



بررسی کانی‌سازی و سیالات در گیر کانسار سرب-روی طرز با سنگ میزبان کربناته، ایران مرکزی

بالنده امین‌زاده*

بخش زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۱۰/۰۹، پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۱۳

چکیده

کانسار سرب-روی طرز در ۱۵ کیلومتری شهر کوهبنان، ۴ کیلومتری روستای طرز در طول جغرافیایی $27^{\circ}39'$ و 56° عرض جغرافیایی $22^{\circ}00'$ قرار گرفته است. کانه‌زایی در کانسار طرز به صورت چینه کران و غیرهمزاد در سنگ‌های کربناتی پرموتریاس به صورت رگه-رگچه‌ای و پر کردن فضای خالی رخ داده است. کانی‌های اولیه شامل اسفالریت، گالن، پیریت و به مقدار بسیار جزئی کالکوپیریت و کانی‌های برون‌زاد شامل کولیت، اسمیت‌سونیت، هیدروزینسیت، اکسیدهای آهن و مالاکیت است. بر پایه بررسی‌های سیالات در گیر بر روی کانی کلسیت؛ دمای همگن شدن از ۸۵ تا ۱۹۶ درجه سانتی‌گراد و درجه شوری بین ۱۸ تا ۲۲/۵ درصد وزنی NaCl متغیر است. منشأ محلول‌های گرمابی تشکیل‌دهنده کانسار طرز شورابه‌های حوضه‌ای هستند که پس از عبور از شکستگی‌ها و درزه‌ها باعث انحلال کانی‌های کربناته و نهشته شدن کانی‌های سولفیدی شده است. ویژگی‌هایی نظیر ساختار زمین‌ساختی، عدم ارتباط با سنگ‌های ماگمایی، دگرسانی سنگ میزبان، کانه‌زایی به صورت غیرهمزاد و چینه کران، نوع و بافت کانه‌ها، دمای همگن شدن و شوری سیالات در گیر نشان می‌دهد که فرایند کانه‌سازی در کانسار طرز شبیه به ذخایر نوع دره می‌سی‌سی‌پی^۱ است.

واژه‌های کلیدی: کانسار سرب-روی، سیال در گیر، طرز، ایران مرکزی

مقدمه

ایران بر روی نوارهای فلززایی البرز مرکزی، طبس-پشت‌بادام، ملایر-اصفهان، یزد-انارک و تعدادی در زاگرس گزارش شده‌اند (Rajabi et al., 2012, 2013). در ناحیه کوهبنان-بهباد، واقع در جنوب غربی حاشیه بلوک طبس چندین رخداد کانه‌زایی سرب-روی مشاهده می‌شود که از این تعداد می‌توان به ذخایر طرز، گوجر، کاروانگاه، تپه‌سرخ، سنجدو، گیجرکوه، آب‌حیدر، بنه‌انار (احمدآباد)، کوه‌قلعه، تاجکوه، مگسو و گور (جور) اشاره کرد. آثار معدن‌کاری

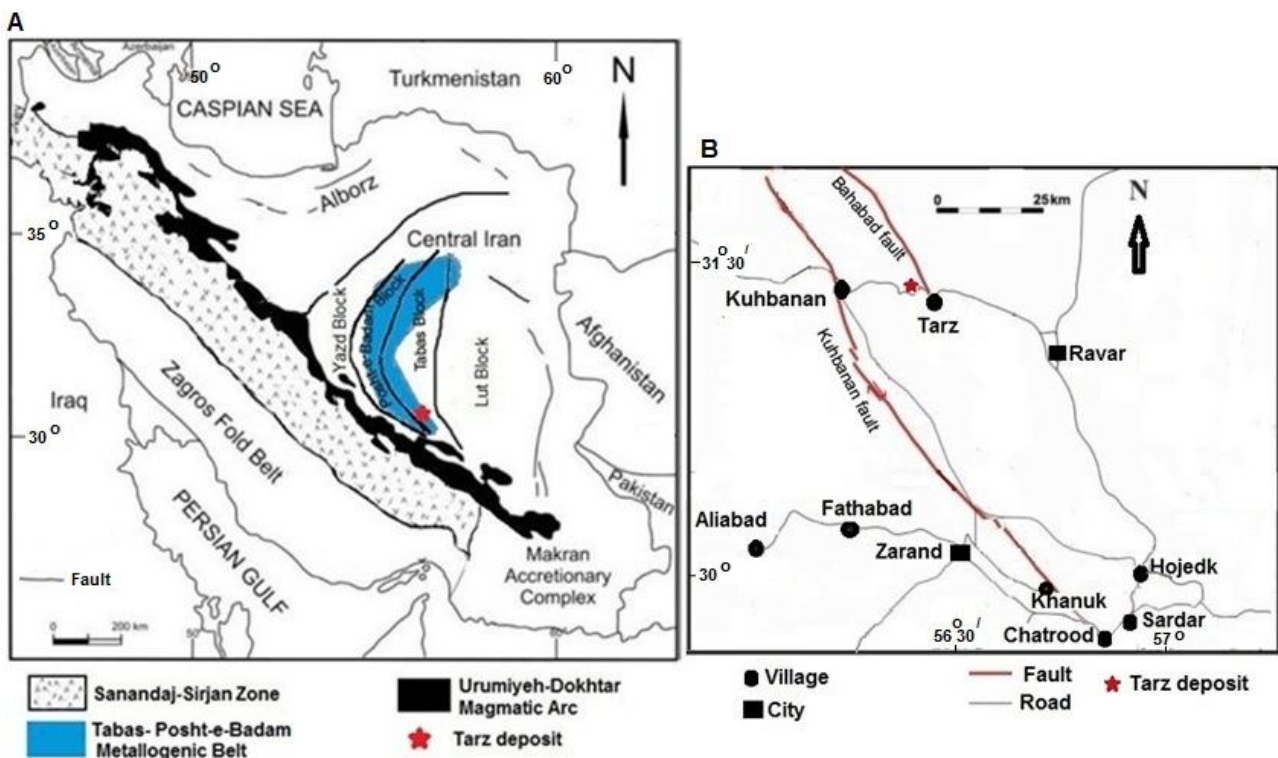
ذخایر سرب-روی در سنگ‌های رسوبی، از لحاظ اهمیت اقتصادی به‌عنوان بزرگ‌ترین منابع سرب-روی جهان مطرح هستند (Leach et al., 2005). بیش از ۳۰۰ ذخیره سرب-روی با سنگ میزبان رسوبی در ایران شناسایی شده است که سنگ میزبان اغلب آنها سنگ‌های کربناتی کرتاسه است (Rajabi et al., 2012, 2013). ذخایر سرب-روی (سدکس، ایرلندی و دره می‌سی‌سی‌پی) دارای سنگ میزبان کربناتی و آواری در

1. MVT

*مسئول مکاتبات: aminzadeh85@gmail.com

واقع شده است (شکل ۱-۱). منطقه مورد بررسی در طول جغرافیایی ۳۹° ۲۷' ۵۶" و عرض جغرافیایی ۳۱° ۲۲' ۰۰" قرار گرفته است. هدف از این پژوهش، تعیین مدل کانه‌زایی و نحوه تشکیل آن بر پایه بررسی‌های زمین‌شناسی، ژئوشیمی، میان‌بارهای سیالات درگیر، دگرسانی، کانی‌شناسی، بافت و ساخت است.

شددادی و میزان بالای سرباره‌های موجود نشان‌دهنده اهمیت کانه‌زایی سرب-روی در این ناحیه از ایران مرکزی است. کانسار طرز بر روی بلوک طبس از پهنه ایران مرکزی بر روی نوار فلززایی طبس-پشت‌بادام (شکل ۱-۱) در ناحیه معدنی کوهبنان-بهباد واقع شده است. این کانسار در ۱۵ کیلومتری شهر کوهبنان، ۴ کیلومتری روستای طرز در غرب گسل بهباد



شکل ۱. A: نقشه عمومی ساختاری ایران با تغییرات از اشتوکلین (Stöcklin, 1968) و علوی و همکاران (Alavi et al., 1997) و موقعیت منطقه معدنی طرز در نوار فلززایی طبس-پشت‌بادام و B: نقشه جغرافیایی نشان‌دهنده راه‌های دسترسی به کانسار طرز

Fig. 1. A: General tectonic map of Iran (modified after Stöcklin, 1968; Alavi et al., 1997) and location of Tarz mining district in Tabas-Posht-e-Badam Metallogenic Belt, and B: Geographical map showing access roads to the Tarz deposit

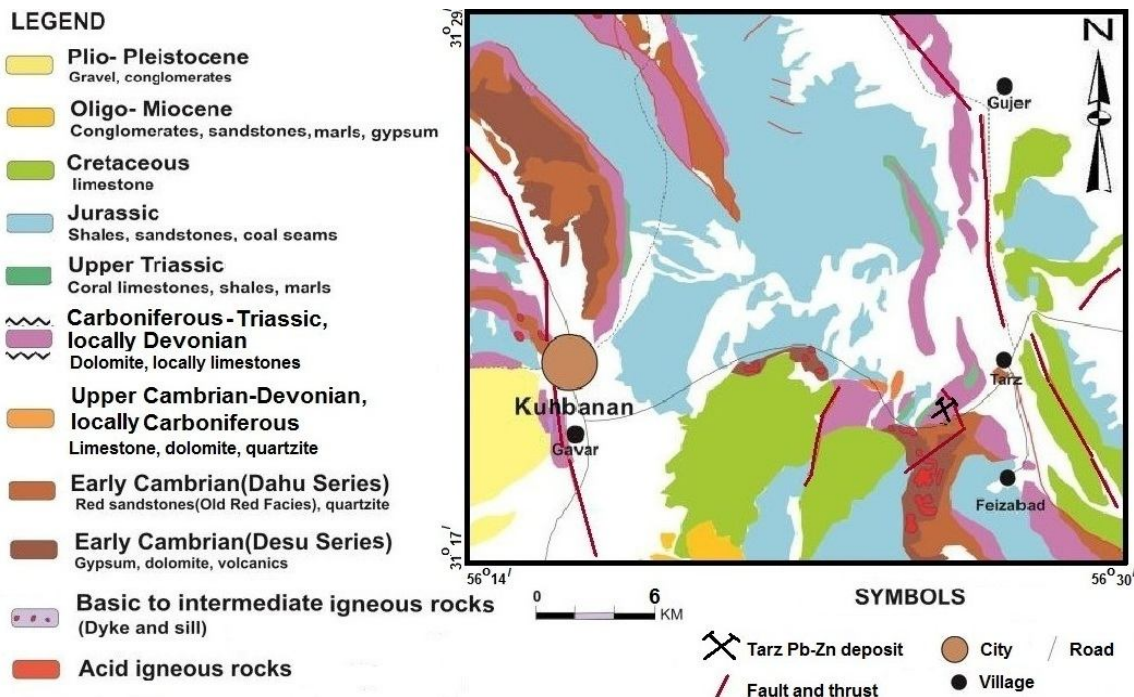
زمین‌شناسی

۲۰۱۳). واحدهای سنگی در این ناحیه از قدیم به جدید به شرح زیر است (Hukeride et al., 1962; Aghanabati, 2004; Amiri, 2007). کربنات‌های استراماتولیتی با میان‌لایه‌های گچ موسوم به گروه دسو، قدیمی‌ترین واحدهای سنگی این ناحیه هستند. توالی ضخیم سنگ‌های آواری سازند داهو (ماسه‌سنگ قرمز، شیل و کنگلومرا) بر روی گروه دسو قرار گرفته است.

ناحیه معدنی کوهبنان-بهباد بر روی پهنه زمین‌ساختی ایران مرکزی، در شمال استان کرمان و جنوب شرق استان یزد قرار دارد. در ناحیه یادشده، نشانه‌های سرب-روی متعددی در واحدهای سنگی آهکی-شیلی و دولومیتی پرموتریاس گزارش شده است (Samani-Rad, 1999; Rajabi et al.,

ماسه‌سنگ حاوی زغال به سن ژوراسیک و آهک‌های کرتاسه قرار گرفته است. دایک و سیل‌های دلریتی طبقات کامبرین تا کرتاسه را قطع کرده‌اند. قاعده دولومیت شتری به‌عنوان میزبان ذخایر سرب-روی منطقه راور-کوهبنان در نظر گرفته شده است (شکل‌های ۲ و ۳). از لحاظ ساختاری در این ناحیه گسل‌های مهمی نظیر بهاباد و کوهبنان با راستای شمال‌غربی-جنوب‌شرقی نقشی مهم در کانه‌سازی منطقه ایفا کرده است (Amiri et al., 2005).

واحدهای کربناتی سازند کوهبنان (معادل سازند میلا در البرز) سازند داهو را می‌پوشاند. در بنیان سازند کوهبنان واحد کنگلومرای چرتی قرار گرفته است. بعد از سازند کوهبنان با ناپوستگی هم‌شیب، واحدهای کربناتی پرمین بالایی قرار دارند. این سنگ‌های کربناتی (آهک و آهک دولومیتی شده با میان‌لایه‌های دارای گچ) میزبان اصلی کانسارهای سرب و روی این ناحیه هستند. این واحد سنگی توسط نهشته‌های کربناتی دولومیت و آهک تریاس پوشیده شده است. این واحد قابل‌قیاس با سازند نایبند است. بر روی آنها شیل‌های سیاه تا سبز رنگ و



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی ناحیه معدنی طرز از هوکریده و همکاران (Hukeride et al., 1962) و امیری (Amiri, 2007)

Fig. 2. Geologic map of Tarz mining district (Hukeride et al., 1962; Amiri, 2007)

تهیه و مطالعه مقاطع نازک و صیقلی برای بررسی سنگ‌نگاری، دگرسانی، کانه‌نگاری، بافت و همیافت کانی‌ها، تجزیه شیمیایی ۵ نمونه سنگ معدن به‌روش طیف‌سنج نشری پلاسما جفت‌شده الفائی^۱ در آزمایشگاه شرکت مطالعات مواد معدنی زرآما برای بررسی ژئوشیمی عناصر اصلی و کمیاب، تهیه و

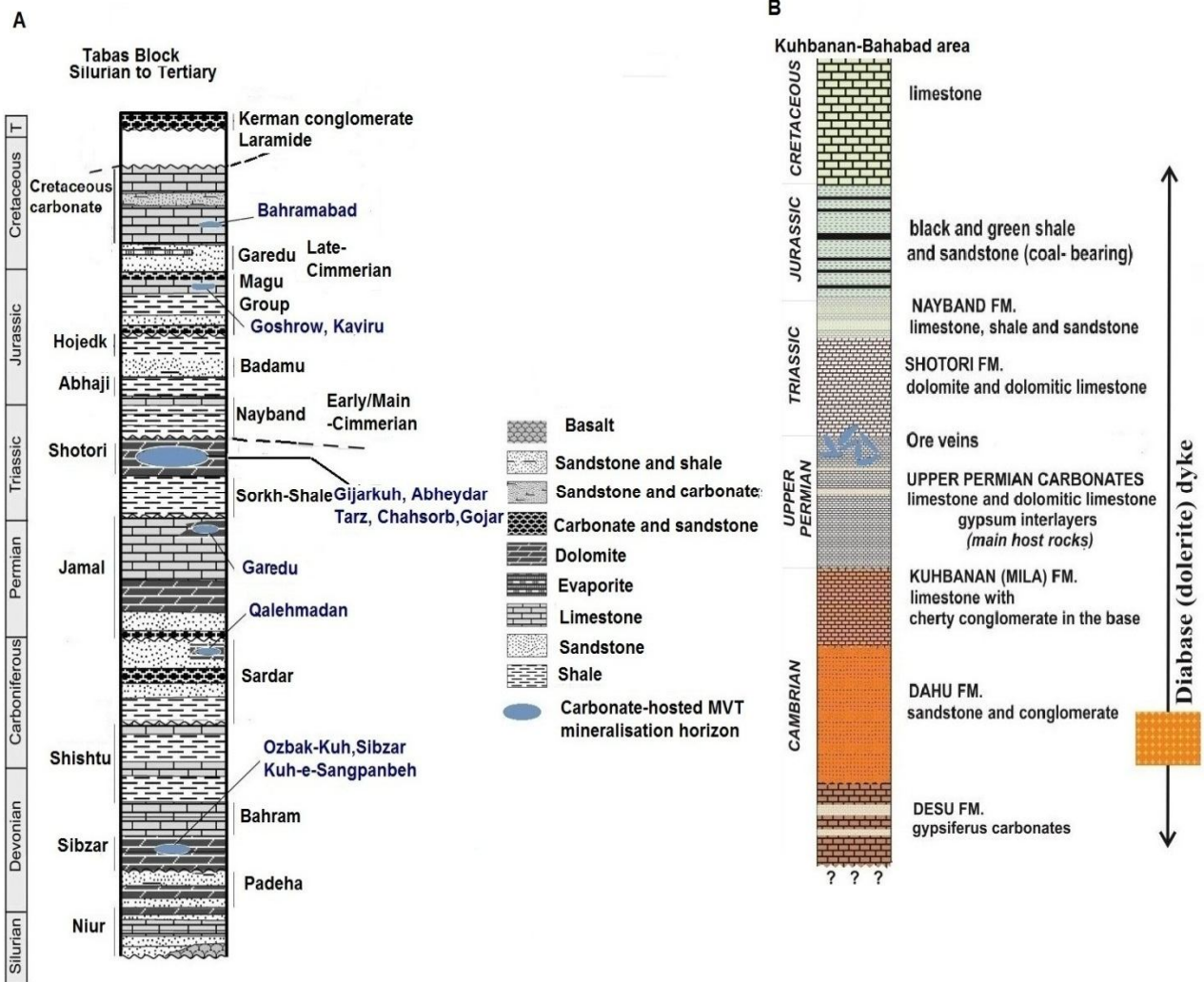
روش مطالعه

پس از بررسی‌های صحرایی، نمونه‌برداری از واحدهای سنگی منطقه، واحدهای کانه‌دار از ترانشه‌ها و تونل‌های معدن انجام شد. بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی به‌صورت زیر انجام شده است:

1. ICP-ES

درگیر، تعیین نوع و اندازه آنها، سپس اندازه‌گیری‌ها به وسیله میکروسکوپ پلاریزان Zeiss مجهز به سیستم گرم‌کننده و منجمدکننده Linkam THMSG600 انجام شد.

مطالعه مقاطع نازک دوبرصیقل برای بررسی‌های میکروترموتری سیالات درگیر بعد از انجام بررسی‌های پتروگرافی بر روی میان‌بارهای سیالات



شکل ۳. توالی ستون چینه‌شناسی کلی و موقعیت افق‌های کانه‌زایی از A: بلوک طبس (Rajabi et al., 2013) و B: ناحیه کوهبنان-بهباد (Amiri, 2017)

Fig. 3. Generalized lithostratigraphic column and location of their ore bearing horizons of A: Tabas block (Rajabi et al., 2013), and B: Kuhbanan-Bahabad area (Amiri, 2017)

و رگه-رگچه‌ای در امتداد گسل‌های فرعی با راستای تقریبی شمال‌غرب-جنوب‌شرق صورت گرفته است. ساختارهای کنترل‌کننده کانه‌زایی در این کانسار شامل گسل‌ها، شکستگی‌ها، برشی‌شدن و حفره‌های انحلالی ناشی از کارستی‌شدن سنگ میزبان است. رخداد کانی‌سازی به صورت

کانه‌زایی

بر اساس بررسی‌های صحرائی، نمونه‌دستی و میکروسکوپی، کانه‌زایی در ناحیه معدنی طرز به صورت غیرهم‌زمان (اپی ژنتیک) در دولومیت‌های سازند شتری رخ داده است. کانی‌سازی سرب و روی در کانسار طرز به صورت عدسی‌شکل

۱- کانی‌های درون‌زاد سولفیدی شامل: پیریت، اسفالریت، گالن و به مقدار بسیار جزئی کالکوپیریت، ۲- کانی‌های برون‌زاد سولفیدی شامل: کوولیت و ۳- کانی‌های زون اکسیدی شامل: اسمیت‌سونیت، هیدروزینسیت، همتیت، لیمونیت، گوتیت، مالاکیت و اکسیدهای منگنز. کانی‌های سولفیدی به صورت یوهدرال تا انهدرال با بافت پرکننده فضای خالی و جانشینی تشکیل شده‌اند.

اسفالریت به عنوان یکی از کانی‌های مهم اقتصادی در معدن طرز به صورت رگه-رگچه‌ای درشت‌بلور تا ریزبلور و پرکننده فضاهای خالی یافت می‌شود. اسفالریت‌های رگه‌ای در اندازه‌های ریز تا درشت انهدرال تا یوهدرال رخ داده و کلسیت و دولومیت زمینه سنگ میزبان را تشکیل داده است. نتایج بررسی‌های میکروسکوپی نشان داده است که اسفالریت حاوی ذرات کربنات است. این ویژگی نشان‌دهنده جایگزینی آن در سنگ میزبان کربناته است و به صورت غیرهمزاد (اپی ژنتیک) رخ داده است. کانی‌سازی اسفالریت در دو مرحله شکل گرفته است: ۱- هم‌زمان تشکیل پیریت به صورت پرکننده فضای خالی بوده است و ۲- جانشین نسل‌های قبلی سولفیدی شده است. در نمونه‌های سنگ معدن کانسار طرز، اسفالریت به صورت جانشینی در سنگ میزبان دولومیتی (شکل ۴-A) و ادخال در گالن (شکل ۴-B) و C) مشاهده می‌شود. گالن به عنوان فراوان‌ترین کانی سولفیدی به صورت شکل دار، درشت‌بلور تا ریز بلور به صورت رگه-رگچه‌ای و پرکننده فضای خالی مشاهده می‌شود. برخی از کانه‌های گالن دارای قطعات گردشده اسفالریت هستند. این ویژگی نشان می‌دهد که از لحاظ توالی کانی‌شناسی، رخداد بخشی از کانه‌های گالن بعد از تشکیل اسفالریت بوده است. ذرات کالکوپیریت اغلب همراه پیریت (شکل ۵-A) و اسفالریت‌های نسل ۱ مشاهده می‌شود (شکل ۵-B).

کوولیت به صورت ثانویه طی مرحله برون‌زاد تشکیل شده است. از آنجایی که فراوانی کوولیت در نمونه‌های سنگ معدن بیش از کالکوپیریت است؛ لذا نتیجه‌گیری شد که تقریباً اغلب کالکوپیریت‌ها تحت تأثیر غنی‌سازی سوپرژن به کوولیت تبدیل

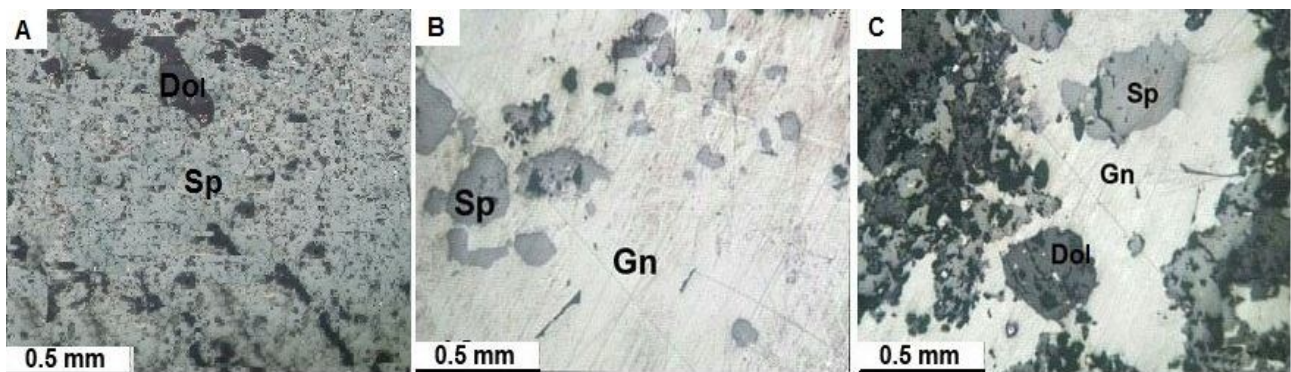
جانشینی، پرکننده فضاهای خالی و شکستگی‌های سنگ میزبان است. دگرسانی سنگ دیواره شامل دولومیتی شدن و به میزان کمتر سیلیسی شدن است. در کانسار طرز همانند سایر کانسارهای سرب-روی مهم ایران نظیر ایرانکوه (Karimpour et al., 2017)، با نزدیک شدن به زون‌های کانی‌سازی، شدت دگرسانی دولومیتی شدن نیز افزایش یافته است. لذا از رخداد آن می‌توان به عنوان راهنمای اکتشافی برای کانه‌سازی سرب و روی استفاده کرد. بررسی‌های متعددی نشان داده است که دولومیتی شدن در ذخایر سرب-روی قبل از کانی‌سازی سولفیدی حادث شده است (Peace and Wallace, 2000; Wright, 2001). دولومیتی شدن در منطقه مورد بررسی قبل و هم‌زمان با کانه‌سازی سولفیدی رخ داده است. سه نسل از دولومیت در منطقه مورد بررسی شناسایی شد. دولومیت‌های نسل اول، به صورت دانه‌ریز با منشأ دیاژنزی هستند. این نسل از دولومیت دارای گسترشی وسیع است. دولومیت‌های نسل دوم، دانه درشت‌تر از نسل اول بوده است. جایگزینی بلورهای دولومیت این نسل توسط کانی‌های سولفیدی، نشان‌دهنده تقدم تشکیل این نسل از دولومیت نسبت به کانی‌سازی سولفیدی است. دولومیت‌های نسل سوم، هم‌زمان با کانه‌سازی سولفیدی، تا مراحل آخر کانه‌زایی به صورت هم‌رشد با کانی‌های سولفیدی تشکیل شده است. کانه‌ها در این کانسار به دو بخش سولفیدی و غیرسولفیدی تقسیم می‌شوند. اسفالریت و گالن، کانه‌های اصلی و اولیه و اسمیت‌سونیت کانه ثانویه اقتصادی در کانسار طرز هستند. در ادامه شرح مختصری از کانی‌ها و نحوه رخداد آنها آورده شده است.

کانه‌نگاری

یکی از اهداف مهم و اصلی در بررسی کانسارها، بررسی کانی‌شناسی برای تعیین نوع کانه‌ها، باطله‌های موجود در سنگ معدن، ساخت، بافت و توالی تشکیل کانی‌هاست. بر پایه مشاهدات صحرائی و بررسی مقاطع میکروسکوپی از نمونه‌های برداشت شده از تراشه‌ها، تونل‌ها و رخنمون‌ها، کانی‌های فلزی منطقه مورد بررسی به سه دسته تقسیم شده است که عبارتند از:

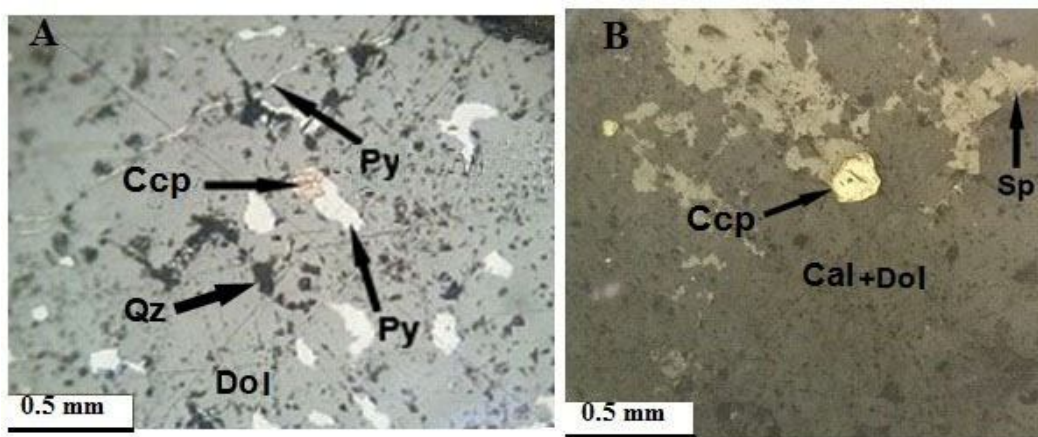
کانی‌های غیرسولفیدی ریزبلسورین به‌عنوان کالامین (اسمیت‌سونیت و هیدروزینسیت) در داخل سنگ میزبان دولومیتی در حفره‌ها و سطوح شکستگی‌ها یافت می‌شود (شکل ۶-۳).

شده‌اند (شکل ۶-۳ و B). در زون اکسیدان سطوح بالایی کانسار طرز، کانی‌های غیر سولفیدی اسمیت‌سونیت، هیدروزینسیت، مالاکیت، اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن تشکیل شده‌اند. کانی‌های ثانویه به‌طور کامل یا بخشی جانشین سولفیدهای سرب-روی در درزه و شکستگی‌ها شده‌اند.



شکل ۴. تصاویر میکروسکوپی از کانه‌های کانسار طرز. A: اسفالریت به‌صورت جانشینی در دولومیت، B: ادخال‌هایی از کانی اسفالریت در گالن و C: ادخال‌هایی از کانی اسفالریت و دولومیت در گالن. علائم اختصاری کانی‌ها از ویتنی و اوانز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است (Sp: اسفالریت، Gn: گالن، Dol: دولومیت).

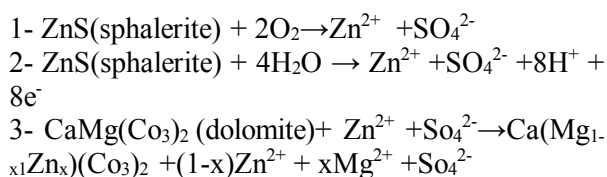
Fig. 4. Photomicrographs of ore minerals in the Tarz deposit. A: Sphalerite replacing dolomite, B: Inclusions of sphalerite in galena, and C: Inclusions of sphalerite and dolomite in galena. Abbreviations of minerals from Whitney and Evans (2010) (Sp: sphalerite, Gn: galena, Dol: dolomite).



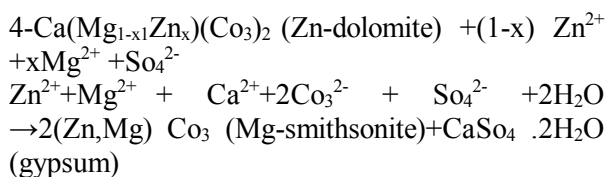
شکل ۵. تصاویر میکروسکوپی نور انعکاسی از کانه‌های کانسار طرز A: پیریت (نسل ۱) و کالکوپیریت جانشین شده در دولستون، رگچه پیریت (نسل ۲) و B: کالکوپیریت و اسفالریت جانشین شده در سنگ کربناتی. علائم اختصاری کانی‌ها از ویتنی و اوانز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است (Sp: اسفالریت، Cal: کلسیت، Dol: دولومیت، Ccp: کالکوپیریت، Qz: کوارتز، Py: پیریت).

Fig. 5. Microscope reflected light photographs of ore minerals in the Tarz deposit. A: Pyrite (generation 1) and chalcopyrite replaced in dolostone, veinlet of pyrite (generation 2), and B: Chalcopyrite and sphalerite replaced in carbonate rock. Abbreviations of minerals from Whitney and Evans (2010) (Sp: sphalerite, Cal: calcite, Dol: dolomite, Ccp: chalcopyrite, Qz: quartz, Py: pyrite)

(۱) اکسیداسیون اسفالریت



(۲) تشکیل کربنات‌های حاوی روی



اسمیت‌سونیت^۱ فراوان‌ترین کانی غیرسولفیدی ثانویه در منطقه مورد بررسی به دو شکل ایجاد شده است: ۱- اسمیت‌سونیت جایگزین شده در دولومیت و ۲- پرکننده فضای خالی سنگ میزبان. مراحل تشکیل کانه‌های ثانویه به‌طور خلاصه شامل: ۱- اکسایش سولفیدهای اصلی (اسفالریت، پیریت و گالن) و انتشار فلزات در محلول‌های اسیدی حاصل از هوازدگی، ۲- نتیجه تأثیر محلول‌های اسیدی بر سنگ میزبان دولومیتی، سبب جاننشینی دولومیت و کلسیت توسط نهشته‌های ثانویه روی شده است. واکنش‌های احتمالی در این جاننشینی به‌صورت زیر است (Mondillo et al., 2014):



شکل ۶. A و B: تصاویر میکروسکوپی نور انعکاسی از کالکوپیریت جاننشین شده توسط کوولیت و C: تصویر نمونه دستی از اسمیت‌سونیت در کانسار طرز. علائم اختصاری کانی‌ها از ویتنی و اوانز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است (Sp: اسفالریت، Gn: گالن، Cv: کوولیت).

Fig. 6. A and B: Microscope reflected light photographs of chalcopyrite replaced by covellite, and C: Hand specimen photograph of smithsonite in the Tarz deposit. Abbreviations of minerals from Whitney and Evans (2010) (Sp: sphalerite, Gn: galena, Cv: covellite).

آهن را دربرگرفته است. مالاکیت در برخی از نقاط زون اکسیدی کانسار مورد بررسی مشاهده می‌شود. در نمونه‌های سنگ معدن، اکسید منگنز بارنگ سیاه به‌صورت دانه‌پراکنده است.

بر اساس بررسی‌های میکروسکوپی بر روی نمونه‌های سنگ معدن، نتیجه‌گیری می‌شود که کانه‌سازی درون‌زاد طی دو مرحله انجام شده است. مرحله ۱: با تشکیل کانی‌های کربناته (کلسیت و دولومیت) همراه بوده است. فرایند دولومیتی شدن سنگ‌های

انحلال جزئی دولومیت توسط محلول اسیدی (حاصل از هوازدگی) و جایگزینی آن توسط روی موجب تشکیل دولومیت‌های حاوی روی و اسمیت‌سونیت شده است. اسمیت‌سونیت‌های ته‌نشین شده در حفره‌ها و فضاهای خالی سنگ میزبان به‌صورت دانه‌ریز و ریزبلورین رخ داده است. هماتیت و اکسیدهای آهن در اثر چرخش آب‌های جوی در قسمت‌های بالایی کانسار از اکسیداسیون پیریت به‌دست آمده است. هماتیت به‌صورت ورقه‌های تیره رنگ، هیدروکسیدهای

است. تمرکز نسبتاً بالای کادمیوم در سنگ معدن احتمالاً متأثر از جانشینی این عنصر با روی است (Qian, 1987). عناصر سرب، روی و کادمیوم از مهم‌ترین عناصر کانه‌ساز در کانسارهای سرب-روی با سنگ میزبان کربناته هستند (Leach et al., 2005). میانگین غلظت مس در نمونه‌های مورد بررسی ۵۷۲ ppm محاسبه شد. بررسی‌های کانه‌شناسی نشان‌دهنده حضور بخشی از این عنصر در کانی‌های ثانویه مس نظیر کولیت و مالاکیت است. میانگین نقره در نمونه‌های مورد بررسی ppm ۳۰/۰۶ محاسبه شد. با توجه به نزدیکی شعاع یونی سرب (A^0) $Pb^{+2}=1/2$ و نقره ($Ag^+=1/26 A^0$)، جانشینی نقره با سرب امکان‌پذیر است. منشأ عناصر در ذخایر کربناته به سنگ‌های مولد سیال و در مسیر حرکت محلول گرمابی نسبت داده می‌شود (Viets et al., 1992).

کربناته موجب افزایش تخلخل سنگ میزبان کانه‌زایی شده است. در این مرحله اسفالریت، پیریت و به مقدار بسیار جزئی کالکوپیریت تشکیل شده است (شکل‌های ۵ و ۷)، مرحله ۲: مهم‌ترین مرحله کانی‌سازی سرب-روی است. کانی‌های سولفیدی (اغلب اسفالریت و گالن) جایگزین کانی‌های کربناتی شده است (شکل ۷).

ژئوشیمی

نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌های سنگ معدن طرز در جدول ۱ آمده است. مقادیر سرب و روی به‌عنوان عناصر اصلی کانه‌ساز در منطقه مورد بررسی، در برخی از نمونه‌های سنگ معدن به ترتیب به ۲۹/۸۵ و ۳۷/۱۸ درصد وزنی می‌رسد که بررسی‌های کانه‌شناسی نیز آن را تأیید می‌کند. غلظت کادمیوم در نمونه‌های مورد بررسی بین ۴۹ ppm تا ۹۴۹۳ (میانگین: ۲۲۵۲ ppm)

Periods	Pre-mineralization	Mineralization		
		Hypogene		Supergene
Stages	Cal+Dol	Stage I	Stage II	
Mineral assemblages				
Calcite	██████████	██████████	██████████	
Dolomite	██████████	██████████	██████████	
Pyrite		██████████	██████████	
Sphalerite		██████████	██████████	
Galena		██████████	██████████	
Quartz		██████████		
Chalcopyrite		██████████		
Covellite				██████████
Malachite				██████████
Smithsonite				██████████
Hydrozincite				██████████
Hematite				██████████
Limonite				██████████
Goethite				██████████

شکل ۷. توالی همیافتی کانسار سرب-روی طرز. علائم اختصاری کانی‌ها از ویتنی و اوآنز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است (Cal: کلسیت، Dol: دولومیت).

Fig. 7. Mineral paragenesis of the Tarz Pb–Zn deposit. Abbreviations of minerals from Whitney and Evans (2010) (Cal: calcite, Dol: dolomite).

جدول ۱. مقادیر عناصر اصلی و فرعی نمونه‌های کانسار طرز

Table 1. Major and trace element contents of samples from the Tarz deposit (S.N=Sample number)

S.N	Ag ppm	As ppm	Ca %	Cd ppm	Cu ppm	Fe %	Mg ppm	Pb %	S %	Sb ppm	Si %	Zn %
1	47.9	26.8	1	1407.5	496	0.17	0.5399	15.23	15.17	78.3	0.03	26.37
2	64.5	76	0.3	9493	597	0.18	0.0561	29.85	20.61	91.4	0.13	37.18
3	8.1	0.1	21.45	176.9	20	0.2	11.97	1.2772	0.923	0.5	0.42	1.32
4	22.1	0.2	2.13	49	1732	40.53	1.0642	0.3834	42.39	11.1	0.04	1.75
5	7.7	0.4	21.45	137.7	17	0.21	11.97	1.3941	0.875	0.5	0.42	1.32

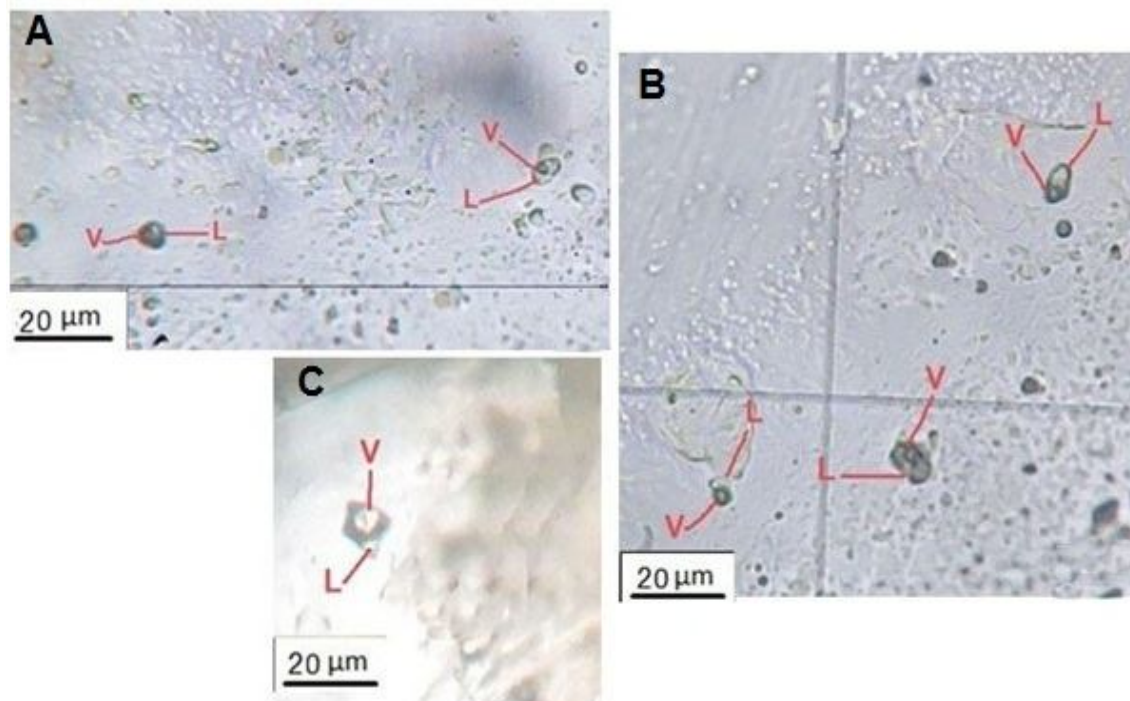
سیالات درگیر

بررسی سیالات درگیر بر روی کانی کلسیت تشکیل شده در طی مراحل مختلف کانه‌زایی از رخنمون‌ها، ترانشه‌ها و سطوح عمیق دارای رگه‌های حاوی کانه‌سازی انجام شد. سیالات درگیر به سه گروه اولیه، ثانویه و ثانویه دروغین تقسیم می‌شوند (Goldstein and Reynolds, 1994). در نمونه‌های مورد بررسی، سیالات درگیر ثانویه و ثانویه دروغین دارای اندازه‌های بسیار ریز هستند. بررسی‌های میکروترموتری بر روی سیالات درگیر اولیه و با اندازه بزرگ‌تر از $5\mu\text{m}$ انجام شد. سیالات درگیر اولیه در اندازه‌های $5-15\mu\text{m}$ به صورت کروی، بیضوی، کشیده، میله‌ای، نیمه‌شکل دار، نامنظم و به ندرت دارای شکل بلور منفی هستند.

سیالات درگیر به صورت تجمعات خوشه‌ای، منفرد و خطی در کانی کلسیت مشاهده شد. بر پایه نوع و درصد فازهای موجود در سیالات درگیر (Roedder, 1984; Shepherd et al., 1985)، دو نوع سیال درگیر در نمونه‌های مورد بررسی مشاهده شد. سیالات درگیر دوفازی غنی از مایع (LV) دارای ۲ تا ۲۰ درصد حجمی فاز بخار در اثر حرارت دادن به فاز مایع تبدیل می‌شوند (شکل ۸-A و B). تعداد اندکی از سیالات درگیر دوفازی غنی از فاز بخار (VL) در مقاطع مورد بررسی شناسایی شد (شکل ۸-C). سیالات درگیر به صورت تک‌فاز مایع

و تک‌فاز بخار در اندازه‌های کمتر از $8\mu\text{m}$ به صورت کروی و نامنظم مشاهده شد. بررسی‌های میکروترموتری بر روی سیالات درگیر اولیه دوفازی غنی از مایع (LV) در اندازه‌های بزرگ‌تر از $5\mu\text{m}$ انجام شد. برای محاسبه درجه شوری (معادل درصد وزنی NaCl) سیالات درگیر از روی آخرین دمای ذوب یخ با استفاده از معادله بودنار (Bodnar, 1993) محاسبه شد. داده‌های حاصل از بررسی‌های میکروترموتری سیالات درگیر در جدول ۲ خلاصه شده است.

دمای همگن شدن (T_h) از ۸۵ تا ۱۹۶ درجه سانتی‌گراد متغیر است (شکل ۹-A). با توجه به شکل ۹ و توالی همیافتی در کانسار طرز (شکل ۷) می‌توان نتیجه‌گیری کرد که کانه‌زایی در طی دو مرحله رخ داده است. سیالات درگیر محبوس شده در مرحله اولیه کانه‌زایی در دمای بالاتر ۱۴۶ تا ۱۹۶ درجه سانتی‌گراد همگن می‌شوند. دمای ذوب یخ آنها $15/4-$ تا $20/2-$ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد که نشان‌دهنده شوری معادل $18/96$ تا $22/5$ درصد وزنی NaCl است (شکل ۹-B). سیالات درگیر محبوس شده در مرحله ۲، در دماهای پایین‌تر، ۸۵ تا 140 درجه سانتی‌گراد همگن می‌شوند. دمای ذوب یخ این گروه از سیالات درگیر ۱۵- تا ۲۰- درجه سانتی‌گراد متغیر است که بیانگر شوری معادل $18/63$ تا $22/38$ درصد وزنی NaCl است (شکل ۹-B).



شکل ۸. انواع سیالات درگیر در کانی کلسیت کانسار طرز. A و B: سیال درگیر غنی از مایع و C: سیال درگیر غنی از بخار. (L: مایع، V: بخار)
Fig. 8. Fluid inclusion types in the calcite mineral from the Tarz deposit. A and B: Liquid rich inclusion, and C: Vapor rich inclusion. (L: liquid, V: vapor)

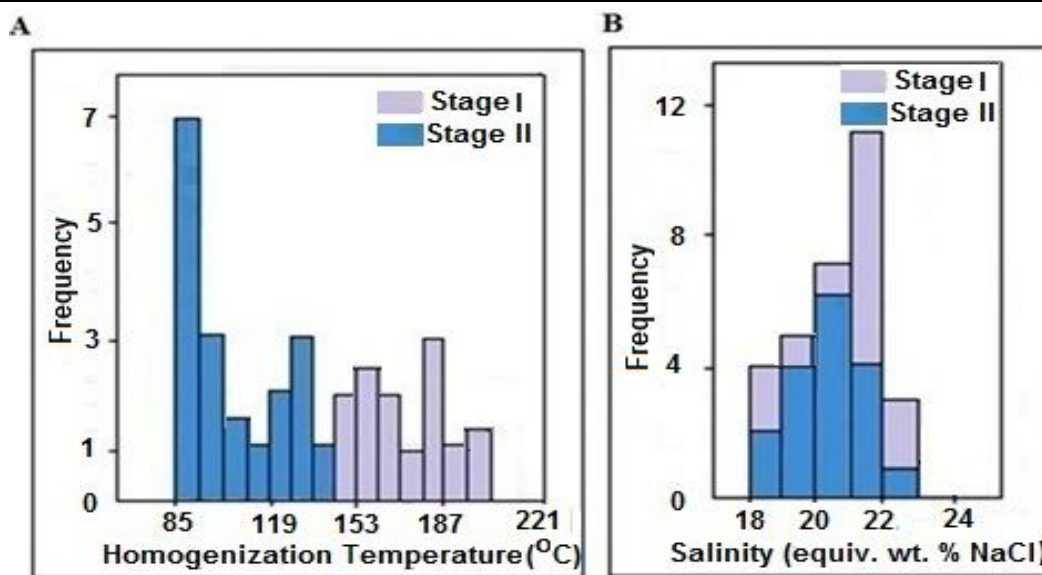
جدول ۲. خلاصه نتایج حاصل از سیالات درگیر اولیه کانسار طرز. (T_h : دمای همگن شدن، $T_{m(ice)}$: دمای ذوب آخرین قطعه یخ، L: مایع، V: بخار)

Table 2. Summary of thermometric data of primary fluid inclusions of the Tarz deposit. (T_h : temperature of homogenization, $T_{m(ice)}$: temperature of final ice melting, L: liquid, V: vapor)

Sample No.	Fluid inclusion type	Number of measurement	T_h (°C)	$T_{m(ice)}$ (°C)	Salinity (wt.% NaCl eq.)
T-31	L+V	15	85 to 180	-14.2 to -16.6	18 to 19.92
T-32	L+V	12	88 to 187	-14.3 to -20	18.04 to 22.38
T-33	L+V	15	98 to 196	-16.2 to -20.2	19.6 to 22.5

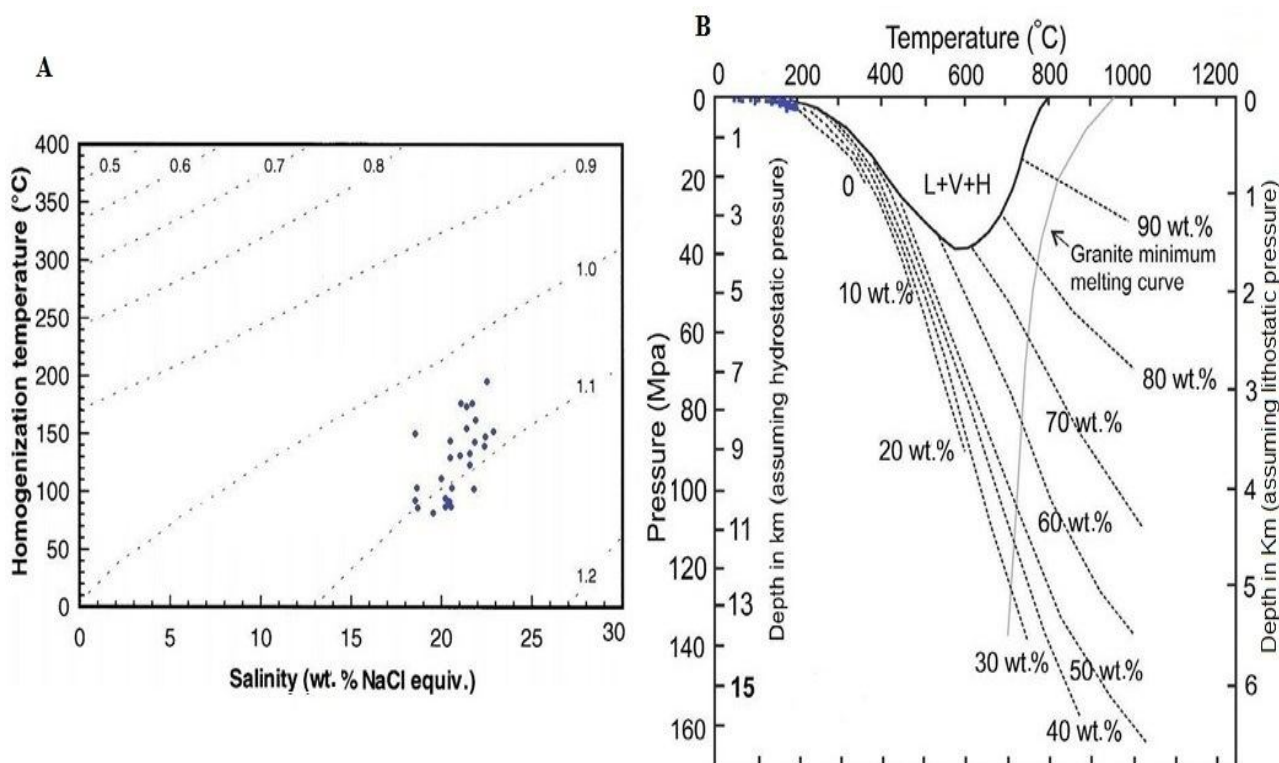
معدن کانسار طرز از نمودار فورنیر (Fournier, 1999) استفاده شد. از توزیع داده‌های حاصل از سیالات درگیر بر روی نمودار بالا، نتیجه‌گیری می‌شود که در طی کانه‌زایی فشار کمتر از ۲۰ Mpa و کانه‌زایی در عمق کمتر از ۱ کیلومتر رخ داده است (شکل B-۱۰).

میزان چگالی سیال گرمایی با استفاده از نمودار ویلکینسون (Wilkinson, 2001) برای سیالات درگیر مورد بررسی محاسبه شد. چگالی سیالات درگیر مورد بررسی بین ۱ تا ۱/۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب است (شکل A-۱۰). برای تخمین فشار در زمان محبوس شدن محلول‌های گرمایی تشکیل دهنده سنگ



شکل ۹. نمودار A: دمای همگن‌شدن و B: میزان شوری سیالات درگیر در مراحل مختلف کانسار طرز

Fig. 9. Histograms of A: Homogenization temperatures, and B: Salinities of fluid inclusions in different stages at Tarz deposit.



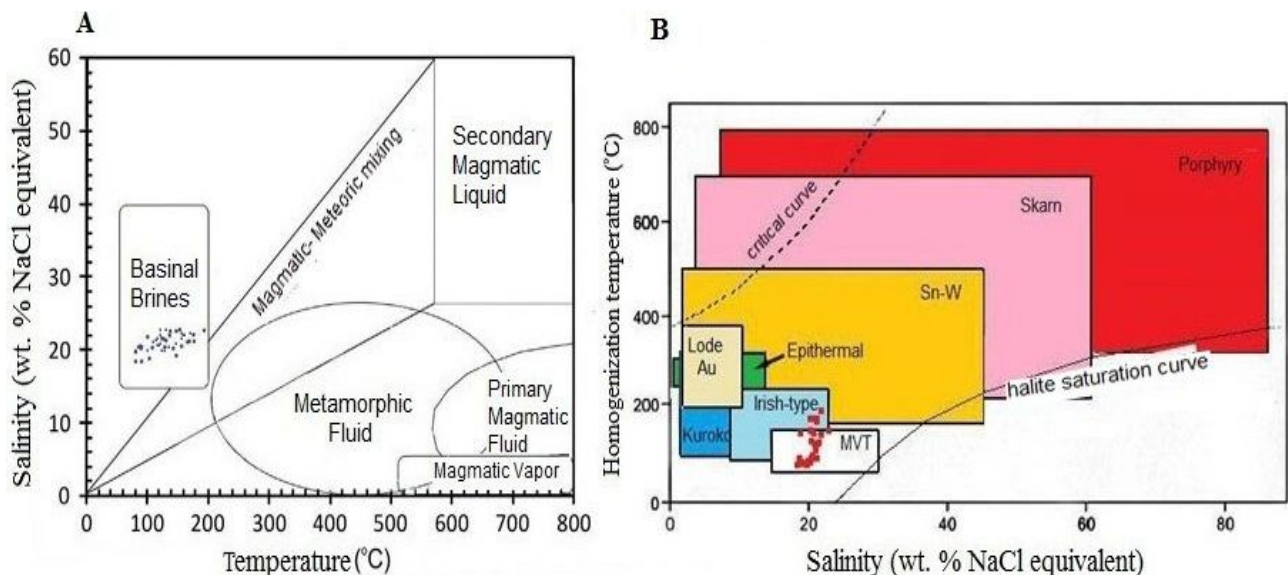
شکل ۱۰. A: نمودار شوری-دمای همگن‌شدن برای محاسبه چگالی سیالات درگیر (Wilkinson, 2001) و B: نمودار فشار-دمای همگن‌شدن در سیستم NaCl-H₂O برای محاسبه فشار لیتوستاتیک و هیدروستاتیک (Fournier, 1999) در کانسار طرز. (L: مایع، V: بخار، H: نمک)

Fig. 10. A: Salinity vs. homogenization temperature diagram shows density for fluid inclusions (Wilkinson, 2001), and B: Pressure-temperature diagram showing phase relationships in the NaCl-H₂O system at lithostatic and hydrostatic pressures (after Fournier, 1999) in the Tarz deposit. (L: liquid, V: vapor, H: halite)

نتیجه گیری

ذخایر سرب-روی با سنگ میزبان کربناتی در حاشیه قاره‌ای غیرفعال، محیط‌های کم‌عمق و جزر و مدی تشکیل می‌شوند (Laznicka, 1985). منطقه مورد بررسی بر روی پهنه زمین‌ساختی ایران مرکزی قرار دارد. ایران مرکزی در جنوب حاشیه غیرفعال اقیانوس پالئوتتیس قرار داشته است (Bagheri and Stampfli, 2008). بر روی این پهنه زمین‌ساختی چندین کانسار و نشانه معدنی سرب-روی نوع دره می‌سی‌سی‌پی نظیر احمدآباد، تاجکوه، آب‌حیدر، گیجرکوه، طرز و غیره تشکیل شده است. کانسارهای یادشده اغلب در سنگ‌های دولومیتی-آهکی پرموتریاس رخ داده‌اند (Rajabi et al., 2013). بررسی سیالات درگیر در کانسار طرز نشان می‌دهد که دمای محلول‌های گرمابی کانه‌دار در مرحله اولیه بالاتر از مرحله تأخیری بوده است. از توزیع داده‌های حاصل از دمای همگن شدن سیالات درگیر در مقابل درجه شوری آنها در نمودار بین (Beane, 1983) نتیجه‌گیری شد که محلول‌های گرمابی حوضه‌ای نقش اصلی را در کانه‌زایی ایفا کرده است

(شکل ۱۱- A). از توزیع داده‌های حاصل از دمای همگن شدن سیالات درگیر در مقابل درجه شوری آنها در نمودار ویلکینسون (Wilkinson, 2001) نتیجه‌گیری شد که بیشتر سیالات درگیر در نمونه‌های مورد بررسی منطبق بر کانسارهای نوع دره می‌سی‌سی‌پی است و فقط تعداد اندکی از سیالات درگیر در محدوده ذخایر سرب-روی نوع ایرلندی قرار گرفته‌اند (شکل ۱۱- B). به نظر می‌رسد که منشأ اصلی محلول‌های گرمابی تشکیل‌دهنده کانسار طرز، شورابه‌های حوضه‌ای هستند که در اثر انباشتگی رسوبات و یا فشار ناشی از فرایندهای کوه‌زایی به حرکت درآمده و پس از عبور از شکستگی‌ها، درزه‌ها و انحلال سنگ‌های کربناته موجب تشکیل کانی‌های سولفیدی شده است. در اثر رخداد دگرسانی دولومیتی شدن در سنگ میزبان کانسار طرز، فضاهای خالی و شکستگی‌های حاصل از فعالیت گسل‌های فرعی با راستای تقریبی شمال‌غرب-جنوب‌شرق در سنگ‌های واکنش‌پذیر کربناتی، محیطی مناسب برای تمرکز محلول‌های گرمابی و نهشته شدن کانی‌های فلزی از محلول‌های گرمابی فراهم شده است.



شکل ۱۱. A: نمودار دمای همگن شدن-درجه شوری با تغییرات از بین (Beane, 1983) نشان‌دهنده نوع سیال گرمابی تشکیل‌دهنده کانسار طرز و

B: نمودار دمای همگن شدن-درجه شوری (Wilkinson, 2001) نشان‌دهنده نوع سیستم گرمابی کانسار طرز

Fig. 11. A: Homogenization temperature versus salinity diagram (modified after Beane, 1983) shows type of hydrothermal fluid in the Tarz deposit, and B: Homogenization temperature versus salinity diagram (Wilkinson, 2001) shows type of hydrothermal system in the Tarz deposit

مقایسه شده است. کانه‌زایی در ذخایر سرب-روی نوع سدکس اغلب به صورت هم‌زمان (سین‌ژنتیک) اتفاق افتاده است. شواهد پتروگرافی از نمونه‌های مورد بررسی از معدن طرز نشان می‌دهد که کانه‌سازی به صورت جانشینی در سنگ‌های کربناتی و به صورت غیرهم‌زمان (اپی‌ژنتیک) رخ داده است.

سنگ معدن کانسار طرز در اثر فرایندهای گرمایی درون‌زاد تشکیل شده و سپس تحت تأثیر فرایندهای برون‌زاد قرار گرفته است. ویژگی‌های زمین‌شناسی کانسار طرز (نظیر موقعیت زمین‌ساختی، نوع کانه‌زایی، دگرسانی) شبیه به بسیاری از ذخایر فلزی در سنگ میزبان رسوبی است. در جدول ۳، کانسار طرز با ذخایر سرب-روی نوع سدکس، ایرلندی و دره می‌سی‌سی‌پی

جدول ۳. مقایسه کانسار طرز با ذخایر نوع سدکس، دره می‌سی‌سی‌پی و ایرلندی. علائم اختصاری کانی‌ها از ویتنی و اوآنز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است (Py: پیریت، Sp: اسفالریت، Dol: دولومیت، Cal: کلسیت، Ccp: کالکوپیریت، Gn: گالن، Po: پیروتیت، Qz: کوارتز، Tr: ترمولیت، Apy: آرسنوپیریت، Brt: باریت، Fl = فلوریت، Ttr: تتراهدریت، Tnt: تنانتیت، Mrc: مارکاسیت، Mag: مگنتیت، Ms: مسکویت، Chl: کلریت).

Table 3. Comparison between the Tarz, SEDEX, MVT and Irish-type Zn–Pb deposits. Abbreviations of minerals from Whitney and Evans (2010) (Py: pyrite, Sp: sphalerite, Dol: dolomite, Cal: calcite, Ccp: Chalcopyrite, Gn: galena, Po: pyrrhotite, Qz: quartz, Tr: tremolite, Apy: arsenopyrite, Brt: barite, Fl: fluorite, Ttr: tetrahedrite, Tnt: Tennantite, Mrc: marcasite, Mag: magnetite, Ms: Muscovite, Chl: chlorite).

Deposit type	Tarz	SEDEX	MVT	Irish-type (MVT subtype)
Tectonic setting	Passive margin and extensional environment	Passive margins and continental rift-sag basins	Passive margin environments and commonly related to extensional domains	Passive margin environments and extensional domain
Host rock	Carbonate-dominated: dolostone and limestone	Clastic-dominated: variety of host rocks: shale, carbonate, coarse clastics	Carbonate-dominated: dolostone and limestone, rarely in sandstone	Carbonate-dominated: carbonate rocks
Ore mineral	Abundant Sp, Gn, and Py, Trace Ccp	Py, Po, Sp, Gn, Ccp, trace Apy, Mag and Ttr	Sp, Gn, Py and Mrc	Abundant Sp, Gn and Py, less Mrc, minor Ccp and Tnt
Metallogenesis	Epigenetic	Syngenetic	Epigenetic	Epigenetic
Gangue mineral	Cal, Dol and minor Qz	Qz, Cal, Brt, Chl, Ms	Dol, Cal, minor Brt and rare Fl	Dol, Brt, Cal and minor Qz
Alteration	Dolomitization, carbonation, minor silicification	Silicification, tourmalinization, sericitization, chloritization	Dolomitization, host-rock dissolution, and brecciation	Dolomitization, carbonation
Mineralizing type	Vein filling, Replacement of carbonate rocks and open-space fill	Typical fine-grained, laminated and stratiform	Replacement of carbonate rocks and to a lesser extent, open-space fill	A variety of massive, disseminated, breccia- and vein filling
Fluid inclusions	18 to 22.5 wt.% NaCl eqv., 85 to 196°C	10 to 30 wt.% NaCl eqv., 120 to 200°C and concentrated around 225 °C	10 to 35 wt.% NaCl eqv., 50 °C to about 250 °C	4 to 31 wt.% NaCl eqv., 70 to 280 °C, some of them even concentrated around 280 °C
References	This study	(Leach et al., 2005)	(Leach et al., 2005)	(Wilkinson et al., 2005)

کانه‌زایی در کانسار طرز بوده است. کنترل‌کننده‌های ساختاری به‌عنوان عامل اصلی در نقل و انتقال سیالات گرمایی در مقیاس ناحیه‌ای و معدنی در نظر گرفته می‌شوند (Jazi et al., 2015). هیچ‌گونه شواهدی از کانه‌سازی سولفیدی لایه‌ای در کانسار طرز مشاهده نشد. ویژگی‌هایی نظیر ساختار زمین‌ساختی، عدم ارتباط با سنگ‌های ماگمایی، دگرسانی سنگ میزبان، چینه‌کران بودن زون کانه‌زایی، کانه‌زایی به‌صورت غیرهمزاد (اپی ژنتیک)، نوع و بافت کانه‌ها، دمای همگن شدن و شوری سیالات درگیر نشان می‌دهد که فرایند کانه‌سازی در کانسار طرز شبیه به ذخایر نوع دره می‌سی‌سی‌پی است.

قدردانی

از آقای مهندس بحرینی و احمدی که در عملیات صحرائی و نمونه‌برداری مساعدت نموده‌اند، تشکر و سپاسگزاری می‌شود.

سنگ میزبان ذخایر سرب-روی نوع سدکس، تخریبی است؛ درحالی‌که توالی کربناتی-دولومیتی، سنگ میزبان ذخیره طرز است. کانی‌های فلزی در ذخایر سرب-روی نوع سدکس به‌صورت دانه‌ریز و دارای بافت لایه‌ای هستند؛ ولی نوع غالب کانی‌سازی در منطقه مورد بررسی، رگه-رگچه‌ای و پر کردن فضای خالی است. ویژگی‌های زمین‌شناسی کانسار طرز شباهت‌های زیادی با ذخایر سرب-روی نوع دره می‌سی‌سی‌پی دارد. نظر به اینکه دمای همگن شدن سیالات درگیر ذخایر سرب-روی نوع دره می‌سی‌سی‌پی ۵۰ تا ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شده است (Leach et al., 2005)، این محدوده دمایی قابل مقایسه با دمای همگن شدن سیالات درگیر نمونه‌های مورد بررسی در کانسار طرز (۸۵ تا ۱۹۶ درجه سانتی‌گراد) است. از آنجایی‌که حداکثر تمرکز ماده معدنی در امتداد گسل‌های فرعی با راستای شمال‌غربی-جنوب‌شرقی رخ داده است؛ بنابراین گسل‌ها و شکستگی‌ها، عامل کنترل‌کننده ساختاری برای

References

- Aghanabati, A., 2004. Geology of Iran. Geological Survey of Iran, Tehran, 586 pp. (in Persian).
- Alavi, M., Vaziri, H., Seyed-Emami, K. and Lasemi, Y., 1997. The Triassic and associated rocks of the Naxhlaq and Aghdarband areas in central and northeastern Iran as remnants of the southern Turonian active continental margin. Geological Society of America Bulletin, 109(12): 1563–1575.
- Amiri, A., 2007. The Geological and geochemical characteristics and genesis of the carbonate-hosted zinc-lead deposits in the Ravar-Bafgh area. Ph.D. dissertation, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran, 315 pp.
- Amiri, A., 2017. Mineralogical evolutions of carbonate-hosted Zn-Pb-(F-Mo) deposits in Kuhbanan-Bahabad area, Central Iran: metal source approach. Journal of Tethys, 5(1): 1–32.
- Amiri, A., Ghourbani, M., Akbarzadeh, A. and Shojaei-Baghini, S.V., 2005. A new approach to the zinc and lead non-sulphide strata-bound ore deposits in the Kuhbanan-Bahabad Area. 9th Symposium of Geological Society of Iran, Kharazmi University, Tehran, Iran.
- Bagheri, S. and Stampfli, G.M., 2008. The anarak, Jandagh and Posht-e-badam metamorphic complexes in central Iran: New geological data, relationships and tectonic implications. Tectonophysics, 451(1): 123–155.
- Beane, R.E., 1983. The Magmatic-Meteoritic Transition. Geothermal Resources Council, California, Report 13, 10 pp.
- Bodnar, R.J., 1993. Revised equation and table for determining the freezing point depression of H₂O-NaCl solutions. Geochimica et Cosmochimica Acta, 57(3): 683–684.
- Fournier, R.O., 1999. Hydrothermal processes related to movement of fluid from plastic into brittle rock in the magmatic-epithermal environment. Economic Geology, 94(8): 1193–1212.
- Goldstein, R.H. and Reynolds, T.J., 1994. Systematics of fluid inclusions in diagenetic

- minerals. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Tulsa, 199 pp.
- Hukeride, R., Kürsten, M. and Venzlaff, H., 1962. Zur geologie des gebiets zwischen Kerman und Saghand (Iran). Beihefte zum Geologischen Jahrbuch, Hannover, Report 51, 197 pp.
- Jazi, M.A., Karimpour, M.H. and Malekzadeh-Shafaroudi, A., 2015. Mineralization, geochemistry, fluid inclusion and sulfur stable isotope studies in the carbonate hosted Baqoroq Cu-Zn-As deposit (NE Anarak). Journal of Economic Geology, 7(2): 179-202. (in Persian)
- Karimpour, M.H., Malekzadeh-Shafaroudi, A., Esmaeili-Sevieri, A., Shabani, S., Allaz, J.M. and Stern, C.R., 2017. Geology, mineralization, mineral chemistry, and chemistry and source of ore -fluid of Irankuh Pb-Zn mining district, south of Isfahan. Journal of Economic Geology, 9(2): 267-294. (in Persian with English abstract)
- Laznicka, P., 1985. Empirical metallogeny: depositional environments, Lithologic Associations and Metallic Ores. Elsevier, Amsterdam, 1758 pp.
- Leach, D., Sangster, D., Kelley, K., Large, R.R., Garven, G., Allen, C., Gutzmer, J. and Walters, S., 2005. Sediment-hosted lead-zinc deposits: a global perspective. Economic Geology, 100(1): 561-607.
- Mondillo, N., Boni, M., Balassone, G., Joachimski, M. and Mormone, A., 2014. The Jabali nonsulfide Zn-Pb-Ag deposit, western Yemen. Ore Geology Reviews, 61(1): 248-267.
- Peace, W.M. and Wallace, M.W., 2000. Timing of mineralization at the Navan Zn-Pb deposit: a post-Arundian age for Irish mineralization. Geology, 28(8): 711-714.
- Qian, Z., 1987. Trace elements in galena and sphalerite and their geochemical significant in distinguishing the genetic type of Pb-Zn ore deposits. Geochemistry, 6(2): 177-190.
- Rajabi, A., Rastad, E. and Canet, C., 2012. Metallogeny of cretaceous carbonate hosted Zn-Pb deposits of Iran: geotectonic setting and data integration for future mineral exploration. Internatinal Geology Review, 54(14):1649-1672.
- 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, 60(2): 197-216.
- Roedder, E., 1984. Fluid Inclusions: Reviews in Mineralogy. Mineralogical Society of America, Washington, 644 pp.
- Samani- Rad, S., 1999. Geology, mineralogy and genesis of Duna Pb deposit from Central Alborz. M.Sc. Thesis, Islamic Azad University, Tehran, Iran, 149 pp.
- Shepherd, T.J., Rankin, A.H. and Alderton, D.H.M., 1985. A Practical Guide to Fluid Inclusion Studies. Blackie, London, 239 pp.
- Stöcklin, J., 1968. Structural history and tectonics of Iran: A review. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 52(7): 1229-1258.
- Viets, J.G., Hopkins, R.T. and Miller, B.M., 1992. Variations in minor and trace elements in sphalerite from Mississippi Valley Type deposits of the Ozark region: genetic implications. Economic Geology, 87(7): 1897-1905.
- Whitney, D.L. and Evans, B.W., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. American Mineralogist, 95(1):185-187.
- Wilkinson, J.J., 2001. Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits. Lithos, 55(1): 229-272.
- Wilkinson, J.J., Eyre, S.L. and Boyce, A.J., 2005. Ore-forming processes in Irish-type carbonate hosted Zn-Pb deposits: evidence from mineralogy, chemistry and isotopic composition of sulfides at the Lisheen mine. Economic Geology, 100(1): 63-86.
- Wright, W.R., 2001. Dolomitization, Fluid-Flow and Mineralization of the Lower Carboniferous Rocks of the Irish Midlands and Dublin Basin. Ph.D. Thesis, University College Dublin, Belfield, Ireland, 287 pp.