

کانی‌شناسی، شیمی کانه‌ها و بررسی سیال‌های درگیر در کانسار سرب و روی گوسفیل، 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 گوسفیل در جنوب غرب اصفهان و در پهنه فلززایی ملایر- اصفهان واقع شده است. کانی‌سازی به شکل دیرزادی در مرز شیل‌های ژوراسیک و دولومیت کرتاسه تشکیل شده است و کنترل ساختاری دارد. همبزرایی کانیایی 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 پراکنده دیده می‌شوند. دولومیتی‌شدن و سیلیسی‌شدن مهمترین دگرسانی‌ها هستند. شیمی کانه‌ها نشان می‌دهد که گالن‌ها غنی از نقره و آنتیموان و فقیر از بیسموت هستند. نسبت Sb/Bi در کانی 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 گوسفیل 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 درصد به وجود آمده است. نوع سنگ میزبان، چینه‌کران و دیرزاد بودن کامل کانسار 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 گوسفیل شباهت زیادی با ذخایر نوع دره می‌سی‌سی‌پی (MVT) دارد؛ اما دمای محلول کانه‌دار نسبت به ذخایر معمولی دنیا بالاتر است.

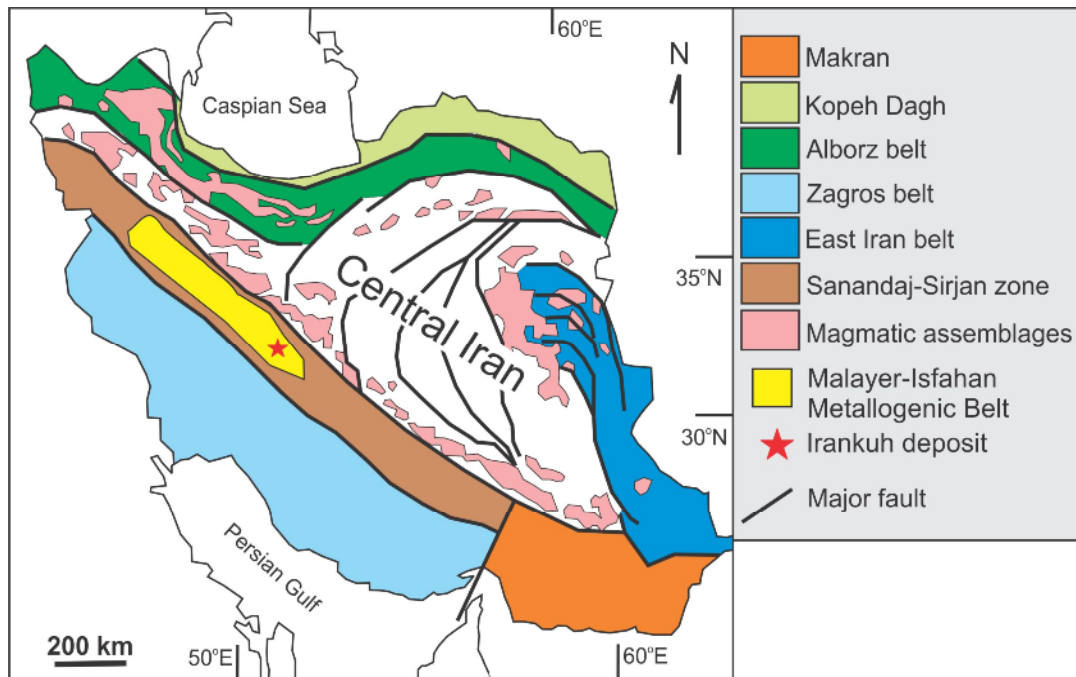
واژه‌های کلیدی: کانی‌شناسی؛ شیمی کانی‌ها؛ سیال‌های درگیر؛ نوع MVT؛ گوسفیل؛ ایرانکوه.

مقدمه

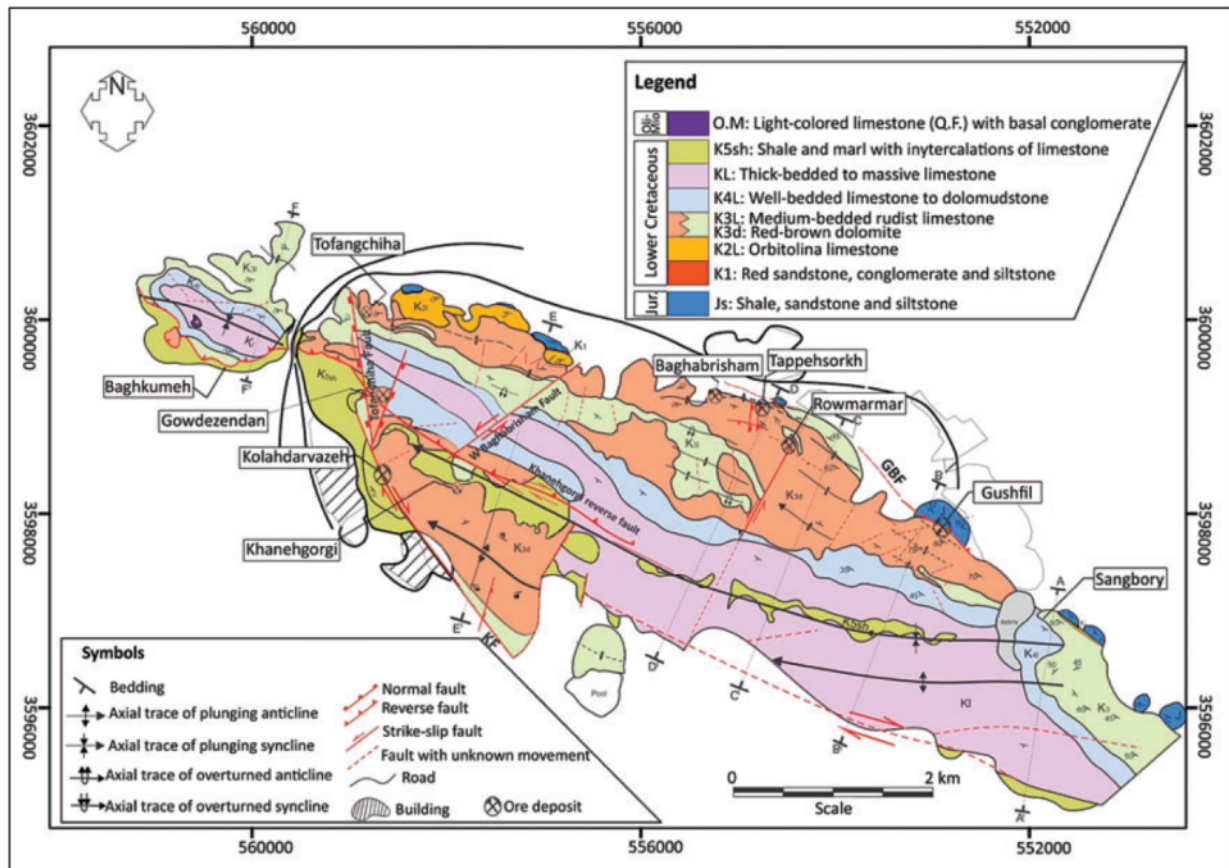
میزبان کربناته عمده ذخایر سرب و روی این پهنه، کرتاسه است [۲]. کمربند فلززایی ملایر- اصفهان بخش عمده آن استان‌های مرکزی، اصفهان و همدان را دربرمی‌گیرد و از نظر سرگذشت زمین‌شناسی، وضعیت رسوبگذاری و ساختاری، شبیه پهنه ایران مرکزی است [۳].

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 گوسفیل، تپه سرخ، کلاه دراوزه و رومرمر و معادن متروکه و مناطق اکتشافی مانند گودزدان، خانه گرگی، باغ کومه، تفنگچی‌ها، باغ ابریشم و سنگبری وجود دارد (شکل ۲).

ذخایر سرب و روی با سنگ میزبان کربناته یکی از مهمترین منابع تولید این فلزات در جهان به شمار می‌روند. در ایران چهار پهنه فلززایی 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 ۳۳° ۵۱' تا ۴۰° ۵۱' شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۲۸° ۳۲' تا ۳۲° ۳۲' شمالی قرار دارد. این منطقه از نظر تقسیمات ساختاری در پهنه ساندج- سیرجان و در کمربند فلززایی ملایر- اصفهان واقع است (شکل ۱). سن سنگ



شکل ۱ موقعیت جغرافیایی ناحیه معدنی ایرانکوه در پهنه ساندج- سیرجان و کمربند فلزایی 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).

Downloaded from ijcm.ir at 9:26 +0330 on Tuesday October 27th 2020 [DOI: 10.29252/ijcm.26.4.857]

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 $Zn/Zn + Pb$ 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 میزبان کربناته در ایران است، لذا گزارش‌های زمین‌شناسی، اکتشافی و زمین‌فیزیکی، پایان‌نامه‌ها و مقالات متعددی درباره آن نوشته شده است [۴-۱۳]. 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 ایزوتوپی است، به ویژگی‌های کانسار گوشفیل نیز اشاره شده و کانی‌سازی سرب و روی ایرانکوه بیشتر از نوع دره می‌سی‌سی‌پی (MVT) معرفی شده است. البته برخی کانسار تپه سرخ را نوع ایرلندی گزارش کرده‌اند [۱۱، ۱۳].

این مقاله برای نخستین بار به بررسی‌های کانی‌شناختی، همبرزایی، 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-20 و G-17 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 میزبان کربناته و پتانسیل بالای معدنی در پهنه فلززایی 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 همبرزایی 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 آمریکا تجزیه شدند. این دستگاه تمام خودکار

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 همبرزایی، تعداد ۶ مقطع دوبرصقل از کانی‌های دولومیت و کوارتز به عنوان مهمترین باطله همراه با کانی‌سازی و نیز کانی اسفالریت تهیه و سیال‌های درگیر آن بررسی شد. دماسنجی سیال‌های درگیر به وسیله دستگاه سردکننده و گرم‌کننده Linkam مدل THMSG 600 در دانشگاه فردوسی مشهد صورت گرفت. گستره دمایی دستگاه بین ۱۹۰- تا ۶۰۰+ درجه سانتیگراد و با دقت $\pm 1^\circ C$ است. در مجموع دماسنجی برای ۸۲ سیال درگیر انجام شد، اما به دلیل ریز بودن برخی از آنها، اندازه‌گیری شوری و تعیین نوع نمک‌ها در ۵۱ سیال صورت گرفت. مقدار شوری و چگالی در سیستم $H_2O-NaCl$ با استفاده از نرم افزار تعبیه شده در سیستم اکسل HOKIEFLINCS- $H_2O-NaCl$ [۱۴، ۱۵] محاسبه شد. بافت نگارهای مناسب با نرم‌افزار SPSS ترسیم شد.

زمین‌شناسی

پهنه فلززایی ملایر- اصفهان دارای روند مشابه با پهنه سنج- سیرجان بوده و مربوط به بازشدگی حوضه پشت قوسی در کرتاسه پیشین است. بیشترین کانه‌زایی سرب و روی با میزبان کربناته در کمربند ملایر- اصفهان رخ داده؛ بطوریکه شامل $Zn - Pb - Ag - Ba \pm Cu$ کانسار ۱۷۰ رسوبی با سن پرموتریاس تا کرتاسه پیشین است و ناحیه معدنی ایرانکوه مهمترین آنها به شمار می‌رود [۱۶]. زمین-شناسی ناحیه‌ای معدنی ایرانکوه براساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ 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). بالآمدگی 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-

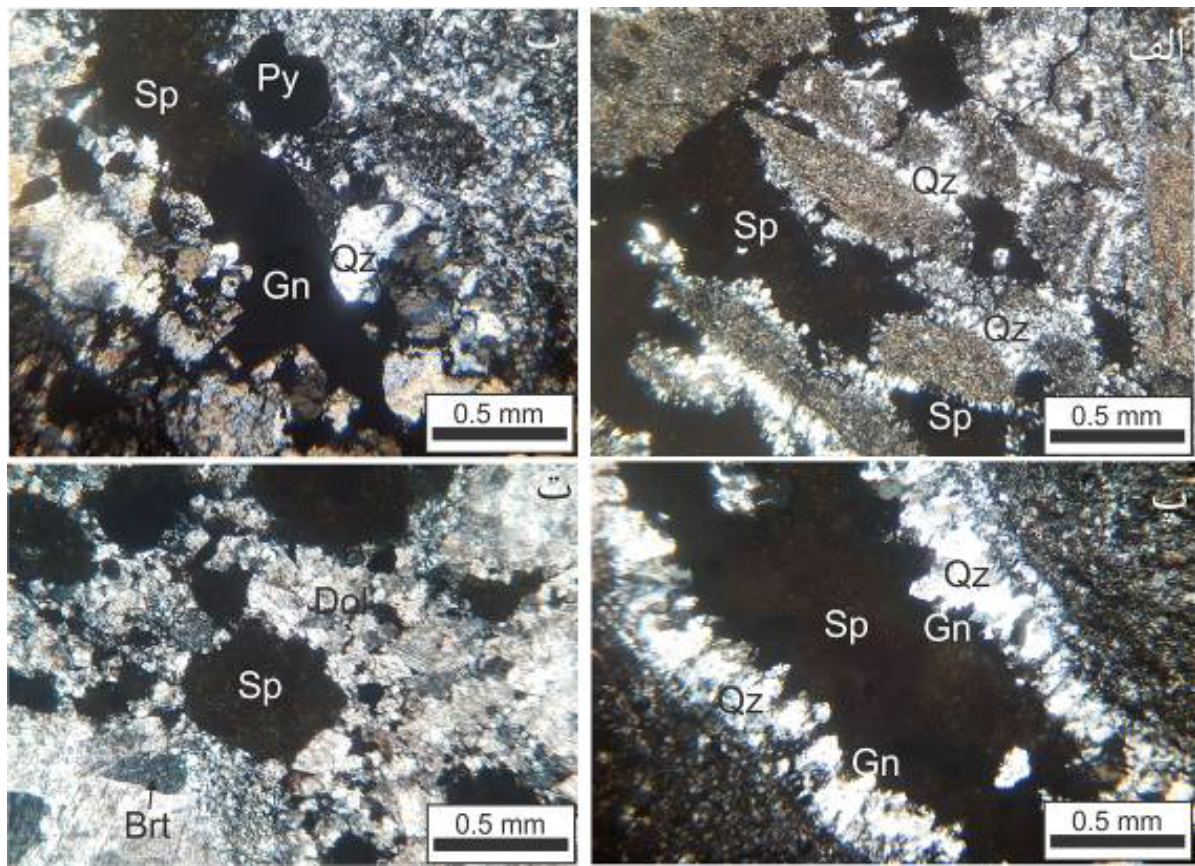
بوده و دارای روند کلی شمالی-جنوبی هستند (شکل ۲).

کانی‌سازی و دگرسانی

کانی‌سازی در معدن گوشفیل به شکل دیرزادی و با کنترل ساختاری در گسل معکوسی با روند N60W و شیب ۸۰ درجه در مرز شیل‌های ژوراسیک و دولومیت‌های قرمز-قهوه‌ای 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 رگچه-های زمین‌ساختی یا برش‌های گسلی و یا حفره‌های سنگ میزبان) تشکیل شده است، درحالی‌که در واحد شیلی فقط فضاهای ایجاد شده بوسیله گسل توسط محلول کانه‌دار پر شده است و مقدار ذخیره در آنها 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 پراکنده دیده می‌شوند. در بافت برشی، سنگ میزبان در نتیجه فعالیت‌های گسلی، خرد شده و سپس قطعات توسط دولومیت گرمایی، کوارتز و یا کانه‌ها سیمانی شده‌اند (شکل ۳ الف). بافت رگچه‌ای متداول‌ترین نوع بافت موجود در آن است (شکل ۳ ب)، بطوریکه 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 رگچه‌هاست که خود دلیلی بر دیرزاد بودن کانسار و کنترل‌های ساختاری است (شکل ۳ پ). در بافت پراکنده، محلول کانه‌دار حفره‌ها یا فضاهای خالی سنگ میزبان را پر کرده است (شکل ۳ ت). مهمترین دگرسانی در کانسار گوشفیل دولومیتی‌شدن و سیلیسی‌شدن است که سیلیسی‌شدن 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 اربیتولین‌دار که بطور بخشی دولومیتی شده است، در شمال منطقه دیده می‌شود (شکل ۲). سنگ آهک متوسط لایه و دولومیت قرمز-قهوه‌ای کرتاسه بخش عمده‌ای از ناحیه معدنی ایرانکوه را به خود اختصاص داده است. کانسار گوشفیل در مرز دولومیت قرمز-قهوه‌ای 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 رخمنون 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 ناودیس با روند شمال غرب-جنوب شرق است که از دو سو، به تاقدیس و ناودیس‌های 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 نشان‌دهنده 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 آنها 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) برشی‌شدن سنگ میزبان و سیمان‌شدگی قطعات برش توسط اسفالریت و کوارتز، ب) بافت رگچه‌ای متشکل 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 میزبان. تصاویر با نور قطبیده متقاطع (XPL) تهیه شده‌اند. (Dol=دولومیت، Sp=اسفالریت، Qz=کوارتز، Gn=گالن، Py=پیریت، Brt=باریت [۲۰]).

بررسی‌های کانی‌شناسی

گالن: این کانی دومین کانی سولفیدی فراوان در منطقه است که مقدار آن گاهی به 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). خم‌شدگی رخ‌های گالن نشان‌دهنده عملکرد فعالیت‌های زمین‌ساختی جوانتر پس از تشکیل کانه‌زایی در منطقه است. همچنین در نمونه‌های بررسی شده میانباری از کانی‌های نقره‌دار مانند سولفوسالت‌ها و کانی‌های مس‌دار داخل این کانی دیده نشد. از آنجاکه نمونه‌های 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 میزبان شیل تشکیل شده است، دیده می‌شود. مقدار آن گاهی تا ۱۵ درصد حجم سنگ می‌رسد و بافت غالب آن رگچه و پراکنده است.

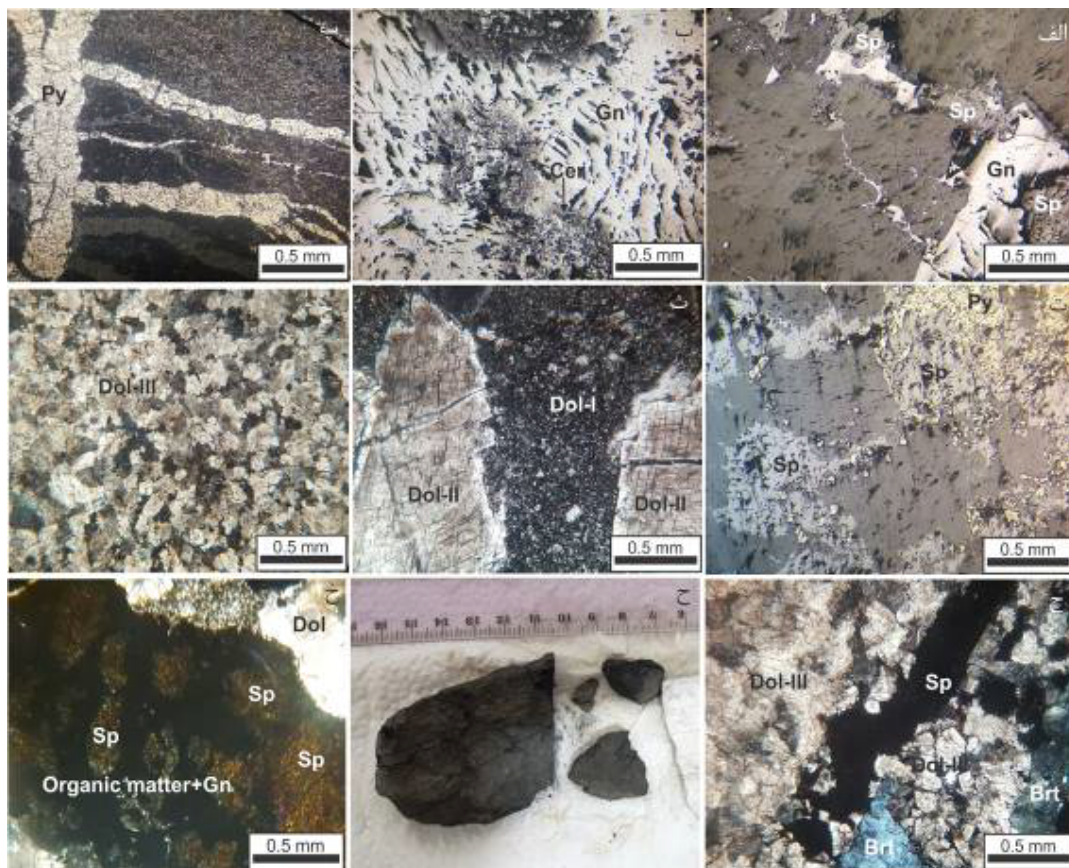
اسفالریت: این کانی فراوانترین و اصلی‌ترین کانی سولفیدی در کانسار گوشفیل است، بطوریکه در برخی نمونه‌ها تا ۴۰ درصد اسفالریت در نمونه دیده می‌شود. اندازه بلورهای اسفالریت در مقاطع میکروسکوپی از ۰٫۴ تا ۲٫۵ میلی‌متر متغیر است و در قالب بافت‌های برشی، رگچه‌ای و پراکنده دیده می‌شود. بعضی از اسفالریت‌ها به رنگ 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 ۳ 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 گرمایی 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 باز تبلور دولومیت‌های مراحل پیشین باشد [۲۲].

۳- دولومیت‌های گرمایی 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 قطع‌شدگی 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 میزبان کربناته و آواری دیده می‌شود. براساس اندازه، شکل و نوع خاموشی سه نوع دولومیت قابل تشخیص است: ۱- دولومیت سنگ میزبان که بسیار ریز دانه بوده و دارای رنگ تیره است. این دولومیت‌ها بی‌شکل 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) رگچه‌های پیریت (نور PPL)، ت) قطع شدن اسفالریت توسط بلورهای پیریت (نور PPL)، ث) دولومیت تیره رنگ و ریزبلور سنگ میزبان 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)، ح) نمونه دستی مواد آلی، خ) رگچه دولمیت - مواد آلی - گالن - اسفالریت (نور XPL) = Dol = دولومیت، = Sp = اسفالریت، = Gn = گالن، = Py = پیریت، = Brt = باریت، = Cer = سروزیت [۲۰].

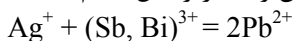
یا به صورت دانه ریز و رگچه در بدنه کانسار دیده می‌شوند (شکل‌های ۴ ح و خ).

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 عناصر 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 [۲۶-۳۰]. 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:



کوارتز: سیلیسی‌شدن یک دگرسانی دیگر در کانسار گوشفیل است که بیشتر در قسمت‌های میزبان 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 عمده آن در کناره فضاهای خالی و کناره رگچه‌ها نشاندهنده تقدم تشکیل آن بر دیگر کانی‌هاست. 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، درحالی‌که کوارتزهای درشت بلور بیشتر در رگچه‌ها همراه با کانی‌های سولفیدی دیده می‌شوند. کوارتزهای ثانویه، کوارتزهای ریزبلور سنگ میزبان 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 مونت‌مورونیت یا ایلیت) بوسیله آزدایی واحد شیلی حوضه باشد [۲۳].

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

| Minerals | Pre-mineralization | Mineralization | Oxidized zone |
|----------------|--------------------|----------------------|---------------|
| Dolomite | | ████████████████████ | |
| Quartz | | ████████████████████ | |
| Organic matter | ----- | ████████████████████ | |
| Barite | | | ----- |
| Pyrite | ----- | ████████████████████ | |
| Sphalerite | | ████████████████████ | |
| Galena | | ████████████████████ | |
| Cerussite | | ████████████████████ | ----- |

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

جدول ۱ نتایج تجزیه با ریزپردازنده الکترونی در کانی گالن گوشفیل (Nd= زیر 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 | ۱۳۸ | 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 همبرزاد با اسفالریت و گالن هستند که دارای سیال‌های درگیر مناسب برای تعیین دما و شیمی محلول کانه‌دار هستند. همچنین از آنجا که 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، بیسموت 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 [۳۱-۳۳]. 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 [۳۱، ۳۲]. 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).

بر اساس T_{fm} بدست آمده نمک‌های $CaCl_2$ و $NaCl$ در سیال - های 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 $۹/۵۲-$ درجه سانتیگراد است (شکل ۶ ب). بر اساس سیستم $H_2O-NaCl$ [۱۴، ۱۵]، 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 بر اساس معادله مراجع [۱۴، ۱۵] بین $۰/۸۱$ تا $۰/۹۵$ گرم بر سانتیمتر مکعب متغیر 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 دماسنجی، تعیین نوع محلول و مقدار شوری برای سیال‌های درگیر اولیه نوع LV انجام شد (جدول ۳). در مجموع ۸۲ سیال درگیر دماسنجی 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.

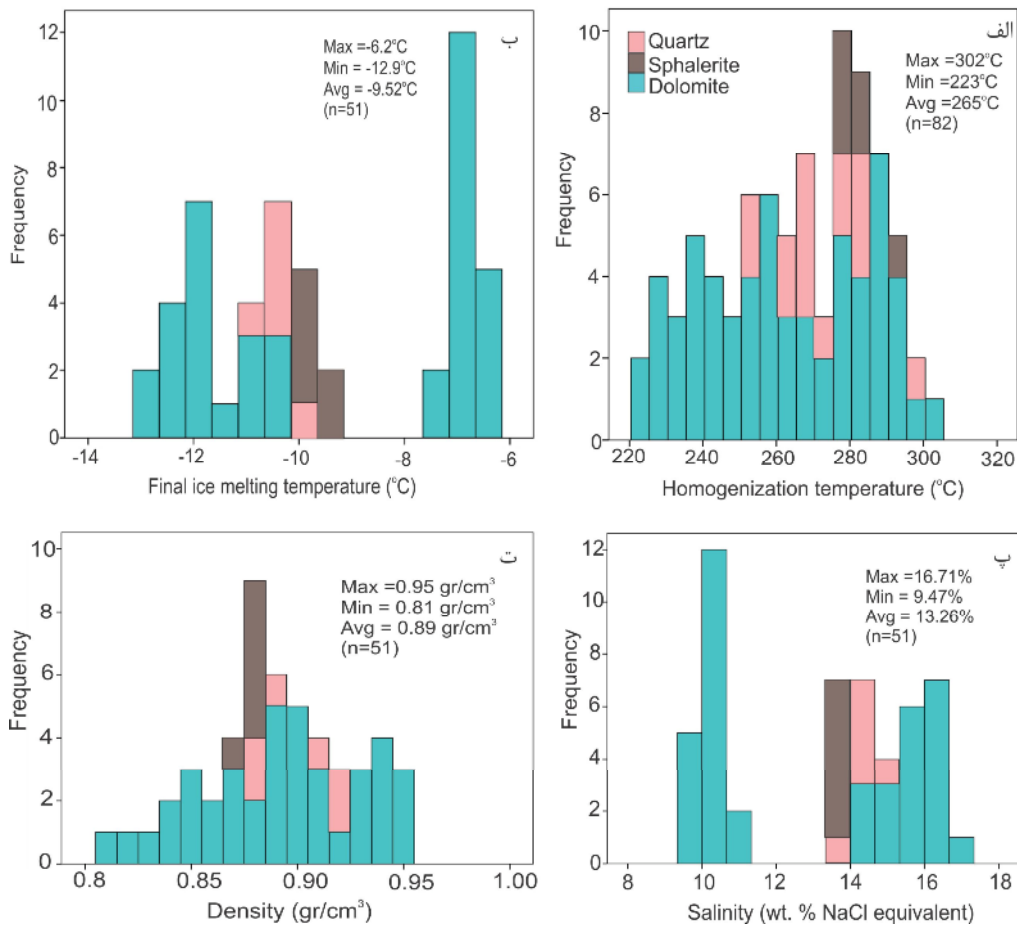
دمای همگن‌شدگی (T_h) سیال‌های درگیر اولیه به طور کلی بین ۲۲۳ تا ۳۰۲ درجه سانتیگراد با میانگین دمای ۲۶۵ درجه سانتیگراد است (شکل ۶ الف). دامنه دمای همگن‌شدگی در کوارتز بین ۲۵۰ تا ۲۸۹ درجه سانتیگراد و در اسفالریت بین ۲۷۷ تا ۲۹۱ درجه سانتیگراد متغیر است (جدول ۳). نخستین دمای ذوب‌شدگی (T_{fm}) در سیال‌ها نیز بین ۵۵- تا ۵۷/۱- درجه سانتیگراد متغیر بود. نخستین دمای ذوب‌شدگی رابطه مستقیمی با ترکیب نمک موجود در سیال گرمایی 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 | ۳/۷۹ | ۲۱۸۳ | ۲۲۷ | ۳۰ | ۵۹۳۰ | Nd | ۳۳۵ |
| ۳ | ۶۳/۱۵ | 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 | ۳/۳۵ | 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 (T_h = دمای همگن‌شدگی، T_m = دمای ذوب آخرین یخ)

| شماره نمونه | کانی | تعداد دما | تعداد شوری | $T_h^{(C)}$ | $T_m^{ice^{(C)}}$ | wt % NaCl شوری | چگالی g/cm^3 |
|-------------|----------|-----------|------------|-------------|-------------------|----------------|----------------|
| ۴۲۰۰۲ | دولومیت | ۱۱ | ۷ | ۲۹۸-۲۵۷ | -۱۲ تا -۱۲/۹ | ۱۶/۱-۱۵/۹ | ۰/۹۴-۰/۸۹ |
| ۴۲۰۱۲ | کوارتز | ۱۰ | ۶ | ۲۸۹-۲۵۰ | -۱۰ تا -۱۰/۹ | ۱۴/۸-۱۳/۹ | ۰/۹۲-۰/۸۸ |
| | اسفالریت | ۵ | - | ۲۸۵-۲۶۸ | - | - | - |
| ۴۲۰۲۲ | دولومیت | ۱۰ | ۱۰ | ۳۰۲-۲۳۰ | -۷ تا -۶/۲ | ۱۰/۵-۹/۵ | ۰/۹-۰/۸۱ |
| | اسفالریت | ۶ | ۶ | ۲۹۱-۲۷۷ | -۹/۹ تا -۹/۵ | ۱۳/۸-۱۳/۴ | ۰/۸۸-۰/۸۷ |
| ۴۲۰۴۱ | دولومیت | ۱۲ | ۹ | ۲۸۸-۲۳۳ | -۷/۳ تا -۶/۶ | ۱۰/۸-۱۰ | ۰/۹۱-۰/۸۴ |
| ۴۲۰۴۳ | دولومیت | ۷ | ۷ | ۲۹۶-۲۵۵ | -۱۱/۶ تا -۱۲/۶ | ۱۶/۶-۱۵/۶ | ۰/۹۳-۰/۸۹ |
| ۴۲۰۴۶ | دولومیت | ۲۱ | ۶ | ۲۶۸-۲۲۳ | -۱۰/۴ تا -۱۱ | 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 یخ، پ) شوری و ت) چگالی سیال‌های درگیر

بحث و برداشت

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 گرمایی، کوارتز و اسفالریت از محلولی با شوری بیش از ۱۳ درصد و تعدادی از دولومیت‌های گرمایی 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.

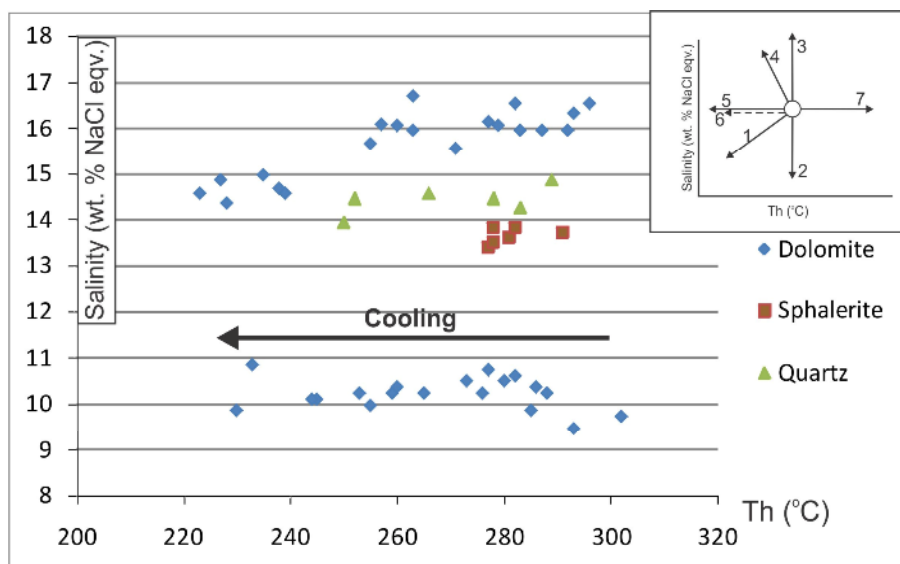
مقدار عناصر فرعی در گالن نیز اطلاعاتی درباره خاستگاه و شرایط تشکیل آن فراهم می‌کند. مقدار بیسموت و آنتیموان گالن می‌تواند شاخص شرایط تشکیل کانسار باشد [۲۷]. به عقیده سالاخف [۲۷] نسبت Sb/Bi در گالن اطلاعاتی درباره

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 درصد به 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 مورد بررسی مقدور 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 همگن‌شدگی 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

بالا تر 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 عمده 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 عمده این نوع کانسارها شوری بیش از ۱۴ درصد وزنی را نشان می‌دهند، در حالیکه 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، همبستگی 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 فلرزایی 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 ۶ تا ۱۳) نشان‌دهنده گالن تشکیل شده در دمای پایین است. نسبت Sb/Bi در گالن‌های کانسار گوشفیل بین ۱۴ تا بیش از ۲۴ است که معرف دمای پایین است (جدول ۱). این مطلب با دمای بدست آمده از بررسی سیال‌های درگیر همخوانی دارد.

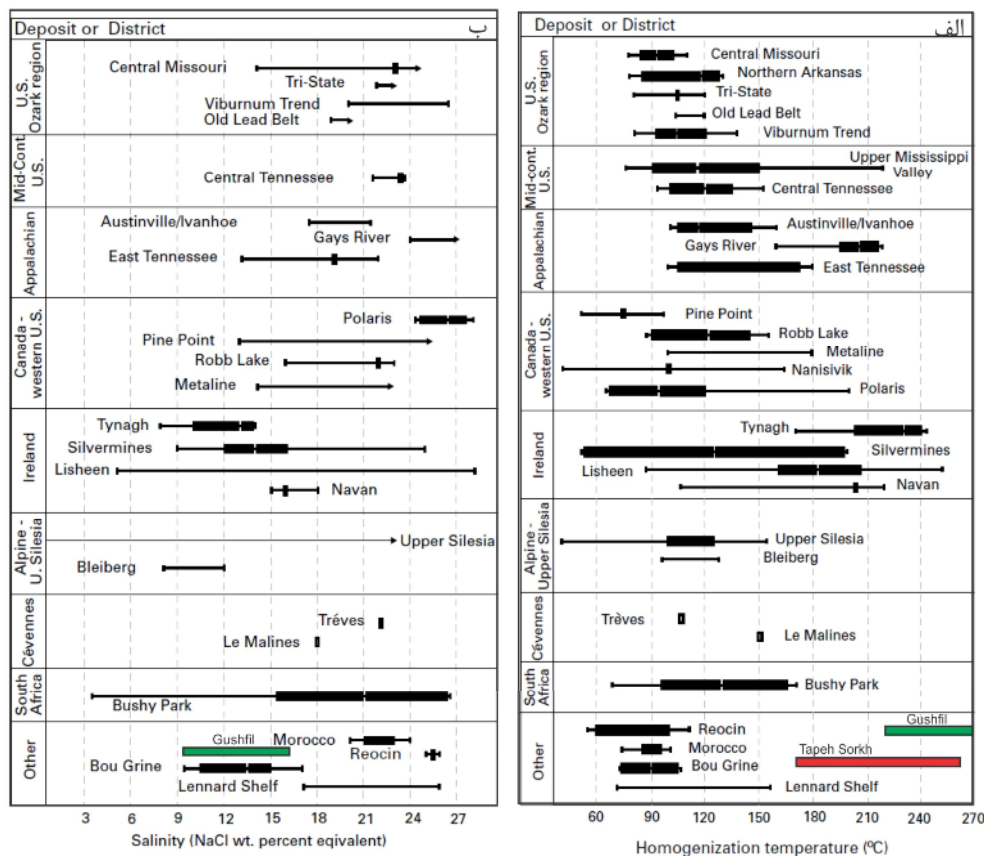
در جدول ۴ ویژگی‌های مهم کانسار گوشفیل با ذخایر سرب و روی نوع متصاعدی-رسوبی (SedEx)، MVT و ایرلندی مقایسه شده است. نوع سنگ میزبان، چینه‌کران و دیرزاد بودن کامل کانسار گوشفیل و کنترل کانی‌سازی توسط گسل‌های پس از رسوبگذاری، بافت، نوع کانه‌ها و باطله‌های همراه و عدم وجود فعالیت‌های آذرین در منطقه نشان می‌دهد 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 دیگر با شوری متفاوت ولی دمای یکسان، روند ۴= افزایش شوری فاز باقیمانده در اثر جوشش، روند ۵= سردشدگی سیال، روند ۶= باریک شدگی 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].

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



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

قدردانی

formation of Irankuh”, Ms.C thesis, Isfahan Univesity (2010) 120 p.

[10] Hosseini-Dinani H., Aftabi A., Esmaili 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., Mohajjel 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 lithochemical 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.

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., Mohajjel 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 Univesity (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 Univesity (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] Sheppherd 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", *Mineralium Deposita* 38 (2003) 968-983.
- [19] Khosrow Tehrani K., "Stratigraphie 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.