



کالی شناسی، شیمی کالی‌ها و بررسی سیال‌های درگیر در کانسار سرب و روی گوشفیل، ناحیه معدنی ایرانکوه، جنوب غرب اصفهان

منیر صبوری^۱، محمدحسن کریمپور^{۲*}، آزاده ملکزاده شفارودی^۲

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- گروه زمین‌شناسی و گروه پژوهشی اکتشاف ذخایر معدنی شرق ایران، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

(دریافت مقاله: ۹۶/۷/۲۲، نسخه نهایی: ۹۶/۱۲/۲۰)

چکیده: کانسار گوشفیل در جنوب غرب اصفهان و در پهنه فلزیابی ملایر- اصفهان واقع شده است. کالی‌سازی به شکل دیرزادی در مرز شیل‌های ژوراسیک و دولومیت کرتاسه تشکیل شده است و کنترل ساختاری دارد. همبازایی کالی‌سازی شامل اسفالریت، گالن و پیریت است که با کالی‌های باطله دولومیت، کوارتز، مواد آلی و کمتر باریت همراهی می‌شود. این کالی‌ها در قالب بافت‌های برشی، رگه‌ای، پرکننده فضای خالی و پراکنده دیده می‌شوند. دولومیتی شدن و سیلیسی شدن مهمترین دگرگانی‌ها هستند. شیمی کالی‌ها نشان می‌دهد که گالن‌ها غنی از نقره و آنتیموان و فقیر از بیسموت هستند. نسبت Sb/Bi در کالی گالن بیش از ۱۴ است که شاخصه کانسارهای دما پایین است. اسفالریت‌ها غنی از آهن و کادمیوم هستند. برپایه بررسی سیالات درگیر، دمای تشکیل کانسار گوشفیل بین ۳۰۲ تا ۲۲۳ درجه سانتیگراد بوده و از محلولی شامل نمک‌های CaCl₂ و NaCl با درجه شوری بین ۹,۵ تا ۱۶,۷ درصد به وجود آمده است. نوع سنگ میزبان، چینه‌کران و دیرزاد بودن کامل کانسار و کنترل کالی‌سازی توسط گسل‌های پس از رسوبگذاری، بافت، نوع کالی‌ها و باطله‌های همراه و عدم وجود فعالیت‌های آذرین در منطقه نشان می‌دهد که کانسار گوشفیل شباهت زیادی با ذخایر نوع دره می‌سی‌پی (MVT) دارد؛ اما دمای محلول کانه‌دار نسبت به ذخایر معمولی دنیا بالاتر است.

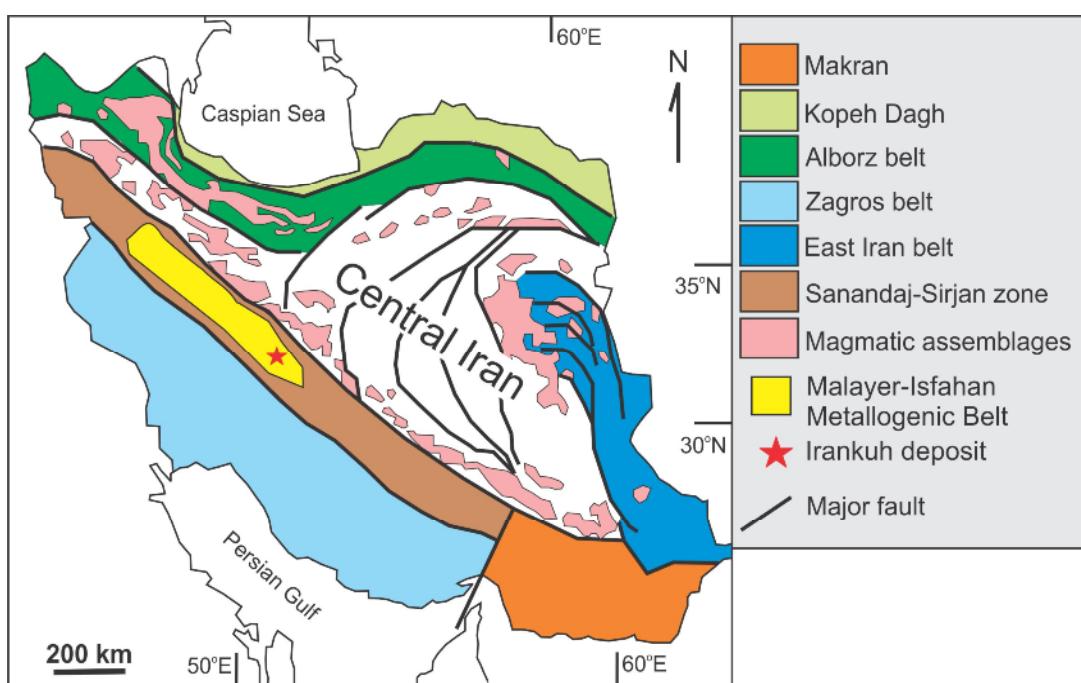
واژه‌های کلیدی: کالی شناسی؛ شیمی کالی‌ها؛ سیال‌های درگیر؛ نوع MVT؛ گوشفیل؛ ایرانکوه.

میزبان کربناته عمده ذخایر سرب و روی این پهنه، کرتاسه است [۲]. کمربند فلزیابی ملایر- اصفهان بخش عمده آن استان‌های مرکزی، اصفهان و همدان را دربرمی‌گیرد و از نظر سرگذشت زمین‌شناسی، وضعیت رسوبگذاری و ساختاری، شبیه پهنه ایران مرکزی است [۳].

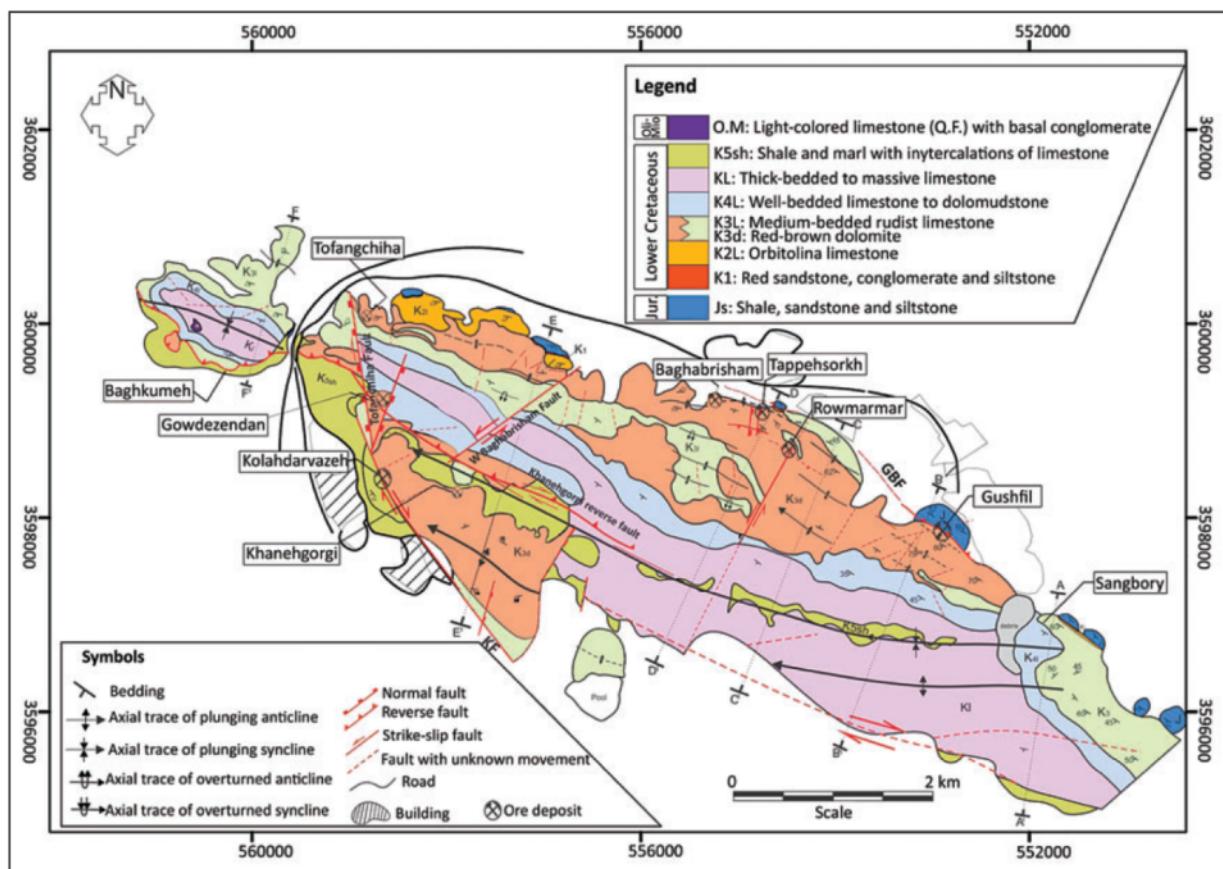
این منطقه اینک متعلق به شرکت باماست که از سال ۱۳۳۱ تاکنون بررسی‌های اکتشافی - بهره‌برداری وسیعی را در منطقه انجام داده است. در منطقه ایرانکوه، معادن فعالی همچون گوشفیل، تپه سرخ، کلاه دراوزه و رومرم و معادن متروکه و مناطق اکتشافی مانند گودزندان، خانه گرگی، باغ کومه، تفنگچی‌ها، باغ ابریشم و سنگبری وجود دارد (شکل ۲).

مقدمه
ذخایر سرب و روی با سنگ میزبان کربناته یکی از مهمترین منابع تولید این فلزات در جهان به شمار می‌روند. در ایران چهار پهنه فلزیابی مهم برای این گونه ذخایر شناسایی شده است که عبارتند از: کمربند طبس- پشت بادام، کمربند البرز مرکزی، کمربند یزد- انارک و کمربند ملایر- اصفهان [۱]. ناحیه معدنی ایرانکوه در جنوب غربی شهر اصفهان و در گستره طول‌های جغرافیایی ۳۲° ۵۱' تا ۴۰° ۵۱' شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۲۸° ۳۲' تا ۳۳° ۵۱' شمالی قرار دارد. این منطقه از نظر تقسیمات ساختاری در پهنه سندنج- سیرجان و در کمربند فلزیابی ملایر- اصفهان واقع است (شکل ۱). سن سنگ

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۵۱۳۸۷۹۶۴۱۶، نامبر: ۰۵۱۳۸۸۰۴۰۵۱، پست الکترونیکی: karimpur@um.ac.ir



شکل ۱ موقعیت جغرافیایی ناحیه معدنی ایرانکوه در پهنه سنتدج-سیرجان و کمربند فلزی ای ملایر-اصفهان برگرفته پس از مرجع [۲] با اندکی تغییرات).



شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی ناحیه معدنی ایرانکوه همراه با موقعیت قرارگیری معادن فعال، متروکه و مناطق اکتشافی (برگرفته از مراجع [۴] و [۵] با اندکی تغییرات).

بوده و دارای ۵ بلور است. از مزیت‌های این دستگاه نسبت به سایر دستگاه‌های ریزپردازنده الکترونی آن است که علاوه بر قابلیت تجزیه مجموعه عناصر مختلف، از قابلیت حد تشخیص پایین برخوردار است؛ بطوریکه بیشتر عناصر تا کمتر از ۵ گرم بر تن را می‌توان با این مدل شناسایی و تجزیه نمود. همچنین پس از بررسی‌های دقیق همبازایی، تعداد ۶ مقطع دوبرصیقل از کانی‌های دولومیت و کوارتز به عنوان مهمترین باطله همراه با کانی‌سازی و نیز کانی اسفالریت تهیه و سیال‌های درگیر آن بررسی شد. دماسنجه سیال‌های درگیر به وسیله دستگاه سردکننده و گرم کننده THMSG 600 Linkam مدل Linkam در دانشگاه فردوسی مشهد صورت گرفت. گستره دمایی دستگاه بین ۱۹۰- تا +۶۰۰ درجه سانتیگراد و با دقت $\pm 1^{\circ}\text{C}$ است. در مجموع دماسنجه برای ۸۲ سیال درگیر انجام شد، اما به دلیل ریز بودن برخی از آنها، اندازه‌گیری سوری و تعیین نوع نمک‌ها در ۵۱ سیال صورت گرفت. مقدار سوری و چگالی در سیستم $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$ با استفاده از نرم افزار تعبیه شده در سیستم اکسل HOKIEFLINCS- $\text{H}_2\text{O}-\text{NACL}$ [۱۴، ۱۵] محاسبه شد. بافت نگارهای مناسب با نرم افزار SPSS ترسیم شد.

زمین‌شناسی

پهنه فلزایی ملایر- اصفهان دارای روند مشابه با پهنه سندنج- سیرجان بوده و مربوط به بازشگی حوضه پشت قوسی در کرتاسه پیشین است. بیشترین کانه‌زایی سرب و روی با میزان کربناته در کمرنده ملایر- اصفهان رخ داده؛ بطوریکه شامل ۱۷۰ کانسار $\text{Zn} - \text{Pb} - \text{Ag} - \text{Cu} \pm \text{Ba}$ با سنگ میزان رسوبی با سن پرموترياس تا کرتاسه پیشین است و ناحیه معدنی ایرانکوه مهمترین آنها به شمار می‌رود [۱۶]. زمین- شناسی ناحیه‌ای معدنی ایرانکوه براساس نقشه زمین‌شناسی اصفهان [۱۷] شامل سنگ‌های رسوبی ژوراسیک و کرتاسه پیشین است. قدیمترین واحدهای سنگی منطقه شامل شیل، ماسه سنگ و لای سنگ ژوراسیک است که در یال شمالی منطقه رخنمون دارد (شکل ۲). بالاًمدگی منطقه در اثر کوهزایی کیمیرین در زمان ژوراسیک پسین، باعث ایجاد یک سطح فرسایشی در واحد شیلی- ماسه سنگی ژوراسیک پیشین و قرارگرفتن واحد جوش‌سنگ- ماسه سنگ سرخ رنگ کرتاسه پیشین به شکل دگرشیب بر آن شده است [۴]. نهشته‌های کرتاسه در منطقه اصفهان به عنوان الگویی برای درک بهتر کرتاسه در مرکز ایران معرفی شده است [۱۸]. بارزترین توالی کرتاسه ایران مرکزی، در منطقه اصفهان دیده می‌شود که تا ده-

کانسار گوشفیل یکی از مهمترین کانسارهای فعال ایرانکوه است که در غرب منطقه قرار دارد. استخراج مواد معدنی در گوشفیل ابتدا به صورت زیرزمینی و سپس به صورت روباز در ترازهای مختلف ادامه یافته است. بطور خلاصه مقدار ذخیره سولفیدی در معدن گوشفیل حدود چهار میلیون تن و عیار روی حدود ۱۱/۶ درصد بوده و در قسمت اکسیدی و کربناتی حدود هفت‌صد هزار تن و با عیار روی حدود ۱۰/۸ درصد است. نسبت $\text{Zn}/\text{Zn} + \text{Pb}$ آن نسبتاً بالا و حدود ۰/۷۶ است [۶]. از آنجاکه منطقه معدنی ایرانکوه یکی از مهمترین و بزرگترین مجموعه ذخایر سرب و روی با سنگ میزان کربناته در ایران است، لذا گزارش‌های زمین‌شناسی، اکتشافی و زمین‌فیزیکی، پایان نامه‌ها و مقالات متعددی درباره آن نوشته شده است [۴-۶]. در این پژوهش‌ها که بعضی پیرامون کل منطقه معدنی و برخی مورد بخش‌های ویژه و در ارتباط با زمین‌شناسی، رسوب‌شناسی، بررسی‌های ساختاری، کانی‌سازی، زمین‌شیمی و بررسی‌های ایزوتوبی است، به ویژگی‌های کانسار گوشفیل نیز اشاره شده و کانی‌سازی سرب و روی ایرانکوه بیشتر از نوع دره می‌سی‌پی (MVT) معرفی شده است. البته برخی کانسار تپه سرخ را نوع ایرلندي گزارش کرده‌اند [۱۱، ۱۳].

این مقاله برای نخستین بار به بررسی‌های کانی‌شناسختی، همبازایی، شیمی کانی‌های گالن و اسفالریت و تعیین شرایط دمایی و شوری محلول کانه‌دار در کانسار گوشفیل برپایه بررسی‌های زیرسطحی می‌پردازد. برای این منظور، افق ۱۵۲۰ تونل گوشفیل و دو گمانه G-17 و G-20 که دارای بیشترین مقدار کانی‌سازی بوده‌اند، انتخاب شده‌اند. در آخر، پیرامون مدل کانی‌سازی و شرایط دگرگونی محلول کانه‌دار بحث خواهد می‌شود. با توجه به نوع ذخیره، سنگ میزان کربناته و پتانسیل بالای معدنی در پهنه فلزایی ملایر- اصفهان، بررسی دقیق این ذخیره علاوه بر جنبه علمی و پژوهشی می‌تواند الگوی اکتشافی مناسبی برای دیگر ذخایر پنهان فراهم نماید.

روش بررسی

به منظور بررسی‌های زیرسطحی در کانسار گوشفیل، تعداد ۲۰ نمونه از افق ۱۵۲۰ تونل گوشفیل و ۳۵ نمونه از دو گمانه G-17 و G-20 برداشت شد. بررسی‌های سنگ‌شناسی، دگرسانی، کانی‌سازی و تعیین توالی همبازایی بر ۵۵ مقطع نازک صیقلی تهیه شده، انجام شد. برای بررسی شیمی کانیهای گالن و اسفالریت، تعداد ۴ مقطع نازک صیقلی تهیه و توسط دستگاه ریزپردازنده الکترونی مدل JEOL, JAX-8230 در دانشگاه کلرادو امریکا تجزیه شدند. این دستگاه تمام خودکار

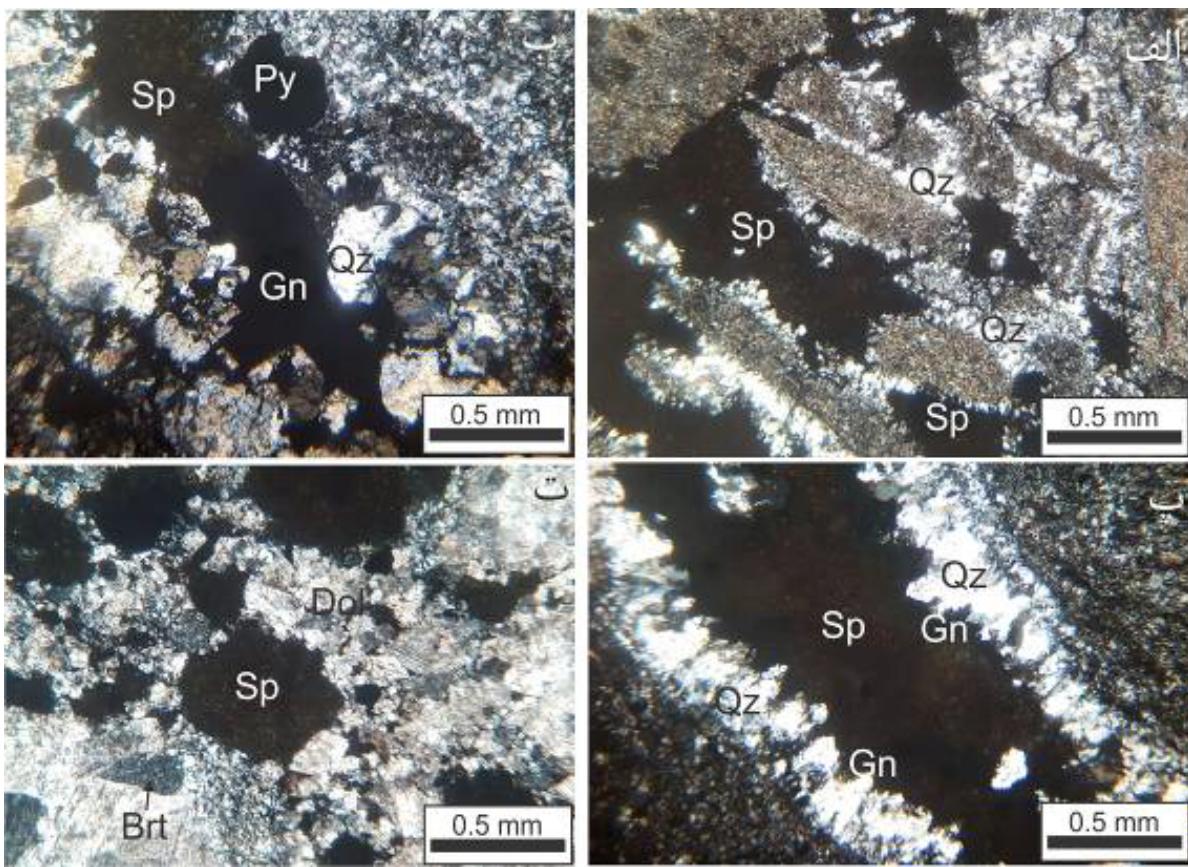
بوده و دارای روند کلی شمالی-جنوبی هستند (شکل ۲).

کانی‌سازی و دگرسانی

کانی‌سازی در معدن گوشفیل به شکل دیزدادی و با کنترل ساختاری در گسل معکوسی با روند N60W و شیب ۸۰ درجه در مرز شیل‌های ژوراسیک و دولومیت‌های قرمز-قهوہ‌ای رنگ کرتاسه تشکیل شده است. سنگ میزبان کانی‌سازی سرب و روی بیشتر دولومیت و کمتر شیل است. در سنگ میزبان دولومیت، کانه‌زایی به دو شکل کلی جانشینی و پرکننده فضاهای خالی (فضاهای ایجاد شده توسط گسل مانند رگچه‌های زمین‌ساختی یا برش‌های گسلی و یا حفره‌های سنگ میزبان) تشکیل شده است، در حالیکه در واحد شیلی فقط فضاهای ایجاد شده بوسیله گسل توسط محلول کانه‌دار پر شده است و مقدار ذخیره در آنها بسیار بسیار کمتر از واحد دولومیت است. در کانسار گوشفیل، ضخامت‌ها و عیارهای قابل توجهی از کانی‌سازی (ضخامت ۳۰ متر و عیار سرب و روی در مجموع ۷ درصد) به چشم می‌خورد که در پهنه فلززایی ملایر-اصفهان بی‌نظیر است. کانی‌شناسی گوشفیل در بخش‌های بررسی شده ساده بوده و شامل اسفالریت، گالن و پیریت است که با کانی‌های باطله دولومیت، کوارتز، مواد آلی و کمتر باریت همراهی می‌شود. این کانی‌ها در قالب بافت‌های برشی، رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی و پراکننده دیده می‌شوند. در بافت برشی، سنگ میزبان در نتیجه فعالیت‌های گسلی، خرد شده و سپس قطعات توسط دولومیت گرمابی، کوارتز و یا کانه‌ها سیمانی شده‌اند (شکل ۳ الف). بافت رگچه‌ای متداول‌ترین نوع بافت موجود در آن است (شکل ۳ ب)، بطوريکه رگچه‌های متعددی در منطقه دیده می‌شود که براساس ترکیب کانی‌شناسی، دست کم به ۱۰ نوع دولومیت- مواد آلی- اسفالریت - گالن، مواد آلی- دولومیت - اسفالریت ± گالن، دولومیت- مواد آلی ± اسفالریت، دولومیت- مواد آلی ± گالن، دولومیت- مواد آلی، مواد آلی، کوارتز- دولومیت- اسفالریت - گالن ± پیریت، کوارتز- اسفالریت- گالن ± پیریت، کوارتز- دولومیت و کوارتز ± پیریت تقسیم‌بندی می‌شوند. بافت پرکننده فضای خالی یکی از مهمترین بافت‌های موجود در رگچه‌های ساختاری است (شکل ۳ پ). دیزداد بودن کانسار و کنترل‌های ساختاری است (شکل ۳ پ). در بافت پراکننده، محلول کانه‌دار حفره‌ها یا فضاهای خالی سنگ میزبان را پرکرده است (شکل ۳ ت). مهمترین دگرسانی در کانسار گوشفیل دولومیتی شدن و سیلیسی شدن است که سیلیسی شدن بیشتر در سنگ میزبان شیلی دیده می‌شود.

ها کیلومتر دورتر از این شهر نیز با وسعت چشم‌گیری رخمنون یافته است. زمین‌شناسان مختلف سنگ‌های کرتاسه منطقه اصفهان را بررسی کرده‌اند [۱۷-۱۹]. واحد جوش-سنگ- ماسه سنگ سرخ رنگ کرتاسه پیشین با نهشته‌شدن لای سنگ دنبال شده است. پس از آن آهک نازک لایه اربیتولین دار که بطور بخشی دولومیتی شده است، در شمال منطقه دیده می‌شود (شکل ۲). سنگ آهک متوسط لایه و دولومیت قرمز-قهوہ‌ای کرتاسه بخش عمده‌ای از ناحیه معدنی ایرانکوه را به خود اختصاص داده است. کانسار گوشفیل در مرز دولومیت قرمز-قهوہ‌ای کرتاسه و شیل ژوراسیک تشکیل شده است (شکل ۲). در ادامه توالی سنگ چینه‌ای، سنگ آهک و دولستون نازک لایه خاکستری رنگ و سنگ آهک توده‌ای تا ضخیم لایه در بخش‌های زیادی از ارتفاعات ایرانکوه رخمنون دارند (شکل ۲). جوانترین واحدهای رسوبی نیز واحد شیلی زیتونی رنگ همراه با میان لایه‌های آهکی در یال جنوبی منطقه است که رخمنون قابل توجهی دارد. همچنین رسوبی نیز واحد شیلی بسیار کوچکی از سنگ آهک رنگ روشن الیگومیوسن دیده می‌شود (شکل ۲). روند عمومی لایه‌های رسوبی شمال شمال غرب-جنوب جنوب شرق است.

از نظر زمین‌ساختی، چین‌خوردگی اصلی موجود در منطقه به صورت یک ناویدیس با روند شمال غرب-جنوب شرق است که از دو سو، به تاقدیس و ناویدیس‌های بسیار با همین روند تبدیل می‌شود (شکل ۲). گسل‌های مختلفی با ماهیت عادی، معکوس و امتداد لغز در منطقه وجود دارند. یکی از گسل‌های اصلی منطقه گسل گوشفیل- باغ ابریشم است که کانه‌زایی گوشفیل نیز در گستره عملکرد این گسل دیده می‌شود. گسل گوشفیل- باغ ابریشم در حال حاضر دارای شیب زیاد (۷۹ تا ۸۰ درجه) و ماهیت وارون است که در امتداد آن، واحدهای شیلی ژوراسیک روی واحدهای کرتاسه پیشین رانده شده‌اند. شیب زیاد و غیرعادی این گسل معکوس می‌تواند نشانده‌اند آن باشد که این گسل نخست و در مرحله کانه‌زایی به صورت عادی (همزمان با رسوب گذاری) عمل کرده و طی مراحل کوهزایی به گسل معکوس با شیب ۷۰ درجه تا نزدیک قائم تبدیل شده است [۵]. در یال جنوبی ایرانکوه، گسل‌های امتدادلغزی وجود دارند که بیشتر به موازات محور اصلی رشته‌کوه هستند و افزون بر رخداد جا به جایی، کانه‌زایی را نیز می‌توان در امتداد و همراه با انها مشاهده کرد. گسل‌های عادی به صورت دسته گسل‌های موازی با هم و تقریباً عمود بر محور چین‌خوردگی اصلی منطقه



شکل ۳ تصاویری از انواع بافت کانی‌سازی در کانسار گوشفیل. (الف) برشی شدن سنگ میزان و سیمان‌شدگی قطعات برش توسط اسفالریت و کوارتز، (ب) بافت رگچه‌ای متتشکل از کوارتز-پیریت-گالن-اسفالریت، (پ) بافت پرکننده فضای خالی با تقارن کانی‌ها در دو طرف رگچه کوارتز-گالن-اسفالریت، (ت) بافت پراکنده دانه‌های اسفالریت همراه با دولومیت گرمابی و باریت در سنگ میزان. تصاویر با نور قطبیده مقاطع (XPL) تهیه شده‌اند. Dol = دولومیت، Sp = اسفالریت، Qz = کوارتر، Py = پیریت، Gn = گالن، Brt = باریت، ۰.۵ mm = میلی‌متر.

گالن: این کانی دومین کانی سولفیدی فراوان در منطقه است که مقدار آن گاهی به بیش از ۲۵ درصد می‌رسد. اندازه بلورهای گالن از ۰/۲ تا ۳ میلی‌متر متغیر است و بیشتر در قالب بافت رگچه‌ای دیده می‌شود (شکل‌های ۳ ب و پ، ۴ الف و ب). خم شدگی رخ‌های گالن نشانده‌نده عملکرد فعالیت‌های زمین‌ساختی جوانتر پس از تشکیل کانه‌زایی در منطقه است. همچنین در نمونه‌های بررسی شده میانباری از کانی‌های نقره‌دار مانند سولفosalat‌ها و کانی‌های مس‌دار داخل این کانی دیده نشد. از آنجاکه نمونه‌هایی بررسی شده مربوط به تونل و گمانه‌ها هستند، لذا کانی گالن غالباً سالم بوده و جانشینی سروزیت به ندرت دیده می‌شود (شکل ۴ ب).

پیریت: فراوانترین کانی سولفیدی آهن‌دار منطقه پیریت است که بیشتر در بخش‌هایی که کانی‌سازی در سنگ میزان شیل تشکیل شده است، دیده می‌شود. مقدار آن گاهی تا ۱۵ درصد حجم سنگ می‌رسد و بافت غالب آن رگچه و پراکننده است.

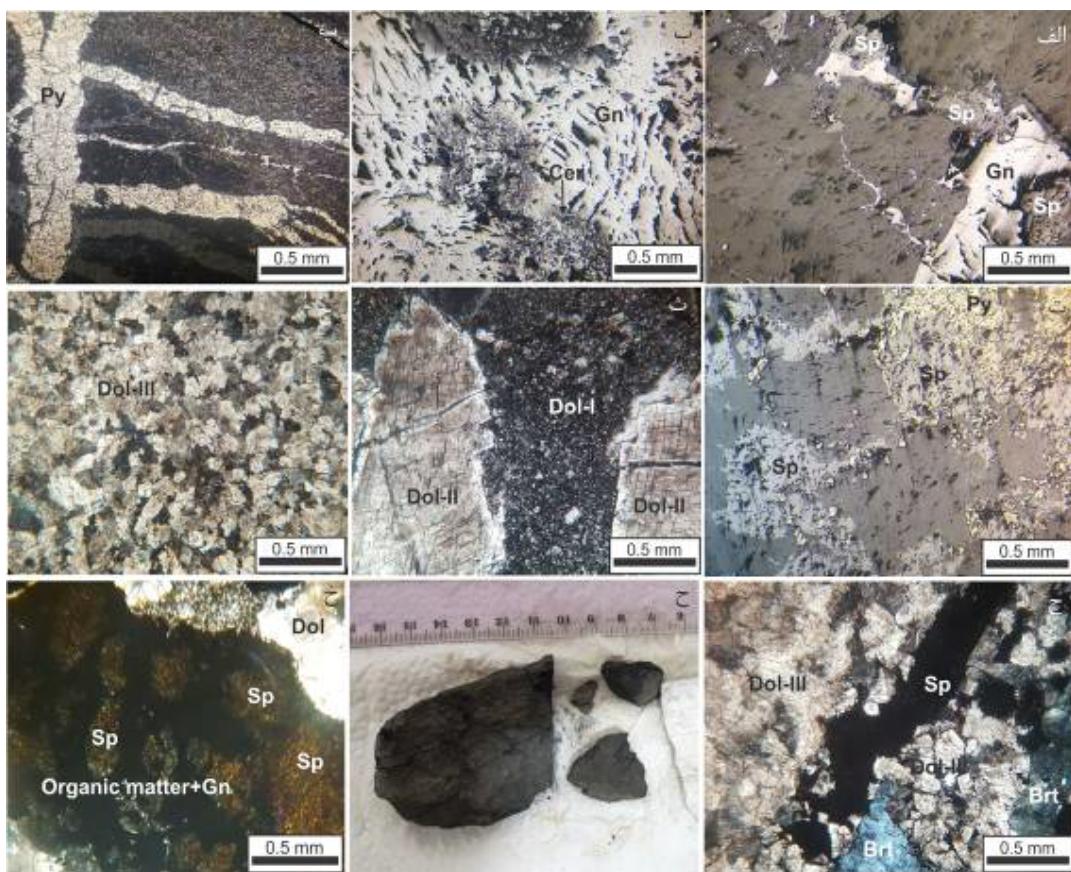
بررسی‌های کانی‌شناسی

اسفالریت: این کانی فراوانترین و اصلی‌ترین کانی سولفیدی در کانسار گوشفیل است، بطوریکه در برخی نمونه‌ها تا ۴۰ درصد اسفالریت در نمونه دیده می‌شود. اندازه بلورهای اسفالریت در مقاطع میکروسکوپی از ۰/۴ تا ۲/۵ میلی‌متر متغیر است و در قالب بافت‌های برشی، رگچه‌ای و پراکننده دیده می‌شود. بعضی از اسفالریت‌ها به رنگ قهوه‌ای تیره همراه با کوارتز و بعضی به رنگ عسلی همراه با دولومیت‌های سفید رنگ دیده می‌شوند. این تغییر رنگ مربوط به وجود عنصر آهن در شبکه کانی اسفالریت است، بطوریکه اسفالریت‌های با آهن کمتر رنگ روشن‌تری دارند. کناره‌های این کانی با کانی گالن و دربرگرفته شدن اسفالریت توسط گالن در برخی نمونه‌ها نشان می‌دهد که گالن پس از اسفالریت تشکیل شده است (شکل ۴ الف)، گرچه در برخی رگچه‌ها تشکیل گالن بر اسفالریت مقدم است (شکل ۴ پ) و یا در بعضی نمونه‌ها همرشدی نیز دیده می‌شود.

کانی‌سازی تشکیل شده‌اند (شکل ۴ ث). ۲- دولومیت‌های زین اسبی که یک کانی باطله معمول پس از میانزایی و گرمابی در کانسارهای سرب و روی نوع MVT هستند [۶، ۲۱]. این دولومیت‌ها با بلورهای متوسط تا درشت در اندازه‌های ۰/۸ تا ۲ میلیمتر، خمیدگی در سطوح بلوری و رخ‌ها و خاموشی موجی مشخص می‌شوند (شکل ۴ ث). مرزهای بلوری آن دندانه دندانه بوده که ناشی از فشار انحلالی است. این نوع دولومیت در دمای ۵۰ تا ۱۶۰ درجه سانتیگراد و شوری بالا تشکیل می‌شود و می‌تواند نتیجه بازتبلاور دولومیت‌های مراحل پیشین باشد [۲۲]. ۳- دولومیت‌های گرمابی لوزی رخ که همراه با کانی‌سازی دیده می‌شوند. این دولومیت‌ها شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار بوده و اندازه آنها از ۰/۴ تا ۰/۶ میلیمتر متغیر است (شکل‌های ۴ ج و چ).

بلورهای پیریت شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار بوده و اندازه آنها بین ۰/۳ تا ۰/۸ میلیمتر متغیر است. در بیشتر موارد به نظر می‌رسد که این کانی پیش از تشکیل فاز کانی‌سازی سرب و روی یا همزمان با آن بوجود آمده است. البته به ندرت قطعه‌شدن اسفالریت توسط پیریت نیز دیده شده است (شکل‌های ۴ پ و ت).

دولومیت: دولومیتی‌شدن مهمترین دگرسانی همراه با کانی‌سازی سرب و روی در کانسار گوشفیل است که در هر دو سنگ میزان کربناته و آواری دیده می‌شود. براساس اندازه، شکل و نوع خاموشی سه نوع دولومیت قابل تشخیص است: ۱- دولومیت سنگ میزان که بسیار ریز دانه بوده و دارای رنگ تیره است. این دولومیت‌ها بی‌شک تا نیمه‌شکل‌دار بوده و فاقد کانی‌سازی هستند. آنها طی مرحله میانزایی و پیش از فاز



شکل ۴ تصاویری از انواع کانی‌سازی و دگرسانی در کانسار گوشفیل. (الف) اسفالریت احاطه شده با گالن (نور PPL)، (ب) گالن با رخ‌های خمیده و تبدیل شدن به سروزیت از وسط (نور PPL)، (پ) قطع شدن اسفالریت توسط بلورهای پیریت (نور PPL)، (ت) رگجه‌های پیریت (نور XPL)، (ث) دولومیت تیره رنگ و ریزبلور سنگ میزان در مقابل دولومیت درشت زین اسبی (نور XPL)، (ج) دولومیت لوزی رخ متوسط دانه (نور XPL)، (چ) اسفالریت، دولومیت نوع سوم و تیغه‌های باریت (نور XPL)، (خ) نمونه دستی مواد آلی، (خ) رگجه دولمیت-مواد آلی- گالن- اسفالریت (نور XPL). Dol=دولومیت، Sp=اسفالریت، Gn=گالن، Py=پیریت، Brt=باریت، Cer=سروزیت [۲۰].

یا به صورت دانه ریز و رگچه در بدنه کانسار دیده می‌شوند (شکل‌های ۴ ح و خ).

باریت: بلورهای باریت به صورت تیغه‌ای، فضای خالی بین بلورهای دولومیت را پر کرده و یا به صورت رگچه‌های تاخیری کانی‌سازی را قطع کرده است (شکل ۴ چ). اندازه بلورها بین $۰,۳$ تا $۰,۵$ میلیمتر متغیر است و بیشینه مقدار آنها به ۵ درصد می‌رسد.

توالی همبرزایی کانی‌های فلزی و غیرفلزی کانسار گوشفیل در شکل ۵ ارائه شده است.

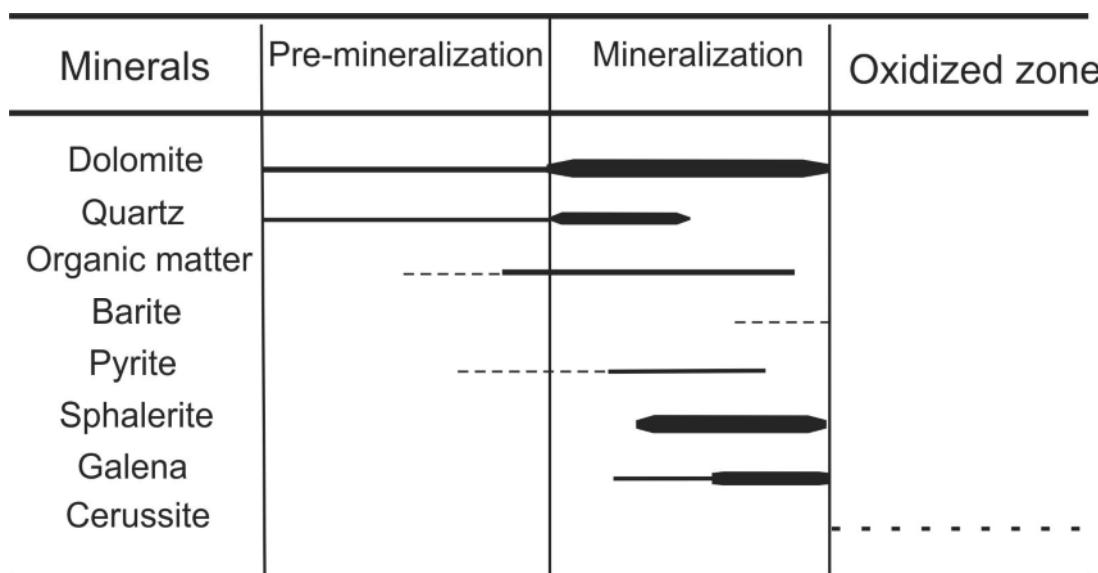
شیمی کانه‌ها

گالن: کانی گالن معمولاً دارای مقداری عنصر فرعی و کمیاب درون خود است که عنصر نقره به همراه آنتیموان و بیسموت از جمله مهمترین این عناصر به شمار می‌روند. بررسی‌های بسیاری تاکنون در مورد جانشینی عناصر در شبکه گالن شده است [۳۰-۲۶]. نتایج تجزیه ۱۱ نقطه در نمونه گالن کانسار گوشفیل در جدول (۱) ارائه شده است. عنصر نقره مهمترین عنصر کمیاب در گالن است چرا که بالاترین فراوانی را بین دیگر عناصر دارد و از نظر اقتصادی نیز فراورده جانبی ارزشمندی به شمار می‌رود. جانشینی نقره به جای سرب با توجه به شعاع یونی امکان‌پذیر است، اما مقدار جانشینی متفاوت بوده و به حضور عناصر واسطه‌ای مانند آنتیموان و بیسموت بستگی دارد. این جانشینی براساس رابطه زیر قابل انجام است:

$$\text{Ag}^+ + (\text{Sb}, \text{Bi})^{3+} = 2\text{Pb}^{2+}$$

کوارتز: سیلیسی‌شدن یک دگرسانی دیگر در کانسار گوشفیل است که بیشتر در قسمت‌های میزان شده در شیل همراه با کانی‌سازی سولفیدی (بیشتر پیریت) دیده می‌شود. این نوع دگرسانی به شکل پرکننده فضای خالی، رگچه‌ای و سیمان برش‌ها مشاهده می‌گردد و قرارگرفتن عمدۀ آن در کناره فضاهای خالی و کناره رگچه‌ها نشانده‌نده تقدم تشکیل آن بر دیگر کانی‌های است. اندازه دانه‌های کوارتز ثانویه از نهان بلور تا درشت دانه متغیر است (شکل‌های ۳ الف تا پ). مقدار کانی‌سازی همراه با کوارتزهای ریز دانه کمتر است، در حالیکه کوارتزهای درشت بلور بیشتر در رگچه‌ها همراه با کانی‌های سولفیدی دیده می‌شوند. کوارتزهای ثانویه، کوارتزهای ریز بلور سنگ میزان آواری را که طی میانزایی به وجود آمده‌اند، قطع می‌کند. مقدار کوارتز تا ۲۵ درصد می‌رسد. خاستگاه SiO_2 لازم برای این دگرسانی می‌تواند جانشینی کانی‌های رسی (مانند مونتموریونیت یا ایلیت) بوسیله آبزدایی واحد شیلی حوضه باشد [۲۳].

مواد آلی: مواد آلی و هیدروکربن‌ها اغلب در ارتباط زایشی با سولفیدهای کانسارهای MVT هستند و به عنوان راهنمای شناسایی این نوع کانسارها به کار می‌روند [۲۴]. سیال‌های گرمایی دربردارنده روی و سرب زمانیکه با CH_4 یا مواد الی برخورد می‌کنند، ته نشین می‌شوند و این مواد نقش مهمی در احیا سولفات‌های سولفید به عهدۀ دارند [۲۵]. مواد آلی با رنگ تیره و سستی شدید، فضای خالی بین دولومیت‌ها را پر کرده و



شکل ۵ توالی همبرزایی کانی‌های فلزی و غیرفلزی در کانسار گوشفیل.

جدول ۱ نتایج تجزیه با ریزپردازندۀ الکترونی در کانی گالن گوشفیل (Nd= زبر حد تشخیص دستگاه، DL= حد تشخیص).

	Pb (%)	S (%)	Ag (ppm)	Sb (ppm)	Fe (ppm)	Cd (ppm)	Cu (ppm)	(ppm) Mn	(ppm) Zn	Bi (ppm)
۱	۸۶,۷	۱۴,۵	۸۸۶	۱۱۷۹	۵۵۴	۲۴۹	۱۶۷	Nd	Nd	Nd
۲	۸۶,۲	۱۴,۵	۸۸۰	۱۱۱۰	۴۸۲	۱۲۸	۱۶	Nd	Nd	Nd
۳	۸۶,۱	۱۴,۴	۹۸۳	۸۷۸	۵۴۳	۱۰۲	۹	Nd	Nd	Nd
۴	۸۶	۱۴,۵	۱۲۰۰	۱۲۱۳	۴۵۶	۳۱	۱۰۰	Nd	Nd	Nd
۵	۸۷,۸	۱۳,۷	۶۳۳	۸۲۸	۲۸۳	۶۳	Nd	Nd	Nd	Nd
۶	۸۷,۸	۱۳,۶	۵۴۱	۶۹۳	۳۶۱	۲۸	Nd	Nd	Nd	Nd
۷	۸۵,۸	۱۴,۴	۹۰۳	۱۲۱۷	۴۰۸	۱۱۸	۴۳	Nd	Nd	Nd
۸	۸۵,۸	۱۴,۵	۹۲۰	۱۰۹۰	۵۱۹	۱۹۱	۸	Nd	Nd	Nd
۹	۸۵,۶	۱۴,۵	۱۰۲۷	۱۰۱۵	۴۵۷	۱۴۵	۸	Nd	Nd	Nd
۱۰	۵۸,۸	۱۴,۴	۹۹۷	۱۰۰۲	۵۱۳	۱۳۴	۸	Nd	Nd	Nd
۱۱	۸۶	۱۴,۴	۹۰۱	۱۲۱۱	۴۵۲	۱۱۶	۴۱	Nd	Nd	Nd
DL	۴۹	ppm۸	ppm۱۷۰	ppm۱۵۰	ppm۶	ppm۱۷۶	ppm۶	ppm۷	ppm۸	ppm۵۰

میانگین مقدار منگنز اسفالریت‌های گوشفیل حدود ۶۷ گرم بر تن است (جدول ۲). آنتیموان و سرب در بیشتر موارد کمتر از حد تشخیص دستگاه بوده است و فقط چند نقطه دارای مقدار آنتیموان بین ۶۵ تا ۳۳۵ گرم بر تن است (جدول ۲). مقدار مس در ساختار اسفالریت نیز بین ۶۶ تا ۵۹۳۰ گرم در تن متغیر است که البته در بیشتر نمونه‌ها کمتر از ۱۵۰ گرم بر تن است. افزایش غیرعادی مس در برخی نقاط می‌تواند مربوط به میانبار ذرات ریز کالکوپیریت باشد که در برخی نقاط به ندرت دیده شده است (جدول ۲). مقدار نقره در ساختار اسفالریت اغلب کمتر از ۱۰۰ گرم در تن است (جدول ۲).

بررسی سیال‌های درگیر

در کانسار گوشفیل، دولومیت و کوارتز مهمترین و فراوانترین کانی‌های غیرفلزی همیزداد با اسفالریت و گالن هستند که دارای سیال‌های درگیر مناسب برای تعیین دما و شیمی محلول کانه‌دار هستند. همچنین از آنجاکه در برخی قسمت‌ها اسفالریت‌های خالص و با رنگ عسلی روشن وجود دارد، از این کانی نیز می‌توان برای بررسی استفاده کرد. بررسی سیال‌های درگیر برای ۶ نمونه از این کانی‌ها انجام شد که خلاصه نتایج در جدول ۳ ارائه شده است. بررسی‌های سنگنگاری سیال‌های درگیر اولیه نشان داد که آنها اغلب به صورت نامنظم، مثلثی، کروی و میله‌ای و در اندازه‌های کمتر از ۵ تا بعضاً ۱۴ میکرون حضور دارند که البته بیشتر در ابعاد حدود ۸ میکرون دیده می‌شوند. آنها براساس تقسیم‌بندی‌های متداول [۳۴، ۳۵]، آنها از نوع دوفازی غنی از مایع (LV) و تک فاز مایع (L) هستند که البته نوع LV فراوانتر است. سیال‌های درگیر ثانویه بسیاری نیز دیده می‌شوند که بیشتر از نوع L و کمتر از نوع LV بوده و

فراوانی نقره در گالن بین ۵۴۱ تا ۱۲۰۰ گرم در تن و مقدار آنتیموان بین ۶۹۳ تا ۱۲۱۷ گرم در تن متغیر است (جدول ۱). حضور این عناصر می‌تواند به شکل میانبار و کانی‌های مجزا مانند سولفوسالت‌ها و نیز به شکل محلول جامد درون گالن باشد که البته در بررسی‌های کانی‌شناسی هیچگونه میانبارهای دیده نشده است. همچنین مقدار آهن در شبکه گالن بین ۲۸۳ تا ۵۵۴ گرم در تن و مقدار کادمیوم بین ۲۸ تا ۲۴۹ گرم در تن است. کادمیوم تمایل زیادی به تمرکز در اسفالریت دارد. مقدار مس در گالن‌ها از کمتر از حد تشخیص دستگاه (کمتر از ۶ گرم در تن) تا ۱۶۷ گرم در تن متغیر است (جدول ۱). با توجه به مقدار بسیار کم کانی‌های مس‌دار در گوشفیل، حضور میانبار کانی‌های مس‌دار در گالن مردود است و به احتمال زیاد مس جانشین سرب شده است. مقدار منگنز، بیسوموت و روی در گالن‌ها کمتر از حد تشخیص دستگاه (به ترتیب ۷، ۸ و ۵۰ گرم در تن) بوده است (جدول ۱).

اسفالریت: ترکیب شیمیایی عناصر فرعی در اسفالریت نیز توسط پژوهشگران بسیاری بررسی شده است [۳۳-۳۱]. مهمترین عناصری که در شبکه اسفالریت قرار می‌گیرند، کادمیوم و آهن هستند، ولی عناصری مانند منگنز، مس و آنتیموان نیز می‌توانند جایگزین شوند. کادمیوم از نظر شعاع یونی و بار اتمی مشابه روی است و به همین دلیل به راحتی از طریق جانشینی وارد ساختار اسفالریت می‌شود [۳۲، ۳۱]. نتایج تجزیه ۱۲ نقطه در نمونه اسفالریت کانسار گوشفیل در جدول ۲ ارائه شده است. فراوانی آهن در اسفالریت‌ها بین ۰,۹۸ تا ۳,۷۹ درصد متغیر است. مقدار کادمیوم در اسفالریت گوشفیل بین ۷۵۹ تا ۲۱۸۳ گرم بر تن متغیر است (جدول ۲).

براساس T_{fm} بدست آمده نمک‌های CaCl_2 و NaCl در سیال‌های درگیر اولیه وجود دارد. دمای نهایی ذوب (T_m) نیز مقدار شوری را مشخص می‌کند. مقدار T_m بین ۶-۲ تا ۱۲/۹ درجه سانتیگراد با میانگین ۹/۵۲-۹/۵ درجه سانتیگراد است (شکل ۶). براساس سیستم $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$ [۱۵، ۱۴]، مقدار شوری بین ۹/۴۷ تا ۱۶/۷۱ درصد NaCl با میانگین ۱۳/۲۶ درصد است (شکل ۶ پ). مقدار شوری در کوارتز بین ۱۳/۹ تا ۱۴/۸ درصد و در اسفالریت بین ۱۳/۴ تا ۱۳/۸ درصد NaCl است (جدول ۳). چگالی سیال‌های درگیر اولیه نیز براساس معادله مراجع است (شکل ۶ ت). چگالی سیال‌های درگیر برپایه نتایج دمای همگن‌شدگی و شوری آنها، بدون در نظر گرفتن شرایط بدام افتادگی، محاسبه می‌شود. تنوع در چگالی سیال‌های درگیر بسیار مهم است و می‌تواند محدودیت‌هایی در فرایند جریان سیال ایجاد کند [۳۶].

اندازه آنها کمتر از ۶ میکرون است. اندازه‌گیری‌های دماسنجدی، تعیین نوع محلول و مقدار شوری برای سیال‌های درگیر اولیه نوع LV انجام شد (جدول ۳). در مجموع ۸۲ سیال درگیر دماسنجدی و ۵۱ عدد از آنها برای تعیین نوع نمک‌ها و مقدار شوری مورد بررسی سرمایش قرار گرفت که از این میان ۱۱ عدد سیال مربوط به اسفالریت، ۱۰ عدد کوارتز و بقیه دولومیت بوده است.

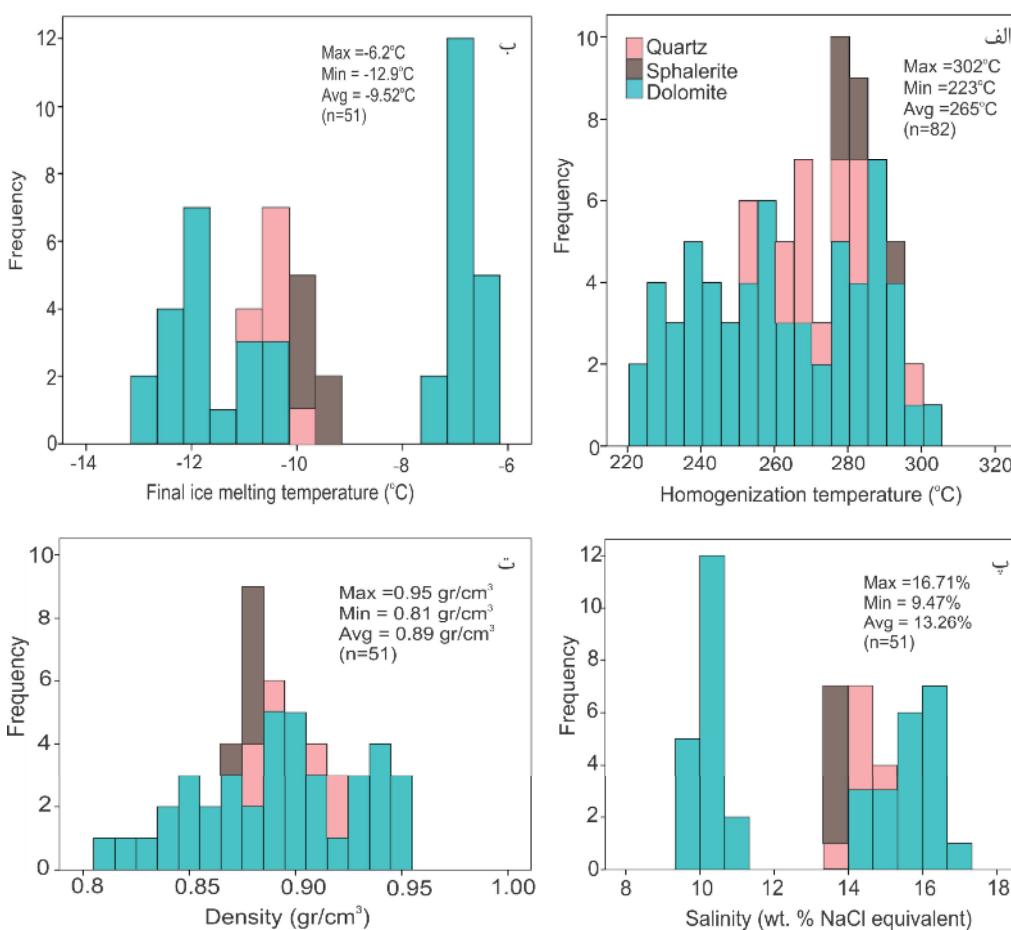
دمای همگن‌شدگی (T_h) سیال‌های درگیر اولیه به طور کلی بین ۲۲۳ تا ۳۰۲ درجه سانتیگراد با میانگین دمای ۲۶۵ درجه سانتیگراد است (شکل ۶ الف). دامنه دمای همگن‌شدگی در کوارتز بین ۲۵۰ تا ۲۸۹ درجه سانتیگراد و در اسفالریت بین ۲۷۷ تا ۲۹۱ درجه سانتیگراد متغیر است (جدول ۳). نخستین دمای ذوب‌شدگی (T_{fm}) در سیال‌ها نیز بین ۵۵-۵۷/۱ تا ۵۷/۱ درجه سانتیگراد متغیر بود. نخستین دمای ذوب‌شدگی رابطه مستقیمی با ترکیب نمک موجود در سیال گرمابی دارد [۳۵].

جدول ۲ نتایج تجزیه با ریزپردازنده الکترونی در کانی اسفالریت گوشفیل (Nd=زیر حد تشخیص دستگاه، DL=حد تشخیص)

	Zn (%)	S (%)	Fe (%)	Cd (ppm)	Ag (ppm)	Mn(ppm)	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Sb(ppm)
۱	۶۳/۰۵	۳۳/۴۵	۱/۵۵	۱۸۳۹	۱۲۱	۹۸	۲۰۳۴	Nd	۱۳۰
۲	۶۲/۴۱	۳۳/۵۴	۲/۷۹	۲۱۸۳	۲۲۷	۳۰	۵۹۳۰	Nd	۳۳۵
۳	۶۲/۱۵	۳۳/۶۵	۱/۹۵	۱۷۳۹	۹۸	۶۹	۱۷۶۰	Nd	۱۲۱
۴	۶۴/۷۴	۳۳/۴۳	۱/۰۹	۱۴۲۶	۹۹	۸۷	۸۹	Nd	۶۵
۵	۶۴/۳۹	۳۳/۳۷	۰/۹۸	۱۶۷۰	۸۱	۱۱۲	۱۳۱	Nd	۹۱
۶	۶۳/۹۵	۳۳/۰۷	۲/۱۶	۸۶۴	۷۳	۱۰	۶۶	Nd	Nd
۷	۶۲/۹۸	۳۳/۲۱	۲/۷۷	۷۵۹	۳۳	۶۷	۳۰۱	Nd	Nd
۸	۶۲/۲۰	۳۲/۹۹	۳/۱۰	۱۸۰۰	۶۵	۸۱	۱۲۱	Nd	Nd
۹	۶۲/۴۰	۳۳/۲۹	۳/۶۴	۱۳۵۵	۶۳	۹	۸۸	Nd	Nd
۱۰	۶۲/۰۱	۳۲/۹۸	۳/۷۱	۲۰۵۶	۵۹	۸۳	۱۴۴	Nd	Nd
۱۱	۶۲/۰۱	۳۲/۹۵	۳/۷۸	۱۱۵۰	۵۷	۸۸	۱۰۱	Nd	Nd
۱۲	۶۱/۹۰	۳۳/۴۵	۲/۳۵	۱۱۵۰	۱۲	۶۷	۱۵	Nd	Nd
DL	ppm۷	ppm۷	ppm۴	ppm۱۰	ppm۱۰	ppm۵	ppm۵	ppm۴	ppm۱۰

جدول ۳ خلاصه نتایج تجزیه سیال‌های درگیر نوع LV در کانسار گوشفیل (Th=دمای همگن شدگی، Tm=دمای ذوب آخرین بین)

شماره نمونه	کانی	تعداد دما	تعداد شوری	T_h °C ^(c)	T_m ice °C ^(c)	NaCl wt %	چگالی g/cm ³
۴۲۰۰۲	دولومیت	۱۱	۷	۲۹۸-۲۵۷	-۱۲/۹-۱۲	۱۶/۱-۱۵/۹	۰/۹۴-۰/۸۹
۴۲۰۱۲	کوارتز	۱۰	۶	۲۸۹-۲۵۰	-۱۰/۹-۱۰	۱۴/۸-۱۳/۹	۰/۹۲-۰/۸۸
	اسفالریت	۵	-	۲۸۵-۲۶۸	-	-	-
۴۲۰۲۲	دولومیت	۱۰	۱۰	۳۰۲-۲۳۰	-۶/۲-۷	۱۰/۵-۹/۵	۰/۹-۰/۸۱
	اسفالریت	۶	۶	۲۹۱-۲۷۷	-۹/۵-۹/۹	۱۳/۸-۱۳/۴	۰/۸۸-۰/۸۷
۴۲۰۴۱	دولومیت	۱۲	۹	۲۸۸-۲۲۳	-۶/۶-۷/۳	۱۰/۸-۱۰	۰/۹۱-۰/۸۴
۴۲۰۴۳	دولومیت	۷	۷	۲۹۶-۲۵۵	-۱۲/۶-۱۱/۶	۱۶/۶-۱۵/۶	۰/۹۳-۰/۸۹
۴۲۰۴۶	دولومیت	۲۱	۶	۲۶۸-۲۲۳	-۱۱-۱۰/۴	۱۵-۱۴/۴	۰/۹۵-۰/۹۴



شکل ۶ نمودارهای ستونی مربوط به نتایج تجزیه سیال‌های درگیر اولیه نوع LV در کانی‌های مختلف کانسار گوشفیل. (الف) دمای همگن شدگی، (ب) دمای ذوب آخرین ذره (ج، ب) شوری و (ج) چگالی سیال‌های درگیر

اکسیژن در سنگ میزبان واکنش داده با سیال و یا ترکیبی از همه اینها کنترل شود [۳۸]. نمودار دمای همگن شدگی نسبت به شوری سیال‌های درگیر اولیه گوشفیل نشان می‌دهد که دو نوع سیال کانه‌دار با دمای یکسان و شوری متفاوت در منطقه وجود داشته است، بطوریکه برخی دولومیت‌های گرمابی، کوارتز و اسفالریت از محلولی با شوری بیش از ۱۳ درصد و تعدادی از دولومیت‌های گرمابی از محلولی با شوری کمتر از ۱۱ درصد وزنی به وجود آمده‌اند. همچنین کاهش دما مهمترین عامل ته‌نشست سولفیدها بوده است (شکل ۷)؛ البته نقش مواد آلی و احیایی شدن محیط را نمی‌توان در نظر نگرفت.

مقدار عناصر فرعی در گالن نیز اطلاعاتی درباره خاستگاه و شرایط تشکیل آن فراهم می‌کند. مقدار بیسموت و آنتیمون گالن می‌تواند شاخص شرایط تشکیل کانسار باشد [۲۷]. به عقیده سالاخف [۲۷] نسبت Sb/Bi در گالن اطلاعاتی درباره

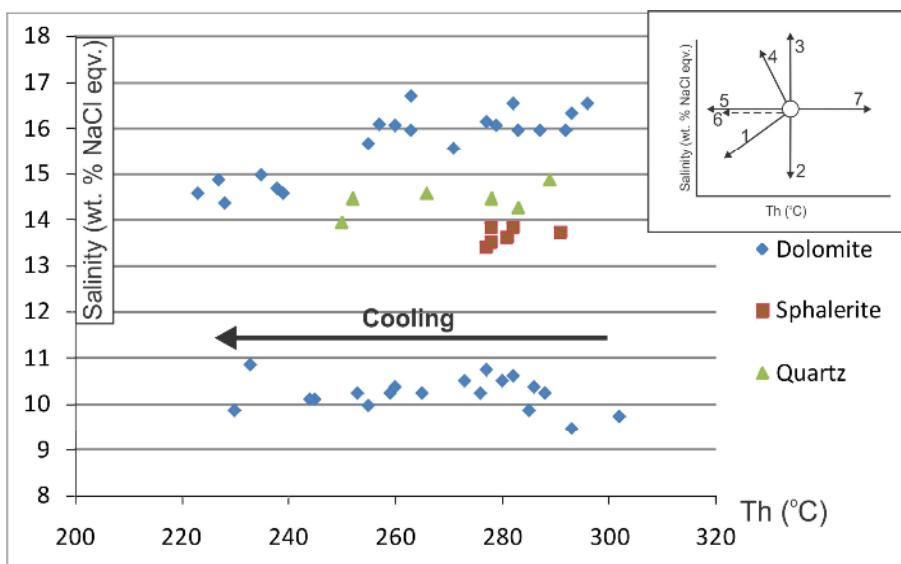
بحث و برداشت

برپایه بررسی سیال‌های درگیر، دمای تشکیل کانسار گوشفیل بین ۲۲۳ تا ۳۰۲ درجه سانتیگراد بوده و از محلولی شامل نمک‌های CaCl_2 و NaCl با درجه شوری بین ۹/۵ تا ۱۶/۷ پروردیده وجود آمده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که اثری از پدیده جوشش دیده نمی‌شود. در این حالت دمای همگن شدگی بدست آمده، معرف کمترین دمای تشکیل کانی است، زیرا وابسته به فشار است. تصحیح فشار در منطقه موربد بررسی محدود نیست، اما گفته شده است که در کانسارهایی که جوشش رخ نداده است، با فرض یک فشار هیدروستاتیک، دمای کانی‌سازی نمی‌تواند بیش از ۳۳۰ درجه سانتیگراد باشد [۳۷]. بنابراین دمای همگن شدگی بسیار نزدیک به دمای واقعی تشکیل است و فقط یک تصحیح بسیار کوچک نیاز دارد. ته‌نشست کانه‌ها از محلول می‌تواند توسط عوامل مختلفی مانند کاهش دما، کاهش فشار، تغییرات pH و فشار جزئی گاز

بالاتر و احتمالاً پیش از تشکیل کانسار تپه سرخ شکل گرفته است. مقایسه دمای محلول کانه‌دار کانسارهای گوشفیل و تپه سرخ با ذخایر نوع MVT دنیا نشان می‌دهد که عمدۀ این نوع کانسارها در دمای کمتر از ۱۸۰ درجه سانتیگراد تشکیل شده‌اند، در حالیکه دمای معادن ایرانکوه بیش از این مقدار است و تا حدی به کانسارهای ایرلند شباهت دارد (شکل ۸ الف). همچنین مقایسه شوری محلول کانه‌دار گوشفیل با ذخایر MVT نشان می‌دهد که عمدۀ این نوع کانسارها شوری بیش از ۱۴ درصد وزنی را نشان می‌دهند، درحالیکه شوری محلول کانه‌دار گوشفیل پایین و بین ۹/۵ تا ۱۶/۷ درصد متغیر است. مقدار شوری نیز همانند دما شبیه ذخایر ایرلند بویژه Tynagh و Silvermines است (شکل ۸ ب). با این که دما و شوری محلول کانه‌دار گوشفیل به ذخایر ایرلندی شبیه‌تر است، اما از آنجاکه ویژگی‌های مهمتر گوشفیل همچون شکل و حالت کانی‌سازی، رابطه با سنگ میزبان، همبرزابی کانیایی و بافت‌ها به ذخایر نوع MVT شباهت دارد (جدول ۴)، این کانسار یک ذخیره MVT محسوب می‌شود. ویژگی‌های کانسار گوشفیل می‌تواند کلید اکتشافی مهمی برای اکتشاف دیگر ذخایر سرب و روی با میزبان کربناته در پهنه فلزایی ملایر-اصفهان باشد.

دما در زمان تشکیل کانی می‌دهد، بطوریکه نسبت‌های کم (کمتر از ۰/۶) مشخصه کانی گالن در کانسارهای دما بالا و نسبت‌های بالا (بیش از ۱/۳) نشانده‌نده گالن تشکیل شده در دمای پایین است. نسبت Sb/Bi در گالن‌های کانسار گوشفیل بین ۱/۴ تا بیش از ۲/۴ است که معرف دمای پایین است (جدول ۱). این مطلب با دمای بدست آمده از بررسی سیال‌های درگیر همخوانی دارد.

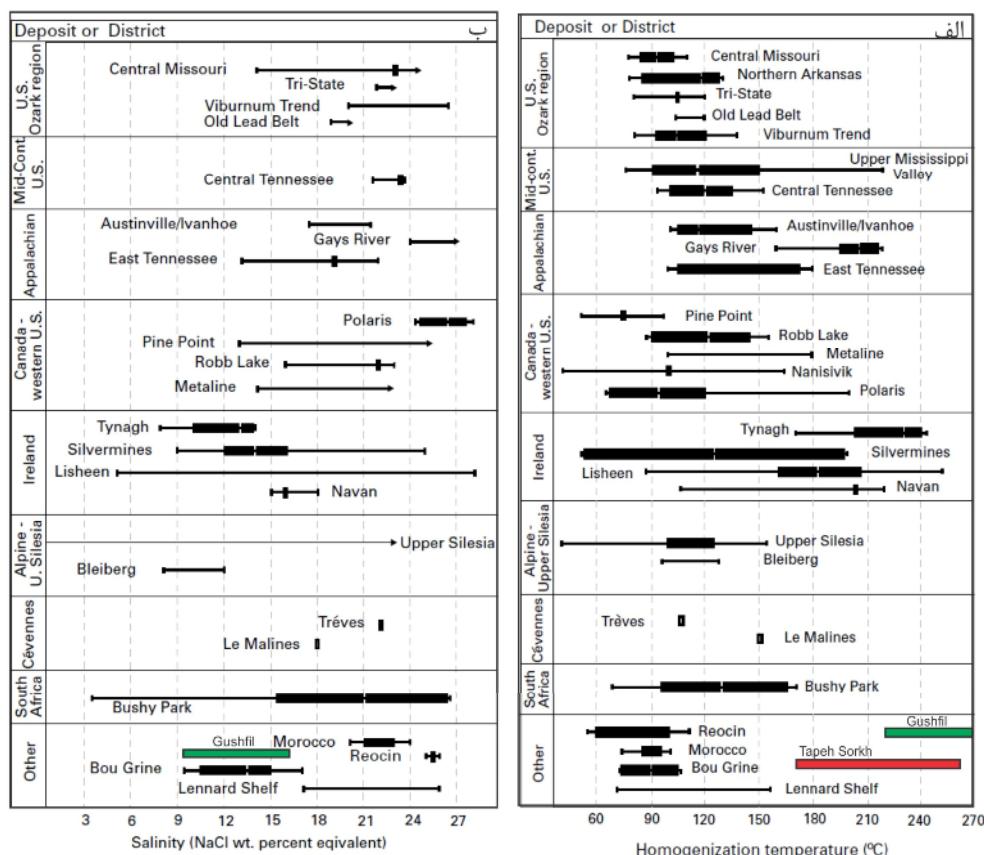
در جدول ۴ ویژگی‌های مهم کانسار گوشفیل با ذخایر سرب و روی نوع متصاعدی-رسوبی (SedEx)، MVT و ایرلندی مقایسه شده است. نوع سنگ میزبان، چینه‌کران و دیرزاد بودن کامل کانسار گوشفیل و کنترل کانی‌سازی توسط گسل‌های پس از رسوب‌گذاری، بافت، نوع کانه‌ها و باطله‌های همراه و عدم وجود فعالیت‌های آذرین در منطقه نشان می‌دهد که کانسار گوشفیل شباهت زیادی با ذخایر نوع MVT دارد (جدول ۴). تنها تفاوت گوشفیل با کانسارهای MVT داشتن دمای محلول کانه‌دار بالاتر است. دمای محلول کانه‌دار در کانسار تپه سرخ (غرب ناحیه معدنی ایرانکوه) نیز بین ۱۷۰ تا ۲۶۰ درجه سانتیگراد گزارش شده است [۱۳]. اعلام نموده‌اند. مقایسه این دو منطقه نشان می‌دهد که کانسار گوشفیل از محلولی با دمای



شکل ۷ نمودار شوری-دمای همگن شدگی سیال‌های درگیر کانسار گوشفیل. روندهای ممکن تکامل سیال در نمودار دما-شوری برگرفته از مرجع [۳۵] است. روند ۱= مخلوط شدگی سیال A با سیال سردتر و شوری کمتر B، روند ۲ و ۳= مخلوط شدگی سیال A با سیال‌های درگیر با شوری متفاوت ولی دمای یکسان، روند ۴= افزایش شوری فاز باقیمانده در اثر جوشش، روند ۵= سردشدنی سیال، روند ۶= باریک شدنی سیال‌های درگیر، روند ۷= تراوش سیال‌های درگیر طی گرمایش.

جدول ۴ مقایسه ویژگی‌های کانسار گوشفیل با ذخایر نوع SedEx [۳۷]، MVT [۳۹] و ایرلندی [۴۰].

گوشفیل	ایرلندی	MVT	Sedex	خصوصیات
دولومیت و کمتر شیل	کربنات‌ها یا توالی کربنات- سیلیسی آواری	بیشتر دولستون و سنگ آهک، کمتر ماسه سنگ	شیل، کربنات، لایسنگ غنی از مواد آلی، کمتر ماسه سنگ و کنگلومرا	سنگ میزبان
وجود گسل‌های پس از رسوب‌گذاری	وجود گسل‌های همزمان با رسوب‌گذاری	وجود گسل‌های پس از رسوب‌گذاری	وجود گسل‌های همزمان با رسوب‌گذاری	کنترل ساختاری
چینه‌کران	چینه‌سان و لی در برخی قسمت‌ها چینه‌کران	متنوع اما بیشتر چینه‌کران، برش‌های انحلالی	صفحه‌ای، چینه‌سان	شکل کانی‌سازی
اسفالریت، گالن، پیریت، دولومیت، کوارتر، باریت بسیار اندک	اسفالریت کم آهن، گالن، پیریت، مارکازیت، کمی سولفوسالت، دولومیت، کالکوپیریت، باریت بسیار کم با اصل وجود ندارد.	اسفالریت، گالن، پیریت، مارکازیت، کمی سولفوسالت، کلسیت.	اسفالریت، گالن، پیریت، پیرووتیت، مارکازیت، کمی سولفوسالت، کالکوپیریت، کلسیت، سیدریت، دولومیت، کوارتر. باریت معمول است یا ممکن است نباشد	کانی‌ها
جانشینی، پرکننده فضای خالی، پراکنده، رگجه	غالباً توده‌ای، مقدار جانشینی، بطور محلی پرکننده فضای خالی	درشت تا دانه ریز، توده‌ای و پراکنده، جانشینی و پرکننده فضای خالی	لایه‌ای، دانه ریز	بافت
۲۲۳ تا ۳۰۲ درجه سانتیگراد	۷۰ تا ۲۸۰ درجه سانتیگراد	۹۰ تا ۱۵۰ درجه سانتیگراد	۷۰ تا ۳۰۰ درجه سانتیگراد	دمای محلول کانه‌دار
کاملاً ریدزایدابی‌زنیک	بیشتر طی میانزایی کمی سن- ژنیک	کاملاً دیرزاد	سین-زنیک یا طی میانزایی اولیه	زمان کانی‌سازی نسبت به سنگ میزبان
هیچگونه فعالیت آذرین وجود ندارد	همراهی زمینی و مکانی فعالیتهای آذرین	هیچگونه فعالیت آذرین وجود ندارد	رابطه مستقیمی وجود ندارد	فعالیت‌های آذرین همراه



شکل ۸ مقایسه دما و شوری محلول کانه‌دار گوشفیل و تپه سرخ [۱۳] با کانسارهای نوع MVT دنیا [۳۹].

- formation of Irankuh”, Ms.C thesis, Isfahan University (2010) 120 p.*
- [10] Hosseini-Dinani H., Aftabi A., Esmaeili A., Rabbani M., “*Composite soil-geochemical halos delineating carbonate-hosted zinc-lead-barium mineralization in the Irankuh district, Isfahan, west-central Iran*”, Journal of Geochemical Exploration 156 (2015) 114-130.
- [11] Boveiri Konari M., Rastad A., Mohajjal M., Nakini A., Haghdoost M., “*Structure and texture, mineralogy, and formation of sulfidic facies in Tappeh Sorkh Zn-Pb (-Ag) deposit with clastic-carbonate hosted rocks, S Isfahan*”, Geological Sciences Journal 97 (2015) 221-236.
- [12] Hosseini-Dinani H., Aftabi A., “*Vertical lithogeochemical halos and zoning vectors at Goushfil Zn-Pb deposit, Irankuh district, southwestern Isfahan, Iran: Implications for concealed ore exploration and genetic models*”, Ore Geology Reviews 72 (2016) 1004-1021.
- [13] Boveiri Konari M., Rastad E., “*Nature and origin of dolomitization associated with sulphide mineralization: new insights from the Tappehsorkh Zn-Pb (-Ag-Ba) deposit, Irankuh Mining District, Iran*”, Geological Journal, (2016) DOI: 10.1002/gj.2875.
- [14] Lecumberri-Sanchez P., Steel-MacInnis M., Bodnar R.J., “*A numerical model to estimate trapping conditions of fluid inclusions that homogenize by halite disappearance*”, Geochim Cosmochim Acta 92 (2012) 14-22.
- [15] Steele-MacInnis M., Lecumberri-Sanchez P., Bodnar R.J., “*HOKIEFLINCS-H₂O-NACL: A Microsoft Excel spreadsheet for interpreting microthermometric data from fluid inclusions based on the PVTX properties of H₂O-NaCl*”, Computer in Geosciences 49 (2012) 334–337.
- [16] Momenzadeh M., “*Stratabound Lead – Zinc ores in the Lower Cretaceous and Jurassic ores in the Malayer – Esfahan district (west – central Iran) Lithology, metal content, zonation and genesis*”, Ph.D. thesis, Heidelberg University (1976) 300 p.
- [17] Zahedi M., “*Explanatory text of the Esfahan 1:250,000 quadrangle map*”, Geological Survey of Iran (1976) 49 p.
- [18] Seyed-Emami K., Brhts A., Bozorgnia F., “*Stratigraphy of the cretaceous rocks south east of Esfahan*”, Geology Survey of Iran. Rep. No 20 (1971) 5-27.

قدرتانی

این مقاله با حمایت مالی دانشگاه فردوسی مشهد در ارتباط با طرح پژوهشی شماره ۳، ۴۱۱۴۱ مورخ ۱۳۹۵/۴/۱ انجام شده است. همچنین از شرکت با ما به ویژه جناب آقای مهندس اسلامی مدیر عامل محترم و جناب آقای مهندس اسماعیلی به دلیل همکاری‌های لازم و در اختیار گذاشتن نمونه‌ها و اجازه مطالعه گمانه‌ها بسیار سپاسگزاریم.

مراجع

- [1] 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.
- [2] Alavi M., “*Sedimentary and structural characteristics of the Paleo-Tethys remnants in northeastern Iran*”, Geological Society of American Bullitan 103 (1991) 983–992.
- [3] Nakini A., Mohajjal M., Rastad A., Boveiri Konari M., “*Folding and faulting in Irankuh Mine, South of Isfahan*”, New Findings in Geology 2 (2015) 235-254.
- [4] Rastad E., “*Geological, mineralogical and ore facies investigations on the Lower Cretaceous stratabound Zn – Pb – Ba – Cu deposits of the Irankuh mountain range, Isfahan, west central Iran*”, Ph.D. thesis, Heidelberg University (1981) 334 p.
- [5] Nakini A., “*Structural analysis of Irankuh and Tiran areas, South and West of Isfahan*”, Ms.C thesis, Tarbiat Modares University (2013) 181 p.
- [6] Ghazban F., McNutt R. H., Schwarcz H. P., “*Genesis of sediment hosted Zn - Pb - Ba deposits in Irankuh district, Esfahan area, west – central Iran*”, Economic Geology 89 (1994) 1262 – 1274.
- [7] Gahsemi A., “*Geology, facies analysis and geochemistry of Kolah-Darvazeh, Zendan, and Khanegorgi Pb-Zn deposits, southern slope of Irankuh*”, Ms.C thesis, Tarbiat Modares University (1995) 158 p.
- [8] Reichert J., “*A metallogenetic model for carbonate-hosted non-sulphide zinc deposits based on observations of Mehdi Abad and Irankuh, Central and Southwestern Iran*”, Ph.D thesis, Martin Luther University, Halle Wittenberg (2007) 152 p.
- [9] Timoori Asl F., “*Sedimentology and petrology of Jurassic deposits and basin brines studies in*

- [30] George L., Cook N.J., Ciobanu C.L., "Trace and minor elements in galena: A reconnaissance LA-ICP-MS study", American Mineralogist 100(2) (2015) 548-569.
- [31] 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.
- [32] Ye L., Cook N.J., Liu T., Ciobanu C.L., Gao W., Yang Y., "The Niujiaotang Cd-rich zinc deposit, Duyun, Guizhou province, southwest China: ore genesis and mechanisms of cadmium concentration", Mineralum Deposita 47 (2012) 683-700.
- [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.
- [34] Roedder E., "Fluid inclusions", Reviews in Mineralogy 12 (1984) 644 p.
- [35] Sheppard T.J., Rankin A.H., Alderton D.H.M., "A Practical Guide to Fluid Inclusion Studies", Blackie and Son (1985) 239 pp.
- [36] Wilkinson J.J., "Fluid inclusions in hydrothermal deposits", Lithos 55(2001) 229-272.
- [37] Hass J. L., "Effect of salinity on the maximum thermal gradient of a hydrothermal system at hydrostatic pressure", Economic Geology 66 (1971) 940-946.
- [38] Karimpour M.H., Saadat S., "Applied Economic Geology", Mashhad publishing, (2012) 535 p.
- [39] 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", Society of Economic Geologists, Economic Geology One Hundredth Anniversary Volume, 1905-2005 (2005) 561-607.
- [40] Wilkinson J.J., "On diagenesis, dolomitisation and mineralisation in the Irish Zn-Pb orefield", Mineralum Deposita 38 (2003) 968-983.
- [19] Khosrow Tehrani K., "Stratiqraphie du cretace superieur et du Paleocene de la partie mediane de Iran (region comprise entre Esfahan-Djandagh et Yazd)", C.R. Sc. Geol. FR., NO.4 (1977) 239-241.
- [20] Whitney D.L., Evans B.W., "Abbreviations for names of rock-forming minerals", American Mineralogist 95 (2010) 185-187.
- [21] Searl A., "Saddle dolomite: a new of its nature and origin", Mineralogy Magazine 53 (1989) 547-555.
- [22] Zenger D.H., "Burial dolomitization in the Lost Burrow Formation (Devonian), east-central California, and the significance of late diagenetic dolomitization", Geology 11 (1983) 519-522
- [23] Leach D., Taylor R.D., Fey D.L., Diehl S.F., Saltus R.W., "A Deposit Model for Mississippi Valley-Type Lead-Zinc Ores", Chapter A of Mineral Deposit Models for Resource Assessment. Scientific Investigations Report 2010-5070-A. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia (2010) 64 pp.
- [24] Sicree A. A., Barnes H. L., "Upper Mississippi Valley district ore fluid model: the role of organic complexes", Ore Geology Reviews 11(1996) 105-131.
- [25] Barton P.B. Jr., "Possible role of organic matter in the precipitation of the Mississippi Valley ores", Economic Geology Monograph 3(1967) 371-378.
- [26] Marshal R.R., Joensuu O., "Crystal habit and trace element content of some galena", Economic Geology 56 (1961) 758-771.
- [27] Malakhov A.A., "Bismuth and antimony in galena, indicators of conditions of ore deposition", Geokhimiya 11 (1968) 1283-1296.
- [28] Blackburn W.H., Schwendeman J.F., "Trace elements tu bstitutionn galena", Canadian Mineralogist 15 (1977) 365-373.
- [29] Luke G., Nigel J., Cook C., Ciobanu L., Benjamin P.W., "Trace and minor elements in galena: A reconnaissance LA-ICP-MS study", American Mineralogist 100 (2015) 548-569.