

## بررسی‌های کانه‌زایی، دگرسانی و شاره‌های درگیر گستره‌ی پی‌جویی سرب کوپرو، شمال-غرب بشرویه، استان خراسان جنوبی

زهرا کریمی سعیدآبادی، محمدحسن کریم‌پور\*، آزاده ملک‌زاده سفارودی، بهنام رحیمی

گروه زمین‌شناسی دانشکده علوم دانشگاه فردوسی مشهد

(دریافت مقاله: ۹۵/۴/۵، نسخه نهایی: ۹۵/۷/۱۲)

**چکیده:** منطقه‌ی پی‌جویی سرب کوپرو که در شمال غرب بشرویه قرار دارد، به شکل رگه-رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی و سیمان برش‌های گسلی در واحد شیل دگرگون شده (اسلیت) ژوراسیک میانی سازند بغمشاه تشکیل شده است. منطقه‌های کانی‌سازی شامل دولومیت (۷۰ تا ۸۵ درصد)، گالن (۰/۵ تا ۲/۵ درصد) و مقدار اندکی پیریت، کوارتز و کلسیت است. دولومیتی‌شدن و سیلیسی‌شدن سنگ میزبان مهم‌ترین فرآیند دگرسانی در منطقه کوپرو است. اندازه‌گیری‌های ریزدماسنجی شاره‌های درگیر دوفازی (مایع و بخار) نشان می‌دهد دولومیت، کوارتز و کانه‌ها از یک شاره‌ی با دمای متوسط (۱۶۸ تا ۲۵۰ درجه‌ی سانتیگراد) و شوری کم تا متوسط (۵ تا ۱۲/۵ درصد وزنی NaCl) تشکیل شده‌اند. از مقایسه‌ی منطقه‌ی پی‌جویی کوپرو با ذخایر دیگر رگه‌ای بلوک لوت و با توجه به دگرسانی دولومیتی سنگ میزبان، عدم ارتباط با فعالیت‌های آذرین، بافت پرکننده‌ی فضای خالی، ویژگی‌های کانی‌شناسی و بررسی شاره‌های درگیر، احتمالاً کانی‌سازی از نوع اپی‌ترمال است.

**واژه‌های کلیدی:** کانی‌سازی؛ دگرسانی؛ شاره‌های درگیر؛ منطقه اکتشافی کوپرو؛ بلوک لوت.

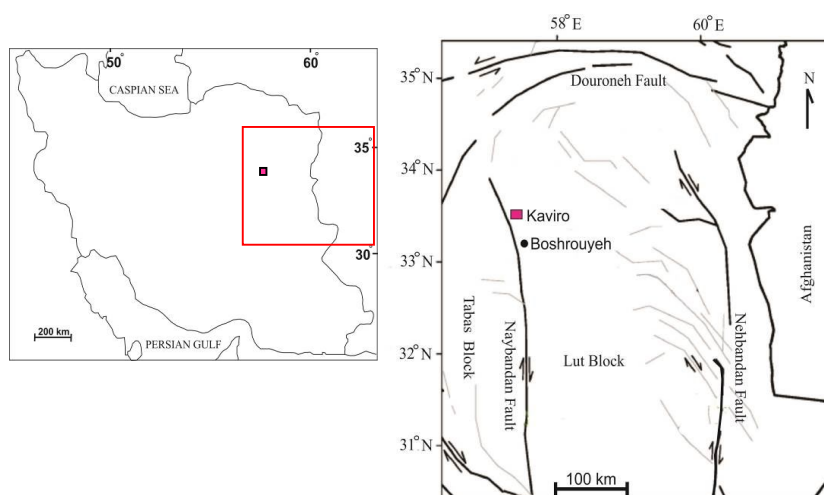
### مقدمه

کانسار چندین ترانشه و چاهک و ۲ تونل پی‌جویی توسط شرکت احیا حفر شده است. لازم به یادآوری است که در این گستره ۲ شفت به عمق تقریبی ۳۰ متر نیز مشاهده می‌شوند که به دلیل بالاآمدن آب زیرزمینی و خطر ریزش، ورود به آنها مقدور نیست. هدف از این کار پژوهشی، بررسی‌های دگرسانی، تفکیک رگچه‌ها و ارتباط آنها با کانی‌سازی گالن و دماسنجی شاره‌های درگیر اولیه و تعیین میزان شوری آبگون کانه‌ساز در منطقه پی‌جویی کوپرو است.

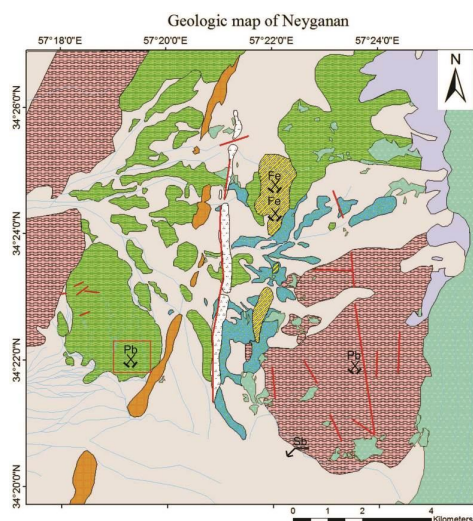
### روش بررسی

به منظور شناخت ماهیت کانی‌سازی در منطقه اکتشافی کوپرو، بررسی‌ها در دو بخش صحرایی و آزمایشگاهی انجام شد. در بخش صحرایی تمامی ویژگی‌های ساختی و بافتی و چگونگی ارتباط پدیده‌ها در رخنمون‌های سطحی و زیرسطحی

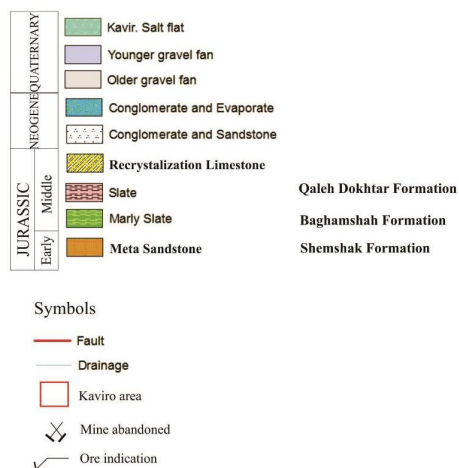
منطقه‌ی پی‌جویی کوپرو در شرق ایران و در گستره‌ای بین طول‌های جغرافیایی  $57^{\circ} 17' 58''$  تا  $57^{\circ} 19' 44''$  شرقی و عرض‌های جغرافیایی  $34^{\circ} 21' 41''$  تا  $34^{\circ} 23' 17''$  شمالی و در فاصله‌ی ۵۵ کیلومتری شمال‌غرب بشرویه در استان خراسان جنوبی واقع شده است (شکل ۱). این گستره در شمال روستای نیگنان قرار گرفته است. شمال نیگنان به دلیل حضور کانی‌سازی‌های رگه‌ای سرب (نیگنان، پیرحاجی، قهستان، چاه آهن، قره شیرعلی، خرمايو، کوه سیاه و کوپرو)، آنتیموان (شکل ۲)، آهن طوسی [۱] و آهن محبی (شکل ۲)، وجود حفاری‌های قدیمی و سرباره‌های فراوان و سیستم شکستگی‌ها و گسل‌های متعدد اهمیت دارد. تاکنون پروژه‌های پی‌جویی مقدماتی، نیمه-تفصیلی و تفصیلی مربوط به منطقه‌ی سرب کوپرو از سوی شرکت احیا صنایع خراسان انجام شده است. در گستره‌ی



شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه پی‌جوئی کویرو در ایران و بلوک لوت.



Legend



شکل ۲ نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰۰ شمال نیگنان با تغییرات از نقشه‌ی عشق‌آباد [۲] همراه با موقعیت منطقه‌ی سرب کویرو.

بررسی شدند و از رگه- رگچه های معدنی، سنگ میزبان و بخش های دارای دگرسانی به صورت تصادفی نمونه برداری شد. بررسی های دقیق آزمایشگاهی شامل بررسی سنگ نگاری و کانی شناسی کانسنگ و سنگ میزبان و مجموعه های دگرسان انجام شد. بررسی های بافتی و کانی شناسی به روش های مرسوم میکروسکوپی روی ۵۰ مقطع نازک و ۱۵ مقطع نازک صیقلی به انجام شد. با تلفیق نتایج حاصل از بررسی های صحرایی و آزمایشگاهی، دنباله ی پاراژنزی کانسار ترسیم شد.

برای بررسی های شاره های درگیر، تعداد ۷ مقطع دوبر صیقل (ویفر) از کانی های کوارتز و دولومیت که پاراژنز اصلی کانه های سولفیدی هستند، تهیه شد و با دماسنجی و سنجش شوری، نوع املاح موجود در محلول کانه ساز مشخص شدند. آزمایش های مربوطه با استفاده از یک سردکننده و گرم کننده ی ساخت شرکت لینکام مدل THM600 در دانشگاه فردوسی مشهد صورت گرفت. دقت کار دستگاه در مرحله ی سرد و گرم کردن  $1^{\circ}C \pm$  و گستره ی گرمایی دستگاه بین (۱۹۰-) تا (۶۰۰+) درجه سانتیگراد بوده است. در مجموع ۴۰ شاره ی درگیر اولیه دماسنجی شدند و عملیات تعیین شوری روی آنها انجام گرفت. مقدار شوری بنابر [۳] در سیستم  $H_2O-NaCl$  و مقدار چگالی شاره های درگیر با استفاده از نرم افزار FLINCOR و بر اساس داده های دماسنجی بنابر [۴] محاسبه شدند و سپس نمودارهای مناسب با استفاده از نرم افزار SPSS 23 ترسیم شدند.

#### زمین شناسی

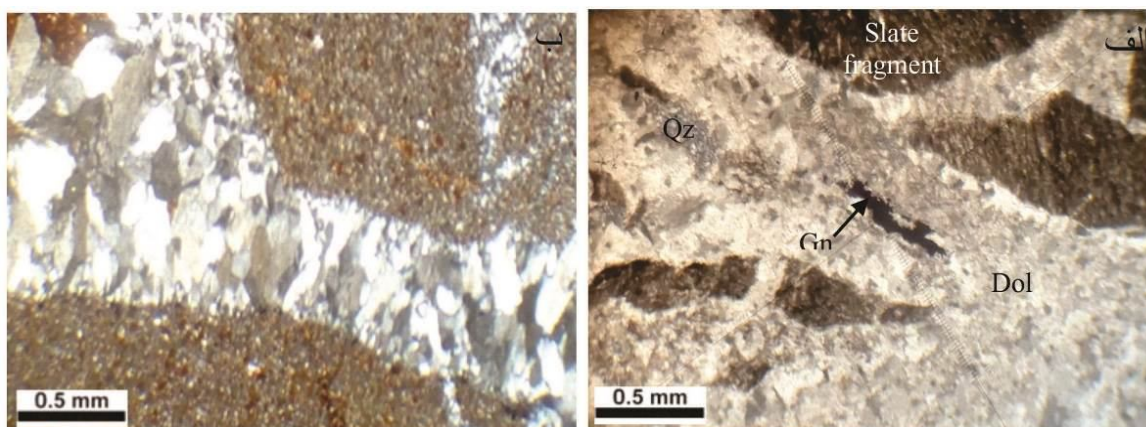
بر اساس اختلافات در ویژگی های پوسته ای و سن پی سنگ، ایران به سه منطقه ی ساختاری اصلی از جنوب به شمال تقسیم می شود: (۱) کمربند چین خورده زاگرس، (۲) ایران مرکزی و کوه های البرز و (۳) فروافتادگی جنوب دریای خزر و کوه های کپه داغ. این سه منطقه ی اصلی بر اساس نوع ساختارها، سن و مقدار دگرشکلی ها و سن و ماهیت ماگماتیسم به زیرمنطقه- هایی تقسیم می شود [۵]. کانسار سرب کوپرو بر اساس تقسیمات ساختاری ایران [۶] در بخش میانی منطقه ایران مرکزی واقع شده است (شکل ۱). منطقه ی مورد بررسی در شمال غرب بشرویه (شکل ۱) و در بخش شرق نقشه ی ۱/۱۰۰۰۰۰ عشق آباد قرار دارد.

واحدهای سنگی ژوراسیک با یک گستره ی گسترده ای

سرتاسر بخش میانی ورقه را از شمال تا جنوب پوشانیده است و در واقع مجموعه ارتفاعات ورقه ی عشق آباد را ایجاد کرده است. قدیمی ترین واحد رخنمون یافته در گستره ی شمال نیگنان طبقات ضخیم تشکیلات دگرگون شده شمشک با روند شمال شرقی- جنوب غربی است. تشکیلات معروف به بغمشاه که میزبان کانی سازی سرب است، شامل اسلیت مارن دار همراه لایه های باریکی از گچ، بخش وسیعی از نواحی شمال شرق ورقه را پوشانیده است (شکل ۲). سازند بغمشاه به سن ژوراسیک میانی توسط اشتوکلین و همکاران [۷] نامگذاری شده است. بخش بالایی این سازند از آهک های ضخیم لایه درست شده که به نام آهک اشلون معروف است. این سازند قابل مقایسه با سازندهای دلیچای در البرز و چمن بید در بخش کپه داغ است. ضخامت سازند بغمشاه در برش الگو در بغمشاه در شمال کوه های شتری ۴۹۵ متر بوده و آمونیت ها از مهم ترین فسیل های این سازند هستند [۸]. این واحد که در منطقه ی مورد بررسی تحت تاثیر دگرگونی ناحیه ای قرار گرفته است، بیشترین گسترش را در منطقه ی شمال نیگنان به خود اختصاص می دهد و چنانکه در شکل ۲ مشاهده می شود، میزبان کانی سازی گالن و استیبنیت است. واحد اسلیتی در صحرا به شدت خرد شده و با موضع نگاری نیمه پست دیده می شود. این واحد سنگی با ارتباطی مستقیم زیر واحدهای سنگ آهک تبلور مجدد یافته (در اثر دگرگونی ناحیه ای) معروف به تشکیلات قلعه دختر قرار گرفته و در واقع دو سمت تشکیلات بغمشاه به- وسیله ی تشکیلات قلعه دختر به صورت یک تاق دیس پوشانیده شده است.

#### دگرسانی و کانی سازی

دگرسانی های دولومیتی شدن، سیلیسی شدن مهم ترین دگرسانی های منطقه هستند که در اطراف رگه و رگچه های کانی سازی و به ندرت در واحدهای میزبان آن مشاهده می- شوند. در داخل رگه ی کانی سازی مرز خاصی بین دگرسانی سیلیسی و دولومیتی مشاهده نمی شود به طوریکه واحد اسلیتی در منطقه ی گسلی برشی شده و به وسیله ی دولومیت و سیلیس ریز بلور سیمانی شده است (شکل ۳ الف). گالن در سیمان برش های گسلی دیده می شود. سیلیسی شدن به صورت رگچه- های کوارتز و یا سیمان برش ها همراه با دولومیت مشاهده می- شود (شکل ۳ ب).



شکل ۳ تصاویر میکروسکوپی از کانی‌های دگرسان در رگه-رگچه کانی‌سازی (XPL). الف- برش گسلی با قطعاتی از اسلیت و سیمان دولومیت، کوارتز و گالن، ب- دگرسان سیلیسی به شکل رگچه سیلیسی در سنگ میزبان اسلیتی Gn= گالن، Qz= کوارتز، Dol= دولومیت [۹].

می‌شوند که می‌توان آنها را به صورت زیر رده‌بندی کرد:

#### بافت پراکنده

این بافت در پیریت‌هایی که همراه با رگچه‌های کانی‌ساز، مشاهده می‌شود (شکل ۴ الف) ولی ارتباط بافتی دقیق بین آنها و گالن مشخص نیست. اندازه‌ی این بلورهای پیریت بین ۰/۵ تا ۳ میلیمتر متغیر است. این بافت در کانی گالن نیز مشاهده می‌شود. گالن‌های پراکنده به همراه دولومیت و کوارتز در سیمان برش‌های گسلی قابل رویت هستند (شکل ۴ ب).

#### بافت فرامبوئیدال

این بافت در کانی پیریت قابل مشاهده است. این دسته از پیریت‌ها کاملاً شکل‌دارند و فرامبوئید کاملاً گرد با حجره‌های کاملاً مشخص است (شکل ۴ پ). حداکثر اندازه‌ی آنها ۰/۲ میلیمتر در واحد شیل دگرگون شده است. در برخی قسمت‌ها حجره‌ها به صورت زنجیره به دنبال یکدیگر قرار گرفته‌اند و بافت جزیره‌ای را از خود نشان می‌دهند [۱۰].

#### بافت شکسته شده (کاتاکلاستیکی)

این بافت که در پیریت‌ها مشاهده می‌شود، نشان می‌دهد که پیریت‌ها در فرآیندهای زمین‌ساختی و دگرگونی قرار گرفته‌اند و حالت برشی از خود نشان می‌دهند (شکل ۴ ت).

#### بافت دندریتی

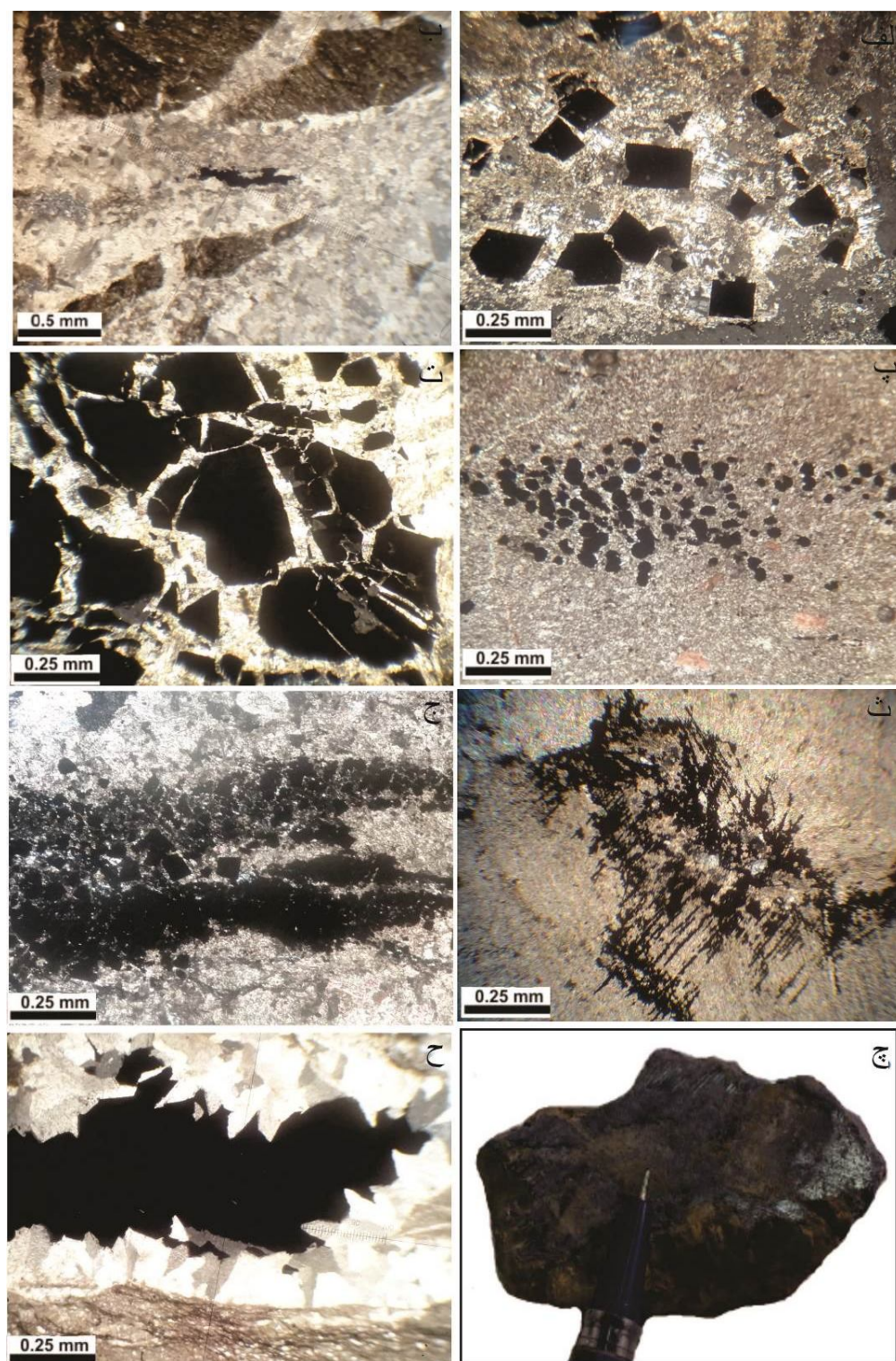
این بافت در کانی پیریت در بخش‌های محدودی مشاهده می‌شود که این نوع پیریت‌ها به صورت تاخیری همراه با رگچه‌های کلسیتی قابل رویت هستند (شکل ۴ ث).

در این دگرسانی‌های کوارتز با فراوانی ۵ تا ۲۰ درصد در اندازه‌های چند صدم تا حداکثر ۰/۵ میلیمتر مشاهده می‌شود. بر اساس بررسی‌های میکروسکوپی، این کانی قبل و همزمان با گالن در منطقه تشکیل شده است. دگرسان دولومیتی‌شده با دو نوع دولومیت مشخص می‌شود: ۱- دولومیت‌های کاملاً شکل‌دار و درشت بلور ۲- دولومیت‌های ریز بلور. میزان گالن همراه با این دولومیت‌ها کمتر از نوع اول است. کلسیتی‌شدن که آخرین مرحله است غالباً همراه با رگچه‌های کلسیت تاخیری مشاهده می‌شود.

کانی‌سازی در کانسار کوپرو از نوع رگه-رگچه‌ای وابسته به چین‌خوردگی در سنگ میزبان اسلیتی است. رگه‌ها در همه جا شیب نزدیک به قائم دارد و تقریباً با زاویه ۴۵ تا ۹۰ درجه رخ اسلیتی را قطع می‌کنند. بر اثر فعالیت‌های معدنکاری ضخامت رگه‌ی اصلی در سطح مشخص نیست ولی بر اساس بررسی‌های گمانه‌ای راستای آن N40E و ضخامت آن از ۲۵ سانتی‌متر تجاوز نمی‌کند. رابطه بین رگه و رگچه‌ها و سنگ میزبان نشان می‌دهد که کانی‌سازی کاملاً روزاد بوده و سن تشکیل دهنده‌ی آن پس از ژوراسیک میانی (سن سنگ میزبان) است. کانی اصلی ذخیره گالن است و پیریت به مقدار کمتر مشاهده می‌شود. کانی‌های ثانویه عبارتند از مالاکیت، کوولیت، همتایت، گوتیت، سروزیت و انگلزیت. کانی‌های باطله شامل دولومیت، کوارتز و کلسیت است.

#### بررسی‌های بافتی

در گستره‌ی پی‌جویی مورد بررسی بافت‌های متنوعی مشاهده



شکل ۴ تصاویر میکروسکوپی (XPL) و نمونه‌ی دستی از انواع بافت‌های موجود در پیریت و گالن. الف- بافت پراکنده در پیریت، ب- بافت فرامبوئیدال در پیریت، پ- بافت کاتاکلاستیکی در پیریت، ت- بافت دندربتی در پیریت، ث- پیریت رگچه‌ای، ج- بافت توده‌ای در گالن، چ- بافت پرکننده‌ی فضای خالی در گالن، ح- بافت پراکنده‌ی گالن در سیمان برش گسلی.

### بافت رگچه‌ای

این بافت در پیریت‌ها قابل مشاهده است و سبب شده تا رگچه‌های پیریتی در مراحل تأخیری بر روی رگه-رگچه‌های با کانی-سازی سرب قرار می‌گیرند. ضخامت این رگچه‌ها بین ۰/۱ تا ۲ میلیمتر متغیر است (شکل ۴ ج).

### بافت توده‌ای

این بافت در کانی گالن در بخشی از گستره در گمانه‌های حفاری مشاهده شده است (شکل ۴ ج).

### بافت پرکننده فضای خالی

این بافت در کانی‌های گالن، دولومیت و کوارتز مشاهده می‌شود. این سه کانی همراه با یکدیگر فضای داخل رگه-رگچه‌ها را پر می‌کنند (شکل ۴ ج).

### بررسی‌های کانی‌شناختی

کانی‌شناسی رگه و رگچه‌ها شامل دولومیت (۷۰ تا ۸۵ درصد)، گالن (۰/۵ تا ۲/۵ درصد)، کوارتز (۱۰ تا ۲۰ درصد) و پیریت (۰/۵ تا ۲ درصد) است.

**گالن:** این کانی فراوانترین کانی سولفیدی منطقه است که در نمونه دستی نیز مشاهده می‌شود. این کانی به صورت بی‌شکل تا شکل‌دار با اندازه چند صدم میلیمتر تا بزرگتر از ۱ سانتی‌متر قابل مشاهده است. گالن‌های درشت بلور بیشتر به صورت پرکننده فضای خالی در رگه-رگچه‌ها و گالن‌های ریزبلور به شکل سیمان بین قطعات سنگ میزبان برش‌دار شده دیده می‌شود. نفوذ خاصی در گالن مشاهده نمی‌شود. تغییر شکل پیچشی در حفره‌های گالن، نشان‌دهنده دگرشکلی پس از ته-نشینی است (شکل ۵ الف).

**پیریت:** کانی سولفیدی دیگری است که با بافت‌های پراکنده، فرامبوئیدال، کاتاکلاستیکی، دندریتی و رگچه‌ای در منطقه قابل مشاهده است (شکل ۵ ب). فراوانی این کانی در حدود ۰/۵ تا ۲ درصد است. این کانی در همه‌ی مراحل کانی‌سازی قابل رویت است ولی ارتباط دقیق آن با کانی گالن مشخص نیست. در بخش‌های سطحی پیریت کاملاً به گوتیت و همتایت تبدیل شده است.

**دولومیت:** دولومیت مهم‌ترین کانی باطله کانسنگ است که به دو صورت: ریزبلور و درشت بلور دیده می‌شود ۱- دولومیت‌های

کاملاً شکل‌دار و درشت بلور به شکل بلورهای لوزی شکل موزائیکی تا نیمه شکل‌دار (دارای خاموشی موجی) با اندازه‌ی ۰/۱ تا ۰/۵ میلیمتر که از ۳۰ تا ۵۵ درصد در برخی قسمت‌ها متغیر است که این نوع دولومیت بیشتر در رگچه‌ها مشاهده می‌شود و بر اساس بررسی‌های میکروسکوپی پیش و همزمان با گالن تشکیل شده‌اند (شکل ۵ پ). ۲- دولومیت‌های ریز بلور با اندازه حداکثر ۵۰ میکرون که بی‌شکل هستند و غالباً در سیمان با برش گسلی دیده می‌شوند و مقدار آنها گاهی به ۶۰ درصد نیز می‌رسد (شکل ۵ ت). میزان گالن همراه با این دولومیت‌ها کمتر از نوع اول است. برای تفکیک هرچه بهتر بلورهای دولومیت از کلسیت، از روش رنگ آمیزی با محلول آلزارین سرخ استفاده شد که در این روش بلورهای کلسیت کاملاً به رنگ صورتی درآمدند و رمبوند‌های دولومیتی رنگ نگرفتند.

**کلسیت:** این کانی از دیگر کانی‌های باطله است که دارای اندازه ۰/۰۶ تا ۳ میلیمتر است. این کانی در مرحله‌ی پس از کانی-سازی به صورت رگه‌های با ضخامت‌های متفاوت (از کمتر از ۲ میلیمتر تا بیش از ۳/۵ متر) مشاهده می‌شود و رگه-رگچه‌های کانی‌سازی سرب را قطع می‌کند (شکل ۵ ث).

**کوارتز:** به دو صورت درشت بلور (بین ۵ میلیمتر تا ۱/۵ سانتیمتر) در رگه‌های پیش از مرحله‌ی کانی‌سازی و به صورت ریز بلور (در حد ۰/۱ میلیمتر) در رگه-رگچه‌های مرحله کانی-سازی همراه با دولومیت و گالن مشاهده می‌شود.

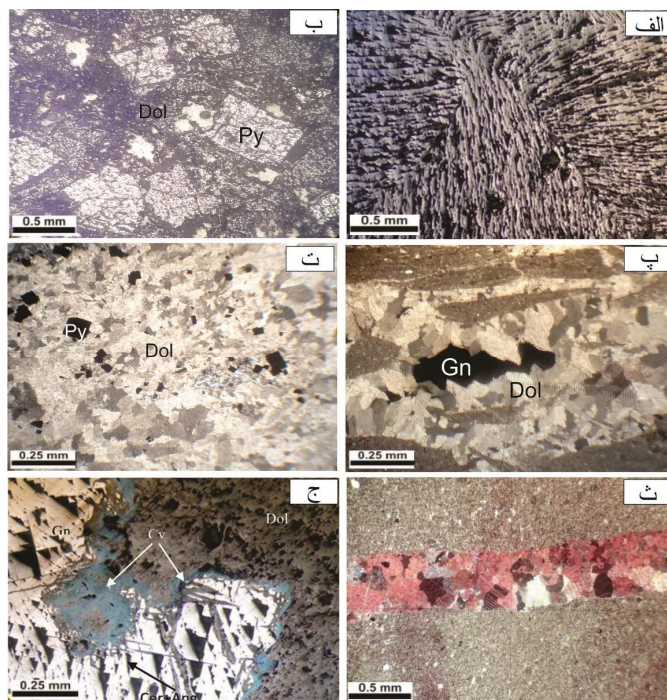
**سروزیت و انگلزیست:** بر اساس بررسی‌های میکروسکوپی سروزیت و انگلزیست به شکل بافت تیغه‌ای در حاشیه گالن جانشین شده‌اند. میزان این جانشینی بین ۵ تا ۲۵٪ متغیر است (شکل ۵ ج).

**کوولیت و مالاکیست:** کوولیت در مرز بین گالن و دولومیت مشاهده می‌شود. در مقاطع میکروسکوپی کالکوپیریت مشاهده نشد ولی کانی‌های ثانویه کوولیت و مالاکیست به میزان کم مشاهده شدند که می‌توانند محصول تجزیه‌ی کالکوپیریت باشند (شکل ۵ ج).

براساس بررسی‌های صحرایی، کانی‌شناسی و بافتی، دنباله‌ی پاراژنزی دارای چهار مرحله پیش از کانی‌سازی سرب، مرحله اصلی کانی‌سازی سرب، مرحله بعد از کانی‌سازی سرب و مرحله‌ی اکسیدی است (شکل ۶). مرحله‌ی پیش از کانی‌سازی

است. در مرحله‌ی پس از کانی‌سازی شاهد کانی‌های پیریت و کلسیت هستیم و در نهایت در مرحله‌ی اکسایشی، کانی‌های هماتیت، گوتیت، سروزیت، انگلزیت، مالاکیت و کوولیت قابل مشاهده‌اند.

با حضور رگه‌های کوارتز درشت بلور به همراه کمی پیریت (تا ۲ درصد) و پیریت‌های فرامبوئیدال در بخش شیل دگرگون شده مشخص می‌شود. در مرحله اصلی کانی‌سازی کانی‌های دولومیت، کوارتز ریز بلور، گالن و به ندرت پیریت قابل رویت



**شکل ۵** تصاویر میکروسکوپی از انواع کانی‌های موجود در منطقه‌ی مورد بررسی. الف- تغییر شکل پیچشی در حفره‌های گالن (نور بازتابی)، ب- پیریت کاملاً شکل‌دار (نور بازتابی)، پ- دولومیت درشت‌بلور به همراه گالن (XPL)، ت- دولومیت ریزبلور به همراه پیریت (XPL)، ث- رگچه کلسیت تاخیری (XPL)، ج- سروزیت، انگلزیت و کوولیت در حاشیه گالن (XPL).  
Gn = گالن، Dol = دولومیت، Py = پیریت، Cv = کوولیت، Cer = سروزیت، Ang = انگلزیت [۹]

| Minerals          | Pre- Mineralization Stage | Mineralization Stage | Post- Mineralization Stage | Oxidation Stage |
|-------------------|---------------------------|----------------------|----------------------------|-----------------|
| Dolomite          | ---                       | =====                |                            |                 |
| Calcite           | ---                       |                      |                            |                 |
| Quartz            | =====                     | =====                |                            |                 |
| Framboidal Pyrite | =====                     |                      |                            |                 |
| Galena            |                           |                      |                            |                 |
| Pyrite            |                           | =====                |                            |                 |
| Cerussite         |                           |                      |                            | -----           |
| Anglesite         |                           |                      |                            | -----           |
| Covellite         |                           |                      |                            | -----           |
| Malachite         |                           |                      |                            | -----           |
| Hematite          |                           |                      |                            | -----           |
| Goethite          |                           |                      |                            | -----           |
| Time              | Early → Late              |                      |                            |                 |

**شکل ۶** دنباله پاراژنزی کانی‌های فلزی و غیرفلزی در منطقه کوبرو.

## شاره‌های درگیر

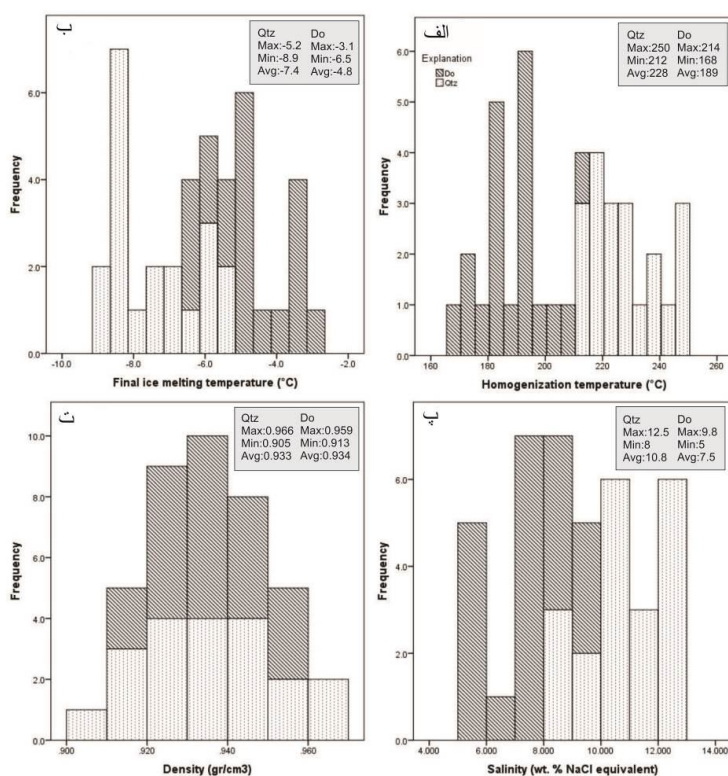
بررسی اثر شاره‌های درگیر بر کانی‌های کوارتز و دولومیت (که قبلاً از طریق بررسی‌های میکروسکوپی و رنگ آمیزی به‌وسیله ی محلول آلیزارین سرخ از صحت بلورهای دولومیت اطمینان حاصل کردیم) همراه با کانی‌سازی سولفیدی انجام گرفت که خلاصه ی نتایج آن در جدول (۱) ارائه شد. بررسی‌های سنگ-نگاری شاره‌های درگیر در کوارتز و دولومیت نشان داد که اغلب شاره‌ها از نوع اولیه و به ندرت ثانویه هستند. شکل شاره‌های درگیر اولیه به صورت بیضوی، استوانه‌ای و بی شکل بوده و اندازه ی آنها در کوارتز بین ۴ تا ۸ میکرون (میانگین ۶ میکرون) و در دولومیت بین ۳ تا ۷ میکرون (میانگین ۵ میکرون) است. بر اساس رده‌بندی‌های متداول [۱۲، ۱۱]، نوع آنها دوفازی غنی از مایع (نوع LV با مقداری مایع ۸۰ تا ۹۰ درصد و بخار ۱۰ تا ۲۰ درصد) و به ندرت تک فاز مایع (L) است و فاز دختر در آنها مشاهده نشد. شواهدی از جوشش در این بررسی‌ها مشاهده نشد. با دماسنجی نوع محلول و مقدار شوری شاره‌های اولیه نوع LV تعیین شد (جدول ۱).

دمای همگن شدن ( $T_h$ ) شاره‌های درگیر اولیه در کوارتز بین ۲۱۲ تا ۲۵۰ درجه ی سانتیگراد با میانگین دمای ۲۲۸ درجه ی سانتیگراد است (جدول ۱ و شکل ۷ الف). دمای همگن شدن شاره‌های درگیر اولیه در دولومیت بین ۱۶۸ تا ۲۱۴ درجه ی سانتیگراد با میانگین ۱۸۹ درجه ی سانتیگراد است. این دما معرف حداقل دمای تشکیل کانی است زیرا این دما تحت تاثیر فشار است. تصحیح فشار در منطقه ی مورد نظر مقدور نبود ولی به عقیده ی [۱۳] اگر یک فشار هیدرواستاتیک

فرض شود، دمای کانی‌سازی نمی‌تواند بیشتر از ۳۳۰ درجه سانتیگراد باشد. بنابراین دمای همگن شدن خیلی نزدیک به دمای واقعی تشکیل است و فقط به تصحیح بسیار کوچکی نیاز دارد. نخستین دمای ذوب شدگی در ( $T_{fm}$ ) در شاره‌های موجود در کوارتز بین ۵۵/۸- تا ۵۹/۸- درجه ی سانتیگراد (میانگین ۵۷/۶- درجه ی سانتیگراد) متغیر بود که این دما برای شاره‌های موجود در دولومیت بین ۵۶/۴- تا ۶۰/۱- درجه ی سانتیگراد (میانگین ۵۸/۳- درجه ی سانتیگراد) در تغییر است. نخستین دمای ذوب‌شدگی رابطه ی مستقیمی با ترکیب نمک موجود در محلول گرماب دارد [۱۲]. بر اساس  $T_{fm}$  بدست آمده، نمک‌های  $CaCl_2$  و  $NaCl$  در شاره‌های درگیر اولیه وجود دارند. این نوع نمک می‌تواند در اثر چرخش شاره ی کانه‌دار در سنگ‌های رسوبی منطقه حاصل شده باشد. دمای نهایی ذوب ( $T_m$ ) نیز مقدار شوری را مشخص می‌کند. مقدار  $T_m$  در شاره‌های موجود در کوارتز بین ۵/۲- تا ۸/۹- درجه ی سانتیگراد با میانگین ۷/۴- درجه ی سانتیگراد و در شاره‌های موجود در دولومیت بین ۳/۱- تا ۶/۵- درجه ی سانتیگراد بامیانگین ۴/۸- درجه ی سانتیگراد است (شکل ۷ ب). بر اساس سیستم  $H_2O-NaCl$  [۳] مقدار شوری بر اساس شاره‌های موجود در کوارتز بین ۸ تا ۱۲/۵ درصد  $NaCl$  با میانگین ۱۰/۸ درصد و بر اساس دولومیت بین ۵ تا ۹/۸ درصد  $NaCl$  با میانگین ۷/۵ درصد است (شکل ۷ پ). چگالی شاره‌های درگیر اولیه در کوارتز بین ۰/۹۰۵ تا ۰/۹۶۶ گرم بر سانتیمتر مکعب و در دولومیت بین ۰/۹۱۳ تا ۰/۹۵۹ گرم بر سانتیمتر مکعب است (شکل ۷ ت).

جدول ۱ نتایج ریزدماسنجی شاره‌های درگیر اولیه در کوارتز و دولومیت منطقه پی‌جوئی کوپرو

| شماره نمونه | کانی میزبان | تعداد | $T_h(^{\circ}C)$ | $T_m(^{\circ}C)$ | شوری (NaCl wt.% equiv.) | چگالی ( $gr/cm^3$ ) |
|-------------|-------------|-------|------------------|------------------|-------------------------|---------------------|
| BH4-1       | کوارتز      | ۵     | ۲۲۱ تا ۲۱۴       | -۵/۲ تا -۶/۱     | ۸/۱ تا ۹/۵              | ۰/۹۲۴ تا ۰/۹۱       |
| BH15-3      | کوارتز      | ۹     | ۲۴۷ تا ۲۱۲       | -۸/۶ تا -۶/۶     | ۱۰/۳ تا ۱۲/۵            | ۰/۹۴۵ تا ۰/۹۰۵      |
| P5          | کوارتز      | ۶     | ۲۵۰ تا ۲۲۷       | -۸/۹ تا -۶/۹     | ۱۰/۳ تا ۱۲/۴            | ۰/۹۶۶ تا ۰/۹۴۵      |
| BH16-6      | دولومیت     | ۵     | ۱۸۶ تا ۱۶۸       | -۵/۳ تا -۴/۹     | ۷/۶ تا ۸/۲              | ۰/۹۵۹ تا ۰/۹۴       |
| BH1-9       | دولومیت     | ۵     | ۲۱۴ تا ۱۸۵       | -۵/۷ تا -۶/۵     | ۸/۷ تا ۹/۸              | ۰/۹۵۴ تا ۰/۹۲۳      |
| BH4-2       | دولومیت     | ۶     | ۱۹۵ تا ۱۷۳       | -۳/۱ تا -۳/۹     | ۵ تا ۶                  | ۰/۹۳۳ تا ۰/۹۱۳      |
| BH10-5      | دولومیت     | ۴     | ۲۰۱ تا ۱۹۳       | -۴/۳ تا -۵/۳     | ۷/۴ تا ۸/۲              | ۰/۹۳۳ تا ۰/۹۲۷      |



شکل ۷. نمودارهای حاصل از بررسی‌های شاره‌های درگیر اولیه در منطقه پی‌جویی کوپرو (الف) نمودار دمای همگن شدن. (ب) نمودار دمای آخرین ذوب یخ. (پ) نمودار شوری. (ت) نمودار مقدار چگالی شاره‌های درگیر.

### بحث و برداشت

مقالات متعددی پیرامون ذخایر سرب و روی با میزبان رسوبی [۱۴-۲۱] گروه متنوعی از ذخایری هستند که سنگ میزبان آنها کربناتی و یا سیلیسی-آواری است که جز چند استثنا، هیچ رابطه‌ی ژنتیکی با فعالیت‌های آذرین ندارند [۲۲]. فلزات طی فرآیندهای متنوعی مانند ته‌نشست همزمان با رسوب-گذاری بر بستر دریا، درونزادی، جانشینی روزادی و دگرگونی درجه پایین، بر جای گذاشته می‌شوند [۲۲].

کانی‌های سولفیدی بیشتر عبارتند از اسفالریت، گالن و مقادیر کمی سولفیدهای آهن و کانی‌های گانگ معمولاً به صورت کربنات‌ها (دولومیت، سیدریت، آنکرایت، کلسیت) و مقادیر متفاوتی باریت [۲۲].

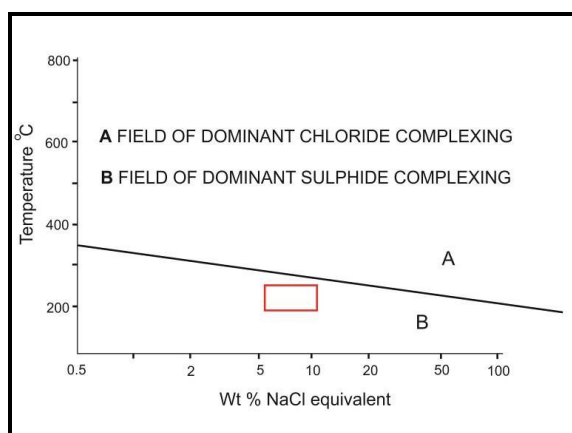
سنگ میزبان کانی‌سازی کوپرو، شیل دگرگون شده (اسلیت) ژوراسیک میانی سازند بغمشاه است. پس سنگ میزبان آن متفاوت با سنگ میزبان دخیار سرب-روی با میزبان رسوبی است. رابطه کانی‌سازی و سنگ میزبان نشان می‌دهد که کانی‌سازی از نوع اپی‌ژنتیک بوده (برخلاف آنچه در دخیار Sedex مشاهده می‌شود)، رخ اسلیتی را قطع می‌کند و در

محل چین‌خورگی‌ها تشکیل شده‌است. بنابراین سن رگه-رگچه‌های کانی‌سازی جوانتر از ژوراسیک میانی است. اگرچه که در بلوک لوت فعالیت‌های ماگماتیک گسترده‌ای وجود دارد ولی منطقه‌ی کوپرو با فاصله از آنها قرار دارد. نزدیکترین سنگ‌های آذرین به محدوده براساس نقشه‌ی ۱:۱۰۰۰۰۰ عشق‌آباد، یک توده گرانیته در ۲۵ کیلومتری شمال غرب گستره است. بنابراین این کانی‌سازی هیچ ارتباطی با فعالیت‌های ماگمایی ندارد. در کانسار کوپرو، کربنات‌ها و سولفیدها به شکل رگه-رگچه، پرکننده فضای خالی و سیمان برش‌های گسلی تشکیل شده‌اند. دگرسانی‌های به وجود آمده در رگه-رگچه‌ها شامل دولومیتی‌شدن، سیلیسی‌شدن می‌باشد.

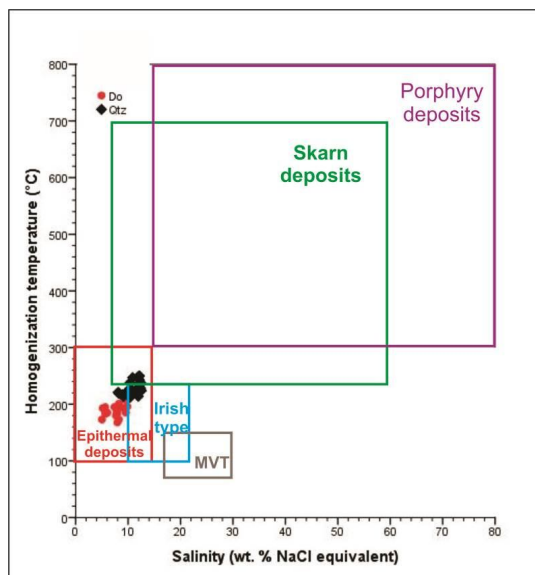
نتایج بررسی‌های ریزدماسنجی شاره‌های درگیر اولیه کوارتز و دولومیت در منطقه‌ی پی‌جویی کوپرو نشان می‌دهد که محلول کانه‌دار دمای متوسط، شوری کم تا متوسط و چگالی متوسط داشته است. چنانکه در نتایج شاره‌های درگیر اولیه کوارتز و دولومیت مشاهده شد، دما و شوری شاره‌های درگیر اولیه کوارتز کمی بالاتر از شاره‌های اولیه موجود در دولومیت است که می‌تواند نشان دهنده‌ی رقیق‌شدگی سیال در مرحله-

در گستره‌ی کانسارهای اپی‌ترمال قرار می‌گیرند. حضور کانسار رگه-رگچه‌ای کوپرو همراه با دیگر ذخایر سرب رگه‌ای مانند چوپان، گله‌چاه-شوراب [۲۴]، چاه سربی [۲۵] و حوض رئیس [۲۶] در بلوک لوت حاکی از پتانسیل بالای این منطقه از شرق ایران برای تشکیل ذخایر رگه‌ای دارد. از مقایسه منطقه‌ی پی-جویی کوپرو با ذخایر دیگر رگه‌ای بلوک لوت و با توجه به دگرسانی دولومیتی سنگ میزبان، عدم ارتباط با فعالیت‌های آذرین و نیز بافت پرکننده‌ی فضای خالی و ویژگی‌های کانی-شناسی، احتمالاً کانی‌سازی از نوع اپی‌ترمال است.

ی‌ته‌نشت دولومیت باشد. اندازه‌گیری دمای یوتکتیک نشان-دهنده‌ی حضور کاتیون‌های  $Na^+$  و  $Ca^{2+}$  در فاز آبگون شاره‌ی درگیر اولیه است. این کاتیون‌ها احتمالاً از واحدهای رسوبی شسته شده و به وسیله‌ی همبافت بی‌سولفیدی (شکل ۸) منتقل شده‌اند [۲۳]. بر اساس داده‌های منتشر نشده ایزوتوپی (توسط اینجانب) سرب در منطقه، فاز کوهزایی کیمرین میانی در ژوراسیک میانی سبب تشکیل کانی‌سازی سرب در گستره‌ی پی‌جویی کوپرو شده است. شکل (۹) گستره‌ی دما و شوری شاره‌های درگیر کانسارهای مختلف را نشان می‌دهد. در این نمودار اغلب شاره‌های درگیر کوارتز و دولومیت کوپرو



شکل ۸. نمودار دمای همگن‌شدن نسبت به شوری شاره‌های درگیر اولیه [۲۳] که مربع سرخ رنگ نشان دهنده‌ی حریم شاره‌های درگیر در منطقه-ی کوپرو است.



شکل ۹. نمودار دمای همگن‌شدن نسبت به شوری شاره‌های درگیر اولیه‌ی منطقه کوپرو. گستره کانسارهای مختلف از [۲۸، ۲۷]

*Irankuh mountain range, Esfahan, west central Iran*", Ph.D thesis, Univ Heidelberg (1981) 334.

[11] Roedder E., "Fluid Inclusions", In: Ribbe PE (ed) Reviews in Mineralogy, 12, Mineral Soci Am, Washington DC (1984) 1-644.

[12] Shepherd T. J., Rankin A. H., Alderton D. H. M., "A practical guide to fluid inclusion Blackie", London (1985).

[13] Hass J. L., "Effect of salinity on the maximum thermal gradient of a hydrothermal system at hydrostatic pressure", Economic Geology 66 (1971) 940-946.

[14] Sverjenski D.A., "Genesis of Mississippi Valley-Type lead-zinc deposits", Annual Reviews of Earth Planetary Sciences 14 (1986) 177-199.

[15] Goodfellow W.D., Lydon J.W., Turner R.J.W., "Geology and genesis of stratiform sediment-hosted (SEDEX) zinc-lead-silver sulphide deposits", Geological Association of Canada Special Paper 40 (1993) 201-251.

[16] Leach D.L., Bradley D., Lewchuk M.T., Symons D.T.A., de Marsily G., and Brannon J., "Mississippi Valley-type lead-zinc deposits through geological time: Implications from recent age-dating research", Mineralium (2001).

[17] Leach D.L., Sangster D.F. Kelley K. D., Large R. R., Garven G., Allen C. R., Gutzmer J., Walters S., "Sediment-hosted lead-zinc deposits, A global perspective": ECONOMIC GEOLOGY 100TH ANNIVERSARY VOLUME, Deposita 36 (2005) 711-740.

[18] Lydon J.W., Goodfellow W.D., "Geology of the Belt-Purcell basin and the Sullivan deposit, in Deb, Sediment-hosted lead-zinc sulfide deposits: Attributes and models of some major deposits in India, Australia, and Canada: New Delhi, India", Narosa Publishing House (2004) 100-148.

[19] Kesler S.E., Reich M.H., "Precambrian Mississippi Valley-type deposits: Relation to changes in composition of the hydrosphere and atmosphere", Geological Society of America Memoir 198 (2006) 185-204.

[20] Lyons T.W., Gellatly S.W., McGoldrick P.J., and Kah L.C., "Proterozoic sedimentary exhalative (SEDEX) deposits and links to evolving global ocean chemistry", Geological Society of America Memoir 198 (2006) 169-184.

[21] Goodfellow W.D., Lydon J.W., "Sedimentary-exhalative (SEDEX) deposits",

## قدردانی

این مقاله با حمایت دانشگاه فردوسی مشهد در قالب طرح پژوهشی شماره ۳ (به شماره ۲۷۱۲۸) انجام شده است. نویسندگان این مقاله با همکاری شرکت احیا صنایع خراسان، بخصوص آقای مهندس عاملی تشکر می‌کنند.

## مراجع

[۱] نظر قزوینیان ن، ملکزاده سفارودی آ، کریم‌پور م.ح، "گانی‌سازی و اکتشافات ژئوشیمیایی اندیس آهن نینگنان، شمال بشرویه استان خراسان جنوبی"، پنجمین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران (۱۳۹۲).

[۲] روتنر ا، نبوی م. ه، علوی نائینی م، "نقشه زمین‌شناسی عشق‌آباد، مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی (۱۹۹۴).

[3] Bodnar R. J., "Revised equation and table for determining the freezing point depression of  $H_2O/NaCl$  solutions", *Geochimica et Cosmochimica Acta* 57 (1993) 683-684.

[4] Brown P. E., Lamb W. M., "P-V-T properties of fluids in the system  $H_2O \pm CO_2 \pm NaCl$ : new graphic presentations and implications for fluid inclusion studies", *Geochimica et Cosmochimica Acta* 53 (1989) 1209-1221.

[5] Law S., Busuttil S., "The geophysics of the Kalkaroo prospect, Olary Domain, South Australia", *Geophysical Signatures of South Australian Mineral Deposits* 3 (2003) 121-126.

[6] Shah A., Bedrosian P., Anderson E., Kelley K., and Lang J., "Geophysical data used to characterize the regional setting of the Pebble porphyry deposit in southwest Alaska", *Geological Society of America Abstracts with Programs* 41 7 (2009) 493.

[۷] اشتوکلین ج، نبوی م.ح، "نقشه زمین‌شناسی بشرویه، مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰" انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۹۶۹).

[۸] شعبانیان ر، "زمین‌شناسی ایران"، دانشگاه پیام نور (۱۳۹۱) ۳۲۵.

[9] Whitney D. L., Evans B. W., "Abbreviations for names of rock-forming minerals", *American Mineralogist* 95 (2010) 185-187.

[10] Rastad E., "Geological, Mineralogical and ore facies investigation on the lower Cretaceous stratabound Zn-Pb-(Ba-Cu) deposits of the

باریت-سرب±مس کوه سربی، شمال شرق ایران"، مجله بلور شناسی و کانی شناسی ایران شماره ۲ (۱۳۹۴) ۲۲۵-۲۴۰.

[۲۶] ملک‌زاده شفارودی آ.، کریم‌پور م. ح.، "زمین‌شناسی، کانی-سازی و مطالعات سیالات درگیر کانسار سرب-روی-مس حوض رئیس، شرق ایران"، مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته شماره ۶ (۱۳۹۱)

[27] Wilkinson J. J., "Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits", Lithos 55 (2001) 229-272.

[28] Volkov A. V., Prokofiev V. Y., Alekseev V. Yu., Baksheev I. A., and Sidorov A. A., "Ore-forming Fluids and Conditions of Formation of Gold- Sulfide-Quartz Mineralization in the Shear Zone: Pogromnoe deposit (Eastern Transbaikalian region)", Doklady Acad Nauk 441 (2011) 352-357.

Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication 5 (2007) 163-183.

[22] Leach D.L., Bradley D.C., Huston D., Pisarevsky R. D., Taylor R. D., and Gardoll S. J., "Sediment-Hosted lead-zinc deposits in earth history", Economic Geology 105 (2010) 593-625.

[23] Large R., Huston D., McGoldrich P., McArthur G., and Ruxton P., "Gold distribution and genesis in Paleozoic volcanogenic massive sulphide systems. In: Bicentennial gold 88", Geol Soc Aust Abst Ser 22 (1988) 121-126.

[۲۴] مهربانی ب.، طالع فاضل ا.، نخبه‌الفرهانی ع.، "کانه‌زایی

پلی‌متال سرب-روی مس و آنتیموان نوع انتشاری، رگچه‌ای و رگه‌ای در محدوده معدنی گله‌چاه-شوراب، مجموعه ماگمایی شرق ایران"، شماره ۱ جلد ۳ (۱۳۹۰) ۶۱-۷۷.

[۲۵] قائم مقامی نژاد ع.، ملک‌زاده شفارودی آ.، کریم‌پور م. ح.، "کانی‌شناسی، ژئوشیمی و بررسی شارده‌های درگیر کانسار