

# کانسار سرب-روی و باریت یزدان، نمونه‌ای از کانسارهای SEDEX-type در باختر پهنه ساختاری ایران مرکزی

محمد جعفر کویانی<sup>۱</sup>، ابراهیم راستاد<sup>۲</sup>، سعید معدنی پور<sup>۳</sup> و سجاد مغفوری<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

<sup>۲</sup>استاد، گروه زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

<sup>۳</sup>استادیار، گروه تکنونیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

<sup>۴</sup>استادیار، گروه زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۰۳

## چکیده

توالی رسوبی کرتاسه زیرین در جنوب‌باختر اردستان در منطقه فسخود، از قدیم به جدید شامل توالی آواری-کربناته (Kc)، کربناته (Kl)، شیلی و مارنی (Km) و آهک ماسه‌ای و ماسه سنگی (Kls) می‌باشد. واحد Kls به عنوان واحد در برگیرنده کانسار، خود شامل چهار عضو است که کانه‌زایی کانسار یزدان در واحد ماسه سنگی عضو سوم به صورت یک افق چینه‌سان رخ داده است. مطالعات ساخت و بافت، وجود سه رخساره کانسنگی همراه با منطقه‌بندی عنصری را در این کانسار نشان می‌دهد که عبارتند از، رخساره رگه-رگچه‌ای، رخساره کانسنگ توده‌ای و رخساره کانسنگ لایه‌ای که از سولفیدهای لامینه جانشینی و نواری همروند با لایه‌بندی سنگ میزبان تشکیل شده است. مطالعات میان‌بارهای سیال و اندازه‌گیری دما و شوری آنها بر روی کانی‌های اسفالریت، باریت و کوآرتز در هر سه رخساره کانسنگی به صورت جداگانه نشان‌دهنده دمای همگن شدن بین ۲۵۵-۱۳۶ درجه سانتی‌گراد با میانگین دمایی ۱۸۹ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. همچنین، میزان شوری آنها بین ۱۴/۶-۶ درصد وزنی نمک طعام (به طور میانگین ۹/۵ درصد وزنی نمک طعام) محاسبه گردیده است. مطالعات زمین‌شناسی، سنگ میزبان، ساخت و بافت، وجود رخساره‌های سه‌گانه کانسنگی همراه با منطقه‌بندی عنصری و همچنین مطالعات میان‌بارهای سیال نشان از بیشترین شباهت کانسار سرب-روی و باریت یزدان با کانسارهای سرب-روی Sedex دارد.

**کلیدواژه‌ها:** کانسار سرب-روی و باریت، رخساره‌های کانسنگی، Sedex-Type، یزدان، اردستان.

\*نویسنده مسئول: ابراهیم راستاد

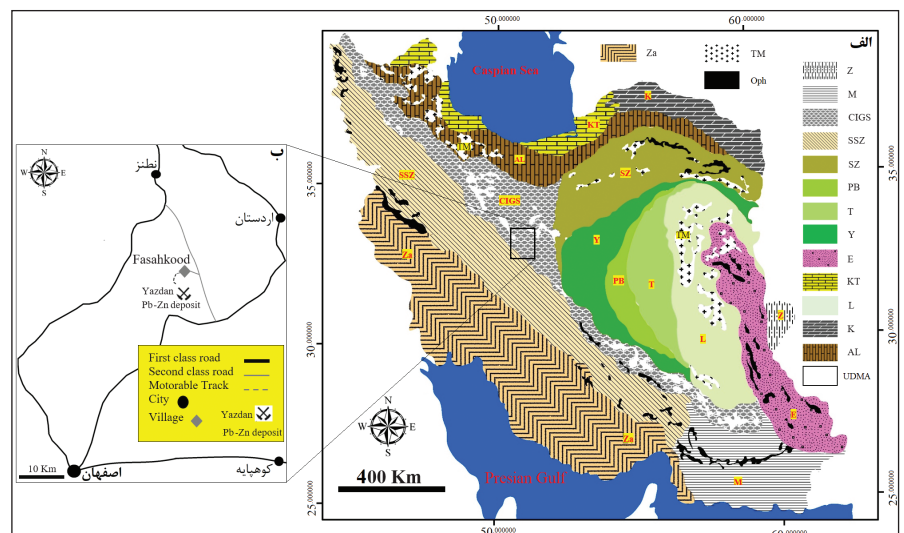
E-mail: rastad@modares.ac.ir

## ۱- پیش‌نوشتار

خاوری و "۵۲' ۱۴" تا "۳۳' ۴" ۱۵' ۳۳" عرض شمالی در واحدهای آواری-کربناته کرتاسه زیرین تشکیل گردیده است (شکل ۲). در این پژوهش ضمن معرفی کانسار سرب-روی و باریت یزدان به عنوان نمونه‌ای از کانسارهای نوع سدکس (Sedex-Type)، ویژگی‌های رخساره‌های کانسنگی، مشخصه‌های زمین‌شیمیایی آنها، ژئومتری، ساخت و بافت، ویژگی‌های سیال کانه‌دار (دما و شوری) و همچنین چگونگی تشکیل کانسار مورد بررسی قرار گرفته است. انتظار می‌رود با توجه به گسترش توالی رسوبی کرتاسه زیرین در این حوضه، مطالعه کانسار سرب-روی و باریت یزدان در باختر پهنه ساختاری ایران مرکزی بتواند الگوی مناسبی جهت اکتشاف ذخایر مشابه در این منطقه و مناطقی با زمین‌شناسی مشابه در دیگر نقاط ایران ارائه نماید.

کانسارهای سرب-روی با میزان رسوبی طیف گسترده‌ای از سنگ‌های کربناته و سیلیسی آواری را شامل می‌شوند (Wilkinson, 2014; Leach et al., 2010) که از این میان، کانسارهای سرب و روی با میزان سیلیسی آواری (Sedex-Type) در طیف وسیعی از سنگ‌ها شامل شیل، سیلت‌سنگ، تورییدایت‌ها و ماسه‌سنگ‌ها تشکیل می‌شوند (Goodfellow and Lydon, 2007). در ایران نیز با توجه به حضور گسترده سرزمین‌های آواری و کربناتی، انواع مختلفی از ذخایر سرب و روی با میزان رسوبی را شاهد می‌باشیم که در این میان، کانسار سرب-روی و باریت یزدان در حاشیه باختری پهنه ساختاری ایران مرکزی (شکل ۱-الف) در ۵۰ کیلومتری جنوب‌باختری اردستان (شکل ۱-ب)، با مختصات جغرافیایی "۲۶' ۱' ۵۲" تا "۴' ۱' ۵۲" طول

شکل ۱-الف) موقعیت کانسار یزدان بر روی نقشه پهنه‌های ساختاری ایران (آقناباتی، ۱۳۸۳). AI- پهنه ساختاری البرز، CIGS- پهنه ساختاری و زمین‌شناسی ایران مرکزی، E- پهنه ساختاری شرق ایران، K- پهنه ساختاری کبه‌داغ، KT- پهنه ساختاری خزر-تالش، L- بلوک لوت، M- پهنه ساختاری مکران، Oph- کمرندهای افیولیتی، PB- بلوک پشت بادام، SSZ- پهنه ساختاری سنج-سیرجان، SZ- پهنه سبزوار، T- بلوک طیس، TM- سنگ‌های ماگمایی تشریری، UDMA- کمان ماگمایی ارومیه-دختر، Y- بلوک یزد، Z- ناحیه زابل، Za- پهنه ساختاری زاگرس؛ ب) نقشه راه‌های دسترسی به کانسار یزدان.



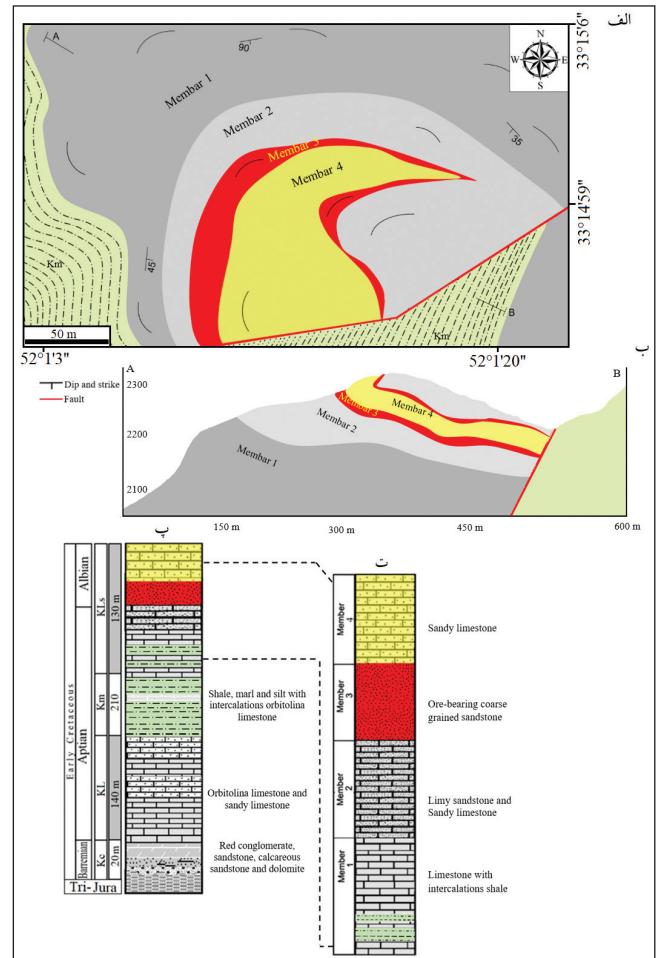
مقاطع نازک و نازک-صیقلی، مطالعه مقاطع دوبر صیقل و اندازی گیری دما و شوری میانبارهای سیال و همچنین آنالیز XRD در آزمایشگاه‌های بخش زمین‌شناسی دانشگاه تربیت مدرس انجام گردید.

### ۳- جایگاه ژئودینامیکی

کانسار یزدان به لحاظ تقسیم‌بندی‌های زمین‌شناسی ایران (آقابات، ۱۳۸۳) در باختر پهنه ساختمانی ایران مرکزی قرار دارد (شکل ۱- الف). همسانی رویدادهای زمین‌ساختی و همچنین وجود داده‌های دیرینه مغناطیسی نشانگر آن است که پهنه ساختمانی ایران مرکزی و پهنه ساختمانی زاگرس از زمان پرکامبرین پسین تا پرمین سکوی بیگانه بوده‌اند (Madanipour et al., 2018)، ولی از اواخر پالئوزوئیک، در پی تکوین حرکات زمین‌ساختی سیمین پیشین، این دو صفحه از یکدیگر جدا شده‌اند. پهنه ساختمانی ایران مرکزی پس از جدایش، با سرعتی بیش از صفحه زاگرس به سوی شمال‌خاوری حرکت کرده و پس از برخورد با ابرقاره اوراسیا و بسته شدن اقیانوس تیتیس کهن در تریاس پسین، بخشی از صفحه اوراسیا شده است (Wilmsen et al., 2009). در اواخر پالئوزوئیک و در طی مزوزوئیک، ایران مرکزی زیر رژیم‌های کششی بوده ولی از کرتاسه پسین به دنبال بسته شدن تیتیس جوان، این پهنه ساختمانی میان دو کمربند زاگرس و کپه داغ به تله افتاده و از آن زمان به بعد، زیر رژیم فشارشی قرار گرفت است (Madanipour et al., 2018). توالی‌های رسوبی کرتاسه زیرین در پهنه ساختمانی ایران مرکزی در یک حوضه کششی تشکیل شده (خسروتهرانی، ۱۳۸۶) و در نتیجه عملکرد گسل‌های بزرگ در این حوضه، حوضه‌های رسوبی هورست و گرابنی متعددی در این زمان تشکیل گردیده است (Berberian and King, 1981) که از شواهد آن در منطقه مورد مطالعه می‌توان به تغییر شدید رخساره‌های سنگی در مسافت جغرافیایی کم، تغییرات شدید در ضخامت رسوبات و فوناهای زیستی در منطقه جنوب باختر اردستان و شمال خاور اصفهان (صفری، ۱۳۷۴؛ کیمیاگری، ۱۳۷۴) اشاره کرد.

### ۴- زمین‌شناسی کانسار

توالی رسوبی کرتاسه زیرین در منطقه مورد مطالعه از لحاظ جایگاه چینه‌ای و سن نسبی سنگ‌ها به چهار واحد قابل تفکیک می‌باشند (شکل‌های ۲- الف و ب) که در این میان، کانسار یزدان در چهارمین واحد رسوبی کرتاسه زیرین تشکیل گردیده است (شکل‌های ۲- پ و ت). اولین واحد این مجموعه (Kc)، شامل توالی‌هایی از گنگولومرا، ماسه سنگ و دولومیت ماسه‌ای می‌باشد که به‌طور ناپیوسته بر روی توالی‌های آواری به سن ژوراسیک قرار گرفته‌اند و نشان‌دهنده شروع رسوبگذاری توالی کرتاسه زیرین در یک محیط ساحلی کم ژرفا است (Mannani and Yazdi, 2009). دومین واحد (Kl) شامل سنگ آهک ماسه‌ای، آهک‌های نازک تا متوسط لایه و آهک‌های ضخیم لایه اریتولین-دار می‌باشد (رادفر و همکاران، ۱۳۷۸). در این واحد، نسبت ترکیبات آواری به ترکیبات کربناتی کاهش یافته و سنگ‌های کربناتی چیره هستند. انتقال از بخش زیرین به این واحد به‌صورت پیوسته بوده و با افزایش سنگ‌های کربناتی به بخش بالایی توالی مشخص می‌شود. این تغییر سنگ‌شناسی کانی‌شناسی نشان از افزایش ژرفا در اثر فرونشست حوضه شمال اصفهان دارد سومین واحد (Km)، متشکل از شیل، مارن، سیلت-سنگ با میان‌لایه‌هایی از آهک-ماسه‌ای می‌باشد (رادفر و همکاران، ۱۳۷۸). واحد چهارم توالی رسوبی کرتاسه زیرین، واحد (Kls) می‌باشد که با مرز تدریجی به روی واحد (Km) قرار گرفته است. شروع این واحد با میان‌لایه‌های سیلتی به ضخامت ۱۰ متر بوده که نشان از انتقال پیوسته با بخش زیرین است. رخساره‌های سنگی واحد (Kls) در کانسار یزدان را می‌توان به ۴ عضو تقسیم کرد (شکل ۲- ت). اولین عضو این واحد سنگی شامل رسوبات آهکی درشت‌بلور با میان‌لایه‌های سیلتی در کمربین کانه‌زانی می‌باشد (شکل ۳). دومین عضو این واحد، رسوبات آهک ماسه‌ای درشت‌بلور همراه با قطعات تخریبی کوآرتز



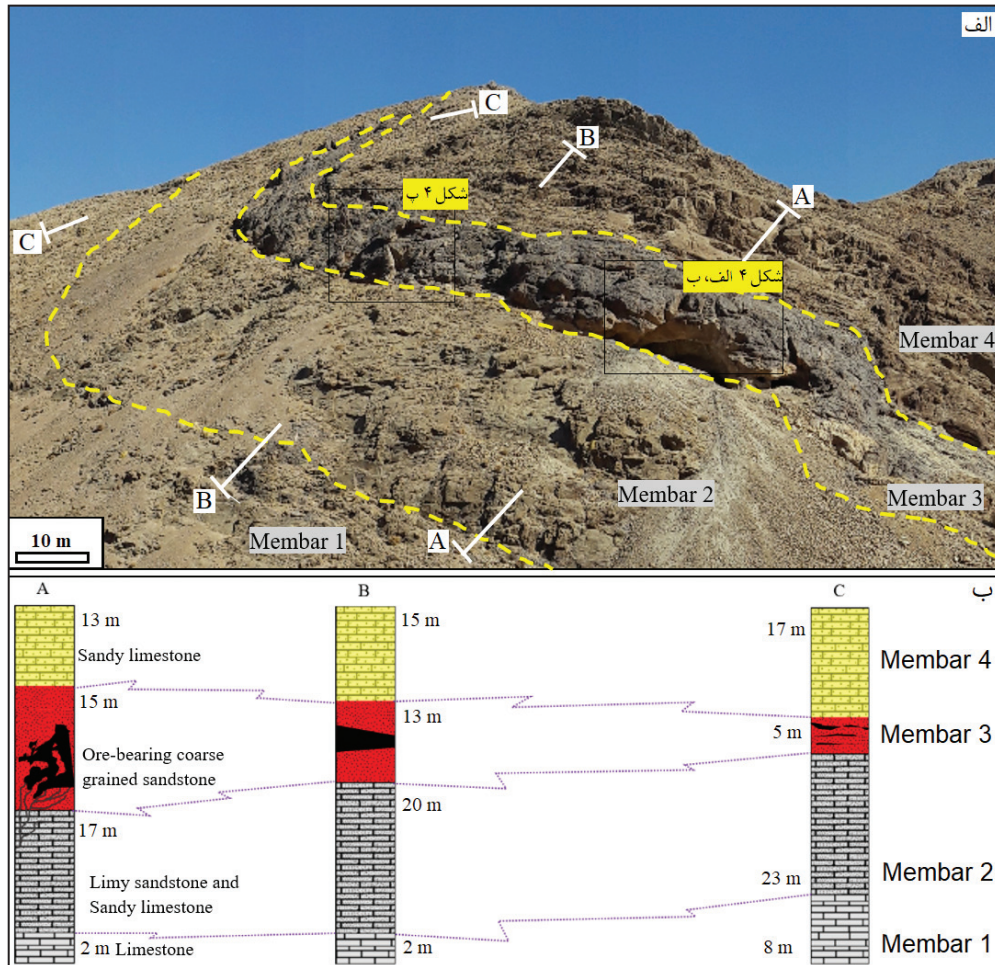
شکل ۲- الف) نقشه زمین‌شناسی کانسار یزدان؛ ب) مقطع زمین‌شناسی شمال باختری-جنوب خاوری کانسار یزدان؛ پ) ستون چینه‌شناسی عمومی کرتاسه زیرین در منطقه مورد مطالعه؛ ت) ستون چینه‌شناسی کانسار یزدان (واحدهای سنگی نقشه و مقطع زمین‌شناسی با عنوان عضو یک تا چهار معرفی شده‌اند که در ستون چینه‌شناسی (شکل ت) هر یک توصیف گردیده است).

### ۲- روش پژوهش

در این پژوهش جهت تهیه نقشه زمین‌شناسی، بررسی ویژگی‌های سنگ میزبان کانه‌زانی و تعیین جایگاه افق کانه‌زانی، ۴ مقطع زمین‌شناسی عمود بر روند لایه‌بندی توالی رسوبی از کمربین افق کانه‌دار تا کمربالای افق کانه‌دار و همچنین پیمایش‌های گسترده در طول و روند کانه‌زایی صورت پذیرفته است. همراه با این پیمایش‌ها، بیش از ۶۰ نمونه از سنگ‌های توالی کمربین، افق میزبان کانه‌زانی و کمربالای افق معدنی برداشت گردیده است. از این تعداد، ۲۲ نمونه از ۹ ایستگاه از پیش تعیین شده به منظور مطالعات زمین‌شیمیایی (۴ نمونه ICP-MS از رخساره‌های کانسنگی و ۵ نمونه ICP-OES نمونه از توالی‌های کمربالا و کمربین افق میزبان کانه‌زانی)، تعداد ۲۵ نمونه جهت تهیه مقاطع نازک و نازک-صیقلی به منظور بررسی‌های سنگ‌شناسی، دگرسانی و کانی‌شناسی، تعداد ۵ نمونه جهت تهیه مقاطع دوبر صیقل به منظور مطالعه میانبارهای سیال و تعداد ۳ نمونه جهت آنالیز XRD به منظور شناسایی کانی‌های اکسیدی و کربناتی انتخاب گردیده است. در ادامه، نمونه‌های برداشت شده برای مطالعات زمین‌شیمیایی، پس از آماده‌سازی و خردایش در آزمایشگاه‌های بخش زمین‌شناسی دانشگاه تربیت مدرس، به مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران ارسال گردید. سایر مطالعات و آزمایش‌های انجام شده شامل تهیه و مطالعه

نمایش دهنده ویژگی‌های محیط تشکیل آن می‌باشد به طوری که بر مبنای جنس و بافت و ساخت رسوبات می‌توان محیط رسوبگذاری آن را مطالعه و تفسیر نمود (حرمی و محبوبی، ۱۳۸۲). بر این مبنای و با توجه به این که ذرات اصلی تشکیل دهنده رخساره رسوبی ماسه‌سنگی میزبان افق معدنی در منطقه مورد مطالعات را قطعات آواری کوارتز دانه‌ریز تا دانه متوسط با جورشدگی در حد متوسط تا خوب تشکیل داده‌اند و از نظر بافتی، بالغ (Mature) بوده و همچنین از نفوذپذیری و تخلخل بالایی برخوردار می‌باشد، به نظر می‌رسد این توالی رسوبی در بخش لاگون نزدیک به ساحل تشکیل شده است.

(کمتر از ۲۵ درصد) تا ماسه‌سنگ آهکی می‌باشد که بخش کوچکی از کانه‌زایی به صورت رگه-رگچه‌ای در بخش بالایی این عضو سنگی جای دارد (شکل ۳). سومین عضو که میزبان اصلی کانه‌زایی می‌باشد، ماسه‌سنگ ساب‌لیت-آرنایتی با ضخامت متغیر ۵-۱۸ متر می‌باشد (به سمت شمال خاوری ضخامت افق میزبان کانه‌دار کاهش می‌یابد) که سطح هوازده سرخ تا سیاه رنگ آن در صحرا از شاخصه‌های شناسایی آن می‌باشد (شکل ۳). چهارمین عضو، آهک ماسه‌ای درشت‌بلور با قطعات تخریبی کوارتز (حدود ۱۰ درصد) است (شکل ۳). رخساره‌های سنگی یک واحد رسوبی،



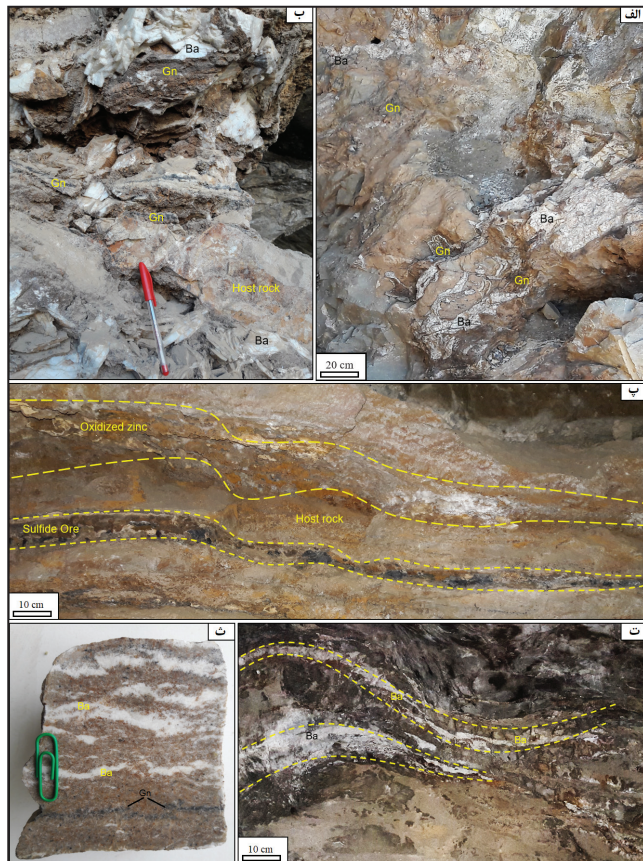
شکل ۳- الف) نمایی از عضوهای واحد Kls و ژئومتری صفحه‌ای شکل افق ماده معدنی در عضو سوم واحد Kls که همراه با سنگ میزبان خود چین خورده است (دید به سمت شمال شرق). حروف A، B و C به ترتیب محل مقاطع زمین‌شناسی را نشان می‌دهند؛ ب) ستون چینه‌ای مقاطع زمین‌شناسی A، B، C همراه با جایگاه افق معدنی در این توالی‌ها. محل مقاطع در شکل الف مشخص شده است.

### ۵- دگرسانی و رخساره‌های کانسنگی سولفیدی

دگرسانی‌های سیلیسی و دولومیتی بیشترین شدت و گسترش را در بخش رگه-رگچه‌ای (شکل ۴-الف) و کمترین شدت را در بخش لایه‌ای-نواری از خود نشان می‌دهند (شکل ۴-ب). سیلیسی شدن در کانسار یزدان به صورت جانشینی کوارتزهای درشت‌بلور به جای دولومیت‌های دیاژنتیکی سنگ‌میزبان (شکل‌های ۵-الف و ب) و به همراه فاز اصلی کانه‌زایی سولفیدی تشکیل گردیده‌اند (شکل ۵-پ). دولومیتی شدن به دو صورت در منطقه مورد مطالعه قابل مشاهده می‌باشد: الف) دولومیت دیاژنتیکی که در طی دیاژنز رسوبات آهکی تشکیل شده است که در این فرایند، میکرایت‌های آهک‌های اولیه به دولومیت‌های ریزبلور و

مطالعه نمونه‌های برداشت‌شده از مقاطع زمین‌شناسی عمود بر روند لایه‌بندی و افق معدنی (شکل ۳)، داده‌های فراوانی از شدت و گسترش دگرسانی، کانه‌زایی و انواع رخساره‌های کانسنگی سولفیدی و منطقه‌بندی عنصری در اختیار قرار داده است. بر این مبنای، شاهد دگرسانی‌های دولومیتی و سیلیسی همراه با کانه‌زایی سولفیدی به صورت رگه-رگچه‌ای، توده‌ای و لایه‌ای در قسمت جنوب‌باختری کانسار یزدان می‌باشیم (شکل‌های ۴-الف، ب و پ) که به سمت خاور کانسار، ضمن کاهش ستبرای، به شکل چینه‌سان و همروند با لایه‌بندی سنگ میزبان مشاهده می‌شوند (شکل‌های ۴-ت و ث).





شکل ۴- الف) رخساره کانسنگ رگه-رگچه‌ای به شکل شبکه‌ای مترکم و قطع‌کننده لایه‌بندی سنگ میزبان؛ ب) رخساره کانسنگ توده‌ای (باریت و سولفید درشت بلور)؛ پ) رخساره کانسنگ لایه‌ای (در بخش ابتدای تونل شماره ۲ شامل کانی‌های سولفیدی (غالباً گالن) کانی‌های ثانویه روی (همی مورفیت و اسمیت زونیت) و هیدرواکسیدهای آهن؛ ت) رخساره کانسنگ لایه‌ای باریت (در بخش انتهایی تونل شماره ۲ که همراه با سنگ میزبان خود چین خورده است؛ ث) نمونه دستی از رخساره کانسنگ لایه‌ای و نواری باریت همراه با کانی‌های سولفیدی دانه‌ریز و دانه پراکنده در بخش دور از کانسنگ توده‌ای (Ba: باریت و Gn: گالن).

## ۶- توالی پاراژنتیک و مراحل کانه‌زایی

بر اساس مطالعات رخنمون‌های صحرایی، نمونه‌های دستی، مشاهدات میکروسکوپی، ساخت و بافت‌های کانسنگی و روابط جانشینی بین کانی‌ها می‌توان نسل‌های مختلف کانیایی را از یکدیگر تفکیک نمود. بر این اساس، کانی‌های باریت، پیریت، گالن و اسفالریت موجود در کانسار یزدان در دو مرحله و یا دو نسل تشکیل گردیده‌اند. کانی‌های نسل اول (I)، همگی ریزبلور بوده و به صورت دانه پراکنده در رخساره کانسنگ لایه‌ای قابل مشاهده هستند در حالی که کانی‌های نسل دوم (II)، دانه درشت بوده و در رخساره کانسنگ رگه-رگچه‌ای و توده‌ای به صورت برشی، جانشینی و توده‌ای دیده می‌شوند. کانه‌زایی در کانسار یزدان می‌توان به سه مرحله شامل: کانه‌زایی مرحله ۱، کانه‌زایی مرحله ۲ و مرحله پس از کانه‌زایی (سوپرژن) تقسیم نمود (شکل ۶).  
**(۱) کانه‌زایی مرحله یک:** با شروع رسوب‌گذاری و آغاز دیاژنز، کانی‌های گالن، پیریت، اسفالریت و باریت نسل اول به صورت ریز بلور و دانه پراکنده در زمینه قطعات آواری سنگ میزبان تشکیل شده‌اند (شکل‌های ۵- ح و خ). لازم به ذکر است دولومیت‌های ریزبلور و بی‌شکل نسل اول (دولومیت‌های دیاژنتیک) در همین مرحله تشکیل گردیده‌اند.

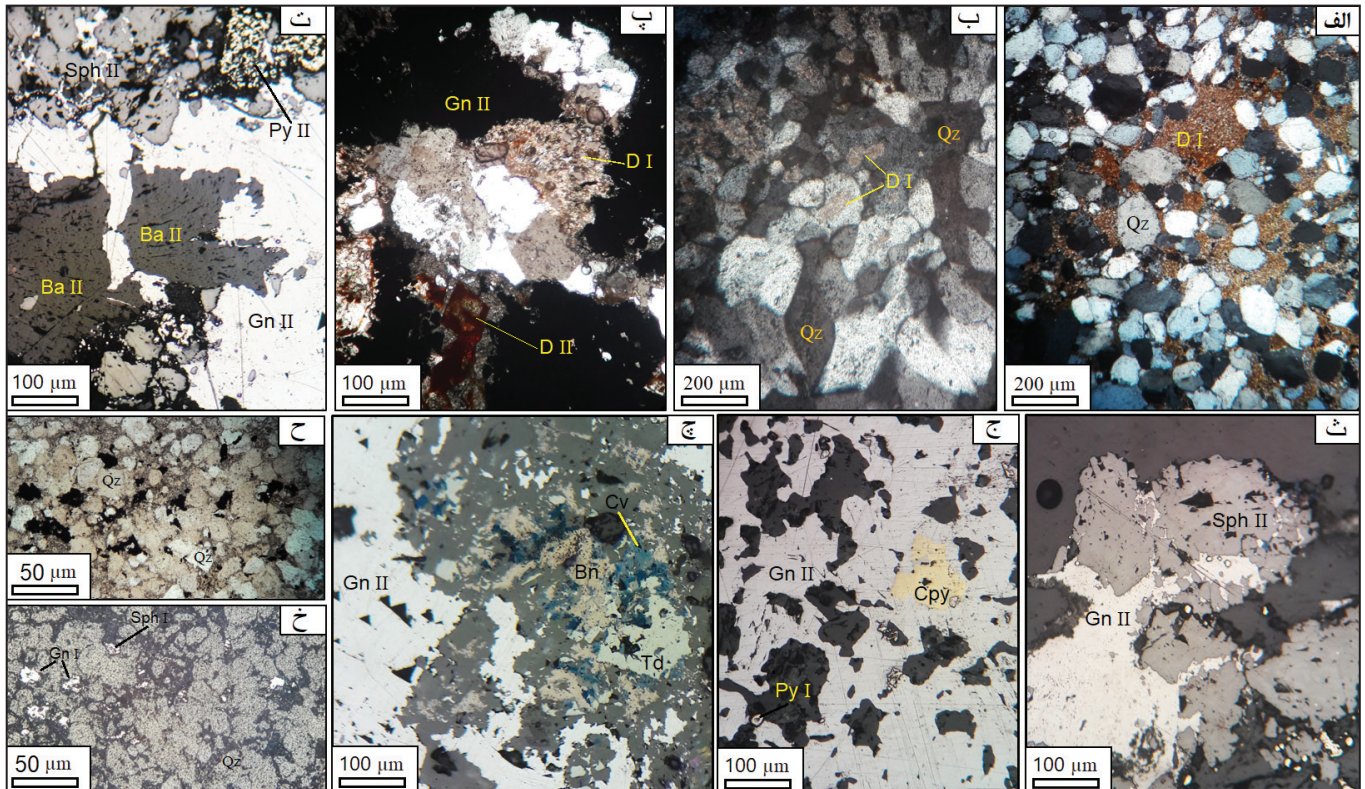
بی‌شکل تبدیل شده‌اند (شکل ۵- الف) و سبب افزایش تخلخل و نفوذپذیری در سنگ میزبان کانه‌زایی شده و بستر خوبی را برای ادامه جریان سیال‌های کانه‌دار فراهم کرده است. ب) دولومیت‌های مرتبط با کانه‌زایی یا دولومیت‌های گرمایی که حاصل تأثیر سیال‌های کانه‌دار گرم هستند و اندازه بلورهای درشت‌تر و خود شکلتی دارند (شکل ۵- پ). دولومیتی شدن گرمایی معمولاً در ژرفای کم و توسط سیال‌های بادما و فشار بیشتر از سنگ میزبان تشکیل می‌شوند (Kelley et al., 2004a). سیال‌های گرمایی گرم ژرف اگر دارای عنصر منیزیم باشند، می‌توانند به محض ورود به آهک‌ها در بخش‌های کم ژرفا تر و سردتر دولومیت ایجاد و نهشته کنند (Kelley et al., 2004b). اگر این سیال‌ها دارای عناصر فلزات پایه باشند، می‌توانند سامانه کانه‌زایی با میزبان کربناته ایجاد کنند (Lee and Wilkinson, 2002; Wilkinson et al., 2003; Kelley et al., 2004b). با توجه به ارتباط کانه‌زایی سولفیدی با سنگ میزبان کانه‌زایی، ساخت و بافت و دوری و نزدیکی آنها نسبت به زون رگه-رگچه‌ای، می‌توان سه نوع رخساره کانسنگی سولفیدی در کانسار یزدان از یکدیگر تفکیک نمود. رخساره‌های کانسنگی سه گانه در کانسار یزدان عبارتند از: الف) رخساره رگه - رگچه‌ای (Stringer facies)، ب) رخساره کانسنگ توده‌ای (Massive ore facies) و پ) رخساره کانسنگ لایه‌ای (Bedded ore facies).

الف) رخساره کانسنگ رگه-رگچه‌ای در بخش باختری کانسار یزدان به صورت شبکه‌ای از رگه-رگچه‌های نامنظم باریتی-سولفیدی دیده می‌شود که لایه‌بندی سنگ میزبان را در جهات مختلف قطع کرده‌اند (شکل ۴- الف) از لحاظ موقعیت مکانی، این رخساره کانسنگی با گسترش محدود در زیر رخساره کانسنگ توده‌ای قرار داشته و رخساره کانسنگی توده‌ای را تغذیه می‌کند (شکل ۴- ب). عمده‌ترین ساخت و بافت‌های مشاهده شده در این رخساره عبارت از بافت رگه-رگچه‌ای، جانشینی و برشی. بافت رگه-رگچه‌ای مهم‌ترین بافت مشاهده شده در این رخساره می‌باشد که مشخصه رخساره تغذیه‌کننده است (Goodfellow and Lydon, 2007). این رگه-رگچه‌ها به صورت نامنظم در واحدهای ماسه سنگی تا ماسه آهکی مشاهده می‌شوند و بخشی از ذخیره این کانسار را تشکیل می‌دهند (شکل ۳- الف). بافت برشی گسترش کمتری نسبت به بافت رگه-رگچه‌ای دارد و در آن قطعات سنگ میزبان در زمینه‌ای از سولفید و باریت مشاهده می‌شود (شکل ۴- ب). بافت جانشینی به صورت جانشینی گالن به جای سیمان دولومیتی، پیریت، کالکوپیریت و باریت مشاهده می‌شود (شکل ۵- پ)، همچنین، در این رخساره جانشینی اسفالریت به جای گالن به وضوح قابل مشاهده است (شکل‌های ۵- ت، ث و ج).

ب) رخساره کانسنگ توده‌ای در سمت باختری کانسار و در بالای زون تغذیه‌کننده قرار دارد (شکل ۴- پ). این رخساره، بخش ستبر و عیار بالای (ستبرای ۷ متر و با عیار نزدیک به ۸۰ درصد کانسنگ) کانسار را تشکیل می‌دهد. این رخساره، در نزدیکی زون تغذیه‌کننده ترکیبی از بافت توده‌ای، جانشینی و برشی داشته و با فاصله گرفتن از این بخش، رخساره کانسنگ توده‌ای، ماهیت چینه‌کران به خود می‌گیرد (شکل‌های ۵- ب، پ). ساخت و بافت اصلی ماده معدنی در این رخساره، بافت توده‌ای می‌باشد که به صورت سولفیدهای درشت بلور در زمینه‌ای از باریت‌های توده‌ای دیده می‌شوند (شکل‌های ۴- ب و ۵- ج).

پ) رخساره کانسنگ لایه‌ای هم‌روند با لایه‌بندی (چینه‌سان) بوده و از بخش توده‌ای به سمت خاور کانسار، دارای گسترش است (شکل‌های ۳ و ۴- ت). این رخساره دارای طول بسیار بیشتری نسبت به ستبرای آن است به طوری که طول آن نزدیک به ۵۰۰ متر و ستبرای آن بین ۱-۸ متر می‌باشد (شکل ۳- ب). این رخساره شامل تناوبی از لایه‌های و نواری متعدد سولفیدی-باریتی می‌باشد که توسط لایه‌های از جنس سنگ میزبان و باریت از هم جدا شده‌اند (شکل‌های ۴- پ، ت و ث). ستبرای این رخساره کانسنگی به سمت خاور کاهش می‌یابد. این کاهش ستبرای کانسنگ لایه‌ای به دلیل کاهش میزان ترکیبات گرمایی سولفیدی است (Large et al., 2007) و سولفیدها غالباً به صورت نواری-جانشینی و دانه پراکنده تشکیل شده‌اند (شکل‌های ۴- ث و ۵- ح و خ).





شکل ۵- الف) دولومیت دیاژنتیک و قطعات آواری کوارتز سنگ میزبان؛ ب) دگرسانی سیلیسی در رخساره کانسنگ تغذیه کننده (بقایای از دولومیت‌های دیاژنتیک در داخل کوارتزهای گرمایی قابل مشاهده است)؛ ت) دولومیت‌های درشت گرمایی همراه با کانی سولفیدی (گالن) که به صورت جانشینی به جای دولومیت‌های ریزبلور نسل اول قرار گرفته‌اند؛ ث) جانشینی گالن به جای باریت و همچنین جانشینی اسفالریت (نسل دوم) به جای باریت و گالن (نسل دوم)؛ ج) جانشینی اسفالریت به جای گالن؛ ح) بقایای از کالکوپیریت و پیریت ریز بلور (نسل اول) در داخل گالن درشت بلور؛ چ) بقایای کانی تتراندريت در بلور درشت گالن نسل دوم و جانشینی کانی‌های ثانویه مس (کولیت و بورنیت) در داخل تتراندريت؛ خ) بافت‌های دانه پراکنده گالن و اسفالریت‌های نسل اول در بین قطعات کوارتز آواری (D: دولومیت، Cpy: کالکوپیریت، Sph: اسفالریت، Ba: باریت، Gn: گالن، Tet: تتراندريت، Cv: کولیت، Bn: بورنیت، Qz: کوارتز، I: نسل یک، II: نسل دو).

Minerals	Stage	Mineralization		Post-Mineralization Weathering/Supergene
		Mineralization Stage I	Mineralization stage II	
Dolomite (I)	Bedded ore facies	—		
Pyrite (I)		—		
Barite (I)		—		
Galena (I)		—		
Sphalerite (I)		—		
Dolomite (II)	Massive-replacement and feeder zone		—	
Quartz II			—	
Pyrite (II)			—	
Barite (II)			—	
Chalcopyrite			—	
Tetraedrite			—	
Galena (II)		—		
Sphalerite (II)		—		
Covellite/ Malachite/Bornite				—
Cerussite				—
Hemimorphite/ Smithsonite				—
Goethite/ Hematite				—
Textures	Dissiminated	—	—	—
	Laminated	—	—	—
	Replacement	—	—	—
	Breccia	—	—	—
	Veinlet	—	—	—
Alteration	Open space filling	—	—	—
	Dolomitization	—	—	—
	Silicification	—	—	—

شکل ۶- توالی پاراژنتیک کانسار یزدان.

افق کانه‌زائی تا کمربالای افق کانه‌زائی و همچنین به‌صورت جانبی (رخساره‌های کانسنگی رگه-رگچه‌ای، توده‌ای و لایه‌ای) بررسی و تحلیل گردد. میزان تغییرات فلزات پایه به همراه سایر عناصر در جدول ۱ نشان داده شده است. همانطور که در جدول ۱ نشان داده شده است تغییرات عناصر فلزات پایه از کمربالای به سمت رخساره‌های کانسنگی افزایش یافته است که با رخداد کانه‌زائی و فعالیت‌های گرمایی در افق‌های کانه‌دار هماهنگ می‌باشد. نکته‌ای که در مقایسه تغییرات عناصر به خوبی قابل مشاهده است، همبستگی‌های مثبت و منفی بین برخی از عناصر می‌باشد. عناصر مس، روی، سرب و آهن با هم همبستگی مثبت و استرانسیم، تیتانیم، کروم و منگنز نسبت به عناصر پایه همبستگی منفی نشان می‌دهند (جدول ۱). این همبستگی به شرایط pH و Eh محیط بستگی دارد به این صورت که استرانسیم، تیتانیم، کروم و منگنز در شرایط اکسیدی ته نشست پیدا می‌کنند (Tribovillard et al., 2006)، ولی مس، روی، سرب و آهن در شرایط فوگاسته پایین اکسیژن (احیایی) ته نشست می‌کنند (Tribovillard et al., 2006) و در نتیجه با هم همبستگی مثبت نشان می‌دهند. بررسی‌های صورت گرفته بر روی نمونه‌های تجزیه شده به روش ICP-MS نشان دهنده تغییر عیار عناصر در کانسار از سمت رخساره رگه-رگچه‌ای به سمت رخساره لایه‌ای در حاشیه کانسار می‌باشد (شکل ۷). میزان مس در رخساره رگه-رگچه‌ای بیشترین میزان را نشان می‌دهد و هرچه از این رخساره دورتر می‌شویم، میزان آن کاسته می‌شود. باریت و استرانسیم بیشترین فراوانی را نسبت به سایر عناصر در بخش لایه‌ای دور از زون تغذیه‌کننده و پس از آن در رخساره رگه-رگچه‌ای نشان می‌دهند (شکل ۷).

**۲) کانه‌زایی مرحله دوم:** در آغاز مرحله دوم کانه‌زایی، دولومیت نسل دوم (دولومیت‌های گرمایی)، پیریت نسل دوم، کوارتز گرمایی، کانی‌های مس‌دار (کالکوپیریت و تراندریت) و باریت نسل دوم تشکیل شده‌اند و متعاقب آن، گالن‌جانشین آنها گردیده است (شکل‌های ۵- پ، ت، ث، ج و چ). اسفالریت، فراوان‌ترین کانی سولفیدی تشکیل شده در این مرحله می‌باشد که غالباً به صورت جانشینی گالن مشاهده می‌شود (شکل‌های ۵- ت و ث).

**۳) مرحله سوپوزن:** گسترش زون غیرسولفیدی کانسار یزدان محدود به سطح رخنمون یافته می‌باشد. در این مرحله کانی‌های سولفیدی به کانی‌های ثانویه روی، مس و سرب تبدیل گردیده‌اند. در نمونه دستی واقع در بخش باریت توده‌ای، کانی اسمیت-زونیت و همی مورفیت به همراه سروزیت حضور دارد (شکل ۴- پ). در نمونه‌های دستی و ترانسه‌های استخراجی بخش رگه-رگچه‌ای و برشی به مقدار اندک مالاکیت، کولیت و بونیت مشاهده می‌گردد.

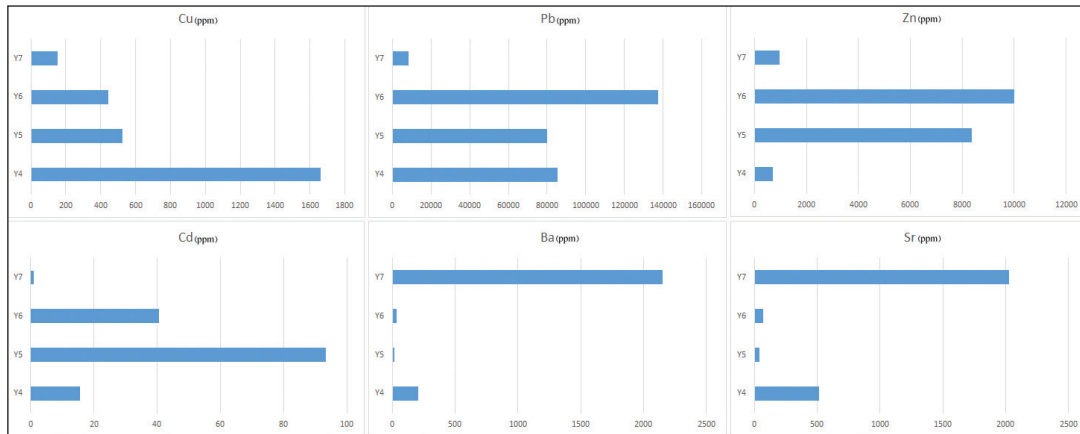
### ۷- بررسی زمین‌شیمی عناصر اصلی، فرعی و کمیاب در کانسار یزدان

مطالعات شیمی چینه‌شناسی اهمیت زیادی در مطالعات نهشته‌های موجود در توالی‌های رسوبی دارد. در این مطالعات، تغییرات زمین‌شیمی عناصر اصلی و کمیاب در مقاطع زمین‌شناسی بررسی می‌شود. در همین راستا، در مجموع ۲۲ نمونه از توالی‌های رسوبی کمربالای (۶ نمونه)، افق معدنی (۱۲ نمونه) و کمربالای افق معدنی (۴ نمونه) جهت مطالعات ICP/MS-OES برداشت گردید. نمونه‌برداری‌های انجام شده این امکان را فراهم می‌کند که منطقه‌بندی شیمیایی قائم از کمربالای

جدول ۱- نتایج آنالیز عنصری به روش ICP-OES از کمربالای (Y1، Y2، Y3) و کمربالای (Y8، Y9) افق معدنی و ICP-MS از افق معدنی (رخساره‌های کانسنگی رگه-رگچه، توده‌ای، لایه‌ای نزدیک به کانسنگ توده‌ای و لایه‌ای دور از کانسنگ توده‌ای به ترتیب (Y4، Y5، Y6، Y7) کانسار یزدان. (بجز عناصر Al، Ca، Fe، K، Na و گوگرد که بر حسب درصد می‌باشد، مقادیر بقیه عناصر بر حسب ppm می‌باشد).

		Ag	Al	As	Be	Bi	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cu	Fe	K	La	Mg
		Y9	Y8	Y7	Y6	Y5	Y4	Y3	Y2	Y1						
Sandy limestone	Y9	6	0.62	20>	1>	20>	2.38	0.66	10>	10>	12	37	0.48	0.15	10>	0.1>
	Y8	19	0.98	20>	1>	20>	0.4	91	10>	10	12	120	0.97	0.48	10>	0.18
	Y7	1.86	0.36	21.5	0.1>	1>	2.58	0.9	1>	1>	6.68	154.49	0.14	1>	1>	0.1>
	Y6	8.53	0.1>	8.7	0.1>	1>	0.1>	40.6	1>	1>	7.16	443.98	0.066	1>	1>	0.1>
	Y5	5	0.1>	48.9	0.1>	1>	0.15	93.3	1>	1>	7.11	525.33	1.31	1>	1>	0.1>
	Y4	3.04	0.1>	7.98	0.1>	1>	8.2	15.5	1>	1>	6.13	1662.05	0.99	1>	1>	0.1>
	Y3	7	0.63	20>	1>	20>	0.37	16	10>	10>	11	42	0.34	0.22	10>	0.1>
	Y2	2	0.81	875	1>	20>	0.57	8	10>	10>	12	49	0.45	0.32	10>	0.1>
	Y1	0.66	0.3	20>	1>	20>	37.77	19	10>	10>	6.6	42	0.33	0.19	10>	0.46
			Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	S	Sb	Sc	Sr	Ti	V	Y	Zn
Sandy limestone	Y9	37	2>	0.1>	10>	0.09	2245	0.12	30	10>	600	0.05	11	18	547	-
	Y8	763	2>	0.1>	14	0.03	6242	0.1>	154	10>	59	0.05	11	17	10000	-
	Y7	17.3	1>	0.1>	5.95	0.02	8449.18	0.14	30.04	1>	2029.34	0.04	6.99	1>	976.42	2151
	Y6	6.6	1>	0.1>	7.08	0.01>	80000	0.43	950.7	1>	67.07	0.03	3.96	0.6	10000	36.3
	Y5	38.9	1>	0.14	9.01	0.01>	80048.6	2.92	161.5	1>	59	0.02	10>	0.6	8358.44	17.7
	Y4	99.6	1>	0.1>	6.07	0.02	85320.4	0.36	269.8	1>	513.93	0.03	5.57	6.6	710.16	203.1
	Y3	35	2>	0.1>	10>	0.02	10000	0.41	81	10>	83	0.05	10>	14	3384	-
	Y2	103	2>	0.15	10	0.03	5514	0.23	45	10>	602	0.05	6	15	1893	-
	Y1	97	2>	0.15	10>	0.01>	1025	0.12	10>	10>	244	0.03	10>	19	306	-





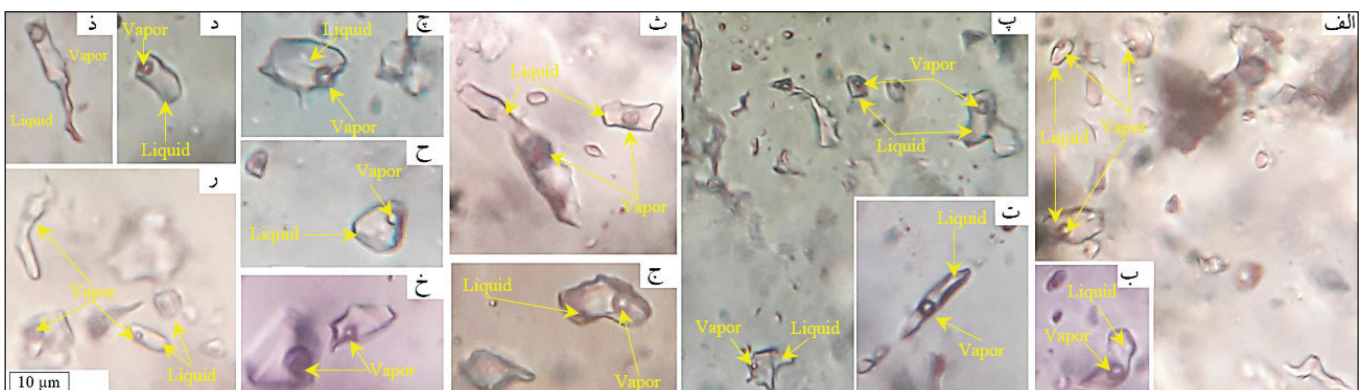
شکل ۷- تغییرات عیار عناصر پایه و عناصر Cd، Ba، Sr در رخساره‌های کانسنگ، رگه-رگچه‌ای (Y4)، توده‌ای (Y5)، لایه‌ای نزدیک به رخساره توده‌ای (Y6) و لایه‌ای دور از رخساره کانسنگ توده‌ای (Y7) در کانسار یزدان.

و لایه‌ای (دو نمونه) به روش استاندارد (Shepherd et al., 1985) تهیه و مورد بررسی‌های پتروگرافی قرار گرفت. مطالعات میکروترموتری در آزمایشگاه زمین‌شناسی اقتصادی دانشگاه تربیت مدرس توسط سیستم لینکام (Linkam) مجهز به دو کنترل گر گرمایش (TP94) و سرمایش (LNP)، با دامنه حرارتی ۱۰۰- تا ۶۰۰+ درجه سانتی‌گراد که بر روی میکروسکوپ ZEISS نصب شده است، انجام گردید. میانبرهای سیال مورد مطالعه بر اساس زمان تشکیل (Roedder and Bodnar, 1980) در رده میانبرهای سیال اولیه و در تقسیم بندی (Shepherd et al., 1985) در تیپ دو (دو فازی غنی از مایع L+V) قرار می‌گیرند. این میانبرها دارای شکل‌های کروی، بیضوی تا بی‌شکل با ابعاد ۵ تا ۱۶ میکرون می‌باشند که در طی اندازه‌گیری‌های ریز دما سنجی، به فاز مایع همگن شدند (شکل ۸). مطالعه میانبرهای سیال رخساره رگه-رگچه‌ای بر روی کانی‌های کوارتز و باریت، رخساره کانسنگ توده‌ای بر روی کانی‌های اسفالریت، باریت و کوارتز و در رخساره لایه‌ای بر روی کانی‌های باریت انجام گردید. نتایج حاصل از مطالعات ریز دما سنجی میان بارهای سیال شامل فراوانی، اندازه میانبر سیال، دمای ذوب آخرین بلور یخ، شوری و دمای همگن شدن میانبرهای سیال به صورت حد اقل، حداکثر و همچنین میانگین آنها در کانی‌های مختلف رخساره‌های یادشده در جدول ۲ نشان داده شده است.

بیشترین مقدار سرب به ترتیب در رخساره لایه‌ای نزدیک به بخش توده‌ای، رخساره توده‌ای و زون رگه-رگچه می‌باشد (شکل ۷). روی با اختلاف زیادی نسبت به سایر رخساره‌های کانسنگی، کمترین میزان را در زون رگه-رگچه‌ای و بیشترین میزان را در زون لایه‌ای نزدیک به رخساره توده‌ای نشان می‌دهد (شکل ۷). کادمیوم در رخساره لایه‌ای بخش نزدیک به رخساره توده‌ای و رخساره توده‌ای بیشترین میزان را نشان می‌دهند (شکل ۷). افزایش بالای باریت و همچنین استرانسیم به دنبال پیروی از میزان باریت در رخساره لایه‌ای نشان‌دهنده بالا بودن فوگاسیته اکسیژن در بخش حاشیه‌ای کانسار می‌باشد (شکل ۷) (Large et al., 2007). لازم به ذکر است، افزایش مقادیر هر یک از عناصر در بخش‌های مختلف رخساره‌های کانسنگی نشان از افزایش تمرکز کانی‌هایی می‌باشد که از آن عناصر تشکیل شده است. به‌طور مثال، افزایش مقادیر بالای مس در رخساره رگه-رگچه‌ای نشان‌دهنده بالا بودن مقدار کالکوپریت در آن رخساره است.

### ۸- مطالعه میکروترموتری میانبرهای سیال

به منظور آنالیز میکروترموتری میانبرهای سیال کانسار یزدان، تعداد ۵ مقطع دوبرصیقلی از رخساره کانسنگ تغذیه کننده (یک نمونه)، توده‌ای (دو نمونه)



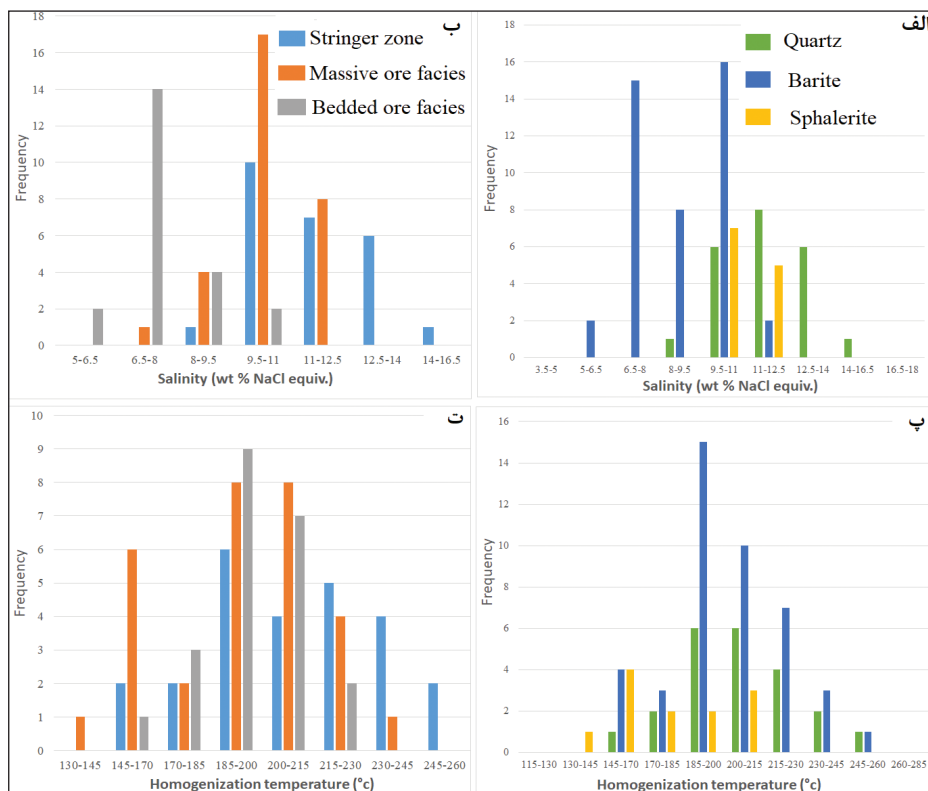
شکل ۸- الف و ب) میانبرهای سیال کانی کوارتز در رخساره تغذیه کننده؛ پ و ت) میانبرهای سیال کانی باریت در رخساره تغذیه کننده؛ ث) میانبرهای سیال کانی کوارتز در رخساره توده‌ای؛ ج و ح) میانبرهای سیال کانی اسفالریت در رخساره توده‌ای؛ ح و خ) میانبرهای سیال کانی باریت در رخساره توده‌ای؛ د، ذ و ر) میانبرهای سیال کانی باریت در رخساره لایه‌ای.

جدول ۲- داده‌های ریزدماسنجی میانبارهای سیال کانی‌های اسفالریت، باریت و کوارتز از بخش‌های مختلف کانسار یزدان.

Ore Facies	Mineral	Frequency	Size			Tm-ice (°C)			wt%NaCl			Th l-v(°C)		
			Min	Ave	Max	Min	Ave	Max	Min	Ave	Max	Min	Ave	Max
Feeder Zone	Quartz	14	7	9	12	-10.6	-8.5	-6.8	10.2	12.2	14.6	176	207.5	255
	Barite	11	7	9.8	13	-7.8	-6.8	-6	9.2	10	11.5	167	207.8	248
Massive Ore	Quartz	8	7	10.7	16	-8	-6.1	-5.7	7	9.4	10.5	153	202	223
	Sphalerite	12	6	9.1	12	-8.1	-7.2	-6.2	9.5	10.7	11.8	136	177	213
	Barite	10	8	10.3	15	-7	-7	-5.7	8.8	10.5	11.7	163	194	230
Banded Ore	Barite	22	5	8.4	13	-10.7	-5.2	-3.8	6	7.7	9.6	169	190	220
Average			9.5			-6.57			9.5			196.7		

توده‌ای نیز دمای همگن شدن بین ۱۶۳ تا ۲۳۰ با میانگین ۱۹۴ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. دمای آخرین ذوب یخ نیز بین ۵/۷- تا ۸-، ۶/۲- تا ۸/۱- و ۵/۷- تا ۷- به ترتیب برای کانی‌های کوارتز، اسفالریت و باریت متغیر می‌باشد که بر این اساس، میانگین شوری در کانی کوارتز، اسفالریت و باریت به ترتیب ۹/۴، ۱۰/۷ و ۱۰/۵ درصد وزنی نمک طعام محاسبه شده است (جدول ۲). دمای همگن شدن در کانی باریت موجود در رخساره لایه‌ای بین ۱۶۹ تا ۲۲۰ با میانگین ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. دمای آخرین ذوب یخ نیز بین ۳/۸- تا ۱۰/۷- برای کانی باریت متغیر بوده که بر این اساس، میانگین شوری در کانی باریت ۷/۷ درصد وزنی نمک طعام می‌باشد. در مجموع، میانبارهای سیال مطالعه شده در کانسار یزدان دارای دمای همگن شدن بین ۱۵۳-۲۵۵ درجه سانتی‌گراد (به‌طور میانگین ۱۹۶ درجه سانتی‌گراد) و میزان شوری ۶/۶ تا ۱۴ درصد وزنی نمک طعام (به‌طور میانگین ۹/۵ درصد وزنی نمک طعام) می‌باشند (جدول ۲).

همانطور که در جدول ۲ و شکل ۹ مشاهده می‌شود، شاهد کاهش دمای همگن شدن و کاهش شوری میانبارهای سیال از رخساره رگه-رگچه‌ای به سمت رخساره توده‌ای و لایه‌ای هستیم. دمای همگن شدن در کانی کوارتز موجود در رخساره رگه-رگچه‌ای بین ۱۷۶ تا ۲۵۵ با میانگین ۲۰۷/۵ درجه سانتی‌گراد بوده و در کانی باریت موجود در رخساره رگه-رگچه‌ای این دما بین ۱۶۷ تا ۲۴۸ با میانگین ۲۰۷/۸ درجه سانتی‌گراد محاسبه شده است. دمای آخرین ذوب یخ نیز بین ۶/۸- تا ۱۰/۶- و ۶- تا ۷/۸- به ترتیب برای کانی‌های کوارتز و باریت متغیر می‌باشد که بر این اساس، میانگین شوری در کانی کوارتز ۱۲/۲ و در کانی باریت ۱۰ درصد وزنی نمک طعام می‌باشد (جدول ۲). دمای همگن شدن در کانی کوارتز موجود در رخساره توده‌ای بین ۱۵۳ تا ۲۲۳ با میانگین ۲۰۲ درجه سانتی‌گراد بوده است. در کانی اسفالریت موجود در رخساره توده‌ای، دمای همگن شدن بین ۱۳۶ تا ۲۱۳ با میانگین ۱۷۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. در کانی باریت موجود در رخساره



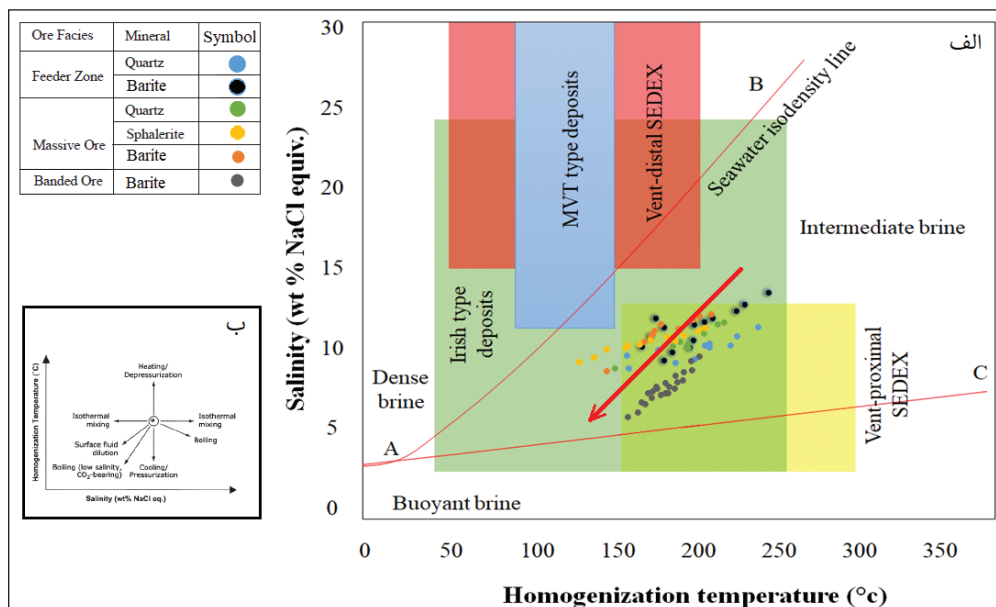
شکل ۹- الف) تغییرات شوری میانبارهای سیال اندازه‌گیری شده بر اساس کانی‌های مختلف؛ ب) تغییرات شوری میانبارهای سیال اندازه‌گیری شده بر اساس رخساره‌های مختلف؛ پ) تغییرات دمای همگن شدن بر اساس کانی‌های مختلف؛ ت) تغییرات دمای همگن شدن بر اساس رخساره‌های مختلف.



۹- بحث

که به صورت جانشینی زیر سطحی ایجاد شده‌اند (Wilkinson, 2014). از ذخایر نوع MVT در ایران می‌توان به کانسار دره زنجیر (مغفوری و همکاران، ۱۳۹۵)، نوع Irish کانسار کوه کلنگه (پیرنجم‌الدین و همکاران، ۱۳۹۷) و نوع سدکس می‌توان به کانسار آب‌باغ (موحدنیا و همکاران، ۱۳۹۶) اشاره کرد. با توجه به اینکه سنگ میزبان کانسار یزدان ماسه‌سنگ لیت-آرنایتی و آواری است، از این نظر مشابه کانسارهای نوع Sedex می‌باشد. از طرف دیگر در یک نگاه کلی، توالی در برگیرنده کانسار، توالی کربناته Kls بوده و از این نظر مشابه ذخایر نوع MVT و Irish است. لذا برای تعیین تیپ کانسار یزدان ناگزیر به مقایسه ویژگی‌های شاخص کانسار یزدان با ویژگی‌های شاخص کانسارهای Irish، MVT و Sedex می‌باشیم. همانطور که در مطالب قبلی گفته شد کانسار یزدان در باختر پهنه ساختاری ایران مرکزی در توالی‌های رسوبی به سن کرتاسه زیرین در یک حوضه ژئودینامیکی کششی (Berberian and King, 1981) Madanipour et al., 2018) تشکیل شده است. کانسنگ سولفیدی در کانسار یزدان به سه صورت دیده می‌شوند: الف) رخساره تغذیه‌کننده که متشکل از رگه-رگچه‌های باریتی-سولفیدی می‌باشد و به‌عنوان معبری برای خروج سیالات عمل کرده است، ب) رخساره توده‌ای که در بخش بالایی رخساره رگه-رگچه‌ای قرار دارد و ج) رخساره لایه‌ای که حالت صفحه‌ای کشیده دارد. لازم به ذکر است که هر کدام از این رخساره‌های کانسنگی منطقه‌بندی کانیایی و عنصری مشخصی نشان می‌دهند، همچنین مطالعات انجام شده بر روی ماهیت سیال کانی‌ساز با استفاده از مطالعه میانبارهای سیال در رخساره‌های کانسنگی مختلف نشان از قرارگیری انواع میانبارهای سیال کانسار یزدان در مرز مشترک ذخایر ایرلندی و ذخایر Vent proximal Sedex بوده (شکل ۱۰- الف) و همچنین نشان از فرایند رقیق‌شدگی در اثر اختلاط سیال شورابه‌ای داغ با آب دریای سرد دارد (شکل ۱۰- ب).

کانسارهای سرب-روی با میزبان رسوبی در اثر عملکرد فرایندهای کانه‌زا در داخل طیف وسیعی از سنگ‌های آواری تا کربناته و در تنوعی از خاستگاه‌های زمین‌ساختی (حوضه‌های کافتی، پشت‌کمانی و کمربندهای کوهزایی) تشکیل می‌شوند (Leach et al., 2010; Wilkinson, 2014). این کانسارها بر اساس نوع کانه‌زایی (سین‌ژنتیک و اپی‌ژنتیک) و توالی دربرگیرنده کانه‌زایی (کربنات، گل‌سنگ، سیلت‌سنگ و ماسه‌سنگ) نیز قابل تقسیم هستند (Leach et al., 2010; Goodfellow and Lydon, 2007; Wilkinson, 2014; Magnall et al., 2016). رده‌بندی‌های مختلفی برای کانسارهای سرب و روی با میزبان رسوبی در جهان ارائه شده است که جامع‌ترین و پذیرفته‌شده‌ترین آنها توسط Leach et al. (2010) و Wilkinson (2014) بیان شده و در آن، هر کدام از انواع مختلف کانسارها بر اساس ویژگی‌های زمین‌شناسی، ساخت و بافتی و زمین‌شیمیایی خاص خود از سایر کانسارها متمایز می‌گردند. کانسارهای سرب-روی رسوبی را صرف نظر از مدل ژنتیکی و تنها بر اساس ویژگی‌های توصیفی می‌توان به دو گروه سدکس و MVT تقسیم نمود (Leach et al., 2010). در این تقسیم‌بندی، کانسارهای سرب و روی با سنگ میزبان آواری (شیل، ماسه‌سنگ و سیلت‌سنگ) و یا جانشینی در کربنات‌های موجود در توالی تخریبی، به عنوان ذخایر سدکس شناخته می‌شوند، در حالیکه به ذخایر سرب و روی که در پلاتفرم‌های کربناته تشکیل می‌گردند، ذخایر نوع MVT کربناته می‌توان در رده کانسارهای نوع MVT قرار داد (Leach et al., 2010). در جدیدترین تقسیم‌بندی، ذخایر سرب و روی بر اساس ویژگی‌های مشخص‌کننده تیپ کانساری به دو گروه کلی سدکس (رسوبی-بروندمی) و MVT تقسیم شده و ذخایر ایرلندی نیز به‌عنوان زیر مجموعه‌ای از ذخایر سدکس در نظر گرفته شده‌اند



شکل ۱۰- الف) موقعیت قرارگیری انواع میانبارهای سیال کانسار یزدان در نمودار دمای همگن‌شدن-شوری میانبارهای سیال کانسار یزدان در مرز مشترک ذخایر ایرلندی و Vent proximal Sedex. محدوده‌های دمای همگن شدن و شوری انواع کانسارهای سدکس بر اساس Ansdell et al. (1989) و Large et al. (2004)، کانسارهای ایرلندی بر اساس Wilkinson (2014) و کانسارهای MVT بر اساس Leach et al. (2010) می‌باشد؛ ب) دیاگرام روند Th-salinity از پروسه‌های تکاملی از سیال‌های مختلف (Wilkinson, 2001) نشان از فرایند رقیق‌شدگی در اثر اختلاط سیال شورابه‌ای داغ با آب دریای سرد دارد.

با کانسارهای سرب و روی نوع ایرلندی (جدول ۳) این نتیجه حاصل می‌گردد که به علت رخداد کانه‌زایی در حوضه‌های کششی، وجود بافت‌های جانشینی و برشی، دمای مشابه سیالات، حضور باریت فراوان و تشکیل کانی‌های سولفوسالت، کانسار یزدان دارای شباهت بسیار زیادی با کانسارهای ایرلندی (Hitzman et al., 2002; Kerr, 2013; Wilkinson, 2014) داشته و تنها تفاوت قابل ملاحظه، عدم رخداد کانه‌زایی اقتصادی در واحدهای آواری ذخایر نوع ایرلندی می‌باشد. از این رو بیشترین نزدیکی و شباهت را با ذخایر نوع سدکس نشان می‌دهد.

ویژگی‌های شاخص کانساری نوع MVT از جمله رخداد کانه‌زایی در مجاورت گسل معکوس، وجود دولوستون میزبان و حضور برخی از بافت‌های پرکننده فضای خالی، مقادیر پایین دمای میان‌بارهای سیال رخساره کانسنگ سولفید توده‌ای و قرارگیری در کمربند فورلند کوهزایی، عدم وجود منطقه‌بندی کانیایی و رخساره‌های مختلف کانسنگ سولفیدی و وجود باریت جزئی، در کانسارهای نوع MVT (Leach et al., 2010; Wilkinson, 2014) همگی در تضاد با ویژگی‌های مشخص کانسار یزدان است (جدول ۳). از مقایسه ویژگی‌های شاخص کانه‌زایی کانسار یزدان

جدول ۳- مقایسه ویژگی‌های شاخص کانسار یزدان با کانسارهای سدکس، ایرلندی و سدکس.

کانسار یزدان	کانسار MVT Pine Point Robb Lake Upper Silesia	کانسار Irish Lisheen Mine Tynagh Navan	ذخایر نوع SEDEX Howard's Pass district Lady Loretta Deposit Xitieshan deposit Dajiangping deposit	ویژگی‌ها
حوضه کششی	کمربند فورلند کوهزایی	حوضه‌های کششی حواشی قاره‌ای	حوضه‌های ریفتی درون قاره‌ای، ریفت پشت قوسی	خاستگاه زمین‌ساختی
ماسه‌سنگ ساب‌لیت آرنایت و آهک ماسه‌ای	آهک، دولومیت	کربنات‌های غیررسی درتوالی کربناتی-آواری	شیل، کربنات، سیلستون غنی از مواد آلی، ماسه‌سنگ و کنگلومرا	توالی رسوبی سنگ میزبان
چینه‌سان و چینه‌کران	چینه‌کران	چینه‌سان و چینه‌کران	چینه‌سان و چینه‌کران	ژئومتری ماده معدنی
وجود دارد	وجود ندارد	وجود ندارد	وجود دارد	رخساره‌های کانسنگی
لاپه‌ای، جانشینی، رگه-رگچه‌ای، توده‌ای، برشی	پرکننده فضای خالی، رگه-رگچه‌ای، جانشینی	جانشینی، رگه-رگچه‌ای، گاهی پرکننده فضای خالی	لاپه‌ای، برشی، جانشینی، رگه-رگچه‌ای، فرامیونیدال، لامینه	ساخت و بافت
اسفالریت، گالن، تراهدریت، کالکوپیریت، پیریت، باریت فراوان، بورنیت محدود	اسفالریت، گالن، پیریت، سولفوسالت محدود، باریت و فلورین کم تاغائب	اسفالریت، گالن، پیریت، سولفوسالت محدود، کالکوپیریت، باریت فراوان	اسفالریت، گالن، پیریت، پیرویت، مارکازیت، سولفوسالت محدود، کالکوپیریت، باریت فراوان تا غائب	کانی‌شناسی
وجود دارد	وجود ندارد	وجود دارد	وجود دارد	منطقه‌بندی عنصری
دمای ۱۳۶-۲۵۵ درجه و شوری ۶-۱۴ درصد	دمای ۷۰-۱۵۰ درجه و شوری ۱۱-۳۰ درصد	دمای ۷۰-۲۸۰ درجه و شوری ۴-۲۴ درصد	دمای ۷۰-۳۰۰ درجه و شوری ۴-۲۳ درصد	میانبارهای سیال
سین ژنتیک، همزمان بارسوب‌گذاری تا دیاژنز آغازین	اپی ژنتیک	سین ژنتیک تا دیاژنتیک	سین ژنتیک و یا در طی دیاژنز آغازین	زمان کانه‌زایی
جایگاه چینه‌ای	عوامل ساختمانی	جایگاه چینه‌ای	جایگاه چینه‌ای	عامل کنترل کننده
تحقیق حاضر	Leach et al., 2005 and 2010; Wilkinson, 2014	Wilkinson et al., 2003, 2014; Kerr, 2013	Wilkinson, 2014; Li and Xi., 2015; Johnson et al., 2015; Gadd et al., 2015 and 2016; Large and McGoldrick, 1998	منبع

## ۱۰- نتیجه‌گیری

که کانسار کانسار یزدان شباهت بسیار زیادی به کانسارهای نوع سدکس دارد. خاطر نشان می‌شود نظر به اینکه ذخایر نوع ایرلندی به عنوان مجموعه‌ای از ذخایر نوع سدکس در نظر گرفته می‌شوند، بنابراین تیپ کانه‌زایی در کانسار یزدان را به‌ویژه با توجه به رخداد کانه‌زایی در سنگ میزبان آواری، می‌توان از نوع ذخایر سدکس در نظر گرفت.

با مقایسه ویژگی‌های شاخص ذخایر نوع سدکس با کانسار سرب و روی یزدان از جمله حوضه کششی ریفتی، حضور منطقه‌بندی کانیایی، تشکیل انواع رخساره‌های کانسنگ سولفیدی، وجود کانه‌زایی سولفیدی در واحدهای آواری و کربناتی، فراوان بودن میزان باریت، ویژگی‌های سیال کانه‌زا (دمای همگن شدن ۷۰-۳۰۰ درجه و شوری ۴-۲۳ درصد)، این نتیجه حاصل می‌گردد



## کتابنگاری

- آفانباتی، س.ع.، ۱۳۸۳- زمین شناسی ایران، وزارت صنایع و معادن، سازمان زمین شناسی و اکتشافات مواد معدنی کشور، ۵۸۶ ص.
- پیرنجم الدین، ح.، راستاد، ا. و رجیبی، ع.، ۱۳۹۷- ساخت و بافت، کانی شناسی و میانبراهای سیال کانسار روی-سرب-باریت کوه کلنگه، کمر بند فلز زایی ملایر- اصفهان، جنوب اراک، مجله علوم زمین، شماره ۱۰۷، صص ۲۸۷ تا ۳۰۲.
- حرمی، م. و محبوبی، ا.، ۱۳۸۲- رسوب شناسی کاربردی، انتشارات آستان قدس رضوی، ۴۷۶ ص.
- خسروتهرانی، خ.، ۱۳۸۶- چینه شناسی و رخدادهای زمین شناسی، انتشارات دانشگاه تهران، ۴۶۴ ص.
- رادفر، ج.، امینی، م. و امامی، م.، ۱۳۷۸- نقشه زمین شناسی اردستان، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین شناسی کشور.
- صفری، ا.، ۱۳۷۴- پالئوژئوگرافی و چینه شناسی رسوبات کرتاسه زیرین شمال شرق اصفهان، پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه زمین شناسی، دانشگاه اصفهان.
- کیمیاگری، م.، ۱۳۷۴- مطالعه زمین شناسی و چینه شناسی رسوبات کرتاسه زیرین در ناحیه سه، پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه زمین شناسی، دانشگاه اصفهان.
- مغفوری، س.، حسین زاده، م. رجیبی، ع. و عظیم زاده، ا.، ۱۳۹۵- کانسار دره زنجیر: نمونه ای از کانسارهای روی-سرب با میزبان کربناته (MVT) در توالی رسوبی کرتاسه پیشین، حوضه جنوب یزد، مجله علوم زمین، شماره ۱۰۳، صص ۱۱ تا ۲۶.
- موحدنیا، م.، راستاد، ا.، رجیبی، ع. و شولت، ف.، ۱۳۹۶- کانی شناسی، ژئوشیمی، و فرایندهای تشکیل کانسنگ غیرسولفیدی برونزاد کانسار روی-سرب نوع رسوبی-بروندمی (SEDEX) آب باغ در پهنه سندج-سیرجان، مجله علوم زمین، شماره ۱۰۳، صص ۲۴۹ تا ۲۶۴.

## References

- Ansdell, K. M., Nesbitt, B. E. and Longstaffe, F. J., 1989- A fluid inclusion and stable isotope study of the Tom Ba-Pb-Zn deposit, Yukon Territory, Canada. - *Econ. Geol.* 84: 841-856.
- Berberian, M. and King, G. C., 1981- Towards a palaeogeography and tectonics evolution of Iran: *Canadian Journal of Earth Sciences*, v. 18, p. 210-265. <https://doi.org/10.1139/e81-019>.
- Goodfellow, W. D. and Lydon, J. W., 2007- Sedimentary exhalative (SEDEX) deposits. In: Goodfellow W. D., (ed.), *Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods*. Geological association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication, V. 5 p. 163-183. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.102.7.1355>.
- Hitzman, M., Redmond, P. and Beaty, D., 2002- The Carbonate-Hosted Lisheen Zn-Pb-Ag Deposit, County Tipperary, Ireland. *Economic Geology*, vol: 97, p: 1627-1655. DOI: 10.2113/gsecongeo.97.8.1627.
- Johnson, C., Dumoulin, J., Burruss, R. and Slack, J., 2015- Depositional Conditions for the Kuna Formation, Red Dog Zn-Pb-Ag-Barite District, Alaska, Inferred from Isotopic and Chemical Proxies, *Economic Geology*, Vol. 110, pp. 1143-1156. <https://doi.org/10.2113/econgeo.110.5.1143>.
- Kelley, K. D., Dumoulin, J. A. and Jennings, S., 2004a- The Anarraaq Zn-Pb-Ag and Barite Deposit, Northern Alaska: Evidence for Replacement of Carbonate by Barite and Sulfides. *Economic Geology*, vol: 99, p: 1577-1591. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.99.7.1267>.
- Kelley, K., Leach, D., Johnson, C., Clark, J., Fayek, M., Slack, J., Anderson, V., Ayuso, R., Ridley, W., 2004b- Textural, compositional, and sulfur isotope variations of sulfide minerals in the Red Dog Zn-Pb-Ag deposits, Brooks Range, Alaska: implications for ore formation. *Economic Geology*, vol: 99, p: 1509-1532. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.99.7.1509>.
- Kerr, N., 2013- Geology of the Stonepark Zn-Pb prospects, County Limerick, Ireland. M.Sc. thesis, University of Colorado, 131p.
- Large, R. R. and McGoldrick, P. J., 1998- Litho-geochemical halos and geochemical vectors to stratiform sediment hosted Zn-Pb-Ag deposits, Part 1. Lady Loretta deposit, Queensland. *J. Geochem. Explor.* 63, 37-56. DOI: 10.1016/S0375-6742(98)00013-2.
- Large, R. R., Bull, S. W., Yang, J., Cooke, D. R., Garven, G., McGoldrick, P. J. and Selley, D., 2007- Controls on the formation of giant stratiform sediment-hosted Zn-Pb-Ag deposits with particular reference to the north Australian Proterozoic. University of Tasmania, Centre for Special Ore Deposit and Exploration (CODES) Studies Publication 4, p. 107-149.
- Large, R. R., McGoldrick, P., Bull, S. and Cooke, D., 2004- Proterozoic stratiform sediment-hosted zinc-lead-silver deposits of northern Australia, in Deb, M. Goodfellow, W.D., (eds.), *Sediment-hosted lead-zinc sulphide deposits: Attributes and models of some major deposits of India, Australia and Canada*. Narosa publishing house, Delhi, India, p. 1-24.
- Leach, D. L., Sangster, D. F., Kelley, K. D., Large, R. R., Garven, G., Allen, C. R., Gutzmer, J. and Walters, S., 2005- Sediment-hosted Lead-Zinc Deposits: A Global Perspective. *Econ.*
- Leach, D. L., Taylor, R. D., Fey, D. L., Diehl, S. F. and Saltus, R. W., 2010- A deposit model for Mississippi Valley-type lead-zinc ores: Chapter A of mineral deposit models for resource assessment. US Geological Survey Scientific Investigations Report 2010-5070-A. Reston, VA: US Geological Survey. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.105.3.593>.
- Lee, M. J. and Wilkinson, J. J., 2002- Cementation, hydrothermal alteration, and Zn-Pb mineralization of carbonate breccia's in the Irish midlands: textural evidence from the Cooleen zone, near Silvermines, county Tipperary, *Economic Geology* Vol. 97, 2002, pp. 653-662. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.97.3.653>.
- Li, H. and Xi, X. S., 2015- Sedimentary fans: A new genetic model for sedimentary exhalative ore deposits, *Ore Geology Reviews* 65. 375-389. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2014.10.001.

- Madanipour, S., Yassaghi, A., Ehlers, T. A. and Enkelmann, E., 2018- Tectonostratigraphic, Structural geometry and kinematics of the NW Iranian plateau margin: insights from the Talesh mountains, Iran. *American Journal of Science*, V 158, p.37-46. DOI 10.2475/02.2018.02.
- Magnall, J., Gleeson, S., Blamey, N., Paradis, S. and Luo, Y., 2016- The thermal and chemical evolution of hydrothermal vent fluids in shale hosted massive sulphide (SHMS) systems from the MacMillan Pass district (Yukon, Canada). *Geochim. Cosmochim. Acta* 193, 251–273. DOI: 10.1016/j.gca.2016.07.020.
- Mannani, M. and Yazdi, M., 2009- Late Triassic and Early Cretaceous sedimentary sequences of northern Isfahan Province (Central Iran), *Boletin de la Sociedad Geologica Mexicana*, V. p. 367-374.
- Roedder, E. and Bodnar, R. J., 1980- Geologic pressure determinations from fluid inclusion studies. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, V. 8, p. 263-301.
- Shepherd, T. J., Rankin, A. H. and Alderton, D. H. M., 1985- A practical guide to fluid inclusion studies. Blackie, Glasgow, 239 p.
- Tribouillard, N., AlGeo, T. J., Lyons, T. and Riboulleau, A., 2006- Trace metals as paleoredox and paleoproductivity proxies: an update. – *Chem. Geol.* 232: 12 – 32. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2006.02.012>.
- Wilkinson, J. J., 2001- Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits. *Lithos*, V. 55, p. 229–272.
- Wilkinson, J. J., 2014- Sediment-hosted zinc-lead mineralization: processes and perspectives. *Treatise on Geochemistry* 2nd edition, p. 219-249. DOI.org/10.1016/B978-0-08-095975-7.01109-8.
- Wilkinson, J. J., Boyce, A. J., Everett, C. E. and Lee, M. J., 2003- Timing and depth of mineralization in the Irish Zn-Pb orefield. In: Kelly JG, Andrew CJ, and Ashton JH, et al. (eds.) *Europe's Major Base Metal Deposits*, pp. 483–497. Dublin: Irish Association for Economic Geology. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.98.1.194>.
- Wilmsen, M., Fürsich, F. T., Seyed-Emami, K., Majidifard, M. R. and Taheri, J., 2009- The Cimmerian Orogeny, in northern Iran: Tectonostratigraphic evidence from the foreland. *Terra Nova*, v. 21, n. 3, p. 211–218. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3121.2009.00876.x>.

## Yazdan lead-zinc and barite deposit, an example of SEDEX-type deposits in the western Central Iran structural zone

M. Jafar-Koupaei<sup>1</sup>, E. Rastad<sup>2\*</sup>, S. Madanipour<sup>3</sup> and S. Maghfouri<sup>4</sup>

<sup>1</sup>M.Sc. Student, Department of Economic Geology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

<sup>2</sup>Professor, Department of Economic Geology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

<sup>3</sup>Assistant Professor, Department of Tectonics, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

<sup>4</sup>Assistant Professor, Department of Economic Geology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Received: 2019 May 14

Accepted: 2019 November 24

### Abstract

Cretaceous sedimentary sequence in the Yazdan area is consisting of four rock units as, from the old to the new, clastic-carbonate (Kc), carbonate (Kl), shale and marl (Km) sequences, and sandy limestone and sandstone (Kls). The Kls unit is host to ore mineralization in the study area and formed of four members. Ore mineralization in the Yazdan deposit has occurred as a stratiform horizon in the sandstone units of the third member. Texture and structure studies show three ore facies with elemental zonation in the Yazdan deposit. These ore facies include stringer zone, massive ore facies and the bedded ore facies. This ore facies formed of laminated and layered sulfide and sulfate minerals. Fluid inclusion studies represent 255-136 °C for homogeneity temperature with an average temperature of 189 °C. Also, the salinity of fluid inclusions was calculated to be between 6 and 14.6% NaCl (on average, 9.5% NaCl). Geological evidence, host rock types, texture and structure, existence of ore facies with elemental zoning as well as fluid inclusion investigations indicate that the Yazdan deposit has most similarity with SEDEX-type deposits.

**Keywords:** Lead-zinc and barite deposit, Ore facies, SEDEX-type, Yazdan, Ardestan

For Persian Version see pages 275 to 286

\*Corresponding author: E. Rastad; E-mail: rastad@modares.ac.ir