه‌ای که در امتداد شکستگی‌های ریز هستند، دیده می‌شود و احتمالاً در نتیجه نیروهای زمین‌ساختی محیط شکل گرفته است. این میانبارها زائده‌هایی دارند که نشان می‌دهد پدیده باریک‌شدگی به‌طور کامل انجام نشده است (شکل ۱۳).

– **درجه پرشدگی (degree of filling):** درجه پرشدگی هر میانبار، درصد حجم مایع پرکننده درون میانبار به کل حجم میانبار است. در میانبارهای مطالعه شده درجه پرشدگی در بیشتر میانبارهای دوفازی مایع-بخار و چندفازی جامد بسیار بالا بوده و بیشتر میان ۸۰ تا ۹۵ درصد است. درجه پرشدگی بالای میانبارهای سیال در بلورهای گارنت نشان از پایین بودن دما در لحظه به‌دام افتادن سیال در فضای خالی دارد که سبب شده است تفکیک فاز صورت نپذیرد و حجم سیال در همان اندازه پیشین باقی بماند.

۶-۲. انواع میانبارهای سیال

رده‌بندی میانبارهای سیال بر پایه متغیرهای مختلف از جمله زمان تشکیل (Bodnar et al., 1985; Roedder, 1984) و فازهای درونی (Shepherd et al., 1985) صورت می‌پذیرد.

– **انواع میانبارهای سیال گارنت با بانظر بر پایه زمان تشکیل:** بر پایه این تقسیم‌بندی میانبارهای سیال در بلورهای گارنت از نوع اولیه و ثانویه هستند. میانبارهای اولیه همزمان با رشد بلور گارنت به‌صورت پراکنده و در امتداد سطوح رشد بلور شکل گرفته‌اند و بیشتر از نوع تک‌فازی مایع و چندفازی جامد هستند. میانبارهای ثانویه پس از تبلور کامل بلور به‌صورت کشیده و صفحه‌ای در امتداد شکستگی‌ها و سطوح رخ شکل گرفته‌اند و بیشتر از نوع چندفازی جامد و به میزان کمتر دوفازی مایع-بخار هستند. میانبارهای اولیه نسبت به ثانویه فراوانی بیشتری دارند (شکل ۱۴).

– **انواع میانبارهای سیال گارنت با بانظر بر پایه فازهای درونی:** میانبارهای موجود در بلورهای گارنت با بانظر را می‌توان از دید فازهای درونی به ۴ دسته تفکیک کرد: ۱) میانبارهای تک‌فازی مایع (L) با درجه پرشدگی ۱۰۰ درصد (شکل ۱۵-الف). ۲) میانبارهای دوفازی مایع-بخار (L+V) با درجه پرشدگی بالاتر از ۹۰ درصد (شکل ۱۵-ب).

سطوح رخ هستند و از دید تعداد فازهای درونی در ۴ دسته شامل میانبراهای تک‌فازی مایع، دوفازی مایع-بخار، چندفازی جامد و میانبراهای دوفازی مایع-مایع دارای CO_2 رده‌بندی می‌شوند.

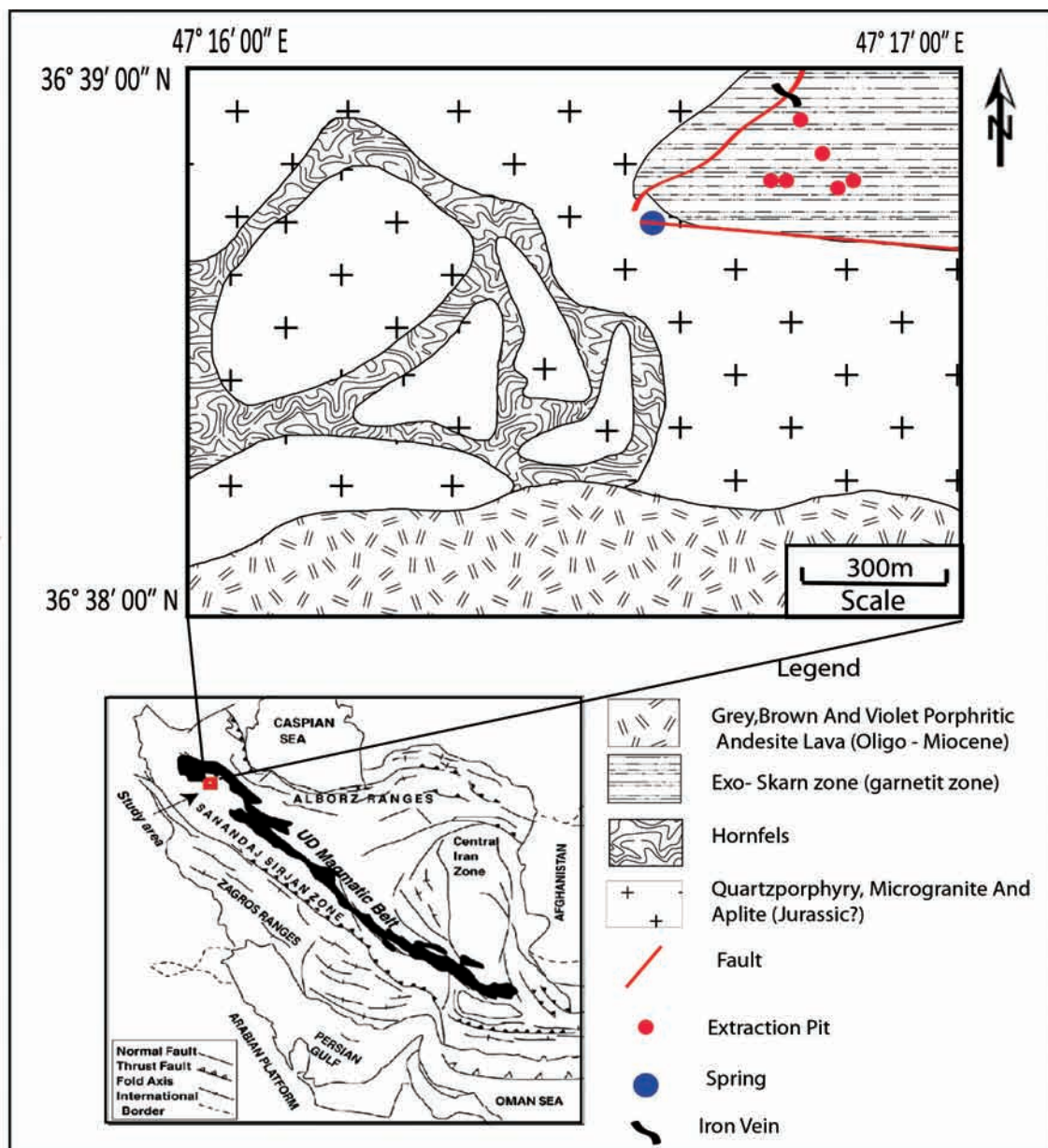
بر پایه اندازه‌گیری‌های ریزدماسنجی این نتایج به دست آمده است: الف) دمای همگن‌شدگی میانبراهای سیال در گارنت میان ۳۱۸ تا ۴۳۸ درجه سانتی‌گراد و در کوارتز میان دو محدوده دمایی ۲۰۹ تا ۲۱۹ و ۲۳۹ تا ۲۵۴ درجه سانتی‌گراد قرار دارد؛ ب) شوری میانبراهای سیال در گارنت میان ۱۸/۶۳ تا ۲۲/۷۱ و در کوارتز میان ۴/۱۸ تا ۱۰/۶۱ درصد وزنی نمک طعام قرار دارد؛ پ) چگالی سیال میان ۰/۸ تا ۰/۹ گرم بر سانتی‌متر مکعب متغیر بوده است؛ ت) ترکیب سیال کانی‌ساز گارنت بیشتر $NaCl+H_2O$ مشخص شده است؛ ث) فرایند جوشش در تکامل سیال‌ها نقشی نداشته است.

اپیدوت در زمینه کلسیت، کانی‌های فرعی کلینوپیروکسن، کوارتز و پلاژیوکلاز و کانی‌های ثانویه حاصل از دگرسانی کلینوپیروکسن و گارنت هستند.

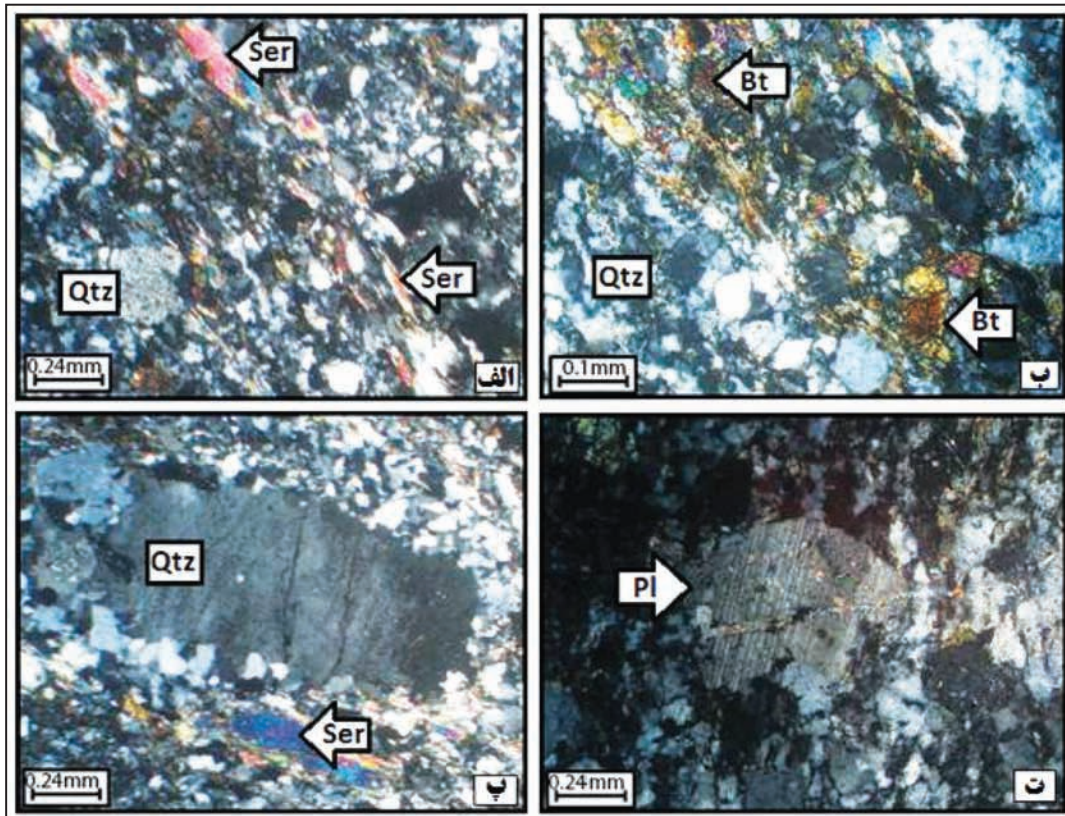
بلورهای گارنت در نمونه‌های دستی بر پایه موقعیتشان در محیط اسکارن به رنگ‌های مختلف سبز تیره تا کم‌رنگ و قهوه‌ای روشن و در مقاطع میکروسکوپی به صورت بلورهای نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل و همسانگرد با برجستگی بالا و شکستگی فراوان دیده می‌شوند.

بر پایه نتایج حاصل از مطالعه مقاطع میکروسکوپی، سیر تحول کانی‌سازی در محدوده مورد مطالعه در طی ۳ مرحله (پیشرونده، قهقرایی و برونزاد) صورت گرفته و کانی‌گارنت در طی مرحله پیشرونده همراه با کلینوپیروکسن تشکیل شده است.

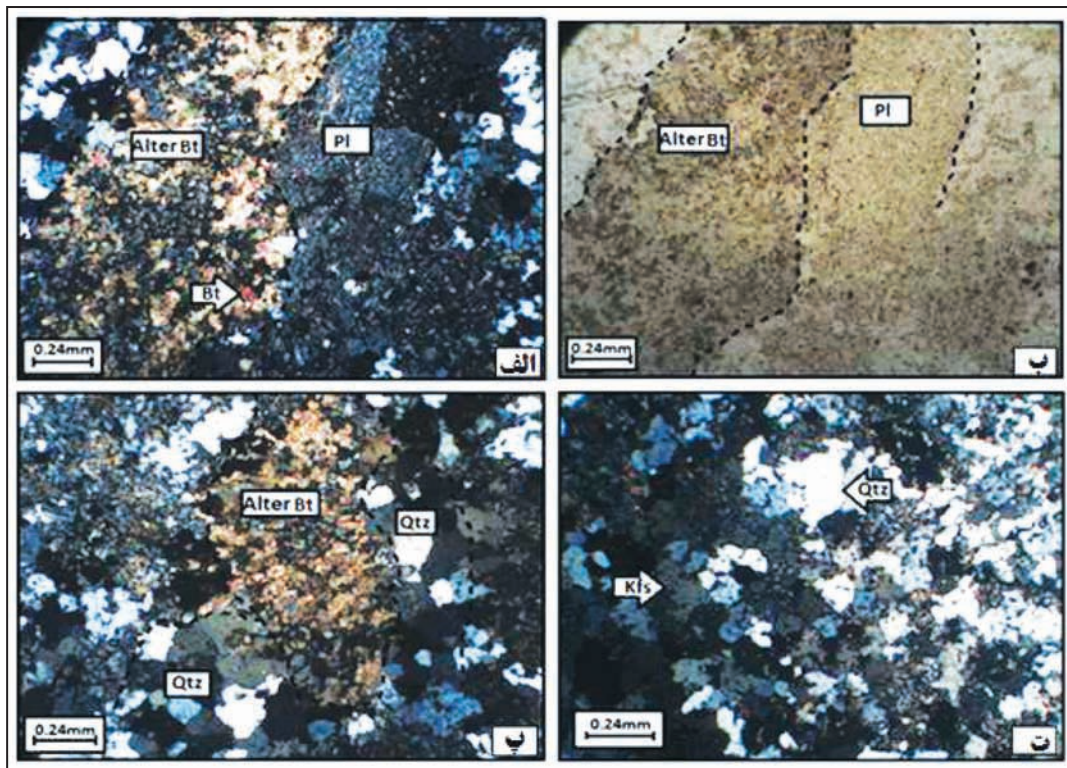
میانبراهای سیال در بلورهای گارنت از دید زمان تشکیل از نوع اولیه در امتداد سطوح رشد بلور و به صورت پراکنده و نامنظم و ثانویه در امتداد شکستگی‌ها و



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی منطقه با ناظر همراه با نقشه پهنه‌های زمین‌ساختی ایران (Gilg et al., 2006).

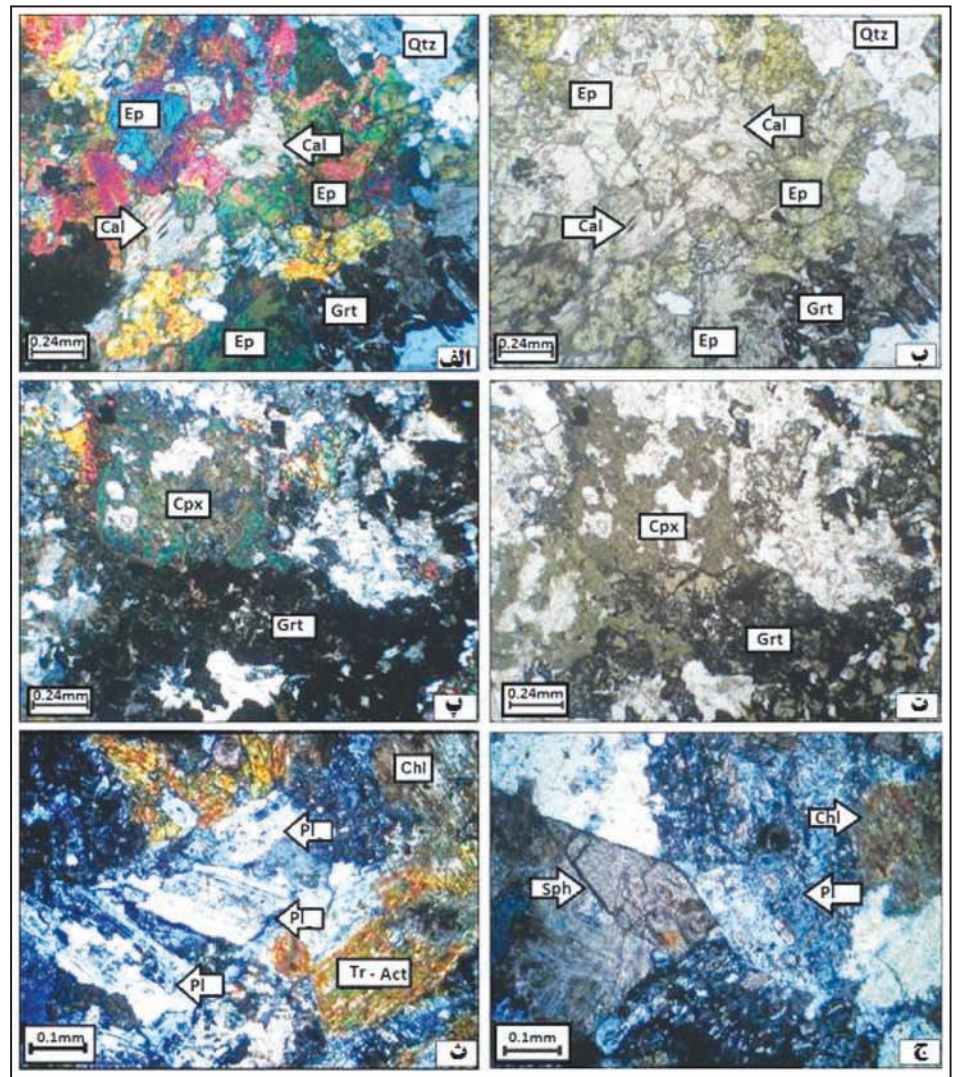


شکل ۲- تصاویر میکروسکوپی شیت. الف) بافت دانه‌ای و شیتوزیته همراه به مسکوویت سریستی شده؛ ب) تجمع بیوتیت در میان کوارتز؛ پ) کوارتز با خاموشی موجی و کوارتز حاصل از تبلور دوباره؛ ت) پلاژیوکلاز با ماکل پلی‌سنتیک. تصویر ب در نور PPL و بقیه تصاویر در نور XPL گرفته شده‌اند. نشانه‌های اختصاری به کار رفته عبارت‌اند از: Bt: بیوتیت؛ Pl: پلاژیوکلاز؛ Qtz: کوارتز؛ Ser: سریست.

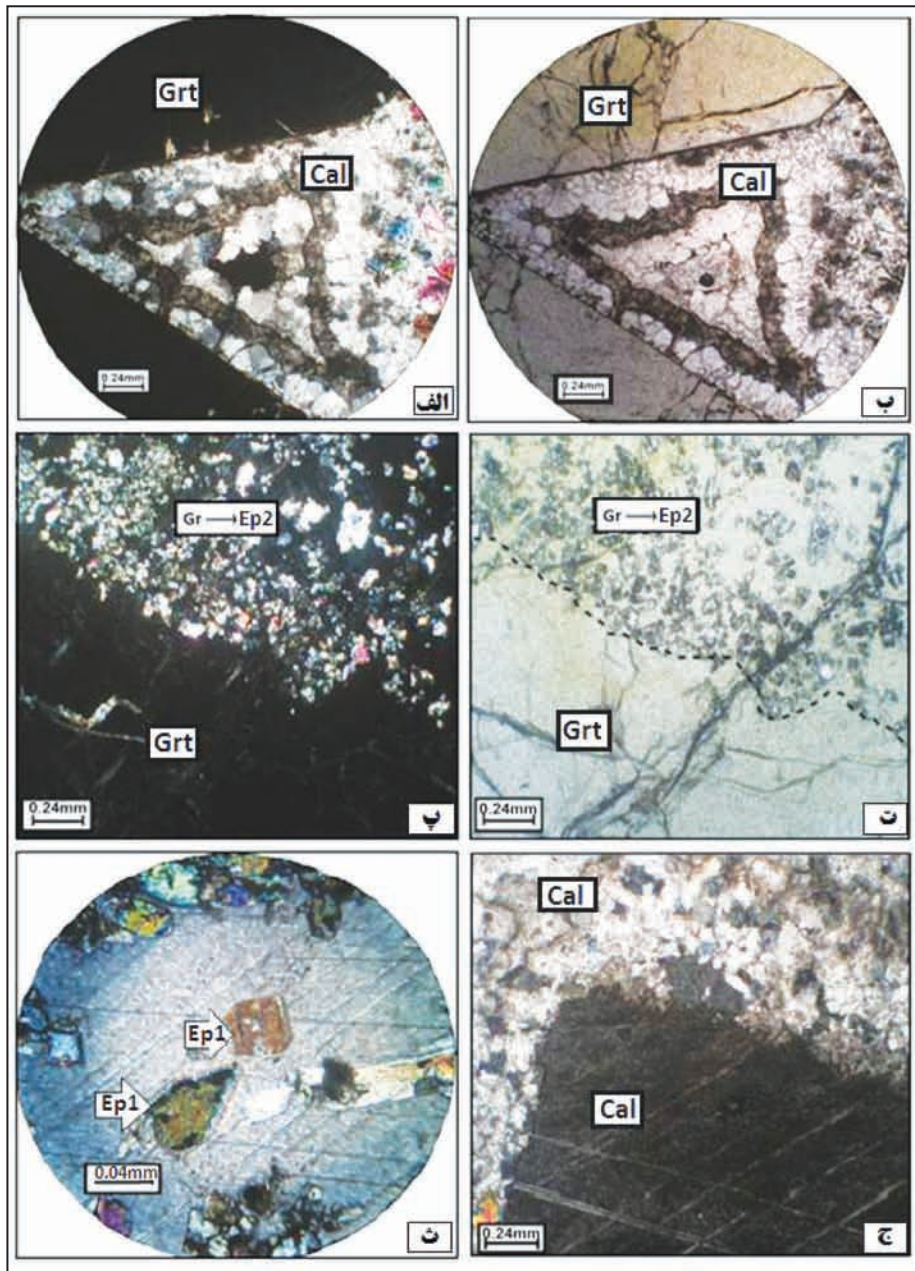


شکل ۳- تصاویر میکروسکوپی گرانیت. الف و ب) پلاژیوکلاز و بیوتیت دگرسان شده همراه با آثاری از بیوتیت سالم؛ پ) بیوتیت دگرسان شده همراه با کوارتز؛ ت) تجمع دانه‌ای کوارتز و فلدسپار پتاسیم‌دار. تصویر ب در نور PPL و بقیه تصاویر در نور XPL گرفته شده‌اند. نشانه‌های اختصاری به کار رفته عبارت‌اند از: Kfs: فلدسپار قلیایی؛ Qtz: کوارتز؛ Pl: پلاژیوکلاز؛ Alter Bt: بیوتیت دگرسان شده.

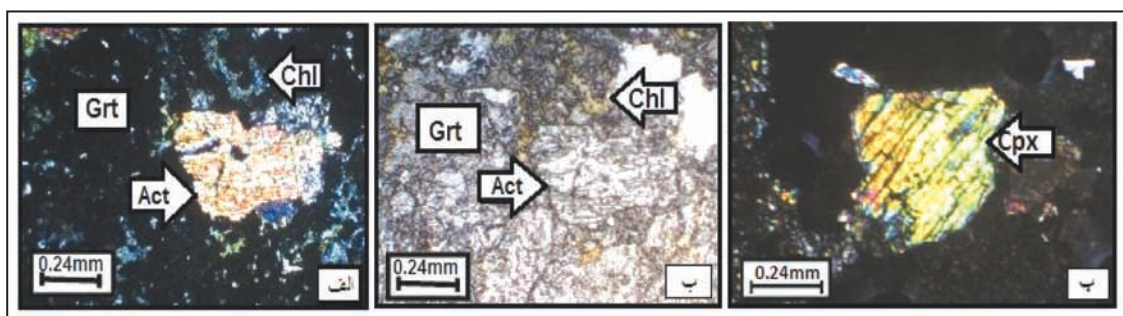
شکل ۴- تصاویر میکروسکوپی هورنفلس. الف و ب) گارنت همراه با اپیدوت، کلسیت و کوارتز ثانویه؛ پ و ت) گارنت همراه با کلینوپیروکسن؛ ث) بلورهای ترمولیت- اکتینولیت و کلریت حاصل از دگرسانی کلینوپیروکسن همراه با پلاژیوکلاز؛ ج) بلور شکل دار اسفن همراه با کلریت و پلاژیوکلاز. تصاویر ب و پ در نور PPL و دیگر تصاویر در نور XPL گرفته شده است. نشانه‌های اختصاری به کار رفته عبارت‌اند از: Cal: کلسیت؛ Pl: پلاژیوکلاز؛ Ep: اپیدوت؛ Sph: اسفن؛ Grt: گارنت؛ Tr-Act: ترمولیت- اکتینولیت؛ Chl: کلریت؛ Cpx: کلینوپیروکسن؛ Qtz: کوارتز.



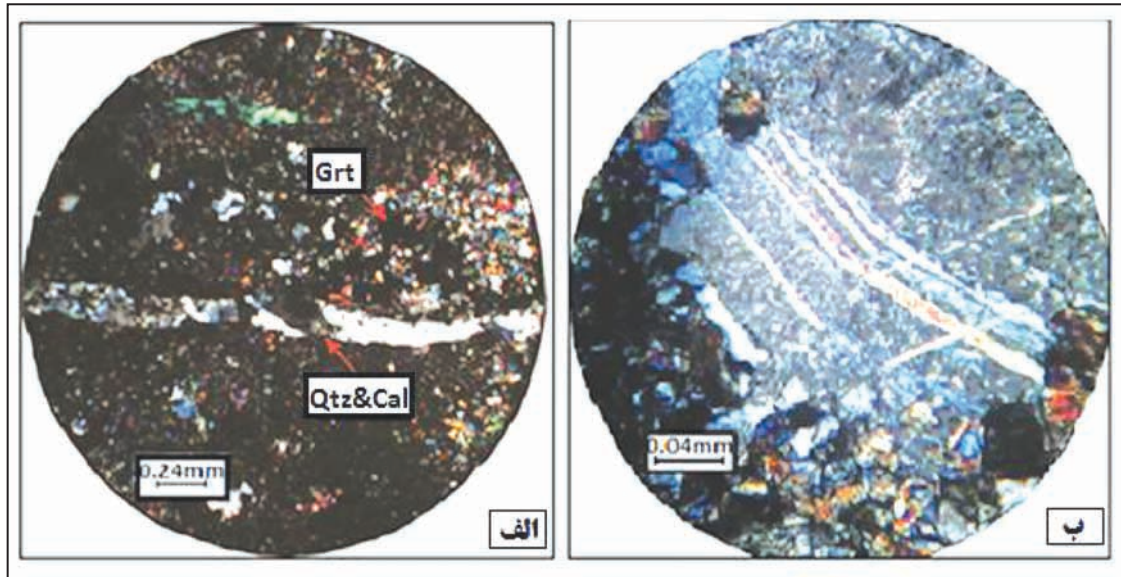
شکل ۵- کانی‌سازی بلورهای سبز و قهوه‌ای گارنت در زون گارنتیت اگزواسکارن با بانظر.



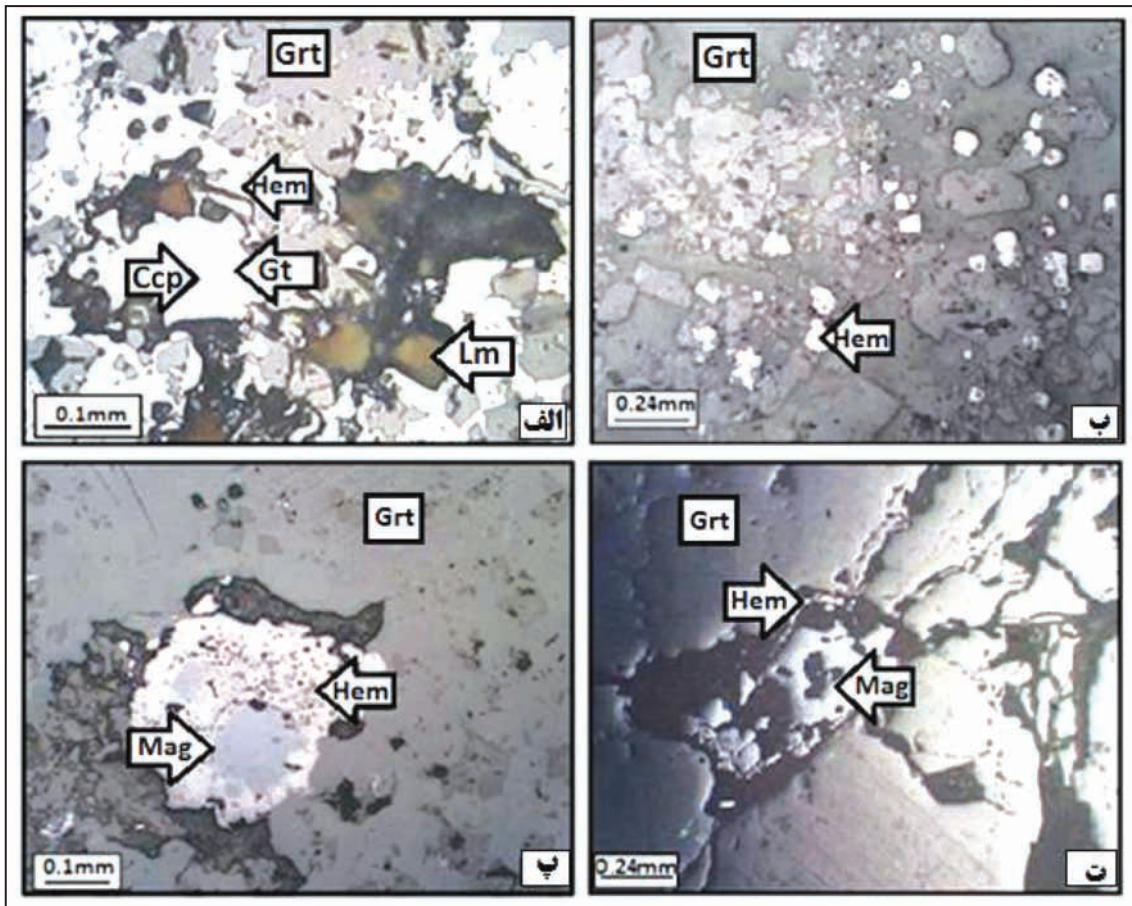
شکل ۶- تصاویر میکروسکوپی گارنت هورنفلس (زون گارنتیت اگزواسکارن). الف و ب) بلورهای ایزوتروپ گارنت همراه کلسیت و تغییر رنگ بخشی از بلور گارنت به دلیل آغشته شدن به اکسید آهن؛ پ و ت) دگرسانی گارنت به اپیدوت ثانویه؛ ث) بلورهای شکل‌دار اپیدوت در زمینه کلسیت با رخ رومبندرال؛ ج) کلسیت اولیه دارای رخ رومبندرال همراه با کلسیت حاصل از تبلور دوباره در طی دگرگونی مجاورتی. تصاویر الف، ب و ج در نور XPL و دیگر تصاویر در نور PPL گرفته شده‌اند. نشانه‌های اختصاری به کار رفته عبارت‌اند از: Grt: گارنت؛ Cal: کلسیت؛ Ep: اپیدوت.



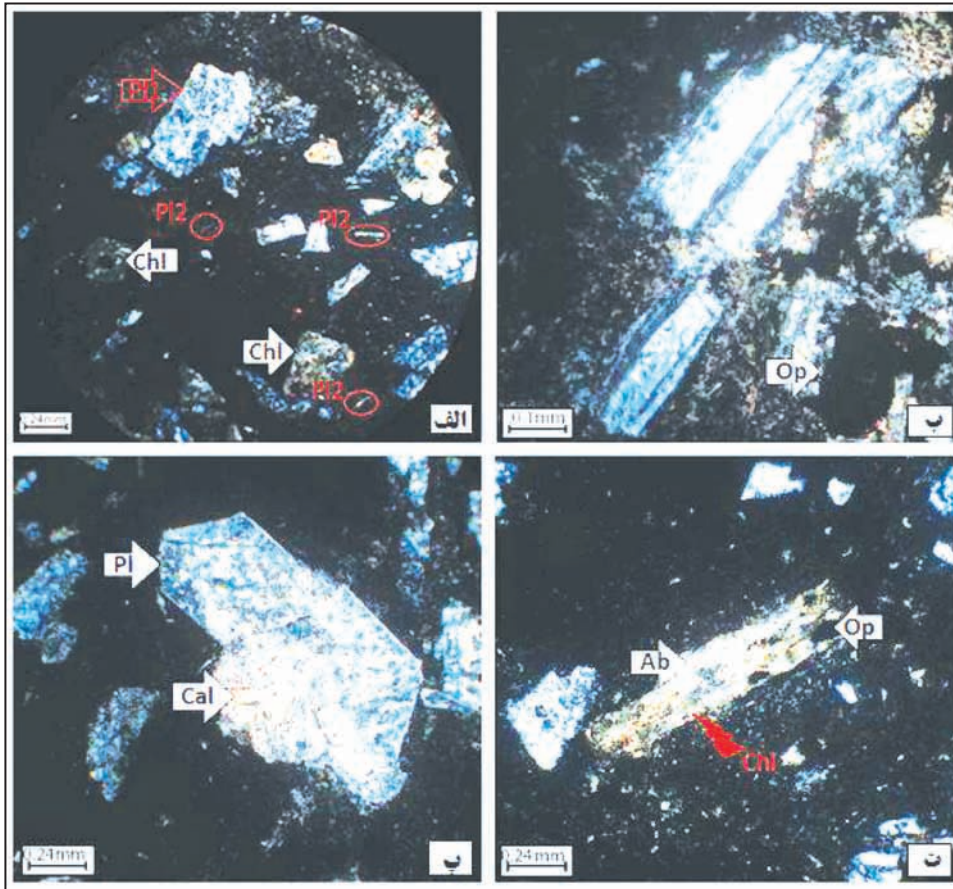
شکل ۷- تصاویر میکروسکوپی گارنت هورنفلس (زون گارنتیت اگزواسکارن). الف و ب) کلریت حاصل از دگرسانی گارنت همراه با اکتینولیت حاصل از دگرسانی کلینوپیروکسن؛ پ) کلینوپیروکسن شکل‌دار. تصویر ب در نور PPL و دیگر تصاویر در نور XPL گرفته شده‌اند. نشانه‌های اختصاری به کار رفته عبارت‌اند از: Grt: گارنت؛ Chl: کلریت؛ Cpx: کلینوپیروکسن؛ Act: اکتینولیت.



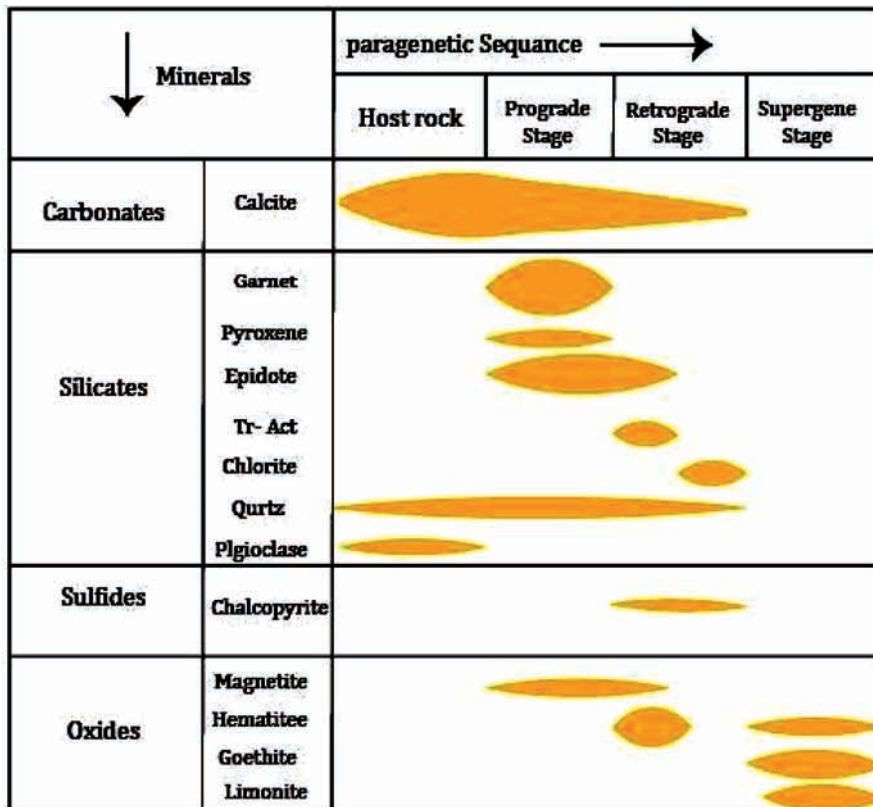
شکل ۸- تصاویر میکروسکوپی گارنت هورنفلس (زون گارنتیت اگزواسکارن). الف) رگه کوارتز و کلسیت در شکستگی‌های گارنت؛ ب) بلور شکل دار پلاژیوکلاز با ماکل پلی سنتتیک و خمیدگی ناشی از نیروی زمین ساختی. نشانه‌های اختصاری به کار رفته عبارت‌اند از: Grt: گارنت؛ Qtz: کوارتز؛ Cal: کلسیت.



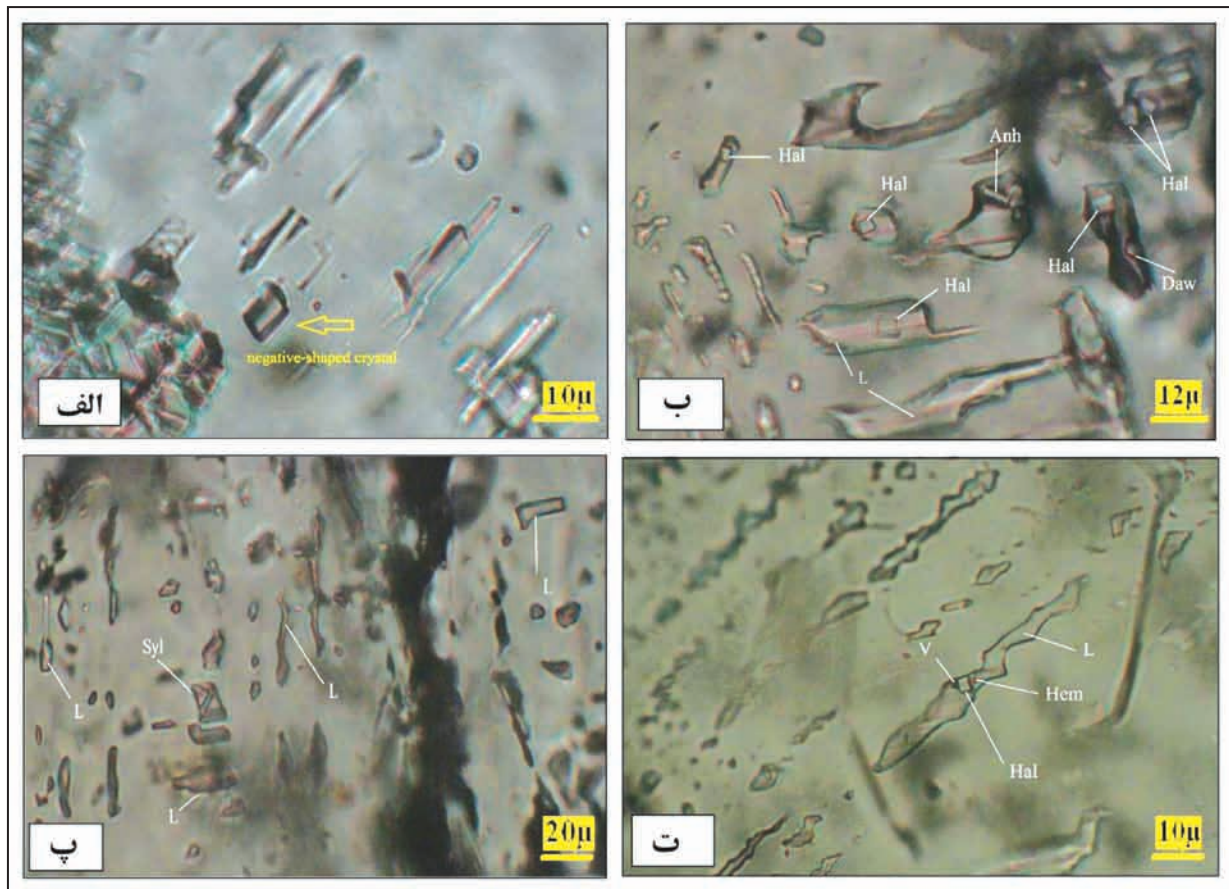
شکل ۹- تصاویر میکروسکوپی مقاطع صیقلی (نور بازتابی) گارنت هورنفلس (زون گارنتیت اگزواسکارن). الف) گوتیت حاصل از دگرسانی کالکوپیریت همراه با لیمونیت و هماتیت؛ ب) هماتیت حاصل از دگرسانی گارنت؛ پ) هماتیت حاصل از اکسایش مگنتیت نسل اول؛ ت) هماتیت حاصل از اکسایش مگنتیت نسل دوم. نشانه‌های اختصاری به کار رفته عبارت‌اند از: Grt: گوتیت؛ Lim: لیمونیت؛ Mag: مگنتیت؛ Ccp: کالکوپیریت؛ Hem: هماتیت؛ Grt: گارنت.



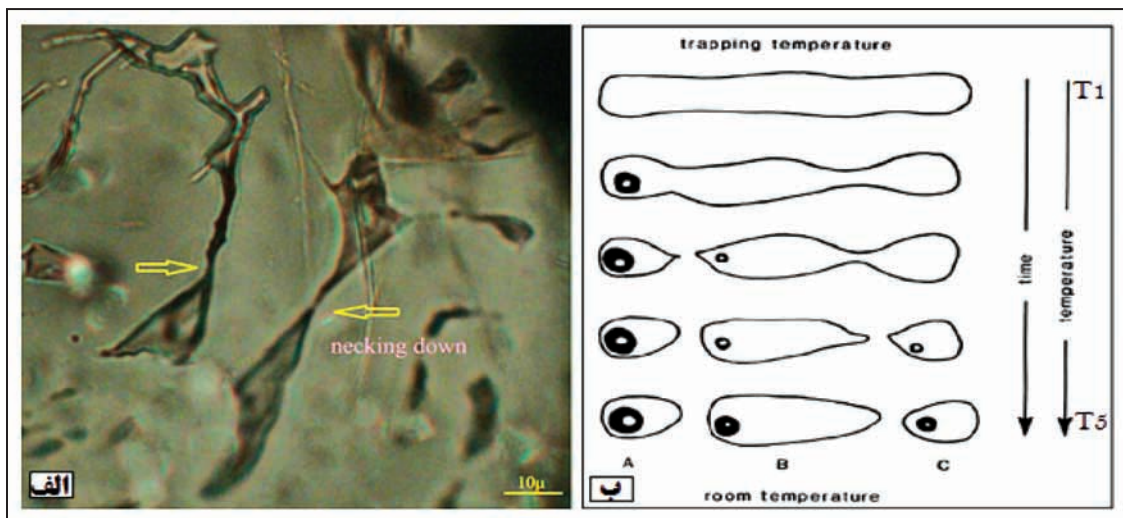
شکل ۱۰- تصاویر میکروسکوپی تراکی‌آندزیت. الف) بافت پورفیری همراه با کلریت غنی از آهن حاصل از سوسوریتی شدن پلاژیوکلاز و پلاژیوکلاز نسل اول و دوم؛ ب) دگرسانی پلاژیوکلاز با ماکل پلی‌سنتیک به کلریت همراه با کانی کدر؛ پ) جانمایی کامل پلاژیوکلاز دارای ماکل کارلسباد توسط کلسیت حاصل از سوسوریتی شدن پلاژیوکلاز؛ ت) کلریت ثانویه همراه با ادخال آلپیت ثانویه و کانی کدر در کلریت. همه تصاویر در نور XPL گرفته شده است. نشانه‌های اختصاری به کار رفته عبارت‌اند از: پلاژیوکلاز؛ Chl: کلریت؛ Cal: کلسیت؛ Ab: آلپیت؛ Op: کانی کدر.



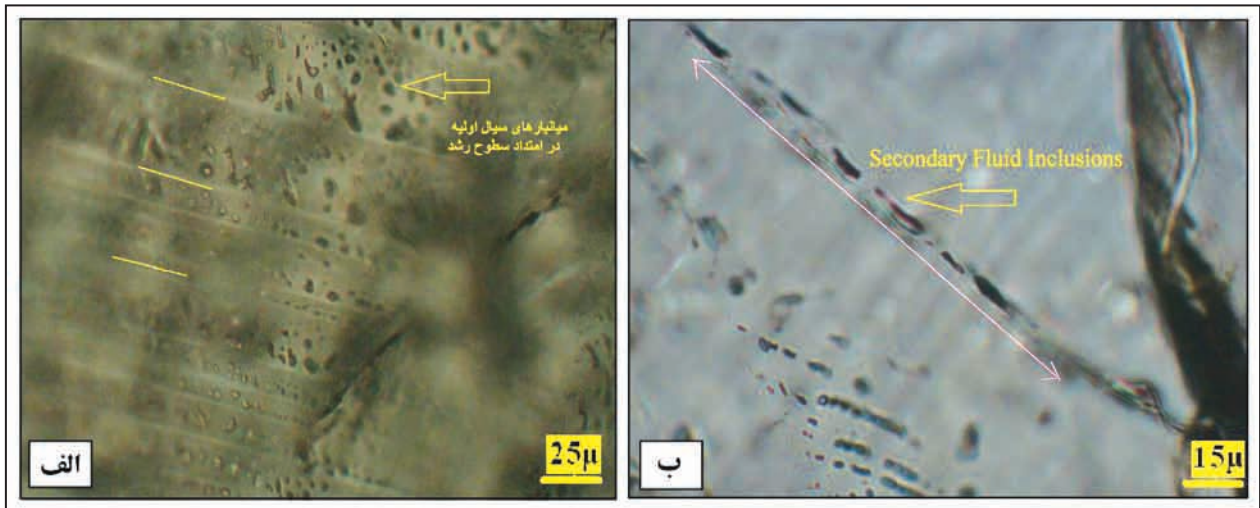
شکل ۱۱- توالی پاراژنری و ترتیب تبلور کانه‌ها و کانی‌ها در سنگ میزبان گارنت (هورنفلس) در منطقه مورد مطالعه (با باند نظر).



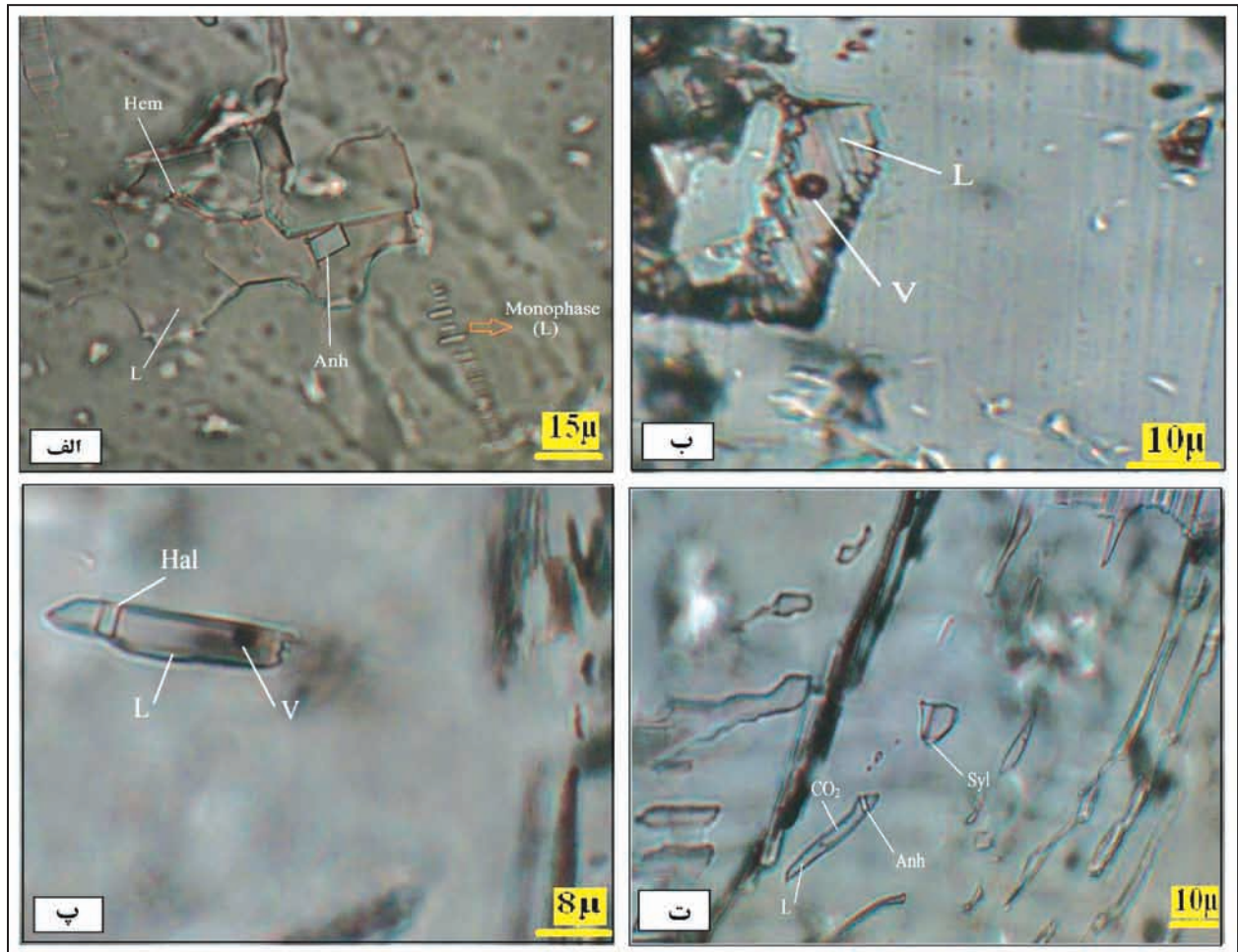
شکل ۱۲- تصاویر میانبارهای سیال گارنت هورنفلس (زون گارنتیت اگزواسکارن). الف) شکل منفی بلور؛ ب) فازهای جامد مکعبی شکل هالیت، مستطیلی شکل انیدریت و داوسونیت؛ پ) فاز جامد مثلثی شکل سیلویت و ت) فازهای جامد مکعبی شکل هالیت و بی شکل هماتیت. نشانه‌های اختصاری به کار رفته عبارتند از: Hal: هالیت؛ Hem: هماتیت؛ Anhydrit: انیدریت؛ Syl: سیلویت؛ Daw: داوسونیت؛ L: مایع؛ V: بخار.



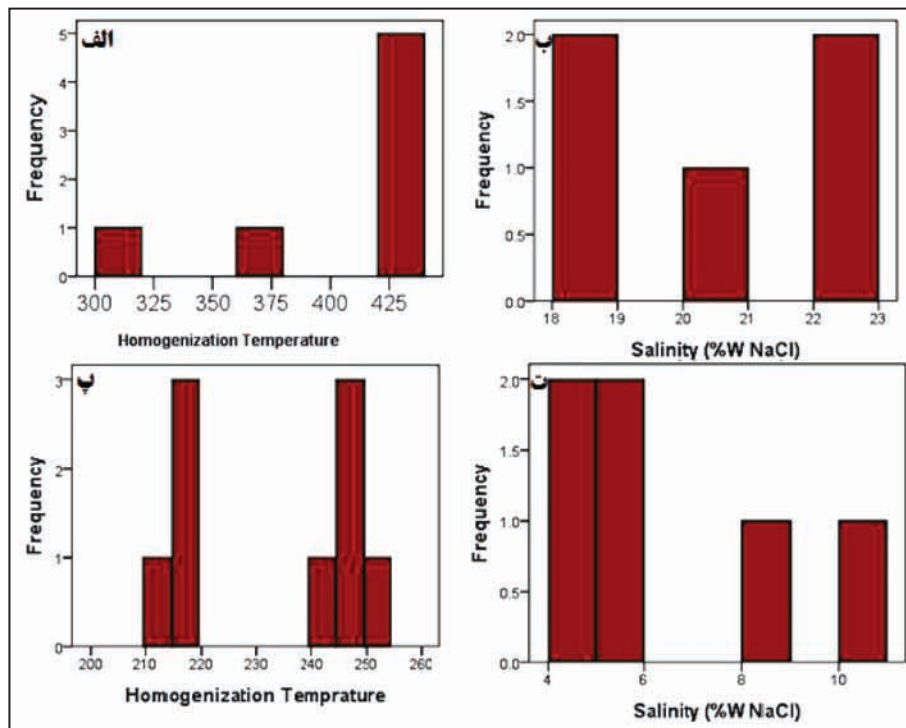
شکل ۱۳- الف) پدیده باریک‌شدگی میانبارهای سیال گارنت هورنفلس (زون گارنتیت اگزواسکارن)؛ ب) ایجاد پدیده باریک‌شدگی در یک میانبار فرضی طویل. میانبار اولیه در دمای T1 به تله افتاده و در اثر سرد شدن و انقباض در دمای T5 به ۳ ادخال A، B و C ثانویه تبدیل شده است (Shephard et al., 1985).



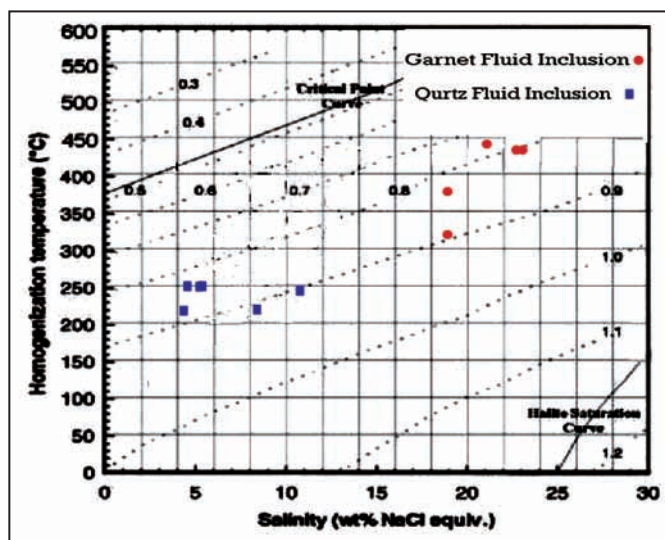
شکل ۱۴- تصاویر میانبرهای سیال گارنت هورنفلس (زون گارنتیت اگزواسکارن). الف) میانبرهای سیال اولیه در امتداد سطوح رشد؛ ب) میانبرهای سیال ثانویه در امتداد شکستگی‌ها.



۱۵- تصاویر میانبرهای سیال گارنت هورنفلس (زون گارنتیت اگزواسکارن). الف) میانبر تک فاز مایع همراه با فازهای جامد هماتیت و انیدریت درون میانبر؛ ب) میانبر دوفازی مایع- بخار؛ پ) میانبر چندفازی جامد، ت) میانبر دوفازی مایع- مایع همراه با فازهای جامد انیدریت و سیلیت. نشانه‌های اختصاری به کار رفته عبارت‌اند از: Hal: هالیت؛ Hem: هماتیت؛ Anh: انیدریت؛ Syl: سیلیت؛ L: مایع؛ V: بخار.



شکل ۱۶- نمودار دمای همگن شدگی و شوری در برابر فراوانی میانبرهای سیال سنگ گارنت هورنفلس (زون گارنتیت آگزواسکارن). الف و ب) گارنت؛ پ و ت) کوارتز.



شکل ۱۷- نمودار تعیین چگالی میانبرهای سیال سنگ گارنت هورنفلس (زون گارنتیت آگزواسکارن) (Roedder, 1984).

جدول ۱- ویژگی‌های کلی میانبرهای سیال مورد مطالعه در پتانسیل گارنت با ناظر (T_h): دمای همگن شدگی؛ T_{m1} -Ice: دمای ذوب اولیه یخ؛ T_{m2} -Ice: دمای ذوب پایانی یخ.

Mineral	Type	T_h (°C)	T_{m1} -Ice (°C)	T_{m2} -Ice (°C)	Salinity (%WNaCl)	Density (gr/cm ³)
Garnet	L+V to L	۴۳۲	-۴۷	-۲۰/۵	۲۲/۱	۰/۸
Garnet	L+V to L	۴۳۸	-۴۲/۵	-	-	-
Garnet	L+V to L	۴۳۸	-۴۴	-۱۷/۸	۲۰/۸۲	۰/۸
Garnet	L+V to L	۳۱۸	-	-۱۵	۱۸/۶۳	۰/۹
Garnet	L+V to L	۴۳۵	-	-۲۰	۲۲/۳۸	۰/۸
Garnet	L+V to L	۳۷۸	-۴۵	-۱۵	۱۸/۶۳	۰/۸
Quartz	L+V to L	۲۴۳	-	-۷/۱	۱۰/۶۱	۰/۹
Quartz	L+V to L	۲۴۷	-۳۸	-۳/۲	۵/۲۶	۰/۸
Quartz	L+V to L	۲۵۰	-۳۹	-	-	-
Quartz	L+V to L	۲۴۶	-	-۳/۱	۵/۱۱	۰/۸
Quartz	L+V to L	۲۱۸	-	-۲/۵	۴/۱۸	۰/۹
Quartz	L+V to L	۲۴۸	-	-۲/۶	۴/۳۴	۰/۸
Quartz	L+V to L	۲۱۲	-	-	-	-
Quartz	L+V to L	۲۱۵	-	-	-	-
Quartz	L+V to L	۲۱۷	-	-۵/۲	۸/۱۴	۰/۹

کتابنگاری

- باباخانی، ع. ر.، و قلمقاش، ج.، ۱۳۷۱- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ تخت سلیمان، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
 حاج‌علیلو، ب.، ۱۳۸۷- ژئوترموتری میانبارهای سیال، انتشارات دانشگاه پیام نور، ۳۰۶ ص.
 رجب‌زاده، م. ع.، و اسدی، س.، ۱۳۹۰- تکامل گرمایی‌ها بررسی‌های کانی‌شناسی و میانبارهای شاری در کانسنگ‌های آهن قطرویی، استان فارس. انجمن بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، ۵، صص. ۵۷۵ تا ۵۹۴.
 شهاب‌پور، ج.، ۱۳۸۰- زمین‌شناسی اقتصادی، انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۵۴۳.
 شیرمحمدی، پ.، ۱۳۹۳- کانی‌شناسی و ژئوشیمی گارنت بابانظر (تکاب، استان آذربایجان غربی). پایان‌نامه گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ۱۲۳ ص.
 طالع‌فاصل، ا.، مهرابی، ب.، خاکزاد، ا. و کیانپور، ر.، ۱۳۹۰- مراحل و شرایط کانی‌سازی اسکارن آهن دردوی بر اساس شواهد کانی‌شناسی و میانبارهای سیال، منطقه سنگان (خراسان رضوی)، مجله علوم زمین، ۸۲، صص. ۱۳۹ تا ۱۵۰.
 علوی نائینی، م.، حاجیان، ج.، عمیدی، م.، بلورچی، ح.، طاوسی، ش.، آقایی، ع. و پلیسر، ج.، ۱۳۶۱- نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ زمین‌شناسی چهارگوش تکاب، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
 مختاری، م. ع.، ا.، معین‌وزیری، ح.، قربانی، م. ر.، مهرپرتو، م.، و حسین‌زاده، ق.، ۱۳۹۱- کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی اسکارن کمتال (شمال خاوران، آذربایجان شرقی). مجله علوم زمین، ۸۶، صص. ۲۱۳ تا ۲۲۰.

References

- Atkinson, W. W. & Einaudi, M. T., 1978- Skarn formation and mineralization in the contact aureole at Carr Fork Bingham, Utah. *Economic Geology* 73: 1326-1365.
- Beane, R. E., 1982- The magmatic-meteoritic transition. *Geothermal Resources Council, Reports* 13, 245-253.
- Bodnar, R. J., 1993- *Geochim. Cosmochim. Acta*, 57: 683-684.
- Bodnar, R. J., Burnham, C. W. & Sterner, S. M., 1985- Synthetic fluid inclusions in natural quartz. III. Determination of phase equilibrium properties in the system H₂O-NaCl to 10000 °C and 1500 bars. *Geochimica Acta* 49, 1861-1873.
- Deer, W. A., Howie, R. A. & Zussman, J., 1992- *An Introduction to the Rock-Forming Minerals*. Longman Scientific and Technical, 696p.
- Einaudi, M. T., 1982- General features and origin of skarn associated with porphyry copper plutons. *Advances in geology of porphyry copper deposit*. S. W. North America, 185-209.
- Gilg, H. A., Boni, M., Balassone, G., Allen, C. R., Banks, D. & Moore, F., 2006- Marble-hosted sulfide ores in the Angouran Zn-(Pb-Ag) deposit, NW Iran: Interaction of sedimentary brines with a metamorphic core complex. *Mineralum Deposita* 4: 1-16.
- Guilbert, J. M. & Park, C. F., 1997- *The geology of ore deposits*. Freeman and Company, New York: 985 pp.
- Gutman, J. T., 1977- Textures and genesis of phenocrysts and megacrysts in basaltic lavas from the Pinacate volcanic field. *Am J Sci*. 277: 833-861.
- Korsakov, A. V., Dieing, T., Golovin, A. V. & Toporski, J., 2011- Raman imaging of fluid inclusions in garnet from UHPM rocks (Kokchetav massif, Northern Kazakhstan). *Spectrochimica Acta Part A* 80: 88–95.
- Meinert, L. D., 1983- Variability of skarn deposits: guides to exploration in *Revolution in Earth Sciences*, 301-317.
- Meinert, L. D., 1997- Application of skarn deposit zonation models to mineral exploration. *Exploration and Mining Geology* 6: 185-208.
- Nesse, W. D., 2000- *Introduction to mineralogy*, Oxford University Press, 442 pp.
- Roedder, E., 1984- Fluid inclusions. *Mineralogical Society of America* 12: 644 pp.
- Shepherd, T. J., Rankin, A. H. & Alderton, D. H., 1985- *A practical guide to fluid inclusion studies*. Glasgow, Blackie and Son, 239 pp.
- Siahcheshm, K., Calagari, A. A. & Abedini, A., 2014- Hydrothermal evolution in the Maher-Abad porphyry Cu-Au deposit, SW Birjand, Eastern Iran: Evidence from fluid inclusions. *Ore Geology Reviews* 58:1-13.
- Singoyi, B. & Zaw, Kh., 2001- A petrological and fluid inclusion study of magnetite-scheelite skarn mineralization at Kara, Northwestern Tasmania: implications for ore genesis. *Chemical Geology* 173: 239–253.
- Stewart, M. L. & Pearce, T. H., 2004- Sieve-textured plagioclase in dacitic magma: Interference imaging results. *American Mineralogist* 89: 348-351.

Geochemistry, petrography and fluid inclusion studies of Baba-Nazar Garnet Index, Takab, West Azarbaijan province

S. Alipour ^{1*}, P. Shirmohammadi ², Y. Rahimsouri ³ & H. Bagheri ⁴

¹ Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Urmia University, Urmia, Iran

² M. Sc., Department of Geology, Faculty of Science, Urmia University, Urmia, Iran

³ Assistant Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Urmia University, Urmia, Iran

⁴ Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Isfahan University, Isfahan, Iran

Received: 2015 April 25

Accepted: 2015 September 21

Abstract

Baba-Nazar garnet occurrence is located in northwest part of Sanandaj-Sirjan geological zone. Rock units in the area, including hornfels, garnetite and extensively weathered host rocks in contact with granite indicate garnet may have formed by metamorphism of clay-argillite, sandstone and calcareous rocks. The mineralogical and petrographical studies revealed that the evolution of mineralization has occurred during several progressive, retrograde and supergene alteration, while garnet has formed during progressive alteration. The results of the petrographical study of fluid inclusions show that most of the fluid inclusions in the garnet crystals fall in two groups: (1) Primary inclusions distributed randomly on the crystal faces and (2) secondary inclusions oriented along fractures and cleavage surfaces. Based on the inclusion diversity, four groups of these inclusions were differentiated: (1) single-phase liquid, (2) two-phase liquid-vapor, (3) solid multi-phase and (4) two-phase liquid-liquid. Micro thermometry of fluid inclusions in the garnet and quartz crystals show homogenization temperatures and salinities from 318 to 438 °C and 18.63 to 22.71 weight percent NaCl equivalent for garnet, and from 209 to 219 °C and 239 to 254 °C with 4.18 to 10.61 weight percent NaCl equivalent for quartz crystals.

Keywords: Garnet, Baba-Nazar, Fluid Inclusions, Microthermometry, Takab.

For Persian Version see pages 349 to 362

*Corresponding author: S. Alipour, E-mail: s.alipour@urmia.ac.ir