مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

سال بیست و ششم، شمارهٔ اول، بهار ۹۷، از صفحهٔ ۲۰۹ تا ۲۱۸

انجمن بلورشناسی و کانی شناسی ایران

کانی سازی و ارزیابی سیالات مادر در تشکیل کانسار فلوریت کوه سفید، شمال غربی تربت جام

لیلا پاژخ زاده[۱]، خسرو ابراهیمی نصرآبادی*[۱]، حمیدرضا وطن پور[۲]، فرزین قائمی[۱]، جواد درویشی خاتونی[۳]

۱- گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشگاه فرهنگیان مشهد

۳- مرکز زمین شناسی و اکتشافی آبادان

(دریافت مقاله: ۹۵/۱۱/۲۴، نسخه نهایی: ۹۶/۵/۱۴)

چکیده: ذخیره معدنی فلوریت کوه سفید، در نزدیکی روستای کوه سفید در ۱۱۰ کیلومتری جنوب شرقی مشهد قرار دارد. واحدهای زمین‌شناسی در برگیرنده منطقه مورد بررسی مربوط به سازند کشف‌رود با سن ژوراسیک پیشین تا پسین است. گسل‌هایی با امتداد شمال غرب- جنوب شرق و شمال شرق- جنوب غربی در این ناحیه دیده می‌شوند. رگه‌های فلوریت دارای روندهای متفاوت، با ضخامت ۲ تا ۲٫۵ متر و طول ۵۰ متر هستند. محلول‌های گرمابی با دمایی در گستره ۱۸۱ و ۱۲۵ درجه سانتیگراد و میانگین ۱۵۲ درجه سانتیگراد در امتداد گسل‌ها و درز و شکاف ها تشکیل ماده معدنی فلوریت را داده است. میزان شوری سیالات درگیر پایین و دامنه تغییرات آنها از ۱٫۹۷۹ تا ۸٫۳۷ درصد است و به طور میانگین، شوری ۵٪ تا ۶٪ را نشان می‌دهند. با توجه به شواهد زمین‌شناسی، سنگ‌نگاری، کانی‌سازی و دمای سیالات درگیر، فلوریت این منطقه از نوع گرمابی است

واژه‌های کلیدی: *فلوریت؛ سیال درگیر؛ کانی سازی؛ سفیدکوه؛ تربت جام.*

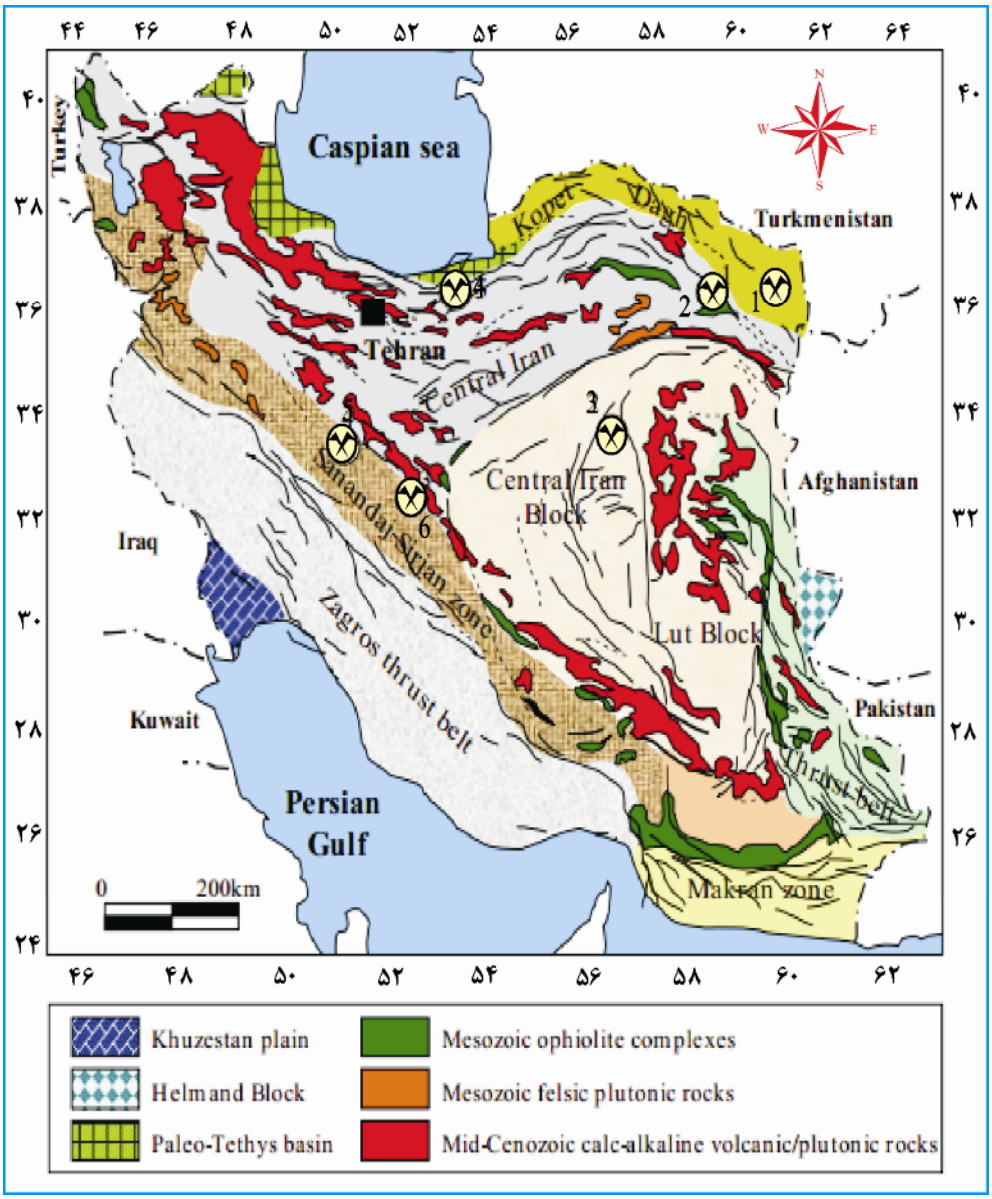
مقدمه

فلوریت یک کانی رایج است که بیشتر به صورت رگه‌ای در کانسارهای بزرگ و کوچک در بسیاری از مناطق یافت می‌شوند. در محیط‌های زمین‌شناسی گوناگون، فلوریت دارای الگوهای زمین‌شیمیایی متفاوتی است که بیانگر نوع کانسار و سنگ میزبان است [۱]. فلوریت در مراحل آخر تبلورماگمایی، ته نشست می‌کردند و اغلب در محیط‌های گرمابی همراه با کنارزایی معمول آن یافت می‌شود. کانی‌هایی که بیشتر همراه با فلوریت حمل و ته‌نشست می‌شوند عبارتند از اسفالریت، گالن، باریت، کلسیت و کوارتز [۲]. بر اساس جدیدترین نظام-های رده‌بندی کانسارها، کانسارهای فلوریت دارای سه خاستگاه ماگمایی، مربوط به فعالیت‌های ساختاری و رسوبی هستند. مهمترین عوامل ماگمایی-گرمابی کنترل‌کننده کانی‌سازی در ذخایر فلوریت شامل موقعیت زمین‌دینامیکی، شیمی سیال، مجموعه کانی‌شناسی و دگرسانی، نقش سنگ میزبان، شیب زمین گرمایی، مقدار مواد فرار سیال، عمق و زمان است [۳]. تاکنون بیش از ۳۰ کانسار و منطقه پی‌جویی فلوریت در ایران شناسایی شده که در مجموع دارای ذخیره ۱٫۳۵ میلیون تن، معادل ۰٫۶ درصد ذخایر فلوریت دنیاست [۴]. بیشتر این کانسارها در استان‌های خراسان، مازندران، اصفهان، کردستان، مرکزی، یزد، سمنان و کرمان قرار دارند. از جمله این کانسارها می‌توان به ذخایر معدنی فلوریت کمرمهدی در جنوب‌غربی طبس [۵]، پیناوند در شمال‌شرقی اصفهان [۶]، بُزیجان در غرب محلات [۷]، و کمربند فلوریت سوادکوه در جنوب قائم‌شهر [۸] و کانسار فلوریت- باریت آتشکوه در جنوب

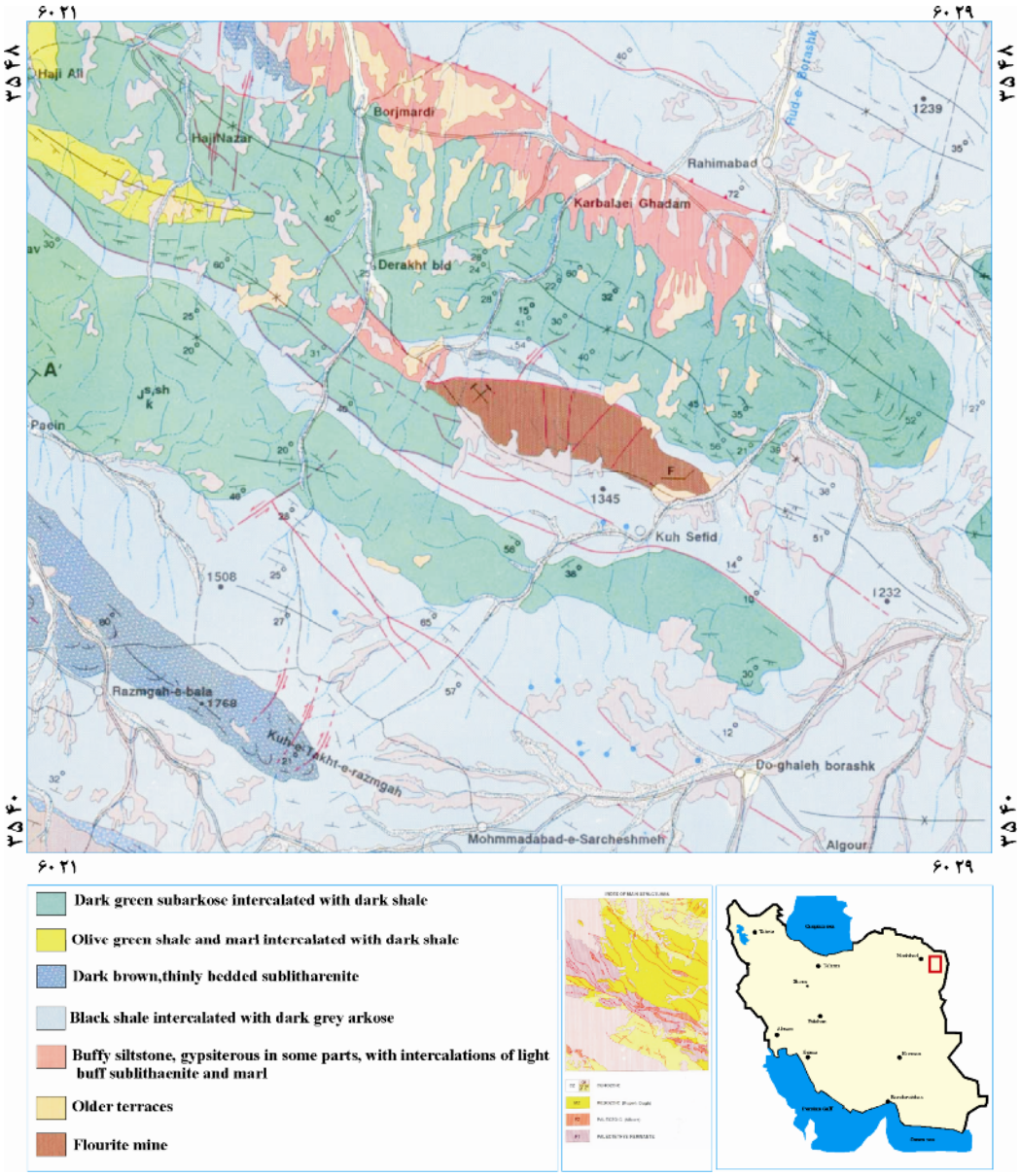
*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۵۳۱۵۲۷۸۴، نمابر: ۰۵۱۳۸۸۰۵۴۸۸، پست الکترونیکی: khebrahimi@um.ac.ir

دلیجان [۳] اشاره کرد. فلوریت در ایران بیشتر به صورت کانی همراه با کانسارهای فلزی چون سرب و روی و همچنین در توده‌های آذرین پگماتیتی به صورت رگچه‌ای و یا به همراه ذخایر باریت و زغال‌سنگ گزارش شده است [۴]. موقعیت برخی از کانسارهای فعال فلوریت ایران در شکل ۱ نشان داده شده است [۳].

منطقه مورد بررسی این پژوهش، به طول جغرافیایی ″۵۸ ′۲۵ °۶۰ و عرض جغرافیایی ″۵۳ ′۴۵ °۳۵ درجه شمالی، در فاصله ۱۱۰ کیلومتری جنوبی شرقی مشهد و ۶۵ کیلومتری شمال غربی تربت‌جام و در شرق نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ سفید سنگ [۹] قرار دارد. واحدهای سنگی این منطقه، سنگ‌های رسوبی سازند کشف رود با سن ژوراسیک پیشین تا پسین است این واحدهای رسوبی در منطقه تشکیل ناودیس و تاقدیس‌هایی را داده‌اند و محدوده مورد بررسی در محور یکی از همین ناودیس-ها قرار گرفته است (شکل ۲).

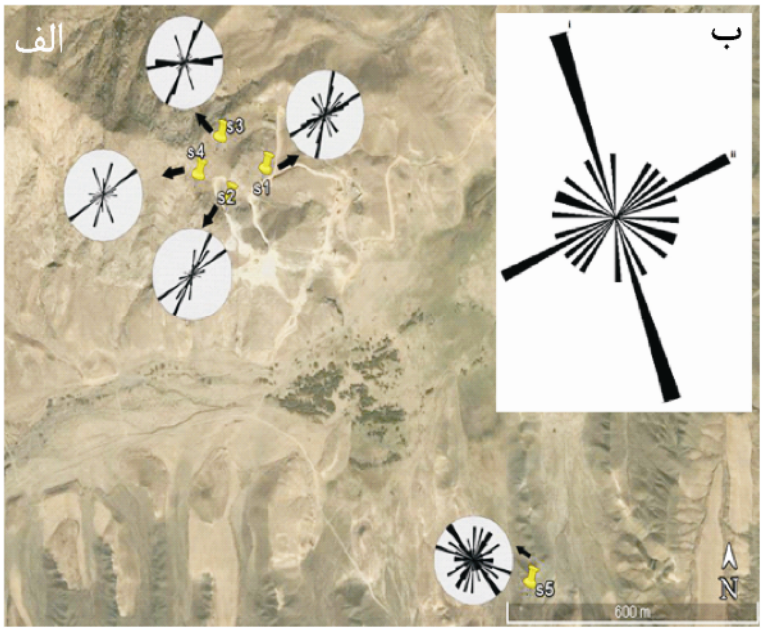


شکل ۱ موقعیت برخی از کانسارهای فعال فلوریت در نقشه زمین‌شناسی ایران [۳]، این معادن به ترتیب شامل ۱- فلوریت سفیدکوه، ۲- فلوریت جویمند گناباد، ۳- فلوریت کرمهدی طبس، ۴- فلوریت پیناوند و کمشچه اصفهان، ۵- کمربند فلوریت محلات- دلیجان و ۶- کمربند فلوریت کیاسر- پل سفید (شامل منطقه سوادکوه) است.



شکل ۲ نقشه ساده شده زمین‌شناسی منطقه کوه سفید که موقعیت معـدن فلوریـت کوه سفید را نشان می‌دهد (سازمان زمین شناسی کشور).

از ویژگی‌های بارز این کانسار، کانی‌سازی فلوریت، کوارتز، کلسیت و باریت به صورت رگه‌ای در امتداد درزو شکستگی‌های حاصل از دو گسل خوردگی با روند NE-SW و NW-SE است. ساختارهای با روند شمال غرب و با شیب زیاد به سمت جنوب غربی که با گسل‌های اصلی در مقیاس ناحیه‌ای همسو هستند و حرکتی چپ گرد دارند، بیشترین فراوانی را در منطقه مورد بررسی دارند و ساختارهای با روند شمال شرق که مانند ساختارهای قبلی پرشیب هستند و حرکتی راستگرد را در منطقه نشان می دهند فراوانی کمتری دارند. بیشترین کانی-سازی مطابق با روند گسل‌های منطقه در راستای NW-SE صورت گرفته است. مجموعه ساختارها سبب تشکیل مکان مناسبی برای ته‌نشست محلول‌های کانه‌دار می‌شود (شکل ۳). در این پژوهش ضمن بررسی کانی‌شناسی، بافت و ساخت ذخیره و زمین‌سنجی رگـه‌هـا در منطقه مورد بررسی بـا اسـتفاده از بررسی‌های سیالات درگیر، دمای همگن‌شدگی و درجه شوری سیالات به وجود آورنده ذخیره معدنی، بـه بررسـی شـرایط فیزیکوشـیمیایی کانسار فلوریـت کوه سفید می‌پردازیم. همچنین بـا اسـتفاده از ایـن شواهد چگونگی رخداد و مراحل شکل‌گیری آن مورد بررسی و بحث قرار می-گیرد.



شکل ۳ الف: نمودار گل سرخی درزه و شکستگی‌ها در شمال و جنوب منطقه، ب: نمودار گل سرخی فراوانی گسل‌های منطقه.

روش بررسی

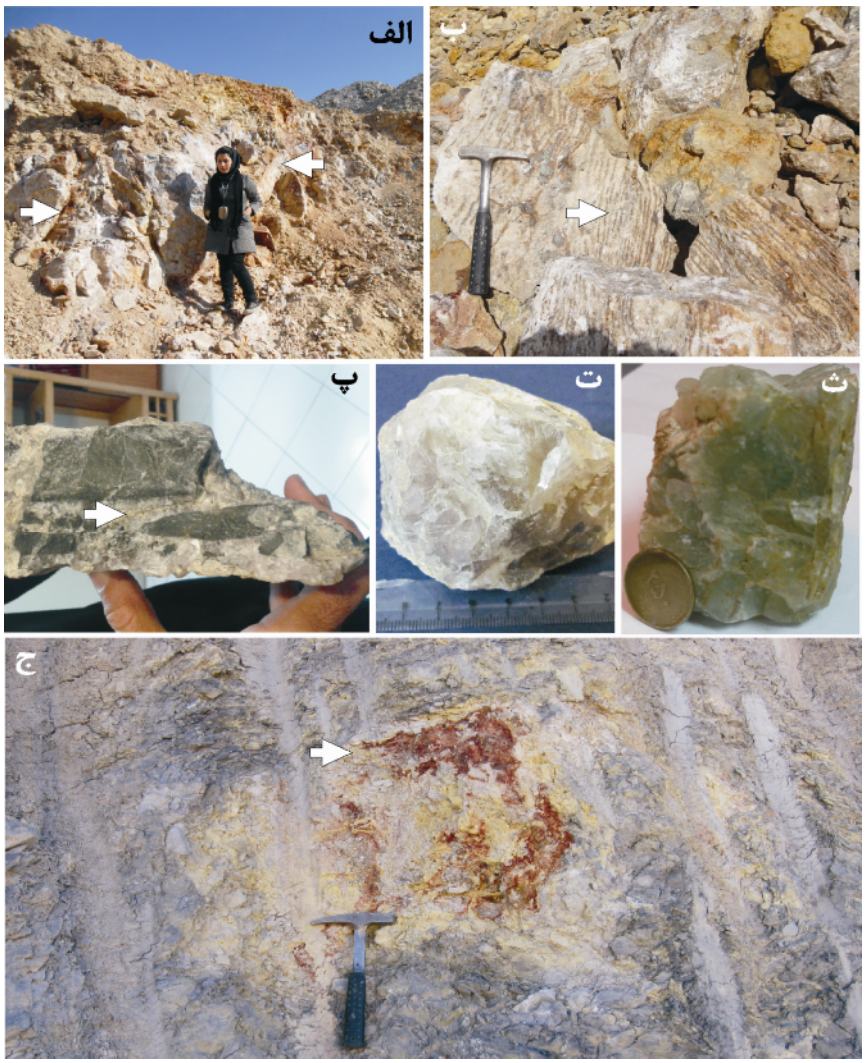
در این پژوهش، بررسی‌ها در دو بخش صحرایی و آزمایشگاهی انجام گرفت. در بخش صحرایی، پیمایش‌هایی جهت بررسی تشکیلات و سازندهای زمین‌شناسی، ویژگی‌های ماکروسکوپیکی انواع سنگ‌های موجود، مشاهده برش گرمابی، رگه و رگچه‌های کانی‌سازی و ارتباط آن‌ها با روند درز و شکاف‌ها و گسل‌های موجود در منطقه، صورت گرفت. در این مرحله با توجه به رنگ‌های متفاوت فلوریت‌ها تعداد ۱۳ نمونه فلوریت در دو رنگ بنفش و سبز و همچنین ۲۱ نمونه از سنگ‌های رسوبی دربرگیرنده رگه‌های کانی‌سازی برداشت گردید. نمونه‌برداری بر اساس ارتباط کانسار با سنگ‌های درون-گیر، روابط صحرایی بین انواع فلوریت‌های موجود، پی‌جویی انواع رگه‌ها، رگچه‌ها، تغییرات افقی و قائم در آن‌ها و در نهایت شرایط زمین‌ساختی منطقه و تغییرات فیزیکوشیمیائی در نمونه‌ها انجام شد. به منظور سنگ‌نگاری و ریزدماسنجی سیالات درگیر، ۶ مقطع دو بر صیقلی از فلوریت‌ها تهیه شد و بررسی سیالات‌درگیر که شامل سنگ‌نگاری سیالات، دماسنجی و تعیین درجه شوری است در مجموع بر ۱۴۰ سیال درگیر در مقاطع موجود انجام شد. بررسی‌های سنگ‌نگاری سیالات با استفاده از میکروسکوپ قطبشی مدل المپیوس مجهز به نور عبوری و بازتابی در دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. در این بررسی‌ها نوع سیال درگیر، فاز غالب، شکل، طول، عرض و قطر آنها تعیین شد. همچنین درجه شوری و دمای همگن‌شدگی سیالات درگیر با روش سرمایش و گرمایش در دانشگاه فردوسی مشهد و با استفاده از میکروسکوپ لینکام، مجهز به پلاتین گرمایی- سرمایی اندازه‌گیری شد. گستره تغییرات دمایی در این دستگاه بین ۱۹۰°C- تا ۶۰۰°C+ است. دقت اندازه-گیری طی فرایند سرمایش در حدود ۰/۱°C± و طی گرمایش حدود ۰/۲°C± تعیین شده است. آهنگ سرمایش و گرمایش به ترتیب بین ۲ تا ۳ درجه سانتی‌گراد و ۵ تا ۸ درجه سانتی‌گراد بر دقیقه متغیر بود. پس از انجام این بررسی-ها، نمودارهای ستونی مربوطه با استفاده از نرم افزار spss رسم شد.

بحث و بررسی

چگونگی رخداد و کانی‌سازی

بررسی‌های انجام شده در این پژوهش نشان می‌دهد که سیالات ماگمایی حاوی F (فلوئور) از یک توده نفوذی احتمالا توده کوارتز مونزودیوریتی واقع در ده کیلومتری جنوب شرقی ذخیره معدنی فلوریت کوه سفید، نشأت گرفته‌اند و سیالات کانه‌ساز پس از طی مسیری، وارد درز و شکستگی‌های سنگ-های کربناته منطقه شده و با Ca (کلسیم) سنگ میزبان واکنش داده و به صورت رگه و رگچه‌های فلوریت، کوارتز، کلسیت و باریت [۱۱،۱۰] درآمده‌اند که از لحاظ زمان شکل گیری فقط شامل یک مرحله کانی‌سازی اولیه است. در شمال منطقه مورد بررسی، روند رگه‌ها به طور تقریبی شمالی- جنوبی

با شیب به سمت جنوب غرب برآورد شده است. در جنوب منطقه نیز ۳ رگه با عرض بیشینه ۲ تا ۲٫۵ متر در راستای شمال شرقی - جنوب غربی (در امتداد گسل‌ها) و شیب ۳۰ درجه به سمت جنوب شرقی در میان سنگ میزبان مادستون کوارتزی آواری گسترده شده‌اند (شکل ۴ الف). رگه‌های کانی-سازی فلوریت در جنوب منطقه بیشتر همراه با رگه‌های کانی-سازی کوارتزی و باریتی و در شمال منطقه با رگه‌های کلسیتی دیده می‌شود. رگچه‌های کانی‌سازی نیز در خارج از پهنه‌های درز و شکستگی وجود ندارد و بیشتر در مادستون کوارتزی آواری دیده می‌شوند. ضخامت این رگچه‌ها به ۵ میلی‌متر نیز می‌رسد (شکل‌های ۴، ب و پ). فلوریت‌های رگه‌ای که در میان سنگ میزبان مادستون کوارتزی آواری در جنوب شرقی منطقه دیده می‌شود به رنگ بنفش و در مادستون کربناتی واقع در شمال‌غربی منطقه بیشتر به رنگ سبز مشاهده می‌گردد. (شکل‌های ۴ ت و ث). در بخش شمالی منطقه مورد بررسی که فعالیت گسل‌ها بیش از سایر مناطق است، نوع دیگر کانی‌سازی که ارتباط تنگاتنگی با زمین‌ساخت دارد، رخ داده است. در این مناطق، سنگ‌های کربناته خرد شده توسط سیالات ماگمایی، با رسوب عناصری مانند F ترکیب و CO_2 در بین این قطعات و واکنش آنها با Ca سنگ میزبان قطعات تشکیل دهنده برش فلوریتی-کلسیتی تشکیل داده‌اند. این نوع کانی‌سازی که به برش گرمابی معروف است، با ابعاد کوچک و در کنار رگه‌های فلوریتی، حدود ۱۰٪ از کانی‌سازی منطقه را به خود اختصاص می‌دهد که به‌شدت تحت تاثیر دگرسانی اکسیدهای آهن قرار گرفته است و به رنگ‌های قرمز، نارنجی و زرد دیده می‌شوند (شکل ۴ ج).

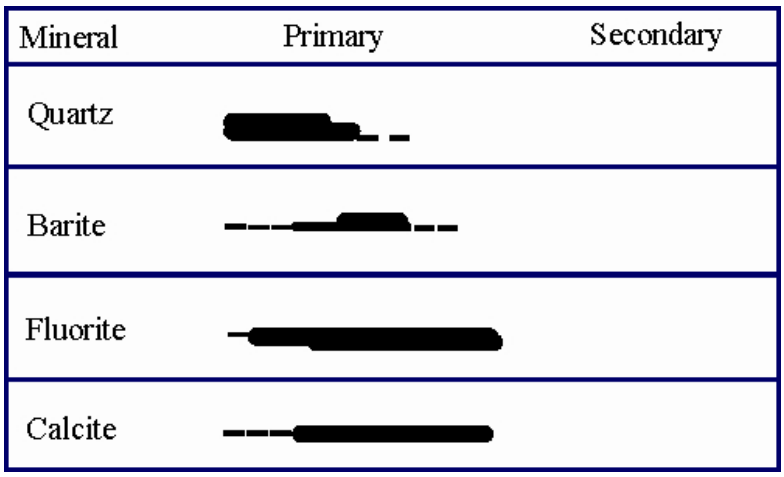


شکل ۴ الف: رگه‌های فلوریت و کوارتز در جنوب منطقه کوه سفید، ب: نمایی از رگچه‌های کانی‌سازی کوارتز، پ: رگچه‌های فلوریت- کوارتز (جنوب منطقه مورد بررسی)، ت: فلوریت سفید، ث: فلوریت سبز، ج: لیمونیت و هماتیت (جنوب منطقه مورد بررسی).

کانی‌سازی کوارتز، کلسیت و باریت در کنار رگه‌های فلوریت و در برش‌های گرمابی، به دلیل رفتار زمین‌شیمیایی متفاوت و در زمان‌های متفاوت نهشته شده است. به منظور یافتن ترتیب زمانی کانی‌سازی‌ها توالی کنارزایی به صورت شکل ۵ رسم شده است. سیال ماگمایی پس از رسیدن به درز و شکستگی‌ها، کوارتز و پس از آن به ترتیب موجب نهشتن کوارتز- فلوریت، کوارتز- فلوئوریت- باریت و فلوئوریت- کلسیت (شمال منطقه مورد بررسی) شده است. ضخامت خط‌های نشان دهنده‌ی مقدار نسبی هر یک از کانه‌ها متفاوت است. ضخامت-های بیشتر نشان دهنده کانی‌سازی بیشتر در آن مرحله است و برعکس.

سنگ‌نگاری سیالات درگیر

سیالات درگیر بخش جدایی‌ناپذیر از هر سنگ یا کانی هستند و بررسی آنها به اندازه‌ی بررسی اجزای کانیایی و شیمیایی اصلی سنگ، اهمیت دارد و از نتایج حاصل می‌توان برای بازسازی محیط تشکیل سنگ یا کانی استفاده کرد. بررسی‌های سیالات درگیر به ویژه در زمینه‌ی شکل‌گیری کانسنگ از اهمیت خاصی برخوردارند و نقش با ارزشی در درک فعلی ما از حمل و ترسیب کانسنگ‌ها داشته‌اند [۱۲،۱۳]. به منظور بررسی سیالات درگیر ابتدا می‌بایست مطالعات جامعی از زمین‌شناسی، دگرسانی، رخدادهای کانی‌سازی، ناهنجاری‌های زمین‌شیمیایی، سنگ‌نگاری و توالی کنارزایی منطقه انجام داد. سیال‌های درگیر شکل‌های متنوع دارند که تا حدودی توسط بلورشناسی کانی میزبان کنترل می‌شوند، همچنین اندازه‌ی آنها در بررسی‌های میکروسکوپی بین ۲ تا ۲۰ میکرون مشخص شد. ابعاد و گاهی ترکیب فازهای دختر موجود در سیالات درگیر با بررسی‌های سنگ‌نگاری تعیین می‌شوند. در بیشتر سیالات درگیر، ماده اصلی آب و پس از آن دی‌اکسیدکربن و نمک است. در بررسی سیالات درگیر تعیین فاز غالب نیز دارای اهمیت بسیاری است. ترکیب شیمیایی محلول کانه‌دار ارتباط مستقیمی با ترکیب شیمیایی ماگمای مادر دارد و ترکیب شیمیایی ماگمای مادر نیز براساس موقعیت زمین‌ساختی، نوع موادی که در منشا ذوب می‌شوند، درصد ذوب، میزان جدایش و درصد آمیختگی و ذوب سنگ‌های مسیر تغییر می‌کند. ترکیب شیمیایی محلول کانه‌دار می‌تواند شامل تعدادی مواد اصلی و فرعی، لیگاندهای خاص و مواد فلزی باشد [۱۴]. خاستگاه محلول کانه‌دار می‌تواند ماگمایی، سطحی، دگرگونی و غیره باشد. این خاستگاه توسط بررسی ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن و هیدروژن و بررسی سیالات درگیر مشخص می‌شود. سیالات درگیر از نظر زمان تشکیل به سه گروه اولیه، ثانویه و ثانویه کاذب تقسیم می‌شوند که نوع اولیه و ثانویه کاذب معرف ویژگی‌های سیالات طی رشد هستند، اما ثانویه‌ها به ویژه هنگامی که مسیرهای مهاجرت سیال و سیستم‌های آب زمین‌شناسی سنگواره مد نظر باشد، کاربرد دارند. از سیالات درگیر اولیه و ثانویه موجود در کانه‌ها و باطله می‌توان برای شناسایی آثار برخی انواع سیالات کانسارساز، تشخیص مجموعه کانی‌های کانسنگی ویژه، و تعیین نواحی‌ای که در آنها این سیالات بیشترین تمرکز را داشته‌اند و محاسبه و پیش‌بینی شرایط مساعد فشار و دما برای ترسیب استفاده کرد [۱۵]. معمولاً در ده کانی اصلی کوارتز، فلوئوریت، هالیت، کلسیت، آپاتیت، دولومیت، اسفالریت، باریت، توپاز و کاسیتریت، سیال های درگیر گزارش شده‌است [۱۶].

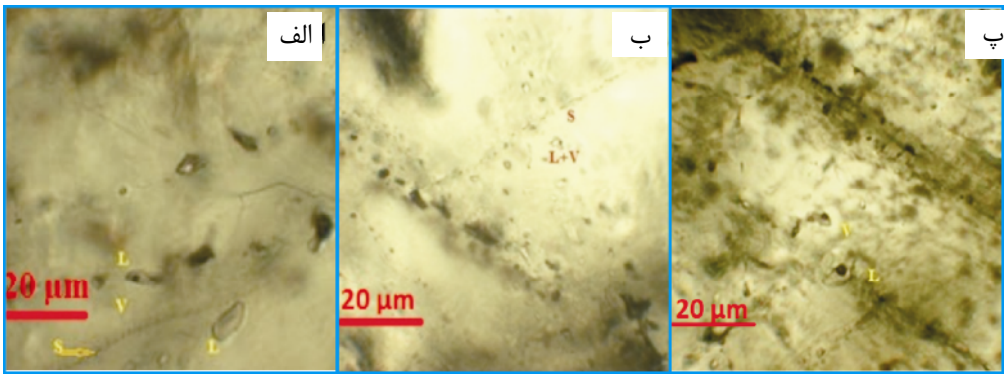


شکل ۵ توالی کنارزایی کانی سازی در فلوریت سفیدکوه.

در این پژوهش، سیالات بر اساس ویژگی‌های سنگ-نگاری در دمای اتاق (۲۵ °C) و بر اساس معیارهای ارائه شده توسط رودر، گلداشتاین و رینولدز [۱۷، ۱۸] رده‌بندی شدند. اگرچه سیالات به شکل‌های متنوع دیده می-شوند؛ ولی شکل‌های منفی بلور در سیالات یافت شده در کانی فلوریت متداول است. سیالات کشیده، نیز به ویژه در کانی‌های باریت و کوارتز وجود دارد. شواهد باریک‌شدگی و نشت نیز در سیالات دیده می‌شود. چنانکه گفته شد شکل سیالات درگیر متنوع بوده و تا حدودی توسط بلورشناسی کانی میزبان کنترل می‌شود. سیالات در هالیت ممکن است شکل بلورین منفی کانی میزبان را به خود بگیرند یا به شدت بی نظم و پهن باشند. در کانی‌های با سختی پایین با رخ خوب، مانند کربنات‌های لوزی رخ، دیواره‌های سیالات اغلب در طول سطوح رخ کانی میزبان توسعه یافته‌اند. شکل-های کروی و شلغمی شکل نیز به ویژه در کوارتز رایج هستند. در حالی‌که سیالات درگیر لوله‌ای و تخت بیشتر در کانی‌های کشیده و منشوری مانند آپاتیت توسعه می‌یابند [۱۵]. سیالات به سه شکل اولیه، ثانویه و ثانویه کاذب مشاهده می‌شوند؛ که برای اطمینان از درست بودن نتایج به‌دست آمده، تمام اندازه‌گیری‌ها بر سیالاتی انجام شد که دارای معیارهای لازم برای سیالات اولیه [۱۷] بودند. در منطقه مورد بررسی، نمونه‌های درشت بلور و شفاف فلوریت برداشت شد که در آنها انواع سیالات کانسار فلوریت سفیدکوه به صورت تک فاز غنی از سیال (L) تک فاز غنی از بخار (V) و دو فازی (L+V) دیده می‌شود. سیالات دو فازی (L+V) فراوانی بیشتر و اندازه بزرگتر نسبت به سایر سیالات درگیر دارند. بیشترین طول آنها به ۱۲ µm می‌رسد (شکل ۶).

بیشتر سیالات کوچکتر از ۰/۱ میلی‌متر (۱۰۰ میکرون) هستند و تنها با کمک یک میکروسکوپ نوری مناسب قابل مشاهده‌اند. اندازه‌ی معمول آنها در بررسی‌های میکروسکوپی بین ۲ تا ۲۰ میکرون است اما سیالات کوچکتر از ۱ میکرون نیز وجود دارد. این حفره‌ها خیلی ریز احتمالاً بخشی از یک فرایند کاهش پیوسته‌ی اندازه طبیعی سیالات تا رسیدن به ابعاد یک نقص نقطه‌ای واحد در شبکه بلورین هستند [۱۵]. اما بیشترین اندازه آنها در منطقه بین ۴-۸µm است. شکل سیالات درگیر در منطقه از کروی و بیضوی تا کشیده و نامنظم در تغییر است.

به طور کلی سیالات درگیر ثانویه از سیالات درگیر اولیه در منطقه اندازه کوچکتری دارند. سیالات درگیر ثانویه در منطقه به صورت دو فازی (L+V)، تک فازهای گاز (V) و مایع (L) دیده می‌شود. اندازه قطر حباب گاز در سیالات درگیر ۱-۲ µm است. سیالات تک فاز مایع (L) و گاز (V) نیز در نمونه‌ها تشخیص داده شد که برای بررسی‌های ریزدماسنجی مناسب نبودند. نوع سیال درگیر، فاز غالب، شکل، طول، عرض و قطر سیالات در جدول ۱ ارائه شده است.



شکل ۶ الف: سیالات درگیر اولیه؛ فاز مایع (L)، فاز گاز (V)، سیالات درگیر ثانویه (S)، ب: سیالات درگیر اولیه (L+V) و سیالات درگیر ثانویه (S)، پ: سیالات درگیر اولیه؛ فاز مایع (L)، فاز بخار (V).

جدول ۱ سنگ‌نگاری سیالات درگیر در منطقه کوه سفید.

گروه	نوع سیال	نوع سیالات درگیر	فاز غالب	شکل	طول(µm)	عرض(µm)
۱	اولیه	L+V	L	بیضوی، کروی، کشیده	۴>-۱۲	۳-۴µm
۲	اولیه	L	L	بیضوی، کروی	۵>-۸	۱-۲µm
۳	اولیه	V	V	کشیده، بیضوی	۴>-۲	۱-۲µm
۴	ثانویه	V	V	کروی	۳>	۱-۲µm
۵	ثانویه	L	L	کروی	۳>	۱-۲µm
۶	ثانویه	L+V	L	کروی، کشیده	۵>	۲-۳µm

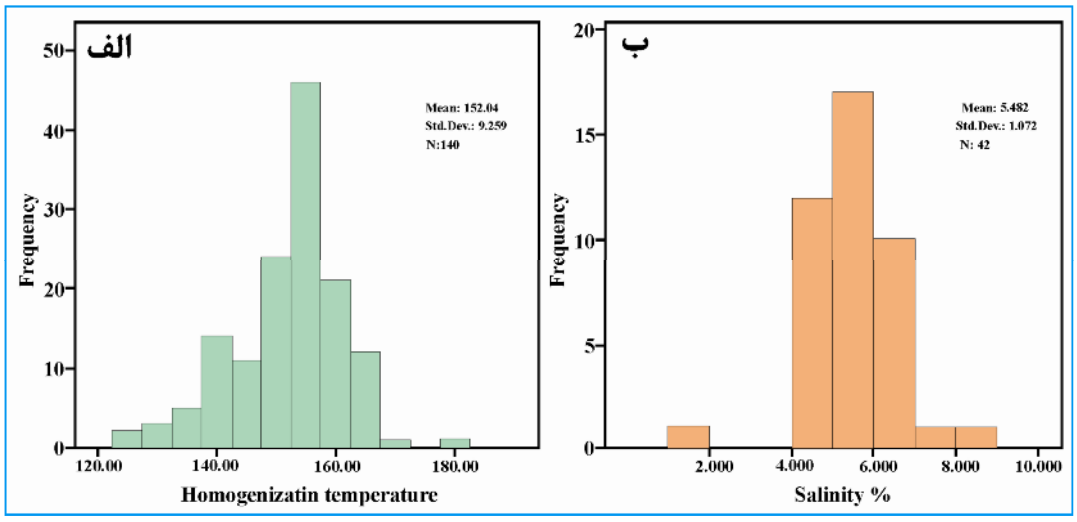
دماسنجی و تعیین شوری سیالات درگیر

بررسی‌های سیالات درگیر یکی از روش‌های مفید برای تعیین دمای تشکیل کانسار است که می‌تواند با اطمینان زیادی برای تعیین ترکیب شیمیایی و درجه شوری سیال کانه‌ساز نیز استفاده شود [۱۴-۱۶]. هرچه نسبت حباب بخار به بیشتر باشد دمای به دام افتادن بالاتر خواهد بود. این واقعیت اساس استفاده از سیالات درگیر به عنوان زمین‌سنج شد.

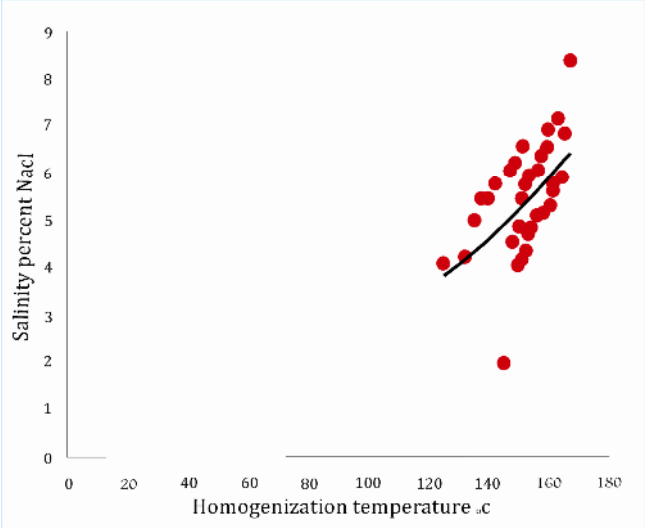
بررسی‌های سیالات درگیر روشی مهم برای تعیین دما و شوری محلول، خاستگاه آن و تغییرات فیزیکوشیمیایی در تکامل سیال است [۱۴]. دمای محلول کانه‌دار به خاستگاه محلول بستگی دارد. سیالاتی که خاستگاه ماگمایی دارند، دمای بالایی دارند و با دور شدن از توده نفوذی و مخلوط شدن با آب‌های جوی دمای محلول کانه‌دار به شدت کاهش می‌یابد. دمای محلول را از بررسی سیالات درگیر و ایزوتوپ‌های پایدار می‌توان تعیین کرد که دماسنجی سیالات درگیر مطمئن‌ترین روش است [۱۴]. میزان شوری محلول نیز می‌تواند از ۰٫۱٪ تا ۶۰٪ متغیر باشد. بیشترین شوری مربوط به محلول ماگمایی است. دگرسانی‌هایی که در ذخایر پورفیری تحت تاثیر مستقیم محلول‌های ماگمایی ایجاد می‌شوند، شوری بیش از ۲۰٪ دارند، در حالی‌که کم‌ترین غلظت NaCl مربوط به کانسارهای گرمابی است که آب‌های زیرزمینی بیش‌ترین نقش را در تشکیل آنها ایفا نموده‌اند [۱۴]. بررسی‌های دماسنجی در منطقه مورد بررسی با استفاده از سیالات درگیر بر ۶ نمونه از کانی‌های فلوریت صورت گرفت. در جدول ۲، متوسط داده‌های زمین-دماسنجی، شوری و چگالی نمونه‌های مورد بررسی ارائه شده - است و در شکل ۷ نمودارهای ستونی فراوانی دمای همگن شدن سیالات درگیر (Th) و شوری و در شکل ۸ نمودار پراکندگی دمای همگن شدگی- شوری در منطقه مورد بررسی با استفاده از نرم‌افزار Spss رسم شده است.

جدول ۲ متوسط داده‌های زمین‌دماسنجی، شوری و چگالی انواع سیالات درگیر فلوریت کوه سفید.

نمونه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	نوع سیالات درگیر		T_M (L-V) ^0C	T_M ^0C	T_{FM} ^0C	(wt%) Salinity	Density
K_3	۶۰ ۲۶ ۱۸٫۷	۳۵ ۴۵ ۲۸٫۵	اولیه	L+V	۱۵۷	-۳٫۳۱	-۵۴٫۴۹	۵٫۳۰	۰٫۹۵۶
K_4	۶۰ ۲۶ ۱۸ ٫۷	۳۵ ۴۵ ۲۸٫۶	اولیه	L	۱۵۲	_	_	_	_
K_6	۶۰ ۲۶ ۱۸٫۶	۳۵ ۴۵ ۲۸٫۳	اولیه	V	۱۲۵	-۳٫۳۳	-۳۷٫۸۳	۵٫۳۵	۰٫۹۵۶
K_7	۶۰ ۲۶ ۱۹ ٫۱	۳۵ ۴۵ ۲۷٫۸	ثانویه	V	۱۴۹٫۳	_	_	_	_
K_{11}	۶۰ ۲۶ ۱۸٫۵	۳۴ ۴۵ ۲۷ ٫۵	ثانویه	V	۱۴۶٫۵	_	_	_	_
K_{12}	۶۰ ۲۶ ۱۸ ٫۵	۳۵ ۴۵ ۲۶٫۲	ثانویه	L	۱۵۴٫۲	-۳٫۶۲	-۲۵٫۸۲	۵٫۷۳	۰٫۹۵۶
K_{19}	۶۰ ۲۵ ۴۸٫۶	۳۵ ۴۵ ۵۹٫۴	ثانویه	L+V	۱۵۵٫۳۴	-۳٫۶	-۵۴	۵٫۷۷	۰٫۹۵۶



شکل ۷ الف: نمودار دمای همگن‌شدگی سیالات درگیر، ب: نمودار شوری سیالات درگیر.



شکل ۸ نمودار پراکندگی شوری- دمای همگن شدگی سیالات درگیر فلوریت کوه سفید.

در منطقه مورد بررسی، کم‌ترین دمای تشکیل همگن شدن سیال بر کانی فلوریت ۱۲۵ درجه سانتی‌گراد و بیش‌ترین دمای تشکیل همگن شدن سیال ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد است. برای تعیین درصد شوری در سیالات درگیر نمونه‌های مورد بررسی از روش سرمایش استفاده شد. در این روش ابتدا سیال درگیر تا دمای ۹۰- درجه سانتی گراد سرد می‌شود تا به طور کامل یخ بزند و سپس با یک روند آهسته و ثابت، دمای محفظه را افزایش می‌دهند تا اولین قطره سیال دوباره تشکیل شود. دمای شروع ذوب کلروسدیم هیدراته و تشکیل اولین قطره T_{fm} نامیده می‌شود. با افزایش دما، قطعات یخ کاهش می‌یابد که دمایی که در آن آخرین قطعه یخ دوب می‌شود T_m نام دارد و با استفاده از T_mو T_{fm} و یا دمای نقطه همگدازی، نوع نمک‌های موجود در سیال و با استفاده از T_m درصد شوری را می‌توان به دست آورد. شوری و چگالی سیالات با استفاده از نرم افزار Flincor محاسبه شده است.

با بررسی نمودارهای دمای همگن‌شدگی و شوری، می‌توان گفت که رگه‌های فلوریت منطقه مورد مطالعه در دمای پایین (به طور میانگین ۱۵۸درجه سانتی‌گراد) و شوری پایین (به طور میانگین ۵٪- ۶٪) تشکیل شده است و از آنجا که شوری و دما ارتباط مستقیمی با نوع سیال دارد، از این محاسبات و مقایسه با انواع کانسارها و نزدیکی نتایج بدست آمده با کانسارهای فراگرمایی، چنین نتیجه می‌شود که محلول ماگمایی احتمالا از نوع فراگرمایی است. کانسارهای فراگرمایی ابتدا به کانسارهایی گفته می‌شود که در نتیجه فعالیت گرمابی مربوط به فعالیت آتش فشان‌ها و در عمق کم و دمای کم تشکیل می‌شود و دمای آن از ۵۰ تا ۲۰۰ درجه متغییر است. البته دماهایی تا ۳۰۰ درجه نیز معمول است [۱۹]. شوری اندازه‌گیری شده در محدوده کانسارهای فراگرمایی (۵٪- ۱۰٪) قرار می‌گیرد، علاوه بر آن بررسی‌های دماسنجی سیالات درگیر نیز نشان می‌دهد که دمای تشکیل کانسار در گستره‌ی کانسارهای فراگرمایی قرار دارد. اما آهنگ دمایی آن در مقایسه با سایر کانسارهای فراگرمایی پایین است که دلیل آن، مربوط به ساختمان‌های گسلی، درز و شکستگی‌ها و فاصله زیاد پیمایش سیال کانه‌ساز از محل توده نفوذی و همچنین آمیختگی با آب‌های سرد جوی است که از رخدادهای رایج در محیط‌های فراگرمایی است، نمودار پراکندگی شوری- دمای همگن‌شدگی نیز نشان می‌دهد که هرچه دمای تشکیل فلوریت بیشتر باشد شوری نیز افزایش می‌یابد و این دو باهم رابطه مستقیم دارند. هر چه دمای سیال ماگمایی بیشتر شود قدرت انحلال نمک‌ها و در نتیجه شوری آن نیز افزایش می‌یابد. با توجه به این بررسی‌ها و نیز مطالعات انجام شده توسط حسینی (۱۳۹۲) [۲۰]، دما و شوری این کانسار پایین است، این مسأله بیانگر این است که کانی‌زایی در شرایط نوع ایرلندی و یا MVT رخ داده است. بنابراین این کانسار از نوع کانسارهای فراگرمایی است.

برداشت

کانی‌سازی در منطقه مورد بررسی به دو صورت رگه‌ای و برش گرمابی است که از انواع کانی‌سازی رایج در کانسارهای نوع فراگرمایی هستند. کانی‌سازی در این منطقه یک مرحله‌ای و شامل کانی‌های کوارتز، کلسیت و باریت است که کنارزاهای فلوریت در منطقه مورد بررسی هستند. توالی کنارزایی این کانی‌سازی‌ها نشان داد که ترتیب نهشته‌شدن این کنارزا از سیال کانه‌ساز، به صورت رگه‌های کوارتز، کوارتز- فلوریت، کوارتز- فلوریت- باریت در جنوب و فلوریت-کلسیت در شمال

منطقه مورد بررسی است. در بحث سیالات درگیر نیز، بررسی-های سنگ‌نگاری نشان می‌دهد که سیالات به صورت تک فازی و دو فازی، مایع و بخار و فاقد بلورهای نمک و به صورت اولیه و ثانویه هستند. دماسنجی‌های انجام شده نشان می‌دهد که بیشترین دمای اندازه‌گیری شده ۱۸۰ و کمترین دما ۱۲۵ درجه سانتیگراد و دمای همگون شدگی برای سیالات کانه‌ساز در منطقه مورد بررسی به طور میانگین ۱۵۸ درجه سانتیگراد است که این دما با احتساب عوامل تصحیح فشار به عنوان دمای تشکیل (Tf) در نظر گرفته می‌شود. در منطقه مورد بررسی از آنجاکه نهشت در عمق کم و نزدیک سطح انجام شده است، می‌توان این دما را تقریباً معادل دما تشکیل کانسار در نظر گرفت. دما تشکیل ۱۵۸ درجه سانتیگراد در مقایسه با کانسارهای گرمابی مشابه نسبتاً پایین است که این نرخ پایین دمائی، مربوط به ساختمان‌های گسلی، درزه‌ها و شکستگی و یا احتمالاً فاصله زیاد پیمایش سیال کانه‌دار از محل تشکیل و آمیختگی با آب های سرد جوی است. بررسی‌های انجام شده بر شوری نیز نشان می‌دهد که میزان شوری سیالات پایین و دامنه تغییرات آن از ۱/۹۷۹ تا ۸/۳۷ است و به طور میانگین سیالات، شوری ۵٪ تا ۶٪ را نشان می‌دهند. دما و شوری با هم ارتباط مستقیمی دارند و با توجه به مقدار شوری و دما، نوع سیال کانه‌ساز ماگمایی و از نوع کانسارهای فراگرمایی است.

مراجع

[1] Sasmaz A, Önal A, Sagiroglu A, Önal M, Akgul B *"Origin and nature of the mineralizing fluids of thrust zone fluorites in Celikhan (Adiyaman, Eastern Turkey): A geochemical approach"*. Geochem Journal 39 (2005) 131–139.

[2] Deer F.R.S., Howie R.A., Zussman J., *"An Introduction to the Rock Forming Minerals"*, p.511-513 (1966).

[3] Moghadasi S.J., Taale Fazel A., Saadat Bani fatemi A., *Study of Mineralization and Minerals fluid evaluation in Atesh kuh Fluorite Barite (+_Sulfies) deposit,* South of Delijan, (1395) V8, and no1 p.167-180.

[4] Ghorbani M., *"The economic geology of Iran, mineral deposits and natural resources"*, Springer Netherlands, (2013), 569 pp.

[5] Pirouzi M, Ghaderi M, Rashidnejad-Omran N, Rastad E., *"New evidences on mineralization, diagenesis and fluid inclusions at Kamar-Mehdi stratabound fluorite deposit, southwest Tabas. Iran"*, Crystallography and Mineralogy 1, (2009), 83–94.

[6] Gheshlaghi A., Moore F., *"Recognition of Pinavand fluorite mines occurrence based on geothermometry and REE data",* Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, 14(2), (2007), 325-338.

[7] Ehya F., *"Rare earth element and stable isotope (O,S) geochemistry of barite from the Bijgan deposit",* Markazi Province, Iran. Mineralogy and Petrology 104, (2012), 81–93.

[8] Vahabzadeh F., Mehranian M., Mofarrah E., *"Antioxidant activity of polyphenols pistachio hulls"*, Journal of Science Technology, 15, (2004), 132-139.

[9] Ghaemi F., *"1; 100000, Geological map of Neishaboor"*, Geological survey and Mineral Exploration organization of Iran. (1378).

[10] Deer F.R.S., Howie R.A., Zussman J., *"An Introduction to the Rock Forming Minerals",* (1966), p. 511- 513.

[11] Deer F. R. S., Howie R. A., Zussman J., *"An introduction to the rock forming minerals",* Longman Scientific & Technical, Seventeenth impression, (1978), 528 p.

[12] Roedder E., *"Fluid inclusions as tools in mineral exploration"* Econ. Geol. 72, (1977), 503–525.

[13] Spooner E. T. C., *"Fluid inclusion studies of hydrothermal ore deposits"*, In: Hollister, L.S., Crawford, M.L. _Eds.., Fluid Inclusions: Applications to Petrology. Min. Assoc. Canada, Short Course Handbook, vol. 6, (1981), pp. 209–240.

[14] karimpour M.H., Saadat S., *"Applied economic geology"*, Mashhad publishing, (1381), 535 pp.

[15] Shepherd Rankin A., *"Applied Guidance for study of Fluid inclusion"*, Translated by Vartan, S., Danial Publishing, (1386), 288 pp.

[16] Bonev I. K., *"Primary fluid inclusions in galena crystals"*, IMorphology and origin Mineral,v.12, (1977) p. 64-76.

[17] Roedder E., *"Fluid inclusions. Mineralogical Society of America"*, Reviews in Mineralogy, vol. 12, (1984), 644 p.

[18] Goldstein R.H., Reynolds T.J., *"Systematics of fluid inclusions in diagenetic materials"*, Society for Sedimentary Geology. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Short Course 31, (1994), 199 pp.

[19] Shahabpour J., *"Economic Geology"*, Shahid Bahonar University of Kerman publication, (1384) 524 pp.

[20] Hosseini F., *"Study of Fluid Inclusions in Kuh Sefid Fluorite deposit, North Eastern Mashhad"*, M.Sc. thesis in economic geology, Damghan University, (1392) 130 pp.