

ویژگی‌های کانی‌شناسی، زمین‌شیمی و شرایط تشکیل کانسار فلوئوریت دامغان

مریم ریاحی‌ماه^{۱*}، علی اکبر حسن‌نژاد^۲، قربان وهاب‌زاده کبریاء^۳

۱- کارشناس ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان

۲- استادیار زمین‌شناسی اقتصادی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان

۳- استادیار زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری

پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۱/۲۰

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۴/۳/۱۶

چکیده

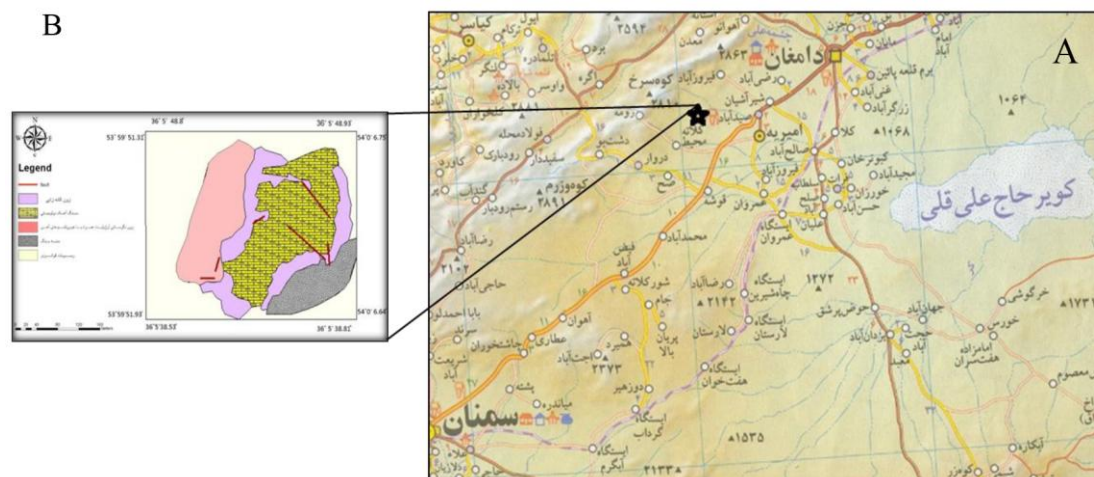
کانسار فلوئوریت دامغان در شمال غرب دامغان قرار گرفته است. این کانسار از شمال به کوه‌های آرسک و از جنوب به گسل عطاری محدود می‌شود. کانی‌سازی در بخش ۱ سازند میلا رخ داده است که اکثراً دولومیت همراه با میان‌لایه‌های مارنی و شیلی زرد رنگ به سن کامبرین میانی می‌باشد. تشکیل فلوئوریت عمدتاً به رنگ سفید و به مقدار کمتر به رنگ بنفش، به صورت رگه‌ای و شکافه پرکنی انجام شده است. همراه با کانی‌سازی فلوئوریت، کانی‌های سولفیدی از جمله: گالن، پیریت، کالکوپیریت، کوولین و همچنین کانی‌های سروزیت، هیدروکسیدهای آهن، کلسیت و باریت نیز قابل مشاهده می‌باشند. بر اساس داده‌های ریز دماسنجی انجام شده بر روی میانبارهای سیال فلوئوریت‌های سفید و بنفش، دامنه دمای همگن‌شدگی از ۱۰۰ تا ۳۶۰ درجه سانتیگراد، و دامنه شوری سیال کانی‌سازی از ۰/۲ تا ۲۰/۲ معادل درصد وزنی نمک طعام در تغییر است. شواهد به دست آمده حاکی از آن است که کانی‌سازی فلوئوریت احتمالاً در اثر اختلاط یک سیال گرمایی با سیالات جوی و حوضه‌ای و در یک شرایط احیایی رخ داده است.

واژه‌های کلیدی: دامغان، فلوئوریت، میانبارهای سیال، ژئوشیمیایی.

مقدمه

شامل کنگلومرا، ماسه‌سنگ، سیلتستون و گل‌سنگ با میان لایه‌های آهکی می‌باشد (آقاناتی، ۱۳۸۳)، کانسار فلوتوریت دامغان در بخش ۱ میلا قرار دارد که اغلب حاوی دولومیت همراه با میان لایه‌های مارنی و شیلی زرد رنگ به سن کامبرین میانی می‌باشد. نظر به اهمیت کاربرد فلوتورین در صنعت (لفوند، ۱۹۸۳)، به ویژه صنعت فولاد و روبه‌رشد بودن این صنعت در کشور و از طرفی واقع شدن کانسار فلوتوریت دامغان در زون ساختاری البرز و عدم انجام مطالعه بر روی این کانسار همانند دیگر کانسار فلوتوریت در این زون (طبسی، ۱۳۷۵؛ وهاب زاده و همکاران، ۱۳۸۵)، از این جهت برای اولین بار این مطالعه در قالب سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی، زمین‌شیمی و سیالات درگیر کانسار فلوتوریت دامغان صورت گرفت.

کانسار فلوتوریت دامغان در استان سمنان در چهار گوش ۱:۱۰۰۰۰۰ کیاسر در بخش شرقی زون البرز مرکزی و در شمال غرب دامغان قرار گرفته است. این منطقه در مختصات جغرافیایی به عرض ۴۳' ۵' ۳۶° شمالی و در طول ۵۹' ۵۹' ۵۳° شرقی قرار دارد (شکل ۱- A, B). محدوده مورد نظر از جنوب به گسل عطاری و از شمال به کوه‌های آرسک محدود می‌شود. کانسار فلوتوریت دامغان طبق نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه در سازند میلا واقع شده است. سازند میلا در محدوده کانسار به سن کامبرین میانی تا اردوویسین زیرین به صورت ناپیوسته بر روی سازند لالون قرار می‌گیرد و همانند مقطع اصلی شامل ۵ بخش است که عبارتند از: بخش ۱: دولومیت‌های زیرین. بخش ۲: شیل‌های تخریبی و کربناته. بخش ۳: آهک فسیل-دار، بخش‌های ۴، ۵: سنگ‌های عمدتاً تخریبی، که



شکل ۱: (A) نقشه زمین‌شناسی (B) معدنی و راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه

نمونه از سنگ میزبان و مناطق کانی‌سازی شده گردید. از نمونه‌های برداشت شده ابتدا با هدف مطالعات سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی، کانه‌نگاری و مطالعات شماره‌های درگیر، مقاطع نازک، صیقلی و نازک دوبر صیقل تهیه و مورد مطالعه قرار گرفتند.

مواد و روش‌ها

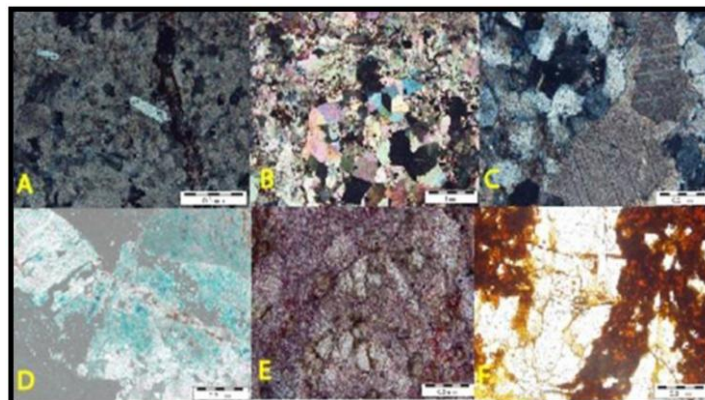
پس از بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی، عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای، چند مرحله بازدید صحرائی از منطقه به عمل آمد. پس از انتخاب مقاطع و مکان‌های نمونه‌برداری، اقدام به برداشت

بین دانه‌های کوارتز قرار گرفته و حفره‌ها را پر کرده است. دولومیت‌ها اکثراً بر اثر دیاژنز و یا جانیشینی تشکیل شده‌اند. کلسیت بیشتر حالت توده‌ای و گاه دارای بافت دانه‌ای می‌باشد، هرچند در برخی از نقاط سنگ میزبان، کلسیت‌ها حالت ثانویه و دارای بافت شعاعی هستند. شواهد صحرایی حاکی از آن است که، گسل‌ها و درزه‌ها از عوامل اصلی کانی-سازی و به عبارتی کنترل کننده‌های ساختاری در کانسار فلوئوریت دامغان محسوب می‌شوند. معمولاً برای شناخت بهتر کانی‌شناسی سنگ‌های کربناته اقدام به رنگ آمیزی مقاطع این دسته از سنگ‌ها می‌شود. برای این منظور، از آلزارین رد-اس و فروسیانید پتاسیم استفاده شد (آدامز و همکاران، ۱۹۸۴). بر همین اساس تعداد ۵ مقطع نازک از سنگ میزبان حاوی ماده معدنی تهیه و بر طبق اصول رنگ آمیزی رنگ شدند، که دولومیت‌ها به صورت موضعی به رنگ آبی فیروزه‌ای درآمدند که نشان دهنده دولومیت‌های آهن‌دار است. همچنین دولومیت‌ها در برخی قسمت‌ها از مقاطع به رنگ صورتی درآمدند (شکل ۲). علاوه بر آن، سنگ میزبان در پاره‌ای نقاط تحت دگرسانی دما پایین قرار گرفته است و کانی‌های رسی از جمله ایلیت و موسکوویت ایجاد شده است.

داده‌گیری دماسنجی با استفاده از دستگاه لینکام مدل THMSG600 در آزمایشگاه سیالات درگیر دانشگاه دامغان صورت گرفت. علاوه بر انجام مطالعات FT-IR تعداد شش نمونه کانی فلوئوریت برای اندازه‌گیری عناصر فرعی، کمیاب و نادر خاکی با روش ICP-MS به آزمایشگاه ACME کانادا ارسال گردید. همچنین تعداد هشت نمونه فلوئوریت و سنگ میزبان جهت آنالیز XRF و تعداد شش نمونه فلوئوریت و سنگ میزبان با استفاده از XRD در آزمایشگاه مواد معدنی و حالت جامد دانشگاه دامغان مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج

مطالعات سنگ‌شناسی: بر اساس مشاهدات صحرایی و مطالعات میکروسکوپی، سنگ میزبان کانسار فلوئورین دامغان سنگ آهک دولومیتی شده است (شکل ۲A)، که در برخی از بخش‌ها حالت سیلیسی شده نشان می‌دهد، که در آن کوارتزها اکثراً به حالت اتوزن قابل رویت می‌باشند. بر همین اساس قسمتی از سنگ‌های، آهک دولومیتی عضو ۱ سازند میلا از جنس میکرایت بوده است که در بعضی مقاطع به اسپرایت و چرت تبدیل شده است. همچنین در قسمت‌هایی کربنات به فرم سیمان در



شکل ۲: (A) کوارتز اتوزن. (B) سنگ آهک دولومیتی. (C) کلسیت. (D) دولومیت آهن‌دار. (E) سنگ آهک دولومیتی رنگ شده. (F) هیدروکسیدهای آهن

دیاژنتیک هستند، به وفور در تمامی مقاطع دیده می‌شوند.

فلوئوریت: کانی فلوئوریت در این منطقه در قالب طیف رنگی سفید (نوع غالب) و بنفش قابل مشاهده است (شکل ۳). بررسی‌های صحرایی نشان می‌دهد که از نقطه نظر ساختاری، کانی‌سازی فلوئوریت در سنگ میزبان کربناته به صورت رگچه، رگه‌ای، توده‌ای و عدسی شکل در امتداد شکستگی‌ها، زون‌های گسلی و حفرات انحلالی نهشته شده است. فلوئوریت در این منطقه، کمتر به فرم بلوری قابل مشاهده است و عمدتاً با بافت توده‌ای و مخفی بلور قابل رویت است. بر اساس تجزیه XRD که بر روی نمونه‌های فلوئوریتی انجام شد، علاوه بر کانی فلوئوریت، کانی‌های کلروآپاتیت و کربنات فلوئورآپاتیت به مقدار کم تشخیص داده شد.

مطالعات کانی‌شناسی: برای بررسی ترکیب کانی‌شناسی کانسار فلوئوریت دامغان، از بخش‌های مختلف کانسار با توجه به تغییرات رنگ و بافت، نمونه برداری‌های لازم صورت گرفت. از نمونه‌های برداشت شده تعداد ۲۹ عدد مقطع نازک، ۸ عدد مقطع صیقلی و ۵ نمونه پودری، با استفاده از میکروسکوپ‌های پتروگرافی نور عبوری و انعکاسی و نیز دستگاه پراش XRD مورد مطالعه قرار گرفتند. داده‌های حاصل از دستگاه پراش XRD با استفاده از نرم افزار Xper، تفسیر و اقدام به شناسایی کانی‌ها گردید. بر اساس نتایج تجزیه پراش اشعه ایکس، که از سنگ میزبان به عمل آمد، نشان دهنده کانی‌های فلوئورین، اسفالریت، کوارتز، باریت، کلسیت، ایلیت، مسکویت، میکا و هیدروکسیدهای آهن در سنگ‌های دگرسان شده می‌باشد. باریت، کلسیت، دولومیت و کوارتزهای اتوزن که نشان دهنده محیط



شکل ۳: (A) کانی فلوئوریت بنفش در حاشیه همراه با کانی کلسیت در مرکز (B) کانی فلوئوریت سفید

گالن به صورت رگچه و پیچ‌های پراکنده به همراه فلوئوریت قابل مشاهده است (شکل A۴).

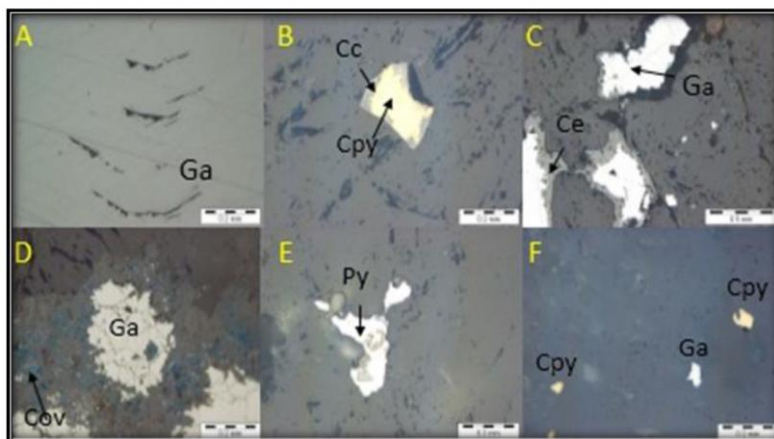
ب- کالکوپیریت: در برخی مقاطع حالت جانشینی با کالکوسیت نشان می‌دهد و نیز به صورت میانبارهای جامد در فلوئورین مشاهده شد (شکل B۴).

پ- پیریت: کانی پیریت به مقدار کم در مطالعات کانه‌نگاری مشاهده شد (شکل E۴).

کانی‌سازی سولفیدی: در اکثر مقاطع صیقلی تهیه شده از منطقه مورد مطالعه، کانی‌های پیریت، کالکوپیریت، گالن، کالکوسیت، کوولیت و همچنین هیدروکسیدهای آهن قابل مشاهده است. در بعضی نمونه‌های دستی آثار مالاکیت نیز مشاهده می‌شود. **الف- گالن:** گالن کانی اصلی سولفیدی در منطقه می‌باشد که به مقدار نسبتاً زیاد در مقاطع دیده می‌شود و در همراهی با کانی فلوئورین به صورت میانبارهای جامد نیز دیده می‌شود. علاوه بر آن،

ت- کالکوسیت: این کانی از کانی‌های سولفیدی ثانویه این منطقه هست که در حاشیه کالکوپیریت دیده می‌شود و حاصل جاننشینی است.

ت- کوولیت: کانی کوولیت که یکی از سولفیدهای مس است به مقدار زیاد به صورت جاننشینی در حاشیه کالکوپیریت و گالن مشاهده می‌شود.



شکل ۴: (A) کانی گالن با بافت حفره‌ای مثلثی و همراه با انحنای شدگی. (B) کانی کالکوپیریت که از حاشیه در حال تبدیل شدن به کالکوسیت است. (C) کانی گالن که از حاشیه در حال تبدیل شدن به سروزیت است. (D) کانی‌های گالن و کوولیت. (E) کانی پیریت. (F) کانی‌های گالن و کالکوپیریت به صورت میانبارهای جامد در کانی فلوتورین.

پلاریزان لایکا مورد مطالعه قرار گرفتند. در این مطالعه، بررسی‌های میکروسکوپی براساس معیارهای ارائه شده توسط (رودر، ۱۹۸۴)، انجام شده است. در این بررسی‌ها، ویژگی‌های مختلف میانبارها شامل نوع میانبار اولیه (شکل ۵- B,C,D,E,F,G,H) ثانویه و ثانویه کاذب، اندازه، شکل (شکل ۶)، پدیده باریک‌شدگی، مورد بررسی قرار می‌گیرد. اندازه میانبارهای سیال مطالعه شده در فلوتوریت‌های بنفش از $2\mu\text{m}$ تا $22\mu\text{m}$ و اندازه فلوتوریت‌های سفید از $2\mu\text{m}$ تا $30\mu\text{m}$ در تغییر است. میانبارهای سیال دارای شکل‌های بسیار متنوعی هستند. اما تا حدودی از سامانه بلوری کانی میزبان تبعیت می‌کنند. میانبارها ممکن است، شکل بلور منفی کانی میزبان را به خود بگیرند، مثلاً شکل مکعبی در کانی فلوتوریت (شکل ۵-B,C) و یا اینکه شدیداً بی قاعده (شکل ۶-F) باشند. از نظر ریخت‌شناسی میانبارهای سیال در کانی فلوتوریت

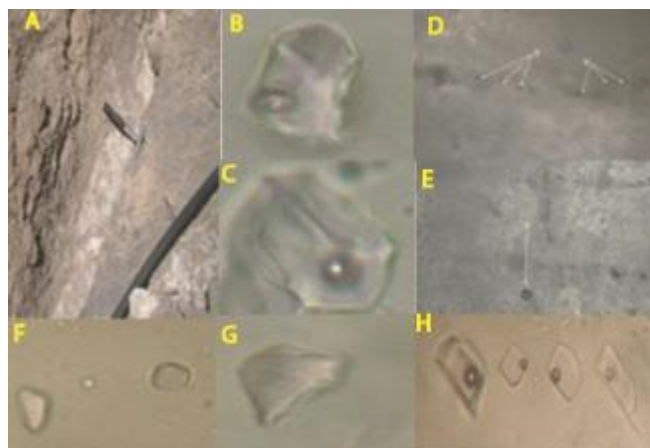
مطالعات میانبارهای سیال: امروزه، استفاده از سیالات درگیر در حوزه‌های مختلف علوم زمین توسعه زیادی پیدا کرده است (پروکفو و اسمیرنوف، ۲۰۱۱) و در ایران هم از این روش در زمینه شناخت ویژگی‌های سیالات کانی‌ساز و محیط تشکیل کانسارهای فلوتوریت استفاده شده است (قشلاقی، ۱۳۸۲ و حسینی، ۱۳۹۲). برای مطالعه دقیق سیالات درگیر در کانسار فلوتوریت دامغان، سعی بر آن بود تا نمونه‌برداری از محل‌های مناسب و حتی‌الامکان نمونه‌های خالص و شفاف و دارای رنگ مشخص تهیه شود. برای این منظور بیش از ۱۰۰ نمونه از کانی‌های فلوتوریت (با انتخاب دو طیف کلی رنگ: سفید و بنفش)، از مناطق مشخص برداشت و به کارگاه مقطع‌گیری دانشگاه دامغان انتقال داده شد. از این تعداد ۳۷ نمونه جهت تهیه مقاطع دوبر صیقل انتخاب گردیدند. مقاطع دوبر صیقل تهیه شده، با استفاده میکروسکوپ

مایع - گاز انجام شد، که دمای همگن شدگی در هر دو نمونه فلوریت‌های سفید و بنفش در محدوده دمایی ۱۰۰ تا ۳۶۰ درجه در تغییر می‌باشد و همچنین عمل سرمایش نیز بر روی میانبارهای دو فاز مایع - گاز انجام شد. با توجه به رنگ یخ تشکیل شده (رنگ روشن) و همچنین دمای ذوب ابتدایی یخ در محدوده ۱۹ تا ۲۱ درجه سانتیگراد (دمای یوتکتیک)، به ثبت رسید. دمای ذوب آخرین قطعه یخ، در نمونه فلوئوریت‌های سفید در محدوده دمایی ۱۳،۵- تا صفر بوده که این نشان دهنده این است که فلوئوریت‌های سفید فاقد کلاتریت (یخ CO₂ دار) هستند اما در فلوئوریت‌های بنفش دمای ذوب آخرین قطعه یخ در محدوده دمایی ۱۲،۸- تا ۹،۷+ درجه بالای صفر بوده که این نشان دهنده وجود کلاتریت در آنها است. شوری میانبارها از طریق اندازه‌گیری نقطه ذوب نهایی یخ، طی گرم کردن میانبارهای منجمد شده با نرخ مناسب بدست می‌آید. در مطالعات سیالات درگیر به طور قراردادی، شوری بر حسب درصد وزنی نمک طعام بیان می‌شود. در سامانه‌های H₂O-NaCl و H₂O-NaCl-KCl شوری سیال را معادل درصد وزنی نمک طعام بر اساس روش‌های ارائه شده توسط پژوهشگران مختلف (بروس و همکاران، ۱۹۸۵؛ بودنار، ۱۹۹۳) قابل محاسبه است. در این مطالعه، برای تعیین شوری از معادله ۱ استفاده شده است (بروس و همکاران، ۱۹۸۵). در این اینجا θ برابر با دمای آخرین نقطه ذوب یخ می‌باشد.

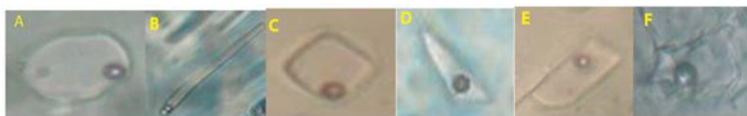
به صورت کروی، هلالی، کشیده یا میله‌ای، پهن، بیضوی، چندضلعی، مثلثی و بی‌شکل دیده می‌شوند. (شکل ۶). میانبارهای سیال از نظر شکل در نمونه‌های سفید و بنفش تفاوتی با یکدیگر ندارند. درجه پرشدگی در میانبارها از ۱۰٪ در میانبارهای تک فاز مایع (شکل ۵-F,G) تا درجه پرشدگی صفر در میانبارهای تک فاز گاز (شکل ۵-E,D) در تغییر است.

بررسی‌های ریز دماسنجی: مطالعات ریز دما-سنجی توسط سامانه لینکام مدل THMSG600 در دانشگاه دامغان و به صورت آزمایش‌های گرمایش و سرمایش بر روی نمونه‌ها انجام شد. قبل از انجام داده سنجی، صفحه سرد و گرم کننده توسط میانبارهای قبلی و نیز مواد استاندارد با نقطه ذوب و انجماد مشخص، کالیبره گردید. در این مطالعه، داده‌های گرمایش زیر ۲۰۰°C، با دقت ± 2 ، داده‌های بالای ۲۰۰°C با دقت ± 5 و داده‌های سرمایش با دقت ± 0.1 ، قابل قبول می‌باشد. در این پژوهش، حدود ۵۰ میانبار سیال مورد سنجش دمایی قرار گرفتند، از این تعداد، حدود ۲۵ میانبار سیال از فلوئوریت‌های بنفش و ۲۵ میانبارسیال از فلوئوریت‌های سفید جهت تعیین دمای همگن شدگی مورد آزمایش گرمایش قرار گرفتند. علاوه بر آن حدود ۵۰ میانبار سیال از فلوئوریت‌های بنفش و همچنین حدود ۵۰ میانبار سیال از فلوئوریت‌های سفید مورد آزمایش‌های سرمایش، جهت به دست آوردن شوری، مورد مطالعه قرار گرفتند. عمل گرمایش بر روی میانبارهای دو فاز

$$\text{معادله ۱: Salinity (wt\% NaCl)} = 0.00 + 1.78 \theta - 0.0442 \theta^2 + 0.000557 \theta^3$$



شکل ۵: (A) رگه باریت، (B) و (C) میانبار سیال با شکل منفی بلور، (D) و (E) میانبار سیال تک فازی گاز (F) و (G) میانبار سیال تک فازی مایع (H) میانبار سیال دو فازی مایع-گاز. بزرگنمایی تصاویر (120X).



شکل ۶: برخی از اشکال میانبارهای سیال (A) کروی (B) میله‌ای (C) مربعی (D) مثلثی (E) تیغه‌ای (F) بی‌شکل بزرگنمایی (120X).

در (شکل ۷) نمودارهای به دست آمده از تفسیر داده‌های ریز دماسنجی آورده شده است. نمونه‌های فلوئوریت بنفش با رنگ بنفش و نمونه‌های فلوئوریت سفید با رنگ سفید - قرمز نشان داده شده است (جدول ۱).

جدول ۱: داده‌های خلاصه شده ریزدماسنجی

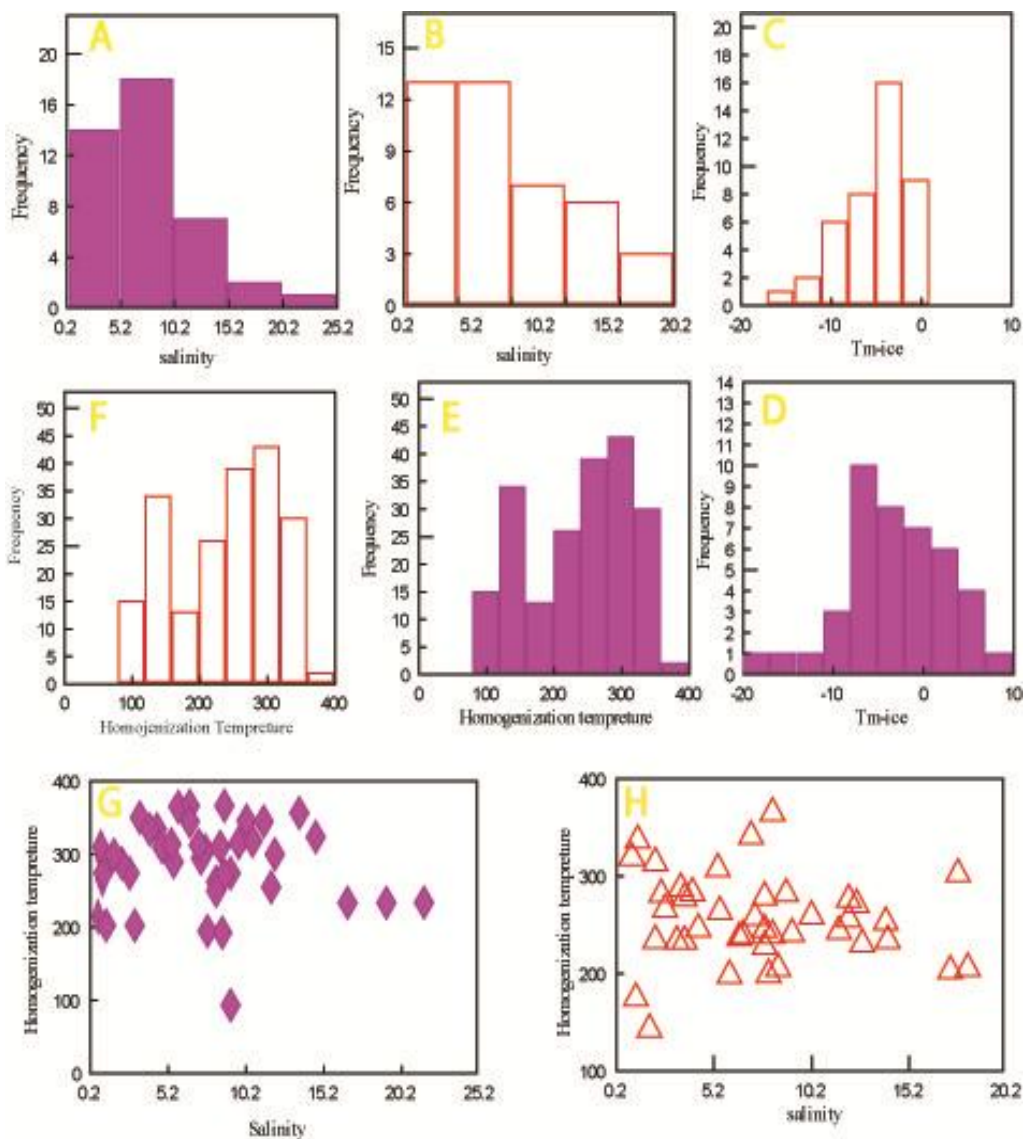
| Sample | No. of Flic | Min.Th | Max.Th | MeanTh | Min.s. | Max.s. | Mean s. |
|------------------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| White Fluorite | 250 | 100 | 360 | 250 | 0.35 | 21.6 | 9 |
| violate fluorite | 250 | 100 | 360 | 280 | 0.35 | 19.2 | 8 |

(A۸)، به احتمال قوی، سه فرایند در تحول سیال کانه‌ساز نقش ایفاء کرده است ۱: فرایند جوشش که تا اندازه‌ای با افزایش شوری سیال همراه بوده است ۲: فرایند سرد شدن سیال در هنگام بالا آمدن می‌باشد و ۳: فرایند اختلاط. توزیع داده‌ها در (شکل B۸)، که حاصل ترسیم دمای ذوب در مقابل شوری است، حاکی از آن است که این توزیع از روند منحنی سامانه محلول H₂O-NaCl تبعیت می‌کند و تاییدی است بر داده‌های نقطه ذوب اولیه و نقطه یوتکتیک. (شکل C۸) که به نمودار چگالی معروف

تحول سیال کانی‌ساز: به منظور بررسی تحولات انجام شده بر روی سیال کانی‌ساز، پژوهشگرانی از جمله (ویلیکینسون، ۲۰۰۱)، از ترسیم داده‌های دمای همگن شدگی شاره‌های درگیر در مقابل شوری آن‌ها بهره جسته است. بدین منظور، داده‌های از حاصل انجام مطالعات سرمایش و گرمایش که به طور همزمان بر روی میانبارها در کانی‌های فلوئوریت سفید و بنفش صورت گرفت، بر نمودار دمای همگن شدگی در مقابل شوری ترسیم گردید (شکل ۷). بر اساس الگوی توزیع داده‌ها در (شکل

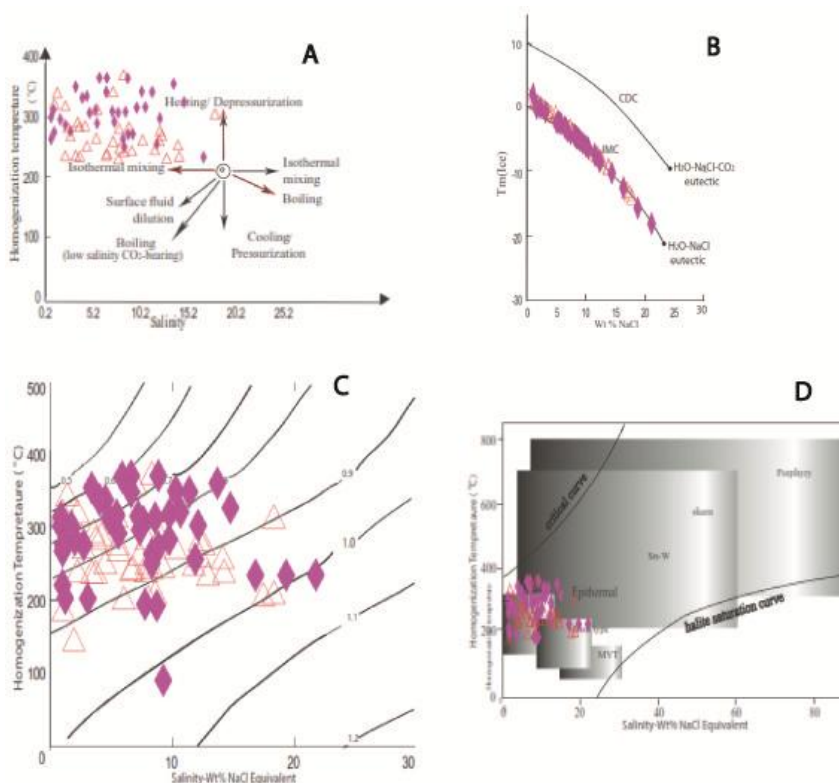
(ویلکینسون، ۲۰۰۱)، نشان می‌دهد که داده‌های شماره‌های درگیر کانسار فلوئوریت دامغان عمدتاً در محدوده کانسارهای گرمایی متمایل به سمت محیط MVT ترسیم شده‌اند، که احتمالاً این وضعیت ناشی از اختلاط یک سیال گرمایی با یک سیال حوضه‌ای باشد (گلسون و همکاران، ۲۰۰۱؛ آسماریادی و همکاران، ۲۰۱۲).

است (ویلکینسون، ۲۰۰۱)، نشان دهنده وضعیت چگالی سیال کانی‌ساز می‌باشد. بر اساس الگوی پراکندگی داده‌ها، می‌توان گفت چگالی سیال در محدوده ۰٫۶ تا ۱٫۰ گرم بر سانتی‌متر مکعب تغییر می‌کند، که افزایش چگالی سیال احتمالاً مرتبط با فرایند جوشش و اختلاط با یک سیال چگالت‌تر باشد. (شکل D۸) که ارائه دهنده محیط‌های مختلف و شاخص بر مبنای داده‌های سیالات درگیر می‌باشد



شکل ۷: (A) نمودار فراوانی شوری در سیالات درگیر نوع غنی از مایع بر حسب درصد وزنی نمک طعام در کانی فلوئوریت در طیف رنگی بنفش (B) نمودار فراوانی شوری در سیالات درگیر نوع غنی از مایع بر حسب درصد وزنی نمک طعام در کانی فلوئوریت در طیف رنگی سفید (C) نمودار فراوانی دمای آخرین ذوب قطعه یخ در هنگام افزایش دما به صورت

تدریجی پس از انجماد کامل سیالات درگیر فلئوریت سفید (D) نمودار فراوانی دمای آخرین ذوب قطعه یخ در هنگام افزایش دما به صورت تدریجی پس از انجماد کامل سیالات درگیر فلئوریت بنفش (E) هیستوگرام دمای همگن شدن در فلئوریت بنفش (F) هیستوگرام دمای همگن شدن در فلئوریت سفید (G) نمودار دمای همگن شدن در مقابل شوری در میانبرهای سیال نوع غنی از مایع در کانی فلئوریت با طیف رنگی بنفش (H) نمودار دمای همگن شدن در مقابل شوری در میانبرهای سیال نوع غنی از مایع در کانی فلئوریت با طیف رنگی سفید.



شکل ۸: (A) نمودار تعیین کننده جهات اصلی دمای همگن شدن-شوری در طی فرایندهای مختلف تکامل سیالات درگیر (ویلیکینسون، ۲۰۰۱) (B) نمودار دمای ذوب یخ در مقابل شوری در نمونه‌های مطالعه شده، (C) نمودار شوری در برابر دمای یکنواخت شدگی جهت تعیین چگالی، (D) نمودار دمای همگن‌شدگی در مقابل شوری که مشخص کننده محیط‌های مختلف کانی‌سازی می‌باشد (ویلیکینسون، ۲۰۰۱).

امکان جایگزینی در شبکه فلئوریت دارند، با استفاده روش XRF مورد تجزیه قرارگرفت (جدول ۳). داده‌های عناصر نادر خاکی با استفاده از روش (بوینتون، ۱۹۸۴) نرمال و سپس نمودار عنکبوتی آن‌ها ترسیم گردید (شکل ۹). بر اساس نمودار مذکور تعداد ۲ عدد از نمونه‌های فلئوریت دارای ناهنجاری Eu مثبت هستند. ناهنجاری مثبت Eu، می‌تواند بیانگر بالا بودن فلوگاسیته اکسیژن در

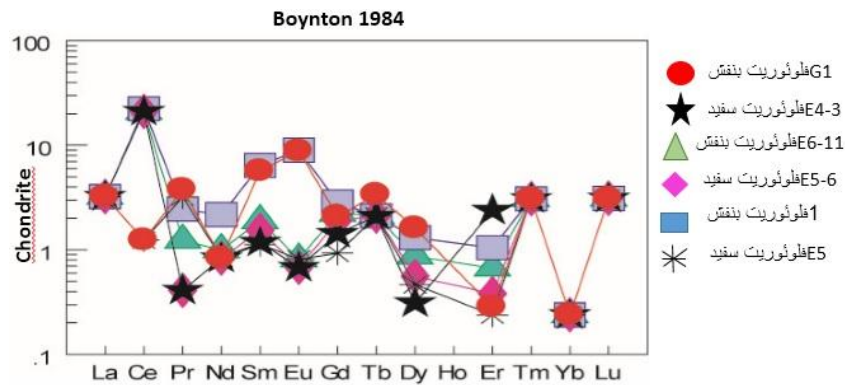
بررسی‌های زمین شیمیایی: به منظور بررسی و اطلاع از حضور عناصر کمیاب و نادر خاکی، تعداد شش نمونه از فلئوریت‌های سفید و بنفش از بخش‌های مختلف کانی‌سازی شده کانسار فلئوریت دامغان با استفاده روش ICP-MS مورد تجزیه قرار گرفت (جدول ۲). علاوه بر آن تعداد هشت نمونه از سنگ میزبان و فلئوریت به منظور بررسی تغییرات عناصر اصلی، فلئورین و برخی از عناصری که

دیگری بر فوگاسیته کم‌اکسیژن و احیایی بودن شرایط ته نشست کانی فلوریت است. زیرا در محیط اکسیدی و قلیائی، عنصر Ce به صورت Ce^{+4} تبدیل شده و در این حالت با تشکیل CeO_4 فاز پایدار تشکیل داده و از محیط خارج می‌شود که در این شرایط، آنومالی منفی نشان خواهد داد. بنابراین عدم آنومالی منفی Ce مبین محیط احیایی و اسیدی می‌باشد. آنومالی منفی عنصر Nd مبین منشاء قاره‌ای و پوسته‌ای می‌باشد. عنصر Gd دارای آنومالی مثبت ضعیفی بوده که در همه نمونه‌ها، به جز یک مورد قابل مشاهده است. عنصر Yb در شش نمونه فلوریت، آنومالی منفی مشخصی را نشان می‌دهد، که با آنومالی منفی Eu سازگار است. این حالت می‌تواند تایید دیگری بر حالت احیایی محیط و دمای نسبتاً پائین محیط تشکیل فلوریت باشد. همان‌گونه که از شکل ۹ پیدا است روند تغییرات عناصر نادر خاکی در نمونه‌های سفید و بنفش کانسار فلئوریت دامغان کم و بیش به یکدیگر شبیه بوده و فلوریت‌های بنفش رنگ از REE کمی غنی‌تر هستند. وجود کانی‌های سولفیدی گالن، پیریت (پیریتی‌شدن) و اسفالریت نیز، وجود چنین شرایطی را محقق می‌سازند (بوو و همکاران، ۲۰۰۳) (جدول ۲).

سیال گرمابی باشد (کانستنتوپولوس، ۱۹۸۸). از طرف دیگر، تعداد ۴ عدد از نمونه‌ها از نظر Eu ناهنجاری منفی نشان می‌دهند که می‌تواند حاکی پایین بودن فوگاسیته اکسیژن در سیال می‌باشد (کانستنتوپولوس، ۱۹۸۸). علاوه بر آن، احیا شدگی ترموشیمیایی Eu^{+3} به Eu^{+2} در دماهای بالا می‌تواند منجر به بی‌هنجاری این عنصر شود. فلئوریت گرمابی تنها هنگامی ناهنجاری Eu سیال را نشان می‌دهد که دمای تبلور زیر $200^{\circ}C$ باشد (اسوین و مارکل، ۲۰۰۵). در بالای این دما، اندازه بزرگتر یون Eu^{+2} مانع از جانشینی آن به جای Ca^{+2} در شبکه فلئوریت شده و این کانی یک ناهنجاری منفی نسبت به Eu نشان خواهد داد (مولر و هولزبچر، ۱۹۹۸؛ بوو، ۱۹۹۱ و مولر، ۱۹۹۸). بنابراین نمونه‌های فلئوریت دارای ناهنجاری Eu مثبت باید در دماهای زیر $200^{\circ}C$ تبلور یافته باشند. به طور مشابه، وجود ناهنجاری منفی در برخی از نمونه‌ها می‌تواند ناشی از تشکیل فلئوریت در دماهای بیشتر از $200^{\circ}C$ باشد. دماهای همگن-شدگی سیالات درگیر در کانسار فلئوریت دامغان، محدوده دمایی ۱۰۰ تا ۳۷۰ را نشان داده است که با وجود ناهنجاری‌های مثبت و منفی Eu در نمونه‌های فلئوریت سازگار است. عنصر سریم Ce هیچ‌گونه آنومالی منفی از خود ارائه نمی‌دهد که شاهد

جدول ۲: داده‌های عناصر نادر خاکی نمونه‌های فلئوریت به روش ICP-MS، برحسب ppm.

| | E6-11 | 1 | E5-6 | E4-3 | E5 | G1 |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Ce | 17 | 18 | 17 | 17 | <1 | <1 |
| Sm | 0.37 | 1.25 | 0.3 | 0.23 | 0.22 | 1.11 |
| Tb | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | 0.16 |
| Lu | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.1 |
| Dy | 0.28 | 0.42 | 0.18 | 0.1 | 0.15 | 0.52 |
| Er | 0.14 | 0.22 | 0.08 | <0.05 | <0.5 | 0.06 |
| Eu | 0.06 | 0.66 | <0.05 | <0.05 | <0.05 | 0.65 |
| Gd | 0.58 | 0.74 | 0.49 | 0.37 | 0.24 | 0.54 |
| La | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| Nd | 0.6 | 1.3 | <0.5 | <0.5 | <0.5 | <0.5 |
| Pr | 0.15 | 0.3 | 0.05 | <0.05 | 0.39 | 0.46 |
| Tm | 0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.1 |
| Yb | <0.05 | <0.05 | <0.05 | <0.05 | <0.05 | <0.05 |



شکل ۹: نمودار عنکبوتی مربوط به نمونه‌های فلئورین

جدول ۳: داده‌های حاصل از تجزیه نمونه‌های سنگ میزبان به روش XRF بر حسب درصد وزنی.

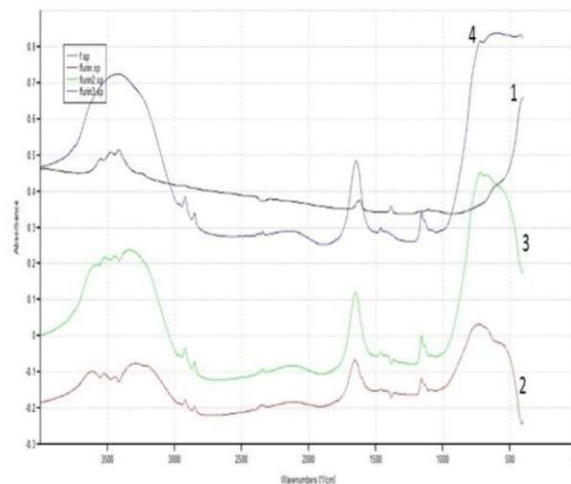
| اکسید عناصر | G1 | E6-9 | E6-8 | T22 | T21 | T12-1 | A1 |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| SO ₃ | 0.096 | 1.974 | 5.056 | 5.075 | 1.844 | 0.487 | 2.528 |
| MgO | 16.618 | 0.077 | 0.123 | 0.210 | 11.112 | 15.015 | 8.452 |
| K ₂ O | 0.024 | .... | 0.031 | 0.089 | 0.049 | 0.080 | 0.067 |
| Al ₂ O ₃ | 0.067 | .... | 0.176 | 0.420 | 0.189 | 0.303 | 0.245 |
| Cl | 0.068 | 0.036 | 0.041 | .... | 0.046 | 0.075 | 0.058 |
| MnO | 0.132 | .... | 0.028 | .... | 0.068 | 0.120 | .... |
| BaO | 0.154 | 4.970 | 14.346 | 7.911 | 3.671 | 1.094 | 6.465 |
| SiO ₂ | 0.133 | 1.208 | 0.890 | 68.501 | 10.783 | 5.343 | 1.839 |
| ZnO | 1.037 | .... | .... | 0.195 | 0.437 | 1.022 | .... |
| Fe ₂ O ₃ | 2.221 | 0.058 | 0.184 | 0.680 | 1.901 | 1.901 | 2.358 |
| CaO | 33.066 | 53.266 | 47.839 | 7.302 | 34.842 | 32.298 | 38.873 |
| L.O.I | 46.184 | 5.944 | 20.887 | 3.477 | 27.952 | 41.972 | 37.802 |
| SrO | .... | 0.092 | 0.272 | 0.360 | 0.146 | 0.026 | 0.202 |
| PbO | .... | 0.898 | 0.123 | .... | 0.045 | 0.207 | 0.073 |
| F | .... | 31.433 | 9.973 | 5.778 | 6.914 | .... | 1.038 |
| CuO | .... | .... | 0.031 | .... | .... | .... | .... |
| Pb ₂ O ₅ | .... | .... | .... | .... | .... | 0.025 | .... |
| TiO ₂ | .... | .... | .... | .... | .... | 0.032 | .... |

محدوده C-H هیدروکربن‌های آلیفاتیک است. جالب توجه است که نسبت شدت بین CH₂ (cm⁻¹)^۱ و ۲۸۶۰ و ۲۹۳۰ به ترتیب نامتقارن و متقارن) کشش و ارزش باند بالاست و پیشنهاد دهنده حضور هیدروکربن‌ها با زنجیره‌های آلیفاتیک نسبتاً طولانی است. ویژگی کششی (cm⁻¹)^۱ (۲۸۵۰-۲۹۴۰) و خم-شدگی محدوده ۱۴۰۰ cm⁻¹ منطبق بر محدوده هیدروکربن‌های آلیفاتیک است (رودنیک ۲۰۰۸). هنگامی که الکل‌ها یا فنل‌ها به صورت قشر نازکی از مایع درآیند و طیف آن‌ها گرفته شود، یک

بررسی نمونه‌های فلئوریت با روش FT-IR: برای اطمینان بیشتر از محتویات ترکیبی میانبارها سیال در کانی فلئوریت، اقدام به گرفتن طیف FT-IR بر روی نمونه‌های فلئوریت تخریب شده و مقاطع دو بر صیقل غیر تخریبی از این کانی گردید. طیف‌های بدست آمده از نمونه‌ها (شکل ۶-۵)، نشان می‌دهد، که باندهای مجزا و گسترده از ارتعاشات انواع هیدروکربن‌های آلیفاتیک، قابل شناسایی است. به طور خاص محدوده ۲۸۰۰-۳۰۰۰ cm⁻¹ و ۱۴۰۰-۱۵۰۰^۱ به دلیل کشش و خم‌شدگی،

محدوده cm^{-1} (۲۸۵۰-۲۹۴۰) را نشان می‌دهد که احتمال وجود هیدروکربن‌های آلیفاتیک مانند متان را نشان می‌دهد. در محدوده $(3000-3500\text{ cm}^{-1})$ پیک مشخص گروه O-H قابل رویت است. پیک مشخص در محدوده 1640 cm^{-1} نشانگر حضور H_2O است.

ارتعاش کششی O-H پهن در حدود $(3/13\mu)$ - $3500-3200\text{ cm}^{-1}$ (۲/۸۶) به دست خواهد آمد که این جذب مربوط به پیوند هیدروژنی بین مولکولی ۲۷ است (پاویا، ۱۳۷۴). همان‌طور که در (شکل ۱۰) دیده می‌شود هر سه طیف تخریب نشده، طیفی در محدوده $1500-1400\text{ cm}^{-1}$ و همچنین طیفی در



شکل ۱۰: نمونه شماره ۱ طیف نمونه فلئوریت تخریب شده را نشان می‌دهد. نمونه‌های شماره ۲، ۳، ۴ طیف نمونه فلئوریت تخریب نشده که در حالت‌های مختلف گرفته شده است را نشان می‌دهد.

اختلاط باعث کانی‌سازی فلئوریت و سایر کانی‌های همراه شده است. هرچند بررسی‌های UV و طیف-سنجی FT-IR، حاکی از وجود ترکیبات هیدروکربنی در میانبراه‌های سیال کانی فلئوریت است، که می‌تواند تأییدی بر محیط‌های MVT باشد. اما داده‌های حاصل از مطالعات سیالات درگیر کانی فلئوریت منطقه مورد مطالعه، از حیث دما و شوری نمی‌تواند بر داده‌های شاره‌های درگیر کانسارهای محیط MVT (بجاویی و همکاران، ۲۰۱۳) تطبیق داشته باشد. لذا داده‌ها و شواهد بدست آمده بیشتر این ایده را تقویت می‌کند که احتمالاً کانسار فلئوریت دامغان از اختلاط یک سیال گرمابی با ویژگی‌های سطح دمایی با سیالات جوی و حوضه‌ای حاصل شده باشد.

نتیجه‌گیری

بررسی‌های صحرائی حاکی از آن است که کانی‌سازی فلئوریت در منطقه مورد مطالعه بصورت دیرزاد نسبت به سنگ میزبان انجام شده است. کانی‌سازی عمدتاً به صورت رگه‌ای، رگچه‌ای و توده‌ای و تحت کنترل فضاها با شکستگی، درز و شکاف‌ها و فضاها انحلالی انجام شده است. مطالعات گرمایش و سرمایش انجام شده بر روی میانبراه‌های فلئوریت حاکی از آن است که محلول اصلی کانی‌ساز با دمای نسبتاً بالا و شوری نسبتاً پائین احتمالاً از یک منبع ماگمایی مشتق و پس از حرکت به سمت بالا و قرارگیری در موقعیت ناپایداری کمپلکس‌ها که ناشی از فرایندهای سردشدگی، جوشش، کاهش فشار و احتمالاً

منابع

- آقاباتی، س. ع.، ۱۳۸۳. زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۷۰۷ ص.
- اکبرپور، م. و سعیدی، ع.، ۱۳۷۱. نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ کیاسر، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- پاویا، د.، ۱۳۷۴. نگرشی برطیف‌سنجی، چاپ ششم، انتشارات علمی و فنی، ۶۷۴ ص.
- حسینی، ف.، ۱۳۹۲. مطالعه سیال درگیر در کانسار فلوتوریت کوه سفید، پایان‌نامه کارشناسی-ارشد، دانشگاه دامغان، ۱۳۳ ص.
- Adams, A.E., Mackenzie, W.S. and Guilford, C., 1984. Atlas of sedimentary rocks under the microscope, Published in the United states of America by Haslsted Press, a Division of John Wily & Sons, Inc, p. 104.
- Asmariyadi, R., Langkoke, A., Maulana, I. and Astaman, W., 2012. Ore characteristics and Fluid inclusion of the base metal vein deposit in moncong bincai area, gowa, south south Sulawesi, Indonesia, Indonesia journal of Geology, v.7(4), p.189-197.
- Bau, M., 1991. Rare-earth element mobility during hydrothermal and metamorphic fluid-rock interaction and the significance of the oxidation state of europium, Chem Geol, v. 93, p. 219-230.
- Bau, M., Romer, R.L. and Luders, V., 2003. Tracing element sources of hydrothermal mineral deposits; REE any distribution and Sr-N D-Pb isotopes in fluorite from MVT deposits in the pennine ore field: England, Mineralium, Deposita, v. 38, p. 992-1008.
- Boynton, W.V., 1984. Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies, In: Henderson P (ed) REE geochemistry, Elsevier Amsterdam, p. 63-114.
- Burruss, R. C., Cercone, K. R. and Harris, P. M., 1985. Timing of hydrocarbon migration: evidenced from fluid inclusions in calcite cements, tectonics and burial history, Carbonate cements: SEPM Special Publication, v. 36, p. 277-289.
- Bodnar, R.J., 1993. Revised equation and table determining the freezing point depression of H₂O-NaCl solution, Geochimical et cosmochimica Acta, v. 57, p. 683-684.
- Constantopoulos, J., 1988. Fluid inclusions and rare earth element geochemistry of fluorite form south-central Idaho, Econ Geol, v. 83, p. 626-636.
- Gleeson, S.A., Wilkinson, J.J., Stuart, F.M. and Banks, T.H., 2001. The origin and evolution of base metal mineralizing brines and hydrothermal fluid, south cornwall, UK. Geochimical et cosmochimical Acta, v. 65(13), p. 2067-2079
- Bejaoui, J., Bouhleb, S., Cardellach, E., Canals, A., Perona, J. and Pique, A.,

2013. Mineralization and fluid inclusion studies of the Aptian carbonate Pb-Zn-Ba ore deposit at Jebel Hamra, central Tunisia, *Journal of Geochemical Exploration*, v. 128, p.136-146.
- Lefond, S.J., 1983. *Industrial Minerals and Rocks*, SME, 1433 p.
- Moller, P. and Holzbecher, E., 1998. Eu anomalies in hydrothermal fluids and minerals: A combined thermochemical and dynamic phenomenon, *Freib, Forsch, Hefte*, v. 475, p. 73-84.
- Moller, P., 1998. Europium anomalies in hydrothermal minerals, kinetic versus thermodynamic interpretation, *Proceeding of the Ninth Quadrennial IAGOD symposium Schweizerbart, Stuttgart*, p. 239-246.
- prokofev, V.Yu. and Smirnov, S.Z., 2011. *Research on Fluid Inclusion in Minerals, current state and Future outlook*, *statute of Geology of ore Deposit*, v. 53(2), p. 171-176.
- Rudnick, R.L., 2008. Aliphatic hydrocarbons in metasomatized gabbroic xenoliths from Hybleandiatremes (Sicily): Genesis in a serpentinite hydrothermal system, *chemical Geology* v. 258, p. 258-268.
- Roedder, E., 1984. Fluid inclusions, (p.H. Ribbe, series ed.) vol. 12 of "Reviews in Mineralogy" mineralogical Society of america, Washington, D.C.
- Schwinn, G. and Markl, G., 2005. REE system in hydrothermal fluorite, *ChemGeol* v. 216, p. 225-2480.
- Wilkinson, J.J., 2001. Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits, *Lithos*, Elsevier, v. 55, p. 229-272.