



مطالعه منشأ کانسار فلوریت قهرآباد با استفاده از سیالات درگیر، جنوب شرق سقز، استان کردستان

مهرداد براتی^{1*}، ابراهیم طالع فاضل¹، افشین اکبرپور²، بابک طلایی³ و مسعود مصلحی¹

(1) گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

(2) پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

(3) بخش علوم زمین، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

دریافت: 1392/06/25، پذیرش: 1394/09/18

چکیده

کانسار فلوریت قهرآباد در 57 کیلومتری جنوب شرق شهرستان سقز، در استان کردستان واقع شده است. این نهشته به صورت عدسی‌های پراکنده، رگه‌ای، رگه‌چهای و شکافه پرکن در سنگ میزبان‌های کربناتی - دولومیتی معادل سازند الیکا به سن تریاس رخ داده است. در این منطقه، روند گسل‌ها تقریباً عمود بر روند اصلی گسل‌های زاگرس و شیب آن‌ها تقریباً عمودی است و کانی‌سازی در زون برشی این گسل‌ها روی داده است. کانی‌های اصلی ذخیره شامل فلوریت (با رنگ‌های بنفش، سبز و بی‌رنگ) و گانگ‌ها، کوارتز، کلسیت، باریت و دولومیت هستند. انواع سیالات درگیر دو فاز $L+V$ ، سیالات سه فاز $(CO_2)_L + H_2O + (CO_2)_V$ و $L+V+S$ و حتی چهارفازی $L+V+S_1+S_2$ در نمونه‌ها دیده شده است. پدیده‌هایی مثل بلور منفی، سوزنی شدن و دم‌بریدگی نیز در سیالات درگیر دیده شده است. دماهای همگن شدن سیالات درگیر اولیه و ثانویه کاذب در فلوریت‌ها از $155^{\circ}C$ تا $245^{\circ}C$ با میانگین $187^{\circ}C$ به دست آمد. در اغلب سیالات درگیر، فاز گاز به مایع در طی همگن شدن تبدیل شد. درجه پرشدگی اغلب سیالات درگیر بیش از 90 درصد بوده است. با استفاده از روش سرمایش، کمترین و بیشترین دمای یوتکتیک در نمونه‌ها، به ترتیب $23/1-$ و $18-$ با میانگین $20/7^{\circ}C-$ است که میزان شوری معادل درصد وزنی معادل نمک طعام حداکثر $30/8$ درصد در سیستم H_2O-CO_2-NaCl محاسبه شده است. اثر برنولی در این ذخیره به وقوع پیوسته است و چهار فرآیند اختلاط با دمای ثابت، جوشش، رقیق شدن با آب‌های سطحی و کاهش فشار در کانی‌سازی دخالت داشته‌اند. در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که ذخیره فلوریت قهرآباد محصول فعالیت هیدروترمال از نوع اپی‌ترمال است و سیالات کانی‌ساز دارای منشأ حوضه‌ای هستند که به هنگام مخلوط شدن با آب سطحی کانسار ته‌نشین شده است.

واژه‌های کلیدی: قهرآباد، ذخیره فلوریت، سیالات درگیر، سقز، هیدروترمال

مقدمه

شمال غرب شهرستان سنندج قرار گرفته و از لحاظ تقسیمات جغرافیایی، بخشی از شهر صاحب و بخش سننه (از توابع شهرستان سقز) است. از لحاظ موقعیت در نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی، محدوده این ذخیره در گوشه جنوب غربی چهارگوشه‌ای $1:250000$ تکاب و $1:100000$ چاپان (ایرانخواه) واقع شده است. در شکل 1، موقعیت جغرافیایی

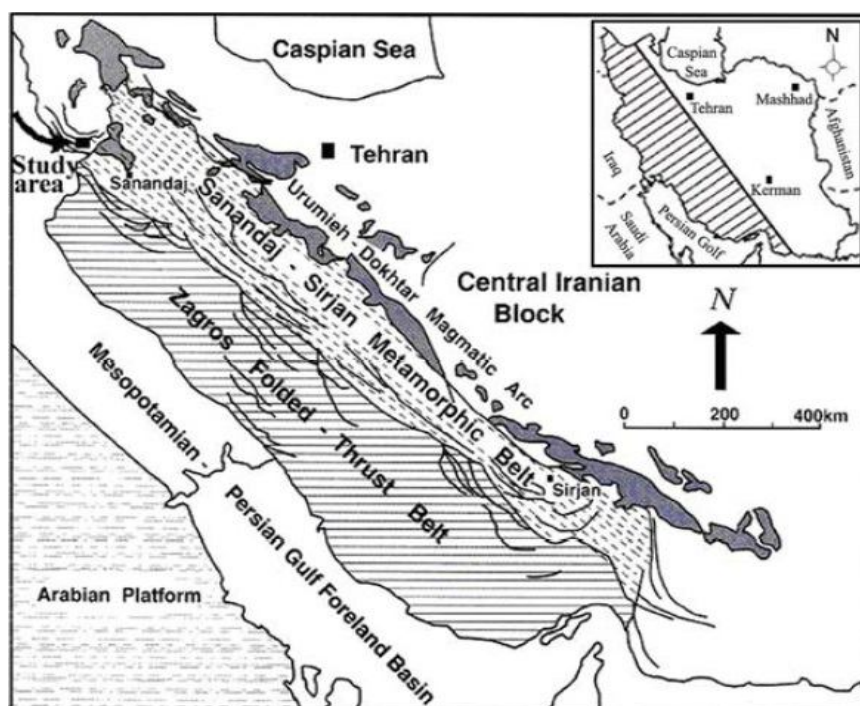
منطقه قهرآباد سلیمان سقز در شمال غرب استان کردستان بین شهرستان‌های سقز، دیواندره و مریوان واقع شده است. عرض و طول جغرافیایی این ذخیره به ترتیب $36^{\circ} 01' 03''$ شمالی و $21^{\circ} 34' 46''$ شرقی است. ذخیره فلوریت این منطقه در فاصله 57 کیلومتری جنوب شرق شهرستان سقز و 165 کیلومتری

در این پژوهش سعی شده است خاستگاه آن، با استفاده از روش ژئوترموتری سیالات درگیر و با استفاده از ژئوشیمی کانسار مشخص شود.

بررسی‌های قبلی انجام شده خیلی محدود است و می‌توان به پژوهش‌های طلایی (Talaei, 2010) و مصلحی (Moslehi, 2013) اشاره کرد.

منطقه مشخص شده است.

فلوریت (CaF_2) یکی از کانی‌های صنعتی با ارزش در جهان است که بیش از 200 سال از بهره‌برداری آن در دنیا می‌گذرد. این کانی صنعتی کاربردهای متعددی در صنایع مختلف دارد. از این‌رو، بررسی چگونگی تشکیل این کانی و انواع گونه‌های کانی‌سازی فلوریت موضوعیت پیدا می‌کند.



شکل 1. نقشه زمین‌شناسی ساده شده از زون سندج سیرجان و زون‌های دیگر که منطقه مورد بررسی روی آن مشخص شده است (Moslehi, 2013).

Fig. 1. Simplified geological map of the sanandaj-Syrjan and other zones and location of the study area. (Moslehi, 2013).

روش مطالعه

نمونه‌برداری از دو ترائشه حفر شده در منطقه به نام‌های ترائشه‌های 1 و 2 (شکل 2) که به فاصله تقریبی 300 متر از هم قرار گرفته‌اند، انجام شد. این ترائشه‌ها در سنگ‌های آهکی میزبان کانی‌سازی حفر شده‌اند. کانی‌سازی در این دو ترائشه در زون خرد شده گسلی روی داده است. برای بررسی میکروسکوپی سیالات درگیر از میکروسکپ نوری ZEISS در مرکز تحقیقات و مطالعات مواد استفاده شد.

بررسی‌های گرمایش و سرمایش به وسیله سکوی گرمایش و سرمایش دستگاه لینهام با مدل THMS600 در آزمایشگاه سیالات درگیر دانشگاه خوارزمی انجام شد. کالیبره کردن سکو در دماهای $-56/6$ ، $-10/7$ و $0/0$ درجه سانتی‌گراد با استفاده از سیالات درگیر ساختگی تهیه شده در شرکت فلئوئید اینک¹ انجام شد. دقت تخمینی برای اندازه‌گیری‌ها $\pm 0/2^\circ\text{C}$ برای دماهای کمتر از 30°C ، $\pm 1^\circ\text{C}$ برای محدوده 30 تا 300°C درجه سانتی‌گراد و $\pm 2^\circ\text{C}$ برای دماهای بیش از 300°C است. میزان

1. Fluid ink

آمفیبولیت و گنایس همراه با سنگ‌های آتشفشانی اسیدی، دولومیت و سنگ‌آهک‌های متبلور است.

واحد^d TR: در جنوب روستای قهرآباد، دولومیت‌ها و آهک‌های دولومیتی ضخیم لایه تا توده‌ای به رنگ‌های سبز خاکستری تا خاکستری تیره که به‌طور متناوب با شیل‌های سیلنی و آهکی قرار دارند، دیده می‌شوند. سن این سنگ‌ها تریاس و بدون سنگواره است. در این سنگ‌ها رگه‌ها و رگه‌چه‌هایی از کانی‌سازی‌های فلوریت حضور دارد.

واحدهای K^{ld} و K^{ss}: در بخش‌هایی از نهشته‌های دگرگونی واحد mt، عدسی‌هایی از نهشته‌های کرتاسه پایینی با جنس ماسه‌سنگ، آهک و دولومیت است که دگرگون نشده‌اند.

واحد Qt: این واحد لیتولوژیکی با سن کواترنری دارای وسعت بسیار کمی بوده و شامل سنگ‌های آهکی و تراورتن‌های آب شیرین است.

نمودار گل سرخی درزه‌های برداشت‌شده نیز رسم شد که نشان می‌دهد دو امتداد غالب در دسته‌های درزه‌ای توده آهکی دارای کانی‌سازی وجود دارد (شکل 3). در درزه‌هایی با امتداد تقریبی N30E، N35W، N55E کانی‌سازی سیلیس شیری‌رنگ دیده شد که در نمودار گل سرخی نیز با خط چین نمایش داده شده است.

در این منطقه، کانی‌سازی فلوریت فقط از گسل‌ها پیروی می‌کند. در ترانسه A، کانی‌سازی در زون خردشده گسلی روی داده که دلیل آن وجود قطعات زاویه‌دار و تخلخل زیاد سنگ میزبان است. این گسل در رسوبات تریاس دیده شده و در سنگ‌های دگرگونه مجاور، کمتر قابل تشخیص است. طول آن 1 تا 1/5 کیلومتر است و در نقشه زمین‌شناسی به‌خوبی دیده می‌شود برداشت‌های صحرایی، امتداد آن را N59E و شیب آن را حدود 75NW نشان می‌دهد. بر اساس مشاهدات صحرایی، عرض زون برشی تقریباً به یک متر می‌رسد. در ترانسه 2 نیز کانی‌سازی مانند ترانسه A، در یک زون خردشده گسلی رخ داده است. این گسل، طولی حدود 5 کیلومتر دارد و علاوه‌بر رسوبات تریاس در سنگ‌های دگرگونه نیز گسترش دارد. زون برشی تا 5 متر پهنا دارد. امتداد و شیب این گسل 80NW،

گرمایش 1 تا 5 درجه سانتی‌گراد بر دقیقه در مراحل ابتدایی گرمایش و 0/3 تا 1 درجه سانتی‌گراد بر دقیقه در دماهای نزدیک به تغییر فاز است.

بحث و بررسی

زمین‌شناسی ناحیه‌ای

منطقه مورد بررسی در قسمت شمالی زون سنندج - سیرجان و در ورقه 1:100000 ایرانخواه قرار گرفته است. واحدهای سنگی موجود در منطقه شامل توده‌های آذرین حدواسط تا اسیدی، سنگ‌آهک مرمری شده، کالک‌شسیت، سنگ‌های متاسوماتیکی، سنگ‌های آتشفشانی و نهشته‌های کنگومرایی پلیوسن - پلیستوسن است. قدیمی‌ترین واحد سنگی رخنمون‌یافته در منطقه کالک‌شسیت‌ها و سنگ‌های با سن پرکامبرین هستند. این واحدها تحت تأثیر نیروهای زمین‌ساختی قرار گرفته‌اند و تا حدودی حالت چین‌خورده دارند. بخشی از واحدهای کالک‌شسیتی و آهکی موجود در منطقه تحت تأثیر نیروهای زمین‌ساختی نسبتاً شدید در حد دگرریختی شکل‌پذیر قرار گرفته‌اند. حضور سنگ‌های میلونیتی شده و فابریک‌های ساختاری دیده شده در آن‌ها، حضور یک زون برشی و ویژگی‌های آن را در منطقه تأیید می‌کند. گسل خوردگی، ایجاد زون برشی و به‌دنبال آن تزریق توده‌های نفوذی عمقی به‌درون گسل‌های منطقه، دگرگونی مجاورتی کالک‌شسیت‌ها در حد رخساره اپیدوت - هورنفلس و مرمری شدن واحدهای آهکی موجود در منطقه را موجب شده است (Kholghi Khasraghi, 1999). اغلب کانسارهای یافت‌شده در منطقه ذخایر آهن نوع IOCG و ذخایر طلا است.

زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه

این منطقه دارای تنوع سازندی و لیتولوژیکی کمی است. شکل 2، نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد بررسی را نشان می‌دهد. واحدهای مشخص شده در نقشه زمین‌شناسی به شرح زیر است:

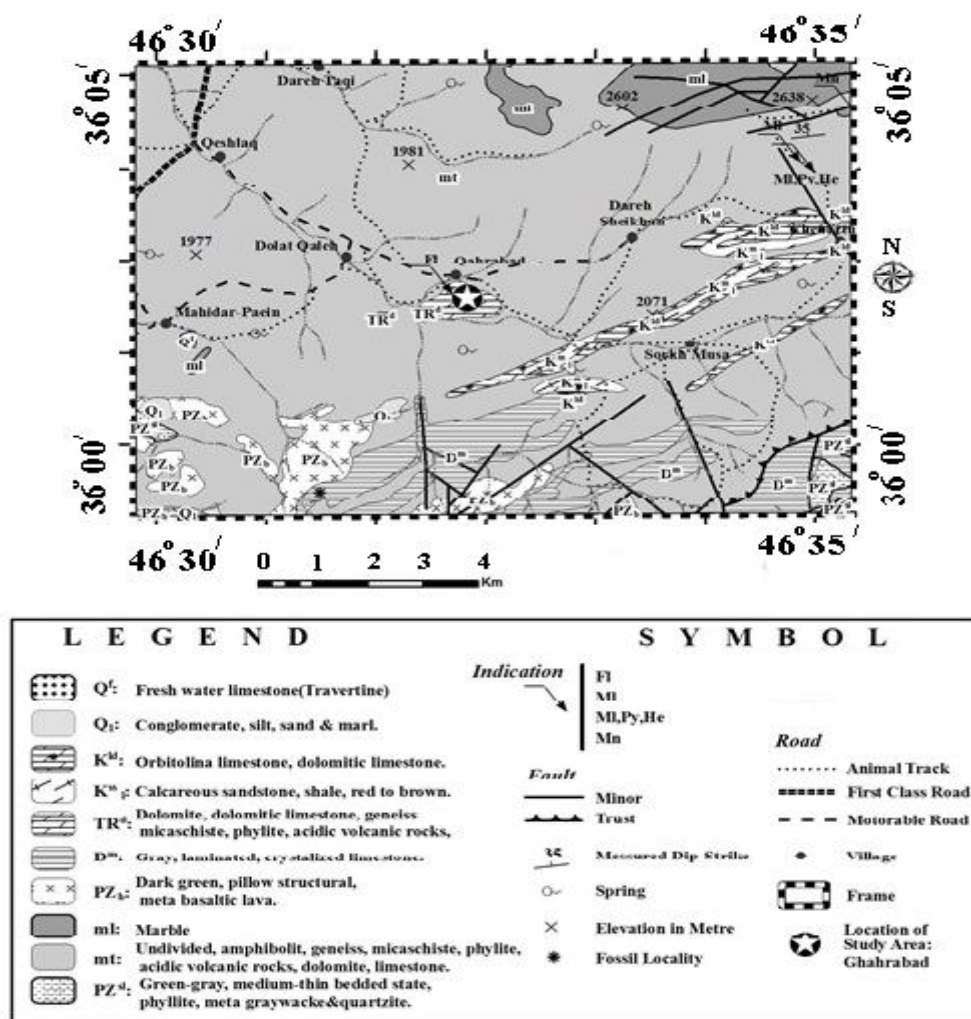
واحد mt: این واحد برون‌زد آهکی دارد و منطقه کانی‌سازی شده را احاطه کرده است و شامل سنگ‌های دگرگونی غیر قابل تفکیک مانند شسیت، فیلیت، میکاشسیت، کوارتزیت،

کلسیت به صورت اگرگات‌های ریزدانه و بلورهای دانه درشت دیده می‌شود که گاه در حفره‌ها، در اثر دگرگونی دوباره تبلور پیدا کرده است. کوارتزها در زون‌های کانی‌سازی شده و سنگ‌های دگرگونی به صورت اولیه و ثانویه دیده می‌شوند. کوارتزهای اولیه ریزبلور تا نهان‌بلور است. کوارتزهای ثانویه به شکل اگرگات‌های دانه‌ای و بلورهای نسبتاً درشت دیده می‌شوند که ناشی از دگرگونی و تبلور مجدد کوارتزهای نسل قبلی هستند. فلوریت‌ها به صورت‌های نامنظم، پراکنده، رگه‌ای و توده‌ای در داخل سنگ میزبان کربناته دیده می‌شوند که درز و شکاف‌های آن‌ها توسط کلسیت و اکسیدهای آهن پر شده است.

N72E بوده است و روندی تقریباً مشابه با گسل قبلی دارد و در جنوب آن قرار گرفته است (شکل 2).

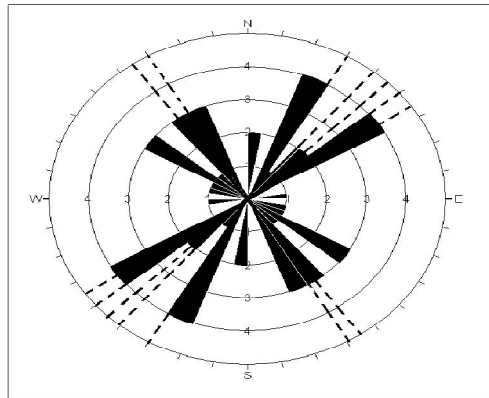
کانی‌شناسی و توالی پاراژنتیک

فلوریت‌ها به شکل فنوکریست‌های پراکنده در سنگ میزبان برشی، پرکننده فضای خالی و جانشینی در سنگ میزبان و رگه‌ای در سنگ‌های کربناته تریاس دیده می‌شوند (شکل‌های 4 و 5). گاهی فلوریت‌های بسیار ریز، به حالت برشی شده و رگه‌های دگرشکل شده، دیده می‌شوند که بیانگر وجود گسلش و عملکرد فرآیندهای زمین‌ساختی در محل است. همچنین دو بافت جانشینی در فلوریت‌های اولیه و پرشدگی فضای خالی در فلوریت‌های ثانویه دیده شده است (شکل 6).



شکل 2. نقشه زمین‌شناسی محدوده کانسار فلوریت قهرآباد (Kholghi Khasraghi, 1999)

Fig. 2. Geological map of the Qahr-Abad fluorite orebody (Kholghi Khasraghi, 1999)



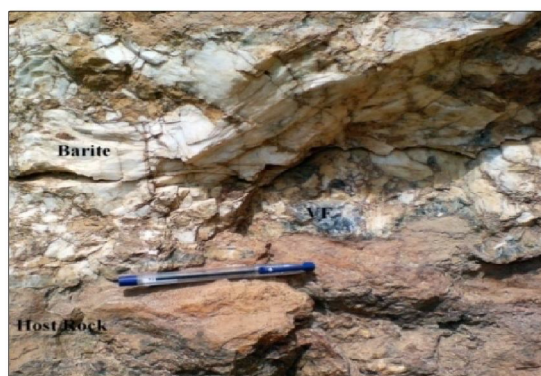
شکل 3. نمودار گل سرخی ذخیره قهرآباد. گل سرخها امتداد کانی‌سازی در شکستگی‌های سنگ آهک را نشان می‌دهد. خطوط بریده، امتداد درزه‌های پر شده با سیلیس را نشان می‌دهد.

Fig. 3. Rose dayagram of Qahr-Abad orebody. Rose petals show direction of mineralization in limestone fractures. Dashed lines show fractures are filled by sillicia



شکل 4. فلوریت‌های بنفش و بی‌رنگ در سنگ میزبان کربناته متخلخل کانسار قهرآباد. CF: فلوریت بی‌رنگ و VF: فلوریت بنفش. علایم اختصاری از ویتنی و اوانز (Whitney and Evans, 2010)

Fig. 4. Violet and colorless fluorites in carbonate country rocks of Qahr-Abad orebody (CF=colorless fluorite and VF=violet fluorite). Abbreviations after Whitney and Evans (2010)



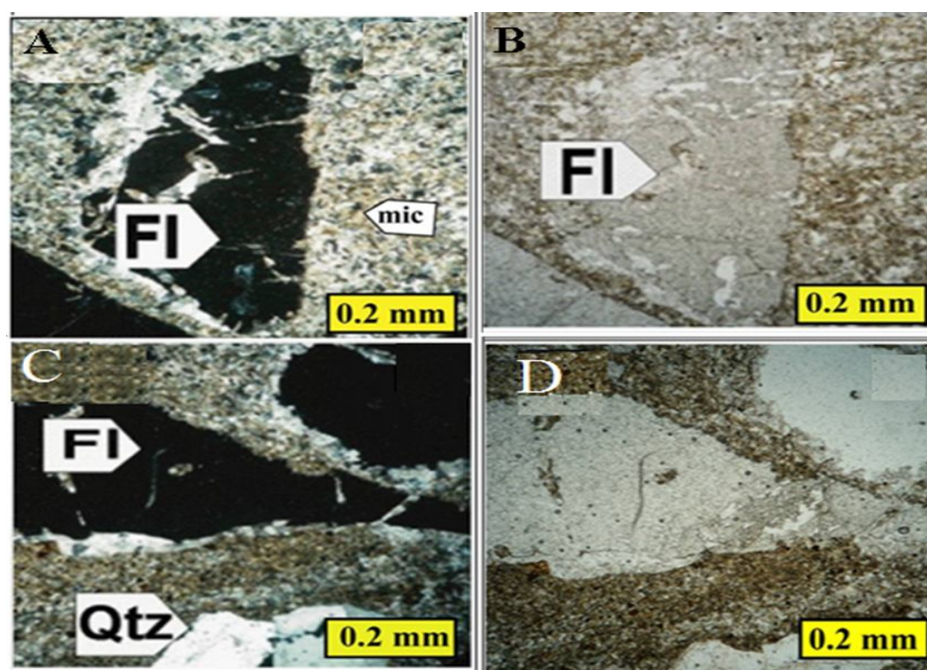
شکل 5. درهم‌رشدی فلوریت بنفش و باریت توده‌ای ذخیره قهرآباد در ترانشه 2، VF: فلوریت بنفش. علایم اختصاری از ویتنی و اوانز (Whitney and Evans, 2010)

Fig. 5. Intergrowth texture of violet fluorite and massive barite of Qahr-Abad orebody in trench 2, (VF= violet fluorite) Abbreviations after Whitney and Evans (2010)

ثانویه⁴ به صورت توده‌ای و درشت‌دانه، حاصل دگرگونی و تبلور مجدد است. همچنین با توجه به بررسی‌های میکروسکوپی و شواهد صحرایی، فلوریت بنفش در ترانشه 1، قبل از دیگر فلوریت‌ها و در ترانشه 2 هم‌زمان با باریت تشکیل شده است. فلوریت‌های سبز و بی‌رنگ نیز در مراحل بعدی، بعد از فلوریت-های بنفش تشکیل شده‌اند که بررسی‌های ژئوشیمیایی نیز مکمل این امر هستند. در آخرین مراحل نیز که بعد از پایان کانی‌سازی است؛ اکسیدهای آهن و کلسیت 2 در درزه‌های فلوریت‌ها ته‌نشست شده‌اند.

از آن جا که کانی‌سازی با توجه به بررسی‌های انجام شده، به طور عمده در زون برشی گسل روی داده است، بنابراین دست کم یک مرحله گسل خوردگی قبل از شروع کانی‌سازی رخ داده و در اواسط کانی‌سازی نیز فعالیت مجدد زمین‌ساختی موجب ایجاد درزه در فلوریت‌ها شده است.

فلوریت‌های نسل دوم (سبز و بی‌رنگ) به صورت بلورهای بی‌شکل تا شکل‌دار حضور داشته است و به صورت تأخیری در حفره‌های سنگ میزبان تشکیل شده‌اند. این دسته از فلوریت‌ها به شکل قطعات زاویه‌دار برشی شده، دیده می‌شوند. در مقاطع نازک، فلوریت‌ها به حالت ایزوتروپ (کاملاً تیره) دیده می‌شوند و به دو شکل اولیه و تأخیری تشکیل شده‌اند. نوع اولیه، محصول هضم و جانمایی سنگ‌های دیواره کربناتی است (شکل 6-A و B) و نوع ثانویه (تأخیری) به صورت رگه‌چهای و شکافه پرکن در زون‌های برشی و گسلی تشکیل شده‌اند (شکل 6-C و D). با توجه به نتایج بررسی‌های انجام شده، می‌توان توالی پاراژنتیک کانی‌های موجود در ذخیره را به صورت دوره‌های زمانی کانی‌زایی نشان داد. در شکل 7، کلسیت 1 در حفره‌ها قبل از فلوریت متبلور شده و درجه تبلور بالاتری نسبت به کلسیت 2 دارد. کلسیت 2 در میان درزه‌های تشکیل شده در فلوریت و باریت، رسوب کرده است. کوارتز 1 به صورت ریزدانه و نوع



شکل 6. تصاویر میکروسکوپی مربوط به فلوریت‌های موجود در داخل سنگ‌های کربناتی قهرآباد A و B: فلوریت اولیه در زمینه کلسیت میکرایتی به ترتیب در نور XPL و PPL، C و D: فلوریت ثانویه در رگه کوارتزی به ترتیب در نور XPL و PPL. علائم اختصاری به کار رفته عبارتند از: کوارتز = Qtz، میکرایت = Mic و فلوریت = FI (Whitney and Evans, 2010)

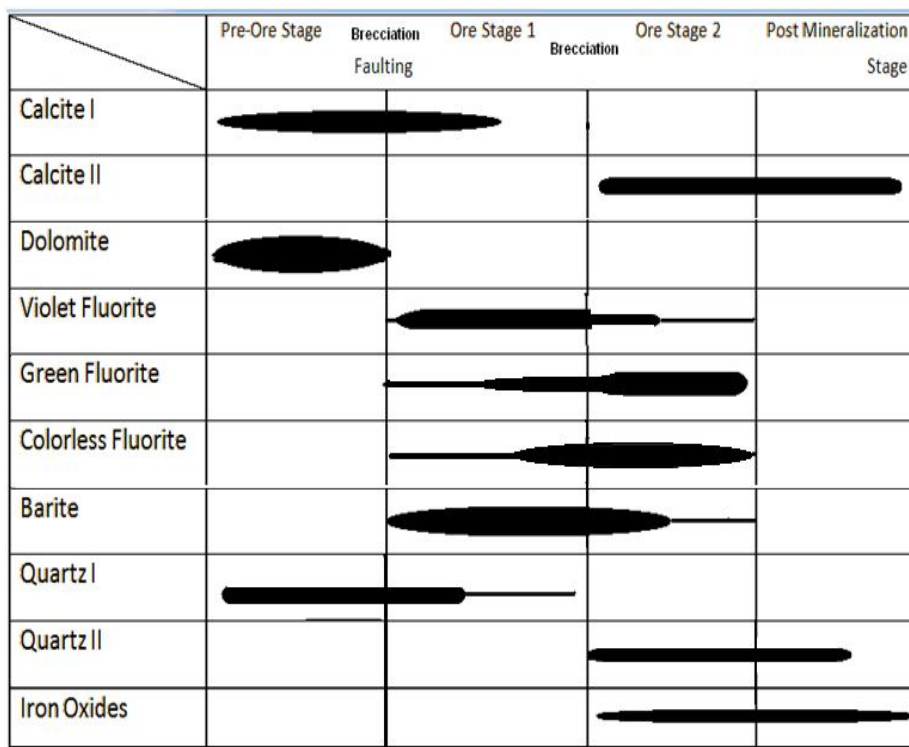
Fig. 6. Photomicrographs of fluorites in carbonate country rocks of Qahr-Abad orebody, A and B: primary fluorites in micritic calcite in PPL and XPL. C and D: secondary fluorites in quartz veins in PPL and XPL (Qtz=quartz, Mic= micrite, FI=fluorite) (Whitney and Evans, 2010)

- | | |
|---------------|--------------|
| 1. Calcite I | 3. Quartz I |
| 2. Calcite II | 4. Quartz II |

مطالعات سیالات درگیر

سیالات درگیر شواهد مستقیمی در مورد پدیده‌های زمین‌شناسی در اختیار ما قرار می‌دهند؛ از جمله دمای تشکیل کانسارها و کانی‌ها، ژئوبارومتري، ترکیب سیالات، الگوهای جریان سیال، اکتشاف نفت، تعیین خاستگاه کانی‌ها برای اهداف رسوب‌شناسی، گوهرشناسی و آزمایش جواهرات و در نهایت تعیین زمان حوادث گرمایی است (Shepherd et al., 1985). با توجه به بررسی‌های انجام‌شده نوع سیالات درگیر در فلوریت‌ها، بر مبنای تقسیم‌بندی شفرد و همکاران (Shepherd

et al., 1985)، اغلب از نوع L+V با 56% فراوانی بوده و بعد از آن انواع $L_1+L_2\pm V$ و V+L به ترتیب با 22% و 15% دارای فراوانی است. سیالات درگیر نوع L+V+S با فراوانی 3% بسیار نادر است. از نظر زایشی، هر سه نوع اولیه، ثانویه و ثانویه کاذب در میان سیالات درگیر دیده می‌شود. در شکل A-8، یک سیال درگیر و فازهای درون آن از کانسار قهرآباد نشان داده شده است و همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، فازهای کانی اوپیک، CO_2 مایع و CO_2 گاز و آب در این سیال درگیر وجود دارند.



شکل 7. توالی پاراژنتیک معدن فلوریت قهرآباد

Fig. 7. Paragenetic sequences of main minerals in the Qahr-Abad fluorite deposit

تقسیم‌بندی کرد:

- 1- سیالات درگیر کشیده و باریک (سوزنی شکل) (شکل 8- C)؛
- 2- سیالات درگیر دارای شکل نامنظم (شکل 8- C)؛
- 3- سیالات درگیر دارای شکل منظم (شکل 8- D)، و
- 4- سیالات درگیر با شکل بلور منفی (شکل 8- E).

اگر یک گروه از سیالات درگیر کشیده و سوزنی شکل، در یک راستای جهت یافتگی داشته باشند، می‌توان از آنها برای تشخیص راستای رشد بلور استفاده کرد (شکل 8- B). از نظر شکل ظاهری، سیالات درگیر را می‌توان با توجه به مؤلفه‌های ارائه شده توسط رودر (Roedder, 1984) و شفرد و همکاران (Shepherd et al., 1985)، به ترتیب فراوانی به انواع زیر

پدیده دم‌بریدگی¹ در تعدادی از سیالات درگیر دیده شده است (شکل 8-E و F). در طی این فرآیند، یک سیال درگیر نازک صاف یا بلند و تخته‌ای² به منظور تغییر شکل، برای رسیدن به تعادل و انرژی سطحی کمتر، مساحت دیواره خود را کمی خم می‌کند که این عمل به ایجاد سیالات درگیر با شکل منظم‌تر یا کریستال منفی و در ضمن با اندازه کوچکتر منجر می‌شود. درجه پرشدگی (F) که نسبت حجم مایع به حجم کل سیال درگیر است برای اغلب سیالات درگیر 90 تا 95 درصد تخمین زده می‌شود. البته در مواردی درجه پرشدگی به 5 تا 10 درصد نیز می‌رسد؛ اما موارد حدواسط از حد بالایی تا پایینی در این میزان دیده نمی‌شود. میزان حجم اشغال‌شده از بلور میزان توسط سیالات درگیر با توجه به طرح شماتیک شفرد و همکاران (Shepherd et al., 1985) به طور میانگین 1 تا 5 درصد

تخمین زده می‌شود. البته در برخی مناطق یک مقطع میکروسکوپی، این میزان در حد آستانه و بسیار کم و برخی مناطق دیگر به 5% نیز می‌رسد. در بررسی‌های گرمایش، بیشتر دمای همگن شدن مورد توجه قرار می‌گیرد. حالت همگن شدن در اغلب سیالات درگیر به صورت مایع (V→L) است. البته به ندرت سیالات درگیری که به حالت بخار (L→V) همگن می‌شوند نیز وجود دارد که این امر نشان‌دهنده بروز پدیده تراتلینگ³ یا اثر برنولی⁴ است که در آن سیال به علت کم شدن فشار اعمال‌شده بر آن، دچار گازدار شدن یا جوشش می‌شود (Guilbert and Park, 1985). در جدول 1 مقادیر دمای همگن شدن برای فلوریت‌های قهرآباد آمده است.

جدول 1. نتایج دمای همگن سیالات درگیر برای معدن قهرآباد

Table 1. Homogenization temperatures results of fluid inclusions in the Qahr-Abad deposit

Fluorite type	Number	Min (C°)Th	Max (C°)Th	Main (C°)Th
Total	76	155	245	195
Fluorite trench 1	46	155	215	183
Fluorite trench 2	30	166	245	203
Green Fluorite in trench 1	25	155	212	179
Fluorite in trench 1 Blue	21	160	197	181
Fluorite in trench 2 Green	8	185	245	214
colorless Fluorite in trench 2	12	166	245	202
Violet Fluorite in trench 2	10	187	237	202

متفاوت مایع به بخار در سیالات درگیر نزدیک در یک مقطع، به علاوه وجود روند جوشش در فرآیندهای فیزیکی سیال)،

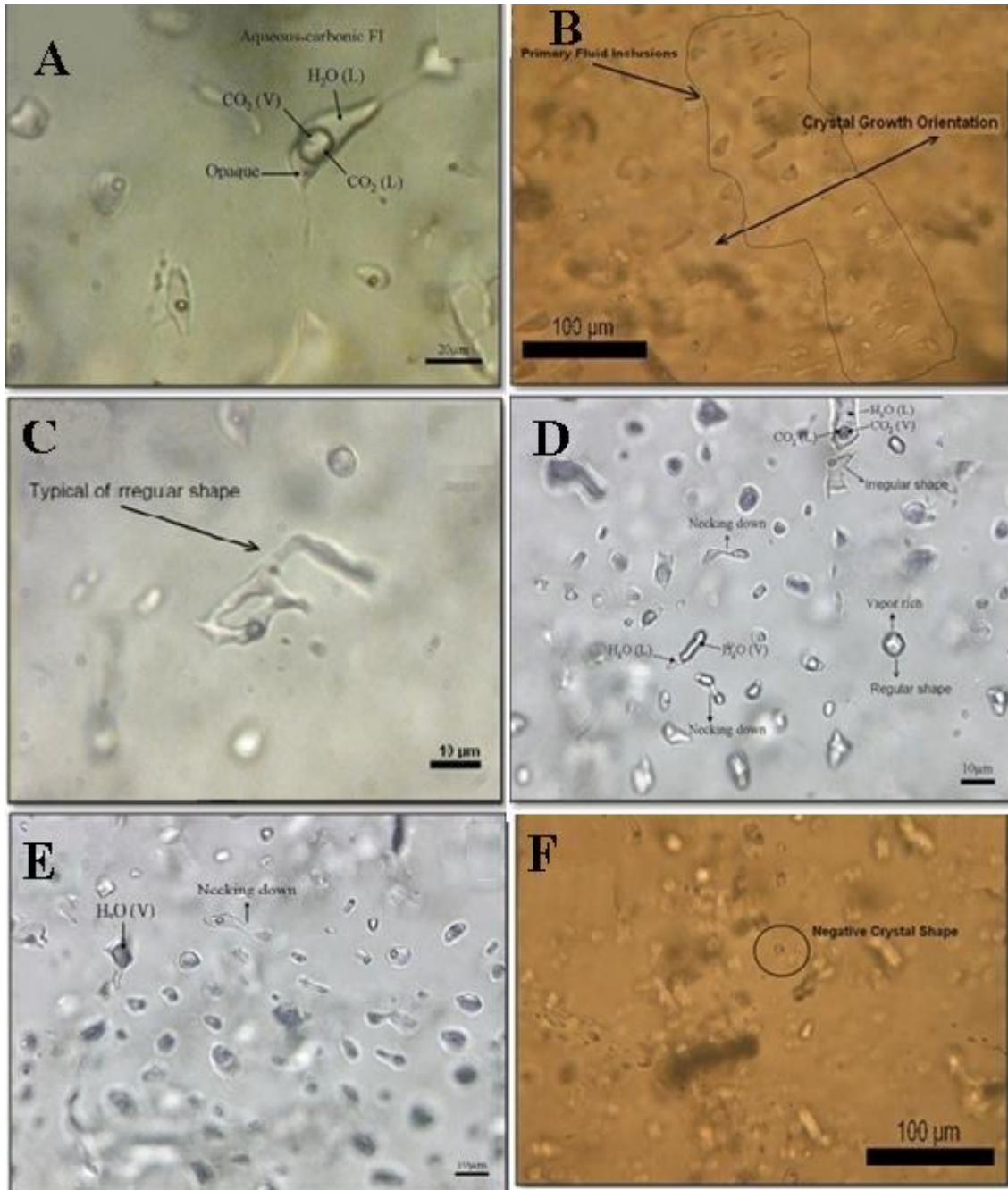
در معدن قهرآباد به دلیل وجود بافت پرشدگی فضای خالی (Rajabzadeh, 2007) و بروز پدیده جوشش (نسبت‌های

1. Necking down
2. Tabular

3. Throttling
4. Bernouly Effect

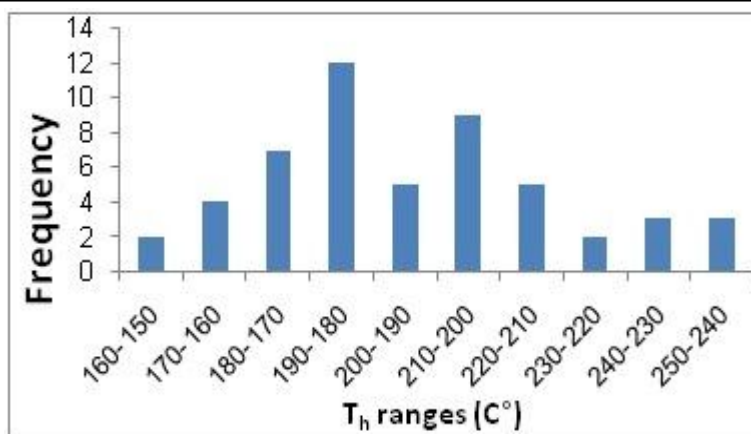
کل ذخیره نشان می‌دهد.

تصحیح فشار بسیار ناچیز و دمای همگن شدن، همان دمای به‌دام افتادن است. شکل 9، نمودار فراوانی دمای همگن شدن را برای



شکل 8. A: پدیده دم‌بریدگی در یک سیال درگیر در فلوریت قهرآباد، B: گروهی از سیالات درگیر اولیه سوزنی‌شکل در نمونه فلوریت که راستای رشد بلور را نشان می‌دهند، C: نمونه بارز از شکل نامنظم سیال درگیر در نمونه فلوریت، D: انواع سیالات درگیر با شکل منظم و نامنظم همچنین غنی از بخار، E: تصویر سیال درگیر در مرحله دم‌بریدگی فلوریت سبزرنگ و F: سیال درگیر با شکل بلوری منفی از فلوریت

Fig. 8. Photomicrographs showing: A: necking down phenomena in a fluid inclusion in fluorite of Qahr-Abad orebody. B: some needle fluid inclusions in fluorite showing crystal growth direction. C: irregular shape fluid inclusions in fluorite. D: regular and irregular shapes in vapor- rich inclusions E: necking down fluid inclusion in green fluorite F: negative crystal shape fluid inclusion in fluorite



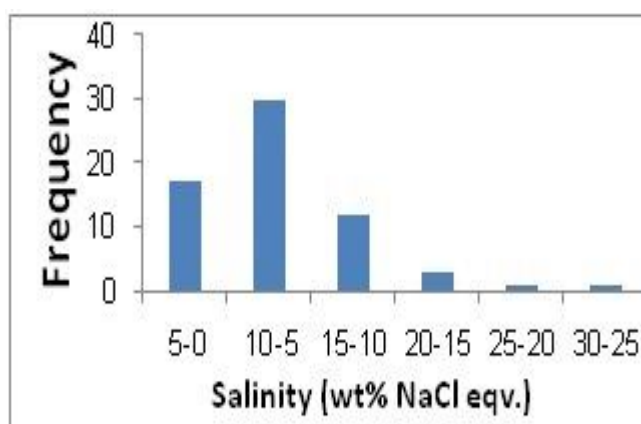
شکل 9. نمودار فراوانی دمای همگن‌شدن سیالات درگیر برای معدن قهرآباد

Fig. 9. Histogram of homogenization temperature for fluid inclusions in the Qahr-Abad deposit

آن است که یون‌های Ca^{+2} و Mg^{+2} غلظت چندانی در محلول‌های کانی‌ساز نداشته‌اند. کمترین و بیشترین دمای ذوب یخ سیالات درگیر در نمونه‌ها به ترتیب 8/4- و صفر با میانگین $3/4^{\circ}C$ - است. جدول 2، میزان شوری را برای انواع سیالات درگیر در فلوریت‌ها نشان می‌دهد. شکل 10، نمودار فراوانی میزان شوری را برحسب درصد وزنی معادل نمک طعام برای کل معدن نشان می‌دهد. همان‌گونه که در این شکل دیده می‌شود؛ بیشترین تعداد سیالات درگیر بررسی شده، شوری بین 5 تا 10 درصد معادل وزنی نمک طعام داشته است که این امر نشان می‌دهد یک نسل از سیالات کانی‌ساز به‌طور عمده در کانی‌سازی مؤثر بوده و میزان شوری تغییر چندانی نداشته است.

بررسی سیالات درگیر ثانویه نشان‌دهنده ورودی سیالی با دمای $204^{\circ}C$ و شوری 5/9 درصد معادل وزنی نمک طعام است. این دما و شوری بیانگر منبعی - مانند آنچه باعث کانی‌سازی شده - از یک منبع هیپوژن و یا دست‌کم تحت تأثیر قرار گرفته از فرآیندهای هیپوژن است.

بررسی‌های سرمایش نیز مانند بررسی‌های گرمایش بر روی سیالات درگیر اولیه، ثانویه و ثانویه کاذب درون فلوریت انجام شد. از این بررسی‌ها برای به‌دست آوردن میزان شوری برحسب درصد وزنی معادل نمک طعام استفاده می‌شود. کمترین و بیشترین دمای یوتکتیک در نمونه‌ها، به ترتیب 23/1- و 18- با میانگین $20/7^{\circ}C$ - است. این مقدار برای دمای یوتکتیک نشانگر



شکل 10. نمودار فراوانی میزان شوری برحسب درصد وزنی معادل NaCl برای کانسار قهرآباد

Fig. 10. Histogram showing salinity (%NaCl) for fluid inclusions in the Qahr-Abad deposit

جدول 2. مقدار شوری برحسب درصد وزنی معادل نمک طعام در سیالات درگیر مورد بررسی در فلوریت‌های قهرآباد

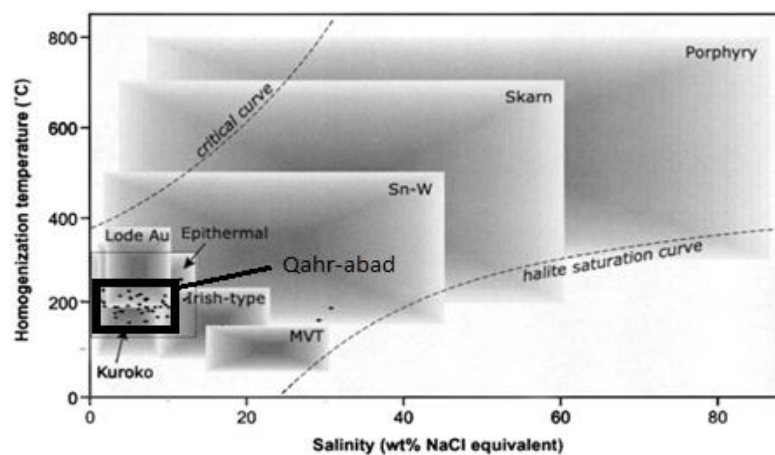
Table 2. Salinity results (%NaCl) of the studied fluid inclusions in the Qahr-Abad deposit

Fluorite type	Number	Min (C°)Th	Max (C°)Th	Main (C°)Th
Total	76	155	245	195
Fluorite trench 1	46	155	215	183
Fluorite trench 2	30	166	245	203
Green Fluorite in trench 1	25	155	212	179
Fluorite in trench 1 Blue	21	160	197	181
Fluorite in trench 2 Green	8	185	245	214
colorless Fluorite in trench 2	12	166	245	202
Violet Fluorite in trench 2	10	187	237	202

نقاطی که در هر محدوده قرار می‌گیرند باید دقت کرد و آن را با دیگر شواهد زمین‌شناختی و ژئوشیمیایی تطبیق داد؛ همان‌گونه که در بررسی‌های سیالات درگیر نیز باید به این موضوع توجه کرد.

تفسیر داده‌های سیالات درگیر

رسم نقاط به‌دست آمده از بررسی سیالات درگیر در کانسار قهرآباد، در نمودار شوری-دمای همگن‌شدن ارائه شده توسط ویلکینسون (Wilkinson, 2001)، نشان‌دهنده شباهت این کانسار با کانسارهای نوع اپی‌ترمال است (شکل 11). در تفسیر



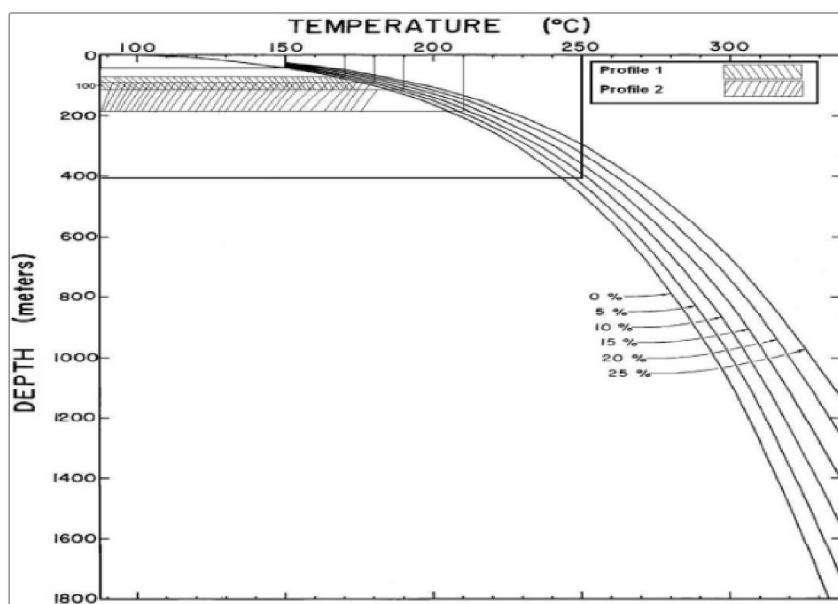
شکل 11. رسم نقاط متناظر با شوری-دمای همگن‌شدن مربوط به معدن قهرآباد در نمودار شوری-دمای همگن‌شدن (Wilkinson, 2001)

Fig.11. Homogenization temperature-salinity diagram for fluid inclusions in the Qahr-Abad deposit (after Wilkinson, 2001)

ترانشه 2 از حدود 90 تا 185 متر به دست می‌آید که نشان می‌دهد عمق تشکیل در ترانشه 2 به طور کلی بیش از ترانشه 1 است. البته باید خاطر نشان کرد که این نمودار تنها برای سیالات درگیر بدون فاز CO₂ در کانسار استفاده شده است.

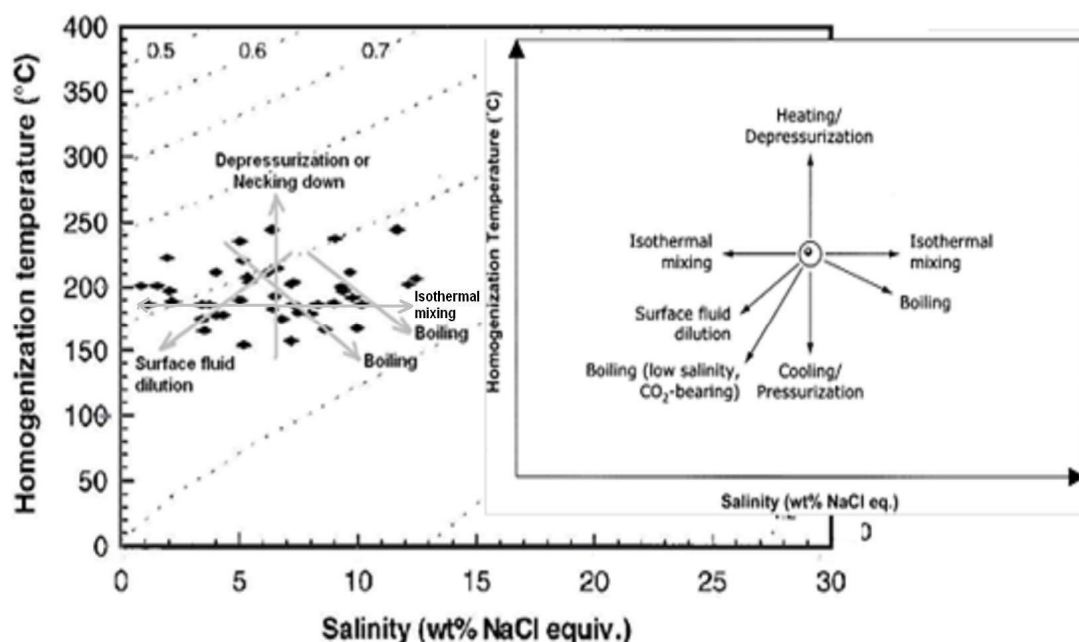
با استفاده از تشخیص فرآیندهای فیزیکی سیال، می‌توان فرآیندهایی که ته‌نشست فلوریت از سیال گرمایی در کانسار قهرآباد را باعث می‌شود، تعیین کرد. به سه روش می‌توان روندهای تغییر در یک گروه از سیالات درگیر از یک کانسار را معین کرد: اولین روش با تعیین توالی پاراژنتیک سیالات درگیر اولیه در یک کانسار است، به طوری که اولین سیالات درگیر به عنوان سیالات مادر شناخته شوند و بر اساس آن‌ها روندها مشخص شود؛ روش دوم، بدون تعیین سیالات درگیر مادر است که در این روش تنها روندها بر اساس شکل 13 (Wilkinson, 2001) تعیین می‌شود، طبیعتاً در این روش بسته به تعداد روندهای تشخیص داده شده، سیال درگیر مادر خواهیم داشت؛ روش سوم، تلفیقی از دو روش قبل است (Barnes, 1998).

اگر سیال متحمل جوشش شود، با فرض یک سیستم هیدرولوژیکی که به سطح راه دارد، می‌توان از فشار بخار برای تخمین عمق به دام افتادن استفاده کرد. در نتیجه کمترین عمق سیالاتی که متحمل جوشش نشده‌اند، به دست می‌آید. البته اگر سیالات درگیر، شواهد جوشش را نشان دهند، عمق به دست آمده دقیق خواهد بود. در شکل 12، عمق کانی‌سازی مربوط به کانسار فلوریت قهرآباد با استفاده از نمودار هاس (Haas, 1971)، به دست آمده است. از آنجایی که کمترین بیشترین دمای همگن شدن به ترتیب 150 و 250°C است، نقاط متناظر با این دو دما به عنوان حدود نهایی عمق به دام افتادن در نظر گرفته شدند. بیشترین میزان شوری برای این کانسار، 5 تا 10 درصد است (شکل 10)، که به طور میانگین 7/5 در نظر می‌گیریم. در شکل 12، دو خط پررنگ، حدود نهایی بالایی و پایینی عمق تشکیل کانسار را نشان می‌دهند و در بین این دو خط، محدوده عمقی تشکیل کانسار در دو ترانشه 1 و 2 نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، عمق معمول تشکیل برای ترانشه 1 از حدود 70 تا 110 متر و برای



شکل 12. رسم دمای همگن شدن یا جوشش در نمودار هاس (Haas, 1971) برای تخمین عمق به دام افتادن سیالات درگیر معدن قهرآباد (Wilkinson, 2001)

Fig. 12. Plot of boiling and homogenization temperatures on Hass diagram (Hass, 1971) for depth determination of fluid inclusions in the Qahr-Abad deposit. (After Wilkinson, 2001)



شکل 13. نمودار دمای یکنواختی (T) و شوری در سیالات درگیر معدن قهرآباد (Wilkinson, 2001)

Fig. 13. Homogenization temperature (T)-salinity diagram for fluid inclusions in the Qahr-Abad deposit (After Wilkinson, 2001)

منطقه (وجود زون برشی) نیز بیانگر درستی روندهای تعیین شده و وقوع آن‌ها در رابطه با کانی‌سازی است.

نتیجه‌گیری

با توجه به بررسی‌های انجام شده در این پژوهش، مناسبترین الگوی انتخاب شده، می‌تواند الگوی هیدروترمال به‌همراه تحرک مجدد فلوتور باشد. بدین ترتیب که سیالات حاوی فلوتور در حوضه رسوبی در حین صعود از طریق زون‌های خردشده گسلی با آب‌های فرورو و جوی با دما و شوری کمتر برخورد کرده و در نتیجه کاهش دما و شوری محلول به‌دست آمده، کانسار ته‌نشست شده است؛ زیرا حلالیت فلوریت محلول در آب با کاهش شوری کاهش می‌یابد.

به نظر می‌رسد که سیال سازنده سرعت صعود زیادی داشته است؛ در نتیجه فرصت واکنش شیمیایی یا تبادل حرارت و شوری با سنگ دیواره را نداشته است. در این صورت، سیال در مسافت ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خود را حفظ کرده و در فاصله دورتری از منشأ خود، فلوریت را بر جای گذاشته است.

به این نکته باید توجه داشت که تمامی کانی‌های میزبان سیالات درگیر دارای یک ارتباط ژنتیکی و مکانی نزدیک هستند، به‌طور مثال نمی‌توان یک سیال درگیر از یک کانی هیپوژن را با یک سیال درگیر دیگر از یک کانی سوپرژن مقایسه کرد؛ هر چند کانی‌های میزبان آن‌ها در کنار یکدیگر باشند و همین‌طور اگر فاصله مکانی دو کانی میزبان بیش از چند کیلومتر باشد، مقایسه سیالات درگیر آن‌ها بدون ایراد نخواهد بود. البته، تشخیص فاصله مکانی مناسب به نوع کانسار بستگی دارد. با ترسیم داده‌های ریزدماسنجی سیالات درگیر معدن قهرآباد در نمودار ویلکینسون (Wilkinson, 2001) و تعیین روندهای تغییر سیال مشخص شد که چهار فرآیند اختلاط با دمای ثابت¹، جوشش²، رقیق‌شدن با آب‌های سطحی³ و کاهش فشار⁴ در کانی‌سازی دخالت داشته‌اند (Tajoddyn et al., 2010). شکل 13، فرآیندهای مورد نظر را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که تنها روندهای تغییر سیال بدون تعیین سیالات مادر در شکل مشخص شده‌اند. با توجه به این که کل بررسی‌های سیالات درگیر باید در تطابق با شواهد زمین‌شناختی باشد؛ بنابراین، شواهد زمین‌شناختی

1. Isothermal mixing
2. Boiling

3. Surface fluid dilution
4. Depressurization

صعود سیالات از طریق زون خردشده گسل‌هاست که این سیالات در برخورد با سنگ آهک و آب‌های جوی در اثر تغییر مؤلفه‌های فیزیکی و شیمیایی فلوریت را ته‌نشین می‌کنند.

طبق الگوی پیشنهادی، شوراب‌های حوضه‌ای فلئور را از واحدهای سنگی و سازندی و یا حتی توده نفوذی شسته‌اند. توده نفوذی موجود در اعماق زمین، عامل به‌گردش در آمدن و

References

- Barnes, H.L., 1998. *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*. John Wiley & Sons, Malaysia, 972 pp.
- Guilbert, J.M. and Park, C.F., 1985. *The geology of ore deposits*. Freeman Publications, New York, 985 pp.
- Haas, J.L., 1971. The effect of salinity on the maximum thermal gradient of a hydrothermal system in hydrostatic pressure. *Economic Geology*, 66(6):940–946.
- Kholghi Khasraghi, M.H., 1999. Geological map of Irankhah. Scale 1:100,000. Geological Survey of Iran.
- Moslehi, M., 2013. The study of fluid inclusion and geochemistry of Qahr-Abad Soliman deposit in Kurdistan province. M.Sc. Thesis, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran, 142 pp. (in Persian with English abstract)
- Rajabzadeh, M.A., 2007. A fluid inclusion study of a large MVT barite–fluorite deposit: Komshech, Central Iran. *Iranian Journal of Science and Technology*, 31(1):73–87.
- Roedder, E., 1984. Fluid inclusions, *Reviews in Mineralogy*. Mineralogical Society of America, American Restren, Virginia, 644 pp.
- Shepherd, T.J, Rankin, A.H. and Alderton, A.H., 1985. *A Practical Guide to Fluid Inclusion Studies*. Blackie Publications, Glasgow, 239 pp.
- Tajoddyn, H., Rastad, A., Yaghobpour, A. and Mohajel, M., 2010. The genesis of Barica Gold massive sulfide deposit, east of Sardasht, NW of metamorphic Sanandaj –Sirjan zone base on structure, texture and micro thermometric studies. *Journal of Economic Geology*, 2(1): 97-118. (in Persian)
- Talaih, B., 2010. The study of mineralogy and geochemistry of Qahr-Abad fluorite deposit, SE of Sagez city, Kurdistan province. M.Sc. Thesis, University of Uromieh, Uromieh, Iran, 119 pp. (in Persian with English abstract)
- Whitney, D.L. and Evans, B.W., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 95(1): 185-187.
- Wilkinson, J.J., 2001. Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits. *Lithos*, 55(1-4):229–272.



Study of genesis in Qahr-Abad fluorite deposit using fluid inclusion, southeast of Saqqez, the Kurdistan province

Mehrdad Barati^{1*}, Ebrahim Tale Fazel¹, Afshin Akbarpour², Babak Talaei³ and Masoud Moslehi¹

1) Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

2) Research Institute in Earth Sciences, Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, Tehran, Iran

3) Department of Earth Sciences, Faculty of Sciences, Shiraz University, Shiraz, Iran

Submitted: Sept. 16, 2013

Accepted: Dec. 9, 2015

Keywords: *Qahr-Abad, fluorite deposit, fluid inclusions, Saqqez City, Hydrothermal*

Introduction

The Qahr-abad fluorite deposit is located in the area of 36°10' 3" N and 46°34' 21"E within the Sanandaj-Sirjan district east of the Kurdistan province, Iran and it is located ~57 km southeast of the city of Saqqez (Kholghi Khasraghi, 1999). This deposit is developed as scatter lenses, veins, and veinlets (stockwork structure) within carbonate rocks of Elika formation and controlled by the regional NW–SE trending Zagross thrust nappe system. Fault trends in this area are perpendicular to fault trends in the Zagros zone. The fault dips are nearly vertical and mineralization has occurred in the brecciation fault zone (Talaei, 2010). The rough geological instruction of the deposit has indicated that it is similar to worldwide Epithermal deposits.

The mineralization occurs as replacement (type I)/ open-space (type II) vein fillings and bodies within Mesozoic lime stones (mostly Upper Triassic and Lower Jurassic members of the Elika Formation), where they crop out to form horst structures. The mineralization is typically associated with post Pliocene disjunctive faults, which in part appear to have served as channel ways for the fluorite forming fluids that are representative of the geological setting of the mineralized area.

Fluorite occurs in several color variations such as green, violet, blue, white or colorless, and is accompanied by quartz, barite and calcite (Moslehi, 2013).

Materials and methods

The minerals sampled for the fluid inclusion study include fluorite from mineralization stages.

Samples covered all ore types. Micro thermometry analyses for 23 samples were performed after careful microscopic observation of 35 sections and 30 doubly polished sections. Micro thermometry was undertaken using a Linkam THS600 heating-freezing stage, with a measurable temperature range of between –196 and +600 °C (precision of freezing data and homogenization temperature of ±0.2 °C). Micro thermometry was undertaken in the Department of geology of the Karazmy University.

Results

Petrography and classification of inclusions:

The samples used for the inclusion study were doubly polished sections of fluorite from mineralization stages 1 to 2. A number of inclusion types were identified. These include negative crystals and elongate round, polygonal or irregular shapes with a size range from <1 μm to several tens of μm. Based on their petrographic characteristics at room temperature and phase change characteristics during the heating process, inclusions were grouped into three principal types. Here we just discuss primary and pseudo secondary fluid inclusions, mainly including three fluid inclusions as follows:

1) (vapor + liquid) or (L+V) and negative crystal fluid inclusions, each of which will provide more believable information for the mineralization hydrothermal fluid. These fluid inclusions in fluorite are, isolated, and irregular or rectangular with 10 μm to 20μm long major axes. They include two phases at room temperature, an aqueous liquid (L) and some kind of carbonic vapor phase (V), and have L/ (V +L) Filling ratio

values of 90–95%. Abundant fluid inclusions are present.

2) fluorite that are generally quadrilateral in shape, have 2–20 μm long major axes, and occur as clusters or form trails. These fluid inclusions contain three phases at room temperature depending on the density of the nonaqueous gases in the fluid inclusions and have nonaqueous phase ratios of around 5%. They have major axes 2–15 μm long. They contain two phases and have $L/(V + L)$ volume ratio values around 0.95% .

3) Fluid inclusions in some fluorite are rare. Most of them are isolated and roughly circular. They have 2–10 μm long major axes, and contain four phases as (liquid+ vapor + daughter mineral 1+ daughter mineral 2) or (L+V+S1+S2) and have $L/(V + L)$ volume ratios of 90–92% at room temperature. Some twin fluid inclusions were also identified in this type and analyzed during this study.

Discussion

Thermometric investigations indicate that homogenization temperatures for primary and pseudo secondary fluid inclusions in all fluorite types range from 155 to 245°C with an average of 187°C. Gas phase changes to liquid phase in the homogenization processes. The degree of fillings in most inclusions are more than 90%. -23 to -18 °C with an average of -20.7°C. There are eutectic temperatures in the freezing method and calculated salinity is 30.8 wt% NaCl equivalents in terms of the H₂O-CO₂-NaCl system.

The Bernoulli Effect has occurred in this resource (Barnes, 1998). Isothermal mixing, boiling, surface fluid dilution and depressurization are four processes that have effects on the mineralization in this resource (Wilkinson, 2001). Finally we

think, Qahr -abad fluorite deposit has been prepared by hydrothermal to epithermal processes and fluids have basin origin (fossil waters) (Tajoddyn, et al, 2010) and the orebody has precipitated from this fluid, when it was mixed with cold surface waters.

References

- Barnes, H.L., 1998. Geochemistry of hydrothermal ore deposits. John Wiley & Sons, Malaysia, 972 pp.
- Kholghi Khasraghi, M.H., 1999. Geological map of Irankhah. Scale 1:100,000. Geological Survey of Iran.
- Moslehi, M., 2013. The study of fluid inclusion and geochemistry of Qahr-Abad Soliman deposit in Kurdistan province. M.Sc. Thesis, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran, 142 pp. (in Persian with English abstract)
- Tajoddyn, H., Rastad, A., Yaghobpour, A. and Mohajel, M., 2010. The genesis of Barica Gold massive sulfide deposit, east of Sardasht, NW of metamorphic Sanandaj –Sirjan zone base on structure, texture and micro thermometric studies. *Journal of Economic Geology*, 2(1): 97-118. (in Persian)
- Talaei, B., 2010. The study of mineralogy and geochemistry of Qahr-Abad fluorite deposit, SE of Sagez city, Kurdistan province. M.Sc. Thesis, University of Uromieh, Uromieh, Iran, 119 pp. (in Persian with English abstract)
- Wilkinson, J.J., 2001. Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits. *Lithos*, 55(1-4):229–272.