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

صمد علیپور [۱*]، پریوا 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: ۹۴/۰۲/۰۵ تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۶/۳۰

چکیده

اندیس گارنت بابانظر در ۸۰ کیلومتری شمال خاوری شهرستان تکاب در پهنه ساختاری سنندج- 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، پسرونده 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 به‌صورت 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 ریزدماسنجی 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، ریزدماسنجی، 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 ″۰۰ ′۱۶ °۴۷ تا ″۰۰ ′۱۷ °۴۷ E خاوری و عرض‌های جغرافیایی ″۰۰ ′۳۷ °۳۶ تا ″۰۰ ′۳۸ °۳۶ 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 ریزدماسنجی این میانبارهای سیال صورت نگرفته است. با توجه به اینکه این میانبارها نمونه‌های کوچکی از سیال‌های سازنده گارنت هستند، اندازه‌گیری‌های ریزدماسنجی 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 اگزواسکارن 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 صیقل برای مطالعه میانبارهای سیال تهیه و سنگ‌نگاری و ریزدماسنجی این میانبارها بحث و بررسی شده است. مطالعات ریزدماسنجی با استفاده از میکروسکوپ Ziess مجهز به صفحه Linkam مدل THM-600 با کنترل کننده گرمایی TMS-94 و سرد کننده LNP، در دانشگاه اصفهان انجام گرفت. در مطالعات ریزدماسنجی، 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 تک فازی مایع) و آزمایش‌های سرمایش 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 سرمایش 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):

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

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

۳- مشاهدات زمین‌شناسی

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

Archive of SID
www.SID.ir

اندیس گارنت بابانظر 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 بابانظر (شکل ۱) شامل هورنفلس، توده گرانیتی، گدازه‌های آندزیت پورفیری جوان، واحد کالک‌سیلیکاتی هورنفلس (زون گارنتیت اگزواسکارن) و به مقدار جزیی 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- آرژیلیتی 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 به‌صورت 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- پ). افزون بر کانی‌های یاد شده، بیوتیت (شکل ۲- ب)، پلاژیوکلازها به شکل بلورهای درشت نیمه‌شکل‌دار با ماکل پلی‌سنتتیک (شکل ۲- ت) و کانی‌های کدر به مقدار جزیی به‌صورت 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 جزیی 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 سوسوریتی شده با ماکل کارلسباد به مقدار جزیی دیده می‌شوند (شکل ۳- الف).

۴- ۳. واحد هورنفلس

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

$$5Ca(Mg,Fe)Si_2O_6+H_2O+3CO_2 \rightarrow Ca_2(Mg,Fe)_5Si_8O_{22}(OH)_2+3CaCO_3+2SiO_2$$

کوارتز کلسیت ترمولیت- اکتینولیت ← کلینوپیروکسن

$$3Ca_2(Mg,Fe)_5Si_8O_{22}(OH)_2+2Ca_2FeAl_2Si_3O_{12}(OH)+10CO_2+8H_2O$$

اپیدوت ترمولیت- اکتینولی

$$\rightarrow 3Al_2(Mg,Fe)_5Si_3O_{10}(OH)_8+10CaCO_3+21SiO_2$$

کوارتز کلسیت کلریت ←

اپیدوت یکی دیگر از کانی‌های ثانویه حاصل از دگرسانی گارنت است که احتمالاً در نتیجه تأثیر محلول‌های غنی از H_2O و CO_2 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).

$$3Ca_3(Fe,Al)_2Si_3O_{12}+H_2O+5CO_2 \rightarrow 2Ca_2FeAl_2Si_3O_{12}(OH)+5CaCO_3+3SiO_2$$

کوارتز کلسیت اپیدوت ← اوگراندیت

۴- ۴. واحد کالک‌سیلیکاتی هورنفلس (زون اگزواسکارن)

اسکارن‌ها بر پایه موقعیت‌شان نسبت به توده نفوذی به دو گروه اندواسکارن و اگزواسکارن تقسیم‌بندی شده‌اند (Meinert, 1983). با توجه به تقسیم‌بندی یاد شده، در سامانه اسکارن منطقه مورد مطالعه زون اگزواسکارن قابل تشخیص است. بر پایه مطالعات میکروسکوپی، کانی‌های اولیه شامل کلسیت، گارنت، اپیدوت، کلینوپیروکسن 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 به‌صورت 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 رومبوئدرال 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 گرمابی 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 به‌صورت 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):

$$3CaCO_3+Fe_2O_3+SiO_2 \rightarrow Ca_3Fe_2Si_3O_{12}+3CO_2$$

آندرادیت ← هماتیت کلسیت

Archive of SID

www.SID.ir

$$3CaCO_3+Al_2Si_2O_5(OH)_4+SiO_2 \rightarrow Ca_3Al_2Si_3O_{12}+3CO_2+2H_2O$$

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 به‌صورت 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 پسرونده پیشین در طی واکنش زیر تشکیل شده‌اند (Deer et al., 1992):

$$Ca_3(Fe,Al)_2Si_3O_{12}+5/4O_2+HCO_3^- \rightarrow CaCO_3+Ca_2Al_2FeSi_3O_{12}(OH)+1/2\,Fe_2O_3$$

هماتیت اپیدوت کلسیت ← اوگراندیت

– **کلینوپیروکسن:** کلینوپیروکسن یکی دیگر از کانی‌های همراه گارنت است که به‌صورت 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 گرمابی حاصل از این توده باشد (Meinert, 1997).

– **کوارتز:** کوارتز بیشتر به‌صورت رگه‌های کوارتزی در محیط تزریق شده و تشکیل رگه و رگچه‌ها را داده است. این کانی در مقاطع مطالعه شده دارای خاموشی موجی است که احتمالاً در نتیجه فرایندهای زمین‌ساختی ایجاد شده است (شکل ۸- الف).

– **پلاژیوکلاز:** پلاژیوکلاز به مقدار جزیی به‌صورت بلور شکل‌دار با ماکل پلی‌سنتتیک 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 هیدروکسیدی 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 به‌صورت 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).

$$2CuFeS_2+8.5O_2+6H_2O+CO_2 \rightarrow 2Fe(OH)_3+2CuSO_4+2H_2SO_4+H_2CO_3$$

اسیدسولفوریک+ اسیدکربنیک+ سولفات مس+گوتیت ← کالکوپیریت

– **مگنتیت:** دو نسل مگنتیت در مقاطع صیقلی دیده می‌شود: نسل اول به‌صورت 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 قهقرایی پیشین اسکارن‌زایی حاصل می‌شود (Einaudi, 1982). مگنتیت تشکیل شده در این مرحله در محل شکستگی‌های گارنت دیده می‌شود.

$$3Ca_3Fe_2Si_3O_{12}+9CO_2 \rightarrow 9CaCO_3+9SiO_2+1/2O_2+2Fe_3O_4$$

مگنتیت کوارتز کلسیت ← آندرادیت

– **هماتیت:** هماتیت می‌تواند به‌صورت اولیه در شرایط فوگاسیته اکسیژن بالاتر و یا به‌صورت 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 تراکی‌آندزیت

این سنگ بیشتر از پلاژیوکلازهای درشت به‌صورت بلورهای شکل‌دار با ماکل پلی‌سنتتیک و کارلسباد (شکل‌های ۱۰- الف و پ) و تعدادی کانی‌های کدر در زمینه پورفیری و به‌صورت ادخال در کلریت ثانویه (شکل‌های ۱۰- ب و ت) تشکیل شده است. در این سنگ آتشفشانی بافت میکرولیتیک پورفیریک به شکل درشت‌بلورهای درشت پلاژیوکلاز در زمینه میکرولیتی دیده می‌شود و کانی‌های سوزنی در زمینه میکرولیتی نیز از نوع پلاژیوکلاز است (شکل ۱۰- الف). دگرسانی رایج در این سنگ از نوع سوسوریتی شدن است و کانی‌های ثانویه کلریت آهن‌دار، آلبیت 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 بابانظر با 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، پسرونده و برونزاد) 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 گرمابی 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 کالک سیلیکات‌ها 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 پسرونده (قهقرایی)

کالک‌سیلیکات‌های بدون آب که در دماهای به نسبت بالا تشکیل شده‌اند در اثر ورود سیال‌های گرمابی 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 برونزاد (سوپرژن)

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

Archive of SID
www.SID.ir

کالکوپیریت به هیدرواکسیدهای آهن (گوتیت 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 بابانظر

– 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 $(CO_2,CH_4$ 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 به دام 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 بابانظر 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 بابانظر بر پایه فازهای درونی: میانبارهای موجود در بلورهای گارنت بابانظر 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).

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 $(L+LCO_2)$ 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 دی‌اکسیدکربن 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 $NaCl+H_2O$ 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 بازه۱۸ 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 دو فازی 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 نقشی 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 گرانیتی نشان می‌دهد که کانی‌سازی گارنت در محل برخورد توده گرانیتی با توده‌های رسی یا ماسه‌سنگ و آهکی در نتیجه دگرگونی همبری با نوع اسکارن تشکیل شده است.

- کانی‌های تشکیل شده در زون اگزواسکارن شامل کانی‌های اصلی گارنت و

Archive of SID

www.SID.ir

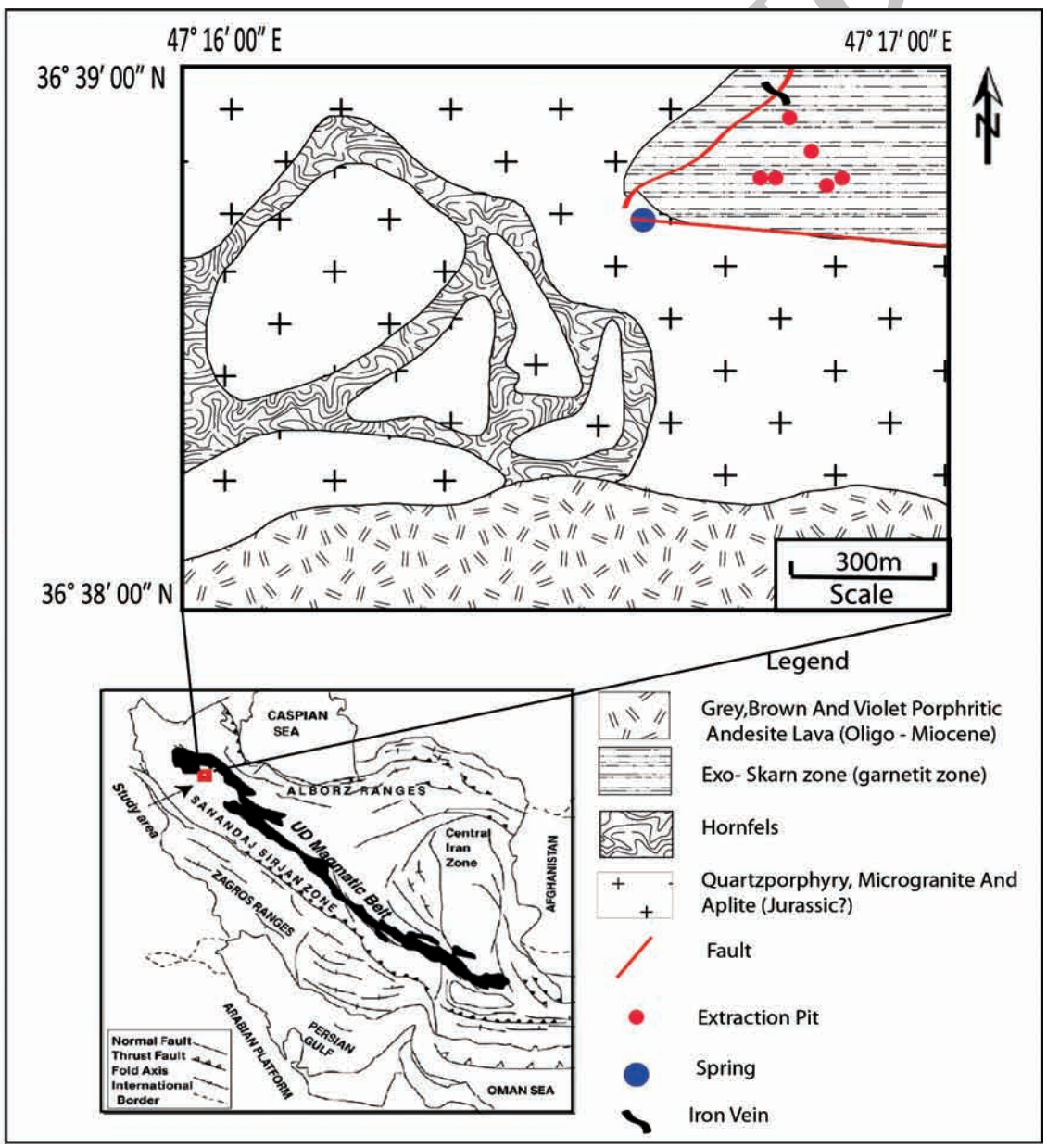
اپیدوت در زمینه کلسیت، کانی‌های فرعی کلینوپیروکسن، کوارتز و پلاژیوکلاز و کانی‌های ثانویه حاصل از دگرسانی کلینوپیروکسن و گارنت هستند.

- بلورهای گارنت در نمونه‌های دستی بر پایه موقعیتشان در محیط اسکارن به رنگ‌های مختلف سبز تیره تا کم رنگ و قهوه‌ای روشن و در مقاطع میکروسکوپی به‌صورت 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 کانی گارنت در طی مرحله پیشرونده همراه با کلینوپیروکسن تشکیل شده است.

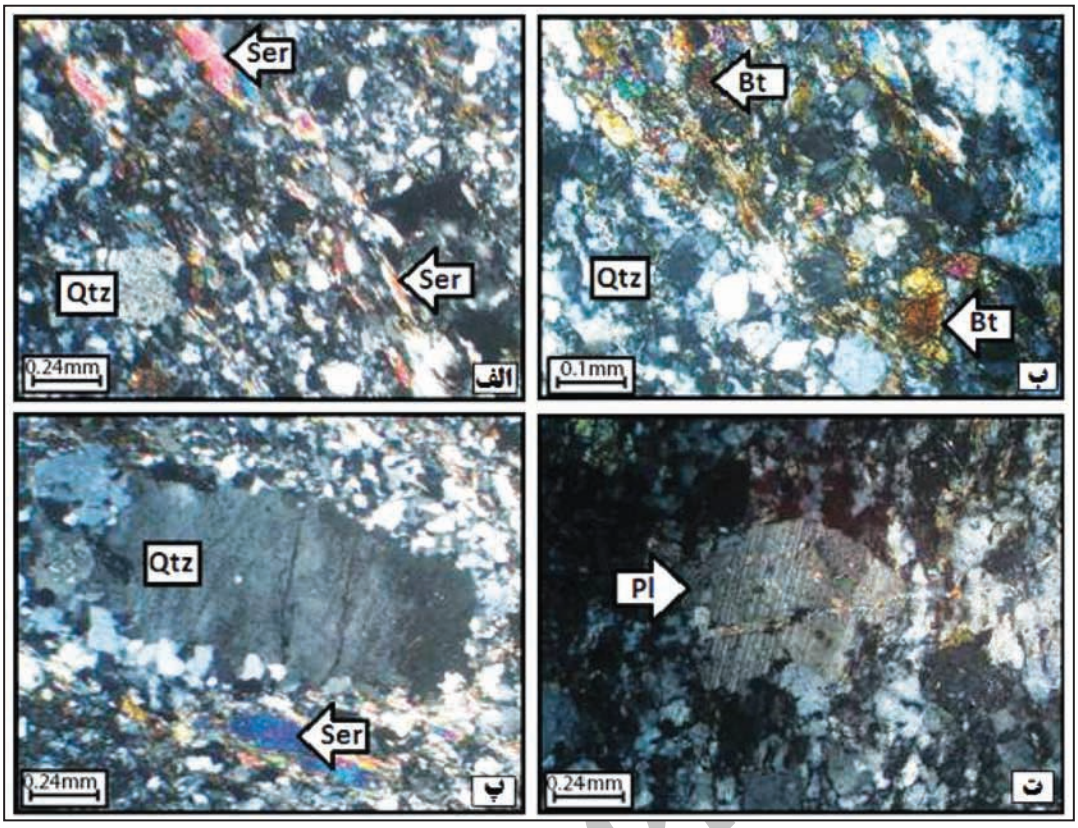
- میانبارهای سیال در بلورهای گارنت از دید زمان تشکیل از نوع اولیه در امتداد سطوح رشد بلور و به‌صورت پراکنده و نامنظم و ثانویه در امتداد شکستگی‌ها و سطوح رخ هستند و از دید تعداد فازهای درونی در ۴ دسته شامل میانبارهای تک‌فازی مایع، دوفازی مایع- بخار، چندفازی جامد و میانبارهای دوفازی مایع- مایع دارای CO_2 رده‌بندی می‌شوند.

- بر پایه اندازه‌گیری‌های ریزدماسنجی این نتایج به دست آمده است: الف) دمای همگن‌شدگی میانبارهای 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 میانبارهای 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.

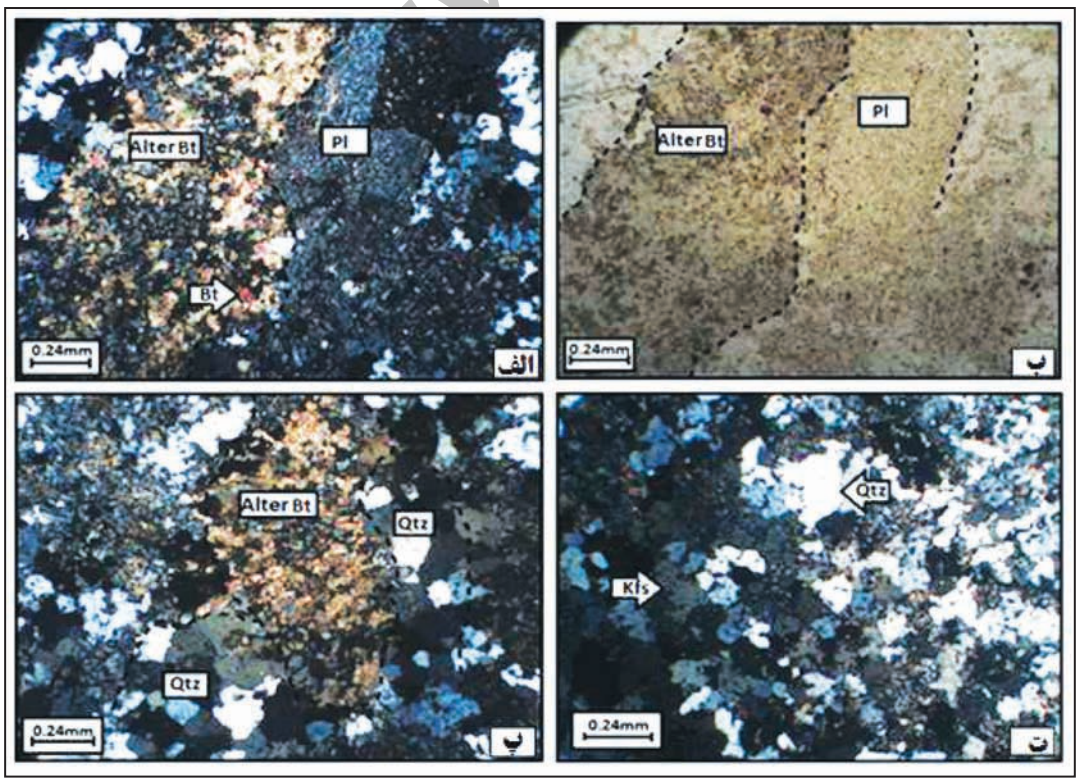


شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی منطقه بابانظر همراه با نقشه پهنه‌های زمین‌ساختی ایران (Gilg et al., 2006).

www.SID.ir

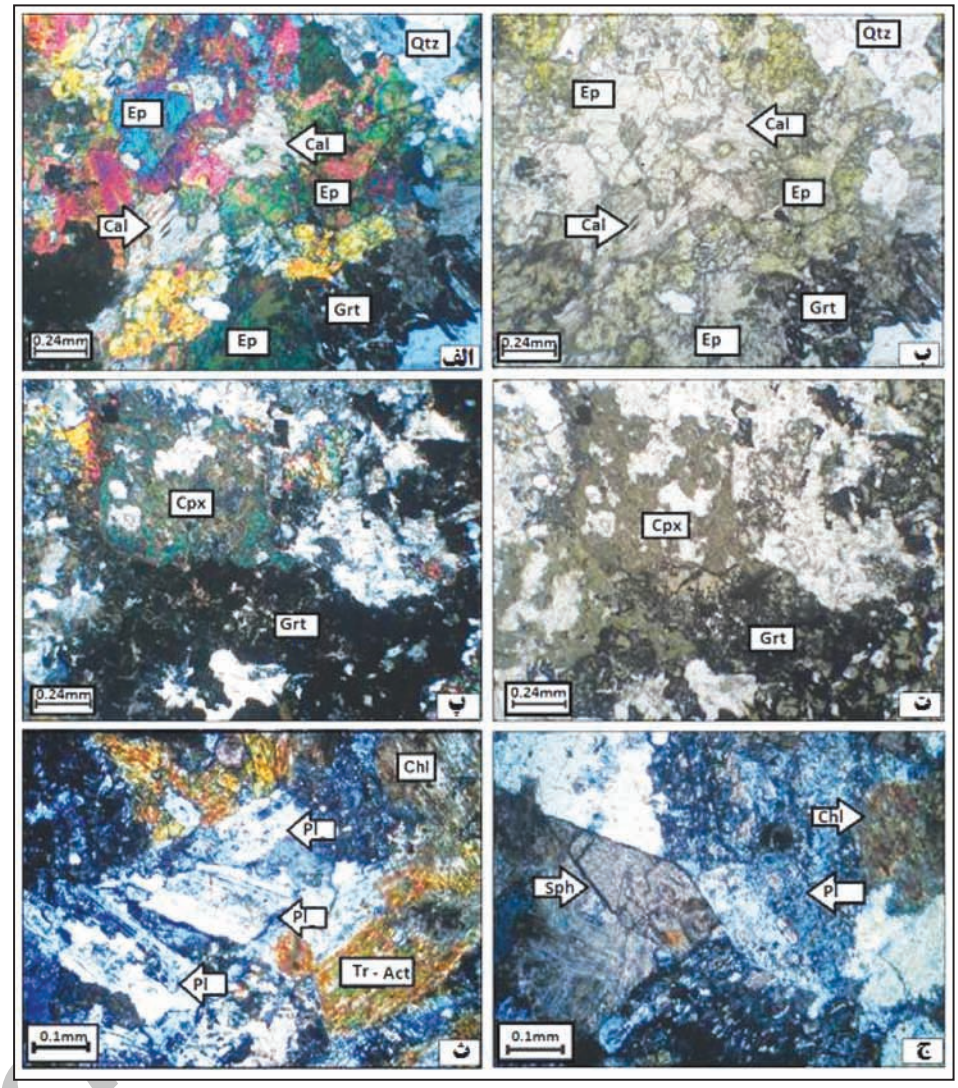


شکل ۲- تصاویر میکروسکوپی شیست. الف) بافت دانه‌ای و شیستوزیته همراه به مسکوویت سریسیتی شده؛ ب) تجمع بیوتیت در میان کوارتز؛ پ) کوارتز با خاموشی موجی و کوارتز حاصل از تبلور دوباره؛ ت) پلاژیوکلاز با ماکل پلی‌سنتتیک. تصویر ب در نور PPL و بقیه تصاویر در نور XPL گرفته شده‌اند. نشانه‌های اختصاری به کار رفته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



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.

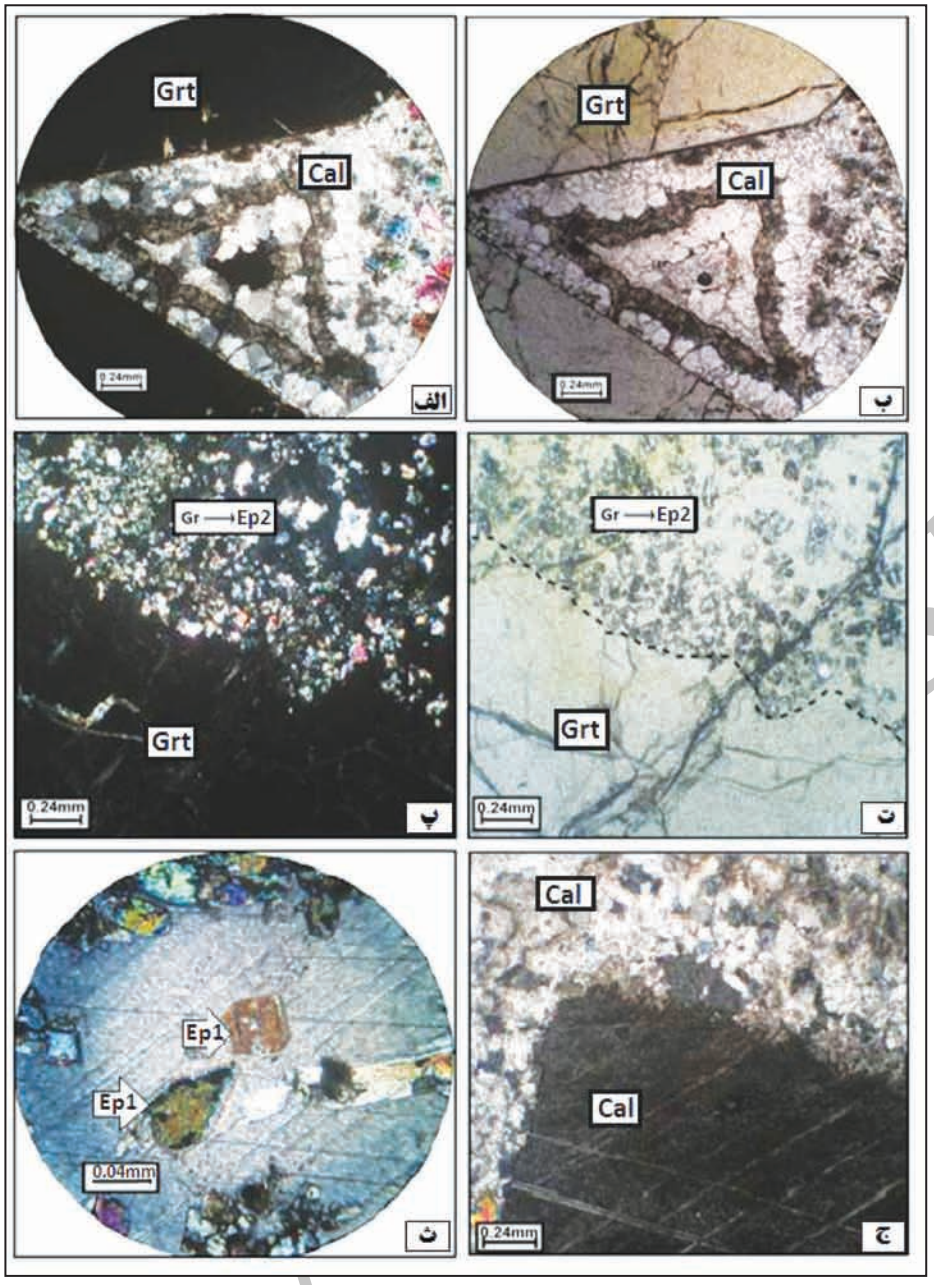
www.SID.ir



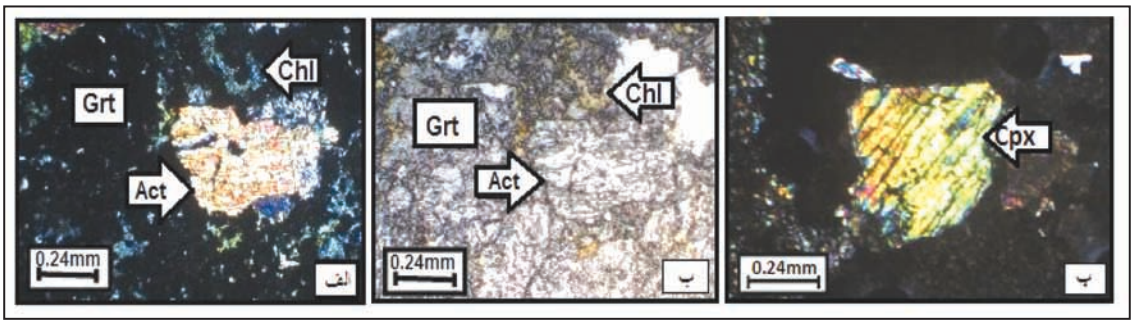
شکل ۴- تصاویر میکروسکوپی هورنفلس. الف و ب) گارنت همراه با اپیدوت، کلسیت و کوارتز ثانویه؛ پ و ت) گارنت همراه با کلینوپیروکسن؛ ث) بلورهای ترمولیت- اکتینولیت و کلریت حاصل از دگرسانی کلینوپیروکسن همراه با پلاژیوکلاز؛ ج) بلور شکل‌دار اسفن همراه با کلریت و پلاژیوکلاز. تصاویر ب و پ در نور PPL و دیگر تصاویر 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 بابانظر.

www.SID.ir

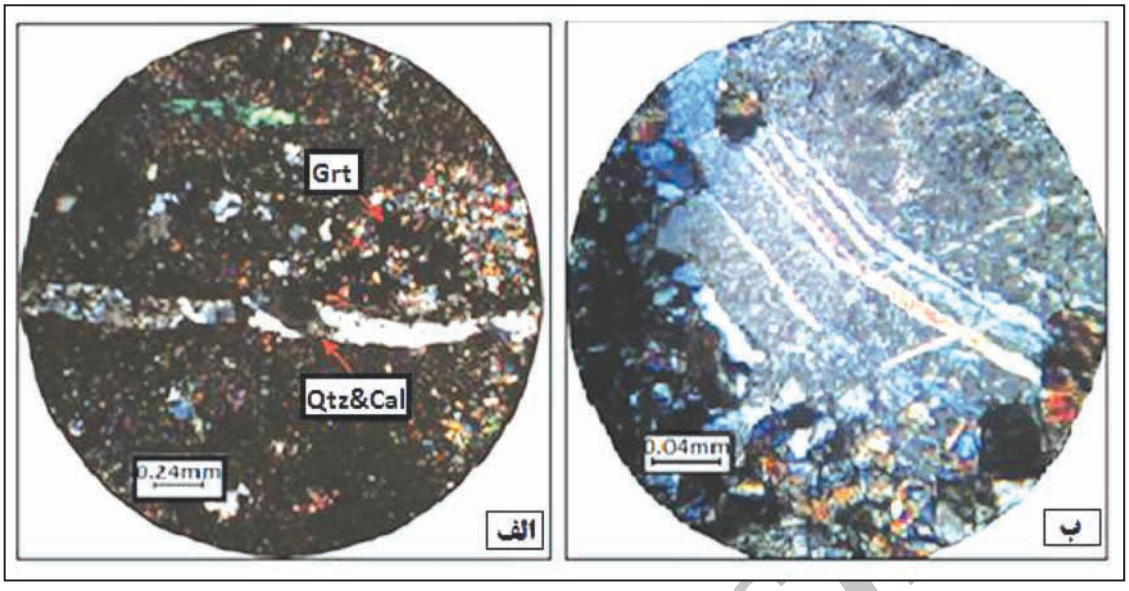


شکل ۶- تصاویر میکروسکوپی گارنت هورنفلس (زون گارنتیت اگزواسکارن). الف و ب) بلورهای ایزوتروپ گارنت همراه کلسیت و تغییر رنگ بخشی از بلور گارنت به دلیل آغشته شدن به اکسید آهن؛ پ و ت) دگرسانی گارنت به اپیدوت ثانویه؛ ث) بلورهای شکل‌دار اپیدوت در زمینه کلسیت با رخ رومبوئدرال؛ ج) کلسیت اولیه دارای رخ رومبوئدرال 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.

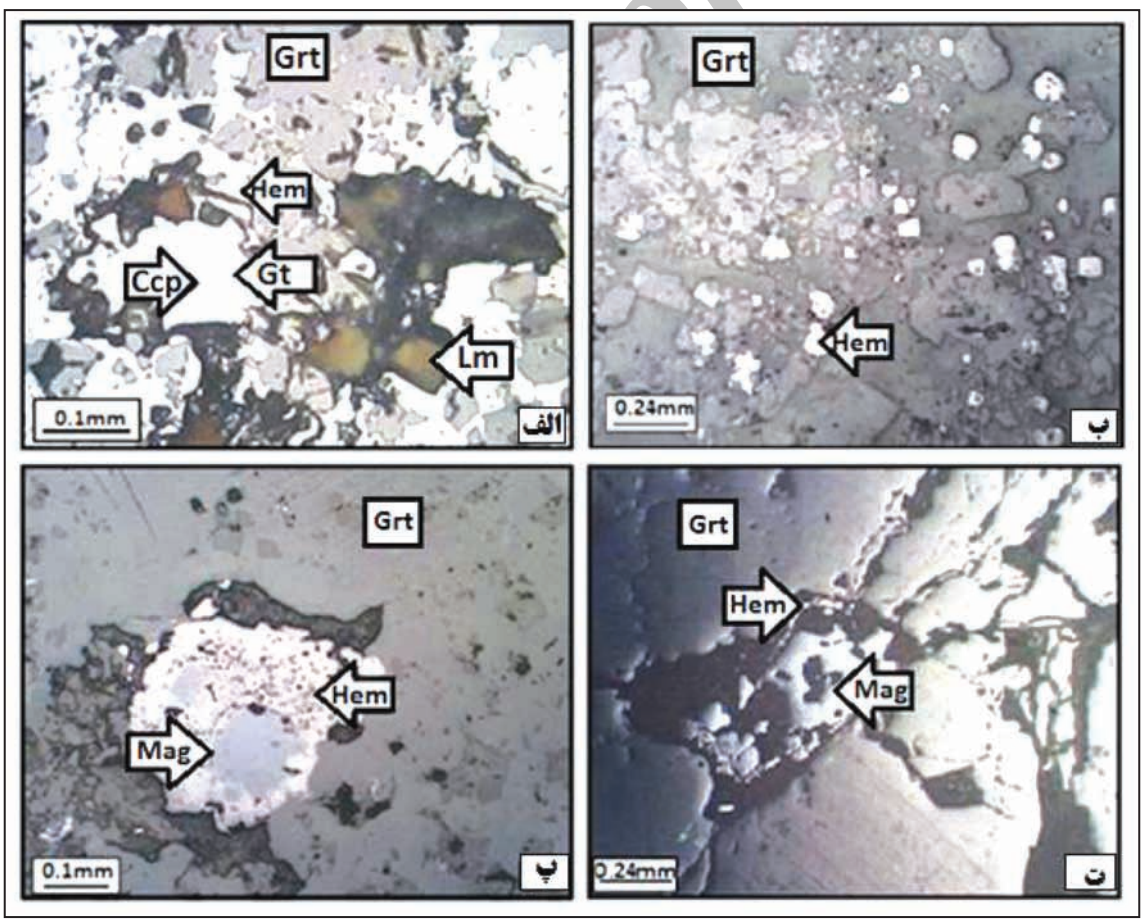


شکل ۷- تصاویر میکروسکوپی گارنت هورنفلس (زون گارنتیت اگزواسکارن). الف و ب) کلریت حاصل از دگرسانی گارنت همراه با اکتینولیت حاصل از دگرسانی کلینوپیروکسن؛ پ) کلینوپیروکسن شکل‌دار. تصویر ب در نور PPL و دیگر تصاویر در نور XPL گرفته شده‌اند. نشانه‌های اختصاری به کار رفته عبارت‌اند از: Grt: گارنت؛ Chl: کلریت؛Cpx: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

www.SID.ir

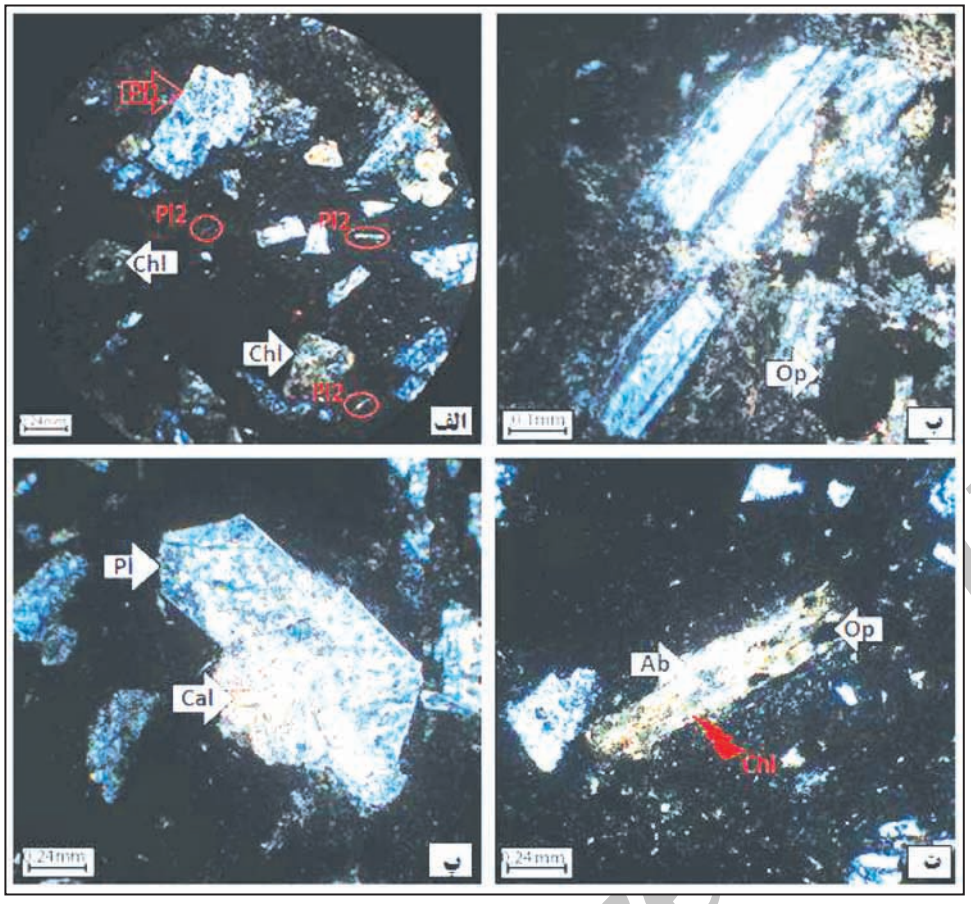


شکل ۸- تصاویر میکروسکوپی گارنت هورنفلس (زون گارنتیت اگزواسکارن). الف) رگه کوارتز و کلسیت در شکستگی‌های گارنت؛ ب) بلور شکل‌دار پلاژیوکلاز با ماکل پلی‌سنتتیک و خمیدگی ناشی از نیروی زمین‌ساختی. نشانه‌های اختصاری به کار رفته عبارت‌اند از: Grt: گارنت؛ Qtz: کوارتز؛ Cal: کلسیت.

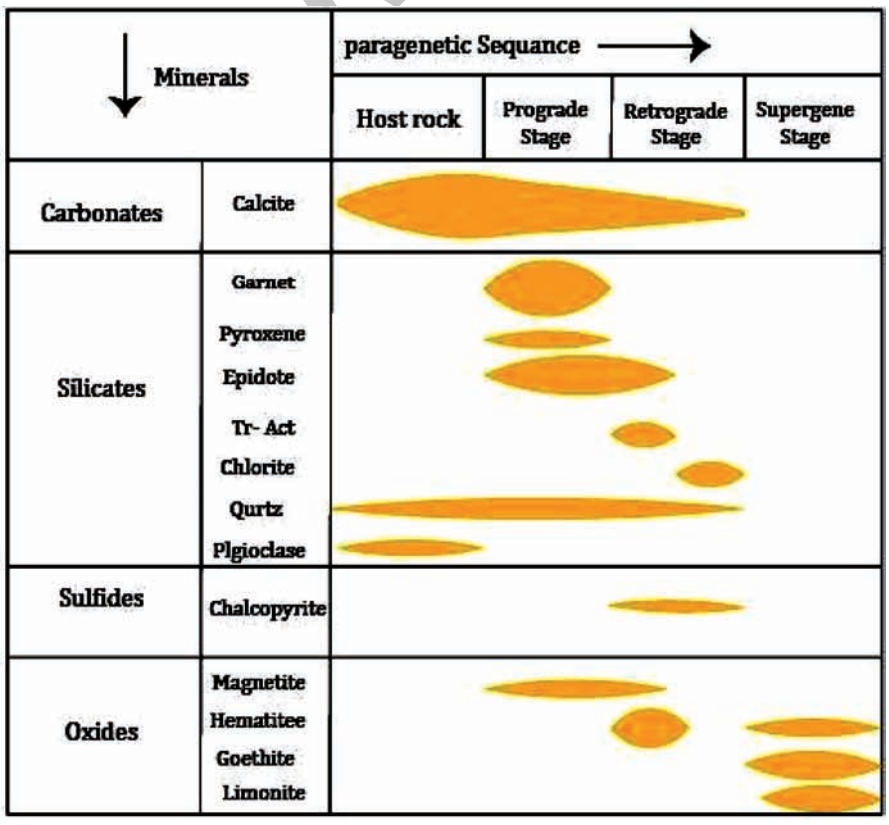


شکل ۹- تصاویر میکروسکوپی مقاطع صیقلی(نور بازتابی) گارنت هورنفلس (زون گارنتیت اگزواسکارن). الف) گوتیت حاصل از دگرسانی کالکوپیریت همراه با لیمونیت و هماتیت؛ ب) هماتیت حاصل از دگرسانی گارنت؛ پ) هماتیت حاصل از اکسایش مگنتیت نسل اول؛ ت) هماتیت حاصل از اکسایش مگنتیت نسل دوم. نشانه‌های اختصاری به کار رفته عبارت‌اند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

www.SID.ir

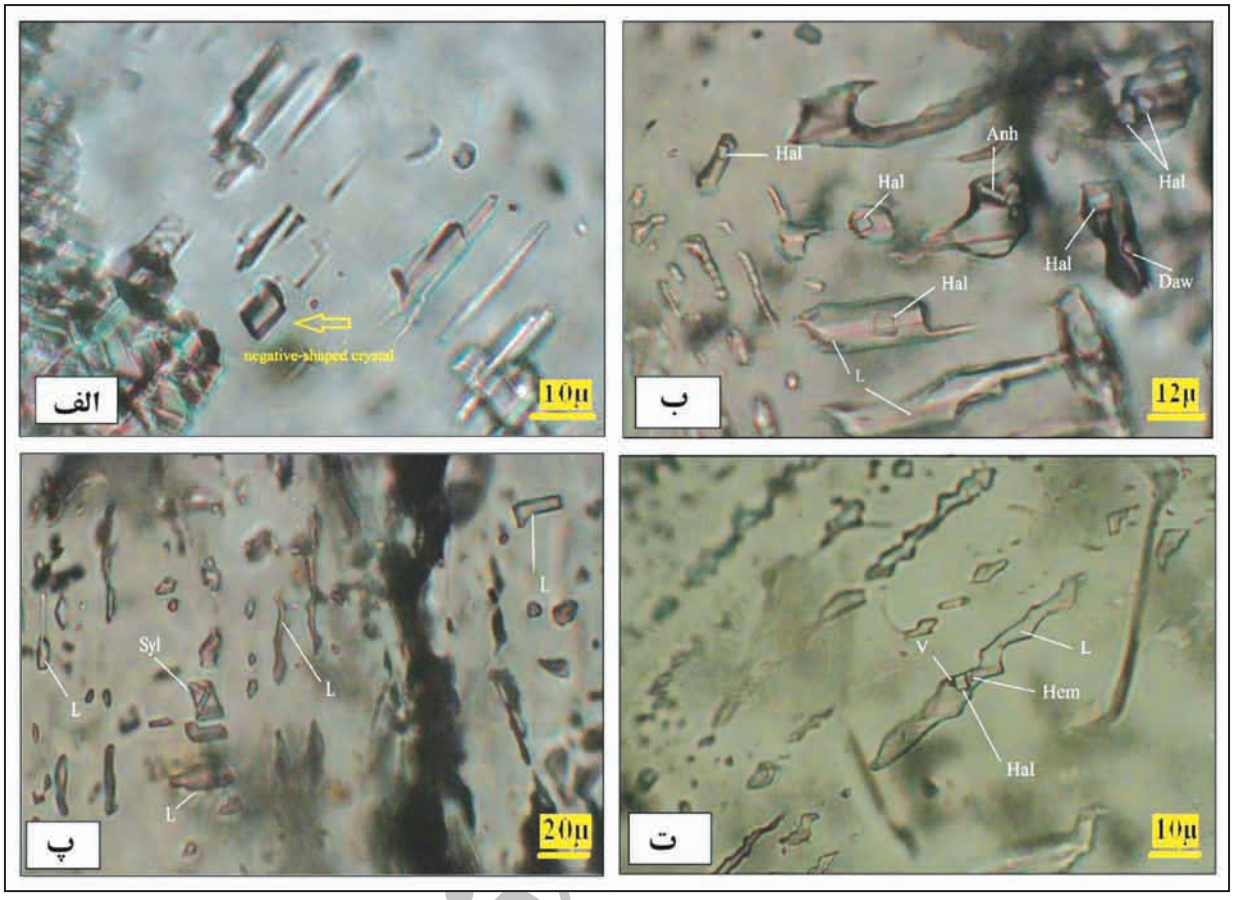


شکل ۱۰- تصاویر میکروسکوپی تراکی‌آندزیت. الف) بافت پورفیری همراه با کلریت غنی از آهن حاصل از سوسوریتی شدن پلاژیوکلاز و پلاژیوکلاز نسل اول و دوم؛ ب) دگرسانی پلاژیوکلاز با ماکل پلی‌سنتتیک به کلریت همراه با کانی کدر؛ پ) جانشینی کامل پلاژیوکلاز دارای ماکل کارلسباد توسط کلسیت حاصل از سوسوریتی شدن پلاژیوکلاز؛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

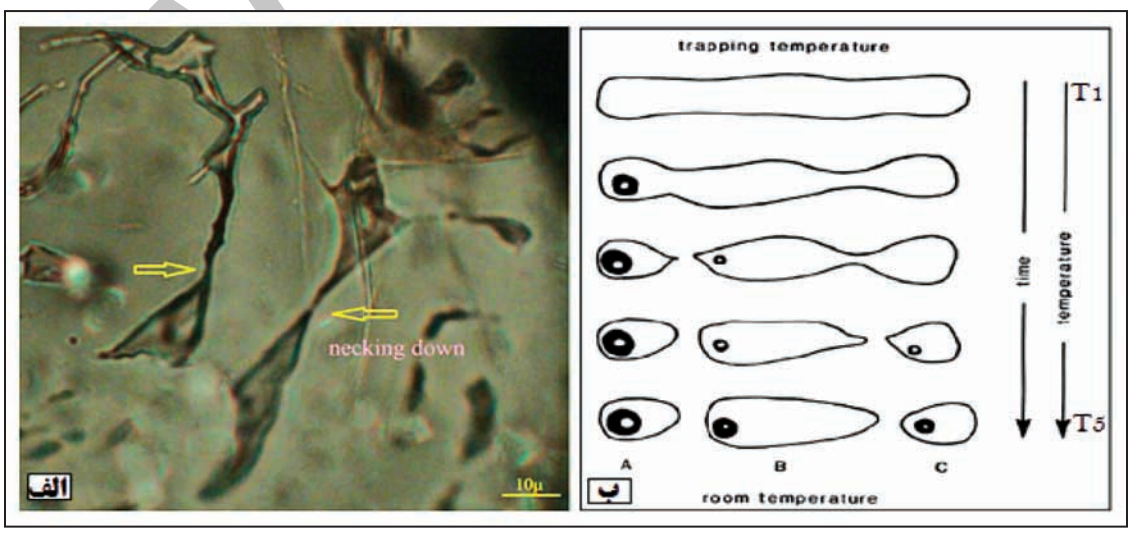


شکل ۱۱- توالی پاراژنزی و ترتیب تبلور کانه‌ها و کانی‌ها در سنگ میزبان گارنت (هورنفلس) در منطقه مورد مطالعه (بابانظر).

www.SID.ir

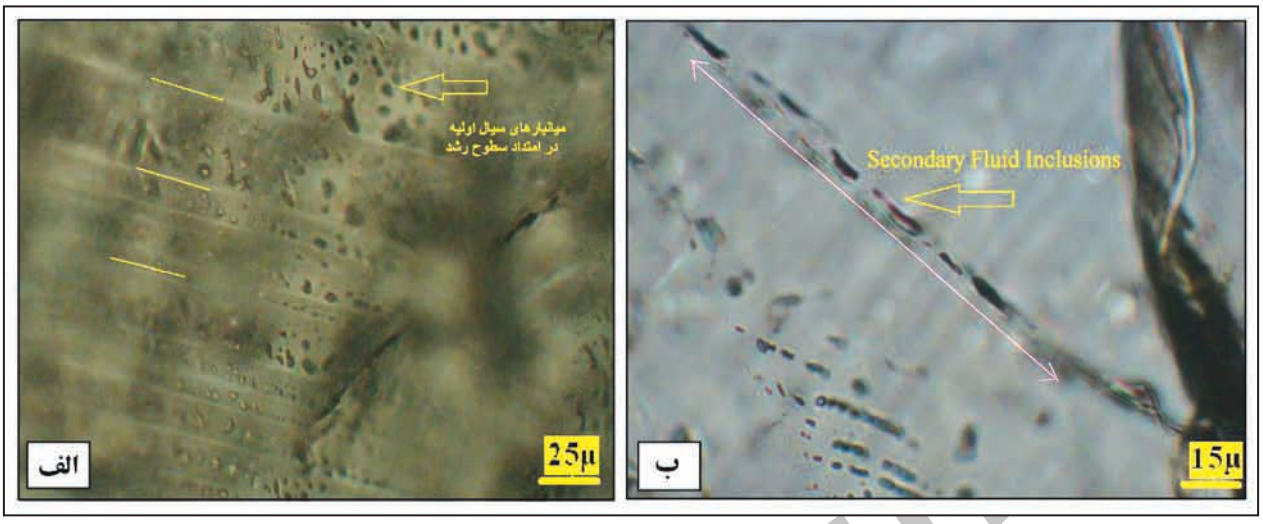


شکل ۱۲- تصاویر میانبارهای سیال گارنت هورنفلس (زون گارنتیت اگزواسکارن). الف) شکل منفی بلور؛ ب) فازهای جامد مکعبی شکل هالیت، مستطیلی شکل انیدریت و داوسونیت؛ پ) فاز جامد مثلثی شکل سیلویت و ت) فازهای جامد مکعبی شکل هالیت و بی‌شکل هماتیت. نشانه‌های اختصاری به کار رفته عبارتند از: Hal: هالیت؛ Hem: هماتیت؛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

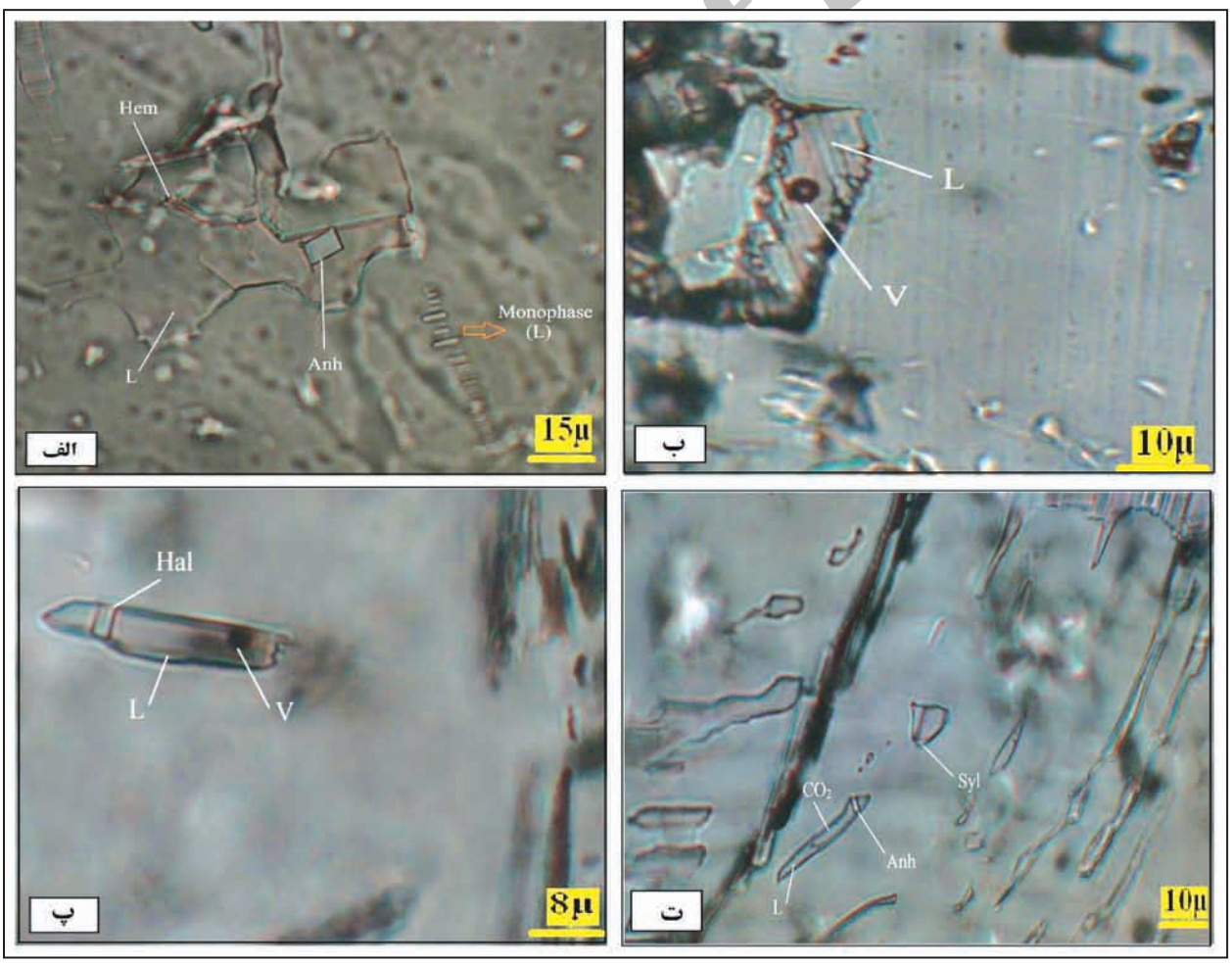


شکل ۱۳- الف) پدیده باریک‌شدگی میانبارهای سیال گارنت هورنفلس (زون گارنتیت اگزواسکارن)؛ ب) ایجاد پدیده باریک‌شدگی در یک میانبار فرضی طویل. میانبار اولیه در دمای T1 به تله افتاده و در اثر سرد شدن و انقباض در دمای T5 به ۳ ادخال A، B و C ثانویه تبدیل شده است (Shephard et al., 1985).

www.SID.ir

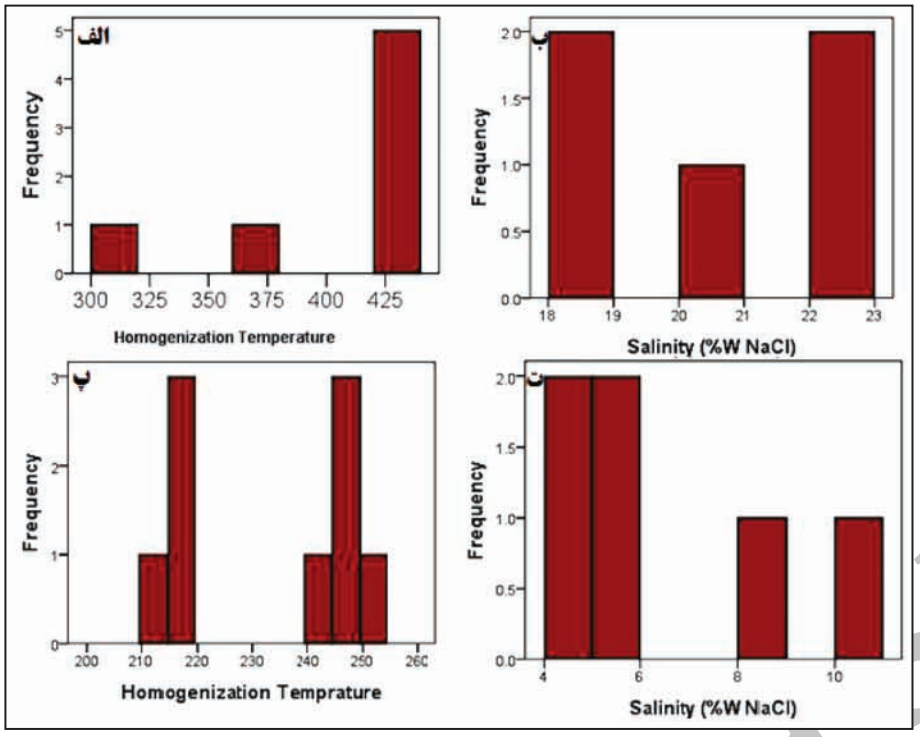


شکل ۱۴- تصاویر میانبارهای سیال گارنت هورنفلس (زون گارنتیت اگزواسکارن). الف) میانبارهای سیال اولیه در امتداد سطوح رشد؛ ب) میانبارهای سیال ثانویه در امتداد شکستگی‌ها.

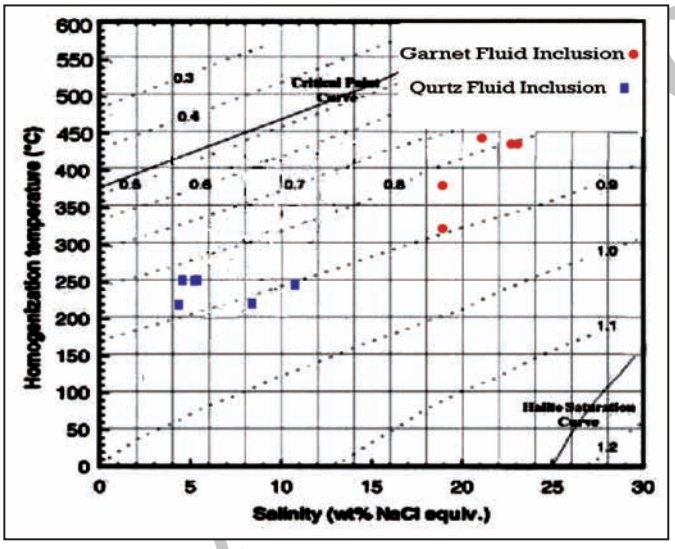


۱۵- تصاویر میانبارهای سیال گارنت هورنفلس (زون گارنتیت اگزواسکارن). الف) میانبار تک فاز مایع همراه با فازهای جامد هماتیت و انیدریت درون میانبار؛ ب) میانبار دوفازی مایع- بخار، پ) میانبار چندفازی جامد، ت) میانبار دوفازی مایع- مایع همراه با فازهای جامد انیدریت و سیلویت. نشانه‌های اختصاری به کار رفته عبارت‌اند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

www.SID.ir



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



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

جدول ۱- ویژگی‌های کلی میانبارهای سیال مورد مطالعه در پتانسیل گارنت بابانظر (T_h: دمای همگن شدگی؛ Tm_1-Ice: دمای ذوب اولیه یخ؛ Tm_2-Ice: دمای ذوب پایانی یخ).

Mineral	Type	T_h (°C)	Tm_1-Ice (°C)	Tm_2-Ice (°C)	Salinity (%WNaCl)	Density (gr/cm³)
Garnet	L+V to L	۴۳۲	-۴۷	-۲۰/۵	۲۲/۷۱	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

D.ir

کتابنگاری

باباخانی، ع. ر.، و قلمقاش، ج.، ۱۳۷۱- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ تخت سلیمان، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

حاج‌علیلو. ب.، ۱۳۸۷- ژئوترمومتری میانبارهای سیال، انتشارات دانشگاه پیام نور، ۳۰۶ ص.

رجب‌زاده، م. ع.، و اسدی، س.، ۱۳۹۰- تکامل گرمابی‌ها بررسی‌های کانی‌شناسی و میانبارهای شاری در کانسنگ‌های آهن قطرویه، 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.

طالع‌فاظل، 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.، طاوسیان، ش.، آقانباتی، ع. و پلیسر، ج.، ۱۳۶۱- نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ زمین‌شناسی چهارگوش تکاب، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

مختاری، م. ع. ا.، معین وزیری، ح.، قربانی، م. ر.، مهرپرتو، م.، و حسین‌زاده، ق.، ۱۳۹۱- کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی اسکارن کمتال (شمال خاورانا، 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. Ecomonic Geology 73: 1326-1365.

Beane, R. E., 1982- The magmatic-meteoric 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 H_2O-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- Seeve-textured plagioclase in dacitic magma: Interference imaging results. American Mineralogist 89: 348-351.

Archive of SID

www.SID.ir

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

Archive of SID

Created with nitroPDF professional
download the free trial online at nitropdf.com/professional