

انواع کانسنگ، ساخت و بافت، کانی‌شناسی و چگونگی تشکیل کانسار آهن-سرب آهنگران، جنوب شرق ملایر (کمر بند فلز زایی ملایر - اصفهان)

زهرا اکبری^{۱*}، علی یارمحمدی^۲ و ایرج رسا^۳

^۱دکتر، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

^۲دکتر، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

^۳استاد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۰۷

چکیده

کانسار آهن-سرب آهنگران با سنگ میزبان سیلستون توفی به سن کرتاسه زیرین در بخش شمالی کمر بند ملایر-اصفهان واقع شده است. از نظر شکل هندسی، کانه‌زایی به دو صورت رگه-رگچه ای و چینه‌سان در بخش فوقانی واحد تخریبی قاعده کرتاسه زیرین رخ داده است. چهار بخش کانه دار کانسار شامل پهنه رگچه‌ای تغذیه کننده، کانسنگ چینه سان سولفیدی-اکسیدی، کانسنگ باریتی و کانسنگ رگه‌ای هستند. کانی‌های سولفیدی و اکسیدی به ترتیب فراوانی شامل پیریت، سیدریت، مگنتیت، گالن، باریت، کالکوپیریت و تتراندریت و مقادیر کمتری از پروتیت، ارسنوپیریت و فریبرایت هستند. دگرسانی‌های کربناتی و سیلیسی اصلی‌ترین دگرسانی‌های همراه با کانه‌زایی محسوب می‌شوند. این کانسار در اثر فرایندهای هوازدگی دچار اکسیداسیون شدید شده و کلاهیک آهنی وسیعی را تشکیل داده است. بر اساس مطالعات کانی‌شناسی، ساختی و بافتی، کانه زایی طی سه مرحله اولیه، اصلی و تأخیری رخ داده است. با توجه به نتایج مطالعات صورت گرفته، بر اساس محیط زمین ساختی کششی، وجود سنگ میزبان سیلستون توفی سیدریتی شده، شکل کانسار و رخداد انواع کانسنگ‌های سولفیدی-اکسیدی و ساخت و بافت، کانسار آهنگران نوعی ذخیره جانشینی زیر کف دریا است که ویژگی‌های کانه‌زایی آن بیشترین شباهت را با برخی ذخایر نوع سدکس دارد.

کلیدواژه‌ها: کانسار آهن-سرب آهنگران، کمر بند فلز زایی ملایر-اصفهان، کرتاسه زیرین، سدکس.

*نویسنده مسئول: زهرا اکبری

E-mail: akbari.eco.geo@gmail.com

۱- پیش نوشتار

ذخایر سرب و روی با میزبان رسوبی از جمله بزرگ‌ترین منابع تأمین کننده سرب و روی در جهان هستند. این ذخایر عمدتاً در سنگ‌های آواری-کربناتی (ذخایر نوع Sedex) و کربناتی (ذخایر نوع ایرلندی و نوع MVT) گزارش شده‌اند (Goodfellow and Lydon, 2007; Leach et al., 2010; Wilkinson, 2014). از لحاظ تناژ ذخایر نوع Sedex (که ذخایر ایریش نیز در این رده قرار می‌گیرند) بزرگ‌ترین ذخایر سرب و روی جهان محسوب می‌شوند (Reynolds and Muhling, 2011). اغلب ذخایر سرب و روی در ایران جزء ذخایر با میزبان رسوبی هستند، به طوری که بیش از ۳۰۰ کانسار سرب و روی با میزبان سنگ‌های رسوبی گزارش شده است که در دوره های مختلفی تشکیل شده و غالب این ذخایر با میزبان کربناته هستند (Rajabi et al., 2012b). مطالعات نشان می‌دهد که توزیع مکانی این کانسارها در اطراف زمین درزهای اصلی رخ داده که بیانگر ارتباط تشکیل آنها با تحولات تکتونیکی در پوسته ایران است. بر این اساس اغلب کانسارهای سرب و روی رسوبی ایران در چهار کمر بند فلز زایی اصلی شامل طبس- پشت بادام، البرز مرکزی، ملایر- اصفهان و یزد- انارک گسترش دارند (Rajabi et al., 2012b). کمر بند فلز زایی ملایر- اصفهان، با طولی افزون بر ۴۰۰ کیلومتر و عرض ۹۰ کیلومتر، بزرگ‌ترین کمر بند فلز زایی سرب و روی در ایران است که دربردارنده بیش از ۱۷۰ کانسار و نشانه معدنی است (Momenzadeh, 1976). منطقه معدنی جنوب شرق ملایر در بخش شمالی کمر بند فلز زایی ملایر- اصفهان قرار گرفته است (شکل ۱-الف). در این منطقه معدنی، کانسار آهنگران (تحقیق حاضر) به عنوان بزرگ‌ترین ذخیره معدنی منطقه با بیش از ۴۰ میلیون تن کانسنگ آهن با عیار ۳۸ درصد و سرب ۲ درصد (قلیچ پور و همکاران، ۱۳۸۹) است. علاوه بر این اندیس های معدنی آهن-سرب دیگری از جمله سرچال، بیخ تنگ، دره بیات، چاه سرمه چال و نیندر نیز در این منطقه وجود دارند (شکل ۱-ب). رخداد این کانی سازی‌ها در واحدهای تخریبی قاعده کرتاسه زیرین مشاهده می‌شود. تحقیقات انجام شده تاکنون بر روی ذخایر سرب و روی کمر بند ملایر- اصفهان، بیانگر دو نوع دیدگاه از لحاظ تیپ کانه زایی

است، به طوری که کانه‌زایی نوع MVT برای کانسارهایی چون عمارت (Ehya et al., 2010) و برخی محققین دیگر (Ghazban et al., 1994) بر روی کانسارها و اندیس‌های دیگر این کمر بند ارائه شده است. کانه زایی نوع سدکس نیز توسط برخی محققین از جمله Momenzadeh (1976) برای کانسارهای ملایر- اصفهان، Rastad (1981) و بویری کناری و همکاران (۱۳۹۴) برای کانسار ایرانکوه، یارمحمدی و همکاران (۱۳۹۴) برای کانسارهای شمال تیران و سایر محققین (پیرنجم‌الدین و همکاران، ۱۳۹۳؛ موحندیا و همکاران، ۱۳۹۴) برای دیگر کانسارها و اندیس‌های این کمر بند ارائه شده است. (Rajabi et al., 2012a) ذخایر کمر بند ملایر- اصفهان را با توجه به ویژگی‌های محیط تکتونیکی، شکل و ساخت و بافت ذخیره تحت عنوان Sedex-like معرفی کرده است.

کانسار آهنگران در ۲۵ کیلومتری جنوب شرق شهرستان ملایر در استان همدان واقع شده است. کارهای تحقیقاتی مختلفی جهت بررسی نحوه تشکیل کانسار آهنگران صورت گرفته به طوری که رنجبران (۱۳۷۰) با مطالعه محیط رسوبی و دیاژنز سنگ‌های کربناته میزبان سرب و روی، کانی سازی در این کانسار را به صورت اپی ژنتیک و تیپ MVT معرفی کرده است و یعقوب پور و زمانیان (۱۳۸۰) با توجه به مطالعات صحرایی و کانی شناسی تیپ کانسار فوق را از نوع اگزالاتیو رسوبی در نظر گرفتند. در این تحقیق بر پایه بررسی ویژگی‌های سنگ میزبان، دگرسانی، ساخت-بافت، کانی‌شناسی و انواع کانسنگ‌ها به نحوه تشکیل کانسار آهن-سرب آهنگران پرداخته شده است.

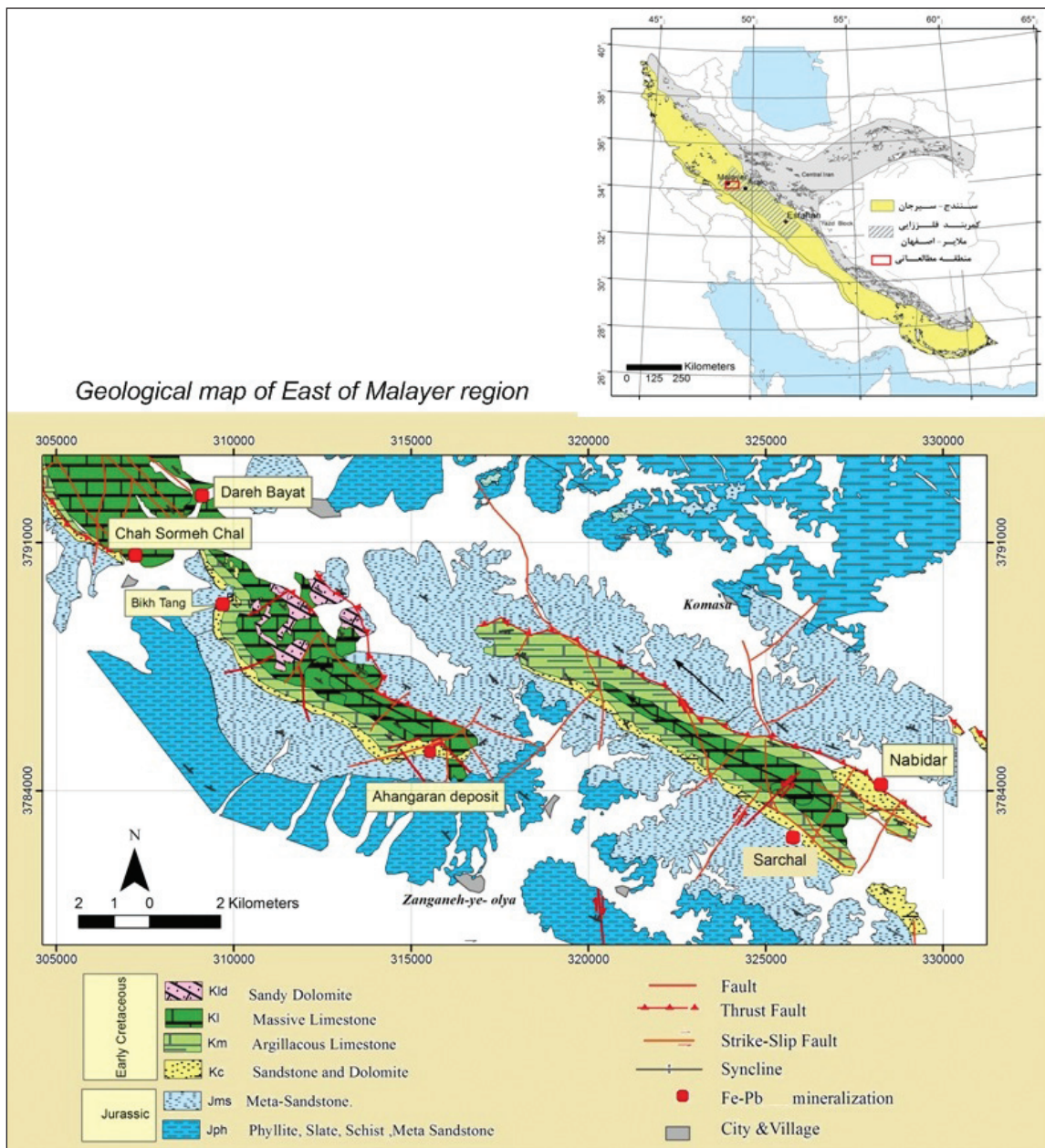
۲- روش پژوهش

به جهت بررسی ویژگی‌های سنگ میزبان کانه‌زایی، تعیین جایگاه چینه‌ای، نحوه گسترش ماده معدنی و تعیین بخش‌های مختلف کانه دار در کانسار آهنگران، از نتایج مطالعات و بررسی‌های مقاطع مختلف زمین شناسی، گمانه‌های اکتشافی و تونل‌های اکتشافی و استخراجی استفاده شد. بر این اساس نقشه زمین شناسی ۱:۲۰۰۰۰ منطقه بر

۳- زمین‌شناسی

کمرند فلززایی ملایر- اصفهان، بخشی از پهنه ساختاری سندج- سیرجان است که بر اساس Mohajjel et al. (2003) و Mohajjel and Ferguson (2014) در موقعیت تکتونیکی پشت کمانی قرار داشته و در نتیجه فرورانش اقیانوس نئوتیس به زیر ورقه ایران شکل گرفته است (Ghasemi and Talbot, 2006). تکتونیک کششی در زمان کرتاسه تحتانی در کمرند فلززایی ملایر- اصفهان منجر به تشکیل حوضه‌های گرابنی شده که مستعد کانه زایی سرب- روی (باریت) و آهن با میزبان سنگ‌های رسوبی هستند (Rajabi et al., 2012a) که مهم‌ترین آنها شامل منطقه معدنی ایرانکوه (بویری کناری و همکاران، ۱۳۹۴) و تیران (یارمحمدی و همکاران، ۱۳۹۴) در نیمه جنوب شرقی، منطقه گلپایگان و جنوب اراک (پیرنجم‌الدین و همکاران، ۱۳۹۳) در بخش میانی و منطقه معدنی جنوب شرق ملایر و کانسان آهنگران در بخش شمال غربی این کمرند قرار دارند (شکل ۱-الف).

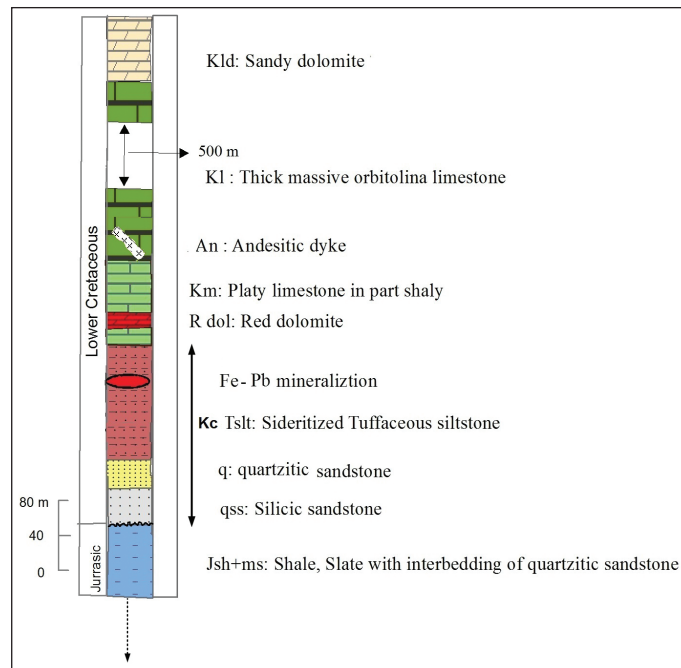
اساس داده‌های ماهواره‌ای و نقشه‌های زمین‌شناسی در مقیاس یکصد هزار تهیه و در مجموع ۴ مقطع زمین‌شناسی در جهت عمود بر روند لایه‌بندی و کانی‌سازی در توالی رسوبی زوراسیک- کرتاسه تحتانی در بخش‌های مختلف معدن (S1, S2, S3, S4) و یک مقطع در خارج از محدوده کانی‌سازی در غرب معدن (S4، دره بید غربی) مورد مطالعه و نمونه‌برداری قرار گرفت. همچنین لاگینگ ۴ گمانه حفاری به شماره‌های D146، D148 و همچنین برداشت زمین‌شناسی و نمونه‌برداری در تونل‌های ۴، ۲۲، ۶ و ۱۰ انجام شده است. مطالعه میکروسکوپی بر روی نمونه‌های مربوط به واحدهای سنگی و انواع کانسنگ‌ها انجام گرفته و براساس داده‌های به دست آمده، ستون چینه‌شناسی کانسان (شکل ۲) ترسیم و نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰ موجود (شکل ۳) تصحیح شد. در این تحقیق جهت مطالعه ساخت - بافت و کانی‌شناسی ماده معدنی، نوع سنگ میزبان و دگرسانی‌ها، تعداد ۳۳ عدد مقطع نازک و ۷۳ عدد مقطع نازک- صیقلی از کانسنگ‌های مختلف تهیه و مورد بررسی قرار گرفت.



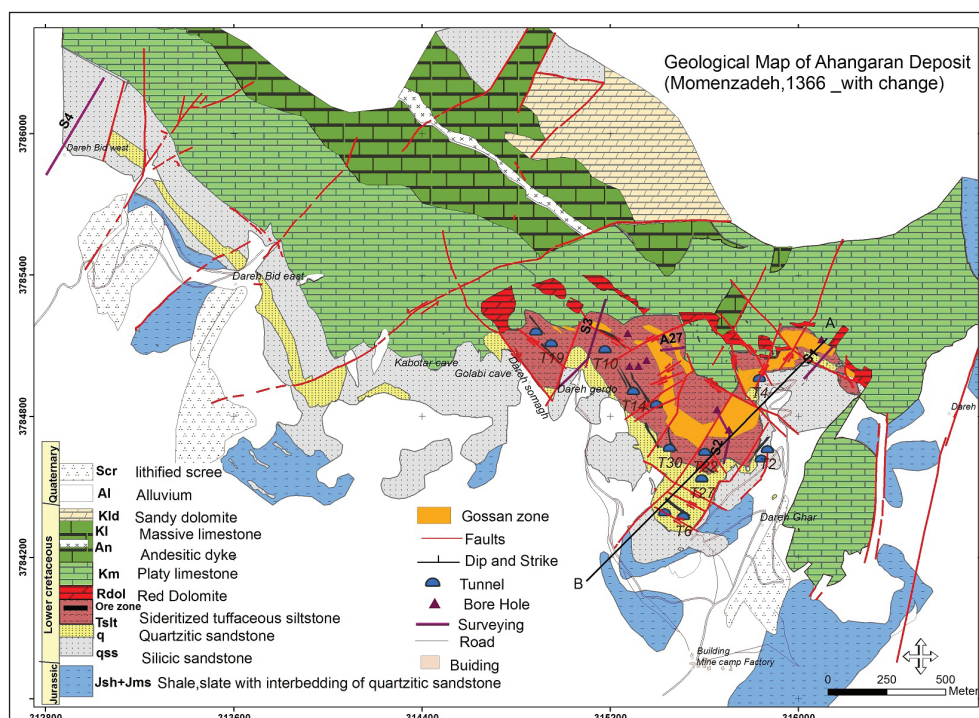
شکل ۱- الف) نقشه پهنه‌های ساختاری ایران، موقعیت کمرند فلززایی ملایر- اصفهان بر اساس Momenzadeh (1976) و منطقه معدنی جنوب شرق ملایر در بخش شمال غربی آن؛ ب) نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۰۰۰۰ تهیه شده از منطقه جنوب شرق ملایر و جایگاه کانسان آهنگران و اندیس‌های معدنی.

دگرگون شده به صورت ماسه سنگ کوارتزیتی (q) به ضخامت ۳۰ متر آغاز شده و در ادامه توسط سیلتستون توفی (Tslt) با ضخامت بین ۲۰ تا ۱۵۰ متر پوشیده می شوند (شکل ۳). سه واحد مذکور زیر عضوهای واحد Kc در قاعده کرتاسه تحتانی در کانسار آهنگران هستند (شکل ۲). بر روی سیلتستون توفی، واحد آهک پلیتی (Km) قرار دارد. جایگاه ماده معدنی در بخش فوقانی واحد تخریبی سیلتستون توفی (Tslt) است. سیلتستون توفی میزان ماده معدنی تنها در محدوده معدن دیده می شود و با دور شدن از کانسار حذف شده به طوری که واحد آهک پلیتی بر روی واحد ماسه سنگ واحد (qss) قرار می گیرد. در بخش های زیرین آهک پلیتی واحد (Km)، میان لایه ای از دولومیت قرمز با ضخامت متوسط ۳۰ تا ۴۰ متر مشاهده می شود (شکل های ۲ و ۳).

قدیمی ترین سنگ های منطقه آهنگران رسوبات تخریبی شیل و ماسه سنگی ژوراسیک هستند که با ضخامتی حدود ۱۵۰۰ متر در قاعده رسوبات کرتاسه قرار دارند (شکل های ۱ و ۲). تشکیلات کرتاسه در منطقه جنوب شرق ملایر به صورت ناپیوستگی فرسایشی (جعفریان و زمانی پدرام، ۱۳۷۸) و در کانسار آهنگران به صورت کنتاکت گسلی بر روی واحدهای ژوراسیک قرار دارند. پایین ترین بخش توالی کرتاسه تحتانی در منطقه جنوب شرق ملایر (واحد Kc) شامل ماسه سنگ قرمز، ماسه سنگ کوارتزیتی و آهک دولومیتی است (شکل ۱-ب). کرتاسه تحتانی در کانسار آهنگران با واحد ماسه سنگ با سیمان سیلیسی به رنگ خاکستری (qss) با ضخامت ۴۰ متر و ماسه سنگ سیلیسی ریزبلور به رنگ خاکستری روشن کمی



شکل ۲- ستون چینه شناسی عمومی کانسار آهنگران و موقعیت کانی سازی آهن-سرب در واحد سیلتستون توفی (Tslt).



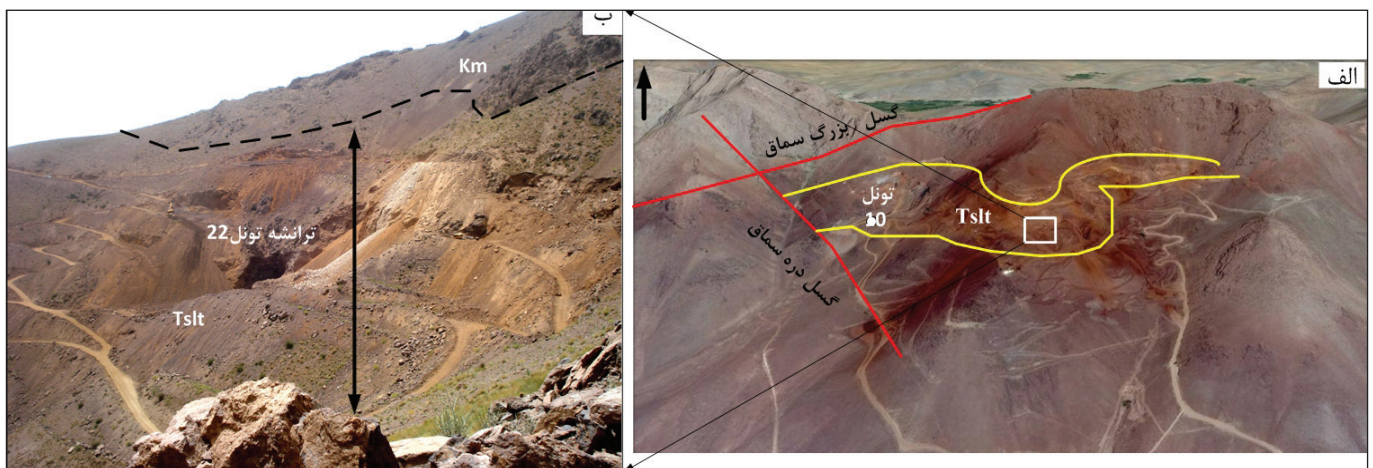
شکل ۳- الف) نقشه زمین شناسی کانسار آهنگران (مؤمن زاده، ۱۳۶۶) همراه با تغییرات و موقعیت کانه زایی آهن-سرب در واحد سیلتستون توفی.

جوان‌ترین گسل‌ها هستند که به صورت پهنه‌ای در شرق و مرکز معدن تکرار شده و ریز چین‌ها و گسل‌های قبلی منطقه را قطع کرده است (شکل ۳؛ نیازی و همکاران، ۱۳۹۲؛ اکبری و همکاران، ۱۳۹۵).

۴- سنگ میزبان، انواع بخش‌های کانه دار (Ore type) و ساخت - بافت آنها

سنگ میزبان کانه‌زایی در کانسار آهنگران واحد سیلستون توفی (Tslt) است که با گسترش گوه‌ای شکل با طول تقریبی ۱۵۰۰ متر و ضخامت بین ۲۰ تا ۱۵۰ متر در کانسار آهنگران قابل مشاهده است (شکل ۴). بیشترین ضخامت این واحد در غرب معدن (محدوده گسل دره سماق) مشاهده شده و به سمت شرق کانسار از ضخامت آن کاسته می‌شود. گسترش سنگ میزبان کانه‌زایی، محدود به منطقه معدنی بوده و به طرف غرب گسل دره سماق و همچنین شرق معدن رخنمون آن بسیار محدود بوده و از بین می‌رود. این واحد سنگی بیشتر حالت تخریبی (سیلستون) داشته که با نزدیک شدن به غرب معدن (گسل دره سماق) به صورت تدریجی و در برخی قسمت‌ها به میان لایه‌هایی از ویتریک توف تبدیل شده است (شکل‌های ۵- الف و ب). با توجه به دگرسانی کرناتی اعمال شده، بیشتر واحد سیلستون توفی ماهیت اولیه خود را از دست داده و تبدیل به سنگ کرناته سیدریتی - فرو دولومیتی - سیلیسی شده است (شکل ۵- ج). به همین دلیل در تحقیقات گذشته، سنگ میزبان کانسار آهنگران را دولومیت‌های ناحیه‌ای واحد (Kc) در قاعده کرتاسه تحتانی دانسته‌اند (مؤمن‌زاده، ۱۳۶۷؛ رنجبران، ۱۳۷۰؛ یعقوب‌پور و زمانیان، ۱۳۸۰). میان لایه‌هایی از آهک فسیل دار و ماسه‌سنگ سیلیسی چرتی در این واحد قابل مشاهده است که ضخامت آنها حداکثر ۱ متر است. میان لایه‌های آهکی همانند سیلستون توفی سیدریتی - فرودولومیتی شده‌اند.

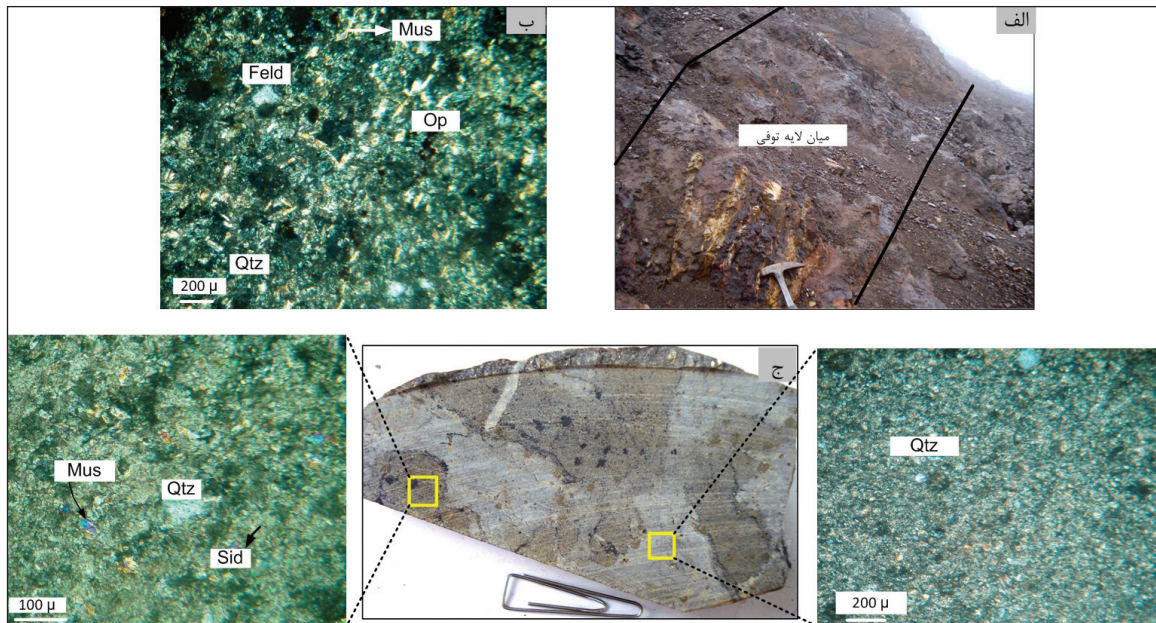
توالی کرتاسه تحتانی در کانسار آهنگران با رسوب‌گذاری واحد آهک ضخیم لایه اوریتولین دار (KI) ادامه می‌یابد و به دولومیت ماسه ای (Kld) ختم می‌شود (شکل‌های ۲ و ۳). در بخش شمال غربی کانسار آهنگران در امتداد گسل سماق درون آهک ضخیم لایه (KI)، دایک آندزیتی با ترکیب تراکی آندزیتی و ضخامت حدود ۳ متر نفوذ کرده است (شکل‌های ۲ و ۳). از دید زمین‌ساختی، چین‌خوردگی‌های اصلی منطقه جنوب شرق ملایر به صورت دو ناودیس اصلی با روند شمال باختر - جنوب خاور به نام‌های کماسا و کله بند هستند. هسته مرکزی این ناودیس‌ها را کرنات‌های کرتاسه تحتانی تشکیل داده که از طرفین به ماسه‌سنگ‌های تخریبی (Kc) و در نهایت به تشکیلات ژوراسیک می‌رسند (شکل ۱- ب). کانسار آهنگران در دامنه جنوب شرقی ناودیس کله بند واقع شده است. چین‌خوردگی‌های ملایم سینوسی شکل با روند شمال باختر - جنوب خاوری در این کانسار وجود دارد که مرتبط با چین‌های فرعی S شکل دامنه جنوبی ناودیس کله بند هستند (نیازی و همکاران، ۱۳۹۲). وجود چین‌ها و ریزچین‌های موازی و متوالی سبب افزایش ضخامت سیلستون توفی میزبان ماده معدنی در کانسار شده است (شکل ۳). مطالعات ساختارهای گسلی در محدوده کانسار آهنگران نشان می‌دهد که گسل‌هایی با روند شمال باختری - جنوب خاوری با حرکت امتداد لغز راست‌بر تا حدی نرمال، حاوی ماده معدنی پرعیار سولفیدی هستند (شکل ۳). شیب این گسل‌ها متفاوت است ولی عموماً نزدیک به قائم و شمال هستند (نیازی، ۱۳۹۲؛ اکبری، ۱۳۹۵). رخداد گسلش با مؤلفه نرمال و روند شمال خاوری - جنوب باختری، سبب جابه‌جایی واحدهای سنگی، ماده معدنی و افزایش ضخامت سنگ میزبان ماده معدنی در بخش مرکز معدن شده است (نیازی و همکاران، ۱۳۹۲). گسل‌های امتداد لغز با روند‌های مختلف



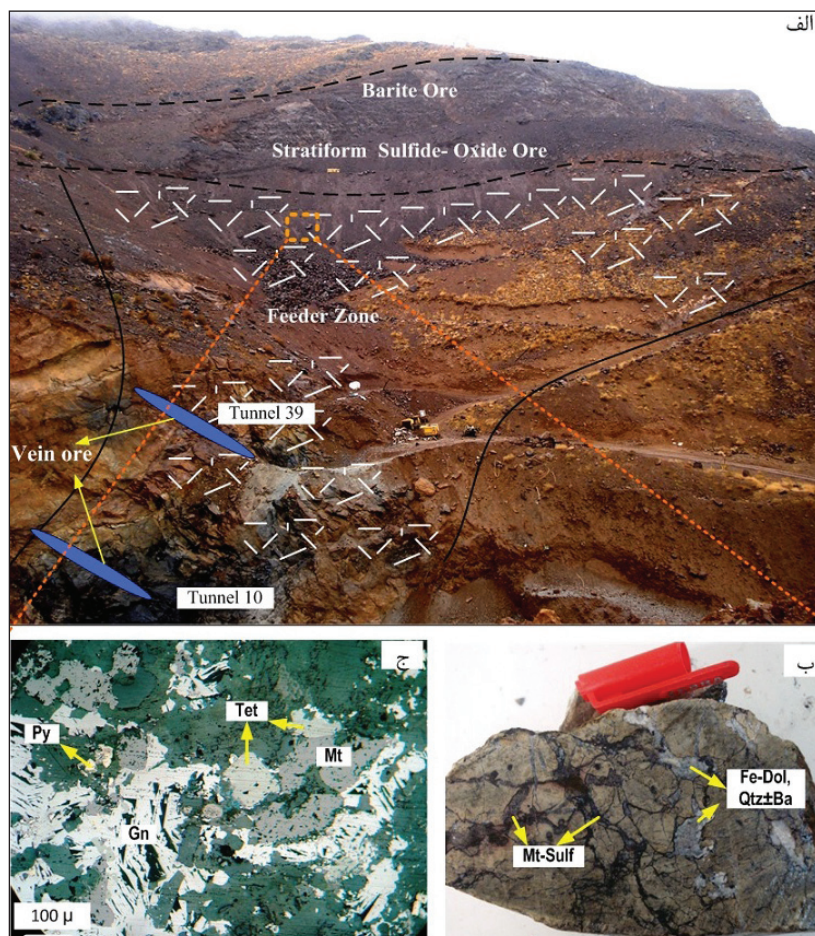
شکل ۴- الف) تصویر ماهواره ای واحد سیلستون توفی (Tslt) میزبان کانه‌زایی به حالت گوه‌ای در مجاور گسل دره سماق با روند شمال باختری - جنوب خاوری ادامه دارد؛ ب) سیلستون توفی میزبان ماده معدنی در زیر آهک پلیتی (Km) در مرکز معدن آهنگران (دید به سمت شمال باختر).

آن به سمت شرق معدن کاهش می‌یابد (شکل ۴- الف). گسترش افقی این بخش حدود ۱۰۰۰ متر و ضخامت آن بین ۲۰ متر در شرق کانسار تا ۵۰ متر در بخش‌های مرکزی (مرکز و غرب کانسار) متغییر است. بر اساس شکل و نحوه گسترش، ساخت - بافت و کانی‌شناسی ماده معدنی، ۴ بخش کانه دار اصلی در کانسار آهنگران تفکیک شده است که شامل ۱- بخش رگچه‌ای تغذیه کننده ۲- کانسنگ چینه‌سان سولفیدی - اکسیدی ۳- کانسنگ باریتی ۴- کانسنگ رگه‌ای هستند (شکل‌های ۶- الف و ۷).

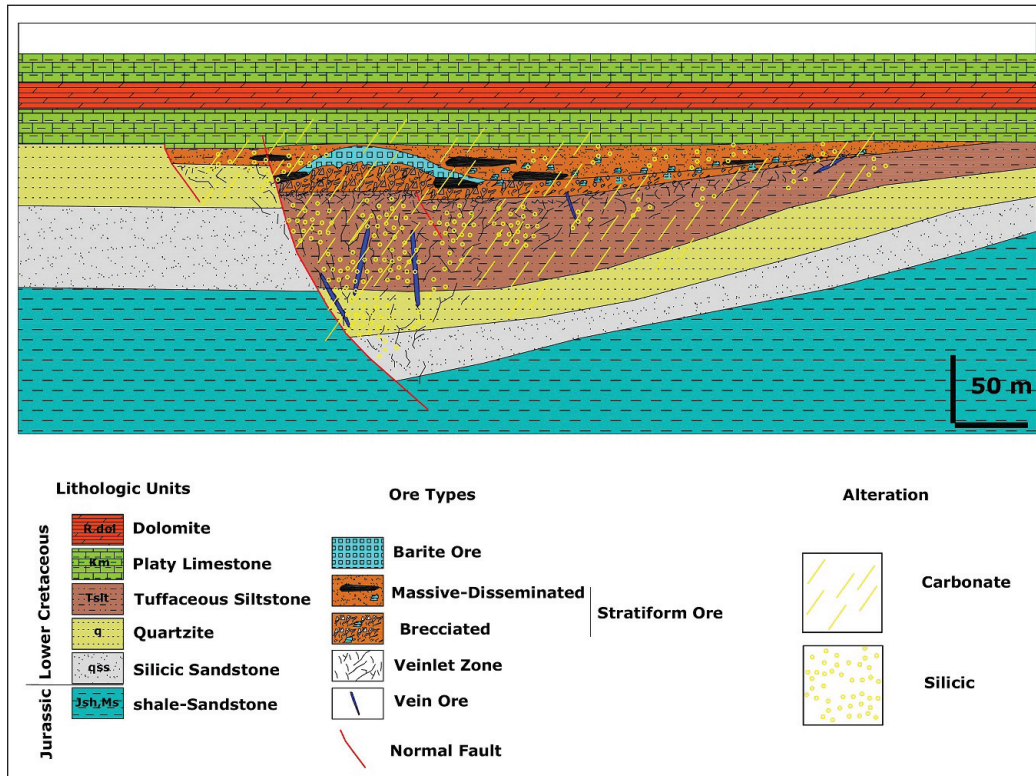
از نظر شکل هندسی، کانه‌زایی در کانسار آهنگران به دو بخش اصلی رگه - رگچه‌ای و چینه‌سان (Stratiform) تقسیم می‌شود (شکل‌های ۶ - الف و ۷). بخش رگه - رگچه‌ای با شکل هندسی نامنظم در بخش زیرین چینه‌سان کانسار قرار داشته و گسترش آن به صورتی است که از بخش‌های تحتانی به سمت بخش چینه‌سان کانسار دارای گسترش جانبی بیشتری است (شکل ۷). بخش چینه‌سان به صورت عدسی کشیده و همروند با لایه بندی سیلستون توفی است که حداکثر ضخامت آن در بخش مرکز و غرب کانسار بوده و ضخامت



شکل ۵- تصاویری از الف) رخنمون و ب) نمونه میکروسکوپی از میان لایه توفی (بخش های سفید رنگ) در واحد سیلتستون توفی دگرسان شده میزبان ماده معدنی در غرب معدن آهنگران (دید به سمت شمال شرق). در تصویر میکروسکوپ نور عبوری مجموعه کانی های کوارتز (Qtz)، فلدسپات (Feld) و مسکوویت (Mus) در زمینه دانه ریز کوارتز ریز بلور و گاهی شیشه همراه با کانی های تیره (Op) مشاهده می شود، ج) نمونه دستی و میکروسکوپی از سیلتستون (بخش های سفید رنگ) به عنوان سنگ میزبان اولیه و بخش های تیره به عنوان مناطق با دگرسانی کربناتی همراه با کانی سازی.



شکل ۶- الف) موقعیت انواع بخش های کانسنگی در کانسار آهنگران؛ ب و ج) تصاویری از پهنه تغذیه کننده به ترتیب شامل نمونه دستی از رگچه های ماریچی در پهنه تغذیه کننده شامل کانی های مگنتیت (Mt) و سولفیدها (Sulf) همراه با فرودولومیت (Fe-Dol)، کوارتز (Qtz) و باریت (Ba) که سیلتستون توفی سیدریتی شده میزبان را قطع کرده اند (ب) و تصویر میکروسکوپ نور انعکاسی از کانی های سولفیدی پیریت (Py)، گالن (Gn) و تتراندريت (Tet) و جانیشینی مگنتیت به جای آنها در پهنه رگچه ای تغذیه کننده (ج).



شکل ۷- نمایی شماتیک از موقعیت بخش‌های کانه دار اصلی در کانسار آهنگران و واحدهای سنگی.

۴-۱. پهنه رگچه‌ای تغذیه کننده

است (شکل ۷). بخش برشی متشکل از برش توده ای حاوی کانی‌های اکسیدی، سولفیدی و باریتاست (شکل ۸- ب). برش‌ها متشکل از قطعات سنگ میزبان با زمینه‌ای از کانی‌های پیریت، مگنتیت، مقادیر کمتر گالن و کالکوپیریت هستند که همراه با کانی‌های سیدریت، فرودولومیت، سیلیس و باریت مشاهده می‌شوند (شکل ۸- ج). ضخامت این بخش در بخش غربی و مرکز معدن بیشتر بوده و به سمت شرق از ضخامت آن کاسته و تبدیل به کانسنگ پراکنده- توده‌ای می‌شود. کانسنگ پراکنده- توده ای در قسمت فوقانی بخش چینه سان کانسار قرار دارد. در این بخش کانی‌های سولفیدی (پیریت و مقادیر کمتر گالن، کالکوپیریت) و اکسیدی (مگنتیت) بیشتر به صورت پراکنده در متن سنگ میزبان سیلستون توفی دگرسان شده دیده می‌شوند. این کانی‌ها حدود ۱۰ تا ۲۰ درصد حجم سنگ را تشکیل می‌دهند. همچنین عدسی‌هایی با ابعاد ۰/۵ متر تا ۲ متر از کانی‌های سولفیدی (غالباً پیریت) و کمتر اکسیدی (مگنتیت) با بافت توده ای و هم روند با لایه بندی نیز قابل مشاهده است (شکل ۸- د). این کانسنگ تحت تأثیر فرایندهای هوازدگی تبدیل به کلاهدک آهنین شده و هم اکنون به عنوان کانسنگ آهن در حال استخراج هستند. همچنین در قسمت‌هایی که تمرکز کانی گالن بالاتر است، به صورت محدود کانسنگ سرب با عیار حدود ۲ درصد نیز استخراج می‌شود.

۴-۲. کانسنگ باریتی

کانسنگ باریتی در قسمت فوقانی بخش چینه سان کانسار قرار داشته (شکل ۷) و رخنمون اصلی آن در مرکز کانسار و در محل کارگاه A27 قابل مشاهده است (شکل ۶- الف). طول این بخش حداکثر ۵۰ متر و ضخامت آن حدود ۱۲ متر است. بر اساس نوع ساخت و بافت کانی‌ها به دو زیربخش باریت توده ای- برشی و باریت نواری بالایی قابل تفکیک است (شکل ۹- الف). کانسنگ باریت توده ای- برشی با ضخامت حداکثر ۷ متر در قسمت تحتانی کانسنگ باریتی، شامل عدسی باریت توده‌ای است که در بیشتر قسمت‌ها دارای بافت برشی است. در این بخش‌ها قطعات باریت توده ای در زمینه‌ای از سیدریت، فرودولومیت، سیلیس، پیریت، مگنتیت و به

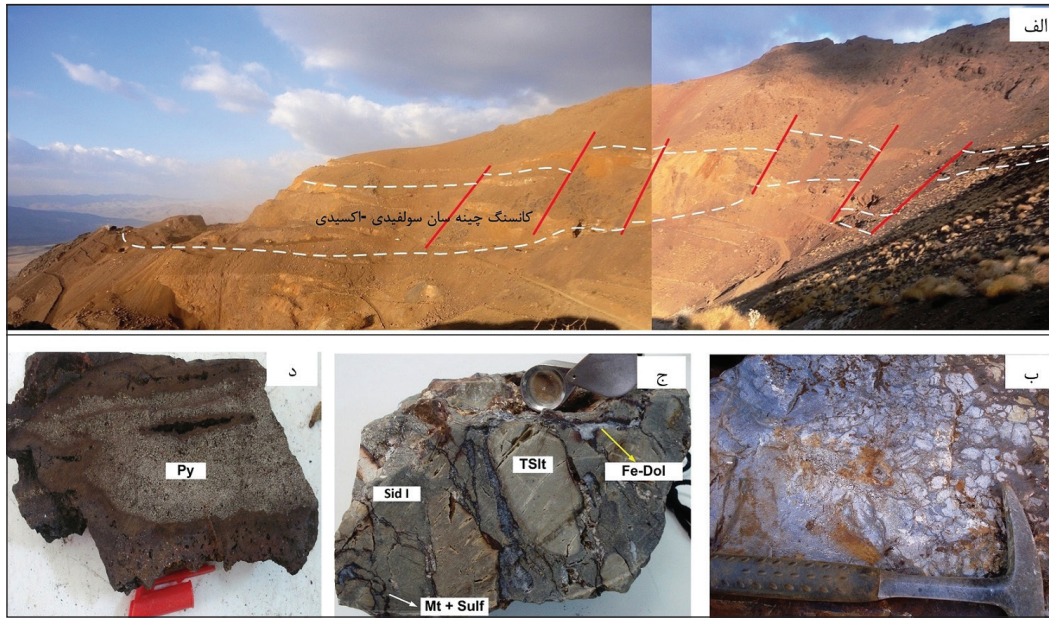
کانه‌زایی در پهنه رگچه‌ای تغذیه کننده متشکل از رگچه‌های متعدد سولفیدی- اکسیدی آهن، سرب، مس و باریت است که به طور گسترده در واحد سیلستون توفی و در بخش‌های زیرین کانسنگ چینه سان سولفیدی- اکسیدی دیده می‌شود. ضخامت رگچه‌ها از چند میلی‌متر تا حداکثر ۱۵ سانتی‌متر تغییر می‌کند. توزیع این رگچه‌ها به صورت نامنظم و مارپیچی شکل است که با تغییر ضخامت، سنگ در برگرفته را قطع می‌کنند. کانی شناسی این رگچه‌ها شامل مگنتیت، پیریت، گالن، کالکوپیریت همراه با کانی‌های فرودولومیت، سیلیس و باریت است که شباهت زیادی را با کانی شناسی بخش کانسنگ چینه سان سولفیدی- اکسیدی داشته و بلافاصله در بخش‌های زیرین آن واقع شده است. این رگچه‌ها تغذیه کننده تنه اصلی کانسار در بخش چینه سان سولفیدی- اکسیدی هستند. تراکم آنها در بخش‌های فوقانی و بلافاصله زیر بخش چینه سان بیشتر است (شکل‌های ۶ و ۷). بر اساس مطالعات میکروسکوپی مگنتیت در اکثر رگچه‌ها وجود داشته و جانشین سولفیدها از جمله پیریت و گالن شده است. روابط سولفیدها نیز به گونه ای است که گالن جانشین پیریت و کانی‌های کالکوپیریت و تتراندريت جانشین گالن و پیریت شده‌اند (شکل‌های ۶- ب و ج). کانی‌های باطله در رگچه‌ها به ترتیب فراوانی شامل فرودولومیت، سیلیس و مقادیر کمتری باریت است که به صورت بلورهای درشت و به صورت پراکنده فضای بین سایر کانی‌ها و یا جانشین برخی کانی‌ها نظیر مگنتیت شده‌اند.

۴-۲. کانسنگ چینه سان سولفیدی- اکسیدی

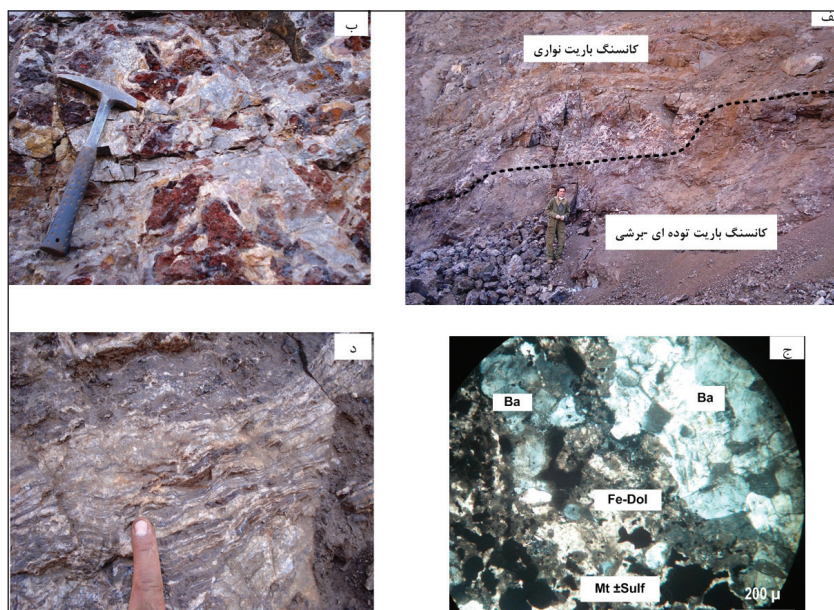
کانسنگ چینه سان سولفیدی- اکسیدی به عنوان مهم ترین بخش کانسار از لحاظ ذخیره بوده و به همراه کانسنگ باریتی در بخش فوقانی کانسار قرار گرفته‌اند (شکل‌های ۶ و ۷). این بخش با طولی حدود ۸۰۰ متر دارای بیشترین ضخامت در بخش‌های مرکزی کانسار (۵۰ متر) و به سمت شرق از ضخامت آن کاسته می‌شود و به حدود ۲ متر می‌رسد. بر اساس ساخت و بافت از دو زیربخش کانسنگ برشی در بخش‌های زیرین و کانسنگ پراکنده- توده ای در بخش‌های فوقانی تشکیل شده

جانیشینی کانی‌های سیدریت، فرودولومیت، پیریت، مگنتیت و گالن به جای بلورهای باریت اولیه (شکل‌های ۱۰-الف و ب) و (۳) تناوب بلورهای باریت با سنگ درونگیر سیلستون توفی سیدریتی شده مشاهده می‌شود. از دیگر بافت‌های اولیه می‌توان به بافت فرامبوئیدال پیریت در کانسنگ باریتی اشاره کرد. در متن بلورهای باریت، پیریت فرامبوئیدال (نسل اول) با قطر کمتر از ۱۰ میکرون به صورت پراکنده و لامینه و گالن (نسل اول) مشاهده می‌شود (شکل‌های ۱۰-ج و د).

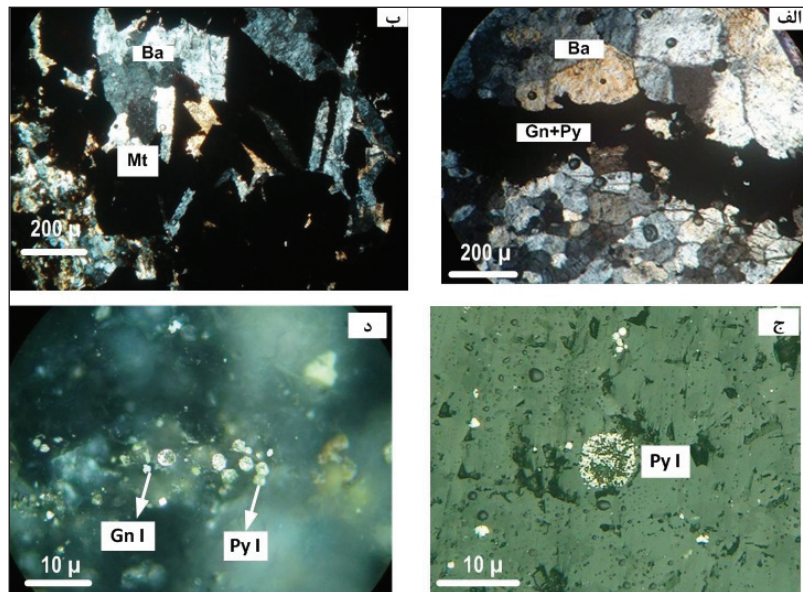
میزان کمتر گالن دیده می‌شود که همه این کانی‌ها به طور واضح جانشین باریت توده‌ای شده‌اند (شکل‌های ۹-ب و ج). به دلیل هوازدگی سولفید و اکسیدهای اولیه و مقاومت بالای کانی باریت، حالت حفره‌ای در ظاهر کانسنگ ایجاد شده است (شکل ۹-ب). کانسنگ باریت نواری فوقانی‌ترین بخش کانسار آهنگران بوده و ضخامتی حدود ۵ متر دارد (شکل‌های ۷ و ۹-د). ساخت و بافت نواری در سه حالت (۱) تناوب بلورهای ریز و درشت باریت (شکل ۹-د، ۲) بافت نواری ناشی از



شکل ۸-الف) نمای از گسترش کانسنگ چینه سان سولفیدی-اکسیدی همراه با گسل‌های امتداد لغز NE-SW از بخش مرکزی کانسار آهنگران به سمت غرب آن (بخش نقطه چین). تصاویری در مقیاس ب) رخنمون و ج) نمونه دستی از پهنه برشی حاوی قطعات درشت سنگ میزبان سیلستون توفی (TSlt) و سیلستون توفی سیدریتی شده (Sid I) در زمینه‌ای از کانی فرودولومیت (Fe-Dol)، مگنتیت (Mt) و سولفید (پیریت-گالن) که بخش‌های کانه دار اکسید شده‌اند؛ د) نمایی نزدیک از عدسی پیریت توده‌ای.



شکل ۹-الف) نمای از گسترش انواع کانسنگ باریتی شامل باریت توده‌ای- برشی کانی سازی شده در بخش پایین و کانسنگ باریتی نواری کانسار آهنگران (دید به سمت شمال)؛ ب) نمایی نزدیک از کانسنگ باریت توده‌ای- برشی که قطعات باریت توده‌ای (قطعات سفید) در زمینه کانی‌های سولفیدی-اکسیدی اولیه که در اثر هوازدگی اکسید شده‌اند؛ ج) تصویر میکروسکوپ نور عبوری از کانسنگ باریت برشی که قطعات برش باریتی در زمینه‌ای از کانی‌های سولفیدی-اکسیدی (Mt-Sulf) و فرودولومیتی مشاهده می‌شود؛ د) نمای نزدیک از رخنمون کانسنگ باریت نواری.



شکل ۴-۱۰- تصاویری از انواع بافت‌های نواری و پیریت‌های فرامبوئیدال در کانسنگ باریت نواری کانسان آهنگران. الف) تصویر میکروسکوپ نور عبوری از جانشینی گالن (Gn) و پیریت (Py) به شکل لامینه جانشینی به جای بلورهای باریت نواری؛ ب) تصویر میکروسکوپی نور عبوری از جانشینی مگنتیت (Mt) به جای باریت اولیه؛ ج) تصویر میکروسکوپی نور انعکاسی از پیریت‌های فرامبوئیدال اولیه و د) لامینه پیریت فرامبوئیدال و گالن در بین بلورهای باریت که به صورت همزمان و اولیه تشکیل شده اند.

۴-۴. کانسنگ رگه‌ای

این نوع کانه‌زایی بخش پرعیار ماده معدنی سولفیدی را تشکیل می‌دهد و شامل رگه‌های حاوی ماده معدنی سرب و مس است که با ضخامت حداکثر ۱/۵ متر و طول بیش از ۱۰۰ متر به ویژه در غرب کانسار و عمدتاً با امتداد شمال غربی- جنوب شرقی و شیب متغیر، کانه‌زایی پهنه رگچه‌ای تغذیه کننده و کانسنگ چینه‌سان سولفیدی-اکسیدی را قطع می‌کنند (شکل‌های ۶-الف و ۷). این رگه‌ها با ویژگی‌هایی از جمله داشتن ضخامت بیشتر، عیار بالای ماده معدنی سولفیدی (حداکثر ۲۰ درصد)، نبود کانی‌های اکسیدی چون مگنتیت و ماهیت قطع کنندگی آنها در بخش‌های مرکز (محل تونل ۶ و ۱۲) و غرب کانسار (محل تونل ۱۰) به خوبی از رگچه‌های پهنه تغذیه کننده قابل تفکیک هستند. انواع بافت رگچه‌ای، توده‌ای و جانشینی در بخش کانسنگ رگه‌ای قابل مشاهده است (شکل ۱۱). کانی‌شناسی رگه‌ها شامل سیدریت درشت بلور (Sid II)، سیلیس، گالن، پیریت، کالکوپیریت، تتراندریت- فریبریت، بورنیت و پیرویت است که با مقادیر کمتری باریت همراه هستند. از نظر توالی پاراژنتیکی سیدریت‌های درشت بلور به عنوان اولین فاز متبلور شده بوده و سایر کانی‌ها از جمله سولفیدها جانشین آنها شده‌اند (شکل ۱۱-ه). روابط بافتی و جانشینی سولفیدها بگونه‌ای است که سولفیدها از جمله گالن، کالکوپیریت، بورنیت و پیرویت جانشین پیریت شده‌اند و کالکوپیریت و بورنیت جانشین پیرویت شده‌اند (شکل ۱۱-و، ی). از لحاظ تغییرات عمقی و نوع عنصری، رگه‌های حاوی عیار بالای سرب در بخش‌های فوقانی و رگه‌های حاوی مس بیشتر در بخش‌های عمقی رگه‌ها مشاهده می‌شوند.

۵- ساخت و بافت ثانویه در انواع کانسنگ‌ها

بخش عمده‌ای از انواع کانسنگ‌ها در کانسار آهنگران، تحت تأثیر فرایندهای هوازدگی سطحی اکسید شده و کانی‌های سولفیدی و اکسیدی اولیه تبدیل به انواع کانی‌های حاصل از هوازدگی شده‌اند. آنچه هم‌اکنون به عنوان کانسنگ آهن با عیار حدود ۲۸-۴۰ درصد در این کانسار استخراج می‌شود، کلاهی آهنی حاصل

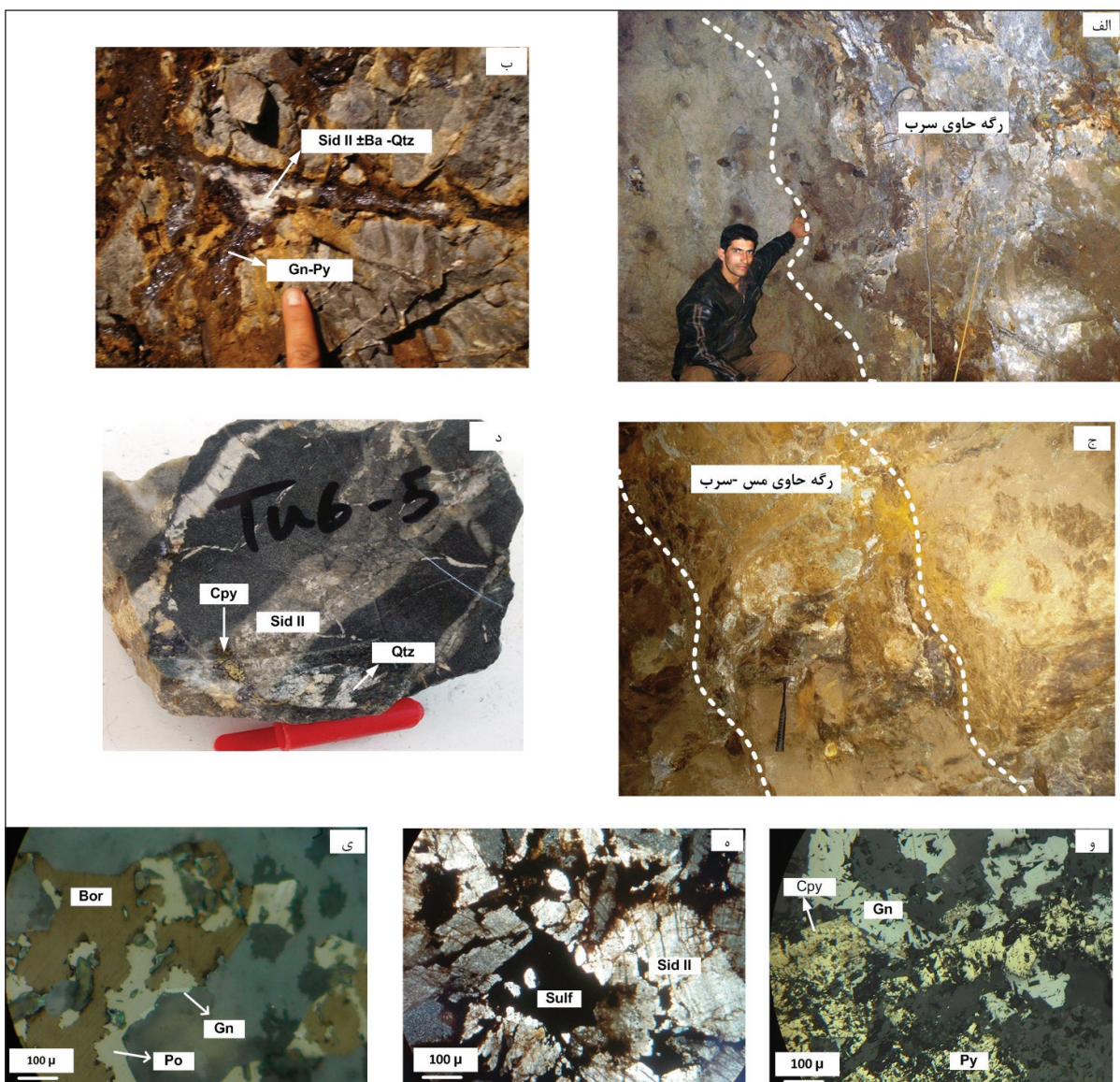
از اکسید شدن کانی‌های آهن دار اولیه است. این بخش از کانسار فاقد عیار اقتصادی سرب و مس است (شکل ۱۲). از جمله کانی‌هایی که تحت تأثیر فرایند هوازدگی قرار داشته‌اند عبارتند از سیدریت، مگنتیت، پیریت، گالن و کالکوپیریت که در بخش‌های مختلف کانسنگی با بافت‌های گوناگون قابل مشاهده است. کلاهی آهنین به دو گروه بالغ و نابالغ تقسیم می‌شوند (Velasco et al., 2013). کلاهی آهنین کانسار آهنگران به دلیل وجود باقیمانده سولفیدها و دیگر کانی‌های آهن دار از نوع نابالغ است. از انواع ساخت و بافت‌های ثانویه در کانسار آهنگران می‌توان به بافت جعبه‌ای، حفره‌ای، گل کلمی، توده‌ای و نواری اشاره کرد. بافت جعبه‌ای متشکل از حفره‌های شکل دار ریز تا متوسطی است که به ظاهر سنگ حالت اسفنجی داده است. حفره‌ها متشکل از سنگ دربرگیرنده به شدت دگرسان هستند که در اثر هوازدگی به صورت پودر درآمده و در بخش‌های سطحی شسته شده و ظاهر حفره دار سنگ را پدید آورده و بخش‌های باقی مانده متشکل از کانی‌های گوتیت، همتایت، لیمونیت، سیلیس و باریت هستند (شکل‌های ۱۲-ب و ه). همچنین بخش‌های زیادی از کانسنگ چینه‌سان سولفیدی- اکسیدی به صورت اکسیدهای آهن توده‌ای درآمده و کانسنگ پرعیاری از آهن را پدید آورده است (شکل ۱۲-ج). این بافت در بخش‌هایی که سیدریت و فرودولومیت فراوان بوده نیز قابل مشاهده است (شکل‌های ۱۲-د و و).

۶- دگرسانی و نقش آن در کانه‌زایی

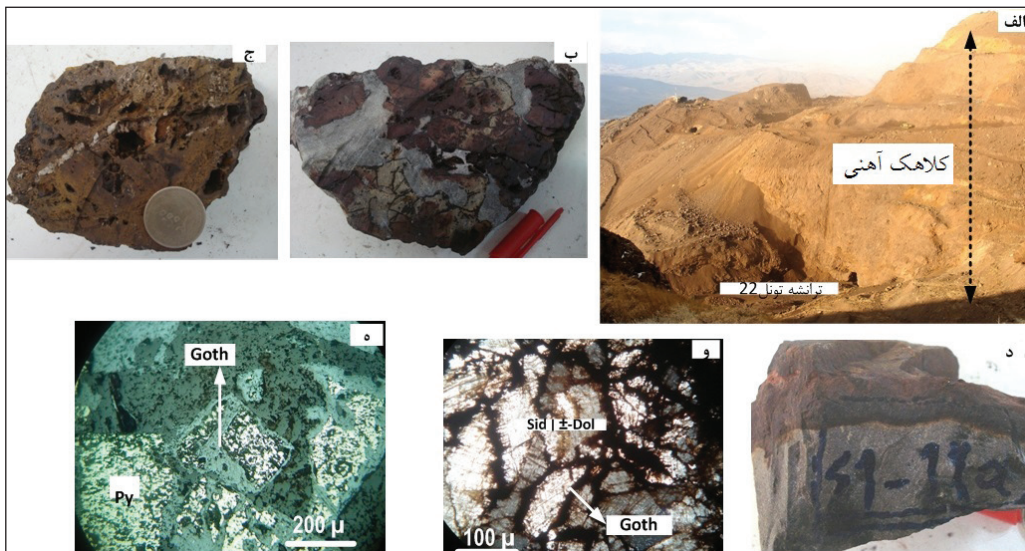
فعالیت سیالات گرمایی در محدوده منطقه آهنگران، سبب تشکیل دگرسانی‌های مختلفی در سنگ میزبان ماده معدنی شده است. شدت این دگرسانی‌ها در بخش‌های مختلف کانسار و انواع کانسنگ‌ها متفاوت است. دگرسانی‌های کرناتی و سیلیسی از جمله دگرسانی‌های شاخص در کانسار آهنگران هستند (شکل ۷). دگرسانی کرناتی شامل سیدریتی شدن و فرودولومیتی- آنکریتی به صورت چینه‌کران و با حداکثر شدت و گسترش در بخش‌های مرکز و غربی کانسار در سیلستون توفی میزبان گسترش یافته است. سیدریتی شدن در بخش‌های مرکز و غرب کانسار به

چینه‌سان سولفیدی-اکسیدی و همچنین در پهنه رگچه‌ای تغذیه کننده کانسار قابل مشاهده است. این کانی‌ها همراه با کانه‌زایی اصلی سولفیدی-اکسیدی در منطقه رخ داده و به صورت قطع کننده و جانشینی سیدریت‌های مرحله اول مشاهده می‌شوند (شکل ۸-ج). دگرسانی سیلیسی همراه با سیدریتی شدن و با شدت بیشتر در بخش‌های مرکز و غرب کانسار گسترش یافته است (شکل ۷). سیلیس علاوه بر این همراه با کانه‌زایی اصلی سولفیدی-اکسیدی و همچنین در رگه‌های کانسنگ رگه‌ای کانسار نیز قابل مشاهده است. از دیگر دگرسانی‌هایی که گسترش کمتری را در منطقه دارند شامل دگرسانی سریشیتی و کلریتی است که تنها در بخش‌های مرکزی و غربی کانسار و در قسمت‌هایی که مواد توفی موجود در سیلستون توفی میزبان بیشتر است، بیشتر به چشم می‌خورد.

حدی بوده که در اغلب موارد کل سنگ میزبان سیلستون توفی را تحت تأثیر قرار داده و توده‌ای از کانی سیدریت (Sid I) با مقادیر کمتری از باقیمانده‌های سنگ میزبان قابل مشاهده است. این نوع سیدریت به صورت فراگیر و ریز تا متوسط بلور (۲۰ تا ۶۴ میکرون) (آدابی، ۱۳۸۳) قبل از مرحله اصلی کانی‌سازی سولفیدی-اکسیدی در کانسار آهن‌گران تشکیل شده است (شکل ۵-ج). شکل گسترش این دگرسانی حالت نامتقارن دارد. به طوری که در مرکز و غرب کانسار (محل ورود سیالات هیدروترمالی) دارای عمق و ضخامت زیاد و به شرق از عمق و ضخامت آن کاسته می‌شود (شکل ۷). سیدریتی شدن همچنین به صورت بلورهای سیدریت درشت نسل دوم در بخش رگه‌ای کانسار دیده می‌شود (شکل‌های ۱۱-د و و). فرودولومیت (Fe-Dol) همراه با کانی‌سازی در قسمت‌های مختلف کانسنگ



شکل ۱۱- الف و ب) نمایی دور و نزدیک از رخنمون کانسنگ رگه‌ای سرب پرعیار (محل تونل ۱۰) در کانسار آهن‌گران. در حاشیه رگه‌های اصلی، رگچه‌های گالن (Gn)، پیریت (Py) همراه با سیدریت درشت (Sid II)، باریت (Ba) و سیلیس (Qtz) مشاهده می‌شود؛ ج و د) تصاویری در مقیاس رخنمون و نمونه دستی از کانسنگ رگه‌ای سولفیدی دما بالا در بخش تحتانی رگه (محل تونل ۶) که شامل رگچه‌های سیلیسی-سیدریتی درشت نسل دوم (Sid II) حاوی کالکوپیریت (Cpy) و گالن که سیلستون توفی سیدریتی شده را قطع کرده است. انواع تصاویر میکروسکوپی از بافت رگچه‌ای در کانسنگ رگه‌ای: و) تصویر میکروسکوپی نور انعکاسی از جانشینی گالن و کالکوپیریت به جای پیریت؛ ه) تصویر میکروسکوپی نور عبوری از جانشینی سولفیدها به جای سیدریت درشت؛ ی) تصویر میکروسکوپی نور انعکاسی کانی بورنیت (Bor) و گالن که جانشینی پیروتیت (Po) شده است.



شکل ۱۲- تصاویری از پهنه اکسیدان (کلاهِک آهنی) توسعه یافته بر روی کانسنگ چینه‌سان سولفیدی- اکسیدی کانسان آهنگران؛ (الف) نمایی از پهنه کلاهِک آهنی با سیمایی قرمز تا مایل به قهوه‌ای، (ب و ج) تصاویر نمونه‌های دستی از کانسنگ چینه‌سان سولفیدی- اکسیدی اولیه که اکسید شده است؛ (د و و) تصویر نمونه دستی و میکروسکوپی نور عبوری از سیلستون توفی سیدریتی شده اولیه (Sid I) اکسید و تبدیل به گوتیت شده است؛ (ه) تصویر میکروسکوپی نور انعکاسی از تبدیل شدگی پیریت به گوتیت.

۷- بحث

و در کف دریا رخ داده است. مرحله اصلی کانه‌زایی با دگرسانی سیدریتی وسیع شروع و با کانی‌سازی سولفیدی، اکسیدی و کربناتی به همراه مقادیر کمتر سیلیس و باریت ادامه می‌یابد (شکل‌های ۶ و ۷-الف). این مرحله به صورت رگچه‌های تغذیه کننده در بخش‌های تحتانی و بخش چینه‌سان در قسمت فوقانی آن تشکیل شده است. در این مرحله جانشینی کانی‌های سولفیدی، اکسیدی و کربناتی درشت بلور به جای کانسنگ باریتی و سنگ میزبان سیدریتی شده در زیر کف دریا و در حین سنگ‌شدگی سیلستون توفی میزبان توسعه پیدا کرده است، چرا که رگچه‌های کانه دار در این مرحله به صورت واضح سنگ میزبان و همچنین کانسنگ باریتی مرحله اول کانه‌زایی را قطع و برشی نموده‌اند (شکل‌های ۶-ب و ۹-ب و ج). در مرحله تأخیری، کانه‌زایی به صورت رگه‌ای حاوی کانی‌های سرب و مس پرعیار همراه با سیدریت درشت بلور نوع دوم، باریت و سیلیس در رسوبات سخت شده بخش تحتانی کانسان و به صورت قطع کننده کانسنگ‌های مرحله اصلی کانه‌زایی رخ داده است (شکل‌های ۷ و ۱۱). بنابراین تشکیل آنها پس از مرحله اصلی کانی‌سازی سولفیدی- اکسیدی صورت گرفته است، اما با توجه به شباهت ترکیب کانی‌شناسی آنها با رگچه‌های مرحله دوم (به جز عدم حضور مگنتیت در این رگچه‌ها)، در ادامه فعالیت‌های هیدروترمالی مرحله دوم تشکیل شده‌اند، مانند تشکیل رگه‌های حاوی ماده معدنی در مرحله پایانی کانه‌زایی ذخایر سرب و روی حوضه Red Dog (Kelley et al., 2004). در کانسان آهنگران به دلیل سنگ‌شدگی کامل سنگ میزبان سیلستون توفی پس از پایان مرحله اصلی کانه‌زایی و در نتیجه کاهش نفوذپذیری و تخلخل، فشار هیدرواستاتیکی سیالات کانه‌ساز بالا رفته سبب بازشدگی فضاهای خالی و ایجاد رگه‌های حاوی ماده معدنی با ضخامت بیشتر در سنگ میزبان شده‌اند. سیالات کانه‌ساز در این مرحله به بخش‌های سطحی راه نیافته و در بخش‌های تحتانی کانسان سبب تشکیل رگه‌های قطع کننده شده‌اند. بنابراین دارای دمای بالاتری نسبت به سیالات مرحله اصلی کانی‌سازی هستند و کانی‌های دما بالا نظیر کالکوپیریت، بورنیت، ارسنوپیریت و پیرویت در این رگه‌ها از فراوانی بیشتری برخوردار است. همچنین این کانسان در اثر فرایندهای هوازگی دچار اکسیداسیون شدید شده و کلاهِک آهنی وسیعی تشکیل شده که به عنوان کانسنگ آهن استخراج می‌شود.

کانه‌زایی آهن-سرب آهنگران در توالی تخریبی قاعده کوتاه تحتانی رخ داده است. سنگ میزبان کانه‌زایی سیلستون توفی با میان لایه‌هایی از ویتریک توف است که با گسترش گوه‌های شکل با حداکثر ضخامت در غرب معدن در محدوده گسل دره سماق (روند شمال غربی- جنوب شرقی) بوده و به سمت شرق از ضخامت آن کاسته و به طرف غرب گسل، رخنمون آن بسیار محدود و نهایتاً دیده نمی‌شود. نهشته شدن این واحد می‌تواند در اثر عملکرد گسل‌های نرمال همزمان با رسوب‌گذاری و فرونشست حوضه در محدوده کانسان باشد که این وضعیت با توجه به فرارگیری منطقه در جایگاه تکنوتیکی کنشی پشت کماتی (Mohajjel and Ferguson (2014) و ایجاد ساختارهای گرابنی نیمه گرابنی در کوتاه تحتانی می‌تواند قابل توجه باشد. مهم‌ترین کانی‌های سولفیدی و اکسیدی اولیه در کانسان آهنگران به ترتیب فراوانی شامل سیدریت، پیریت، مگنتیت، گالن، باریت، کالکوپیریت، فرودولومیت و ترائیدیت و مقادیر کمتری از پیرویت، ارسنوپیریت، فریرزیت هستند. کانه‌زایی آهن-سرب به صورت گوه‌های چینه‌سان و با ضخامت بیشتر در غرب معدن همراه با پهنه رگچه‌ای تغذیه کننده وسیع در کم‌پایین آن رخ داده است. کانه‌زایی رگه‌ای نیز به صورت قطع کننده در بخش‌های تحتانی کانسان دیده می‌شود. چهار نوع کانسنگ مختلف شامل پهنه رگچه‌ای تغذیه کننده، کانسنگ چینه‌سان سولفیدی- اکسیدی، کانسنگ باریتی و کانسنگ رگه‌ای بر مبنای شکل ماده معدنی، ساخت و بافت و کانی‌شناسی در کانسان شناسایی شده است. مهم‌ترین دگرسانی‌ها در کانسان آهنگران شامل دگرسانی‌های کربناته آهن دار (سیدریتی و فرودولومیتی) و سیلیسی است که در بخش‌های مختلف کانسنگ قابل مشاهده است. بر اساس مطالعات کانی‌شناسی و روابط ساختی - بافتی سه مرحله کانه‌زایی در کانسان آهنگران تشخیص داده شده است (شکل ۱۳). مرحله اول کانه‌زایی تشکیل کانسنگ باریتی است. کانسنگ باریتی به صورت توده‌ای و در بخش‌های فوقانی به صورت بافت نواری تشکیل شده است (شکل‌های ۷ و ۹). با توجه به شکل لایه‌ای کانسنگ باریتی، بافت‌های نواری باریت ریز بلور و متوسط بلور با سنگ میزبان به همراه وجود پیریت-های ریز بلور و رگه‌های بسیار ریز بلور همزمان با آنها که در متن بلورهای باریت دیده می‌شود، می‌توان گفت تشکیل این مرحله به صورت همزمان با رسوب‌گذاری

Century در حوضه شمال استرالیا (Broadbent et al., 2002) و نیز ذخایر Red dog و Anarraq در حوضه آلاسکا (Kelley et al., 2004). در این ذخایر سیالات کانی ساز به هنگام صعود آنها از اعماق از طریق گسل های همزمان با رسوب گذاری و قبل از رسیدن به کف دریا در یک لایه نفوذپذیر به صورت جانبی حرکت نموده و باعث کانی سازی به صورت جانشینی در این لایه سنگ نشده می شوند. در این نوع کانسارها بافت های جانشینی بیشترین گسترش را در رخساره های کانه دار داشته و بافت های همزمان با رسوب گذاری از قبیل بافت لامینه های سولفیدی در تناوب با سنگ میزبان در این ذخایر به ندرت دیده می شود (Kelley et al., 2004; Large et al., 2004).

ویژگی های کانه زایی در کانسار آهنگران با ویژگی های برخی از انواع ذخایر Sedex بیشترین شباهت را دارد. کانه زایی در ذخایر نوع Sedex بیشتر در مجاورت گسل همزمان با رسوب گذاری رخ داده و سیلتستون، سنگ میزبان اصلی کانه زایی در این نوع ذخایر است (Goodfellow and Lydon, 2007). رخساره های سولفیدی رگه-رگچه ای تغذیه کننده، توده ای، لایه ای و حاشیه ای از اصلی ترین رخساره های سولفیدی تشکیل شده در ذخایر Sedex هستند. دگرسانی سیلیسی، کربناتی و به میزان کمتر سریستی، از دگرسانی های اصلی همراه با کانه زایی سولفیدی در ذخایر Sedex هستند (Kelley et al., 2004). یکی از انواع ذخایر Sedex بر مبنای نحوه تشکیل مدل ژنتیکی (Wilkinson, 2014)، نوع جانشینی زیر کف دریا هستند مانند ذخیره

| Minerals | Mineralization Stages | | | Post Mineralization |
|-----------------|-----------------------------|---------------------------------------|------------|---------------------|
| | Stage 1 (Synsedimentary) | Stage 2 Main Stage (Sub sea floor) | Stage 3 | Superge processes |
| Barite I | ██████████ | | | |
| Pyrite I | ██████████ | | | |
| Galena I | ██████████ | | | |
| Siderite I | | ██████████ | | |
| Pyrite II | | ██████████ | | |
| Magnetite | | ██████████ | | |
| Galena II | | ██████████ | | |
| Chalcopyrite I | | ██████████ | | |
| Tetrahedrite | | ██████████ | | |
| Ferrodolomite | | ██████████ | | |
| Barite II | | ██████████ | | |
| Quartz | | ██████████ | | |
| Barite III | | | ██████████ | |
| Siderite II | | | ██████████ | |
| Pyrite III | | | ██████████ | |
| Chalcopyrite II | | | ██████████ | |
| Galena III | | | ██████████ | |
| Bornite | | | ██████████ | |
| Pyrrhotite | | | ██████████ | |
| Goethite | | | | ██████████ |
| Hematite | | | | ██████████ |
| Other Fe-oxides | | | | ██████████ |

شکل ۱۳- توالی پاراژنتیکی و مراحل تشکیل کانی ها در کانسار آهنگران.

۸- نتیجه گیری

جانشینی در رخساره های کانه دار و گسترش اندک بافت های همزمان با رسوب گذاری از قبیل بافت لامینه های سولفیدی در تناوب با سنگ میزبان در کانسار آهنگران، بیشترین شباهت را به ذخایر Sedex نوع جانشینی زیر کف دریا دارد. به طوری که در مرحله اصلی کانه زایی، کانسنگ چینه سان سولفیدی-اکسیدی به صورت جانشینی در سنگ میزبان سیلتستون توفی سیدریتی شده و کانسنگ باریتی فوقانی تشکیل شده است.

با در نظر گرفتن عوامل مؤثر در مدل کانه زایی از جمله محیط تکتونیکی، محیط تشکیل، عوامل ساختاری مانند گسل ها، جنس سنگ میزبان، ساخت و ماده معدنی و نوع کانسنگ های سولفیدی از جمله پهنه رگچه ای تغذیه کننده و بخش چینه سان سولفیدی-اکسیدی و دگرسانی، کانسار آهنگران با ویژگی های برخی از انواع ذخایر Sedex بیشترین شباهت را دارد. همچنین با توجه به گسترش حداکثر بافت های

کتابنگاری

- اکبری، ز.، رسا، ا.، محجل، م. و آدابی، م. ح.، ۱۳۹۵- الگوی تشکیل کانسار آهن-سرب آهنگران (جنوب شرق ملایر) بر اساس مطالعات انواع کانسنگ ها، ژئوشیمی و ایزوتوپی پایدار، رساله دکتر، زمین شناسی اقتصادی، دانشگاه شهید بهشتی.
- آدابی، م. ح.، ۱۳۸۳- ژئوشیمی رسوبی. انتشارات آراین زمین، ۴۴۸ ص.
- بوری کناری، م.، راستاد، ا.، محجل، م.، ناکینی، ع. و حق دوست، م.، ۱۳۹۴- ساخت و بافت، کانی شناسی و چگونگی تشکیل رخساره های سولفیدی در کانسار تپه سرخ با سنگ میزبان آواری-کربناتی، جنوب اصفهان. فصلنامه علوم زمین، سال بیست و پنجم، شماره ۹۷، صص. ۲۲۱ تا ۲۳۷.
- بزرگ آدابی، م. ح.، راستاد، ا. و محمودی، پ.، ۱۳۹۳- جایگاه چینه ای افق های کانه زایی روی-سرب و باریت در توالی کربناته کرتاسه زیرین منطقه معدنی رباط، حوضه جنوب اراک، پهنه سنج-سیرجان، سی و سومین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی کشور.

جعفریان، م. ب. و زمانی پدram، م. ۱۳۷۸- نقشه بر گه یکصد هزار ملایر، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
 رنجبران، م. ۱۳۷۰- محیط رسوبی و دیاژنز سنگ‌های کربناته حاوی سرب و روی معدن آهنگران، رساله کارشناسی ارشد دانشکده علوم، دانشگاه تهران.
 قلیچ‌پور، ح.، احمدی، م. و حسینخانی، ا. ۱۳۸۹- پروژه تحقیقاتی، اکتشافات ژئوشیمیایی معدن آهنگران.
 موحلدنیا، م.، راستاد، ا. و رجیبی، ع. ر. ۱۳۹۴- کنسار روی-سرب آب باغ؛ نمونه‌ای از کنسارهای روی و سرب با سنگ میزبان آواری-کربناته در جنوب شرقی ترین بخش کمر بند فلزایی ملایر-اصفهان. مجموعه مقالات سی و سومین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات مواد معدنی کشور.
 مؤمن‌زاده، م. ۱۳۶۷- گزارش مطالعات اکتشافی کنسار آهنگران فاز اول وزارت معادن و فلزات.
 نیازی، س.، محجل، م. و راستاد، ا. ۱۳۹۲- تحلیل ساختارهای زمین‌شناسی معدن آهنگران، رساله کارشناسی ارشد تکنونیک، دانشگاه تربیت مدرس.
 یارمحمدی، ع.، راستاد، ا. و رجیبی، ع. ر. ۱۳۹۴- آنالیز رخساره‌ای، ماهیت و منشأ سیالات کانه‌دار و الگوی تشکیل ذخایر روی-سرب با سنگ درونگیر کربناته در بخش بالایی کر ناسه زیرین، منطقه معدنی شمال تیران (شمال غرب اصفهان)، رساله دکترا، زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه تربیت مدرس.
 یعقوب‌پور. ع. م. و زمانیان، ح. ۱۳۸۰- ژنز کنسار سرب و نقره آهنگران ملایر. نشریه علوم دانشگاه تربیت معلم تهران، جلد ۱، شماره ۱، صص. ۶۵ تا ۵۴.

References

- Broadbent, G. C., Andrews, S. J. and Kelso, I. J., 2002- A decade of new ideas: geology and exploration history of the Century Zn-Pb-Ag deposit, Northwestern Queensland, Australia. In: Goldfarb, R.J., Nielsen, R.L. (eds.), Integrated Methods for Discovery: Global Exploration in the Twenty-First Century, vol. 9. Society of Economic Geologists Special Publication SPE.3, p. 119- 140.
- Ehya, F., Lotfi, M. and 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*, v. 37, p. 186-194.
- Ghasemi, A. and Talbot, C. J., 2006- A new tectonic scenario for the Sanandaj-Sirjan Zone (Iran): *Journal of Asian Earth Sciences*, v. 26, p. 683-693.
- Ghazban, F., McNutt, R. H., and Schwarcz, H. P., 1994- Genesis of sediment-hosted Zn-Pb-Ba deposits in the Iran Kouh district, Esfaha area, west-Central Iran. *Economic Geology*, v. 89, p. 1262- 1278.
- Goodfellow, W. D. and Lydon, J. W., 2007- Sedimentary exhalative (SEDEX) deposits, in Goodfellow, W.D., (eds.), 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 5, p. 163-183.
- Kelley, K. D., Leach, D. L., Johnson, C. A., Clark, J. L., Fayek, M., Slack, J. F., Anderson, V. M, Ayuso, R. A. and Ridley, W. I, 2004- 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*, v. 99, p. 1509- 1532.
- Large, R. R., McGoldrick, P., Bull, S. and Cooke, D., 2004- Proterozoic startiform 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., Bradley, D. C., Huston, D., Pisarevsky, S. A., Taylor, R. D. and Gardoll, S. J., 2010- Sediment-hosted lead-zinc deposits in Earth history: *Economic Geology*, v. 105, p. 593- 625.
- Mohajjel, M. and Fergusson, C. L., 2014- Jurassic to Cenozoic tectonics of the Zagros Orogen in northwestern Iran. *International Geology Review*, v. 56, p. 263- 287.
- Mohajjel, M., Fergusson, C. L. and Sahandi, M. R., 2003- Cretaceous-Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj-Sirjan Zone, western Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, v. 21, p. 397- 412.
- Momenzadeh, M., 1976- Stratabound lead-zinc ores in the lower Cretaceous and Jurassic sediments in the Malayer-Esfahan district, lithology, metal content, zonation and genesis. Unpublished Ph.D. thesis, University of Heidelberg, 300 p.
- Rajabi, A., Rastad, E. and Canet, C., 2012a- Metallogeny of Cretaceous carbonatehosted Zn- Pb deposits of Iran: geotectonic setting and data integration for future mineral exploration, *International Geology Review*, v. 54(14), p. 1649- 1672.
- Rajabi, A., Rastad, E., Alfonso, P. 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*, v. 5(14), p.1635- 1648.
- Rastad, E., 1981- Geological, mineralogical, and facies investigations on the Lower Cretaceous stratabound Zn-Pb-(Ba-Cu) deposits of the Iran Kouh Mountain Range, Esfahan. Unpublished Ph.D. thesis, Heidelberg, University of Heidelberg, 334 p.
- Reynold, N. and Muhling, P., 2011- Diversity of Zinc-Lead Metallogeny Implications for Targeting and Discovery. AIG Base Metals Seminar, Perth, Australia.
- Velasco, F., Herrero, J. M., Suárez, S., Yusta, I., Alvaro, A. and Tornos, F., 2013- Supergene features and evolution of gossans capping massive sulphide deposits in the Iberian Pyrite Belt. *Ore Geology Reviews*, v. 53, p. 181- 203.
- Wilkinson, J. J., 2014- Sediment-Hosted Zinc-Lead Mineralization: Processes and Perspectives. *Treatise on Geochemistry 2nd Edition*, p. 219-249.

Ore types, structure, texture and genesis of Ahangaran Fe-Pb deposit, South East of Malayer, (Malayer-Esfahan metallogenic belt)

Z. Akbari^{1*}, A. Yarmohammadi² and I. Rassa³

¹Ph.D., Faculty of Earth Science, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

²Ph.D., Faculty of Basic Science, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran

³Professor, Faculty of Earth Science, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Received: 2018 January 17

Accepted: 2019 February 26

Abstract

The Fe-Pb Ahangaran deposit, hosted by tuffaceous siltstone of the Early Cretaceous sedimentary sequence in the northern part of the Malayer-Esfahan Metallogenic Belt (MEMB), Iran. Ore mineralization occurred as stratiform and a widespread veinlet zone in the upper part of Lower Cretaceous terrigenous unit (Kc). Four different ore types can be distinguished in deposit include: (1) veinlet (feeder) zone, (2) sulfide-Fe- oxide stratiform ore (3) barite ore and (4) vein ore. Ore minerals in the different ore types are pyrite, siderite, magnetite, galena, barite, chalcopyrite and tetrahedrite and rare minerals are pyrrotite, arsenopyrite, and freibergite. Carbonatization and silicification are the main hydrothermal alterations in this deposit. The orebodies in the Ahangaran deposit have been replaced by iron oxide minerals in supergene process and have been formed a thick gossan zone. The textural and mineralogical data provide evidence of three stages of mineralization (Early, main and late stage) in Ahangaran deposit. According to evidences such as tectonic setting, type of host rock, geometry of deposit, sulfide-Fe oxide ore types, textures and structures indicate that the Ahangaran deposit is compatible with a sub-seafloor replacement mineralization that has been suggested for some Sedex deposits.

Keywords: Fe-Pb Ahangaran Deposit, Malayer-Esfahan Metallogenic Belt, Lower Cretaceous, Sedex.

For Persian Version see pages 161 to 172

*Corresponding author: Z. Akbari; E-mail: akbari.eco@gmail.com