



## "مقاله پژوهشی"

### مطالعه پتروگرافی و ژئوشیمیایی کانسار باریت حور، استان کرمان

برزو رحیم دشتی<sup>۱</sup>، فرهاد احیاء<sup>۲\*</sup>، سارا ملکی خیمه سری<sup>۳</sup>، علیرضا زراسوندی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> گروه زمین شناسی، واحد بهبهان، دانشگاه آزاد اسلامی، بهبهان، ایران

<sup>۲</sup> گروه زمین شناسی، واحد بهبهان، دانشگاه آزاد اسلامی، بهبهان، ایران

<sup>۳</sup> گروه زمین شناسی، واحد بهبهان، دانشگاه آزاد اسلامی، بهبهان، ایران

<sup>۴</sup> دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران، اهواز

\* نویسنده مسئول مکاتبات: Email: ehya.farhad@gmail.com

(دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۸/۰۸، پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۱۰/۱۹)

### چکیده

کانسار باریت حور، واقع در واحدهای رسوبی ماسه‌سنگی و شیلی، به عنوان یک کانسار هیدروترمال رگه‌ای در محیط قاره‌ای شکل گرفته است. این پژوهش با هدف بررسی زمین‌شیمی و کانی‌شناسی این کانسار و تعیین منشأ و شرایط تشکیل آن انجام شد. توزیع عناصر نادر خاکی (REEs) در نمونه‌های باریت نشان‌دهنده غنی‌شدگی از عناصر نادر خاکی سبک (LREE) نسبت به عناصر نادر خاکی سنگین (HREE) و وجود آنومالی‌های مثبت Ce و منفی Eu است که به شرایط اکسایش-کاهش خاصی در محیط تشکیل اشاره دارد. مقادیر پایین  $\Sigma\text{REEs}$  و نسبت‌های LREE/HREE در باریت‌های کانسار حور نیز دلالت بر منشأ هیدروترمالی این کانسار دارند. علاوه بر این، شواهد ساختاری و بافتی، از جمله حضور رگه‌های چند مرحله‌ای و خردشدگی بلورها، تأیید می‌کنند که کانی‌سازی باریت در این منطقه تحت تأثیر فرآیندهای تکتونیکی و سیالات هیدروترمالی صورت گرفته است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که کانسار باریت حور مشابه با ذخایر گرمابی در محیط‌های قاره‌ای بوده و منشأ آن از سیالات هیدروترمالی است که در شرایط تکتونیکی فعال به رگه‌ها و رگچه‌های باریت منجر شده است.

واژه‌های کلیدی: باریت، ژئوشیمی، پتروگرافی، کانسار حور

## مقدمه

باریت، رایج‌ترین کانی باریم‌دار است این کانی گاه‌ها به صورت اتفاقی و در بعضی از موارد به میزان قابل توجهی در مقیاس‌های بزرگ مانند رگه یا لایه تمرکز می‌یابد. این تمرکز می‌تواند تنها یا به همراه کانی‌هایی نظیر فلوتورین، سلسنتین، کوارتز، گالن، اسفالریت، کلسیت، دولومیت و سیدریت در محیط‌های مختلف زمین‌شناسی رخ دهد (۱). در نهشته‌های ماگمایی، باریت همراه با کربناتیت‌ها و سنگ‌های نفوذی قلیایی، نهشته‌های سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد (VMS) و کانی‌سازی Ba در اسکارنها تشکیل می‌گردد (۲ و ۳). با این حال، مهم‌ترین ذخایر باریت در محیط‌های رسوبی در نقاط مختلف کره زمین تشکیل شده است. کانسارهای باریت رسوبی به چندین نوع تقسیم می‌شوند که هر کدام ویژگی‌های خاص خود را دارند. در ادامه به توضیح این انواع پرداخته می‌شود:

ذخایر باریت رسوبی شامل ذخایر باریت باقیمانده و مرتبط با کارست (Pb-Zn)، نهشته‌های Ba-Pb-Zn (Ag) میزبان کربناته (سولفیدی و غیر سولفیدی)، نهشته‌های باریت-سلسنتیت مربوط به دیاپیر، نهشته‌های باریت استراتاباند در سنگ‌های سیلیسی، رسوبات باریت-پیریت در ذخایر سیلیسی-آواری-کربناتی و ذخایر سلسنتیت-باریت در محیط‌های دریاچه‌ای (پلایا) (۴). دسته دیگر از ذخایر باریت، ذخایر مرتبط با ساختارها و شکستگی‌ها هستند، از جمله رگه‌های برشی F-Ba اپی‌ترمال، ذخایر F-Ba اپی‌ترمال، نوع دره می‌سی‌سی‌پی (MVT)، گرمابی می‌باشد (۵ و ۶).

سازوکار معمول تشکیل کانی باریت، مخلوط شدن و واکنش بین سیال‌های غنی از باریم و سولفات در محیط خشکی در آب دریاست (۷). در ارتباط با تشکیل ذخایر باریت، به طور کلی ۴ فرآیند اصلی مطرح شده است (۱۱، ۱۰، ۹، ۸ و ۱۲): نوع اول آن باریت ساحلی یا باریت دریایی آب‌زادی نامیده می‌شود، باریم بر اثر تخریب مواد آلی در محیط رها شده و می‌تواند محیط ابر اشباع را تشکیل داده و از آب دریا ته‌نشست شود. باریت نوع دوم که به باریت خودزا موسوم است، از سیالات باقی‌مانده در منافذ رسوب‌ها طی دیاژنز تهیه می‌شود و یا از تراوش سیالات سرد در نزدیکی کف دریا بوجود می‌آید. در فرآیند سوم، باریم از سیال‌های با دمای بالا (۱۵۰ تا ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد) در کف دریا از دودکش‌ها و پشته‌های میان اقیانوسی و همچنین کمان‌های آتشفشانی در کف اقیانوس شکل می‌گیرد و باریت گرمابی دمای بالا را تشکیل می‌دهد. در نوع چهارم، باریت گرمابی (با دمای پایین) از مایع‌های با دمای کم‌تر از ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد، در چشمه‌های آب گرم و زیر سطح با گردش مایع‌ها در محیط زمین-ساختی کرانه قاره‌ای بوجود می‌آید (۱۴ و ۱۳).

لیسه رودی و همکاران (۱۵) در پژوهشی به نحوه تشکیل و نوع کانسار سرب-روی (فلوئور-باریم) سرچلشک، منطقه سوادکوه، استان مازندران پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد عدم روند مشابه عناصر کمیاب و کمیاب خاکی در نمونه‌های کانه‌دار و سنگ‌های آذرین مافیک، بیانگر عدم ارتباط ژنتیکی کانه‌زایی با ماگماتیسم مافیک منطقه بوده و خاستگاه گرمابی آذرین‌زاد کانسار سرچلشک را منتفی می‌سازد. ویژگی‌های زمین‌شناسی، کانه‌زایی، مجموعه کانی‌شناسی و ساخت و بافت کانسنگ در کانسار

## زمین‌شناسی

کانسار باریت حور در استان کرمان و در فاصله ۱۱۰ کیلومتری شهر کرمان واقع شده است. از نظر موقعیت زمین‌شناسی، این کانسار در زون ایران مرکزی قرار دارد که به عنوان مرکز و بخش اصلی فلات ایران شناخته می‌شود. این زون با مساحتی حدود ۲۳۰۰ کیلومتر مربع از شمال به رشته کوه‌های البرز و کپه‌داغ، از غرب و جنوب به رشته کوه‌های زاگرس و مکران و از شرق به رشته کوه‌های ایران شرقی محدود می‌شود (شکل ۱-a).

شکل ۱-b نقشه زمین‌شناسی کانسار حور را نشان می‌دهد. مطابق نقشه، واحدهای مختلف زمین‌شناسی در این منطقه وجود دارد که سن آن‌ها از پرکامبرین تا کرتاسه می‌باشد. بر اساس مطالعات صحرایی، واحدهای سنگی رخنمون‌یافته در محدوده نقشه زمین‌شناسی کانسار باریت حور، شامل یک توالی از سنگ‌های رسوبی شامل شیل، ماسه‌سنگ و مارن مربوط به سازندهای بیدو با سن ژوراسیک زیرین تا بالایی و سازند دزو با سن پرکامبرین، سنگ آهک کرتاسه و سنگ‌های آتشفشانی ائوسن می‌باشد. با توجه به بازدیدهای به عمل آمده مشخص شده واحدهای سنگی غالب در منطقه مورد مطالعه سنگ‌های رسوبی - ژوراسیک هستند که میزبان کانه‌زایی باریت در منطقه می‌باشند. واحدهای ژوراسیک پس از واحدهای تریاس، به صورت لایه‌ای با ضخامت ۱۰ تا ۲۵ متری از ماسه‌سنگ قهوه‌ای رنگ در منطقه گسترش یافته و مستقیماً روی سنگ آهک تریاس قرار گرفته است. بر روی واحد سنگی ماسه‌سنگ قهوه‌ای با سن ژوراسیک تناوبی از شیل، ماسه‌سنگ، ژپیس و مارن نهشته شده است. بر روی سازند نایبند، یکسری ماسه‌سنگ دانهریز

سرچلشک شباهت زیادی با کانسارهای سرب و روی تیپ دره می‌سی‌سی‌پی (زیردره غنی از فلوتور و باریم) دارد.

رسولی و همکاران (۱۶) در پژوهشی به زمین‌شیمی، ایزوتوپ‌های S و Sr، و منشأ کانسار باریت شاه نشین، شمال غرب استان کردستان، ایران پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد نزدیکی مقادیر δ34S نمونه‌های باریت و آب دریای مرتبط با آن‌ها (-۲۲٪)، گویای مقدار کم گوگرد سیال ماگمایی، تشکیل باریت در جریان آزاد آب و شرایط اکسیدان بستر ریاست. داده‌های باریت شاه نشین همسان کانسار نوع فلسیک کوروکو، نهشته‌شده در حوضه حاشیه قاره‌ای بین پهنه فرورانش و حاشیه غیرفعال است.

مطالعات انجام شده نشان می‌دهد تاکنون کانسار باریت حور مورد مطالعات زمین‌شناسی دقیق به منظور تعیین منشأ قرار نگرفته است. با این حال، منشأ دقیق سیالات کانه‌زا، عوامل ته‌نشست و ماهیت کانی‌سازی باریت تا کنون برای این کانسار مشخص نشده است. فقدان اطلاعات دقیق زمین‌شناسی در مورد کانسارهای باریت در ایران، انگیزه انجام این مطالعه بود. از طرفی با توجه به اینکه کانسار باریت حور جز کانسارهای نو اکتشاف محسوب می‌گردد و مطالعه‌ای در این زمینه صورت نگرفته لذا در این مطالعه سعی بر آن است با استفاده از مجموعه داده‌ای متشکل از مطالعات سنگ-شناسی و زمین‌شیمی شرایط تشکیل کانسار باریت شرح داده شود.

## مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری در این پژوهش به روش لیتوژئوشیمیایی صورت گرفته و نمونه‌هایی که در این تحقیق انتخاب و مطالعه می‌شوند شامل: الف) نمونه‌هایی که از کانسنگ و سنگ‌های میزبان برای مطالعات سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی انتخاب شده است، به تعداد حدود ۵۰ نمونه؛ ب) نمونه‌هایی که از کانسنگ و سنگ‌های میزبان برای تجزیه شیمیایی به روش ICP-MS انتخاب شده است (۱۳ نمونه).

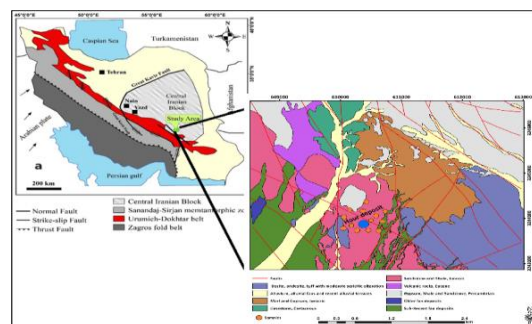
مطالعات میدانی برای بررسی ویژگی‌های میکروسکوپی کانه و سنگ‌های میزبان و تعیین روابط سنگ میزبان انجام شد. در طول مشاهدات میدانی، در مجموع ۱۳ نمونه معدنی، سنگ معدنی و سنگ میزبان از بخش‌های مختلف رگه باریت و سنگ‌های میزبان برای مطالعات پتروگرافی و زمین‌شیمیایی، جمع‌آوری شد. نمونه‌های معدنی از مرکز رگه و دور از دایک‌ها گرفته شد تا از تأثیر احتمالی سنگ‌ها و دایک‌های میزبان بر ژئوشیمی اولیه و دمای سازند جلوگیری شود.

## نتایج

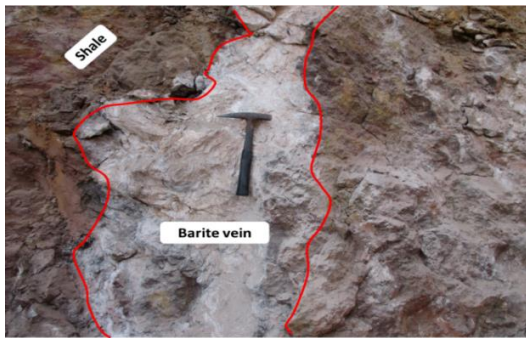
## کانه‌زایی و کانی‌شناسی

در منطقه مورد مطالعه کانه‌زایی باریت به شکل رگه چینه‌ای در واحدهای رسوبی همچون شیل و ماسه‌سنگ (ژوراسیک و کرتاسه) تشکیل شده است (شکل ۲). این توالی رسوبی متشکل از ماسه‌سنگ، سنگ‌آهک، مارن و ژپس در مجاورت رگه باریت می‌باشد. ۳ رگه میزبان باریت با ضخامت متوسط دو متر و طول حدود ۱۰ تا ۱۵ متر در منطقه شناسایی شد. شیب این رگه‌ها حدود ۶۰ تا ۸۰ درجه است و جهت

به ضخامت ۵ تا ۲۵ متر همراه با تناوبی از ماسه‌سنگ‌های کوارتزیتی، ماسه‌سنگ و میکروکنگلوپراهای نازک‌لایه تشکیل شده است (۱). این واحد معادل سازند شمشک معرفی شده و سن ژوراسیک (لیاس تا دوگر) را دارا می‌باشد که بر روی لایه سنگ آهک بادامو با تناوبی از ماسه‌سنگ‌های دانه‌ریز خاکستری و آهکی با میان لایه‌های شیل تیره تشکیل گردیده که ارتفاعات پست و حالت تپه ماهور را در منطقه تشکیل می‌دهد. این واحد معادل سازند هجدک (دوگر و ژوراسیک) می‌باشد. مارن‌های ژپس‌دار قرمز، ماسه-سنگ‌های قرمز و آهک‌های ماسه‌ای سازند بیدو بر روی سازند هجدک واقع شده است. تنها واحد مربوط به سنگ‌های آتشفشانی در منطقه مشاهده شده دارای سن ائوسن می‌باشد که در فاصله کمی دورتر از کانسار حور واقع شده است (۱۱). با توجه به اینکه منطقه مورد مطالعه در زون ایران مرکزی واقع شده است و منطقه به شدت دچار چین‌خوردگی و گسلش گردیده، لذا به نظر می‌رسد که نمودهای ساختاری در تشکیل رگه‌های باریت تأثیر داشته‌اند. کانسار حور در محل اتصال زون گسلی مثلث میانی ایران مرکزی قرار دارد. این زون گسلی همان است که فروافتادگی باغین-ماهان بر روی آن قرار دارد.



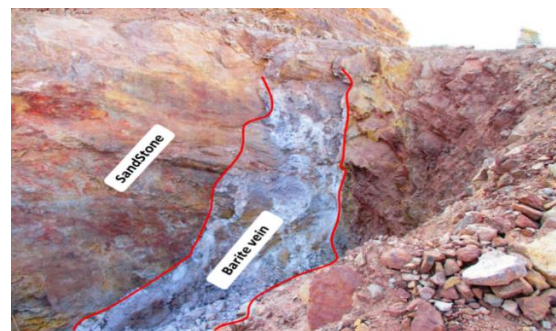
شکل (۱): a: موقعیت کانسار حور در نقشه زون‌های ساختاری ایران. b: نقشه زمین‌شناسی کانسار حور.



شکل (۳): نمای نزدیک از رگه باریت با سنگ میزبان آهکی در منطقه مورد مطالعه.

بر اساس مطالعات میکروسکوپی، اندازه بلورهای باریت از درشت بلور پهن تا بلورهای سوزنی ریز متغیر می‌باشد. برخی از بلورهای بسیار پهن و درشت باریت نشانگر تشکیل در دمای زیاد می‌باشند که فضای رشد کافی، زمان تبلور طولانی و تداوم کافی سیال کانی‌ساز را در اختیار داشته‌اند، لذا بنظر می‌رسد مربوط به اولین نسل از کانی‌سازی باریت باشند. بر اساس مشاهدات میکروسکوپی، بلورهای باریت تشکیل شده در مرحله اول کانی‌سازی اکثراً طی فرآیندهای تکتونیکی بعدی و نیروهای برشی وارد، خرد شده و فضای بین قطعات خرد شده توسط کانی‌هایی مثل کوارتز ریز بلور (کلسدون) و کلسیت پر شده‌اند (شکل ۴). خردشدگی در این نسل از باریت هم از نوع برشی خرد شده (برش حاصل از فعالیت‌های تکتونیکی و برش حاصل از فرآیندهای گرمایی می‌باشد.

کانه‌زایی آن‌ها در منطقه اکثراً به صورت شمال‌شرق-جنوب‌غرب و شمال‌غرب-جنوب‌شرق بود؛ بزرگ‌ترین رگه‌ها در امتداد شمال‌شرق-جنوب‌غرب بود. باریت در بعضی مناطق مشابه کرومیت چینه‌سان رفتار کرده و به صورت لزهایی باز و بسته می‌شود. رگه و رگچه‌های باریت درون ماسه‌سنگ‌ها و به مقدار کم‌تر در شیل‌ها برون‌زد دارند و عوامل ساختاری به ویژه درزه و شکاف‌ها در کنار عوامل سنگ‌شناسی نقش موثری در کنترل کانی‌سازی ایفا نموده‌اند. وجود سنگ‌هایی همچون ماسه‌سنگ به دلیل نفوذپذیری، وجود شکستگی‌ها و همچنین توانایی واکنش با سیال کانسارساز و سرانجام ته‌نشینی مواد در ناحیه واکنشی، شرایط مناسبی را برای ته‌نشین شدن باریت فراهم کرده است. شواهدی همچون قطع شدن تعدادی از رگه‌های باریت توسط رگه‌ها یا رگچه‌های جوان‌تر دربردارنده باریت، برشی شدن به همراه کانی‌سازی مجدد در رگه‌ها حاکی از رخ دادن کان‌زایی بیش از یک مرحله در منطقه مورد مطالعه می‌باشد (شکل ۳).



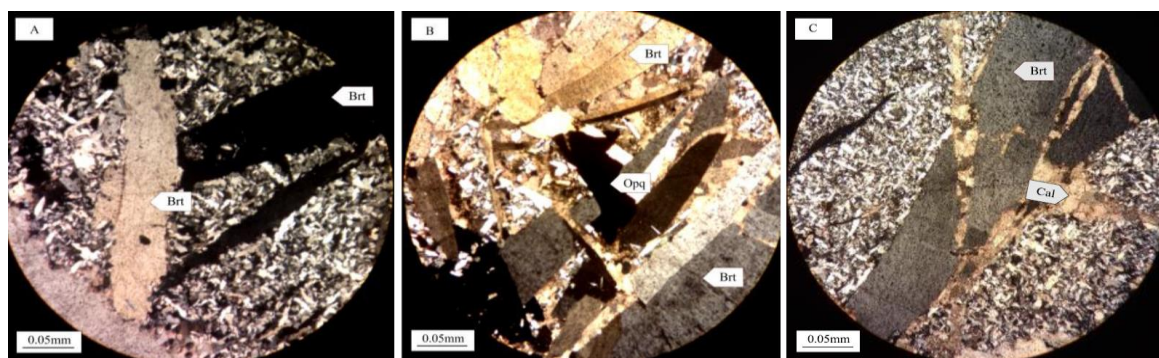
شکل (۲): رگه‌ی باریت با سنگ میزبان آهکی در منطقه مورد مطالعه.



شکل (۴): تصاویر میکروسکوپی از کانی باریت نسل اول در نور XPL. (a) و (b) بلورهای بسیار پهن باریت که دچار خرد شدگی شده و فضای بین شکستگی‌های آنها توسط کلسیت پر شده است (بافت برشی خرد شده و بافت برشی موزائیک). (c) بلورهای درشت کلسیت که در فضای شکستگی‌های کانی باریت درشت بلور پهن پر شده‌اند و جانشین باریت شده‌اند.

روابط بین بلورهای باریت تشکیل شده در طی این مرحله اکثراً مضرسی بوده ولی گاهی ساده نیز می‌باشد که حالت اول بیانگر وجود فضای رشد اندک و تأثیر تنش است. بلورهای باریت حالت قطعه‌قطعه شدن دارند که این حالت در بلورهای پهن باریت هم مشاهده می‌شود که می‌تواند دلیلی بر تداوم نیروهای تکتونیکی بعد از تشکیل بلورهای باریت باشد. بر اساس مستندات مذکور و شواهد بافتی و ساختی و کانی‌شناسی، بنظر می‌رسد این نوع کانی‌سازی مربوط به دومین نسل کانی‌سازی باریت باشد (شکل ۵).

نسل دوم از کانی‌سازی باریت مربوط به بلورهای تخته‌ای، خودشکل و طویل باریت است که نشانگر تشکیل در دمای بالا هستند و در فضاهای خالی رشد نموده و بلورهای خرد شده مرحله قبل را قطع کرده‌اند. علاوه بر این بلورهای تشکیل شده در این مرحله پیش‌تر حالت متقاطع دارند و در واقع بطور تصادفی همدیگر را در جهات مختلف قطع کرده‌اند. بلورهای باریت تشکیل شده در این مرحله نیز در اثر فرایند تکتونیکی و گرمایی، برشی و خرد شده‌اند (خردشدگی).

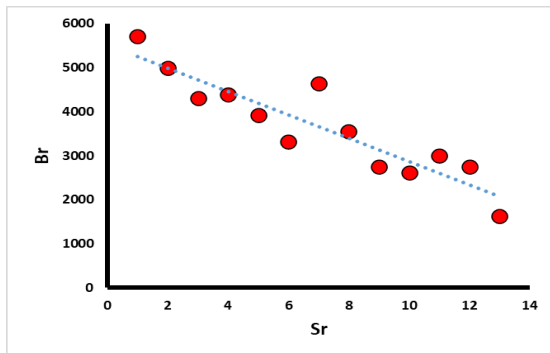


شکل (۵): تصاویر میکروسکوپی مربوط به دومین نسل از کانی‌سازی باریت. تصاویر (a, c, c) در نور XPL نشان‌دهنده نحوه قرارگیری بلورهای تخته‌ای باریت نسل دوم می‌باشد. همانطور که قابل مشاهده است بلورهای تخته‌ای باریت از حواشی مورد هجوم باریت‌های ریز بلور سوزنی شکل به همراه کوارتزهای آمورف (کلسدونی) قرار گرفته است. در شکل (c) رگه کلسیتی علاوه بر قطع کانی‌سازی باریت‌های تیغه‌ای شکل ریز بلور به همراه کوارتزهای ریز کلسدونی، بلور تخته‌ای شکل باریت را نیز قطع کرده است (رگه کلسیتی نسبت به کانی‌سازی باریت جوان‌تر است).

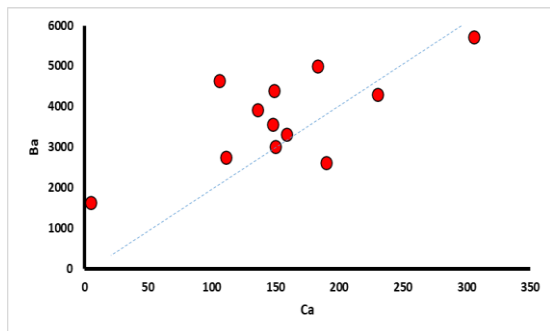
جدول (۱): نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی نمونه‌های کانی‌سازی به روش ICP-MS

As	Al	Ba	Ca	Cr	Dy	Er	Eu	Fe	Ni	P	Pb	Pr	S	Sm	Sn	Sr	Ta	Ti	Tb	Te	Th	V
2.7	<100	5713	306	7	0.4	0.2	1.04	703	<1	74	4	1.66	2352	1.9	0.1	1914	0.2	<10	0.1	7.4	0.4	2
3.3	<100	4993	183	5	0.4	0.2	0.75	266	<1	73	4	1.65	2370	1.5	<0.1	3241	0.2	<10	0.1	7	0.4	2
3.6	112	4300	230	10	0.4	0.2	0.65	590	4	73	3	1.68	2814	1.4	0.1	3949	0.2	<10	0.1	5.8	0.4	2
3.6	<100	4386	149	12	0.4	0.2	0.54	259	2	74	3	1.7	2775	1.2	<0.1	4751	0.2	<10	0.1	5.6	0.4	2
2.8	<100	3915	136	5	0.4	0.2	0.5	208	<1	74	<1	1.7	2664	1	<0.1	4767	0.2	<10	0.1	4.3	0.4	2
3.3	<100	3319	159	19	0.4	0.2	0.42	275	7	74	27	1.67	2862	0.8	0.2	5638	0.2	<10	0.1	3.7	0.4	2
1.7	<100	4643	106	11	0.4	0.2	0.8	281	3	73	<1	1.66	2047	1.4	0.2	2644	0.2	<10	0.1	7.6	0.4	2
5	<100	3557	148	20	0.4	0.2	0.5	435	7	74	<1	1.67	2659	0.9	0.3	3553	0.2	<10	0.1	4.2	0.4	2
2.6	<100	2755	111	15	0.4	0.2	0.33	311	5	74	<1	1.69	3261	0.9	0.2	6703	0.2	<10	0.1	2.7	0.4	2
3	<100	2609	190	10	0.4	0.2	0.3	278	3	73	12	1.67	3336	0.8	0.3	6555	0.3	<10	0.1	2.8	0.4	2
3.5	265	3009	150	6	0.4	0.2	0.47	383	2	74	2	1.71	3333	0.9	2.3	6345	0.2	<10	0.1	4	0.4	2
4.9	2744	2754	39178	10	1.3	0.6	0.68	4056	<1	91	41	2.06	4909	1.8	0.3	6202	0.3	<10	0.3	3.9	0.8	7
2.9	1253	1632	>10%	5	2	0.9	0.61	5056	2	81	65	2.09	6954	2	<0.1	7494	0.2	<10	0.4	2	0.7	6

از کانه‌زایی کلسیت که جوان‌تر از کانی‌سازی باریت بوده است مربوط باشد. بطور کلی بررسی زمین‌شیمی نمونه‌های باریت منطقه مورد مطالعه نشان داد که کانسار باریت حور مشابه با ذخایر گرمابی است.



شکل (۶): مقدار Sr نسبت به Ba در نمونه‌های کانسار حور (بر حسب گرم در تن).



شکل (۷): مقدار Ba نسبت به Ca در نمونه‌های کانسار حور.

### زمین شیمی عناصر اصلی در کانسار باریت حور

در نمونه‌های اندازه‌گیری شده (طبق جدول ۱) Ba بین ۱۶۳۲ تا ۵۷۱۳ گرم در تن متغیر است و عنصر Sr (۱۹۱۴ تا ۷۴۹۴ ppm) و Ca بسته به میزان کلسیت (۳۰۶ تا ۳۹۱۷۸ ppm) بطور قابل توجهی در کانسار حور وجود دارد. عناصر فلزی مانند Fe (۵۰۵۶ تا ۲۷۸ ppm)، Pb (۲ تا ۶۵ ppm) و Al و Ti به طور کلی پایین است. مقادیر سایر عناصر اندازه‌گیری شده به روش ICP-MS ناچیز بود. مقادیر اندک Al و Ti اغلب در باریت‌های گرمابی دیده می‌شود، زیرا در این نوع ذخایر بیشتر عناصر گرمابی با تحرک بالا که ویژه فازهای پایانی هستند، غنی می‌شوند و سیالات با عناصر Al و Ti دار به مقدار کم‌تر دخالت دارند. همبستگی و ارتباط برخی عناصر در شکل‌های ۶ و ۷ نشان داده شده است بین مقادیر Ba با Sr و Ca رابطه مستقیم وجود دارد بطوری که با بالا رفتن مقدار Ba مقدار Sr و Ca افزایش پیدا کرده است. این رابطه مستقیم می‌تواند به علت الف) به علت نبود کانی‌های کلسیت و سلسیت در برخی از رگچه‌ها ب) بخشی

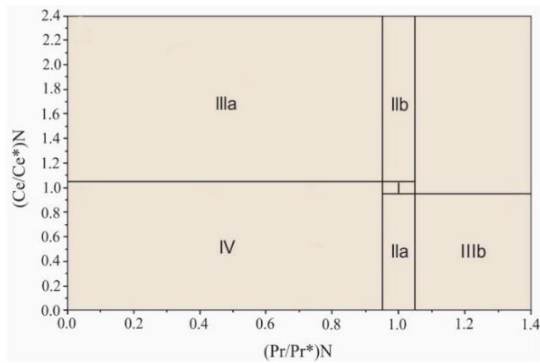
## زمین‌شیمی عناصر نادر خاکی

نمودار توزیع عناصر نادر خاکی نمونه‌های باریت مورد مطالعه در شکل ۸ نشان داده شده است. نمودار عنکبوتی عناصر نادر خاکی نمونه‌های باریت نشان می‌دهد که پس از بهنجار شدن با کندریت (۱۷)، یک شیب منفی همراه با آنومالی منفی Er, Yb, Gd, Eu و آنومالی مثبت La, Ce, Nd, Sm وجود دارد بدین معنی که غنی‌شدگی عناصر نادر خاکی سبک نسبت به عناصر نادر خاکی سنگین قابل مشاهده است این روند نزولی ناشی از الگوی غنی‌شدگی در LREE و تهی‌شدگی در HREE است (شکل ۸). دو عنصر Eu و Ce از حساسیت فوق‌العاده‌ای برخوردار هستند و در نمونه‌های زمین‌شناسی به عنوان مهمترین ردیاب برای ارزیابی شرایط محیطی در سیستم‌های زمین‌شناختی مختلف محسوب می‌شوند (۱۸). آنومالی Ce بیش‌تر به‌وسیله شرایط اکسایش - کاهش کنترل می‌شود. همچنین به عنوان یک ردیاب برای تفکیک آب‌های کاهنده و اکسید کننده کاربرد دارد (۱۹). تهی‌شدگی Eu در نمونه‌های باریت این کانسار می‌تواند مرتبط با تبلور بخشی پلاژیوکلاز از ماگمای مرتبط با کانه‌زایی باشد. Eu دارای شعاع یونی برابر با Ca بوده و می‌تواند جانشین کلسیم در پلاژیوکلازهای کلسیک شده و همراه آن از سیستم ماگمایی خارج شود. از سوی دیگر Ce می‌تواند به  $Ce^{4+}$  اکسید شود. بنابراین در شرایط اکسیداسیون، Ce از سایر عناصر نادرخاکی جدا می‌شود و می‌تواند یک آنومالی مثبت به وجود آید (۱۸). وجود آنومالی مثبت Ce می‌تواند دلیل عدم خروج آن از محیط و حضور نسبی Ce در ساختمان کانه‌هایی مانند مگنتیت باشد (۲۰).

در همین راستا نسبت LREE/HREE و مولفه  $\Sigma REE$  برای بررسی شرایط تشکیل نمونه‌های باریت محاسبه گردید. مقادیر  $\Sigma REE$  نشان می‌دهد که نمونه‌های کانسار حور با مقدار میانگین  $13/85$  در محدوده  $5/32$  تا  $14/56$  گرم در تن قرار دارند که این مقدار پایینی است. نسبت LREE/HREE به طور میانگین  $18/71$  گرم در تن بوده که در محدوده  $18/10$  تا  $120/33$  گرم در تن جای می‌گیرند و نشان دهنده غنی‌شدگی باریت کانسار حور از عناصر نادرخاکی سبک است. بدلیل شباهت یونی بیش‌تر عناصر LREE به Ba در مقایسه به عناصر HREE انتظار می‌رود که عناصر مذکور جایگزین یون  $Ba^{2+}$  و کانی‌های همراه دیگر همچون مگنتیت شوند (۲۱).

باریت‌های دارای منشا دریایی دارای میزان HREE بیش‌تری نسبت به باریت‌های با منشا گرمابی در مناطق قاره‌ای هستند. عموماً باریت‌های با منشا دریایی ۱۰ تا ۱۰۰ برابر بیش‌تر از باریت‌های مناطق قاره‌ای حاوی عناصر نادر خاکی هستند (۲۲ و ۲۱). مقادیر  $9/55$  تا  $17/63$  نمونه‌های باریت کانسار حور از این نظر پایین بوده و بیانگر وجود یک منشا قاره‌ای از نوع هیدروترمالی در مقایسه با عملکرد یک منشا دریایی در تشکیل کانسار مذکور است. از سوی دیگر نسبت Ce/La نیز یک عمل تفکیکی پیشنهادی بین منشا دریایی و منشا قاره‌ای در نمونه‌های باریت است (۲۱). در باریت‌های دریایی این نسبت  $< 1$  و در مقابل در باریت‌های با منشا قاره‌ای (رگه‌ای شکل)  $> 1$  را دارا خواهند بود (۲۱). در نمونه‌های باریت کانسار حور نسبت مذکور بیش‌تر از یک است. بر این اساس به نظر می‌رسد که نمونه‌های باریت مورد مطالعه دارای منشا قاره‌ای و به شکل رگه‌ای تشکیل شده باشند.





شکل (۹): نمودار مربوط به نسبت  $(Ce/Ce^*)_N$  در مقابل  $(Pr/Pr^*)_N$  (۹): نمودار مربوط به نسبت  $(Ce/Ce^*)_N$  در مقابل  $(Pr/Pr^*)_N$  در مقابل  $(Pr/Pr^*)_N$  نرمال شده به شیل پست-آرکئن استرالیا (۲۵).

با این توضیح که:

I: بدون آنومالی

IIa: آنومالی مثبت La به علت حضور مواد والد

IIb: آنومالی منفی La تولید شده از مواد والد دارای

آنومالی مثبت Ce

IIIa: آنومالی مثبت واقعی Ce

IIIb: آنومالی منفی واقعی Ce

IV: آنومالی مثبت La که همراه با یک آنومالی مثبت

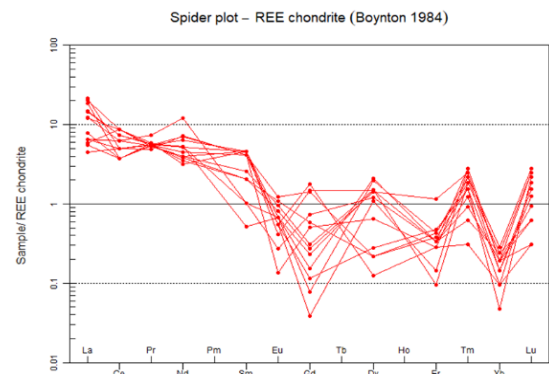
Ce است.

### نتیجه گیری

در این پژوهش از عناصر نادرخاکی و مطالعات پتروگرافی جهت شناسی تیپ کانه‌زایی و ژنز کانسار باریت حور واقع در کرمان بهره گرفته شد.

کانسار باریت حور از نظر تیپ کانه‌زایی در دسته‌ی کانسارهای هیدروترمال رگه‌ای قرار می‌گیرد. این نوع کانسارها به واسطه‌ی تشکیل رگه‌ها و رگچه‌های معدنی درون سنگ‌های میزبان، معمولاً در امتداد شکستگی‌ها، درزه‌ها و سایر ساختارهای تکتونیکی ایجاد می‌شوند. در مورد کانسار حور، رگه‌ها و رگچه‌های باریت عمدتاً در واحدهای رسوبی ماسه‌سنگی و شیلی شکل گرفته‌اند. این رگه‌ها دارای

نسبت‌های  $(La/La^*)_N$  و  $(Gd/Gd^*)_N$  در نمونه‌های باریت با منشا دریایی بالاتر از واحد است (۲۳). در نمونه‌های باریت کانسار حور، میانگین نسبت‌های یاد شده به ترتیب  $۰/۳۱$  و  $۰/۲۵$  بوده و کمتر از مقدار واحد هستند که بیانگر تشکیل آن‌ها در یک محیط قاره‌ای است. نسبت  $(Ce/Ce^*)_N$  نیز نشان می‌دهد که یک آنومالی مثبت از عناصر Ce و La وجود دارد. در سیستم‌های باز آب‌های دریایی، آنومالی منفی Ce دیده می‌شود زیرا عنصر یاد شده به سرعت طی اکسیداسیون از محیط خارج می‌شود (۲۴). از اینرو بنظر می‌رسد که با وجود آنومالی مثبت Ce نمونه‌های باریت کانسار حور، در یک محیط قاره‌ای و بدور از آب‌های دریایی تشکیل شده باشند. ترسیم نمودار مربوط به مقادیر نسبت‌های  $(Ce/Ce^*)_N$  و  $(Pr/Pr^*)_N$  نیز نشان می‌دهد که جایگیری نمونه‌های باریت کانسار حور در محدوده IV بیانگر آنومالی مثبت La و Ce است (شکل ۹).



شکل (۸): نمودار عنکبوتی عناصر نادر خاکی نمونه‌های باریت بهنجار شده به کندریت.

شیب نسبتاً زیاد (۶۰ تا ۸۰ درجه) بوده و در جهت‌های شمال‌شرق-جنوب‌غرب و شمال‌غرب-جنوب‌شرق کشیده شده‌اند، که این مسئله نشان‌دهنده تأثیر مستقیم فعالیت‌های تکتونیکی بر فرآیند کانه‌زایی است. همچنین، حضور رگه‌های چند مرحله‌ای و جوان‌تر که رگه‌های قدیمی‌تر را قطع می‌کنند، دلالت بر چند مرحله‌ای بودن فرآیند کانی‌سازی دارد.

از نظر ژنز، کانسار باریت حور به عنوان یک کانسار با منشأ هیدروترمال در محیط قاره‌ای در نظر گرفته می‌شود. در این نوع کانسارها، سیالات هیدروترمال از عمق زمین و از طریق شکستگی‌ها و درزه‌ها به سمت بالا حرکت می‌کنند و با سرد شدن و تغییر شرایط شیمیایی، مواد معدنی را در داخل این فضاها ته‌نشین می‌کنند. شواهد ژئوشیمیایی موجود، از جمله توزیع عناصر نادر خاکی (REEs) در باریت‌های این کانسار، غنی‌شدگی عناصر نادر خاکی سبک (LREE) نسبت به عناصر نادر خاکی سنگین (HREE)، و همچنین آنومالی‌های Eu و Ce، تأیید می‌کنند که این کانسار توسط سیالات هیدروترمال غنی از عناصر با حرکت بالا مانند Ba تشکیل شده است. این سیالات با نفوذ در واحدهای رسوبی، به ویژه ماسه‌سنگ‌ها که به دلیل نفوذپذیری بالا و وجود شکستگی‌ها شرایط مناسبی برای عبور سیالات و ته‌نشینی مواد معدنی دارند، باعث تشکیل رگه‌ها و لنزهای باریت شده‌اند.

این فرآیند با چند مرحله‌ای بودن کانی‌سازی باریت همراه بوده است، به طوری که نسل اول بلورهای باریت به دلیل تأثیرات تکتونیکی بعدی خرد شده و فضای بین قطعات خرد شده توسط کانی‌های دیگری مانند کوارتز و کلسیت پر شده است. نسل دوم باریت نیز به صورت بلورهای خودشکل و طویل در فضاهای

خالی رشد کرده و بلورهای خرد شده مرحله قبل را قطع کرده است. این شواهد بافتی و ساختاری، همراه با مقادیر پایین عناصر فلزی مانند Al و Ti، که در کانسارهای هیدروترمال رایج است، نشان‌دهنده آن است که کانسار باریت حور به طور عمده توسط سیالات هیدروترمال در یک محیط قاره‌ای تشکیل شده و فرآیند کانی‌سازی آن تحت تأثیر فعالیت‌های تکتونیکی و شرایط ژئوشیمیایی خاص محیط بوده است.

نمودار عنکبوتی و مقادیر نسبت‌های LREE/HREE و  $\Sigma$ REE نشان می‌دهد که باریت‌های کانسار حور از عناصر نادر خاکی سبک (LREE) نسبت به عناصر نادر خاکی سنگین (HREE) غنی شده‌اند که این الگو معمولاً در کانسارهای هیدروترمالی مشاهده می‌شود، زیرا عناصر LREE به دلیل شباهت یونی بیشتر به Ba تمایل بیشتری به جایگزینی در ساختار باریت دارند. آنومالی‌های مشاهده شده در Eu و Ce، به ویژه آنومالی مثبت Ce و نسبت Ce/La بزرگتر از یک، نشانه‌هایی از تشکیل در محیط قاره‌ای و منشأ هیدروترمالی است، در حالی که باریت‌های دریایی به طور معمول نسبت Ce/La کم‌تر از یک دارند. مقادیر پایین  $\Sigma$ REEs در نمونه‌های باریت حور نیز تأییدی بر منشأ هیدروترمالی قاره‌ای آن است، چرا که باریت‌های با منشأ دریایی به طور معمول مقادیر REEs بیشتری دارند. علاوه بر این، شواهد ساختاری و بافتی از جمله بلورهای پهن و درشت باریت که نشان‌دهنده تشکیل در دمای بالا و فضای مناسب برای رشد بلورها هستند، همراه با خردشدگی و برش‌های مشاهده شده در بلورها که بیانگر فعالیت‌های تکتونیکی و گرمایی است،

type barite ( $\pm$ base metal, gold) deposits in northern Madagascar and its link with Mesozoic Pangean rifting. *Mineralium Deposita* 59, 255-273.

[7] Zhou, Z., Wen, H., Qin, C., de Fourestier, J., Liu, L., Shi, Q., 2018, The genesis of the Dahebian Zn-Pb deposit and associated barite mineralization: Implications for hydrothermal fluid venting events along the Nanhua Basin, South China. *Ore Geology Reviews* 101, 785-802.

[8] Torres, M. E., Brumsack, H. J., Bohrmann, G., Emeis, K. C., 1996, Barite fronts in continental margin sediments: a new look at barium remobilization in the zone of sulfate reduction and formation of heavy barites in diagenetic fronts. *Chemical Geology* 127, 125-139.

[9] Cansu, Z., Öztürk, H., 2020, Formation and genesis of Paleozoic sediment-hosted barite deposits in Turkey. *Ore Geology Reviews* 125, 103700.

[10] Canet, C., Anadón, P., González-Partida, E., Alfonso, P., Rajabi, A., Pérez-Segura, E., Alba-Aldave, L. A., 2014, Paleozoic bedded barite deposits from Sonora (NW Mexico): Evidence for a hydrocarbon seep environment of formation. *Ore Geology Reviews* 56, 292-300.

[11] Hormozi, H.K., Ehya, F., Paydar, G.R., kHeymehsari, S., 2023, Formation of barite in the Ab Torsh deposit, Kerman province, Iran: Insights from rare earth elements, O and S isotopes, and fluid inclusions, *Geochemistry* 83 1- 14.

[12] Ehya, F., Mazraei, S. M., 2017, Hydrothermal barite mineralization at Chenarvardeh deposit, Markazi Province, Iran: evidences from REE geochemistry and fluid inclusions. *Journal of African Earth Sciences* 134, 299-307.

[13] Alzughoul, K. A., Ibrahim, K. M., Khoury, H. N., Farouk, S., Maynard, J. B., 2022, Mineralogy, geochemistry, and stable isotope characteristics of barite deposits from Wadi El Mingar, North Eastern Jordan. *Neues Jahrbuch Geol. Palaontol. Abhand.*, 123-142.

[14] Keveshk, H. H., Ehya, F., Paydar, G. R., Kheymsari, S. M., 2021, Rare earth elements geochemistry, O and S isotopic compositions, and microthermometric data of barite from the Kuh-Ghalagheh deposit,

نشان‌دهنده کانی‌سازی چند مرحله‌ای در این کانسار است. این شواهد همگی حاکی از این هستند که کانسار باریت حور در یک محیط قاره‌ای و تحت تأثیر فرآیندهای هیدروترمالی تشکیل شده است.

### تشکر و قدرانی

این مقاله حاصل بخشی از فعالیت‌های پژوهشی لازم برای اخذ درجه دکتری زمین‌شناسی اقتصادی نویسنده اول از دانشگاه آزاد اسلامی واحد بهبهان می‌باشد. از داوران گرامی مجله کاربرد شیمی در محیط زیست که با پیشنهادات سازنده خود موجب بهبود کیفیت مقاله شدند، سپاسگزاری می‌شود.

### مراجع

- [1] Alizadeh-Kouskuie, A., Atapour, H., Rahmani, F., 2020, Assessing the geochemical and environmental baseline of heavy metals in soils around hydrothermal hematite-barite-galena veins in Baghin area, Kerman, Iran. *Environmental Geochemistry and Health* 42, 4011-4036.
- [2] Ebunu, A. I., Olanrewaju, Y. A., Ogolo, O., Adetunji, A. R., Onwualu, A. P., 2021, Barite as an industrial mineral in Nigeria: occurrence, utilization, challenges and future prospects. *Heliyon*, 7, 6.
- [3] Middleton, J. T., Hong, W. L., Paytan, A., Auro, M. E., Griffith, E. M., Horner, T. J., 2023, Barium isotope fractionation in barite-fluid systems at chemical equilibrium. *Chemical Geology* 627, 121453.
- [4] Kursun, G. B., Yalcin, M. G., 2020, Origin of barite deposits in dolomite-limestone units, Gazipasa, Eastern of Antalya: Geology, geochemistry, statistics, sulfur isotope composition. *Mining of Mineral Deposits*, 14, 62-71.
- [5] Song, Y. C., Liu, Y. C., Hou, Z. Q., Fard, M., Zhang, H. R., Zhuang, L. L., 2019, Sediment-hosted Pb-Zn deposits in the Tethyan domain from China to Iran: characteristics, tectonic setting, and ore controls. *Gondwana Research* 75, 249-281.
- [6] Heijlen, W., Vos, K., Kartalis, N., Boyce, A. J., Mucchez, P., 2024, The formation of vein-

- index for subtropical sandy soils under different Eucalyptus harvest residue managements. *J. For. Res.* 34, 243–255.
- [24] Pattan, J.N., Pearce, N.J.G., Mislankar, P.G., 2005, Constraints in using Cerium-anomaly of bulk sediments as an indicator of paleo bottom water redox environment: a case study from the Central Indian Ocean Basin. *Chem. Geol.* 221, 260–278.
- [25] Taylor, S.R., McLennan, S.M., 1985, *The Continental Crust: Its Composition and Its Evolution*. Blackwell, Oxford, p. 312p.
- Markazi Province, Iran. *Applied Geochemistry* 135, 105128.
- [15] Mohammadi Lisehroudi, M., Mokhtari, M. A. A. , Kouhestani, H. and Zohdi, A. (2022). Genetic model and type of Sarcheleshk Pb–Zn (F–Ba) deposit, Savadkouh area, Mazandaran province. *Journal of Economic Geology*, 14(2), 1-28.
- [16] Amin-Rasouli, H., Moradi, M., Baleshabadi, Z. S., 2021, Geochemistry, S and Sr isotopes and origin of the Shahneshtin barite deposit, NW Kurdistan Province, Iran, *Journal of Economic Geology*, 13 (4), 789-815.
- [17] Boynton, W. V. 1984, Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. In *Developments in geochemistry* (Vol. 2, pp. 63-114). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-42148-7.50008-3>
- [18] Jiang, S.Y., Zhao, H.X., Chen, T.Y., Yang, T., Yang, J.H. and Ling, H.F., 2007, Trace and rare earth element geochemistry of phosphate nodules from the Lower Cambrian black shale sequence in the Mufu Mountain of Nanjing, Jiangsu Province China. *Chemical Geology*, 244(3-4): 584- 604.
- [19] Karadag, M.M., Kupeli, S., Arik, F., Ayhan, A., Zedef, V., and Doyen, A., 2009, Rare earth element (REE) geochemistry and genetic implications of the Mortas bauxite deposit (Seydisehir/konya-Southern Turkey). *Chemie der Erde- Geochemistry* 69, 143- 159.
- [20] Appel, P.W.U., 1983, Rare earth element in the early Archaen Isua iron-formation, west Greenland. *Precambrian Research* 20, 243-258.
- [21] Guichard, F., Church, T.M., Treuil, M., Jaffrezic, H., 1979, Rare earths in barites: distribution and effects on aqueous partitioning. *Geochim. Cosmochim. Acta* 43, 983–997.
- [22] Dora, M.L., Roy, S.K., Khan, M., Randive, K., Kanungo, D.R., Barik, R., Kaushik, C.S., Bari, S.H., Pattanayak, R.S., Krishna, K.V.S., Mayachar, G.K., 2022, Rift-induced structurally controlled hydrothermal barite veins in 1.6 Ga granite, Western Bastar Craton, Central India: constraints from fluid inclusions, REE geochemistry, sulfur and strontium isotopes studies. *Ore Geol. Rev.* 148, 105050.
- [23] de Sao ~ Jos'e, J.F.B., Cherubin, M.R., Vargas, L.K., Lisboa, B.B., Zanatta, J.A., Araújo, E.F., Bayer, C., 2023, A soil quality

“Research article”

## Petrographic and Geochemical Study of the Hour Barite Deposit, Kerman Province

Borzo Rahim Dashti<sup>1</sup>, Farhad Ehya<sup>2\*</sup>, Sara Maleki Khime Sari<sup>3</sup>, Alireza Zarasundi<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Department of Geology, Behbahan Branch, Islamic Azad University, Behbahan, Iran

<sup>2</sup>Department of Geology, Behbahan Branch, Islamic Azad University, Behbahan, Iran

<sup>3</sup>Department of Geology, Behbahan Branch, Islamic Azad University, Behbahan, Iran

<sup>4</sup>Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University, Ahvaz

\*Corresponding author: ehya.farhad@gmail.com

(Received: 29 October 2024, Accepted: 8 January 2025)

### Abstract

The Hour Barite deposit, located within sedimentary units of sandstone and shale, has formed as a hydrothermal vein-type deposit in a continental environment. This study aims to investigate the geochemistry and mineralogy of this deposit, as well as to determine its origin and formation conditions. The distribution of rare earth elements (REEs) in the barite samples indicates enrichment of light rare earth elements (LREEs) relative to heavy rare earth elements (HREEs), along with the presence of positive Ce and negative Eu anomalies, which suggest specific oxidation-reduction conditions in the formation environment. The low  $\Sigma$ REEs values and LREE/HREE ratios in the Hour deposit's barites further indicate a hydrothermal origin for this deposit. Additionally, structural and textural evidence, including the presence of multi-phase veins and crystal fragmentation, confirm that barite mineralization in this area was influenced by tectonic processes and hydrothermal fluids. The results of this study suggest that the Hour Barite deposit is similar to other hydrothermal deposits in continental environments, with its origin attributed to hydrothermal fluids that, under active tectonic conditions, led to the formation of barite veins and vein.

**Conflict of interest:** None declared.

**Keywords:** Barite, Geochemistry, Petrography