

کانسار مس چاه فرسخ شمالی؛ نمونه‌ای از کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشانزاد (VMS) تیپ بشی (Besshi-type) در کمربند فلزایی ترود-چاه شیرین

مأده خموشی^۱، سجاد مغفوری^{*}، حسینعلی تاج‌الدین^۱

۱- گروه زمین‌شناسی اقتصادی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

(پژوهشی)

پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۲/۲۷ تأیید نهایی مقاله: ۱۴۰۱/۱۰/۱۴

چکیده

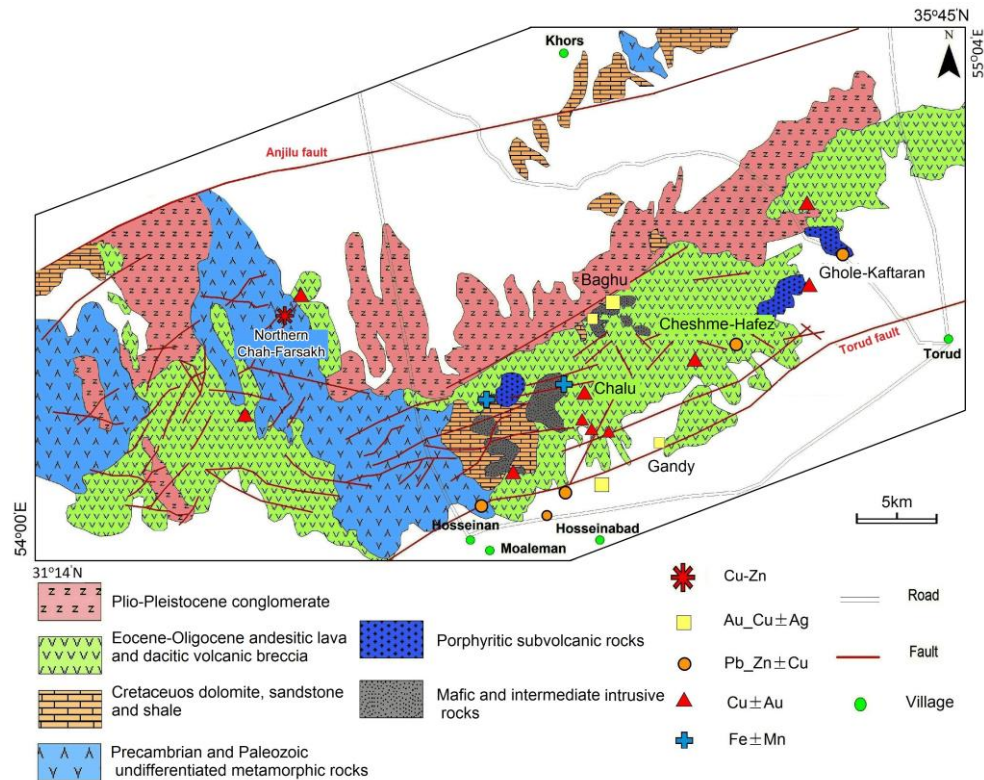
کانسار مس چاه فرسخ شمالی در توالی آتشفشانی-رسوبی نئوپروتروزوئیک-کامبرین زیرین و در بخش جنوب‌غربی کمربند فلزایی ترود-چاه شیرین واقع شده است. کانه‌زایی به صورت یک افق سولفیدی در سنگ میزبان متاولکانیکی و به صورت محدودتر در سنگ‌های موسکوویت-کوارتز شایسته، و واحد مرمری تشکیل شده است. کانه‌های هیپوژن در کانسار چاه فرسخ شمالی عبارتند از کالکوپیریت، پیریت، اسفالریت، تتراهدريت-تنانتیت، مگنتیت، پیروتیت و بورنیت و کانه‌های سوپرژن شامل کالکوسیت، کوولیت، مالاکیت، آزوریت، کریزوکولا، همتیت، لیمونیت و گوتیت هستند. کوارتز، کلسیت، اپیدوت، سرسیت و کلریت فراوان‌ترین کانی‌های باطله می‌باشند. براساس مطالعات صحرایی و میکروسکوپی سه رخساره کانسنگی توده‌ای، لایه‌ای و رگه-رگچه‌ای در این کانسار تشخیص داده شده است. براساس مطالعات میانبارهای سیال بر روی کوارتزهای رخساره کانسنگ رگه-رگچه‌ای، میانگین دمای همگن شدن سیالات ۳۵۵ درجه سانتی‌گراد و میانگین شوری ۱۲/۴۴ درصد وزنی نمک طعام محاسبه شده است. مطالعات زمین‌شناسی، محیط تکتونیکی پشت قوسی، رخساره‌های کانسنگی، کانی‌شناسی، ساخت و بافت، پاراژنز کانیایی غنی از مس و دماسنجی میانبارهای سیال حاکی از تشکیل کانسار چاه فرسخ شمالی در اثر فعالیت‌های بروندمی زیردریایی به صورت کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشانزاد (VMS) تیپ بشی (Besshi-type) می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تیپ بشی، چاه فرسخ شمالی، رخساره‌های کانسنگی، سولفید توده‌ای آتشفشانزاد، کانه‌زایی مس.

مقدمه

کمربند فلززایی ترود- چاه شیرین با امتداد شمال شرق- جنوب غرب، در قسمت شمالی زون ایران مرکزی قرار دارد (شکل ۱ الف). مساحت تقریبی این کمربند ۳۰۰ کیلومتر مربع بوده و از نظر تکتونیکی، چینه‌شناسی و ماگمایی دارای تاریخ پیچیده‌ای است (Alavi, 1996). پی‌سنگ این کمربند از سنگ‌های دگرگون شده آمفیبولیت، شیست و گنایس‌های پرکامبرین تشکیل شده است (Crawford, 1977؛ هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷). مطالعات زمین‌شناسی و نمونه‌برداری‌های صحرائی نشان از دگرگونی ناحیه‌ای تمامی سنگ‌های موجود در منطقه قبل از کرتاسه می‌باشد (به-طوری که واحدهای سنگی کرتاسه بدون دگرگونی هستند) و این خود نشان از رخداد دگرگونی‌ها در طی فازهای کوهزایی‌های سیمیرین است (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷). از دیگر واحدهای این کمربند فلززایی می‌توان به سنگ‌های دولومیتی چرت‌دار به سن کامبرین، توالی آتشفشانی- رسوبی به سن اردوویسین، سنگ‌آهک و گدازه تراکی آندزیتی (سازند نیور)، ماسه‌سنگ و شیل (سازند پادها)، دولومیت، سنگ آهک و گچ (سازند بهرام) و سنگ آهک دولومیتی به سن پرمین اشاره کرد (Hassanzadeh et al, 2002) واحدهای مذکور در معرض تغییرشکل و دگرگونی درجه پایین در حد رخساره شیست سبز قرار گرفته و توسط یک دگرشیبی با کنگلومرا و سنگ آهک کرتاسه پوشیده شده است. جوان‌ترین سنگ‌های برونزد یافته در کمربند فلززایی ترود- چاه شیرین، که از گسترش قابل توجهی نیز برخوردار هستند، سنگ‌های ماگمایی ائوسن- الیگوسن می‌باشند (Amidi et al, 1984; Eshraghi and Jalali, 2006). مهم‌ترین کانسارها و ذخایر این کمربند فلززایی شامل کانسارهای فلزات گرانبه‌های تیپ اپی‌ترمال با سنگ

میزبان آتشفشانی تا نیمه عمیق با ترکیب آلکالن است. به عنوان مثال می‌توان به کانسارهای گندی (Au-Ag-Pb-Zn) (Fard et al, 2006)، ابوالحسنی (Pb-Zn±Au-Ag) (Shamanian et al, 2004)، چشمه‌حافظ (Pb-Zn-Cu±Ag) (Mehrabi and Ghasemi, 2012)، قله کفتران (Pb-Zn-Cu ±) (Ag)، پوسیده (Cu±Au)، دارستان (Au-Ag±Cu) (Niroomand et al, 2018) (شکل ۱ ب). علاوه بر این کانسارها، انواع تیپ‌های دیگر کانساری مانند طلای مرتبط با توده نفوذی و طلای پلاسری و فیروزه (طلا و مس) در باغو، ذخایر اسکارن آهن در چالو، سرب-روی با میزبان کربناتی (MVT-type) در رشم، خانجار و آنارو نیز از این کمربند فلززایی گزارش شده است (Shamanian et al, 2004; Niroomand et al, 2018; Tale-Fazel et al, 2019) (شکل ۱ ب). مطالعات پژوهشی جامع در رابطه با کانسار چاه فرسخ شمالی صورت نگرفته است، ولی حمامی‌پور (۱۳۹۶)، در طی ارائه گزارش اکتشافی، مطالعات زمین‌شناسی و کانه‌زایی مس را مورد مطالعه قرار داده است و رخداد کانه‌زایی مس در منطقه را به صورت همروند با لایه‌بندی توالی آتشفشانی- رسوبی معرفی کرده است. این مقاله ضمن معرفی کانسار مس چاه فرسخ شمالی به عنوان کانسار سولفید توده‌ای آتشفشانزاد تیپ بشی، به شناسایی ویژگی‌های رخساره‌های کانسنگی، ساخت و بافت و کانی‌شناسی همچنین به مطالعات میانبارهای سیال این کانسار نیز پرداخته است. با توجه به اینکه توالی آتشفشانی- رسوبی پالئوزوئیک زیرین در کمربند فلززایی ترود- چاه شیرین از گسترش قابل توجهی برخوردار است، لذا اطلاعات تحقیق حاضر می‌تواند به عنوان کلید و راهنمای اکتشافی در دیگر نقاط این کمربند با توالی آتشفشانی- رسوبی مشابه از جهت اکتشاف ذخایر VMS مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۱: الف: نقشه تقسیم‌بندی پهنه‌های ساختاری ایران برگرفته از آقناباتی (Aghanabati, 1998) و موقعیت منطقه مورد مطالعه که با (*) مشخص شده است. AI: Alborz zone, CIGS: Central Iranian geological and structural transition zone, E: East Iranian ranges, K: Kopeh-Dagh, KT: Khazar-Talesh-Ziven structural zone, L: Lut Block, M: Makran, O: Ophiolite belts, P: Posht-e-Badam Block, SSZ: Sanandaj-Sirjan zone, T: Tabas Block, TM: Tertiary magmatic rocks, UD: Urumieh-Dokhtar magmatic arc, Y: Yazd Block, Z: Zabol area, Za: Zagros ranges. ب: نقشه زمین‌شناسی ساده شده کمر بند فلز زایی تروند-چاه شیرین و پراکندگی تپ‌های مختلف کانساری بر روی آن (براساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰,۰۰۰ تروند: هوشمندزاده، ۱۳۵۱ و (Tale-Fazel et al, 2019).

منطقه مورد مطالعه

کانسار مس چاه فرسخ شمالی در ۷۵ کیلومتری جنوب دامغان در استان سمنان واقع شده است (شکل ۲ الف) و دارای مختصات جغرافیایی $35^{\circ}28'29''$ عرض و $54^{\circ}15'33''$ طول شرقی و شمالی می‌باشد.

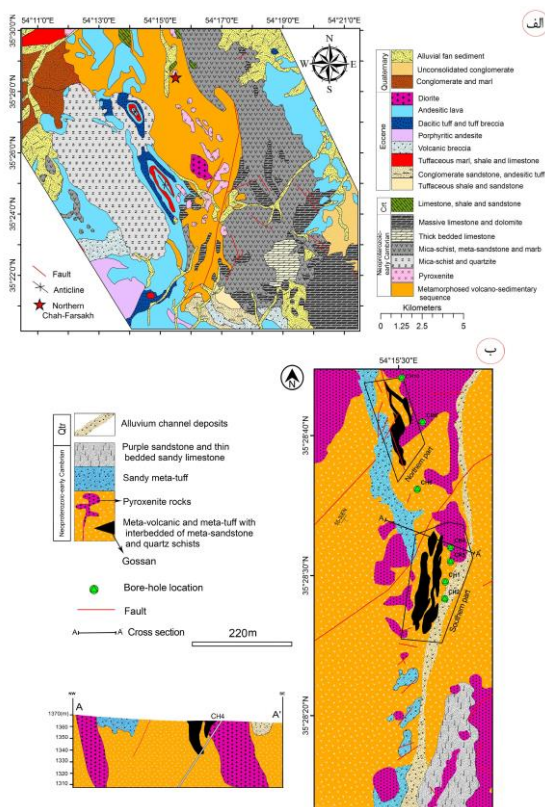
مواد و روش‌ها

در انجام این پژوهش، برای بررسی ویژگی‌های رخساره‌های کانه‌دار کانسار چاه فرسخ شمالی ۱۹ مقطع نازک و ۲۴ مقطع نازک-صیقل در طول گمانه‌های حفر شده از توالی آتشفشانی-رسوبی

میزبان کانه‌زایی، تهیه و مورد مطالعه میکروسکوپی قرار گرفت. همچنین مطالعات کانه‌نگاری، کانی‌شناسی، ساخت و بافت بر روی ۲۴ عدد مقاطع نازک-صیقلی و ۵ عدد مقاطع صیقلی انجام شد. به دلیل عدم گسترش کانسار چاه فرسخ شمالی به صورت رخنمون صحرایی، اطلاعات زمین‌شناسی و کانه‌زایی به دست آمده بیشتر با کمک مطالعه بر روی مغزه‌های حفاری انجام شده است. در مرحله بعد، تعداد ۷ نمونه از رگه‌های سیلیسی حاوی کانه‌زایی در رخنمون‌های سطحی و گمانه‌های اکتشافی حفر شده برداشت گردید و ضمن تهیه مقاطع دو بر صیقل، برای انجام مطالعات پتروگرافی

درگیر دانشگاه تربیت مدرس انجام گرفته است. دقت کار دستگاه در مرحله سرد و گرم کردن، °C ±۲ و محدوده حرارتی دستگاه بین °C -۱۸۰ تا °C +۶۰۰ می‌باشد. برای اندازه‌گیری‌های سرمایشی، دقت دستگاه حدود °C ۰/۳ ± برای ذوب CO₂ و °C ۰/۲ ± برای ذوب یخ بوده است. همچنین، جهت انجام اندازه‌گیری‌های گرمایشی، دقت کار دستگاه حدود °C ±۱ برای نقطه بحرانی آب بوده است.

و میکروترمومتری سیالات درگیر مورد استفاده قرار گرفت. از بین نمونه‌هایی که از رخسارهای کانسنگی مختلف برداشت شده بودند فقط نمونه‌های برداشت شده از زون رگه-رگچه‌ای دارای سیالات درگیر درشت و قابل مطالعات میکروترمومتری بودند. مطالعات میکروسکوپی و پتروگرافی سیالات درگیر با استفاده از میکروسکوپ Leitz توسط عدسی شیئی LWD80X در آزمایشگاه مطالعات سیالات



شکل ۲: الف: نقشه زمین‌شناسی ساده شده ۱:۱۰۰,۰۰۰ کلاتهرشم و موقعیت کانسار چاه فرسخ شمالی در توالی آتشفشانی-رسوبی دگرگون شده نئوپروتروزوئیک-کامبرین زیرین (با تغییرات از جعفریان، ۱۳۸۰)، ب: نقشه زمین‌شناسی منطقه معدنی کانسار چاه فرسخ شمالی و جایگاه چینه‌های کانه‌زایی مس در سنگ‌های متاولکانیکی، متاتوف و سنگ‌های شیستی (با تغییرات از حمامی‌پور، ۱۳۹۶).

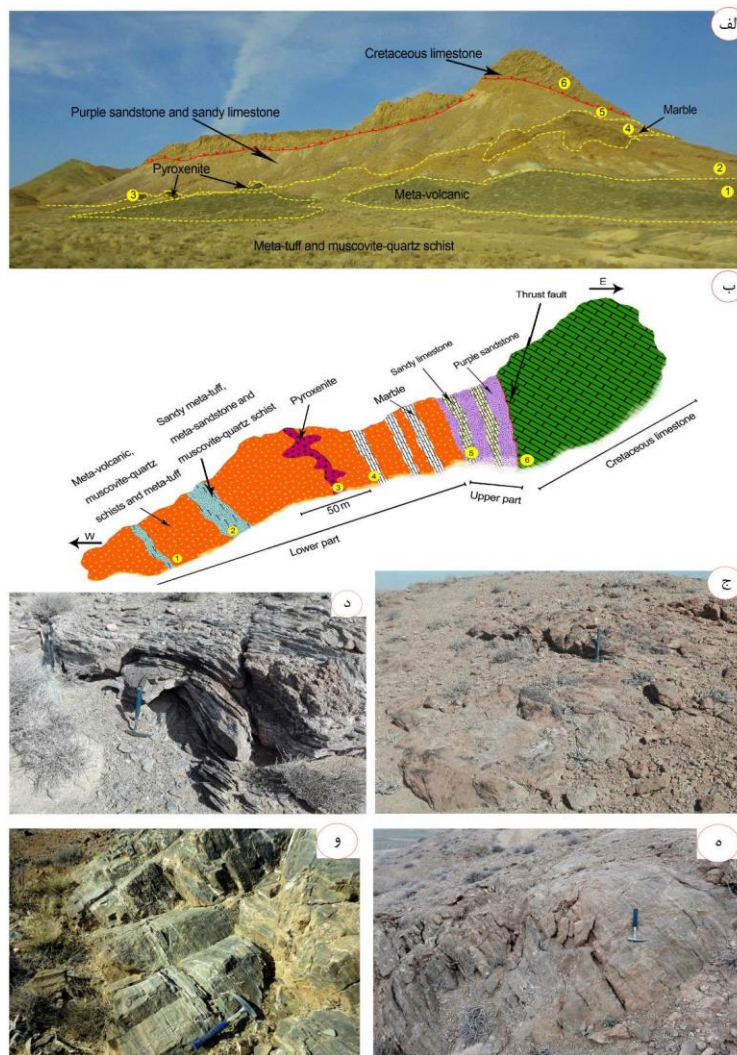
زمین‌شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ کلاتهرشم (جعفریان، ۱۳۸۰) قرار دارد. مطالعات سن سنجی که (Shafaii Moghadam, 2015) بر روی سنگ‌های منطقه چاه جام در شمال شرقی منطقه چاه فرسخ انجام داده است سن معادل نئوپروتروزوئیک-

بحث و نتایج زمین‌شناسی

منطقه مورد مطالعه در کمربند فلزایی تروند-چاه شیرین و در نقشه چهارگوش ۱:۲۵۰,۰۰۰ تروند (هوشمند زاده و همکاران، ۱۳۵۱) و نقشه

نئوپروتروزوئیک-کامبرین زیرین برحسب جایگاه چینه‌شناسی و تغییرات ترکیب سنگ‌شناسی از پایین به بالا به دو بخش کلی قابل تقسیم می‌باشند (شکل ۳ الف و ب). بخش زیرین (Lower part) از سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی و بخش بالایی (Upper part) از سنگ‌های رسوبی تشکیل شده است (شکل ۳ الف و ب).

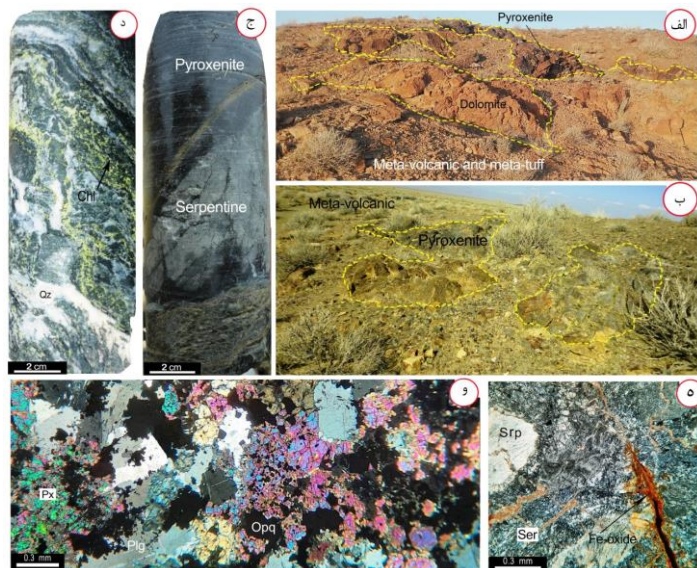
کامبرین زیرین برای واحدهای سنگی منطقه در نظر گرفته است. قدیمی‌ترین سنگ‌های رخنمون یافته در بخش غربی کمربند فلززایی تروند-چاه‌شیرین در منطقه چاه‌فرسخ شمالی رخنمون دارند. این واحدهای سنگی به‌طور عمده متعلق به زمان نئوپروتروزوئیک-کامبرین زیرین می‌باشند. در محدوده کانسار چاه‌فرسخ شمالی توالی سنگی



شکل ۳: الف: نمایی از رخنمون توالی آتشفشانی-رسوبی میزبان کانه‌زایی کانسار چاه‌فرسخ شمالی (دید به سمت شرق)، ب: مقطع شماتیک از واحدهای سنگی بخش‌های زیرین و بالایی توالی آتشفشانی-رسوبی میزبان کانه‌زایی در منطقه چاه‌فرسخ شمالی و انطباق واحدهای چینه‌ای با شکل الف، ج: تصویر رخنمون از واحد مرمر در منطقه معدنی چاه‌فرسخ شمالی، د: نمایی از رخنمون واحد موسکوویت-کوارتزشیست که بر اثر تنش‌های تکتونیکی چین خورده است. ه: نمایی از رخنمون واحد ماسه‌سنگ ارغوانی و: واحد آهک ماسه‌ای نازک لایه در بخش انتهایی واحد آتشفشانی-رسوبی نئوپروتروزوئیک-کامبرین زیرین که به صورت میان لایه در بین ماسه سنگ‌های ارغوانی قرار دارد.

(شکل ۵ الف). واحد متاولکانیک به عنوان یکی از واحدهای اصلی میزبان کانه‌زایی کانسار چاه فرسخ شمالی محسوب می‌شود و در محدوده دارای بیشترین گسترش می‌باشد (شکل ۳). ضخامت میانگین این واحد تقریباً ۴۰۰ الی ۵۰۰ متر است. متاولکانیکها دارای رنگ رخنمون سبز لجنی تا سبز متمایل به خاکستری دارند (شکل ۴ الف و ب) و ارتباط این سنگ‌ها با سنگ‌های زیرین به دلیل پوشیده بودن مشخص نیست ولی ارتباط آن با سنگ‌های کمر بالا به صورت تغییرات تدریجی است (شکل ۳).

واحدهای سنگی بخش زیرین شامل متاولکانیک (طیف سنگ‌های بازالتی تا آندزیتی)، موسکوویت-کوارتزشیست، متاتوف، ماسه سنگ دگرگون شده، پیروکسنیت‌های دگرگون شده (شکل ۴ ج و ه)، متاتوف ماسه‌ای و مرمر می‌باشد (شکل‌های ۳ و ۴). منشا گدازه‌های مافیک و توده‌های پیروکسنیتی فعالیت ماگماتیسم حاصل از کشش و بالا آمدن ماگمای مافیک می‌باشد (Shafaii Moghadam et al, 2015; Ghorbani Derakhshi et al, 2019). افق کانه‌زایی مس در کانسار چاه فرسخ شمالی در واحدهای سنگی بخش زیرین توالی نئوپروتروزوئیک-کامبرین زیرین تشکیل شده است



شکل ۴: الف و ب: نمایی از رخنمون توده پیروکسنیتی و میان لایه دولومیتی در واحدهای ولکانیکی منطقه چاه فرسخ شمالی، ج: نمونه دستی از واحد پیروکسنیتی که بخشی از آن سالم مانده و بخش دیگر سرپانتینی شده است، د: نمونه دستی از واحد متاولکانیکی که تحت تاثیر دگرگونی در حد رخساره شیست سبز به کانی‌های کلریت و کوارتز تبدیل شده است. ه: تصاویر میکروسکوپی از واحد پیروکسنیتی که به سرپانتین تبدیل شده و زمینه توسط رگچه‌های سرسیتی و اکسیدهای آهن قطع شده است. و: تصویر میکروسکوپی از کانی‌های پلاژیوکلازها همراه با پیروکسن در واحد متاولکانیک. (Plg) پلاژیوکلاز، Qz: کوارتز، Chl: کلریت، Px: پیروکسن، Opq: کانی اپک، Ser: سرسیت، Fe-oxide: اکسیدهای آهن، Srp: سرپانتین).

دهنده شروع فعالیت آتشفشانی، شدت یافتن ولکانیسم و در نهایت رو به افول نهادن آن باشد. توده‌های پیروکسنیتی که به صورت نفوذی در

در بخش‌هایی از منطقه، ظهور و افول واحد متاولکانیک، به صورت متناوب با شیست‌ها و واحد مرمری دیده می‌شود، که این امر می‌تواند نشان

برآورد شده است که یکی از ویژگی‌های عمده کانسارهای سولفید توده‌ای با سنگ درونگیر آتشفشانی-رسوبی می‌باشد (مغفوری، ۱۳۹۱). کانه‌زایی کانسار مس چاه‌فرسخ شمالی را می‌توان براساس نوع و شکل آن، بافت ماده معدنی و عیار کانسار به سه رخساره کانسنگی رگه-رگچه‌ای، لایه‌ای و توده‌ای تقسیم‌بندی نمود (شکل ۵).

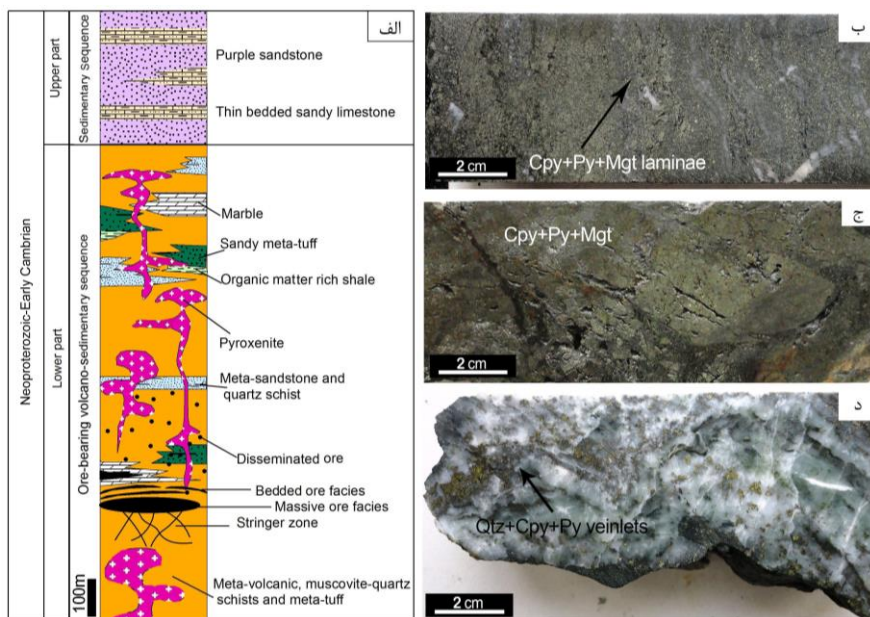
رخساره کانسنگی لایه‌ای (Bedded ore facies): این بخش از کانسار چاه‌فرسخ شمالی دارای ضخامت کمتری نسبت به رخساره کانسنگ توده‌ای بوده و شامل تناوبی از لایه‌های متعدد سولفیدی می‌باشد که توسط لایه‌های ترکیبات سنگ میزبان از هم جدا می‌شوند (شکل ۶ الف و ب). این کاهش ضخامت، به دلیل کاهش میزان کانه‌های هیدروترمالی سولفیدی نسبت به کانی‌های تشکیل دهنده سنگ میزبان کانه‌زایی می‌باشد (Monecke et al, 2006; Barrie et al, 2007). این رخساره کانسنگی عمدتاً در واحد موسکوویت-کوارتز شیست و به صورت محدود در سنگ‌های متاولکانیکی تشکیل شده است. در واحد موسکوویت-کوارتز شیست، لایه‌های غنی از سولفید به‌طور متناوب در همراهی با لایه‌های غنی از سیلیس قرار دارند (شکل ۶).

رخساره کانسنگی توده‌ای (Massive ore facies): این رخساره در مرکز کانسار چاه‌فرسخ شمالی، مهم‌ترین بخش کانسار یعنی قسمت ضخیم و پرعیار آن را تشکیل داده و به‌طور عمده دارای کانی‌زایی سولفید توده‌ای و برشی با ماهیت ناهمگون است (شکل ۷ الف و ب). این رخساره کانسنگی در اغلب کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد مشاهده می‌گردد (Solomon et al, 2008).

داخل واحدهای آتشفشانی-رسوبی نئوپروتروزوئیک-کامبرین زیرین نفوذ کرده است، مشابه با تمامی واحدهای سنگی منطقه دچار دگرگونی ناحیه‌ای شده و در بعضی بخش‌ها به سرپانتین و تالک تبدیل شده است (شکل ۴). بخش بالایی توالی آتشفشانی-رسوبی نئوپروتروزوئیک-کامبرین زیرین در منطقه چاه‌فرسخ شمالی به‌طور کلی از سنگ‌های رسوبی آواری و کربناتی تشکیل شده است (شکل ۳ الف و ب). نکته قابل توجه در این بخش از توالی نئوپروتروزوئیک-کامبرین زیرین، عدم وجود سنگ‌های آتشفشانی است. بخش بالایی به‌طور عمده از ماسه‌سنگ‌های ارغوانی و آهک ماسه‌ای نازک لایه تشکیل شده است (شکل ۳ و ۴).

کانه‌زایی و رخساره‌های کانسنگی

کانی‌زایی در کانسار چاه‌فرسخ شمالی در سطح زمین با رخداد اکسیدهای مس به صورت آزوریت، مالاکیت و کریزوکولا در داخل سنگ‌های متاولکانیک و موسکوویت-کوارتزشیست قابل مشاهده است. کانی‌زایی در این کانسار به دو بخش جنوبی و شمالی قابل تقسیم است. کانه‌زایی مس در این کانسار در یک افق چینه‌ای و در داخل واحدهای سنگی متاولکانیک همچنین میان لایه‌های موسکوویت-کوارتزشیست و آهک به صورت عدسی شکل تا صفحه‌ای کشیده تشکیل شده است (شکل ۵). در کانسار چاه‌فرسخ شمالی تعداد ۷ گمانه در بخش‌های شمالی و جنوبی کانسار به عمق‌های ۷۰ تا ۱۷۰ متر (مجموع ۷۹۱ متر) حفاری گردیده است و نشان می‌دهد که گسترش طولی افق کانه‌دار کانسار بسیار بیشتر از ضخامت آن است به‌طوری که طول آن بیش از ۷۰۰ متر و ضخامت بخش توده‌ای آن در حدود ۱۰ الی ۲۵ متر

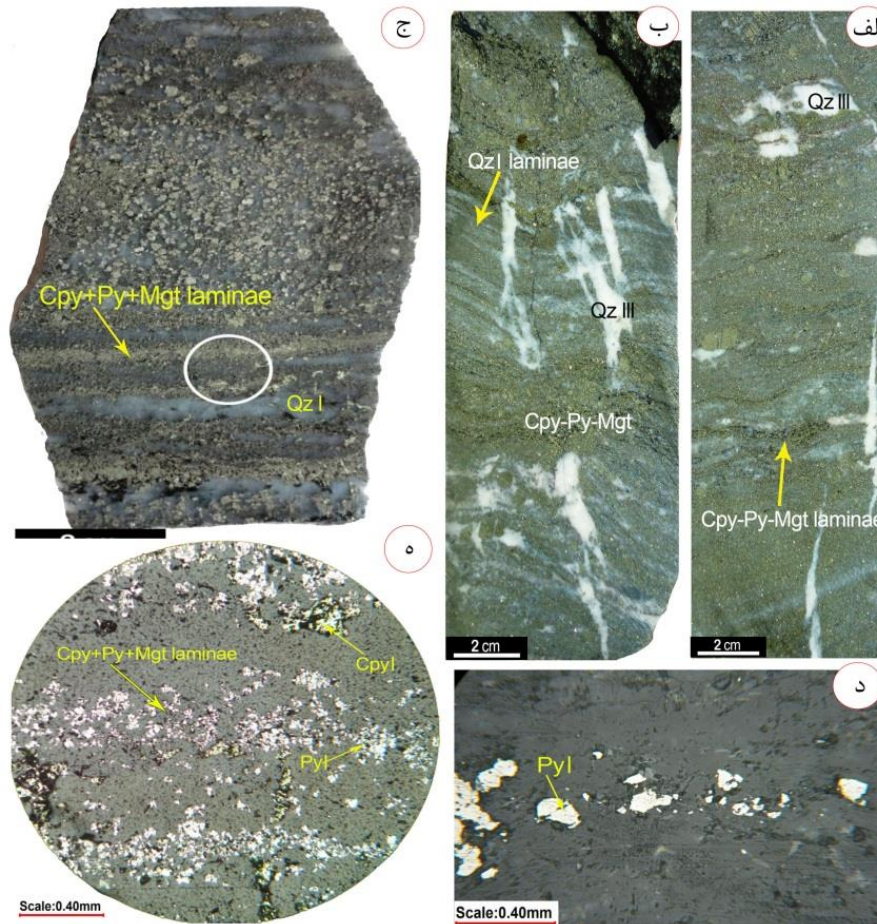


شکل ۵: الف: ستون چینه‌شناسی کانسار چاه فرسخ شمالی که براساس تلفیق مطالعه مغزه‌های حفاری و پیمایش مقاطع مختلف زمین‌شناسی در توالی آتشفشانی-رسوبی نئوپروتروزوئیک-کامبرین زیرین، رسم گردیده است ب: نمونه دستی از رخساره کانسنگی لایه‌ای غنی از پیریت، کالکوپیریت و مگنتیت، ج: رخساره کانسنگی توده‌ای غنی از پیریت، کالکوپیریت و مگنتیت، د: نمونه دستی از بخش رگه-رگچه‌ای حاوی رگه سیلیسی غنی از پیریت و کالکوپیریت (QZ: کوارتز، Py: پیریت، Cpy: کالکوپیریت، Mgt: مگنتیت).

پیریت، کالکوپیریت و مگنتیت است که رگچه‌های ظریف در اطراف رگه‌های اصلی گسترش یافته‌اند (شکل ۸ الف و ب). این رخساره در زیر رخساره کانسنگ توده‌ای و به شکل شبکه‌ای از رگه و رگچه-های سیلیسی-سولفیدی مشاهده می‌شود که لایه‌بندی سنگ میزبان را قطع کرده است. گسترش این رخساره در واحد متاولکانیکی بیشتر از واحد موسکوویت-کوارتز شیستی است. فراوانی سولفیدهای آن کمتر از ۱ تا ۵ درصد می‌باشند (شکل ۸ ج و د). اغلب این شبکه رگه-رگچه‌ای در بخش‌های برشی شده و شکستگی‌های سنگ میزبان به صورت نامنظم تشکیل شده‌اند. در بخش‌هایی که رگه‌های مذکور جانشین سولفیدهای قبلی گردیده‌اند و یا در محل تقاطع رگه‌ها، نوعی بهم‌خوردگی، تبلور سولفیدها و تا حدی تشکیل بافت توده‌ای را شاهد هستیم (شکل ۸ ب).

در این تیپ کانسارها درصد حجمی سولفیدهای تشکیل دهنده ۱۵ تا ۵۰ درصد می‌باشد. این رخساره کانسنگی دارای سنگ میزبان متاولکانیکی و مسکوویت-کوارتز شیست می‌باشد. کانی‌های اصلی این رخساره شامل پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، پیروتیت، تتراهدريت-تانانتیت و مگنتیت می‌باشد به طوری که پدیده جانیشینی شدن (مانند جانیشینی کالکوپیریت و مگنتیت به جای پیریت)، سیلیسی شدن و سولفیدی شدن از ویژگی‌های شاخص این رخساره است (شکل ۷ ب و ج). به دلیل فراوانی میزان کالکوپیریت، اسفالریت و مگنتیت، عیار مس، روی و آهن در این رخساره، بیشترین میزان خود را داراست (شکل ۷ و و).

رخساره رگه-رگچه‌ای (Stringer zone): این رخساره در کانسار چاه فرسخ شمالی دارای گسترش محدود بوده و به طور عمده از رگه-رگچه‌های سیلیسی تشکیل شده است که دارای کانی‌های

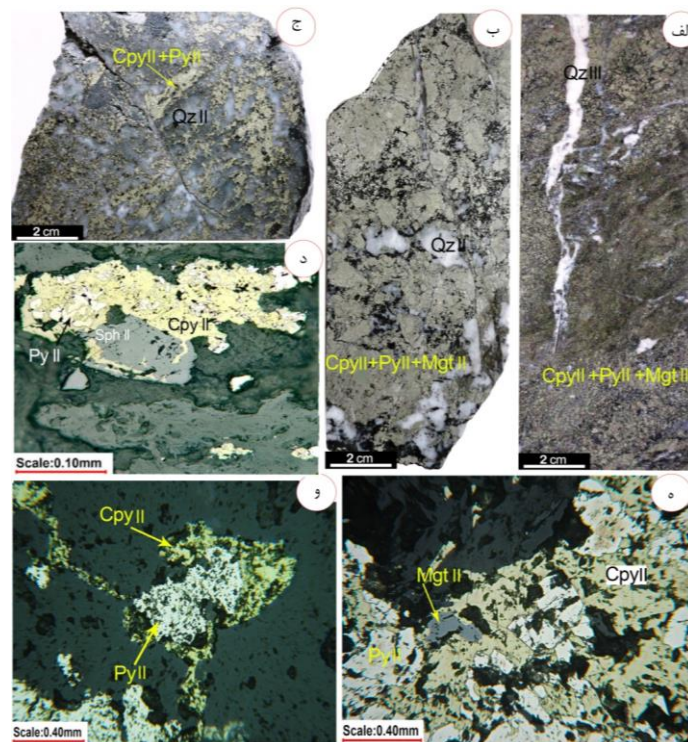


شکل ۶: الف و ب: نمونه‌های دستی از رخساره کانسنگی لایه‌ای غنی از پیریت، کالکوپیریت و مگنتیت. ج: نمونه دستی از رخساره کانسنگی لایه‌ای غنی از پیریت، کالکوپیریت د و ه: تصویر میکروسکوپی از رخساره کانسنگی لایه‌ای که تناوب سولفیدها و سنگ میزبان را نشان می‌دهد (Qz: کوارتز، Py: پیریت، Cpy: کالکوپیریت، Mgt: مگنتیت).

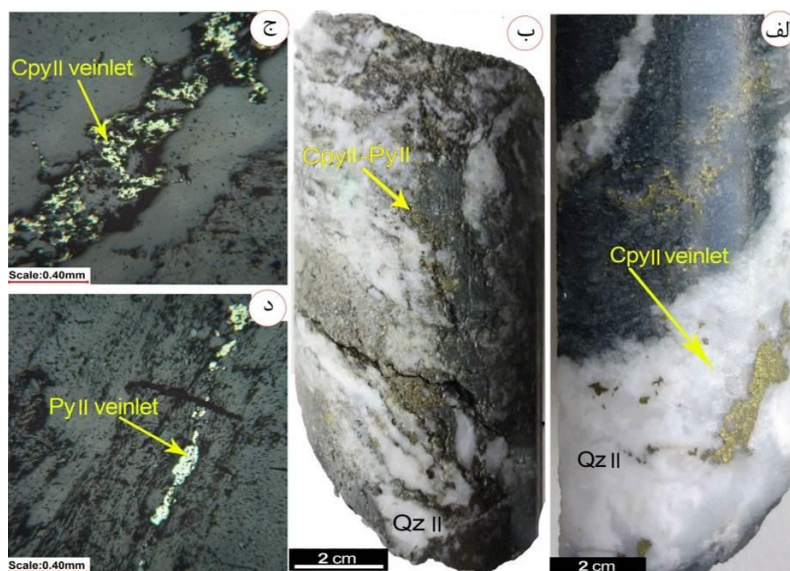
کانی‌شناسی، ساخت و بافت

در کانسار چاه فرسخ شمالی کانه‌های پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، پیروتیت، مگنتیت و بورنیت (شکل ۹ و ۱۰) دارای بیشترین فراوانی هستند. کانی سولفوسالتی موجود نیز تتراهدریت-تنانتیت می‌باشند و به مقدار کم در رخساره کانسنگ توده‌ای کوولیت و کالکوسیت نیز دیده می‌شود. براساس مطالعات کانه‌نگاری، کانی‌های پیریت و کالکوپیریت به صورت سه نسل مختلف دیده می‌شوند که پیریت شامل (Py I (Py Ia, Py Ib), Py II, Py III) و با بافت‌های گوناگون در رخساره-های کانسنگی مختلف مشاهده می‌شوند. پیریت نسل اول (Py I)، ریزبلور بوده و براساس شکل‌های

متفاوت بلورین به دو نوع (Py Ia, Py Ib) قابل دسته بندی هستند. پیریت‌های نسل اول نوع اول (Py Ia)، از نوع فرامبوئیدال هستند و عمدتاً در رخساره کانسنگ سولفیدی لایه‌ای به صورت دانه پراکنده تشکیل شده است (شکل ۹ الف، شکل ۶). بافت دانه پراکنده در بخش‌هایی از رخساره کانسنگ لایه‌ای که فراوانی سولفیدها نسبتاً کم می‌باشد، قابل مشاهده است (شکل ۹ الف، شکل ۶). تراکم بالای سولفیدهای دانه پراکنده غالباً در بخش‌های نزدیک به رخساره کانسنگ لایه‌ای دیده می‌شوند که بافت لایه‌ای به این سولفیدها داده است (شکل ۹ ب، شکل ۶).



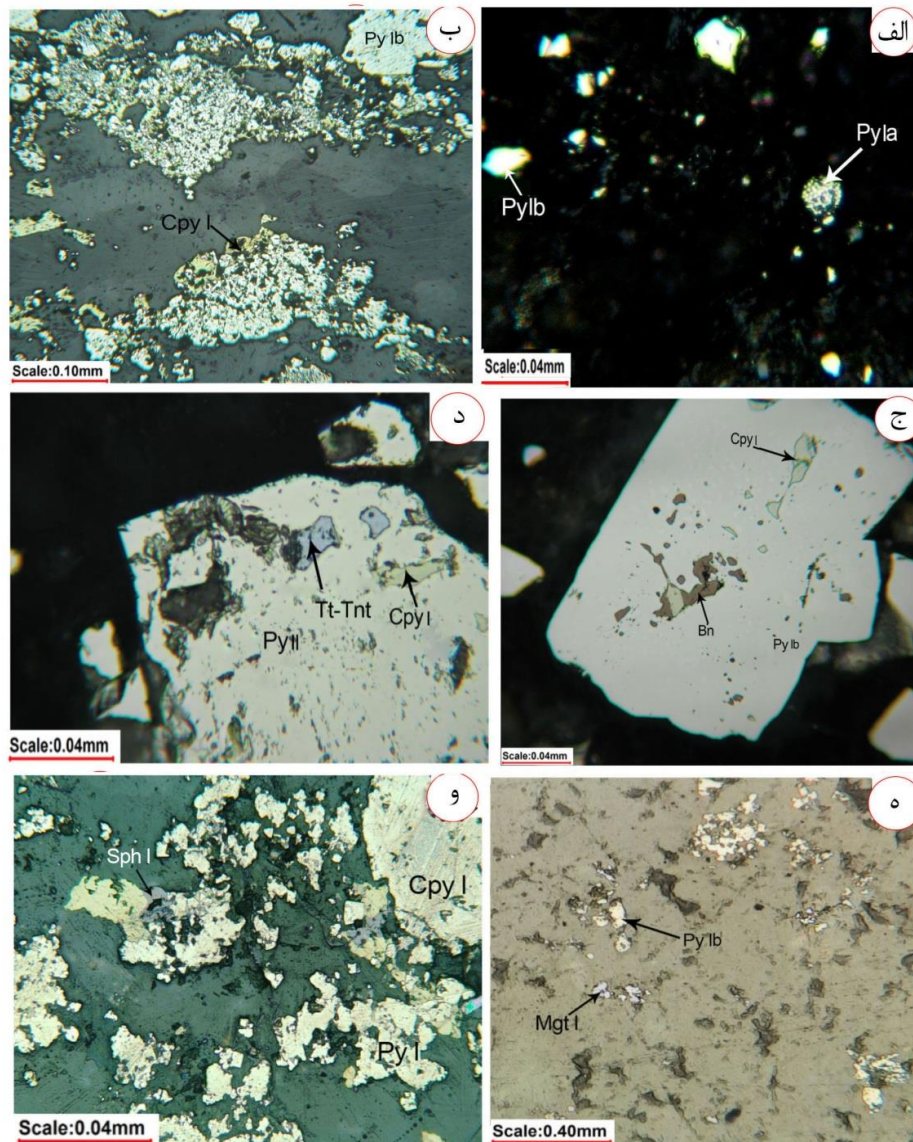
شکل ۷: الف و ب: نمونه‌های دستی از رخساره کانسنگی توده‌ای غنی از پیریت، کالکوپیریت و مگنتیت، ج: نمونه دستی از رخساره توده‌ای شامل کوارتز، پیریت و کالکوپیریت، د: تصویر از حضور پیریت، کالکوپیریت و اسفالریت در رخساره کانسنگ توده‌ای، ه: تصویر میکروسکوپی از رخساره کانسنگی توده‌ای که جانشینی پیریت توسط کالکوپیریت و مگنتیت در آن مشهود است، و: تصویر میکروسکوپی از رخساره کانسنگی توده‌ای که جانشینی پیریت توسط کالکوپیریت را نشان می‌دهد (Qz: کوارتز، Py: پیریت، Cpy: کالکوپیریت، Mgt: مگنتیت، Cal: کلسیت، Sph: اسفالریت).



شکل ۸: الف و ب: نمونه‌های دستی از رخساره کانسنگی رگه-رگجه‌ای سیلیسی حاوی کانی‌های پیریت و کالکوپیریت، ج و د: تصاویر میکروسکوپی از رخساره کانسنگی رگه-رگجه‌ای (Qz: کوارتز، Py: پیریت، Cpy: کالکوپیریت).

ریزبلور می‌باشند (شکل ۵۹). نسل دوم از کانی مگنتیت (Mgt II) به صورت درشت بلور و اغلب در رخساره کانسنگ توده‌ای و زون تغذیه‌کننده گسترش دارد و معمولاً جانشین پیریت‌ها و کالکوپیریت‌های نسل اول شده است (شکل ۱۰ الف، شکل ۷). بورنیت و تتراهدریت-تنانتیت نیز در مقاطع میکروسکوپی به مقدار خیلی کم دیده می‌شود که دارای بافت جانشینی جزیره‌ای هستند. (شکل ۹ ج و د). کانه‌های سولفیدی که کانه‌های سولفوسالتی را همراهی می‌کنند پیریت و کالکوپیریت‌های نسل دو هستند (شکل ۵۹ د). کالکوسیت و کوولیت از کانی‌های مهم سولفیدی می‌باشند که در شرایط احیایی و در پهنه سوپرژن تشکیل شده‌اند و در مقاطع میکروسکوپی به رنگ آبی، با فراوانی کم، و با بافت جانشینی دیده می‌شوند. همچنین، این کانی‌ها به همراه کالکوپیریت در برخی مقاطع، در امتداد درز و شکاف‌ها و شکستگی‌ها تشکیل شده‌اند (شکل ۱۰ د و ه). با افزایش عمق و نزدیک شدن به بخش‌های پرعبارتر اندازه بلورهای پیریت نسل اول افزایش می‌یابد (شکل ۹ ب و شکل ۶) و بلورهای ریز کانی‌های مگنتیت و کالکوپیریت نسل اول در لابه‌لای پیریت و سنگ میزبان پدیدار می‌شوند (شکل ۹ ب). نوع دوم از پیریت‌های نسل اول (Py Ib)، پیریت‌های ریزبلور و بی‌شکل هستند که همراه با کالکوپیریت‌های نسل اول (Cpy I) در رخساره کانسنگ لایه‌ای تشکیل شده‌اند (شکل ۹ الف و ب). نسل دوم پیریت (Py II) و نسل دوم کالکوپیریت (Cpy II) با بافت توده‌ای و رگه‌ای در رخساره کانسنگ توده‌ای و زون تغذیه‌کننده قابل مشاهده هستند که گاهی به صورت نیمه شکل‌دار و درشت بلور می‌باشند (شکل ۹ و شکل ۷).

ترکیب کانی‌شناسی در بافت توده‌ای شامل کالکوپیریت، پیریت، اسفالریت، پیروتیت، مگنتیت، بورنیت و سولفوسالت و به مقدار اندک کوولیت و کالکوسیت می‌باشد. سولفیدها درشت بلور بوده و قرارگیری آنها در کنار یکدیگر به صورت توده‌ای دیده می‌شود (شکل ۱۰ الف و شکل ۷) بافت توده‌ای موجود در این رخساره در واقع ترکیبی از بافت توده‌ای، جانشینی و رگه‌ای است. در این بافت، کانی‌های مگنتیت و کالکوپیریت نسل دوم و اسفالریت به صورت گسترده جانشین پیریت‌های نسل اول و دوم شده‌اند (شکل ۱۰ الف و شکل ۷). نسل سوم از کانه‌های سولفیدی به صورت سایه فشاری در طی فرآیند دگرگونی تشکیل شده‌اند (شکل ۱۰ و). کانی سولفیدی بعدی که در کانسار چاه‌فرسخ شمالی از فراوانی قابل ملاحظه‌ای برخوردار است اسفالریت می‌باشد که از دو نسل تشکیل شده است. نسل اول اسفالریت‌های (Sph I) ریزبلور در بخش لایه‌ای می‌باشد که فراوانی اندکی به نسبت کانی‌های پیریت و کالکوپیریت نسل اول برخوردار است (شکل ۹ و). نسل دوم از کانی اسفالریت (Sph II) مربوط به بخش توده‌ای کانسار می‌باشد که درشت بلور بوده و به صورت هم‌زمان با کالکوپیریت‌های نسل دوم تشکیل شده است این نسل از کانی اسفالریت از فراوانی بیشتری برخوردار است (شکل ۱۰ ب و ج). مگنتیت مهم‌ترین کانی آهن‌دار اکسیدی در کانسار چاه‌فرسخ شمالی است و به‌طور عمده در زون کانسنگ توده‌ای تمرکز پیدا کرده است. کانی مگنتیت به صورت دو نسل متفاوت در کانسار چاه‌فرسخ شمالی تشکیل شده است. نسل اول به صورت مگنتیت‌های (Mgt I) دانه پراکنده در رخساره کانسنگ لایه‌ای و همراه با پیریت‌ها و کالکوپیریت‌های نسل اول است که



شکل ۹: الف: تصویر میکروسکوپی از پیریت‌های نسل اول که به دو صورت پیریت‌های فرومبوئیدال Py Ia و پیریت‌های دانه پراکنده بی‌شکل Py Ib دیده می‌شوند، ب: تصاویر میکروسکوپی از بافت لایه‌ای غنی از سولفید که متشکل از پیریت‌های نسل اول نوع دو و کالکوپیریت نسل اول می‌باشند، ج: تصاویر میکروسکوپی از وجود کالکوپیریت‌های نسل یک و بورنیت به صورت ادخال در داخل پیریت‌های نسل یک، د: تصویر میکروسکوپی از حضور کانی‌های سولفوسالتی تتراهدریت و تنانتیت در داخل پیریت‌های نسل دو، ه: تصویر میکروسکوپی از کانی‌های پیریت و مگنتیت نسل اول در رخساره کانسنگ لایه‌ای، و: تصاویر میکروسکوپی از کانی‌های پیریت، کالکوپیریت و اسفالریت نسل یک (Sph I) (Py): پیریت، Cpy: کالکوپیریت، Mgt: مگنتیت، Tt-Tnt: تتراهدریت-تنانتیت، Bn: بورنیت، Sph: اسفالریت).

دگرسانی و کانی‌های باطله

براساس مطالعات صحرایی و میکروسکوپی دگرسانی‌های کلریتی، سیلیسی، سریسیتی و کربناتی بیشترین گسترش را در توالی میزبان کانسار چاه فرسخ شمالی دارند (شکل ۱۱).

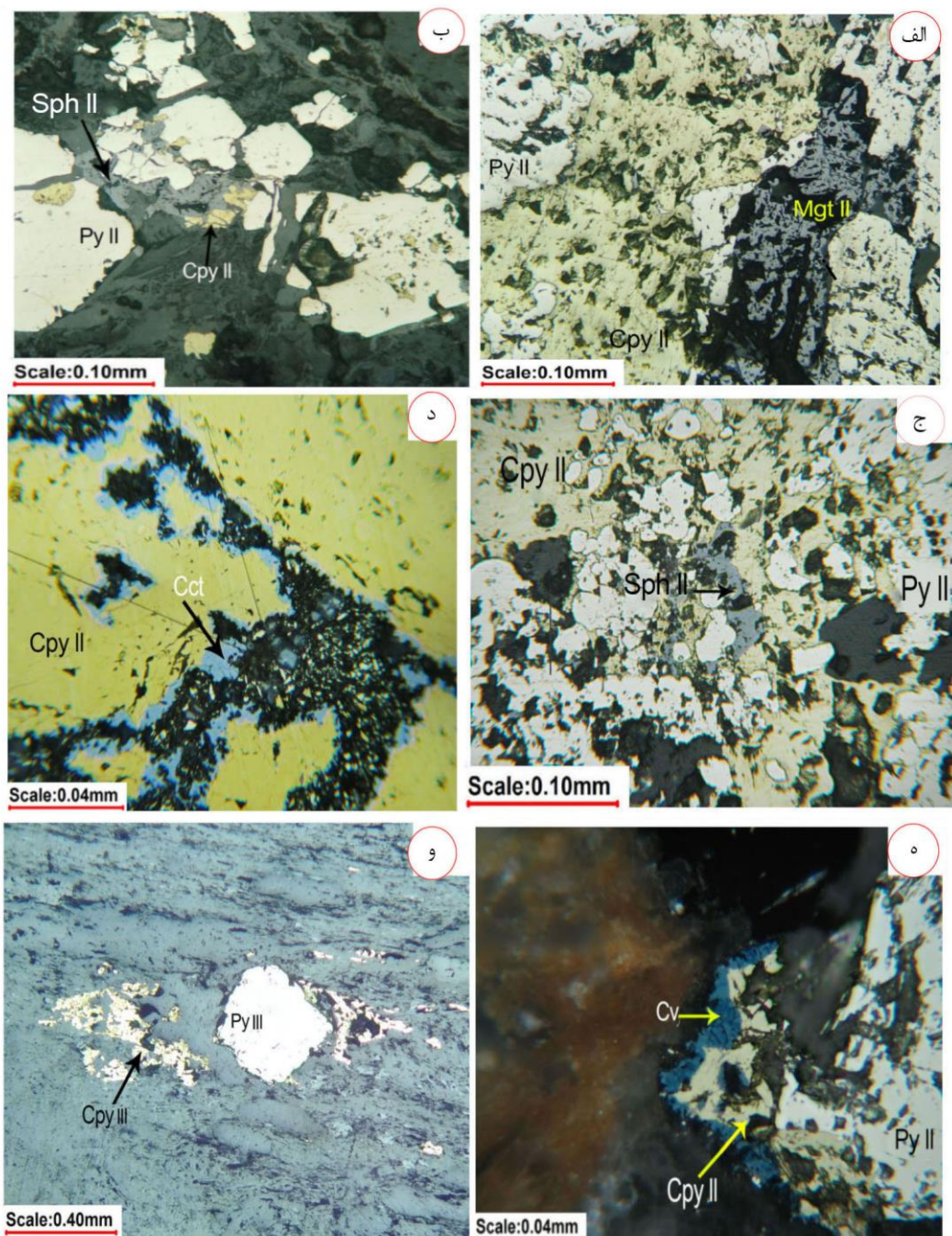
دگرسانی کلریتی که نسبت به دیگر دگرسانی‌ها، بیشترین فراوانی را در افق‌های کانه‌دار با سنگ میزبان متاولکانیکی دارد، به صورت وسیع باعث تشکیل کانی‌های کلریت، اپیدوت، کوارتز و کلسیت شده است (شکل ۱۱ الف). این نوع کلریت‌ها مرتبط

لایه‌ای و همراه با پیریت‌های نسل اول می‌باشد و بافت لایه‌ای ظریفی از خود نشان می‌دهد (اشکال ۶ب و ۱۱). کوارتزها و کربنات نسل دوم همراه با پیریت و کالکوپیریت‌های نسل دوم به صورت رگه-رگچه‌ای در رخساره کانسنگی تغذیه کننده و توده‌ای کانسار چاه فرسخ شمالی قابل مشاهده است (اشکال ۷، ج، د و ۱۱). نسل سوم از این کانی‌ها، درشت بلورتر از کوارتز و کربنات نسل دوم هستند و در امتداد درزه‌ها و شکستگی‌ها و بدون همراهی با سولفیدهای کانه‌دار تشکیل شده‌اند. مطالعات نشان می‌دهد که این کوارتزها بعد از مرحله کانی‌زایی و در طی فرآیند دگرگونی و دگرشکلی تشکیل شده‌اند (شکل ۱۱ ه و و).

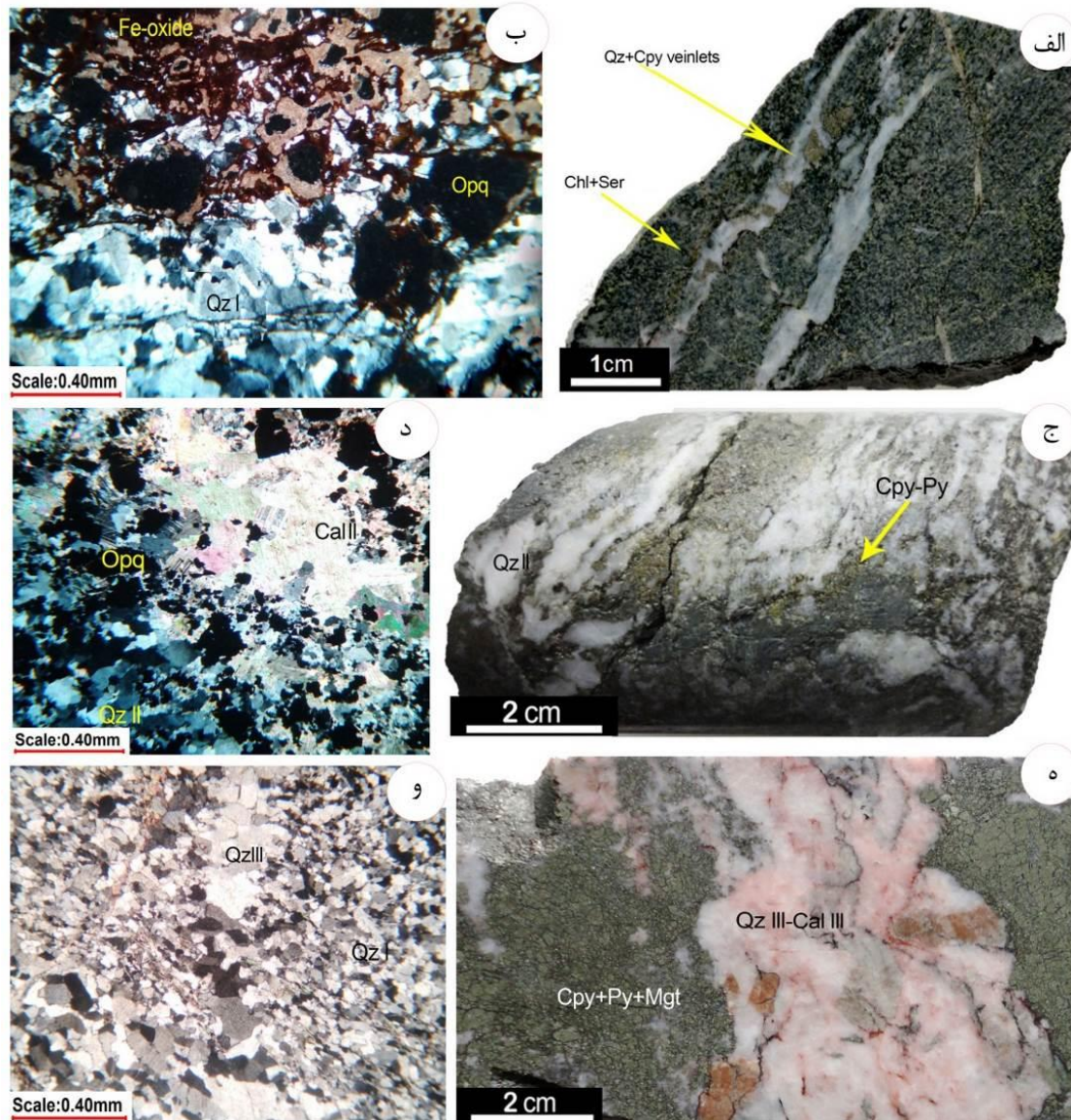
میانبارهای سیال

مطالعه میانبارهای سیال در طی سال‌های گذشته، بخشی از مفیدترین اطلاعات را در رابطه با تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی سیالات و محیط تشکیل کانسارها، در اختیار محققین مختلف قرار داده است (Pirajno, 2009; Maghfouri et al, 2017; 2020; 2021b). مطالعه میانبارهای سیال به دام افتاده در شبکه کانی‌ها، راهی است که بتوان به موجب آن به ماهیت سیالات کانی‌ساز و فرآیندهایی که موجب کانه‌زایی می‌شوند پی‌برد (Wilkinson, 2001) میانبارهای سیال براساس ترکیب سیال و تعداد فازهای موجود در دمای اتاق تقسیم‌بندی می‌شوند. براساس مطالعات پتروگرافی، چهار نوع میانبارهای سیال در نمونه‌های مطالعه شده محدوده معدنی چاه فرسخ شمالی شناسائی شده است، مشخصات نمونه‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است.

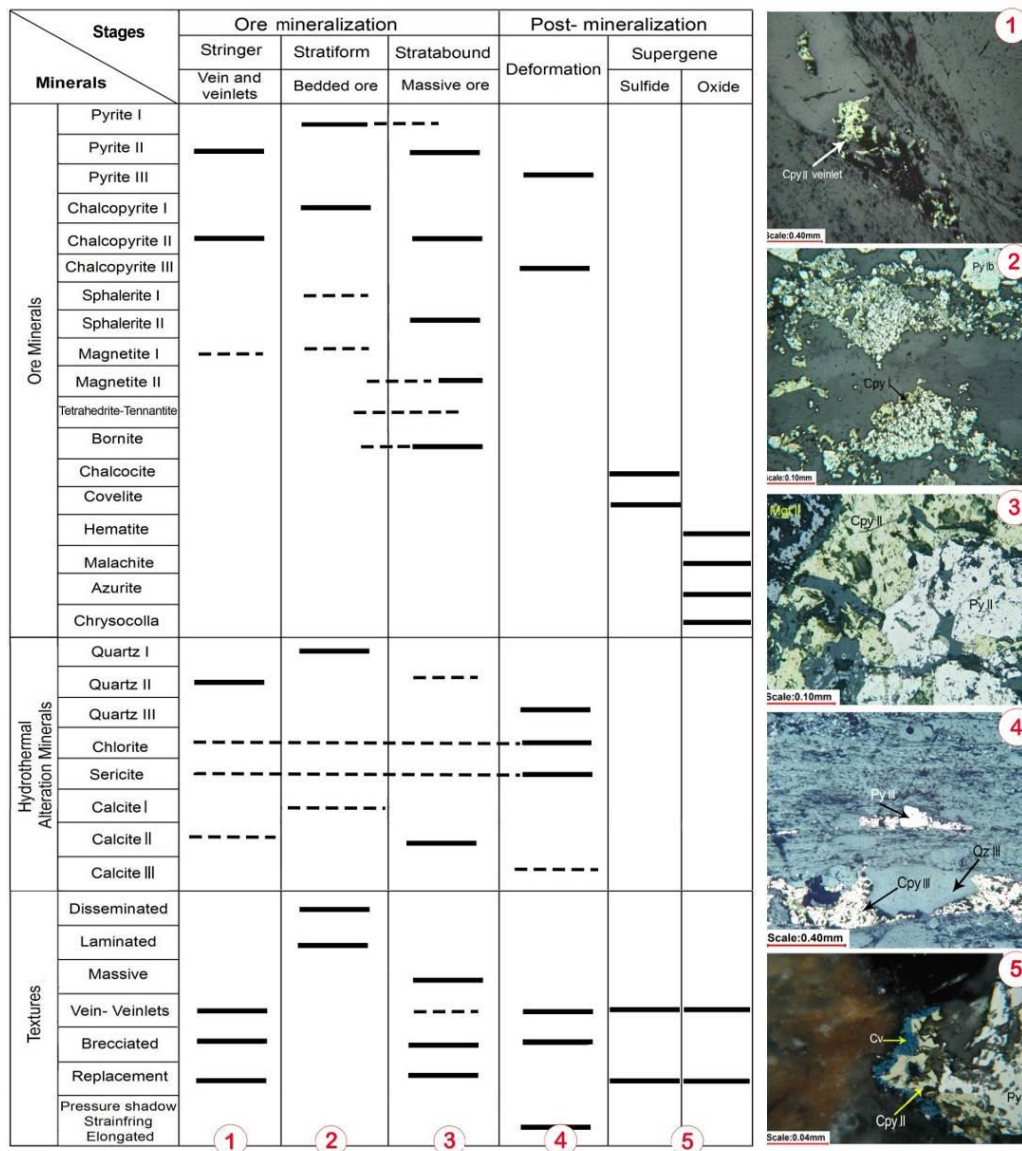
با رخساره‌های کانسنگی هستند و در بخش‌های کانه‌دار دارای بیشترین گسترش می‌باشند. در طی دگرگونی ناحیه‌ای کانی‌های کلریت و اپیدوت مرتبط با دگرگونی ایجاد شده‌اند که کل مجموعه سنگ‌های منطقه را متأثر کرده است که تفکیک این دو نوع کلریت (کلریت حاصل دگرسانی و کلریت مرتبط با دگرگونی) در زیر میکروسکوپ بسیار مشکل می‌باشد. معمولاً کلریت‌های مرتبط با کانه‌زایی درشت بلور هستند و فقط در زون‌های کانه‌زایی مشاهده می‌شوند در حالی که کلریت‌های حاصل از دگرگونی ریز بلور بوده و در کل منطقه و بخش‌های بدون کانه‌زایی گسترش دارند. در کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشانزاد، بخش میانی کانه‌زایی دارای دگرسانی کلریتی غنی از Fe و دگرسانی سیلیسی می‌باشد در حالی که بخش حاشیه‌ای دارای کلریت‌های غنی از Mg و سربیسیت می‌باشند (Franklin et al, 2005). دگرسانی کربناتی در محدوده مورد مطالعه در متاولکانیکها و سنگ‌های مرمر تشکیل شده است. مطالعه مقاطع میکروسکوپی تهیه شده از این بخش نشان داد که کربنات در طی این دگرسانی نتیجه واکنش میان سیالات هیدروترمال غنی از CO₂ و سنگ دیواره است. کوارتز و کربنات مهم‌ترین کانی‌های باطله کانسار چاه فرسخ شمالی می‌باشند که هم در مقاطع میکروسکوپی و هم در نمونه دستی، به صورت رگه-رگچه و پرکننده فضای خالی، شکستگی‌ها و حفرات را پر کرده است. همچنین در مقاطع میکروسکوپی، لایه‌های سیلیسی به همراه کانی پیریت مشاهده می‌شوند (شکل ۶، شکل ۱۱ ب). کوارتز و کربنات در کانسار چاه فرسخ شمالی به صورت سه نسل متفاوت مشاهده می‌شوند. نسل اول که به صورت لایه‌ای در رخساره کانسنگ



شکل ۱۰: الف: تصاویر میکروسکوپی از جانشینی مگنتیت نسل دو (Mgt II)، کالکوپریت‌های نسل دوم (Cpy II) به جای پیریت‌های نسل دوم (Py II)، ب، ج: تصاویر میکروسکوپی از پیریت و کالکوپریت‌های نسل دو و اسفالریت‌های نسل دوم (Sph II)، د: تصویر میکروسکوپی از جانشینی کالکوپریت نسل دوم از حاشیه توسط کالکوسیت، ه: تصویر میکروسکوپی از جانشینی کالکوپریت نسل دوم از حاشیه توسط کولیت. و: بافت سایه فشاری کانی کالکوپریت نسل سوم (Cpy III) در اطراف پیریت نسل سوم (Py III) (Py) پیریت، Cpy: کالکوپریت، Mgt: مگنتیت، Cv: کولیت، Cct: کالکوسیت، Sph: اسفالریت).



شکل ۱۱: الف: رگه‌های سیلیسی کانه‌دار که سنگ درونگیر آن دچار دگرسانی کلریتی-سریسیتی شده است. ب: تصویر میکروسکوپی از کوارتزهای نسل اول مربوط به بخش لایه‌ای کانسار چاه‌فرسوخ شمالی، ج: نمونه دستی از کوارتزهای نسل دوم مرتبط با کانه‌زایی سولفیدی زون رگه-رگچه‌ای، د: تصویر میکروسکوپی از کوارتزهای نسل دو همراه با کربنات‌های نسل دو مربوط به رخساره کانسنگ توده‌ای، ه: نمونه دستی از کوارتزهای دگرگونی نسل سوم که هیچ کانه‌زایی سولفیدی مس‌دار مرتبط با این نسل از کوارتزها مشاهده نمی‌شود و به صورت قطع کننده مجموعه سولفیدی اولیه عمل کرده است و: تصویر میکروسکوپی از کوارتزهای دگرگونی نسل سوم حاصل از فرآیند دگرگونی در منطقه چاه‌فرسوخ (QZ: کوارتز، Py: پیریت، Cpy: کالکوپیریت، Mgt: مگنتیت، Opq: کانی اپک، Cal: کلسیت).



شکل ۱۲: مراحل تشکیل و توالی پاراژنتیک کانه‌ها، کانی‌ها و ساخت و بافت در کانسار مس چاه فرسخ شمالی، ۱: مرحله تشکیل رخساره رگه-رگچه‌ای، ۲: مرحله تشکیل رخساره لایه‌ای، ۳: مرحله تشکیل رخساره توده‌ای، ۴: مرحله دگرگونی، ۵: مرحله سوپرژن

جدول ۱: مشخصات نمونه‌های کوارتزی برداشت شده برای مطالعات میانبارهای سیال از کانسار چاه فرسخ شمالی

شماره نمونه	شماره گمانه	رخساره کانسنگی	کانی دارای میانبار سیال	عمق (متر)
Ch-E	Ch.6	کانسنگ لایه‌ای	کوارتز	سطح
Ch-30	Ch.1	کانسنگ لایه‌ای	کوارتز	۵۵
Ch-21	Ch.4	کانسنگ لایه‌ای	کوارتز	۳۸
Ch-45	Ch.1	رخساره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	۱۰۶
Ch-51	Ch.2	رخساره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	۹۰
Ch-25	Ch.4	رخساره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	۹۰
Ch-25	Ch.4	رخساره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	۹۰

میانبارهای سیال نوع I (میانبارهای سیال تک فاز): این نوع از سیالات، شامل میانبارهای سیال تک فاز غنی از CO₂ (نوع Ia) یا غنی از H₂O (نوع Ib) هستند که دارای فراوانی بیشتری در نمونه

گراد محاسبه شده است (شکل ۱۴ ب). براساس بودنار (Bodnar, 1994) شوری ۶/۴۵ تا ۱۵/۹۶ درصد وزنی نمک طعام (با میانگین ۱۲/۴۴ درصد وزنی نمک طعام) محاسبه شده است (شکل ۱۴ ج). براساس شواهد موجود در کانسار مس چاه فرسخ شمالی نظیر: (۱) شوری کم سیالات درگیر متوسط ۱۲/۴۴ درصد وزنی نمک طعام؛ (۲) دمای بالای سیال تشکیل دهنده کانسار چاه فرسخ شمالی (متوسط ۳۵۵ درجه سانتی گراد)؛ (۳) با توجه به نمودار شوری به دمای سیالات کانه‌دار (شکل ۱۴ د) ارائه شده توسط لارج و همکاران (Larg et al., 2004)، نمونه‌های سیالات درگیر کانسار چاه فرسخ شمالی در محدوده چگالی متوسط قرار گرفته است و با مدل تشکیل پلوم‌های شناور همخوانی دارد.

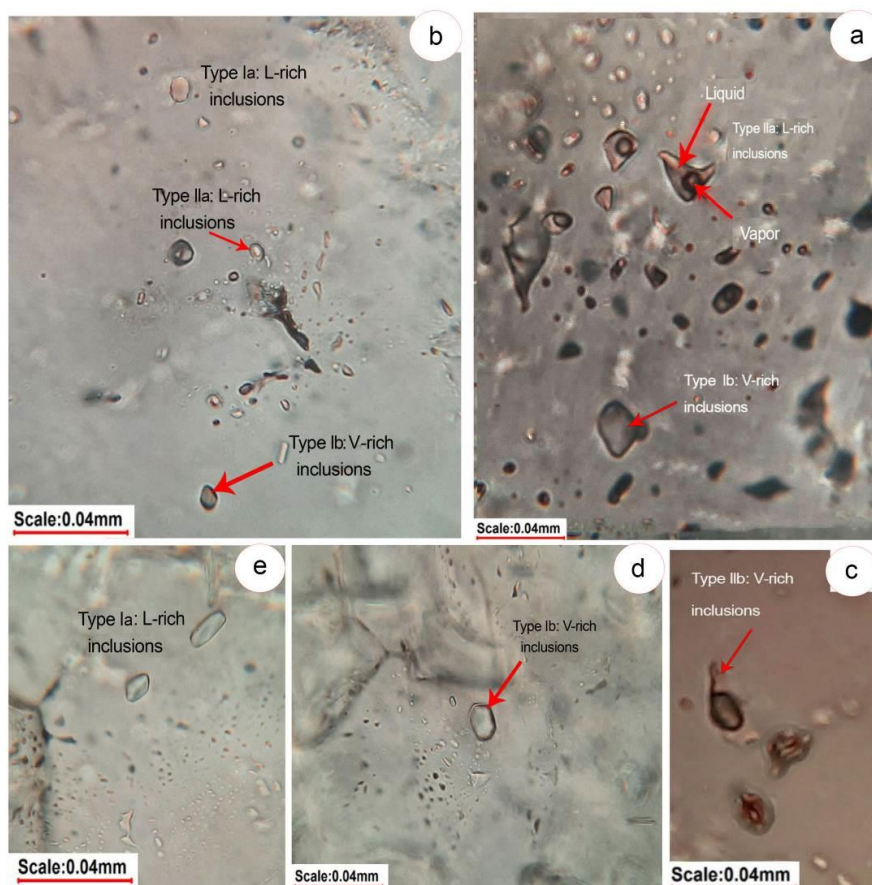
نتیجه‌گیری

تیپ کانه‌زایی مس در کانسار چاه فرسخ شمالی با توجه به شکل و ژئومتری چینه‌کران کانسار مس چاه فرسخ شمالی و قرارگیری آن در سنگ میزبان-های متاولکانیکی و واحدهای رسوبی، ذخایر مس این منطقه با کانسارهای چینه‌کران مس، رده‌های VMS, Red Bed و تیپ Manto مورد مقایسه قرار گرفته است. کانسار مس چاه فرسخ شمالی از نظر سنگ میزبان با کانسارهای مس رسوبی دارای تفاوت‌هایی می‌باشد. سنگ میزبان در کانسار مس چاه فرسخ شمالی شامل توالی آتشفشانی-رسوبی حاوی واحدهای متاولکانیکی، آهکی و موسکوویت-کوارتز شیبست است (شکل ۳) در حالی که سنگ میزبان کانه‌زایی در کانسارهای مس تیپ رسوبی، سنگ‌های شیلی، ماسه‌سنگی، سیلتون و آهکی است (Hitzman et al, 2005). از نظر ساخت و بافت نیز تفاوت‌هایی بین کانسارهای مس رسوبی و کانسار چاه فرسخ شمالی وجود دارد که وجود رخساره‌های لایه‌ای و توده‌ای گسترده در کانسار

های مطالعه شده می‌باشند (شکل ۱۳). به‌طور کلی، میانبارهای سیال نوع Ia و Ib با اشکال بیضوی یا نامنظم به صورت منفرد در داخل کانی میزبان کوارتز یا سطوح رشد بلورهای آن مشاهده می‌شوند. اندازه میانبارهای سیال نوع I به‌طور میانگین بین ۳ تا ۵ میکرون متغیر است (شکل ۱۳ د و ه). میانبارهای سیال نوع II (میانبارهای سیال دوفازی L+V): میانبارهای سیال نوع II شامل میانبارهای سیال دوفازی L+V با درجه پرشدگی بین ۰/۳۰ تا ۰/۷۰ هستند که براساس نوع فاز غالب به دو دسته Iia و Iib تقسیم‌بندی می‌شوند (شکل ۱۳). میانبارهای سیال نوع Iia از نوع سیالات دوفازی غنی از مایع و سیالات نوع Iib از نوع سیالات دوفازی غنی از بخار هستند (شکل ۱۳ الف و ج). این نوع سیالات، اشکال بیضوی، کشیده و یا نامنظم از خود نشان داده و اغلب به صورت خوشه‌های سه بعدی نامنظم یا گره‌های فاقد جهت‌یابی مسطح همراه با میانبارهای سیال نوع I مشاهده می‌شوند. اندازه این سیالات درگیر عموماً کمتر از ۱۲ میکرون می‌باشد (شکل ۱۳ الف). در نمونه‌های مطالعه شده منطقه معدنی چاه فرسخ شمالی، همزیستی میانبارهای سیال نوع I و II نشان دهنده اختلاط دو محلول با شوری بالا و پایین و جدایش فازی در حین کانه‌زایی بوده و بنابراین، دمای همگن شدن بدست آمده، می‌تواند همان دمای واقعی تشکیل کوارتز و به تبع آن، دمای کانه‌زایی کانسار چاه فرسخ شمالی باشد. مطالعات دماسنجی سیالات درگیر بر روی ۷۰ سیال درگیر اولیه دوفازی مایع-گاز (L+V) در کانی کوارتز مربوط به زون رگه-رگچه‌ای انجام شده و در جدول ۲ مقادیر ثبت شده از (Th-Tm-Salinity) آورده شده است. محدوده آخرین نقطه ذوب یخ (T_{mice}) در این نمونه‌ها در بازه ۴ °C تا ۱۲ °C قرار دارد (شکل ۱۴ الف). میانگین دمایی همگن شدن ۳۵۵ درجه سانتی

نیست. یکی از بارزترین خصوصیات کانسارهای تیپ مانتو، ژئومتری چینه‌کران و واقع شدن آنها در سنگ میزبانی آندزیتی است. بخشی از کانسار مس چاه فرسخ شمالی در سنگ میزبان بازالتی-آندزیتی تشکیل شده است. کانسارهای تیپ مانتو به صورت رگه-رگچه‌ای می‌باشند و رخساره‌های کانسنگی توده‌ای و لایه‌ای در این تیپ ذخایر دیده نمی‌شود (Kirkham, 1996) در حالی که در کانسار چاه فرسخ شمالی رخساره‌های کانسنگی توده‌ای و لایه‌ای به صورت برون‌دومی عمده رخساره‌های کانسنگی این کانسار را تشکیل می‌دهند (شکل‌های ۶ و ۷).

چاه فرسخ شمالی می‌توان نام برد. از نظر کانی‌شناسی کانسار مس چاه فرسخ شمالی متفاوت از ذخایر مس رسوبی بوده و تنها وجود مقدار کمی بورنیت در کانسار چاه فرسخ شمالی با کانسارهای مس رسوبی مشترک است. فسیل‌های گیاهی و ساخت و بافت جانشینی از دیگر شاخصه کانسارهای مس رسوبی است (Hitzman et al, 2005). در حالی که در کانسار چاه فرسخ شمالی شواهدی از فسیل گیاهی وجود ندارد و بافت‌های لایه‌ای (شکل ۶) و توده‌ای (شکل ۷) عمده بافت-های این کانسار است. بنابراین مجموع مقایسه این شاخصه‌ها نشان می‌دهد کانسار مس چاه فرسخ شمالی از نوع کانسارهای مس تیپ Red Bed



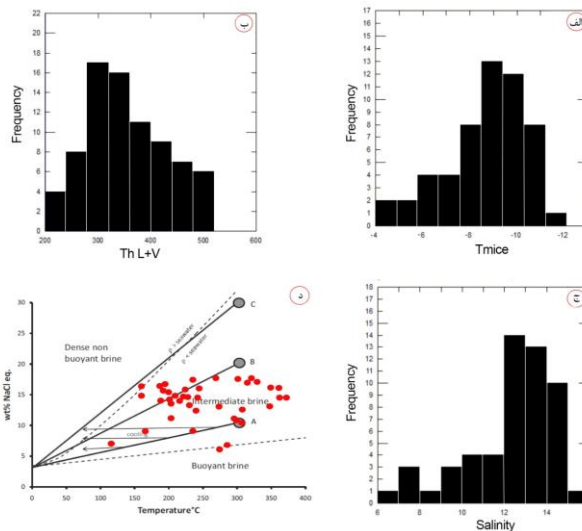
شکل ۱۳: الف: تصویری از میانبرهای سیال تک فازی و دو فازی غنی از مایع، ب: تصویری از سیالات تک فازی و دو فازی در کنار هم، ج: تصویری از سیالات دو فازی غنی از گاز، (V)، د: تصویری از سیالات تک فازی غنی از مایع، (L)، ه: تصویری از سیال تک فازی غنی از گاز (V).

جدول ۲: نتایج میکروترمومتری میانبارهای سیال موجود در کوارتزهای زون رگه-رگچه‌ای کانسار چاه فرسخ شمالی

شماره نمونه	رخصاره کانسنگی	کانی میزبان	تیپ میانبارهای سیال	فازها	شوری (wt%NaCl equiv)	دمای همگن شدن (°C)	دمای آخرین ذوب یخ (°C)
۱	رخصاره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع+بخار	۶/۴۵	۴۵۷	-۴
۲	رخصاره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع+بخار	۷/۱۷	۳۷۷	-۴/۵
۳	رخصاره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع+بخار	۹/۰۸	۴۸۲	-۵/۹
۴	رخصاره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع+بخار	۱۴/۱۵	۳۹۲	-۱۰/۲
۵	رخصاره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع+بخار	۱۳/۸۳	۳۳۱	-۹/۹
۶	رخصاره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع+بخار	۱۳/۰۷	۳۷۰	-۹/۲
۷	رخصاره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع+بخار	۱۲/۷۳	۳۱۹	-۸/۹
۸	رخصاره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع+بخار	۱۲/۸۵	۳۳۳	-۹
۹	رخصاره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع+بخار	۱۰/۴۹	۴۰۷	-۷
۱۰	رخصاره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع+بخار	۱۱/۴۶	۳۴۵	-۷/۸
۱۱	رخصاره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع+بخار	۱۴/۵۷	۲۵۰	-۱۰/۶
۱۲	رخصاره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع+بخار	۸/۰۳	۲۶۱	-۵/۱۲
۱۳	رخصاره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع+بخار	۱۲/۷۳	۳۰۸	-۸/۹
۱۴	رخصاره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع+بخار	۱۰/۴۹	۴۰۰	-۷
۱۵	رخصاره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع+بخار	۱۳/۹۴	۳۰۰	-۱۰
۱۶	رخصاره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع+بخار	۱۴/۹۷	۳۷۲	-۱۱
۱۷	رخصاره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع+بخار	۱۳/۴۰	۲۳۰	-۹/۵
۱۸	رخصاره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع+بخار	۷/۷۳	۲۰۸	-۴/۹
۱۹	رخصاره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع+بخار	۱۲/۰۵	۵۰۰	-۸/۳
۲۰	رخصاره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع+بخار	۱۳/۰۷	۳۱۵	-۹/۲
۲۱	رخصاره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع+بخار	۱۰/۴۹	۳۰۸	-۷
۲۲	رخصاره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع+بخار	۱۲/۷۳	۲۹۵	-۸/۹
۲۳	رخصاره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع+بخار	۶/۸۸	۳۰۰	-۴/۳
۲۴	رخصاره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع+بخار	۸/۶۸	۳۳۹	-۵/۶
۲۵	رخصاره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع+بخار	۱۱/۴۶	۳۲۷	-۷/۸
۲۶	رخصاره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع+بخار	۱۴/۹۷	۴۲۱	-۱۱
۲۷	رخصاره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع+بخار	۱۴/۸۷	۳۴۱	-۱۰/۹
۲۸	رخصاره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع+بخار	۱۳/۹۴	۵۰۰	-۱۰
۲۹	رخصاره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع+بخار	۱۲/۹۶	۳۲۹	-۹/۱
۳۰	رخصاره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع+بخار	۱۰/۴۹	۳۹۷	-۷
۳۱	رخصاره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع+بخار	۹/۲۱	۲۰۳	-۶
۳۲	رخصاره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع+بخار	۷/۸۶	۲۲۸	-۵
۳۳	رخصاره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع+بخار	۱۲/۸۵	۴۵۶	-۹
۳۴	رخصاره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع+بخار	۱۴/۹۷	۳۷۰	-۱۱
۳۵	رخصاره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع+بخار	۷/۷۳	۳۸۸	-۴/۹
۳۶	رخصاره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع+بخار	۷/۸۶	۲۸۲	-۵
۳۷	رخصاره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع+بخار	۱۰/۲۴	۲۶۹	-۶/۸
۳۸	رخصاره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع+بخار	۱۳/۹۴	۳۵۰	-۱۰
۳۹	رخصاره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع+بخار	۱۱/۹۳	۳۷۳	-۸/۲

شماره نمونه	رخصاره کانسنگی	کانی میزبان	تیپ میانبارهای سیال	فازها	شوری (wt%NaCl equiv)	دمای همگن شدن (°C)	دمای آخرین ذوب یخ (°C)
۴۰	رخصاره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع+بخار	۱۵/۱۷	۳۰۲	-۱۱/۲
۴۱	رخصاره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع+بخار	۱۴/۹۷	۵۰۰	-۱۱
۴۲	رخصاره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع+بخار	۹/۲۱	۳۴۰	-۶
۴۳	رخصاره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع+بخار	۱۳/۹۴	۴۵۵	-۱۰
۴۴	رخصاره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع+بخار	۱۳/۷۲	۲۸۳	-۹/۸
۴۵	رخصاره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع+بخار	۳/۳۹	۳۸۰	-۲
۴۶	رخصاره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع+بخار	۸/۸۱	۲۹۱	-۵/۷
۴۷	رخصاره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع+بخار	۶/۴۵	۳۵۱	-۴
۴۸	رخصاره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع+بخار	۱۳/۹۴	۲۷۲	-۱۰
۴۹	رخصاره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع+بخار	۵/۵۶	۳۶۱	-۳/۴
۵۰	رخصاره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع+بخار	۹/۰۸	۳۹۲	-۵/۹
۵۱	رخصاره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع+بخار	۸/۶۸	۲۷۷	-۵/۶
۵۲	رخصاره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع+بخار	۱۳/۹۴	۴۲۸	-۱۰
۵۳	رخصاره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع+بخار	۱۲/۰۵	۳۳۵	-۸/۳
۵۴	رخصاره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع+بخار	۱۲/۸۵	۴۵۰	-۹

۵۵	رخساره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع-بیخار	۱۴/۹۷	۳۹۲	-۱۱
۵۶	رخساره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع-بیخار	۱۵/۹۶	۲۷۸	-۱۲
۵۷	رخساره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع-بیخار	۱۴/۴۶	۴۲۸	-۱۰/۵
۵۸	رخساره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع-بیخار	۹/۲۱	۲۷۳	-۶
۵۹	رخساره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع-بیخار	۱۳/۲۹	۳۰۵	-۹/۴
۶۰	رخساره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع-بیخار	۱۱/۷۰	۴۰۹	-۸
۶۱	رخساره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع-بیخار	۱۲/۲۸	۳۱۱	-۸/۵
۶۲	رخساره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع-بیخار	۱۲/۸۵	۳۷۹	-۹
۶۳	رخساره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع-بیخار	۸/۹۵	۳۵۷	-۵/۸
۶۴	رخساره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع-بیخار	۹/۴۷	۵۰۰	-۶/۲
۶۵	رخساره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع-بیخار	۱۳/۹۴	۴۴۹	-۱۰
۶۶	رخساره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع-بیخار	۱۰/۴۹	۴۱۵	-۷
۶۷	رخساره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع-بیخار	۱۲/۰۵	۴۴۸	-۸/۳
۶۸	رخساره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع-بیخار	۱۲/۸۵	۳۴۵	-۹
۶۹	رخساره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع-بیخار	۱۲/۸۵	۴۶۶	-۹
۷۰	رخساره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع-بیخار	۱۴/۵۷	۴۱۶	-۱۰/۶
۷۱	رخساره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع-بیخار	۱۳/۷۲	۳۵۰	-۹/۸
۷۲	رخساره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع-بیخار	۱۳/۹۴	۳۴۹	-۱۰
۷۳	رخساره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع-بیخار	۱۲/۱۶	۵۰۰	-۸/۴
۷۴	رخساره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع-بیخار	۱۵/۹۶	۳۱۴	-۱۲
۷۵	رخساره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع-بیخار	۱۴/۹۷	۴۰۲	-۱۱
۷۶	رخساره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع-بیخار	۱۲/۶۲	۳۰۸	-۸/۸
۷۷	رخساره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع-بیخار	۱۴/۱۵	۳۰۰	-۱۰/۲
۷۸	رخساره رگه-رگچه‌ای	کوارتز	اولیه	مایع-بیخار	۱۲/۸۵	۳۴۵	-۹



شکل ۱۴: خصوصیات دماسنجی میانبارهای سیال: الف: هیستوگرام فراوانی دمای ذوب یخ میانبارهای سیال، ب: دمای همگن شدن میانبارهای سیال، ج: هیستوگرام فراوانی شوری میانبارهای سیال، د: براساس نمودار دما-شوری سیالات کانه‌دار، سیالات کانسار چاه‌فرسخ در محدوده چگالی متوسط قرار می‌گیرد (Large et al, 2004).

بورنیت و مس طبیعی کانی‌شناسی این ذخایر را تشکیل می‌دهد (Kojima et al, 2009). بافت‌های جانشین، رگه-رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی از بافت‌های مهم کانسارهای مس تیپ مانتو است (Kojima et al, 2009; Kirkham, 1996). در کانسار مس چاه‌فرسخ شمالی بر خلاف ذخایر تیپ

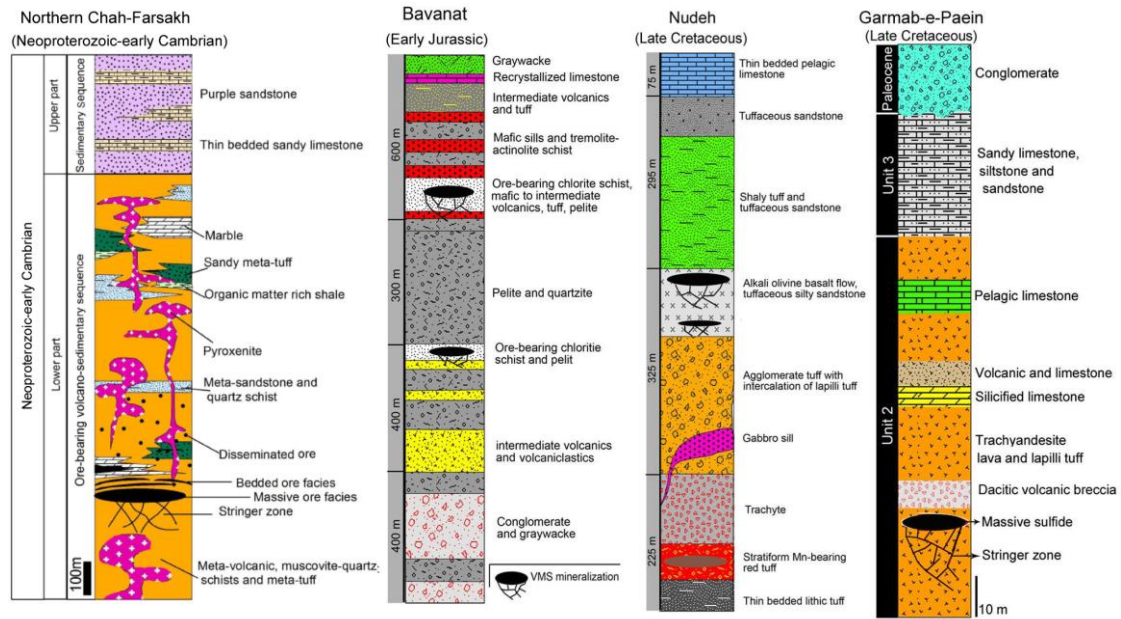
کانسار مس چاه‌فرسخ شمالی از لحاظ کانی‌شناسی هم متفاوت از ذخایر تیپ مانتو است به‌طوری که در کانسار مس چاه‌فرسخ شمالی عمده کانه‌ها شامل کالکوپیریت، مگنتیت، پیروتیت، اسفالریت، تتراهدريت-تنانتیت و پیریت است (شکل ۱۲) در حالی که در کانسارهای تیپ مانتو کالکوسیت،

مانتو، عمده بافت‌های مشاهده شده از نوع لایه‌ای (شکل ۶)، توده‌ای (شکل ۷) و جانیشینی است. با توجه به موارد ذکر شده تفاوت‌هایی از نظر ساخت و بافت و کانی‌شناسی همچنین رخساره‌های کانسنگی بین کانسار چاه‌فرسخ شمالی و کانساهای مس تپ مانتو وجود دارد. مشابه با ذخایر VMS، سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی میزبان کانسار مس چاه‌فرسخ شمالی است و هر چهار رخساره کانسنگی مشاهده شده در ذخایر VMS، در کانسار چاه‌فرسخ شمالی مشاهده می‌شود (شکل‌های ۶، ۷ و ۸). این رخساره‌ها شامل زون رگه-رگچه‌ای، رخساره کانسنگ توده‌ای، رخساره کانسنگ لایه‌ای است. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته در کانسار مس چاه‌فرسخ شمالی، این کانسار دارای بافت‌های لایه‌ای، توده‌ای و رگه-رگچه‌ای هستند و کانی‌شناسی آنها نیز به‌طور عمده شامل کالکوپیریت، پیریت، مگنتیت و اسفالریت است (شکل ۱۲) که با کانی‌شناسی و ساخت و بافت کانسارهای سولفید توده‌ای شبیه می‌باشد. دگرسانی همراه با کانسار چاه‌فرسخ شمالی شامل سیلیسی، کلریتی، کربناتی و اپیدوتی است ولی دگرسانی آرژیلیک در آن مشاهده نمی‌شود. از نظر کانی‌های گانگ همراه با رگه-رگچه‌های سولفیدی نیز مشابه با کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشانزاد، حاوی رگه-رگچه‌های کوارتز و کربناتی می‌باشد (Franklin et al, 2005). با توجه به کلیه ویژگی‌های کانسار مس چاه‌فرسخ شمالی و مقایسه آن با ویژگی‌های رده‌های مختلف کانه‌زایی مس چینه‌کران (مس رسوبی، نوع مانتو و VMS)، این کانسارها شباهت بسیار زیادی با کانسارهای نوع VMS نشان می‌دهند. بنابراین در ادامه این کانسار با زیرتیپ‌های کانه‌زایی تپ VMS به تفصیل مورد مقایسه قرار گرفته است. نهشته‌های VMS براساس تقسیم‌بندی فرانکلین و همکاران (Franklin et al,

2005) بر مبنای چینه‌نگاری و شرایط لیتوتکتونیکی به پنج زیر تیپ تقسیم‌بندی می‌شوند که عبارتند از: تیپ بایمودال مافیک یا تیپ نوراندا، تیپ بایمودال پلیتیک مافیک یا بشی، تیپ بایمودال فلسیک یا کوروکو، تیپ فلسیک سیلیسی کلاستیک یا بتورست و تیپ مافیک-الترامافیک یا قبرس. در جدول ۳ تقسیم‌بندی این تیپ‌های کانساری VMS و مقایسه آن‌ها با کانسار چاه‌فرسخ شمالی ذکر شده است. با توجه به توالی مافیک و کانی‌زایی مس- روی در کانسار چاه‌فرسخ شمالی، این کانسار جزء کانسارهای تیپ کوروکو و بتورست قرار نگرفته و از سوی دیگر به علت قرار نداشتن این کانسار در کمپلکس افیولیتی، کانسار چاه‌فرسخ شمالی در رده کانسارهای تیپ قبرسی نیز قرار نمی‌گیرد. در رابطه با کانسارهای نوع بایمودال مافیک نیز مطابق فرانکلین و همکاران (Franklin et al, 2005) سنگ‌های آتشفشانی بخش عمده توالی را تشکیل داده و سنگ‌های رسوبی کمتر از ۱۰ درصد توالی ذخایر تیپ نوراندا را شامل می‌شوند، در حالی که در توالی منطقه معدنی چاه‌فرسخ شمالی سنگ‌های رسوبی حدود ۳۰ تا ۴۵ درصد توالی را تشکیل می‌دهند (شکل ۵). لذا کانسار چاه‌فرسخ شمالی جزء کانسارهای بایمودال مافیک نیز نخواهد بود. بنابراین، در مقایسه توالی ستون استراتیگرافی کانسار مس چاه‌فرسخ شمالی با ستون‌های لیتواستراتیگرافی پنج نوع VMS (جدول ۳) کانسار مس چاه‌فرسخ شمالی، بیشترین شباهت را با کانسارهای نوع پلیتیک مافیک (Besshi Type VMS or pelitic mafic VMS) نشان می‌دهند که از این نظر مشابه با ذخایر مس بوانات، نوده و گرماب می‌باشد که به عنوان ذخایر VMS تیپ بشی در ایران معرفی شده‌اند (شکل ۱۵).

جدول ۳: مقایسه کانسار چاه فرسخ شمالی با ویژگی‌های انواع تیپ کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشانزاد (Franklin et al, 2005)

ویژگی‌های شاخص	سلیسی کلاستیک بایمودال فلسیک (تیپ بتورست)	بایمودال فلسیک (تیپ کوروکو)	بایمودال مافیک (تیپ نوراندا)	مافیک-ترامافیک (تیپ قبرس)	بایمودال پلیتیک مافیک (تیپ بشی)	کانسار چاه فرسخ شمالی
جایگاه تکتونیکی	قوس و پشت قوسی	قوس و پشت قوسی	قوس‌های نوظهور	پشته‌های میان اقیانوسی	ریف‌ت قاره‌ای پشت قوسی	ریف‌ت قاره‌ای پشت قوسی
توالی چینه‌ای	داسیت، ریولیت و شیل-های سیاه	ریولیت، داسیت و سنگ‌های آذرآواری فلسیک	بازالت، آندزیت و سنگ‌های آذرآواری مافیک	بازالت و سنگ‌های گدازه‌ای بالشی	گدازه‌های بازالتی، آندزیت، سیلستون و شیل	سنگ‌های متاولکانیک (بازالت تا آندزیت)، مسکویت-کوارتز شیسست و مرمر
کانی‌شناسی	اسفالریت، گالن، پیریت، آرسنوپیریت، پیروتیت، تتراهدریت و باریت	اسفالریت، گالن، پیریت، کالکوپیریت، تتراهدریت	پیریت، کالکوپیریت و اسفالریت	پیریت، کالکوپیریت و اسفالریت	پیریت، کالکوپیریت، مگنتیت، پیروتیت و اسفالریت	پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، مگنتیت، بورنیت، تتراهدریت و تنانتیت
عناصر کانه‌دار	روی-سرب-مس	سرب-روی-باریت	مس (روی)	مس	مس-روی	مس
کانی‌های باطله	کربنات، کوارتز، سرسیت و باریت	باریت و کوارتز	کلریت، کوارتز و کربنات	کوارتز و کلریت	کلریت، کوارتز، سرسیت و اپیدوت	کلریت، کوارتز، کربنات و سرسیت
کانی‌های دگرسانی	سرسیت، سلیسی، کلریت و کلسیت	سرسیت، کوارتز، کلریت	کلریت و سرسیت	کلریت، کوارتز و سرسیت	کلریت، کوارتز، سرسیت و اپیدوت	کلریت، کوارتز، سرسیت و کربنات
ساخت و بافت	توده‌ای، لایه‌ای، دانه پراکنده و رگه-رگچه‌ای	توده‌ای، لایه‌ای، دانه پراکنده و رگه-رگچه‌ای	توده‌ای، لایه‌ای، دانه پراکنده و رگه-رگچه‌ای	توده‌ای، لایه‌ای، دانه پراکنده و رگه-رگچه‌ای	توده‌ای، لایه‌ای، دانه پراکنده و رگه-رگچه‌ای	توده‌ای، لایه‌ای، دانه پراکنده و رگه-رگچه‌ای
میانبارهای سیال	دما: ۱۰۰ تا ۲۹۶ شور: ۱۱ تا ۳۸	دما: ۱۳۲ تا ۲۸۳ شور: ۱ تا ۱۰	دما: ۲۰۰ تا ۲۳۰ شور: ۶ تا ۳۰	دما: ۲۶۰ تا ۳۷۰ شور: ۱۱ تا ۶	دما: ۳۰ تا ۳۵۰ شور: ۱۵ تا ۳۵	دما: ۲۰۰ تا ۵۰۰ شور: ۶ تا ۱۶
مثال‌هایی از ایران	Chahgaz deposit (Mousivand et al, 2011)	Barika deposit (Yarmohammadi et al, 2008)	Sargaz deposit (Badrzadehet al, 2010)	Shaikh-Aali deposit (Rastad et al, 2012)	Nudeh (Maghfouri et al, 2016; 2018; 2021a); Bavanat deposit (Mousivand et al, 2007; 2012)	مطلعه حاضر



شکل ۱۵: مقایسه ستون چینه‌شناسی کانسار چاه‌فرسخ شمالی با کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشانزاد تیپ بشی بوانات (Mousivand et al, 2007; 2012)، نوده (Maghfouri et al, 2016; 2018; 2021a)، و گرماب (طاشی، ۱۳۹۴).

منابع

-مغفوری، س.، ۱۳۹۱. زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانه‌زایی مس در توالی آتشفشانی-رسوبی کرتاسه پسین در جنوب غرب سبزوار، با تاکید بر کانسار نوده، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.

-مغفوری، س.، راستاد، ا. و موسیوند، ف.، ۱۳۹۳. کانسار سولفید توده‌های آتشفشانزاد (VMS) نوده، نمونه‌ای از کانسارهای نوع بشی (type- Besshi)، جنوب باختر سبزوار، فصلنامه علوم زمین، شماره ۹۴، ص ۷۳-۸۶.

-هوشمندزاده، ع.، ۱۳۵۱. نقشه زمین‌شناسی معدنی کشور، ۱:۲۵۰,۰۰۰ ترود، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

-هوشمندزاده، ع.، علوی‌نائینی، م. و حقی‌پور، ع.، ۱۳۵۷. تحول پدیده‌های زمین‌شناسی ناحیه تروند (از پرکامبرین تا عهد حاضر)، سازمان زمین‌شناسی و معدنی کشور، نقشه شماره H5.

-جعفریان، م.، ۱۳۸۰. نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ کلاته رشم و معبد، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

-حمامی‌پور، ب.، ۱۳۹۶. گزارش اکتشاف تفصیلی کانسار مس چاه فرسخ، سازمان صنایع و معادن استان سمنان، ۱۶۰ ص.

-طاشی، م.، ۱۳۹۴. کانی‌شناسی، زمین‌شیمی و الگوی پیدایش کانسارهای مس-نقره گرماب پایین و اسبکشان، منطقه خارتوران، جنوب شرق شاهرود، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.

-موسیوند، ف.، ۱۳۸۲. کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانه‌زایی مس در مجموعه آتشفشانی-رسوبی سوریان در منطقه بوانات، استان فارس، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.

- Alavi, M., 1996. Tectonostratigraphic synthesis and structural style of the Alborz mountain system in northern Iran. *Journal of Geodynamics*, v. 21, p. 1-33.
- Amidi, S.M., Emami, M.H. and Michel, R., 1984. Alkaline character of Eocene volcanism in the middle part of central Iran and its geodynamic situation. *Geol. Rundsch.* v. 73, p. 917-932.
- Badrzadeh, Z., Barrett, T.J., Peter, J.M., Gimeno, D., Sabzehei, M. and Aghazadeh, M., 2010. Geology, mineralogy and sulfur Isotope geochemistry of the Sargaz Cu-Zn volcanogenic massive sulfide deposit, Sanandaj-Sirjan zone, Iran. *Mineralium Deposita*, v. 46(8), p. 905-923.
- Barrie, T.C., Nielsen, F.W. and Aussant, C.H., 2007. The Bisha Volcanic Associated Massive Sulfide Deposit, Western Nakfa Terrane, Eritrea, *Economic Geology*, v. 102, p. 717-738.
- Bodnar, R.J. and Vityk, M.O., 1994. Interpretations of microthermometric data for H₂O-NaCl fluid inclusions, in DeVivo, B., and Frezzotti, M.L., eds., *Fluid inclusions in minerals: Methods and applications*: Blacksburg, Virginia Polytechnic Institute and State University Press, p. 117-130.
- Crawford, A.R., 1977. A summary of isotopic age data for Iran, Pakistan and India. *Memoire Societe Geologique de France*, v. 8, p. 251-260.
- Eshraghi, S.A. and Jalali, A., 2006. Reports on the geological map of Moalleman, 1: 100,000. Geological Survey of Iran.
- Fard, M., Rastad, E. and Ghaderi, M., 2006. Epithermal gold and base metal mineralization at Gandy deposit, north of central Iran and the role of rhyolitic intrusions. *Journal of Sciences University Tehran*, v. 17, p. 327-335.
- Franklin, J.M., Gibson, H.L., Jonasson, I.R. and Galley, A.G., 2005. Volcanogenic Massive Sulphide Deposits, *Economic Geology* 100th anniversary, p. 523-560.
- Ghorbani Derakhshi, M., Hosseinzadeh, M.R., Moayyed, M. and Maghfouri, S., 2019. Metallogenesis of Precambrian SEDEX-type Barite-(Pb-Cu-Zn) deposits in the Mishu mountain, NW Iran: Constrains on the geochemistry and tectonic evolution of mineralization. *Ore Geology Reviews*, v. 107, p. 310-335.
- Hassanzadeh, J., Ghazi, A.M., Axen, G., Guest, B., Stockli, D. and Tucker, P., 2002. Oligocene mafic-alkaline magmatism in north and northwest of Iran: Evidence for the separation of the Alborz from the Urumieh-Dokhtar magmatic. *Geological Society of America*, v. 34(6), p. 331-348.
- Hitzman, M., Kirkham, R., Broughton, D., Thorson, J. and Selly, D., 2005. The sediment hosted stratiform copper ore system. In: Thompson, J.F.H., Goldfarb, R.J, Richards, J.P. (Eds.), 100th Anniversary volume. *Society of Economic Geologists*, p. 609-642.
- Kirkham, R.V., 1996. Volcanic red bed copper. *Geol. Sur. of Canada, Canadian Mineral Deposit Types*, v. 8, p. 241-252.
- Kojima, S., Trista, D., Guilera, A. and Ken-ichiro ayashi, H., 2009. Genetic aspects of the manto type copper deposits based on geochemical studies of north Chilean deposits. *Resour. Geol.*, v. 59(1), p. 87-98.
- Large, R.R., McGoldrick, P., Bull, S. and Cooke, D., 2004. Proterozoic stratiform sediment-hosted zinc-lead-silver deposits of northern Australia, in Deb, M. and 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.
- Maghfouri, S., Rastad, A., Mousivand, F. and Ye, L., 2016. Geology, ore facies and sulphur isotopes geochemistry of the Nudeh Besshi type volcanogenic

- massive sulphide deposit, Southwest Sabzevar basin, Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, v. 125, p. 145-161.
- Maghfouri, S., Hosseinzadeh, M.R., Rajabi, A. and Azimzadeh, A.M., 2017. Darreh-Zanjir deposit; a typical carbonate hosted Zn-Pb deposit (MVT) in early cretaceous sedimentary sequence, southern Yazd basin. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences* v. 26(103), p. 13-28.
- Maghfouri, S., Rastad, A., Lentz, D.R., Mousivand, F. and Choulet, F., 2018. Mineralogy, microchemistry and fluid inclusion studies of the Besshi-type Nudeh Cu-Zn VMS deposit, Iran. *Chemie der Erde*, v. 78, p. 40-57.
- Maghfouri, S., Hosseinzadeh, M.R. and Choulet, F., 2020. Supergene nonsulfide Zn-Pb mineralization in the Mehdiabad world-class sub-seafloor replacement SEDEX-type deposit, Iran. *International Journal of Earth Sciences*, v. 109, p. 2531-2555.
- Maghfouri, S., Rastad, A., Mousivand, F. and Lentz, D.R., 2021a. Chemical composition of magnetite and chlorite from the stringer zone of the Nudeh VMS deposit, Iran: geological implications. *Mineralogy and Petrology*, v. 115(2).
- Maghfouri, S., Hosseinzadeh, M.R., Lentz, D.R., Tajeddin, H.A., Movahednia, M. and Shariefi, A., 2021b. Nature of ore-forming fluids in the Mehdiabad world-class sub-seafloor replacement SEDEX-type Zn-Pb-Ba-(Cu-Ag) deposit, Iran; constraints from geochemistry, fluid inclusions, and O-C-Sr isotopes. *Journal of Asian Earth Sciences*, v. 207, p. 104-122.
- Mehrabi, B. and Ghasemi Siani, M., 2012. Intermediate sulfidation epithermal Pb-Zn-Cu (\pm Ag-Au) mineralization at Cheshmeh Hafez deposit, Semnan province. *Iran Journal. Geological Society of India*, v. 80, p. 563-578.
- Mousivand, F., Rastad, E. and Emami, M.H., 2004. Bavanat copper deposit; a Besshi-type volcanogenic massive sulfide deposit in Iran. *22nd Annual Symposium of Geosciences, Geological Survey of Iran*.
- Mousivand, F., Rastad, E., Meffre, S.M., Peter, J.M., Solomon, M. and Zaw, K., 2011. U-Pb geochronology and Pb isotope characteristics of the Chahgaz volcanogenic massive sulfide deposit, South of Iran. *International Geology Review*, v. 53(10), p. 1239-1262.
- Mousivand, F., Rastad, E., Emami, M.H., Peter, J.M. and Solomon, M., 2012. Bathurst-type Zn-Pb-Cu Volcanogenic Massive Sulfide Mineralization in the Chahgaz Area, South of Shahre Babak, South Sanandaj-Sirjan Zone, Geological Survey of Iran, v. 82, p. 151-162.
- Mousivand, F., Rastad, E., Hoshino, K. and Watanabe, M., 2007. The Bavanat Cu- Zn- Ag orebody: first recognition of a Besshi- type VMS deposit in Iran, *Neues Jahrbuch für Mineralogie Abhandlungen*, v. 183(3), p. 296-315.
- Monecke, T., Gemmeli, J. and Herzig, P., 2006. Geology and Volcanic Facies Architecture of the Lower Ordovician Waterloo Massive Sulfide Deposit, Australia, *Economic Geology*, v. 101, p. 179-197.
- Niroomand, S., Hassanzadeh, J., Tajeddin, H.A. and Asadi, S., 2018. Hydrothermal evolution and isotope studies of the Baghu intrusion-related gold deposit, Semnan province, north-central Iran. *Ore Geology Reviews*, v. 95, p. 1028-1048.
- Shafaii Moghadam, H., Khademi, M., Hu, Z., Stern, R.J., Santos, J.F. and Wu, Y., 2015. Cadomian (Ediacaran-Cambrian) arc magmatism in the ChahJam-Biarjmand metamorphic complex (Iran): Magmatism along the northern active margin of Gondwana. *Gondwana Research*, v. 27, p. 439-452.

- Shamanian, G.H., Hedenquist, J.W., Hattori, K.H. and Hassanzadeh, J., 2004. The Gandy and Abolhassani epithermal prospects in the Alborz magmatic arc, Semnan province, northern Iran. *Econ. Geol.*, v. 99, p. 691-712.
- Solomon, M., 2008. Brine pool deposition for the Zn-Pb-Cu massive sulphide deposits of the Bathurst mining camp, New Brunswick, Canada. I. Comparisons with the Iberian pyrite belt. *Ore Geology Reviews*, v. 33(3-4), p. 329-351.
- Pirajno, F., 2009. *Hydrothermal Processes and Mineral Systems*. Springer, Berlin, Germany, 250 p.
- TaleFazel, E., Mehrabi, B. and GhasemiSiani, M., 2019. Epithermal systems of the Torud-Chah Shirin district, northern Iran: Ore fluid evolution and geodynamic setting. *Ore Geology Reviews*, v. 109, p. 253-275.
- Rastad, E., Monazami miralipour, A. and Momenzadeh, M., 2012. Sheikh-Ali copper deposit, A Cyprus-type VMS deposit in southeast Iran. *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran*, v. 13(1), p. 51-63.
- Wilkinson, J., 2001. "Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits". *Lithos*, v. 55(1), p. 229-272.
- Yarmohammadi, A., Rastad, E., Mousivand, F. and Watanabe, M., 2008. Barika Au-Ag-(ZnPb-Cu) deposit: First recognition of gold-rich Kuroko-type VMS mineralization in Iran. 33rd International Geological Congress, Geological Survey of Norway, Oslo, Norway.
- Zheng, Y., Zhang, L., Chen, Y., Hollings, P. and Chen, H., 2013. Metamorphosed Pb-Zn-(Ag) ores of the Keketale VMS deposit, NW China: Evidence from ore textures, fluid inclusions, geochronology and pyrite compositions. *Ore Geology Reviews*, v. 54, p. 167-180.