

میانبارهای سیال و شیمی کانی‌های سولفیدی (اسفالریت و کالکوپیریت) در کانسارهای سرب و روی عمارت و باباقله، بخش میانی کمر بند فلز زایی ملایر- اصفهان

علیرضا زراسوندی^۱، الهام پورشیخی^{۱*}، سمیه دولتشاهی^۲

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۲- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

(دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۸/۲۲، نسخه نهایی: ۱۴۰۳/۱۱/۶)

چکیده: کانسارهای سرب و روی باباقله و عمارت در استان مرکزی و در بخش میانی کمر بند ملایر- اصفهان قرار دارند. کانه‌زایی در کانسارهای عمارت و باباقله به ترتیب در واحدهای کربناتی کرتاسه پیشین و فیلیت‌های سیاه ژوراسیک میانی رخ داده است. متفاوت بودن نسبت روی به عناصر آهن، نقره و مس در اسفالریت بیانگر تفاوت زایشی کانسارهای عمارت و باباقله است. نسبت Sn به Ga و In به In در اسفالریت‌های کانسار عمارت بیش از یک بوده، و این نسبت‌ها در کانسار باباقله کمتر از یک است. میانگین غلظت Sn و Ga در کالکوپیریت‌های عمارت از باباقله بیشتر است. نتایج ریزدماسنجی میانبارهای سیال کوارتز در کانسارهای باباقله به ترتیب دمای همگن-شدگی را ۱۹۵-۱۳۰ درجه سانتی‌گراد و شوری را ۱۸-۱/۹ درصد وزنی نمک طعام نشان می‌دهد. دمای همگن‌شدگی و شوری میانبارهای سیال کانسار عمارت به ترتیب در گستره ۱۱۳-۹۵ درجه سانتی‌گراد و ۱۰/۶-۷/۸ درصد وزنی نمک طعام است. براساس شواهد زمین‌شیمی، نوع سنگ میزبان و میانبار سیال کانسار عمارت و باباقله به ترتیب بیشترین همخوانی را با ذخایر نوع ذخایر نوع دره می‌سی‌سی‌پی (MVT) و رسوبی-بروندمی (SEDEX) دارند.

واژه‌های کلیدی: عمارت؛ باباقله؛ میانبار سیال؛ اسفالریت؛ کالکوپیریت.

مقدمه

کمر بندهای فلز زایی ملایر- اصفهان، طیس- پشت بادام، البرز مرکزی، و یزد- انارک شده است [۵]. کمر بند فلز زایی ملایر- اصفهان با طول ۴۰۰ کیلومتر و عرض ۹۰ کیلومتر و با راستای شمال غربی- جنوب شرقی با دربرگیری عمده استان‌های مرکزی، اصفهان، همدان و لرستان و چهارمحال بختیاری، بخشی از قسمت میانی پهنه سنج- سیرجان را شامل می‌شود. دو کانسار باباقله و عمارت از جمله ذخایر سرب و روی در این کمر بند فلز زایی هستند (شکل ۱). ذخیره باباقله با مختصات جغرافیایی " ۳۰ ۵۳' ۴۹" طول شرقی و عرض شمالی " ۲۰ ۳۳' ۳۳" در ۳۳ کیلومتری جنوب غربی شهرستان خمین در

وجود سکوه‌های کربناتی و شرایط زمین پویایی ایران، شرایط را برای نهشته‌گذاری سرب و روی در میزبان‌های کربناتی فراهم کرده است. ذخایر سرب و روی با سنگ میزبان رسوبی شامل کانسارهای ذخایر نوع دره می‌سی‌سی‌پی (MVT)، ذخایر رسوبی-بروندمی (SEDEX)، ایرلندی و سرب نوع ماسه سنگی هستند [۱، ۲]. ذخایر سرب و روی ایران با میزبان رسوبی از دو بعد زمانی و مکانی قابل تامل هستند به طوری که پراکندگی زمانی آن‌ها بیشتر طیفی از پالئوژئیک و مزوزوئیک را در بر می‌گیرد [۳، ۴] و گسترده‌گی مکانی آن‌ها منجر به رخداد

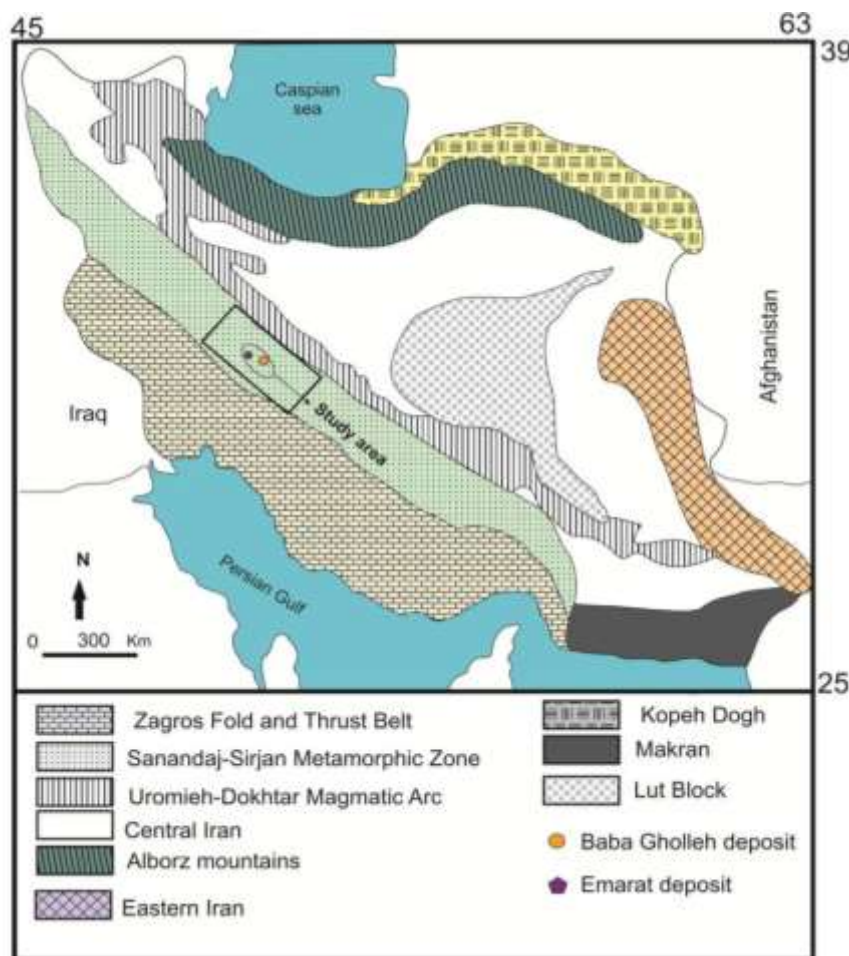
*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۰۶۰۴۰۴۹۲، پست الکترونیکی: e.pgeo2015@gmail.com



و زمین‌شیمی این کانسار را از نوع ذخایر دره می‌سی‌سی‌پی (MVT) معرفی کرده‌اند [۱۱]. [۱۲]، این کانسار از نوع لایه-کران بوده که در سنگ‌های کربناتی کرتاسه پیشین نهشته شده است و آن را زیر رده‌ای از کانسارهای MVT به شمار آورده‌اند که مهم‌ترین فرآیندهای تشکیل کانسار عمارت را احیای گرمایی- شیمیایی سولفات، برهم کنش محلول با سنگ دیواره و سرد شدن آن برشمرده‌اند. دروگر خبیصی [۱۳] این کانسار را از نوع MVT در نظر گرفته و بیان کرده است که در شرایط احیای و محیط کم عمق و گرم تشکیل شده است. براساس نظر زراسوندی [۱۰] این کانسار از نوع MVT است. در این پژوهش، ذخیره سرب و روی باباقله و عمارت از نظر کانی-شناسی، شیمی کانی‌های سولفیدی، میانبار سیال و فرآیندهای موثر در تشکیل بررسی و مقایسه شده‌اند.

استان مرکزی قرار دارد. نظریه‌های مختلفی در مورد خاستگاه آن ارائه شده است. مومن زاده [۶] رخداد باباقله را رگه‌ای نوع دورگرم می‌داند. برخی دیگر از پژوهشگران این ذخیره را ناشی از تولید محلول‌های بالارونده‌ی حاوی سرب، روی و گوگرد در اثر فعالیت ماگمایی، ذوب‌بخشی عمیق، آمیختگی این محلول‌ها با محلول‌های سطحی و ته نشست کانه‌ها در شکستگی‌ها و سازندهای کربناتی می‌دانند [۷]. برخی پژوهشگران [۸، ۹] نیز این ذخیره را نوع رگه‌ای معرفی کرده‌اند، در آخر به باور زراسوندی [۱۰]، این کانسار از نوع رسوبی- برون‌دمی (SEDEX) است.

کانسار عمارت با مختصات جغرافیایی " ۲۶ ۴۳ ۴۹ طول شرقی و " ۳۳ ۴۳ ۰۵ عرض شمالی در ۴۵ کیلومتری جنوب-غرب اراک قرار دارد و یکی از بزرگترین ذخایر سرب و روی در کمربند ملایر- اصفهان است. براساس بررسی‌های زمین‌شناسی



شکل ۱ موقعیت مناطق مورد بررسی در پهنه ساندج- سیرجان برگرفته از مرجع [۱۴] با تغییرات. مستطیل سیاه نشان دهنده کمربند سرب و روی ملایر اصفهان است.

روش بررسی

در این پژوهش، در مجموع ۱۸ قطعه صیقلی و ۱۲ مقطع نازک از هر دو کانسار تهیه و از نظر کانه‌نگاری، کانی‌شناسی و سنگ-شناسی بررسی شدند. به‌منظور تعیین شیمی عناصر فرعی در کانی‌های سولفیدی، ۲۱ نقطه برای هر یک از کانی‌ها در مجموع بر ۶ نمونه کالکوپیریت و اسفالریت دو ذخیره در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه لرستان با میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FESEH) مجهز به طیف سنج پراکندگی انرژی پرتوی ایکس (EDX) با دستگاه SEM-EDX ساخت کشور جمهوری چک تجزیه شدند. همچنین برای تعیین ویژگی‌های سیال کانه‌ساز، بررسی ریزدماسنجی میانبار سیال در کوارتزهای دارای کانه‌زایی با اندازه‌گیری پارامترهای دمایی در آزمایشگاه کانی‌شناسی مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران (ایمیدرو) به کمک صفحه THMS600 گرم کننده و منجمدکننده مدل لینکام متصل به میکروسکوپ زایس با گستره دمایی ۱۹۶- تا ۶۰۰+ درجه سانتی‌گراد انجام شد. واسنجی صفحه در گرمایش با دقت ۰/۶ ± با نیترا ت سزیم با نقطه ذوب ۴۱۴ °C و در انجماد با دقت ۰/۲ ± با ماده استاندارد انهگزبان با نقطه ذوب ۹۴/۳ - درجه سانتیگراد انجام شد. در این پژوهش، ۲۸ میانبار سیال برای ذخیره باباقله و ۲۹ میانبار سیال برای ذخیره عمارت در کوارتزهای دارای کانه‌زایی بررسی گردیدند.

زمین‌شناسی ناحیه‌ای و منطقه‌ای

پهنه سنج سیرجان در موقعیت زمین‌ساختی پشت کمانی قرار دارد [۱۵، ۱۶] و در نتیجه فروانش اقیانوس تتیس جوان به زیر صفحه ایران ایجاد شده است [۱۷]. در تریاس پسین-ژوراسیک، فروانش تتیس جوان به زیر ایران مرکزی شروع شده و با ادامه این رخداد حوضه کششی پشت قوسی پهنه سنج سیرجان در کرتاسه پیشین تشکیل شده است [۱۸]. این حوضه کششی کمربند فلززایی ملایر-اصفهان نامیده می‌شود [۱۵]. رخداد کششی کرتاسه پیشین منجر به حوضه‌های فرازمین و فروزمین در کمربند فلززایی ملایر-اصفهان شده است. حوضه‌های فروزمینی این کمربند جایگاه بسیاری از کانسارهای سرب و روی با میزبان کربناتی هستند [۵]. شکل ۲ بخش‌هایی از ستون چینه‌شناسی در دو ذخیره باباقله و عمارت

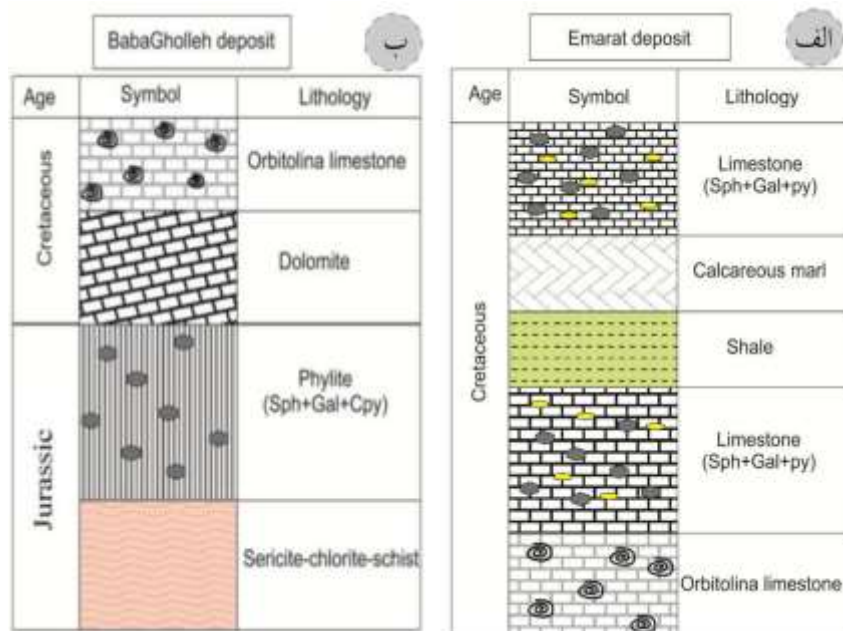
را نشان می‌دهد. بیشتر ذخایر سرب و روی کمربند فلززایی ملایر-اصفهان در توالی واحدهای کرتاسه قرار دارند. کانسار عمارت در توالی چینه‌شناسی KS به سن کرتاسه پیشین واقع است، سنگ میزبان ذخایری که در این توالی قرار دارند شامل تناوب آهک‌های سیلیسی اربیتولین‌دار ضخیم‌لایه تا لایه‌های متوسط با شیل و لای سنگ آهکی است [۱۹] (شکل ۲ الف). ذخایر سرب و روی ژوراسیک در پهنه فلززایی ملایر-اصفهان در توالی رسوب‌های تخریبی ژوراسیک که معادل سازند شمشک هستند ایجاد شده‌اند؛ از این دسته ذخایر کانسار باباقله را می‌توان نام برد [۱۹].

در منطقه ذخیره باباقله، قدیمی‌ترین واحد سنگی رخنمون یافته مربوط به سنگ‌های دگرگونی ژوراسیک پیشین و میانی است (شکل ۳) واحد ژوراسیک پیشین (J_{ph}) شامل سرسیت کلریت شیست‌های خاکستری تا سیاه رنگ به شدت چین خورده است که در نتیجه دگرگونی سنگ‌های رسی، لای‌دار و کمی ماسه‌ای دانه ریز تشکیل شده‌اند [۸]. واحد سنگی ژوراسیک میانی (J_{s,sh}) دربردارنده شیل‌های لای‌دار و رسی و تا حدی فیلیتی است که به‌طور ناپیوسته روی فیلیت‌های همدان قرار دارد [۲۰]. فیلیت‌های سیاه در واحد ژوراسیک میانی (J_{s,sh}) در واقع سنگ میزبان کانسنگ ذخیره باباقله محسوب می‌شوند. این فیلیت‌های سیاه همراه با میان‌لایه‌های ماسه سنگ تیره دگرگون شده هستند. کنگلومرا، لای سنگ، مارن لای دار و آبرفت جوانترین نهشته‌های رسوبی در ناحیه باباقله محسوب می‌شوند که دارای سن ترشیاری تا کواترنری هستند [۸].

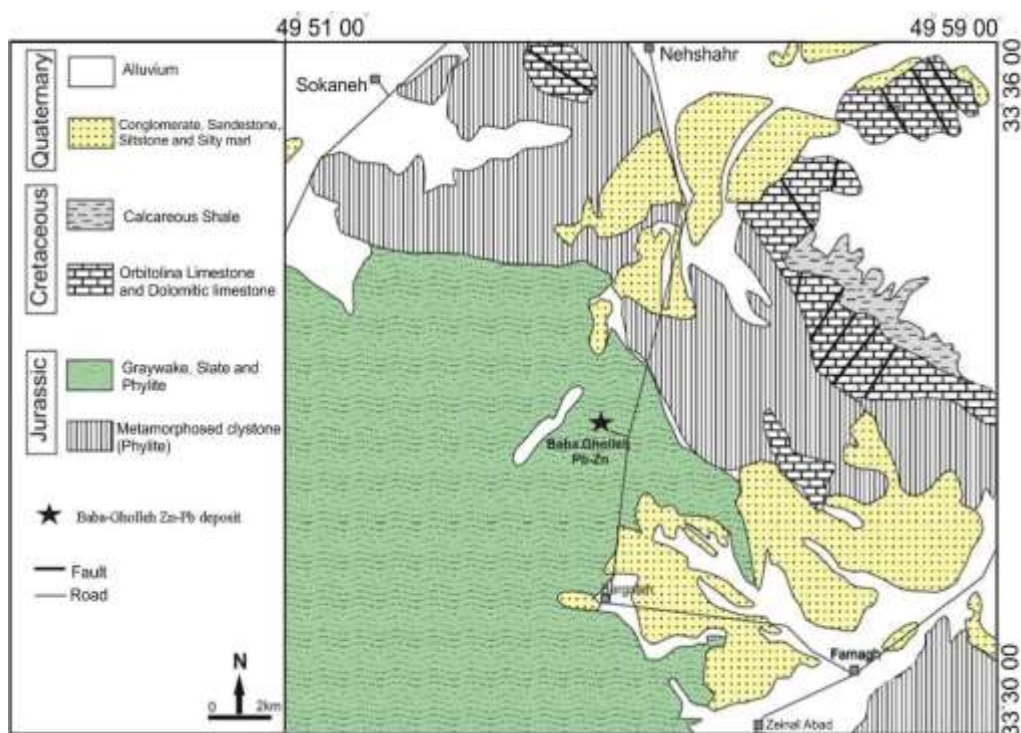
کانسار سرب و روی عمارت بر بخشی از یال جنوبی ناودیس الیم آباد-موچان-کوه برآفتاب قرار دارد. واحد ژوراسیک در این ناحیه معادل سازند نایبند در ایران مرکزی است. این واحد شامل شیل، ماسه سنگ و کمی آهک است که در برخی نقاط، تبدیل به فیلیت، اسلیت، کوارتزیت، مرمر و آمفیبولیت می‌شوند. مرز واحد ژوراسیک با واحد تریاس به‌صورت تدریجی است. در این ناحیه، واحد کرتاسه به صورت دگرشیب روی واحد ژوراسیک قرار دارد. رسوب‌های کواترنری جوان شامل آبرفت، ماسه سنگ، کنگلومرا، و مارن لای دار به‌عنوان جوانترین رسوب‌ها، بخش گسترده‌ای از منطقه کانسار عمارت

آهکی و کوارتزیت ایجاد شده است. نزدیک‌ترین توده نفوذی به منطقه عمارت گرانودیوریت آستانه است که با کانسار ۲۵ کیلومتر فاصله دارد.

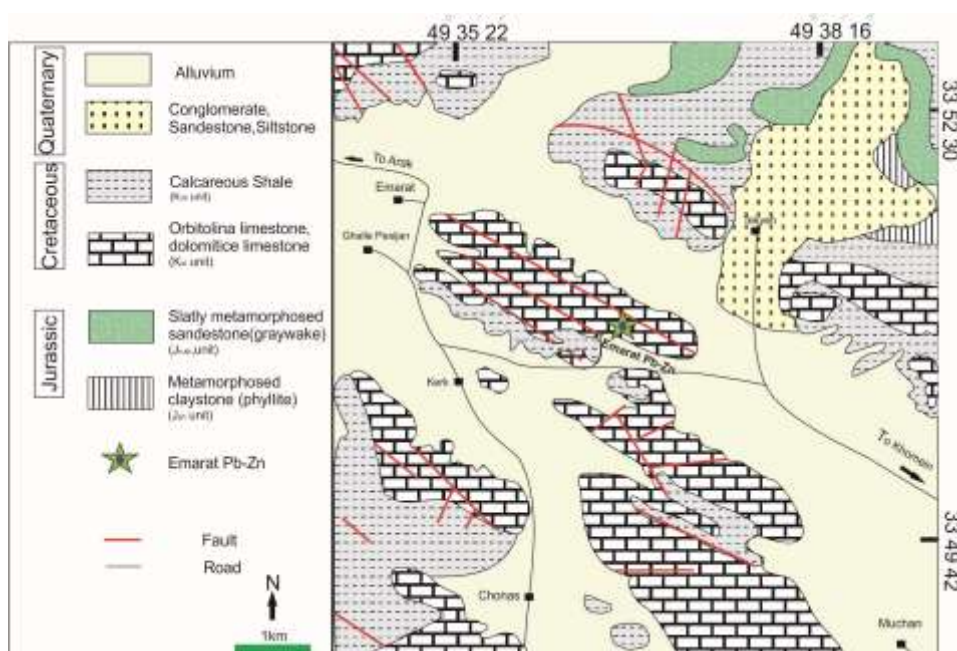
را دربر می‌گیرند (شکل ۴). دگرگونی در این منطقه ناشی از عملکرد فاز دگرگونی کوهزایی آلپی با سن کرتاسه پیشین-پالئوسن است. در اثر این دگرگونی، شیست آهکی، فیلیت



شکل ۲ بخش‌هایی از ستون چینه‌شناسی ذخایر الف (عمار) و ب (باباقله).



شکل ۳ نقشه زمین‌شناسی ساده شده منطقه باباقله برگرفته از مرجع [۸] با تغییرات.



شکل ۴ نقشه زمین‌شناسی کانسارهای سرب و روی عمارت، استان مرکزی، برگرفته از مرجع [۱۱] با تغییرات.

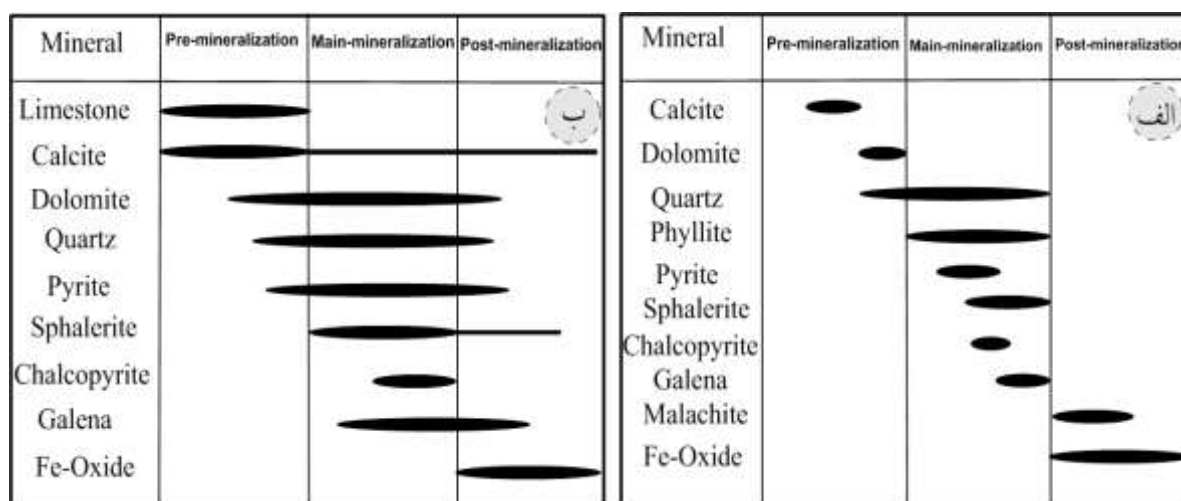
سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی

بررسی مقاطع نازک در ذخیره باباقله نشان داد که سنگ میزبان از نوع کوارتزیت و یک نوع ماسه‌سنگ دارای قطعه سنگی است که در معرض فازهای دگرگونی قرار گرفته و در واقع یک فیلارنایت است. در گستره ذخیره باباقله، سه مرحله کانه‌زایی رخ داده است. در مرحله نخست یعنی پیش از مرحله کانه‌زایی فلزی، دولومیت و کلسیت تشکیل شده‌اند. در این ذخیره، دو نسل کوارتز دیده می‌شود. نسل اول کوارتزهای بدون کانه‌زایی فلزی هستند و نسل دوم کوارتز همزمان با ته‌نشست کانه‌های فلزی از محلول گرمابی تشکیل شده است [۲۱]. دگرگون شدن سنگ میزبان در مرحله اصلی کانه‌زایی رخ داده است و در این مرحله اسفالریت، پیریت، کالکوپیریت و گالن از سیال کانه‌زا ته‌نشین شده‌اند. در مرحله سوم کانه‌زایی، کانی‌های مالاکیت و دیگر اکسیدهای آهن تشکیل شده‌اند (شکل ۵ الف).

سنگ میزبان کانسار عمارت از آهک‌های توده‌ای و ضخیم-لایه به رنگ خاکستری تیره با درزه‌ها و شکستگی‌های بسیار تشکیل شده و دارای ضخامتی از ۰/۵ تا ۳ متر است. سیلیسی شدن مهمترین ویژگی این بخش است که در کنار بخش شیلی KS، بر شدت آن افزوده می‌شود. سیلیسی شدن مرحله اول موجب جاننشینی بخشی از سنگ آهک با کوارتز شده است.

کوارتزهای ریزبلور موجود در لبه رگچه‌های موازی دارای تظاهر چین خورده و جهت‌دار هستند که نشان دهنده عملکرد نیروهای زمین‌ساختی پس از ایجاد رگچه‌هاست. فعالیت‌های زمین‌ساختی منطقه موجب شکستگی در سنگ میزبان شده و سپس محلول‌های غنی از سیلیس فضاهای خالی و شکستگی‌ها را پر کرده‌اند و کانه‌های اصلی اسفالریت، گالن و پیریت تشکیل شده و بخشی از فضاهای شکستگی را پر کرده‌اند. چنان که در شکل ۵ دیده می‌شود، کانه‌های اسفالریت در سنگ میزبان کربناتی که به شدت سیلیسی شده و درون شکستگی‌ها و استیلولیت‌های ریز قرار گرفته‌اند [۲۱]. فراوان‌ترین کانی سولفیدی در کانسار عمارت، اسفالریت هستند که به‌صورت رگچه‌ای و دانه‌های ریز پراکنده در سنگ میزبان (اندازه ۰/۰۲ تا ۳ میلیمتر) دیده می‌شوند. کانی‌زایی اسفالریت در دو مرحله اصلی رخ داده است. در مرحله نخست، اسفالریت‌هایی با آهن بیشتر و رنگ تیره‌تر مشخص می‌شوند و اسفالریت‌های مرحله دوم فقیر از آهن هستند [۲۲].

گالن در این کانسار به‌صورت رگچه‌ای و دانه‌های ریز پراکنده در سنگ میزبان دیده می‌شوند. کانی‌زایی گالن در دو مرحله و همزمان با اسفالریت رخ داده است [۲۱]. در کانسار عمارت سه مرحله اصلی کانی‌زایی رخ داده و کانی‌زایی سرب و روی در دو مرحله اصلی روی داده است (شکل ۵ ب).



شکل ۵ توالی همبرزادی کانی‌ها در مراحل مختلف کانی‌سازی برای (الف) کانسار باباقله و (ب) کانسار عمارت.

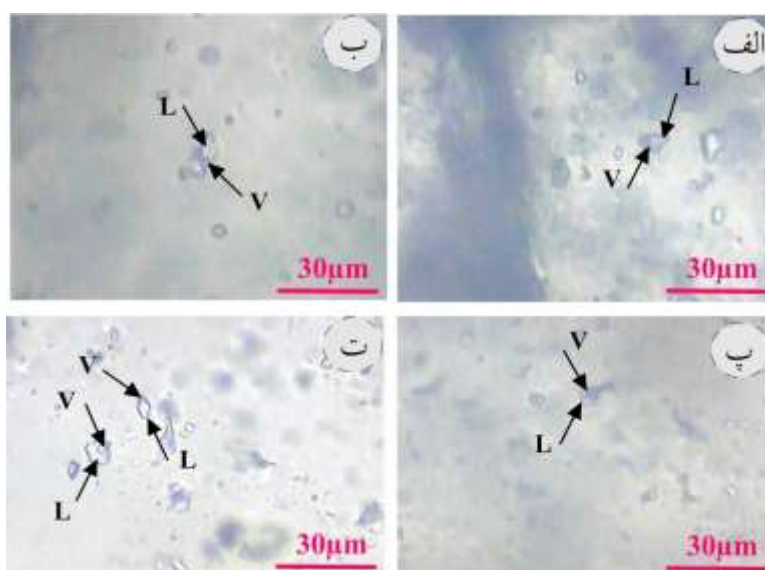
میانبار سیال

سنگ‌نگاری

در این پژوهش، بررسی میانبارسیال بر نمونه‌های برداشت شده از رگه‌های کوارتزی همراه با کانی‌سازی انجام شد. اغلب میانبارهای سیال بررسی شده براساس فازهای درونی از میانبارهای تک فاز و دو فاز غنی از مایع (L+V) هستند (شکل ۶). در نمونه‌های بررسی شده میانبارهای تک فاز گاز، فراوانی کمتری دارند و اندازه آنها کوچک است و اغلب به صورت منفرد دیده می‌شوند. این میانبارها به علت وجود فاز گازی به رنگ تیره می‌باشند و دارای شکل‌های لوزی، بیضی و گرد

هستند. بیشترین تعداد میانبار در این بررسی مربوط به میانبارهای دو فاز غنی از مایع است که شامل دو فاز مایع و بخار هستند. حجم فاز بخار در آنها از ۱۰ تا ۴۰ درصد حجم میانبار متغیر است؛ این میانبارها اغلب به صورت منفرد و به شکل‌های دایره، بیضی و لوزی دیده می‌شوند.

اندازه میانبارهای سیال در ذخیره باباقله بین ۵ تا ۱۲ میکرون بوده که بیشترین فراوانی در اندازه ۵ میکرون است. میانبارهای سیال مورد بررسی در نمونه‌های کانسار عمارت در اندازه ۵ تا ۱۰ میکرون با میانگین اندازه ۶/۹ میکرون هستند.



شکل ۶ نمایی از میانبارهای سیال دوفازی غنی از مایع (L+V) در میانبارهای سیال کانی کوارتز الف و ب) کانسار باباقله و پ و ت) کانسار عمارت. (L: فاز مایع و V: فاز بخار).

ریزدماسنجی

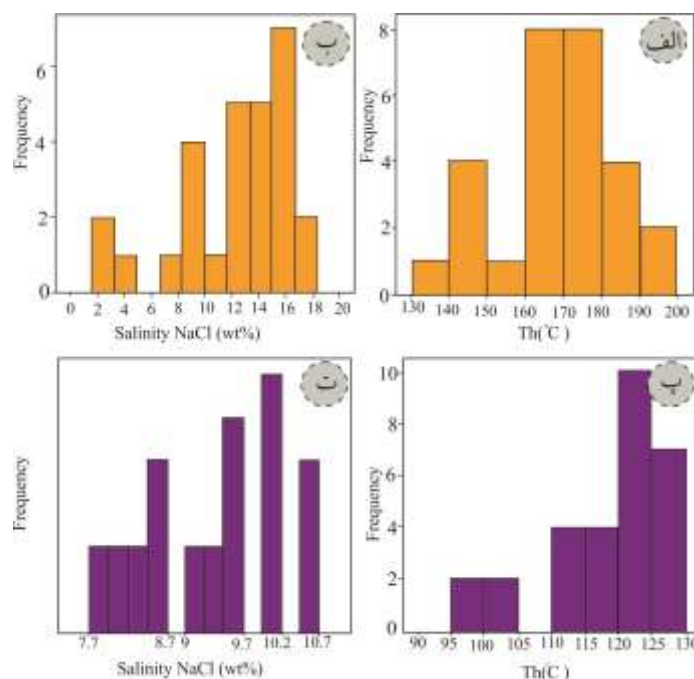
گستره دمای همگن‌شدگی برای میانبارهای سیال کانسار باباقله ۱۳۰ تا ۱۹۵ درجه سانتی‌گراد است (جدول ۱) و چنان که در نمودار ستونی آن دیده می‌شود، بیشترین فراوانی دمای همگن‌شدگی در ۱۶۰ تا ۱۸۰ درجه است (شکل‌های ۷ الف و ۸ الف). دمای همگن‌شدگی برای کانسار عمارت در گستره ۹۵ °C - ۱۳۰ به‌دست آمد و میانگین دمای همگن‌شدگی آن ۱۱۶٫۸۳ است که دمای همگن‌شدگی کمتری نسبت به کانسار باباقله را نشان می‌دهد (شکل‌های ۷ پ و ۸ الف).

میانگین دمای ذوب‌نمایی یخ (Tm-ice) برای میانبارهای سیال ذخیره باباقله ۷٫۹ °C - و در گستره دمایی ۱۱٫۸ - تا ۱٫۲ °C است. بر این اساس، میزان شوری سیال در این ذخیره در گستره ۱٫۹ تا ۱۸ درصد وزنی با میانگین ۱۲٫۰۸ درصد وزنی معادل نمک طعام است و بیشترین داده مربوط به ۱۵ درصد

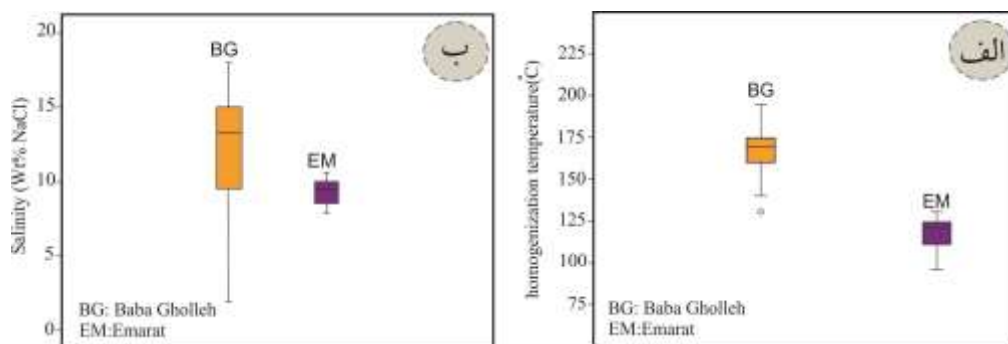
وزنی معادل نمک طعام به دست آمد. بالاترین میانگین شوری مربوط به منطقه باباقله است (شکل‌های ۷ ب و ۸ ب). میانگین دمای ذوب‌نمایی یخ (Tm-ice) برای میانبارهای سیال ذخیره باباقله ۶٫۱ °C - و در گستره دمایی ۵ - تا ۶٫۹ °C است. بر این اساس میزان شوری سیال در این ذخیره در گستره ۷٫۸ تا ۱۰٫۶ درصد وزنی با میانگین ۹٫۳۳ درصد وزنی معادل نمک طعام است و بیشترین داده مربوط به ۱۰ تا ۱۰٫۲۵ درصد وزنی معادل نمک طعام به دست آمد (شکل‌های ۷ ت، و ۸ ب). برای شناسایی سازوکار احتمالی نهشت کانه‌ها می‌توان از نمودار دمای همگن‌شدگی نسبت به شوری [۲۳] استفاده کرد. بر این اساس، داده‌های میانبارهای سیال برای نمونه‌های باباقله در گستره آمیختگی هم‌دمایایی شده و برای نمونه‌های عمارت روند جوشش را نشان می‌دهد.

جدول ۱ داده‌های آماری ریزدماسنجی میانبارهای سیال دوفازی کانی‌های کوارتز مناطق باباقله (BG) و عمارت (EM).

N		Te(°C)	Th(°C)				NaCl wt%			
		Mean	Max	Min	Mode	Mean	Max	Min	Mode	Mean
B	2	-۲۱	۱۹۵	۱۳۰	۱۷۵	۱۶۶	۱۸	۱٫۹	۱۵	۱۲٫۱
	E	-۲۱	۱۳۰	۹۵	۱۲۵	۱۱۶٫۸	۱۰٫۶	۷٫۹	۱۰	۹٫۳
N		Tm-ice (°C)				اندازه (μm)				
		Max	Min	Mode	Mean	Max	Min	Mode	Mean	
B	2	-۱۲	-۱۱٫۸	-۹٫۸	-۷٫۹	۱۲	۵	۶	۷٫۲	-
	E	-۵	-۶٫۹	-۶٫۹	-۱٫۶	۱۰	۵	۶	۶٫۹	-



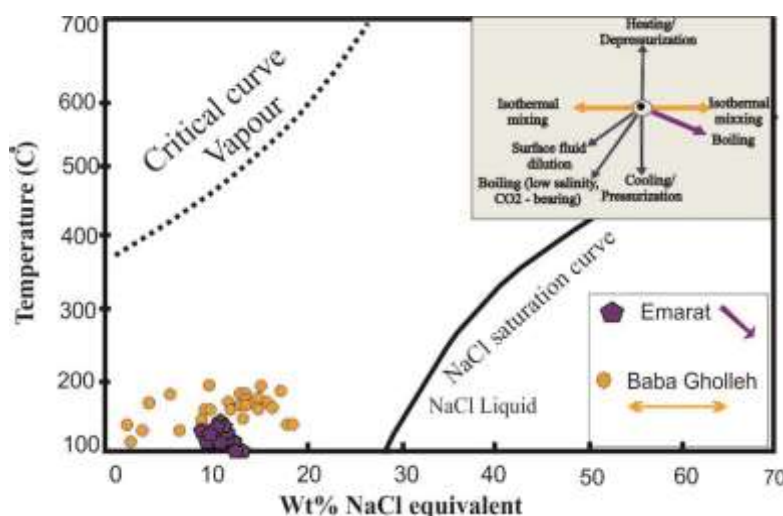
شکل ۷ الف و ب- به ترتیب نمودارهای ستونی دمای همگن‌شدگی و شوری برای کانسار باباقله. پ و ت) به ترتیب نمودارهای ستونی دمای همگن‌شدگی و شوری برای کانسار عمارت.



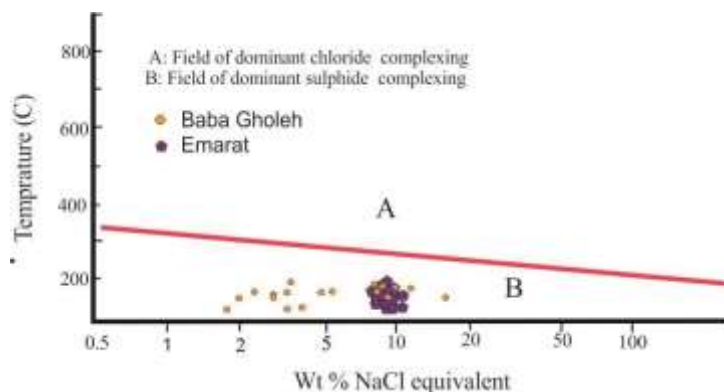
شکل ۸ نمودار جعبه‌ای الف) مقادیر دمای همگن‌شدگی و ب) مقادیر شوری.

انواع مختلف کانسارها براساس سیال سازنده آنها [۲۵]، بیش از ۷۰ درصد نمونه‌های میانبار سیال باپاقله در گستره ذخایر نوع SEDEX واقع می‌شوند و ۱۰۰ درصد نمونه‌های میانبار سیال کانسار عمارت در گستره ذخایر MVT قرار می‌گیرند (شکل ۱۰ و ۱۱).

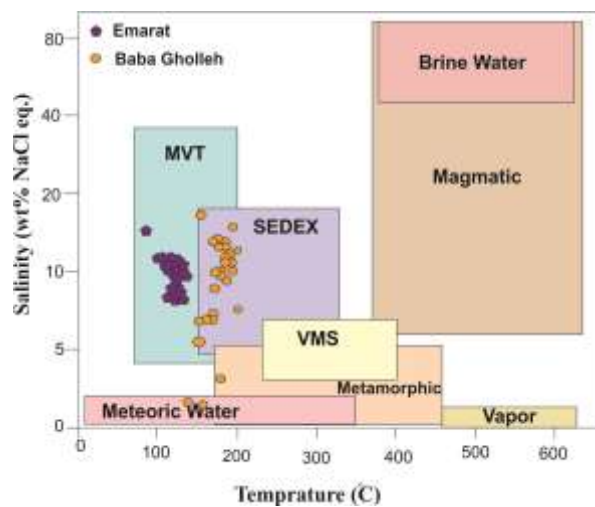
برای شناسایی کمپلکس غالب در حمل فلزها، از نمودار دمای همگن‌شدگی نسبت به شوری [۲۴] استفاده شد. نمونه‌های میانبار سیال از هردو ذخیره مورد بررسی، در گستره حمل با کمپلکس سولفیدی قرار گرفته‌اند (شکل ۹)، که می‌توان نتیجه گرفت که آنیون‌های غالب در هر دو ناحیه HS^- و SO_4^{2-} هستند. با توجه به نمودار دمای همگن‌شدگی - شوری برای



شکل ۹ روندهای احتمالی تکامل سیالات مناطق مورد بررسی براساس نمودار دمای همگن‌شدگی و شوری [۲۳].



شکل ۱۰ نمودار دمای همگن‌شدگی - شوری برای تعیین کمپلکس فلزی [۲۴] (ذخایر باپاقله و عمارت).

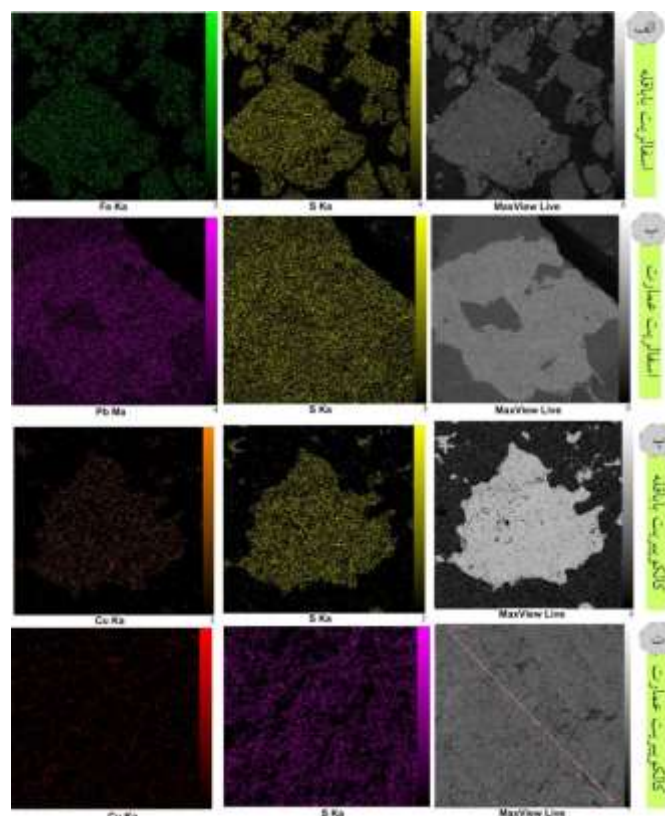


شکل ۱۱ نمودار تعیین نوع کانه‌زایی براساس شوری و دمای همگن‌شدگی [۲۵]. برای دو کانسار باباقله و عمارت.

زمین‌شیمی

تصاویر SEM-EDX اسفالریت‌های دو ذخیره مورد بررسی در شکل ۱۲ نشان داده شده است. ساختار اسفالریت به‌طوری است که عناصر فرعی بسیاری می‌توانند در آن جایگزین عنصر روی شوند. عناصر Sb , Ge , In , Fe , Cd , Ga دارای شعاع یونی نزدیک به Zn هستند، این عناصر به‌صورت هم‌ریخت

جانشین روی می‌شوند [۲۶-۲۸]. همچنین عناصری چون Co , Cu , Mn ، که یون‌های هم‌اندازه با عنصر Zn دارند، نیز می‌توانند از طریق جانشینی ساده وارد ساختار اسفالریت شوند [۲۹، ۲۶]. غلظت عناصر در ساختار اسفالریت به دلیل دمای تبلور و منبع فلز از یک ذخیره به ذخیره دیگر متفاوت است (جدول ۲) [۲۶].



شکل ۱۲ تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM-EDX) از کانی‌های سولفیدی مناطق مورد بررسی: (الف) اسفالریت باباقله، (ب) اسفالریت عمارت، (پ) کالکوپریت باباقله و (ت) کالکوپریت عمارت.

جدول ۲ نتایج تجزیه عناصر فرعی در نمونه‌های اسفالریت کانسارهای باباقله و عمارت (برحسب درصد وزنی).

		Ag	Cd	Cu	Fe	Ga	Ge	In	Mn	S	Sb	Sn	Zn
بابا قله	Mean(21)	۱,۸۸	۰,۷۶	۴,۰۷	۱,۲۸	۱,۹۲	۱,۸۲	۲,۹	۱,۲۷	۳۳,۱	۲,۲۵	۱,۱۹	۴۵,۷
	Median	۱,۷۰	۰,۷۳	۳,۸۳	۱,۲۲	۱,۸۰	۱,۷۵	۲,۷	۱,۲۰	۳۵,۷	۲,۱۸	۱,۱۲	۴۶,۶
	Minimum	۱,۳۳	۰,۵۴	۲,۹۹	۰,۸۹	۱,۴۳	۰,۴۱	۲,۲۶	۰,۷۳	۲۳,۵	۰	۰,۹۵	۳۱,۲
	Maximum	۳,۰۱	۱,۲۸	۷,۶۱	۲,۶۳	۲,۵۰	۳,۱۹	۴,۲۵	۱,۸۹	۳۸,۲	۳,۳۹	۲,۱۲	۵۰,۶
عمارت	Mean(21)	۲,۵۳	۰,۹۷	۵,۹۸	۲,۴۱	۲,۲۴	۲,۲۹	۱,۲۷	۲,۱۲	۳۲	۳,۴۲	۱,۵۷	۳۶,۹
	Median	۲,۵۰	۰,۹۹	۵,۹۱	۲,۴۱	۲,۲۲	۲,۲۹	۱,۲۶	۲,۰۹	۳۳,۱	۳,۴۶	۱,۵۷	۳۷,۸
	Minimum	۲,۰۸	۰,۷۳	۵,۱۵	۱,۹۸	۱,۷۷	۲,۰۲	۰,۹۰	۱,۷۴	۲۰,۵	۲,۳۶	۱,۳۱	۳۰,۲
	Maximum	۳,۲۳	۱,۰۸	۶,۸۲	۲,۸۶	۲,۶۵	۲,۶۳	۱,۵۴	۲,۶۰	۳۸	۴,۳۳	۱,۷۲	۴۳,۲

وزنی است.

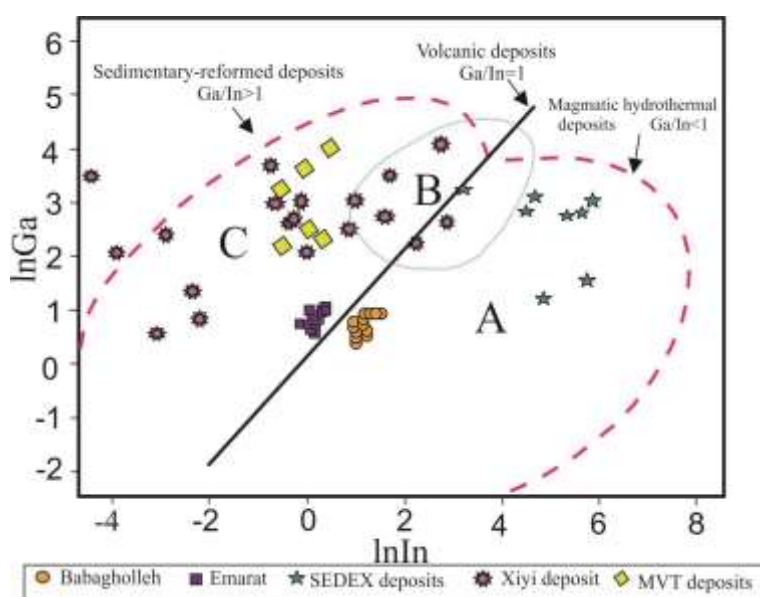
در شکل ۱۳، براساس مقدار گالیم و ایندیم در اسفالریت‌ها، انواع ذخایر سرب و روی رده‌بندی می‌شوند. در این شکل ذخایر گل زرد، باباقله، تکیه و عمارت با کانسار سرب و روی شیئی (Xiyi) (نوع MVT) در جنوب‌غربی چین [۳۱] و دیگر ذخایر سرب و روی [۲۸] مقایسه شده است. در این نمودار سه گستره وجود دارد؛ در گستره A، نسبت گالیم به ایندیم کمتر از یک است ($Ga/In < 1$) و شامل ذخایر ماگمایی، گرمابی و ذخایر SEDEX است. در گستره B، نسبت گالیم به ایندیم برابر با یک است ($Ga/In = 1$) و شامل ذخایر سرب و روی آتشفشانی است. در گستره C، مقدار گالیم به ایندیم بیشتر از یک است ($Ga/In > 1$) و در این ناحیه، ذخایر سرب و روی نوع MVT قرار می‌گیرند. برای اسفالریت‌های باباقله، مقدار ایندیم بیشتر از گالیم بوده که موجب گردیده است که نسبت Ga/In بیشتر از یک شود و نمونه‌های این ذخیره در گستره A همراه با دیگر ذخایر SEDEX قرار گیرند، این یکی از دلایل زمین‌شیمی برای معرفی این ذخیره به‌عنوان نوع SEDEX است. در اسفالریت‌های عمارت مقدار گالیم بیشتر از ایندیم بوده به طوری که نسبت Ga به In بیشتر از یک است و نمونه‌های اسفالریت آن در گستره C قرار می‌گیرند.

میانگین غلظت Cu در کانسار باباقله کمتر از ۵ درصد وزنی است (۴,۰۷ درصد وزنی)، میانگین مس در اسفالریت‌های کانسار عمارت بیش از ۵ درصد وزنی است (۵,۹۸ درصد وزنی). میانگین غلظت Ag و Fe برای اسفالریت‌های باباقله بیش‌تر از ۲ درصد وزنی بوده اما برای ذخایر عمارت کم‌تر از ۲ درصد وزنی هستند (جدول ۳).

غلظت گالیم و ژرمانیم در ذخایر با دمای بیشتر، کمتر است. مقادیر این عناصر در ذخایر سرب و روی نوع MVT بیش از ذخایر دما بالا است [۳۰، ۲۶]. میانگین غلظت Ge و Ga در اسفالریت‌های باباقله کمتر از میانگین آنها در کانسار عمارت بوده، در حالی که غلظت ایندیم در اسفالریت‌های کانسار باباقله بیشتر از میانگین غلظت این عنصر در عمارت است. میانگین غلظت Ge در باباقله کمتر از ۲ درصد وزنی و مقدار این عنصر در کانسار عمارت بیشتر از ۲ درصد وزنی است. بیشترین غلظت Ga در نمونه اسفالریت کانسار عمارت ۲,۲۴ درصد وزنی است. مقدار ایندیم در اسفالریت‌های عمارت کمتر از ۲ درصد وزنی است. میانگین غلظت عنصر Cd در ذخایر باباقله (۰,۷۶ درصد وزنی) کمتر از مقدار این عنصر در ذخایر عمارت (۰,۹۷ درصد وزنی) است. مقدار عنصر Sb در اسفالریت‌های باباقله ۲,۲۵ درصد وزنی بوده درحالی که مقدار آن در عمارت ۳,۴۲ درصد

جدول ۳ نتایج آنالیز عناصر فرعی در نمونه‌های کالکوپریت کانسارهای باباقله و عمارت.

		Fe	Cu	S	Sn	Ga	Ge	Ag	Co	As	Cd	Se	In
له	N	۲۴,۱۵	۲۴	۳۱,۸	۱,۱۲	۱,۹	۱,۲۷	۱,۷	۱,۶	۱,۱۱	۰,۷۶	۱,۲۶	۰,۹۲
	:	۲۴	۲۳,۷	۳۲,۶	۱,۲	۱,۸	۱,۲۲	۱,۶	۱,۶۲	۱,۰۷	۰,۷۶	۱,۱۹	۰,۹۱
	N	۲۱,۷	۲۰,۴	۲۳	۰,۹۶	۱,۲	۰,۹۶	۱,۳	۱,۲۳	۰,۸۳	۰,۵۸	۰,۹۰	۰,۷۶
	N	۲۷,۱	۲۸,۳	۳۹,۲	۱,۸۳	۲,۸	۱,۸۳	۲,۱	۲,۱	۱,۵۵	۰,۹۸	۱,۹۱	۱,۱۷
ت	N	۲۶	۲۲,۴	۲۷	۱,۲۹	۳,۴	۱,۹	۱,۸۷	۰,۹۱	۰,۳۸	۰,۸۳	۱,۴۲	۱,۰۳
	:	۲۶	۲۳,۲	۲۷,۴	۱,۲۲	۳,۲	۱,۶۵	۱,۶۶	۰,۸۲	۰	۰,۷۸	۱,۲۳	۰,۹۶
	N	۲۵,۵	۱۸,۵۲	۱۹	۰,۸۶	۲,۵۹	۱,۰۶	۱,۳۸	۰,۵۰	۰	۰,۵۹	۱	۰,۵۹
	N	۲۹,۸	۲۵,۴	۳۲	۲,۷۵	۵,۹	۴,۹۵	۴,۴۷	۲,۱۲	۱,۳۳	۱,۷۲	۳,۶۹	۱,۷۲



شکل ۱۳ مقایسه تمرکز گالیم نسبت به ایندیم در اسفالریت‌های مناطق مورد بررسی با ذخایر SEDEX و MVT، برگرفته از مراجع [۲۸، ۳۱] با تغییرات.

مقدار عناصر Ga، Ge، In و Fe در انواع ذخایر سرب و روی متفاوت است؛ به نظر می‌رسد که ذخایر MVT مهم‌ترین ذخایر سرب و روی برای عناصر گالیم و ژرمانیم هستند [۳۳]. مقدار عناصر آهن، ژرمانیم و گالیم در اسفالریت‌های ذخایر عمارت بیشتر از ذخایر باباقله است. اسفالریت‌های عمارت از نظر رنگ، تیره‌تر از اسفالریت‌های باباقله هستند که از دلایل مهم آن وجود مقادیر بیشتر آهن در اسفالریت‌های ذخایر عمارت است، زیرا اسفالریت‌ها طیف گسترده‌ای از رنگ‌ها دارند، و مقدار آهن مهم‌ترین عامل در رنگ آنهاست [۳۴]. همچنین، مقدار Fe، رابطه مستقیمی با میزان فعالیت گوگرد و فشار در زمان تشکیل کانسنگ دارد. در شرایط ثابت بودن فشار، مقدار آهن با افزایش دما، زیاد می‌شود و در حالتی که دما ثابت باشد، با افزایش فشار، مقدار آهن افزایش می‌یابد [۳۵].

گزارش شده است که وقتی مقدار Zn کم باشد، آهن به راحتی وارد ساختار اسفالریت می‌شود [۳۶]. مقدار روی در اسفالریت‌های عمارت کمتر از مقدار آن در باباقله است و به احتمال بسیار به این علت مقدار آهن بیشتری وارد ساختار اسفالریت‌های کانسار عمارت شده است.

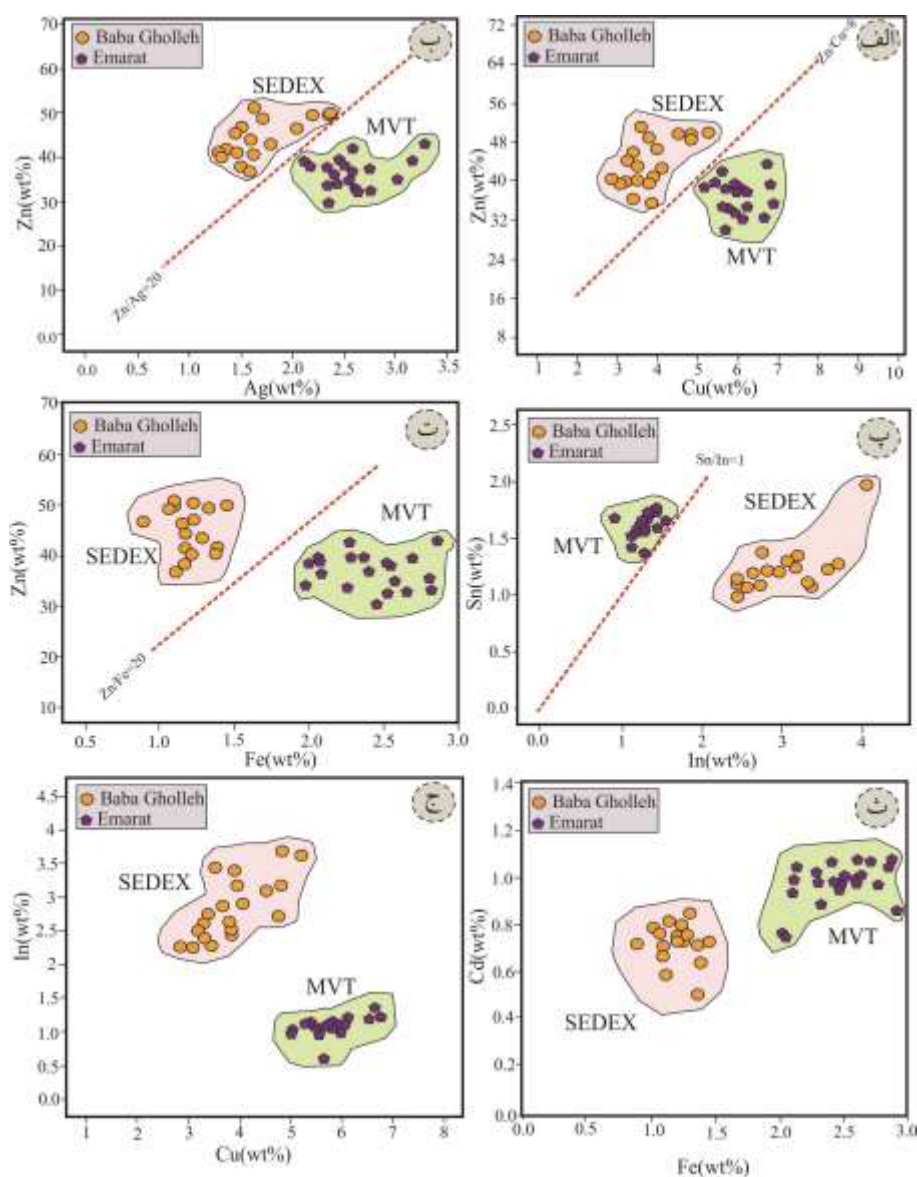
نتایج تجزیه عناصر موجود در کالکوپریت‌های ذخایر مورد بررسی نشان داد که بالاترین میانگین گالیم و قلع مربوط به کانسار عمارت (Ga بیش از ۳ درصد و Sn بیش از ۱/۲۹ درصد) با کمترین دمای تشکیل (۱۱۶/۸۳ درجه سانتی‌گراد)

نمودارهای دومتغیره Zn نسبت به Ag، Zn نسبت به Cu، Sn نسبت به In، Zn نسبت به Fe، Fe نسبت به Cd، In نسبت به Cu برای اسفالریت‌های دو کانسار در دو گروه SEDEX و MVT رسم گردید. نسبت Zn/Ag در ذخیره SEDEX (باباقله) بیشتر از ۲۰، نسبت Zn/Cu بیشتر از ۸ و نسبت Zn/Fe بیشتر از ۲۰ است و در همه نمونه‌ها این نسبت‌ها بالاتر از خط مربوط قرار می‌گیرند. این در حالی است که نمونه‌های عمارت در بخش پایینی این خطوط قرار دارند، یعنی این نسبت‌ها در این نوع ذخایر کمتر است. براساس نمودارهای دومتغیره Sn نسبت به In، Cd نسبت به Fe و In در مقابل Cu، نمونه‌های ذخایر نوع SEDEX از نوع MVT هستند. از این رو می‌توان از این عناصر برای شناسایی و تفکیک دو نوع ذخیره سرب و روی مورد بررسی استفاده کرد (شکل ۱۴).

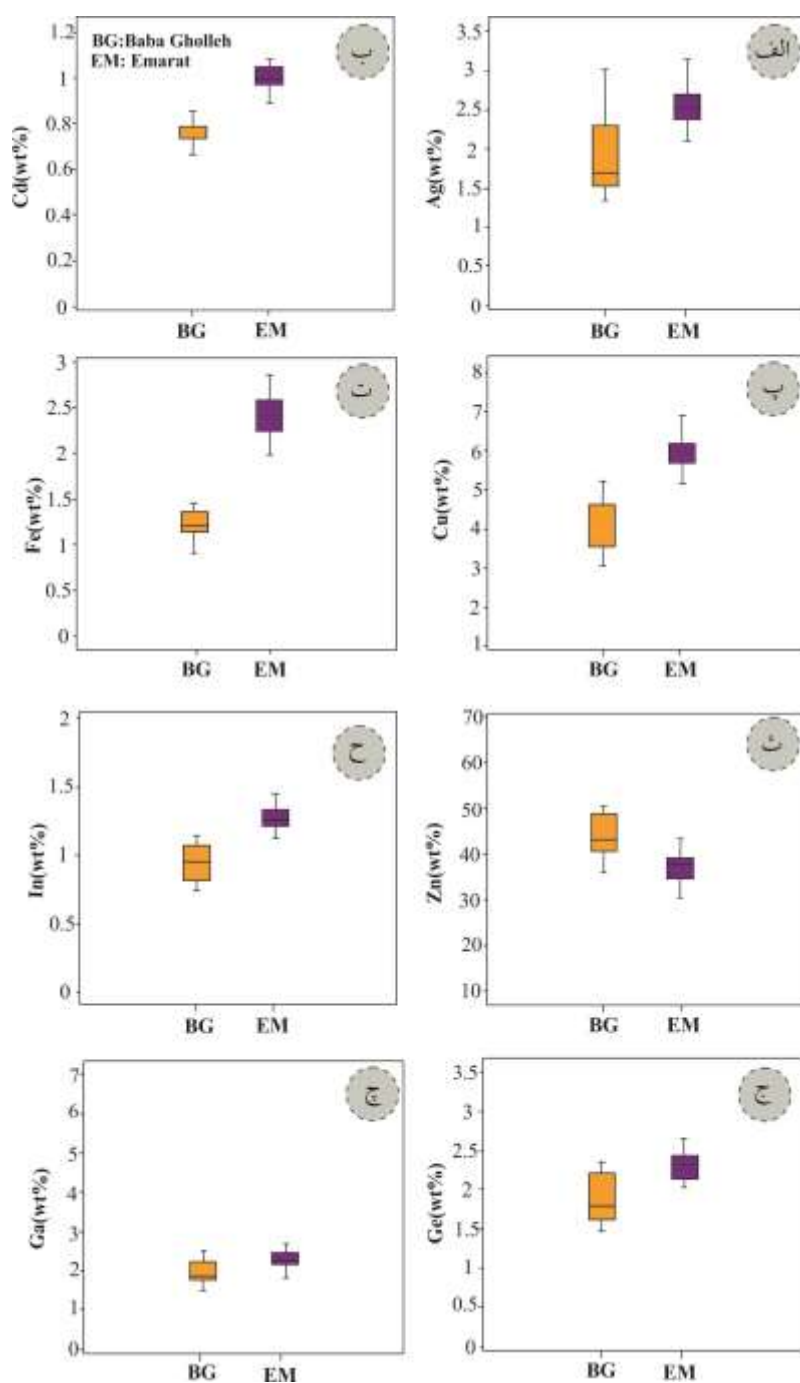
نمودارهای جعبه‌ای برای عناصر نقره، کادمیوم، مس، آهن، روی، ایندیم، ژرمانیم و گالیم در اسفالریت‌های دو ذخیره سرب و روی مورد بررسی رسم گردید (شکل ۱۵). نمودارهای جعبه‌ای کم یا زیاد بودن هر عنصر را آشکارا نشان می‌دهند. کمترین مقدار کادمیوم مربوط به باباقله (ذخایر نوع SEDEX) است. بالا بودن فعالیت گوگرد احیا ΣS_{red} و بالا بودن دمای سیال در ذخایر سرب و روی SEDEX موجب کاهش مقدار کادمیوم در اسفالریت‌ها می‌شود. دمای کم سیال در ذخایر نوع MVT یکی از دلایل پایین بودن غلظت کادمیوم در اسفالریت‌هاست [۳۲].

مقادیر بالایی از عنصر Se در کالکوپیریت‌های هر دو ذخیره دیده شد (بابتله با میانگین ۱/۲۶ درصد وزنی و عمارت با ۱/۴۲ درصد وزنی). میانگین غلظت عنصر کبالت در کالکوپیریت‌های بابتله (۱/۶ درصد وزنی) بیشتر از میانگین غلظت این عنصر (۰/۹۱ درصد) در کالکوپیریت‌های عمارت است. بیشتر از عنصر کبالت تمایل دارد در ذخایر دما بالا تمرکز یابد [۲۶] و مقدار کبالت در سیال با افزایش دما افزایش یافته و در پی آن، مقدار کبالت بیشتری می‌تواند وارد ساختار کانی‌های سولفیدی شود [۳۹].

است. در نمونه‌های کالکوپیریت کانسار عمارت، غلظت عنصر گالیم ۳-۳/۵ درصد وزنی و بیشترین مقدار عنصر قلع ۲/۵۷ درصد وزنی است. چنان که اشاره شد، مقدار عناصر گالیم و قلع در دماهای پایین‌تر در سیال بیشتر از دماهای بالاست [۳۷] و به احتمال بسیار مهم‌ترین دلیل بالا بودن مقدار این عناصر در کالکوپیریت‌های عمارت پایین بودن دمای سیال کانه ساز است. به‌طور کلی، کالکوپیریت‌ها اغلب میزبان ضعیفی برای بیشتر عناصر هستند، به جز Se و Hg که می‌توانند به اندازه کافی در کالکوپیریت‌ها غنی شوند [۳۸].



شکل ۱۴ مقایسه کانی‌های اسفالریت بابتله و عمارت بر پایه الف) نمودار دو متغیره Zn نسبت به Cu، ب) نمودار دو متغیره Zn نسبت به Ag، پ) نمودار دو متغیره Sn نسبت به In، ت) نمودار دو متغیره Zn نسبت به Fe، ث) نمودار دو متغیره Fe نسبت به Cd و ج) نمودار دو متغیره In نسبت به Cu.



شکل ۱۵ نمودارهای جعبه‌ای رسم شده برای عناصر فرعی اسفالریت‌های مناطق مورد بررسی: الف) نقره، ب) کادمیم، پ) مس، ت) آهن، ث) روی، ج) روی، چ) ژرمانیم، ح) گالیم.

برداشت

- دمای همگن‌شدگی برای کانسار عمارت در گستره ۱۳۰-۹۵ درجه سانتی‌گراد به‌دست آمد و میانگین دمای آن ۱۱۶/۸۳ و کمتر از سیال‌های کانسار باباقله است. بیشترین فراوانی شوری در این کانسار در گستره ۱۰ تا ۱۰/۵ درصد وزنی نمک طعام قرار دارد.

از بررسی میانبار سیال در دو منطقه نتایج زیر به دست آمد:
- بر پایه ریزدماسنجی میانبارهای سیال برای ذخیره باباقله، دمای همگن‌شدگی ۱۳۰ تا ۱۹۵ درجه سانتی‌گراد و میانگین شوری سیال در این ذخیره ۱۲/۰۸ درصد وزنی و بیشتر از عمارت است.

تمرکز می‌یابند و مقادیر بیشتری از این عناصر فرصت ورود به کانی‌های سولفیدی پیدا می‌کنند.

- بالا بودن مقدار کبالت در کالکوپریت‌های کانسار باباقله نسبت به عمارت را می‌توان به بالا بودن دمای سیال کانه‌ساز در این کانسار مربوط دانست.

قدردانی

به این وسیله از حوزه معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز برای فراهم آوردن امکانات پژوهشی و نیز از سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران (ایمیدرو) برای حمایت مالی سپاسگزاری می‌شود.

مراجع

- [1] Wilkinson J. J., "Sediment-hosted zinc-lead mineralization: processes and perspectives", Treatise on Geochemistry 2nd edition (2014) 219-249.
- [2] Leach D.L., Sangster D.F., Kelley K.D., Large R.R., Garven G., Allen C.R., Gutzmer J., Walters S., "Sediment-hosted lead-zinc deposits: a global perspective", In: Hedenquist J.W., Thompson J. F.H., Goldfarb R.J., Richards J.P. (eds) Economic Geology 100th Anniversary, Society of Economic Geology Inc (2005) 561- 607.
- [3] Momenzadeh M., "Stratabound lead-zinc ores in the lower Cretaceous and Jurassic sediments in the Malayer-Esfahan district (west Central Iran), lithology, metal content, zonation and genesis", Unpublished PhD thesis, University of Heidelberg (1976) 300.
- [4] Momenzadeh M., "Investigation of the Kolisheh Lead-Zinc prospect, Khomein area", Geological survey of Iran (1973) 35.
- [5] Rajabi A., Rastad E., Canet C., "Metallogeny of Cretaceous carbonate-hosted Zn-Pb deposits of Iran: geotectonic setting and data integration for future mineral exploration". International Geology Review 54 (2012) 1649-1672.
- [6] Momenzadeh M., "The BabaGholleh lead-zinc prospect, Khomein area", (1968).
- [7] Kavoshgaran Consulting Engineers., "preliminary exploration report of Lead and zinc of the 1:20000 geology map of Baba Gholleh and Hoseinabad area (in persian)", (1994) 225.
- [8] Ehya F., Lotfi M., Rasa I., "Jurassic Pb-Zn mineralization at Baba Gholleh", Iranian Journal of Geotechnical Geology 4(2008) 234-246.
- [9] Ehya F., "Geochemistry and genesis o Emarat and Baba Gholleh Pb Zn deposits, South Arak(in

- با توجه به نمودار دمای همگن‌شدگی نسبت به شوری سیال، مقدار فشار بخار در زمان تشکیل میانبارهای سیال برای هر دو ذخیره کمتر از ۵۰ اتمسفر است و همه میانبارهای سیال برای هر دو در زیر منحنی اشباع‌شدگی هالیت قرار دارند که ممکن است نشان دهنده این امر باشد که میانبارها (با توجه به NaCl) از یک سیال همگن غیراشباع در دماها و فشارهای پایین به دام افتاده باشند.

- روند تکامل سیال برای نمونه‌های باباقله در گستره آمیختگی هم‌دما و برای نمونه‌های کانسار عمارت در گستره جوشش قرار دارد.

- نمونه‌های میانبار سیال در هر دو منطقه مورد بررسی در گستره حمل با کمپلکس سولفیدی قرار می‌گیرند. که می‌توان نتیجه گرفت که آنیون‌های غالب در هر دو ناحیه HS^- و SO_4^{2-} هستند.

- با توجه به نمودار دمای همگن‌شدگی- شوری برای انواع مختلف کانسارها براساس سیال سازنده آنها، بیش از ۷۰ درصد نمونه‌های میانبار سیال کانسار باباقله در گستره ذخایر نوع SEDEX و ۱۰۰ درصد نمونه‌های میانبارهای سیال عمارت در گستره ذخایر MVT قرار دارند. براساس بررسی SEM انجام شده بر دو کانی اسفالریت و کالکوپریت در دو کانسار باباقله و عمارت نتایج زیر به دست آمده است:

- برخی عناصر فرعی چون Ag, Co, Cd, Cu, In, Ge, Ga, Fe و Sb در اسفالریت‌های کانسار سرب و روی MVT عمارت و SEDEX باباقله متفاوت از هم هستند که موجب تمایز این دو نوع ذخیره از هم شده است.

- نسبت‌های $Zn / Cu > ۸$ و $Zn / Ag > ۲۰$, $Zn / Fe > ۲۰$ در اسفالریت‌های کانسار باباقله با ذخایر نوع SEDEX و نسبت‌های $Zn / Cu < ۸$ و $Zn / Ag < ۲۰$, $Zn / Fe < ۲۰$ برای کانسار عمارت با ذخایر نوع MVT همخوانی دارند.

- براساس نمودارهای دو متغیره Sn نسبت به Cd, In, Fe و In در مقابل Cu, نمونه‌های کانسار باباقله در گستره ذخایر SEDEX و کانسار عمارت در گستره ذخایر MVT قرار می‌گیرند.

- نمونه‌های کالکوپریت کانسار عمارت در مقایسه با کانسار باباقله غنی‌شدگی بیشتری از دو عنصر گالیم و قلع را نشان می‌دهند، این عناصر در سیال‌های کانه‌زا با دمای کمتر، بیشتر

- [21] Poursheikhi E., *"Chemistry of sulfide minerals of the Pb-Zn deposits, middle Sanandaj-Sirjan zone: with emphasis on the geochemistry of rare earth elements(in persian)"*, P.h.D thesis, Shahid Chamran university of Ahwaz(2021) 208.
- [22] Karimzadeh A., *"The study of type, mineralization relationship and possible geneis of Emarat Pb and Zn mine(in persian)"*, (1992) 304.
- [23] Wilkinson J. J., *"Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits"*, Lithos 55(2001) 229-272.
- [24] Pirajno F., *"Hydrothermal processes and mineral system. New York"*, Springer Science(2009).
- [25] Kesler S. E., *"Ore- Forming Fluids"*, Elements 1(2005) 13-18.
- [26] Cook N. J., Ciobanu C. L., Pring A., Skinner W., Shimizu M., Danyushevsky L., Saini-Eidukat B., Melcher F., *"Trace and minor elements in sphalerite: A LA-ICPMS study"*, Geochimica et Cosmochimica Acta 73(2009) 4761-4791.
- [27] De Vivo B., Lima A., Webster J. D., *"Volatiles in magmatic-volcanic systems"*, Elements 1(2005) 19-24.
- [28] Zhang Q., *"Trace elementes in Galena and Sphalerite and their geochemical significance in distinguishing the genetic types of Pb-Zn ore deposits"*, Geochemistry 6 (1987)177-190.
- [29] Ye L., Cook N. J., Ciobanu C. L., Yuping L., Qian Z., Tiegeng L., Wei G., Yulong Y., Danyushevskiy L., *"Trace and minor elements in sphalerite from base metal deposits in South China: A LA-ICPMS study"*, Ore Geology Reviews 39(2011) 188-217.
- [30] Paradis S., Keevil H., Simandl G. J., Raudsepp M., *"Carbonate-hosted nonsulphide Zn-Pb mineralization of southern British Columbia, Canada"*, Mineralium Deposita 50(2015) 923-951.
- [31] Li J., Chen Z., Zhou T., Gu X., White N. C., Gao H., *"Genesis of the Xiyi Pb-Zn deposit, Yunnan Province, SW China: Evidence from trace element and fluid inclusion data"*, Ore Geology Reviews 119(2020)
- [32] Schwartz M. O., *"Cadmium in zinc deposits: Economic geology of a polluting element"*, International Geology Review 42(2000) 445-469.
- [33] Frenzel M., Hirsch T., Gutzmer J., *"Gallium, germanium, indium, and other trace and minor elements in sphalerite as a function of deposit type -A meta-analysis"*, Ore Geology Reviews 76(2016) 52-78.
- persian)"*, P.h.D thesis, Azad University(2008) 178.
- [10] Zarasvandi A., Poursheikhi E., Saki A., *" Sulfide Minerals and Fluid Chemistry of Zn-Pb Deposits in Central Sanandaj-Sirjan Zone, Iran"*, Iranian Journal of Science and Technology Transactions A:Science 45(2021) 2001-2020.
- [11] Ehya F., Lotfi M., Rasa I., *"Emarat carbonate-hosted Zn-Pb deposit, Markazi province, Iran: A geological, mineralogical and isotopic (S, Pd) study"*, Journal of Asian Earth Sciences 37(2010) 186-194.
- [12] Fazli S., Shamanian Gh., Shafei B., *" The Emarat and Mouchan stratabound Pb Zn deposits with sedimentary host rock, new data and genesis (in persian)"*, Iranaian Journal of Crystallography and Mineralogy 20(2012) 67-80.
- [13] Derogar Khabici F., *"Geology, mineralogy and evolution of fluid inclusions in Pb-Zn Tekyeh and Emarat deposits, Arak, Iran (In Persian)"*, (2013).
- [14] Zarasvandi A., Sameti M., Sadeghi M., Rastmanesh F., Pourkaseb H., *"The Gol-e-Zard Zn-Pb deposit, Lorestan Province, Iran: a metamorphosed SEDEX deposit"*, ACTA Geol Sin (Engl Ed) 88(2014) 142-153.
- [15] Mohajjel M., Fergusson C. L., *"Jurassic to Cenozoic tectonics of the Zagros Orogen in northwestern Iran"*, International Geology Review 3(2014)263-287.
- [16] Mohajjel M., Fergusson C., Sahandi M., *"Cretaceous-Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj-Sirjan zone, western Iran"*, Journal of Asian Earth Sciences 21 (2003) 397-412.
- [17] Ghasemi A., Talbot C. J., *"A new tectonic scenario for the Sanandaj-Sirjan Zone (Iran)"*, Journal of Asian Earth Sciences 26(2006) 683-693.
- [18] Stampfli G. M., Borel G. D., *"A plate tectonic model for the Paleozoic and Mesozoic constrained by dynamic plate boundaries and restored synthetic oceanic isochrones"*, Earth and Planetary Science Letters 196 (2002)17-33.
- [19] Akbari Z., *"The pattern of formation of Ahangaran Iron-Lead deposit(SE of Malayer), based on the studies of different types of ores, geochemistry and stable isotopes"*, PhD thesis, Shahid Beheshti University(2017).
- [20] Sahandi M. R., Radfar J., Hoseinidoust J., Mohajjel M., *"Shazand quadrangle map 1:100,000. Geological Survey and Mineral Exploration of Iran (in Persian)"*, (2006).

- [38] George L. L., Cook N. J., Crowe B. B. P., Ciobanu C. L., "Trace elements in hydrothermal chalcopyrite", Mineralogical Magazine 82(2018) 59-88.
- [39] Lin Y., Cook C. L., Cristiana L. C., Yulong Y., Zhang Q., Tiegeng L., Wei G., Yulong Y., Danyushevskiy L., Ye L., Cook N. J., Ciobanu C. L., Yuping L., Qian Z., Tiegeng L., Wei G., Yulong Y., Danyushevskiy L., Liu Y. P., Zhang Q., Ao W., Yang Y. L., Danyushevsky L. V., "Trace and minor elements in sphalerite from base metal deposits in South China: A LA-ICPMS study", Ore Geology Reviews 39(2011) 188-217.
- [34] Beaudoin G. , "Acicular sphalerite enriched in Ag, Sb, and Cu embedded within color-banded sphalerite from the Kokanee Range, British Columbia, Canada", Canadian Mineralogist 38(2000) 1387-1398.
- [35] Barnes H. L., "Geochemistry of hydrothermal ore deposits, John Wiley", (1997).
- [36] Wright K., Gale J. D., "A first principles study of the distribution of iron in sphalerite" , Geochimica et Cosmochimica Acta 74(2010)3514-3520.
- [37] Lockington J. A., "Trace and minor elements in sphalerite from metamorphosed sulphide deposits", Mineralogy and Petrology 108(2014): 873-890.