ژئوشیمی
سال پنجم، شماره اول (بهار ۱۳۹۵)

Geochemistry
Vol.5, No.1 (Spring 2016)

کانه‌زایی روی- سرب با سنگ میزبان کربناته در کانسار حوض‌سفید، ایران مرکزی: شواهد زمین‌شیمیایی و کانی‌شناسی

قدرت‌الله رستمی پایدار*[۱]، لطف‌الله منصفی[۲]، منصور عادل‌پور[۳]

۱- استادیار زمین‌شناسی اقتصادی، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، اهواز، ایران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بهبهان، بهبهان، ایران

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

* عهده‌دار مکاتبات: rostamigsi2006@gmail.com

دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۷/۲۶، پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۱۲/۲۲

چکیده

کانسار روی- سرب حوض‌سفید در ۱۷ کیلومتری شمال‌شرق شهرستان اردکان در بلوک یزد از خرده قاره‌های ایران مرکزی واقع شده است. سنگ‌های کربناتی کرتاسه سنگ میزبان این کانسار است. پایین‌ترین واحد سنگی، سازند سنگستان است و عمدتاً شامل شیل و سیلتستون با میان لایه‌های کالک‌آرنایت می‌باشد. سازند سنگستان توسط دولومیت و سنگ آهک دولومیتی و آنکریتی سازند تفت پوشیده می‌شود. سازند آبکوه شامل سنگ آهک چرتی و سنگ آهک رسی به همراه سنگ آهک ریفی توده‌ای است که بر روی سازند تفت قرار گرفته است. کانسار دربردارنده دو بخش برون‌زاد در سطح و سولفیدی در ژرفاست و پاراژنز کانیایی آن شامل گالن، اسفالریت، پیریت، همی‌مورفیت، اسمیت‌زونیت، سروزیت و کمتر باریت است. ماده معدنی در این کانسار با دو شکل هندسی رخنمون دارد؛ ۱) لایه‌ای و عدسی‌شکل و هم‌خوان با لایه‌بندی سنگ میزبان و ۲) قطع کننده لایه‌بندی سنگ‌میزبان و در امتداد شکستگی‌ها به‌صورت ثانویه. عیار نقره و کادمیوم در نمونه‌های آنالیز شده بالاست و می‌توان آنها را به عنوان محصول فرعی در نظر گرفت. کادمیوم با عناصر Zn, Sb و S همبستگی مثبت و خوب و با Pb همبستگی ضعیف و منفی نشان می‌دهد و این می‌تواند نشان‌دهنده جانشینی کادمیوم در کانی اسفالریت باشد. بررسی‌های انجام شده و وجود شواهدی چون ویژگی‌های زمین‌شناسی، رخساره‌های کانه‌دار، گسترش پهنه‌های برون‌زاد و سولفیدی، پاراژنز کانیایی، ساخت و بافت ماده معدنی در مقیاس‌های مختلف، دگرسانی‌های موجود به‌ویژه پدیده دولومیتی‌شدن و مطالعات ژئوشیمیایی همگی نشان از آن دارد که کانسار روی- سرب حوض‌سفید در ردیف کانسارهای نوع دره می‌سی‌سی‌پی قرار می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی: کانسار حوض‌سفید، روی- سرب، نوع دره می‌سی‌سی‌پی، ایران مرکزی

۱- مقدمه

کانسارهای سرب و روی با سنگ میزبان رسوبی را می‌توان به دو زیرگروه اصلی تقسیم‌بندی کرد. اولین زیرگروه شامل کانسارهای سرب و روی در شیل، ماسه‌سنگ، سیلتستون یا مخلوطی از سنگ‌های آواری هستند و یا بصورت جانشینی در کربنات‌ها در یک سکانس رسوبی بوجود می‌آیند (clastic-dominated Pb-Zn deposits) این زیرگروه شامل کانسارهایی است که قبلاً به عنوان کانسارهای رسوبی- برون‌دمی (SEDEX) به آنها اشاره می‌شد. کانسارهای Pb-Zn با سنگ میزبان عمدتاً آواری در حواشی غیرفعال، ریفت‌های قاره‌ای و حوضه‌های پشت کمانی واقع شده‌اند. زیرگروه دوم از کانسارهای سرب و روی با سنگ میزبان رسوبی، کانسارهای نوع دره می‌سی‌سی‌پی (MVT) هستند که در سکانس‌های پلاتفرم کربناتی قرار دارند و معمولاً در جایگاه تکتونیکی حواشی غیرفعال بوجود می‌آیند (Leach et al., 2010). ذخایر سرب و روی با سنگ درونگیر کربناتی از مهم‌ترین منابع تولید این فلزات در جهان به شمار می‌آیند (دلاور و همکاران، ۱۳۹۳). بیش از ۳۰۰ کانسار و رخداد سرب و روی با سنگ میزبان رسوبی در ایران گزارش شده است (Rajabi et al., 2013). این کانسارها شامل رسوبی- برون‌دمی (SEDEX)، نوع ایرلندی (Irish-type) و نوع دره می‌سی‌سی‌پی (MVT) است که در سنگ‌های آواری و کربناتی بوجود آمده‌اند (Rajabi et al., 2012a, 2012b). از جمله کانسارهایی که در سنگ‌های کربناته رخ داده‌اند می‌توان به کانسارهای با رتبه جهانی مانند مهدی‌آباد، ایران‌کوه و انگوران اشاره کرد (Rajabi et al., 2012a). بعضی از این کانسارها شامل کانه‌های سوپرژن غیرسولفیدی هستند که بخش بزرگی از منابع سرب و روی ایران را تشکیل

Archive of SID
www.SID.ir

می‌دهند (Rajabi et al., 2013). کانه "غیرسولفیدی" یک اصطلاح است که یک سری از کانه‌های اکسیدی روی (سرب) را شامل می شود (Boni and Mondillo, 2015). اکثر کانسارهای سرب و روی با سنگ میزبان کربناته ارتباط نزدیکی با وقایع تکتونیکی پوسته‌ای نشان می‌دهند، بنابراین این حوادث منطقه‌ای یک نقش کلیدی در رخدادهای کانی‌سازی سرب- روی با سنگ میزبان رسوبی بازی می‌کنند (Rajabi et al., 2012a). در ایران مرکزی سنگ‌های کربناته با سن کرتاسه نقش مهمی به‌عنوان میزبان کانه‌زایی سرب و روی دارند (Bazargani et al., 2013)؛ از جمله این کانسارها مهدی‌آباد، ایران‌کوه و عمارت می‌باشد (Ehya et al., 2010). کانسار روی- سرب حوض‌سفید در بلوک یزد در خرده قاره ایران مرکزی در سنگ‌های کربناته به سن کرتاسه قرار دارد. چینه‌شناسی کانسار حوض‌سفید شامل سه سازند رسوبی متعلق به کرتاسه است. سازند سنگستان در قاعده قرار گرفته است که توسط سازند تفت پوشیده می‌شود و هر دو سازند اخیر با سازند آبکوه پوشیده می‌شوند. سازند سنگستان از نظر سنگ‌شناسی شامل سیلتستون، سنگ آهک شیلی، سنگ آهک ماسه‌ای و سنگ آهک بیوکلاستیک به همراه میان‌لایه‌های ماسه‌سنگی می‌باشد. سازند تفت عمدتاً شامل سری‌های کربناتی است که از نظر سنگ‌شناسی شامل دولومیت است که در افق فوقانی با پدیده کارستی‌شدن گسترده همراهی می‌گردد. بخش دولومیتی سازند تفت به عنوان میزبان ماده معدنی در نظر گرفته شده است. سازند آبکوه شامل سنگ آهکی رسی و چرتی است که سازند تفت را می‌پوشاند. بخش پائینی سازند آبکوه دارای کانی‌زایی سرب و روی است که کانی‌زایی در این قسمت به صورت کانی‌های کربناته و سیلیکاته روی می‌باشد.

این‌گونه از کانی‌سازی‌ها می‌تواند چشم‌انداز نوینی را در زمین‌شناسی و منابع معدنی سرب و روی خلق نماید. با توجه به گسترش چشمگیر سنگ‌های کربناته کرتاسه در ایران، انتظار می‌رود که این نوع ذخایر در ایران فراوان باشند و شایسته است که ویژگی‌های زمین‌شناسی این ذخایر به دقت بررسی شده تا نتایج آن، بتواند کلیدی برای فعالیت‌های اکتشافی- استخراجی و همچنین تخمین و ارزیابی این ذخایر باشد. این پژوهش به بررسی سنگ‌های کربناته واجد کانه‌سازی سرب و روی به سن کرتاسه، پاراژنز کانیایی و دگرسانی این محدوده در کانسار حوض‌سفید پرداخته است و سعی دارد با تکیه بر مشاهدات میدانی، سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی، دگرسانی و کانه‌نگاری خصوصیات عمومی این کانسار را به عنوان یک مثال بارز از ذخایر تیپ دره می‌سی‌سی‌پی در ایران معرفی نماید.

۲- روش مطالعه

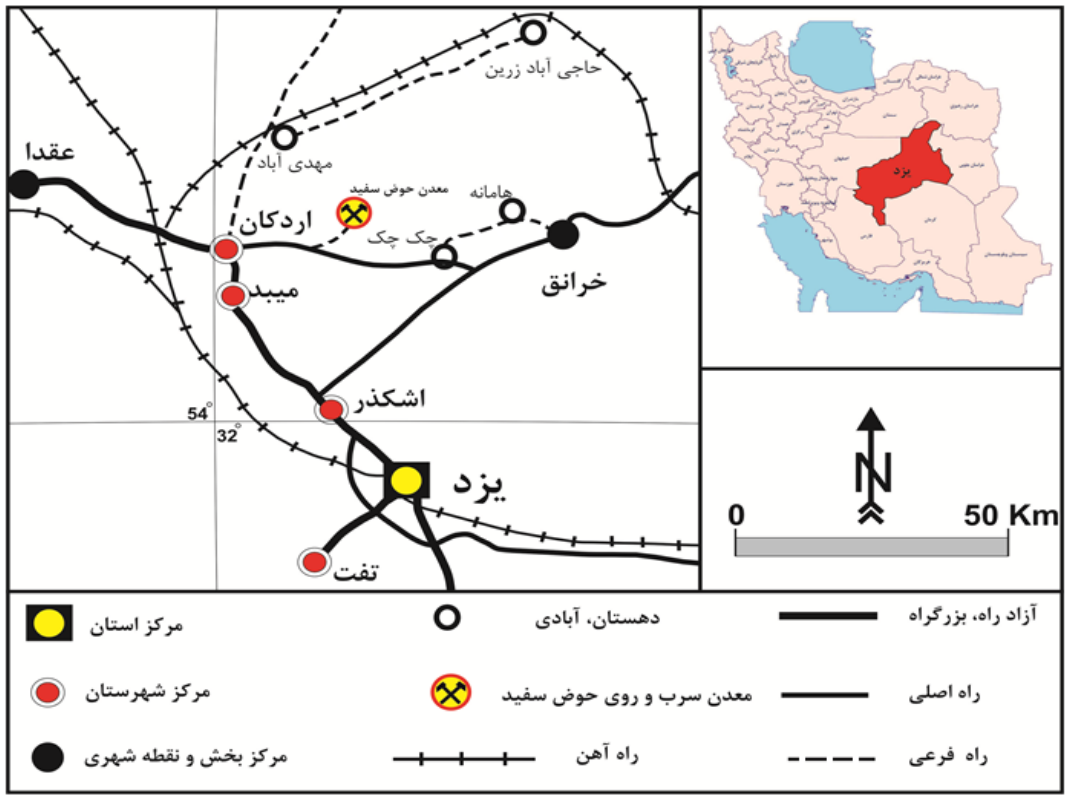
در این پژوهش مطالعات در ۳ بخش اصلی شامل ۱) بررسی‌ها و برداشت‌های میدانی؛ ۲) انجام تجزیه‌های دستگاهی و ۳) پردازش و تجزیه و تحلیل داده‌ها صورت پذیرفته است. پس از بررسی‌های صحرایی، تعداد ۱۸ مقطع نازک جهت مطالعات سنگ‌شناسی و ۱۲ مقطع صیقلی جهت مطالعات مینرالوگرافی انتخاب گردید؛ همچنین تعداد ۱۱ نمونه جهت مطالعات زمین‌شیمی انتخاب و پس از انجام عملیات خردایش و آسیاب، جهت اندازه‌گیری عناصر به روش ICP-OES به آزمایشگاه زرآزما ارسال گردید. نمونه‌ها با حد تشخیص بالاتر از ۲/۵ تا ۱۰ ppm برای عناصر اصلی و ۲/۵ تا ۵۰ ppm برای عناصر کمیاب تجزیه شدند.

۳- زمین‌شناسی

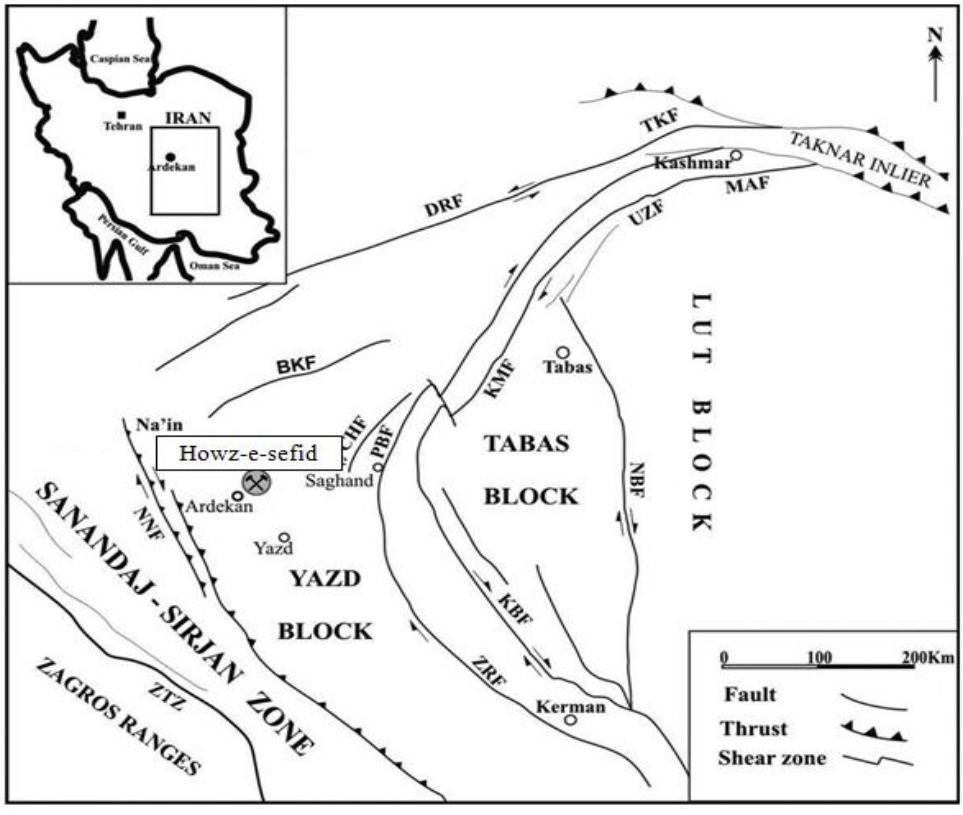
کانسار روی- سرب حوض‌سفید در قسمت مرکزی نقشه ۱:۱۰۰,۰۰۰ اردکان (Mc Quillan et al., 1978) در فاصله ۱۷ کیلومتری شمال‌شرقی شهرستان اردکان و ۷۷ کیلومتری شمال یزد در بلوک یزد واقع شده است (شکل ۱). پهنه ساختاری و زمین‌شناسی ایران مرکزی (Central Iranian Geological and Structural) (CIGS) یک پهنه انتقالی زمین‌شناسی- ساختاری بین ریزقاره ایران مرکزی، رشته کوه‌های البرز و زون سنندج- سیرجان است (Aghanabati, 2004). پهنه ایران مرکزی جزء بزرگترین و پیچیده‌ترین واحدهای زمین‌شناسی ایران به شمار می‌آید و می‌توان آن را محل قدیم‌ترین قاره در ایران محسوب کرد که حوادث زمین‌شناسی مختلفی در آن بوقوع پیوسته است. بیرون‌زدگی‌های سنگ‌های پرکامبرین پیشین تحت‌تاثیر حرکات کوه‌زایی کاتانگایی شدیداً دگرگون شده و پی‌سنگ ایران مرکزی را بوجود آورده است. روندهای ساختمانی در پهنه ایران مرکزی پیچیده‌اند که ظاهراً بر اثر حرکات کوهزایی مزوزوئیک، یعنی هنگامی که سکوی یکپارچه اولیه به قطعات کوچک‌تر شکسته شد و در آن حرکات افقی رواج یافت، بوجود آمده است (ملاصالحی و میرنژاد، ۱۳۸۹). محدوده مورد مطالعه از لحاظ ساختاری در بلوک یزد واقع شده و یکی از کانسارهای سرب و روی کمربند فلززایی یزد- انارک می‌باشد (شکل ۲). سنگ‌های آهکی- دولومیتی و شیل‌های سبز تیره متعلق به کرتاسه زیرین کوه‌های شمال و شمال‌شرق اردکان را تشکیل می‌دهد.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به کانسار حوض‌سفید



شکل ۲- موقعیت کانسار حوض‌سفید در نقشه تکتونیکی ایران

www.SID.ir

در این محدوده آهک‌های دولومیتی بر روی واحدهای شیلی سبز تیره و سیلتستون متعلق به کرتاسه زیرین قرار گرفته است. آهک‌های منطقه بجز معادن سرب و روی دارای رگه‌های گرمابی باریت نیز می باشد. آهک‌های دولومیتی مذکور در تقسیم‌بندی زمین‌شناسی ایران بنام سازند تفت- دره زنجیر نام‌گذاری شده است و در کلیه معادن متروکه منطقه بعنوان سنگ در برگیرنده ذخایر سرب و روی مورد توجه معدنکاران واقع شده است. سنگ‌های سازندهای پالئوزوییک و سنگ‌هایی با سن کرتاسه ارتفاعات منطقه را پدید آورده است. فعالیت‌های کوهزایی و در نتیجه آن ایجاد گسل‌ها، تراست‌ها، راندگی‌ها و چین‌خوردگی‌ها تاثیر زیادی بر ساختمان زمین‌شناسی منطقه و به تبع آن تاثیر زیادی بر شکل‌گیری توپوگرافی منطقه داشته است؛ عامل لیتولوژی نیز در شکل‌گیری توپوگرافی و ارتفاعات منطقه نقش بسزایی داشته است بطوری که آهک‌های کرتاسه اغلب ارتفاعات دیواره‌ساز را تشکیل می‌دهد و یا سازندهای پالئوزوئیک مثل دزو، لالون، پادها و شتری که حاوی سنگ‌های سخت دولومیتی و ماسه‌سنگی- کوارتزیتی هستند، اغلب ارتفاعات و قله‌ها را تشکیل داده است و یا واحدهای نئوژن بعلت سست و فرسایش‌پذیر بودن تپه ماهورهای کم‌ارتفاعی را تشکیل داده است. چینه‌شناسی منطقه شامل سازندها و واحدهای زیر می‌باشد (شکل ۳).

- سازند پادها

این سازند در محدوده شمالی نقشه ۱:۱۰۰,۰۰۰ اردکان و در شمال و جنوب‌شرقی رخنمون دارد. ضخامت آن در کوه پیرزن حدود ۴۳۸ متر است. غالب سنگ‌های این سازند را کوارتزیت‌های سفیدرنگ، ماسه‌سنگ و شیل‌ها بصورت بین‌لایه‌ای و میان‌لایه‌ای دولومیتی زیتونی‌رنگ تشکیل می‌دهد. کنتاکت بالای آن بطور هم‌شیب توسط سازند بهرام پوشیده شده است. سن آن با توجه به مشاهده فسیل‌های پالینومورف دونین زیرین می‌باشد.

- سازند بهرام

این سازند در محدوده شمال نقشه ۱:۱۰۰,۰۰۰ اردکان رخنمون دارد. بر روی شیل‌های این سازند آهک‌های نازک لایه سیاه رنگ ورمیکوله به ضخامت ۲-۳ متر موجود است. مجموعه فسیل‌های مرجان، براکیوپود و پالینومورف‌ها بیانگر سن دونین بالایی هستند.

- سازند شتری

این سازند در شمال محدوده رخنمون دارد. رگه‌های اقتصادی باریت بصورت تقریباً عمود بر لایه‌بندی تزریق گردیده است که هم‌اکنون از آنها بعنوان معادن فعال استفاده می‌شود. سن این سازند تریاس بالا- ژوراسیک پیشین می‌باشد.

- واحد K1

این واحد در پهنه وسیعی که به‌شکل نوار عریضی از شمال‌غرب تا جنوب شرق نقشه امتداد می‌یابد رخنمون دارد. در حد زیرین بطور هم‌شیب برروی واحد Kc (کنگلومرای قاعده کرتاسه) و در شرق نقشه بطور هم‌شیب و تدریجی برروی واحد K1-1 قرار دارد. در حد بالایی خود بطور هم‌شیب توسط واحد K2 (آهک‌های توده‌ای و ریفی کرتاسه) پوشیده می‌شود. این واحد از آهک‌های نازک تا متوسط لایه و گاهی کمی ضخیم و همچنین شیل‌های آهکی ورقه‌ای تشکیل یافته است. ضخامت لایه‌های آهکی بین ۳۰ تا ۶۰ سانتیمتر است. در اغلب مناطق در بخش‌های پایین واحد بیشتر آهکی و در بخش‌های بالایی بیشتر شیلی می‌شود. اما این قاعده کلی نیست و گاهی معکوس آن است از جمله در شرق نقشه که واحد K1-1 تفکیک گردیده است. گاهی نیز بخش‌های میانی واحد بیشتر به شیل آهکی تبدیل می‌شود. رنگ سطح هوازده آهک‌ها اغلب خاکستری و گاهی نخودی‌رنگ است و رنگ سطح تازه آنها عمدتاً خاکستری رنگ است. شیل‌ها رنگ سطح هوازده آنها خاکستری روشن و سطح تازه نیز خاکستری است. اغلب اوقات شیل‌ها به سمت بالای واحد بیتومینه و تیره‌رنگ می‌گردد. همچنین در این واحد فسیل‌های اوربیتولین و به مقدار کمتر رودیست مشاهده می‌شود.

- واحد K

این واحد در شمال و شمال‌غرب نقشه در کوه هریش، کوه گدارشور و جنوب شرق کوه معدن حوض‌سفید رخنمون دارد. و بعنوان سنگ دربرگیرنده کانه‌زایی سرب و روی اصلی کانه‌زایی در محدوده کانسار حوض‌سفید است. در دو منطقه کوه گدارشور و جنوب شرق کوه معدن حوض‌سفید کنتاکت زیرین آن مشاهده نمی‌شود. این واحد شامل آهک‌های ضخیم لایه است که سطح هوازده آن خاکستری تا خاکستری مایل به سفید است و سطح تازه آن خاکستری است. این واحد را در جنوب شرق کوه حوض‌سفید می‌توان به ۳ بخش تقسیم کرد که در بخش پایینی و بالایی آن ضخامت لایه‌ها کمتر و رنگ آن تیره‌تر (خاکستری تیره) است و در بخش میانی ضخیم لایه تا توده‌ای و رنگ آن خاکستری روشن است. در این واحد فسیل‌های رودیست و به مقدار کمتر فسیل‌های اوربیتولین مشاهده می‌شود (شکل ۴).

- واحد Km

این واحد در محدوده شمال و شمال غرب نقشه در کوه هریش، کوه گدارشور و جنوب شرق کوه معدن حوض‌سفید رخنمون دارد. بطور هم‌شیب به روی واحد K1 قرار گرفته است. این واحد از لایه‌های شیل آهکی تشکیل شده که لایه‌های آهکی در آن موجود است. در کوه هریش این واحد شامل لایه‌های شیل مدادی است که در آن میان‌لایه‌های آهکی ۴۰-۵۰ سانتیمتری مشاهده می‌شود. لایه‌های شیل و میان لایه‌های آهک در سطح هوازده زردرنگ و در سطح تازه خاکستری است. در میان لایه‌های آهکی

Archive of SID

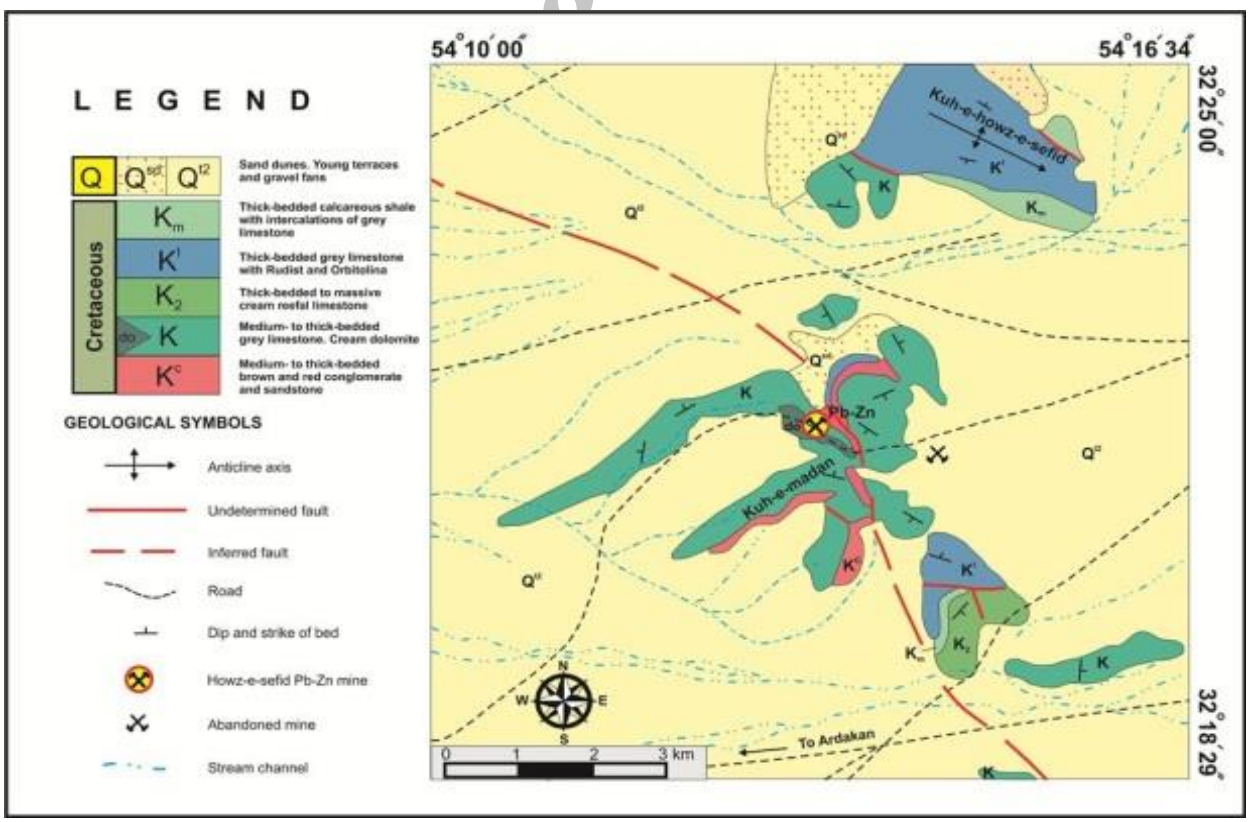
www.SID.ir

فسیل اوربیتولین به فراوانی دیده می‌شود.

۳-۱- دگرسانی

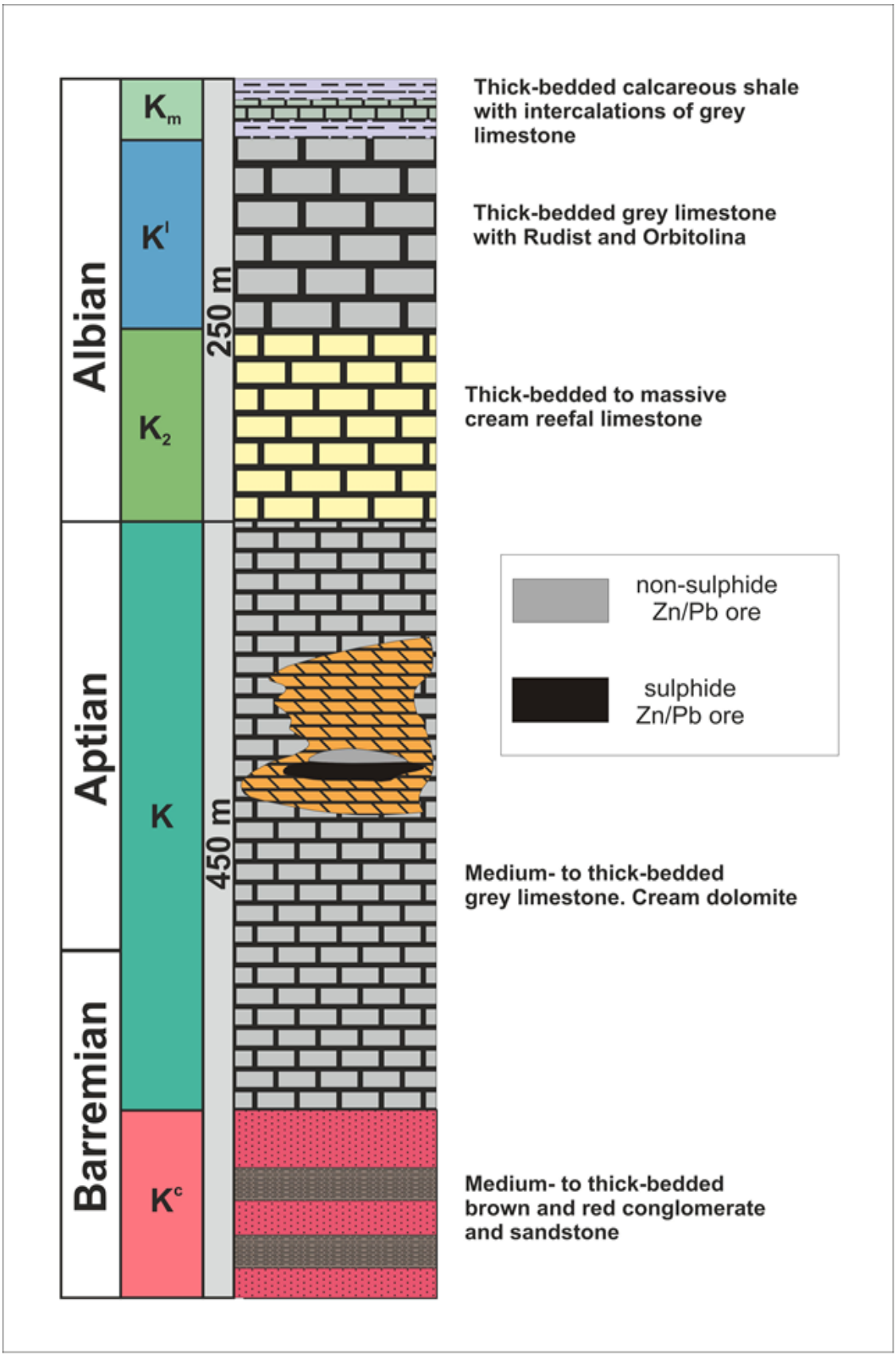
ساختارهای ناشی از پرشدگی فضاهای باز در سنگ‌های آهکی، بسیار متنوع و شایع است. در اصل این ساخت، یک واژهٔ غیرزایشی، برای توصیف دیاژنتیکی فضاهای خالی، در رسوبات به‌طور عمده میکرایتی، به شمار می‌رود (Flugel, 2004). یکی از عمده‌ترین سیماهای مواد معدنی در بخش کانه‌دار، حضور آنها در نقش پُرکننده فضاهای خالی است. در این بافت ماده معدنی برخی از فضاهای خالی ناشی از فرایندهای دیاژنتیکی را پر کرده است (جوانشیر و همکاران، ۱۳۸۸). از آنجا که یکی از اصلی‌ترین فرآیندهای دیاژنتیکی در افق معدنی دولومیتی‌شدن است، فرآیند مذکور فضاهای خالی زیادی را در سنگ ایجاد کرده است، که این فضاها مکان مناسبی برای تمرکز مواد معدنی هستند. بافت پرکننده فضای خالی را در مقیاس‌های ماکروسکوپی و میکروسکوپی می‌توان مشاهده کرد. دگرسانی دولومیتی به‌صورت گسترده در سازند تفت وجود دارد و سنگ میزبان ماده معدنی کانسار حوض‌سفید را تشکیل می‌دهد (شکل ۵). دگرسانی دولومیتی در سطوح کارستی، شکستگی و همچنین با برشی‌شدن همراه است.

بطور کلی مهم‌ترین دگرسانی‌های دیده شده در کانسارهای نوع دره می‌سی‌سی‌پی دولومیتی‌شدن، سولفیدی‌شدن (پیریتی‌شدن)، تبلور دوباره و به میزان کمتر سیلیسی‌شدن است (Leach and Taylor, 2009). در این کانسار دولومیتی‌شدن مهم‌ترین دگرسانی مؤثر در کانه‌زایی به شمار می‌آید، به گونه‌ای که بیشتر کانه‌زایی‌های موجود در منطقه، در بخش‌های دولومیتی شده سنگ میزبان آهکی دیده می‌شود. دولومیتی‌شدن نشان از چرخش شورآب‌ها در سنگ میزبان دارد که سبب افزایش تخلخل در سنگ آهک و تمرکز قابل توجه عناصر روی و سرب در سنگ میزبان شده است (دلاور و همکاران، ۱۳۹۳). از ویژگی‌های دگرسانی در این کانسار کم بودن دگرسانی سیلیسی همراه با کانه‌زایی است. در این کانسار گسترش دگرسانی سولفیدی به صورت پیریتی‌شدن قابل توجه است که در بیشتر بخش‌های این توالی حضور و نشان از محیط احیاء در زمان تشکیل کانسار دارد. تغییر درعمق سطح ایستابی فاکتور مهمی در آلتراسیون سوپرژن است (Leach et al., 2010). نقش فرآیندهای برون‌زاد به عنوان فرآیند سطحی سبب جدایش پهنه‌های کانه‌زایی به دو پهنه اکسیدی در سطح و سولفیدی در ژرفا می‌شود (دلاور و همکاران، ۱۳۹۳) که در محدوده مورد مطالعه دیده می‌شود.



شکل ۳- نقشه زمین‌شناسی ساده شده محدوده کانسار حوض سفید (Mc Quillan et al., 1978)

www.SID.ir



شکل ۴- ستون چینه‌شناسی کانسار حوض‌سفید به همراه افق کانه‌سازی سولفیدی و غیرسولفیدی سرب و روی

www.SID.ir

۳-۲- کانه‌زایی

کانه‌زایی در کانسار حوض‌سفید به‌صورت همزاد (سین‌ژنتیک) و دیرزاد (اپی‌ژنتیک) در سنگ‌های کربناته کرتاسه شکل گرفته است. کانه‌زایی دیرزاد در کانسار حوض‌سفید توسط تخلخلی که به احتمال، پیش از کانه‌زایی انجام گرفته کنترل می‌شود. مناطق با تخلخل مناسب مانند مناطق گسلی، مناطق برشی و برش‌های رگه‌ای هستند. تخلخلی که در طی دگرسانی دولومیتی و آنکریتی به‌وجود آمده فضای مناسبی برای ته‌نشست مواد معدنی فراهم آورده است. بافت کلوفرم در کانه‌های اسفالریت و گالن به همراه باریت، بصورت پرکننده فضای خالی نشان‌دهنده این امر است که کانه‌زایی سولفیدی دارای فاز تاخیری نسبت به سنگ میزبان است. بافت نواری اولیه سولفیدی به همراه پیریت فرامبوئیدال، در متنی از مواد آلی نشان‌دهنده کانه‌زایی همزاد در کانسار حوض‌سفید است. کانی‌های اصلی سولفیدی شامل اسفالریت و گالن به همراه کانی‌های فرعی پیریت و کالکوپیریت است. کانی اسفالریت اصلی‌ترین کانی اقتصادی در این محدوده است. این کانی به صورت گرهک‌های نامنظم و نیز به‌صورت لایه‌ای و عدسی‌های کم وسعت در داخل سنگ‌میزبان وجود دارد. با توجه به آنالیز شیمیایی اسفالریت‌های این محدوده به دو صورت پرآهن و کم آهن وجود دارد. نوع پرآهن اسفالریت نشان‌دهنده تشکیل در دماهای بالاتر است (قاسمی و همکاران، ۱۳۸۶). کانی گالن به‌صورت افشان، توده‌ای، رگچه‌ای و همچنین پرکننده فضای خالی می‌باشد. کانی پیریت تقریباً در تمام بخش سولفیدی کانسار قابل ملاحظه است. پیریت به‌صورت بلورهای شکل‌دار و ریزدانه است و در زمینه‌ای از اسفالریت و گالن مشاهده می‌شود. کانه‌های اکسیدی شامل هیدروزینسیت، سروزیت و اسمیت‌زونیت (کالامین) است که بخش غیرسولفیدی کانسار را تشکیل می‌دهند؛ این کانه‌ها از هوازدگی بخش سولفیدی سرب و روی تشکیل می‌شوند (Boni and mondillo, 2015). کانی‌های دولومیت، کلسیت، آنکریت، لیمونیت و هماتیت به عنوان باطله همراه کانه‌ها وجود دارد. تخلخلی که در طی دگرسانی دولومیتی و آنکریتی بوجود آمده است می‌تواند فضای مناسبی برای نهشت مواد معدنی از محلول‌های کانه‌دار فراهم آورد. از ویژگی‌های مشخص کننده کانسارهای روی- سرب نوع دره می‌سی‌سی‌پی نسبت به کانسارهای رسوبی- بروندمی (SEDEX) و سولفید توده‌ای با میزبان آتشفشانی (VMS)، حضور بخش‌های اکسیدی برآمده از فرآیند برونزاد است (دلاور و همکاران، ۱۳۹۳) که در کانسار حوض‌سفید بوضوح قابل تشخیص است (شکل ۶).

سنگ آهک‌های در برگیرنده سنگ معدن در اثر تاثیر محلول‌های گرمابی دولومیتی شده و در امتداد درزه‌ها دیده می‌شود. دولومیتی‌شدن و انحلال سنگ میزبان از ویژگی‌های معمول کانسارهای MVT است (Leach et al., 2010). چیزی که در مورد کانسار حوض‌سفید مشاهده می‌شود این است که این کانه‌ها در حفرات و شکستگی‌های موجود در سنگ‌های آهکی و دولومیتی و به موازات گسل شرقی- غربی که از این کوه عبور می‌کند دیده می‌شود (شکل ۷). محلول‌های هیدروترمال از طریق گسل بالا آمده و در واکنش با سنگ‌های کربناته کرتاسه مواد معدنی آن به جای گذاشته شده است (شکل ۸). همچنین با توجه به اینکه در کل منطقه در سنگ‌های کرتاسه دولومیت مشاهده نمی‌شود و تنها در این نقطه دولومیت دیده می‌شود می‌توان گفت که احتمالاً در نتیجه واکنش آهک با محلول‌های هیدروترمال تشکیل گردیده است (Leach et al., 2010). برداشت‌های زمین‌شناسی و معدنی انجام شده در حفاری‌ها و سطح نشان‌دهنده رگه‌ها و عدسی‌های معدنی در امتداد گسل‌ها و لایه‌بندی سنگ درونگیر است. رگه‌های معدنی بیشتر از روند گسل‌های شرقی- غربی تبعیت می‌کند. شیب گسل‌ها از ۶۰ تا ۸۵ درجه بطرف شمال می‌باشد. گسل‌های شمالی- جنوبی باعث بریدگی و جابجایی رگه‌های معدنی گردیده است.

۳-۳- توالی پاراژنزی

کانه‌زایی سرب و روی در دو مرحله اولیه و ثانویه بوقوع پیوسته است. کانسنگ سرب و روی در مرحله اولیه بصورت سولفیدی شامل گالن و اسفالریت به همراه کمی پیریت بصورت باطله می‌باشد. در مرحله ثانویه کانسنگ کربناته بصورت کالامین تشکیل شده است و حاوی کانه‌های اسمیت‌زونیت، همی‌مورفیت و سروزیت است. کانی‌های باطله شامل باریت، کلسیت و دولومیت و کوارتز و کانی‌های اکسید آهن می‌باشد (شکل ۹).

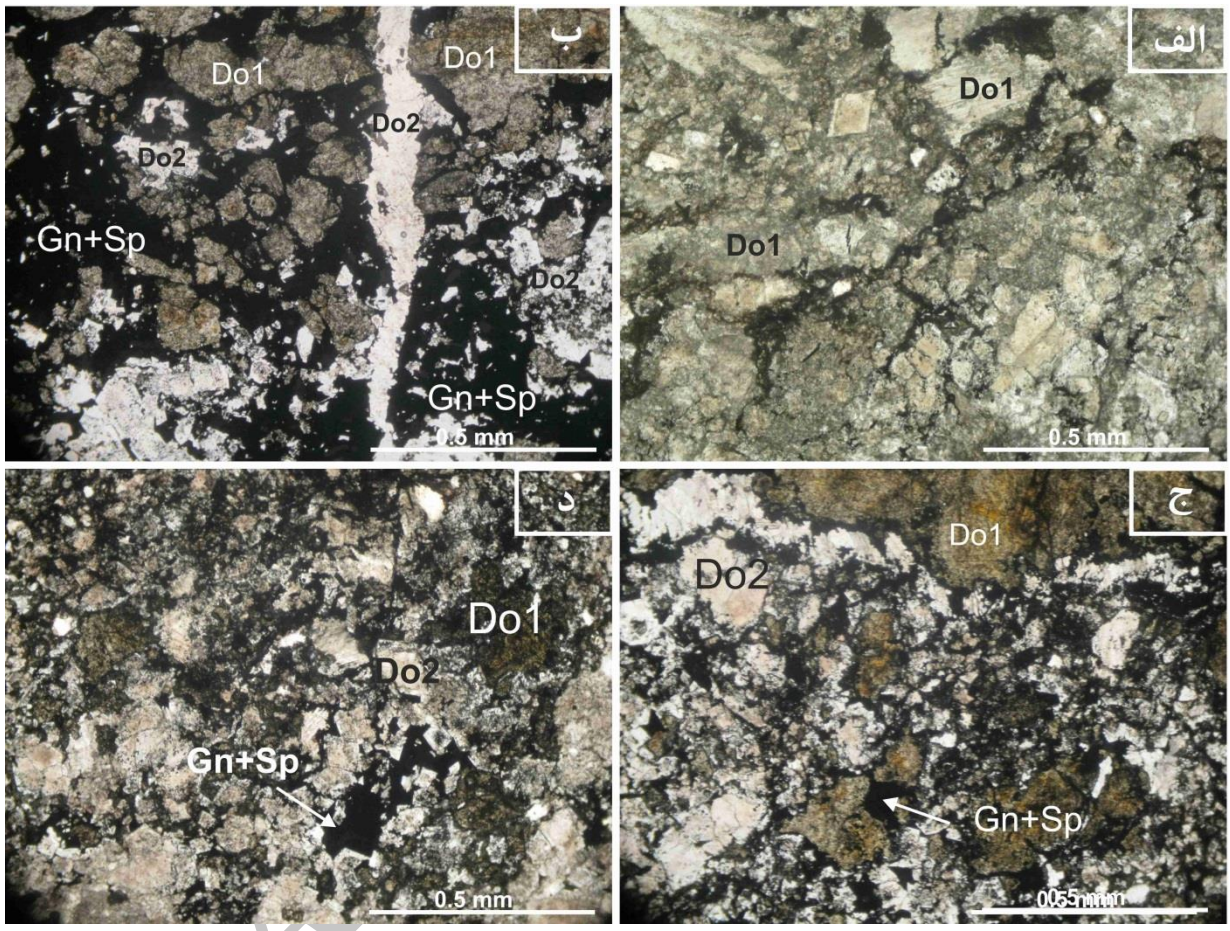
۴- ژئوشیمی

نتایج تجزیه شیمیایی ۱۱ نمونه برداشت شده از کانسار حوض‌سفید در جدول ۱ نشان داده شده است. همچنین نسبت بعضی از عناصر فرعی و جزئی در کانسار حوض‌سفید در شکل ۱۰ نشان داده شده است. پدیده آبشویی و هوازدگی سنگ آهک دولومیتی میزبان کانه‌زایی و کانه‌ها در طول زمان احتمالاً باعث رها شدن فلزاتی خواهد شد که در نوع دره می‌سی‌سی‌پی یافت می‌شود از جمله این فلزات می‌توان به نقره، آنتیموان، کادمیوم، آرسنیک، سرب و روی اشاره کرد (آیتی و همکاران، ۱۳۹۲). مطالعات نشان داده است که کانی گالن قادر است علاوه بر سازنده‌های اصلی خود (Pb و S) عناصر دیگری همچون نقره، آنتیموان، بیسموت، آرسنیک، روی، کادمیوم، سلنیوم و مس را به‌صورت جزئی در خود جای دهد (جزی و شهاب‌پور، ۱۳۸۹). همانطوریکه در جدول۲ ملاحظه می‌شود، میانگین عنصر آرسنیک در نمونه‌های برداشت شده ۱/۹ درصد است و با عناصری مثل Pb, Sb, Mn, Fe و Cu همبستگی مثبت و خوبی نشان می‌دهد که می‌تواند به‌صورت جانشینی در سرب و نیز ادخال کانی‌هایی همچون آرسنوپیریت می‌باشد. همبستگی مثبت آرسنیک با آهن به دلیل حضور پیریت در منطقه می‌باشد. در نمونه‌های اسفالریت آنالیز شده در کانسار حوض‌سفید میزان کادمیوم به ۰/۱۱ درصد می‌رسد و می‌توان آن را به عنوان محصول فرعی در نظر گرفت. عنصر کادمیوم با عناصر Zn, Sb و S همبستگی مثبت و خوب و با سرب همبستگی ضعیف و منفی نشان می‌دهد و این می‌تواند نشان‌دهنده جانشینی کادمیوم در کانی اسفالریت باشد؛ زیرا کادمیوم تمایل زیادی به تمرکز در اسفالریت دارد (جزی و شهاب‌پور، ۱۳۸۹). کانی‌های سولفیدی همچون گالن به‌ندرت خالص بوده و معمولاً مقادیر متفاوتی از عناصر فرعی و کمیاب دارند. جایگزینی عناصر فرعی و کمیاب به عوامل

Archive of SID

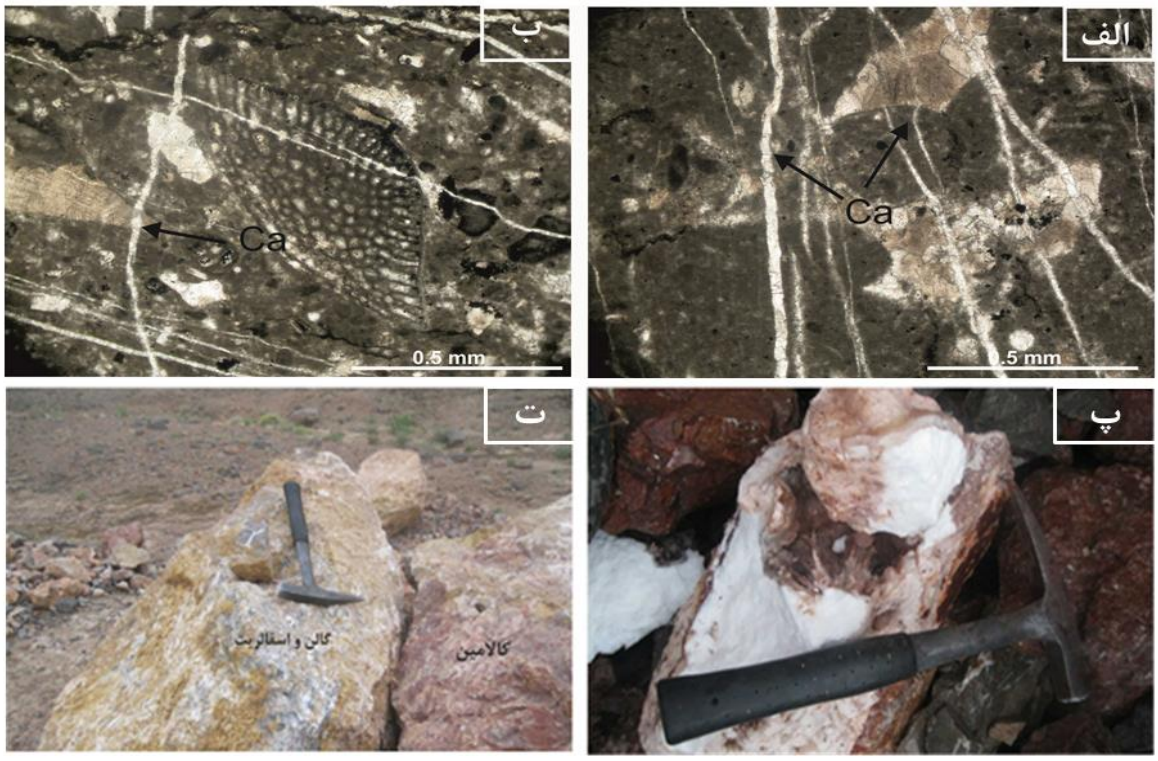
www.SID.ir

فیزیکی و شیمیایی فراوانی بستگی دارد که از جمله این عوامل pH، دما، فشار و غیره است. با تعیین این نسبت‌ها می‌توان تا حدودی شرایط حاکم بر محیط را در حین تشکیل کانسار ارزیابی کرد. از نسبت کبالت به نیکل برای تشخیص پیریت کانسارهای رسوبی از ماگمایی- گرمابی می‌توان استفاده کرد (جزی و شهاب‌پور، ۱۳۸۹). اگر نسبت Co/Ni<1 باشد، نشان‌دهنده خاستگاه رسوبی و اگر Co/Ni>1 باشد خاستگاه ماگمایی- گرمابی برای کانسار در نظر گرفته می‌شود. میزان Co/Ni برای کانسار حوض‌سفید حدود ۰/۴ است و این نشان‌دهنده‌ی عدم ارتباط این کانسار با فعالیت‌های آذرین است.



شکل ۵- الف- نمایی از واحد آهکی دولومیتی‌شده در محدوده مورد مطالعه؛ ب- رگه کلسیت هیدروترمالی ثانویه همراه با کانه‌زایی سرب و روی؛ پ- دورنما از واحد آهک‌های خاکستری کرتاسه میزبان سرب و روی (سازند تفت)؛ ت- رخنون ماسه‌سنگ کنگلومرایی قرمز رنگ

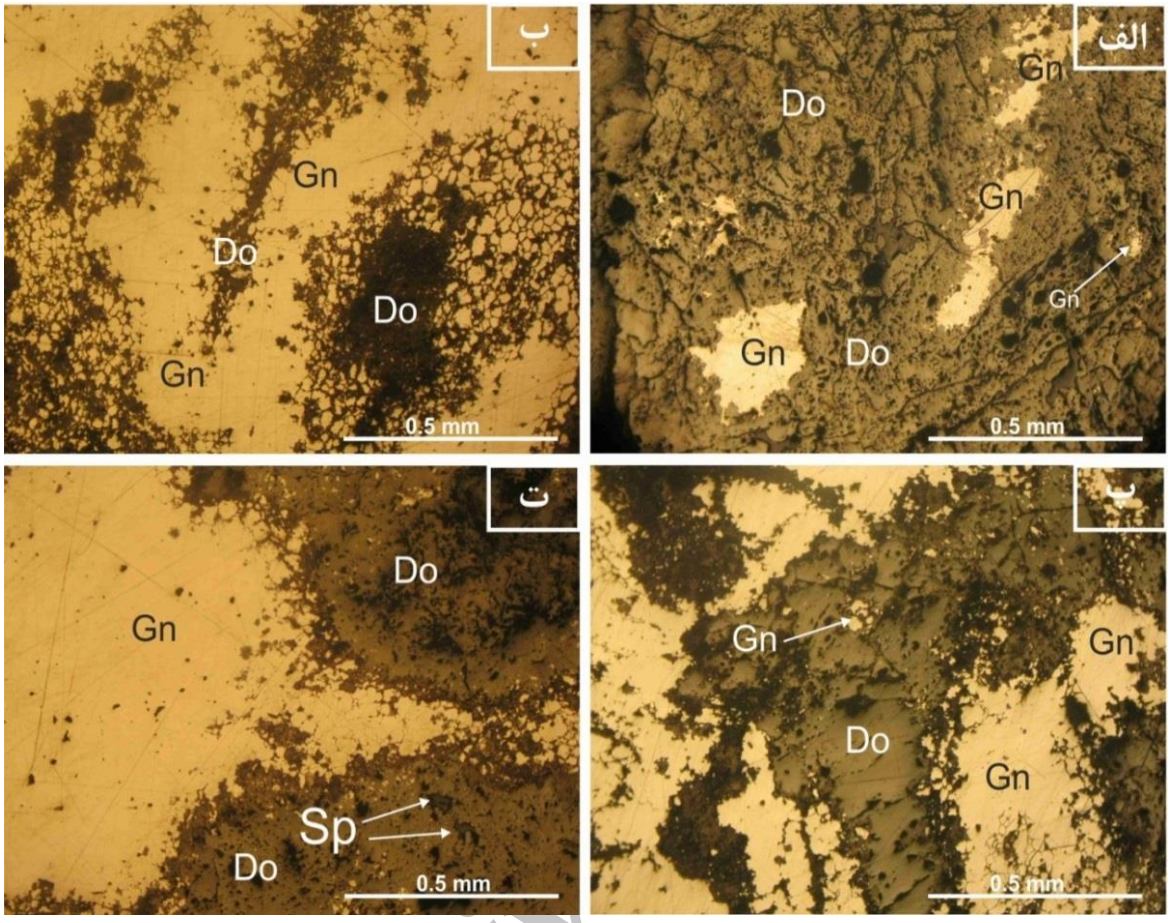
www.SID.ir



شکل ۶- الف- کلسیت ثانویه بصورت رگه‌ای در سنگ آهک میزبان دیده می‌شود ب- رگه‌های کلسیتی در آهک اوربیتولین‌دار کرتاسه پ- سنگ آهک دولومیتی‌شده قهوه‌ای و کلسیت تبلور مجدد یافته شکری در کانسار حوض‌سفید ت- نمایی از آهک کرتاسه دولومیتی‌شده میزبان کانه‌زایی سرب و روی اکسیدی و غیرسولفیدی؛ رنگ قرمز و زرد بخش‌های اکسیدی برآمده از فرآیند برون‌زاد است (سازند تفت)

شکل ۷- الف- نمایی از حفر ترانشه در محدوده حوض‌سفید (دید به سمت شمال غرب)؛ ب- کانه‌زایی گالن بصورت جانشینی و پرکننده فضای خالی؛ پ- رگه کلسیت ثانویه در آهک خاکستری رنگ کرتاسه (سازند تفت)

www.SID.ir



شکل ۸- الف- کانه گالن بصورت پرکننده فضای خالی حفرات موجود در سنگ میزبان دولومیتی‌شده؛ ب- گالن جانشین سنگ میزبان دولومیتی‌شده است؛ پ- گالن به‌صورت پرکننده فضای خالی و جانشینی در سنگ دولومیت؛ ت- اسفالریت و گالن فضای خالی سنگ میزبان را پر کرده‌اند همچنین جانشینی گالن در دولومیت میزبان دیده می‌شود

Mineral	Pre-Mineralization stage	Mineralization stage	Supergene
Micrite			
Calcite			
Barite			
Dolomite			
Pyrite			
Chalcopyrite			
Sphalerite			
Galena			
Hemimorphite			
Smithsonite			
Cerussite			
Hematite			

شکل ۹- توالی پاراژنزی در کانسار روی- سرب حوض‌سفید

www.SID.ir

جدول ۱- نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌های کانسار حوض‌سفید (داده‌ها بر حسب ppm)

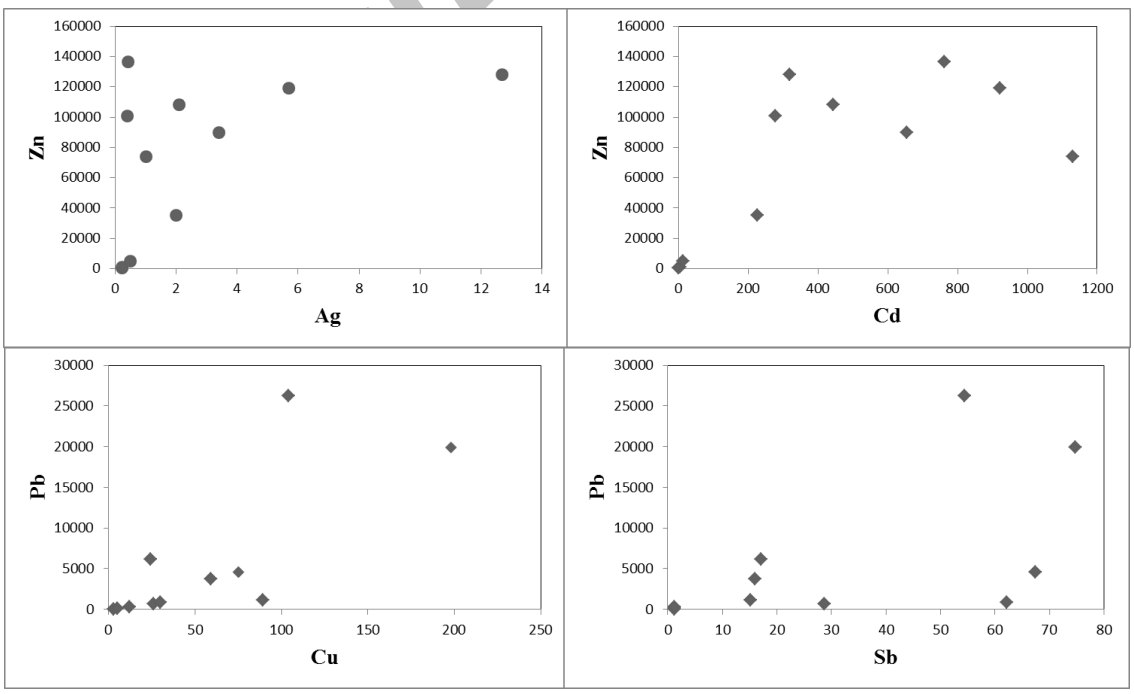
Element	92.BS.05.06	92.BS.05.07	92.BS.05.10	92.BS.05.12	92.BS.05.14	92.BS.01.22	92.BS.01.27	92.BS.01.32	92.BS.01.37	92.BS.04.10	92.BS.04.13
Ag	0.22	0.23	2	2.1	0.39	0.5	0.43	5.7	12.7	1	3.4
Al	1331	1099	5121	17247	8935	1726	22615	11374	12404	6124	2965
As	26.3	26.8	6110.3	5447.4	707.2	118.2	433.4	4723.8	1934.7	923.6	849.1
Ca	258105	262537	261473	182046	273123	362319	41490	170683	106402	253493	258480
Cd	0.34	4.2	226.1	444.3	277.1	12.1	762.7	921.2	319.6	1130.4	653.7
Ce	4	3	5	5	8	6	4	6	6	7	6
Co	< 1	2	12	6	8	2	5	8	6	6	8
Cr	< 1	< 1	2	7	4	1	9	5	7	3	< 1
Cu	3	5	198	104	24	12	26	30	59	75	89
Fe	4915	6545	44357	52064	17281	17466	11865	7551	8458	28920	9809
La	3	2	4	3	4	4	3	5	3	6	4
Li	2	2	2	20	8	1	5	3	13	5	5
Mg	25187	24843	24426	16549	7672	17925	11288	12646	8958	20939	20166
Mn	364	563	1924	902	666	154	398	469	493	245	363
Mo	0.67	0.64	4.6	12.2	1.38	7.3	5.6	1.68	3.4	3.1	1.24
Ni	5	6	18	14	9	6	25	18	18	21	12
P	54	44	128	181	87	61	61	51	122	115	65
Pb	47	100	19899	26289	6162	289	698	871	3701	4573	1102
S	117	79	194	316	202	116	225	191	121	1653	685
Sb	1.15	1.16	74.7	54.4	17.1	1.23	28.7	62.1	16	67.4	15.2
Sc	0.9	< 0.5	3	3	1.3	0.9	2.4	1.4	1.8	2	0.7
Th	4.6	4.7	8	8.9	7.8	4.9	4.6	5.6	6	94.3	31.7
V	9	8	120	210	65	12	22	16	107	72	24
Yb	0.5	0.4	1	1	0.6	0.6	0.3	0.4	0.4	0.7	0.5
Zn	508	872	35039	108018	100679	4935	136627	119003	127941	74119	89859

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲- جدول همبستگی عناصر نمونه‌های برداشت شده از محدوده مورد مطالعه

	Ag	Al	As	Ca	Cd	Cu	Fe	Mg	Mn	Mo	Pb	S	Sb
Ag	1												
Al	0.236	1											
As	0.275	0.313	1										
Ca	-0.464	-0.86	-0.185	1									
Cd	0.144	0.459	0.1878	-0.434	1								
Cu	0.143	0.066	0.7364	0.0021	0.164	1							
Fe	-0.185	0.229	0.6872	0.1005	0.09	0.756	1						
Mg	-0.456	-0.68	-0.016	0.5255	-0.28	0.239	0.156	1					
Mn	-0.01	0.049	0.7435	0.0153	-0.21	0.811	0.651	0.221	1				
Mo	-0.054	0.504	0.4436	-0.148	0.007	0.327	0.73	-0.138	0.207	1			
Pb	-0.024	0.297	0.7847	-0.031	-0.04	0.754	0.939	0.075	0.749	0.683	1		
S	-0.128	-0.08	-0.106	0.1116	0.702	0.225	0.232	0.183	-0.236	-0.05	-0	1	
Sb	0.071	0.342	0.7864	-0.208	0.63	0.699	0.673	0.016	0.538	0.299	0.599	0.4368	1
Zn	0.505	0.832	0.2791	-0.767	0.664	0.116	0.055	-0.802	-0.066	0.196	0.138	0.1321	0.356



شکل ۱۰- نسبت بعضی از عناصر فرعی و جزئی در کانسار حوض‌سفید (بر حسب ppm)

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳- مقایسه ویژگی‌های کانه‌زایی در کانسار روی- سرب حوض‌سفید با کانسارهای نوع MVT (Leach et al., 2010)

عامل کنترل‌کننده نوع کانه‌زایی	کانسارهای تیپ MVT	کانسار حوض‌سفید
محصول	سرب- روی و نقره	سرب- روی و نقره
محصول فرعی	Ag-Cd-Ge-Ba-F	Ag-Cd
کانه‌های اصلی	گالن- اسفالریت- پیریت- کلکوپیریت	گالن- اسفالریت- پیریت- کالامین
باطله	دولومیت- کلسیت- کوارتز	دولومیت- کلسیت- کوارتز و باریت
جایگاه زمین‌ساختی	بیشتر سکوهای قاره‌ای پایدار و برخی در دماغه کمربندهای راندگی	سکوهای قاره‌ای پایدار در زون ایران مرکزی
ارتباط با سنگ نفوذی	بدون ارتباط با سنگ‌های آذرین	بدون ارتباط با سنگ‌های آذرین
سن کانه‌زایی	از پروتروزوئیک تا ترشیری	کرتاسه زیرین
سنگ میزبان	دولومیت- سنگ آهک و سنگ آهک دولومیتی	دولومیت- سنگ آهک و سنگ‌آهک دولومیتی
چینه کران	کانسار دربرگرفته شده با یک واحد سنگی	کانسار دربرگرفته شده سنگ آهک دولومیتی‌شده
دگرسانی	دولومیتی‌شدن- سیلیسی‌شدن- تبلور دوباره و انحلال کربنات‌ها	دولومیتی شدن- سیلیسی شدن- تبلور دوباره
هوازدگی	گسترش اسمیت‌زونیت- همی‌مورفیت- هیدروزینسیت در سطح	گسترش اسمیت‌زونیت- همی‌مورفیت و کمتر هیدروزینسیت در سطح
کنترل کننده کانه‌زایی	حفره‌های موجود در واحدهای کربناتی و شکاف و ترک‌ها	دولومیتی‌شدن و افزایش فضا و تخلخل و پرشدگی شکاف‌ها و شکستگی‌ها
زایش	اپی‌ژنتیک	اپی‌ژنتیک

نتیجه‌گیری

بر اساس بررسی‌های اکتشافی انجام شده در کانسار روی- سرب حوض‌سفید این کانسار به دو بخش برون‌زاد (اکسیدان) در سطح و سولفیدی در ژرفا تقسیم می‌شود. سنگ دربرگیرنده کانسار در هر دو بخش، سنگ کربناته کرتاسه زیرین شامل سه سازند سنگستان، تفت و آبکوه است. ماده معدنی در این کانسار با دو ژئومتری رخنمون دارد؛ ۱) لایه‌ای و عدسی‌شکل و همخوان با لایه‌بندی و ۲) قطع کننده و در امتداد شکستگی‌ها به‌صورت ثانویه. با توجه به بررسی‌های زمین‌شناسی و ساختاری در بخش برون‌زاد مشخص شد که گسل‌ها و شکستگی‌هایی که از رخساره‌های کانه‌دار عبور می‌کنند، به عنوان مهم‌ترین کنترل کننده تمرکز ثانوی مواد معدنی و تشکیل پهنه برون‌زاد در منطقه به شمار می‌آیند. کانسار دارای کانی‌شناسی ساده همی‌مورفیت، اسمیت‌زونیت، سروزیت، و کمتر هیدروزنسیت در بخش برون‌زاد و گالن، اسفالریت و پیریت در بخش سولفیدی است و دو بافت اصلی ۱) بافت اولیه جانشینی به جای دولومیت و پرشدگی فضاهای خالی و ۲) بافت ثانویه پرکننده فضای ایجاد شده توسط شکستگی‌ها در آن دیده می‌شود. شواهد صحرایی، زمین‌شناسی، ساخت و بافت ماده معدنی نشان می‌دهد که بخش عمده ماده معدنی در این کانسار پس از مرحله سنگ‌شدگی و گسترش دگرسانی دولومیتی‌شدن سنگ میزبان به صورت اپی‌ژنتیک تشکیل شده است. مطالعات لیتوژئوشیمیایی سطحی نشانگر گسترش و تمرکز قابل توجه کانه‌زایی روی و سرب به صورت اکسیدی در بخش سطحی (با میانگین ۷/۲ درصد روی و ۰/۵۷ درصد سرب) است و بر پایه پردازش داده‌ها، بی‌هنجاری روی نسبت به بی‌هنجاری سرب گسترش بیشتری دارد. وجود نقره و کادمیوم به عنوان محصول ثانویه از ویژگی‌های این کانسار بوده و بر اساس پردازش‌های انجام شده همبستگی خوب و مثبتی با روی نشان می‌دهند و این می‌تواند نشان‌دهنده جانشینی نقره و کادمیوم در شبکه کانی اسفالریت باشد. بر مبنای نتایج جدول ۳، بررسی‌های انجام شده و مقایسه این کانسار با مطالعات انجام شده در مورد

Archive of SID

www.SID.ir

کانسارهای نوع دره می‌سی‌سی‌پی همگی نشان از آن دارد که کانسار روی- سرب در ردیف کانسارهای نوع دره می‌سی‌سی‌پی قرار می‌گیرد. برای مطالعات دقیق‌تر پیشنهاد می‌شود بررسی‌های سیالات درگیر، ایزوتوپ‌های پایدار گوگرد و اکسیژن و ایزوتوپ پایدار سرب (برای تشخیص سن کانه‌زایی) در این کانسار صورت پذیرد.

مراجع

آیتی، ف.، دهقانی، ه.، مختاری، ا. و مجتهد زاده، س. ح.، ۱۳۹۲، "مطالعات ژئوشیمیایی و کانی‌شناختی کانسار سرب و روی گوشفیل ایرانکوه، اصفهان" نشریه علمی- پژوهشی روش‌های تحلیلی و عددی در مهندسی معدن شماره‌ی ۶: صفحات ۸۳-۹۱.

جزی، م. ع. و شهاب‌پور، ج.، ۱۳۸۹، "بررسی خصوصیات کانی‌شناسی، ساختی، بافتی و ژئوشیمیایی معدن سرب نخلک، اصفهان" مجله زمین‌شناسی اقتصادی شماره‌ی ۲: صفحات ۱۳۱-۱۵۱.

جوانشیر، ع.، راستاد، ا. و ربانی، ا.، ۱۳۸۸، "رخساره‌های کانه‌دار کانسار روی- سرب (مولیبدن) احمدآباد، شمال خاور بافق و مقایسهٔ آن با کانسار بلایبرگ در آلپ" مجله‌ی علوم زمین شماره‌ی ۷۱: صفحات ۶۹-۸۰.

دلاور، س. ت.، رسا، ا.، لطفی، م.، بورگ، گ.، رشیدنژاد عمران، ن. ا. و افضل، پ.، ۱۳۹۳، "رخساره‌های کانه‌دار کانسار روی- سرب (نقره) تنگ‌دِزان در توالی کربناتی ژوراسیک- کرتاسه، بویین میان دشت (اصفهان)" مجله علوم زمین شماره‌ی ۹۱: صفحات ۷۷-۸۸.

قاسمی، م.، مومن‌زاده. م.، یعقوب‌پور، ع. و میرشکرایی، ا. ع.، ۱۳۸۸، "بررسی کانی‌شناسی کانسار روی- سرب مهدی‌آباد یزد- ایران مرکزی" مجله علوم زمین شماره‌ی ۷۳: صفحات ۸۹-۹۸.

ملاصالحی، ف. و میرنژاد، ح.، ۱۳۸۹، "مقایسه ترکیب ایزوتوپی سرب در کانسار کوه سورمه با برخی از کانسارهای سرب و روی ایران مرکزی و بررسی نقش فرورانش نئوتتیس در تحرک مجدد سرب ایران مرکزی" مجله علوم دانشگاه تهران شماره‌ی ۱: صفحات ۱۱-۱۷.

Aghanabati, A., 2004, "Geology of Iran", *Geological Survey of Iran, P.389.*

Bazargani-Guilani, k., Rabiei. M. and Mehrabi, B., 2013, "Effects of rock mineralogical composition and sedimentary facies on development of geochemical halos in Shahmirzad Pb-Zn deposits, central Alborz, Iran", *Journal of Geochemical Exploration, P. 155-165.*

Boni, M. and Mondillo, N., 2015, "The "Calamines" and the Others: The great family of supergene nonsulfide zinc ores", *Ore Geology Reviews, Volume 67, P. 208-233.*

Ehya, F., Lotfi, M., Rasa, I., 2010, "Emarat carbonate-hosted Zn-Pb deposit", *Markazi Province, Iran: a geological, mineralogical and isotopic (S, Pb) study. Journal of Asian Earth Sciences 37, P. 186-194.*

Flugel, E., 2004, "Microfacies of Carbonate Rocks", *Springer-Verlag, P.976.*

Leach, D. L. and Taylor, R. D., 2009, "Mississippi Valley-Type Lead-Zinc Deposit Model", *USGS, P.1213.*

Leach, D. L., Bradley, D. C., Huston, D., Pisarevsky, S. A., Taylor, R. D. and Gardolls, S. J., 2010, "Sediment-hosted Lead-Zinc deposits in earth history", *Economic Geology 195, P. 593-625.*

Li, Z., Xue. C., Wu. Y., Dong, X., Wang, S., Yu, R. and Chen, J., 2015, "The nappe-hosted Hoshbulak MVT Zn-Pb deposit, Xinjiang, China: A review of the geological, elemental and stable isotopic constraints", *Ore Geology Reviews, Volume 70, P. 47-60.*

McQuillan, H., Roohi, M. and Evers, H.J., 1978, "1:100,000 map of Ardakan".

Rajabi, A., Rastad, E. and Canet, C., 2013, "Metallogeny of Permian-Triassic carbonate-hosted Zn–Pb and F deposits of Iran: A review for future mineral exploration", *Australian Journal of Earth Sciences, P. 197-216.*

Rajabi, A., Rastad, E. and Canet, C., 2012a, "Metallogeny of Cretaceous carbonate-hosted Zn–Pb deposits of Iran: geotectonic setting and data integration for future mineral exploration", *International Geology Review 54, P.1649–1672.*

Rajabi, A., Rastad, E. and Canet, C., 2012b, "Geology, ore facies, and sulphur isotopes of the Koushk vent-proximal sedimentary-exhalative deposit, Posht-e-Badam Block, Central Iran", *International Geology Review 54, P.1635-1648.*

Archive of SID

■

www.SID.ir