

# زمین‌شناسی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانسار سرب (نقره) دره امرود در کمان ماگمایی ارومیه - دختر، جنوب قهرود

فردین موسیوند<sup>۱</sup>، فایق هاشمی<sup>۲</sup>، مهدی رضایی کهخانی<sup>۱</sup> و امیر پاکیزه سانجرودی<sup>۲</sup>

استادیار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

آکارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۱/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۵/۳۰

## چکیده

کانسار سرب (نقره) دره امرود در منطقه قهرود و در کمان ماگمایی ارومیه - دختر در واحد توف سیلیسی سبز - خاکستری رنگ و کریستال لیتیک توف با سن ائوسن میانی تا پسین رخ داده است. شکل هندسی پیکره معدنی عمدتاً به صورت چینه کران و نامنظم، نیمه همخوان تا ناهمخوان بوده و ساخت و بافت غالب ماده معدنی از نوع نیمه توده‌ای، برشی، نواری و رگه - رگچه‌ای است. کانی‌های اولیه و غالب در ماده معدنی شامل گالن، پیریت، کالکوپیریت و کانی‌های ثانویه بیشتر از نوع کوولیت، گوتیت و هماتیت هستند. کانی‌های باطله عمدتاً شامل اپیدوت، کلریت، کانی‌های رسی، کوارتز، کلسیت و باریت است. دگرسانی‌های عمده شامل اپیدوتی - کلریتی و سریستی هستند. بر اساس مطالعات ژئوشیمی، عیار سرب و روی به صورت میانگین در بافت‌های نواری و برشی به ترتیب برابر ۸/۷۵ و ۰/۳ درصد و عیار نقره تا ۱۰۳ گرم در تن می‌رسد. عدم شباهت الگوی عناصر نادر خاکی (REE) ماده معدنی در کانسار دره امرود با الگوی سنگ‌های آتشفشانی میزبان در کمربالین و کمربالای کانسار با مدل تشکیل به صورت جانیشینی زیر کف دریا سازگار است. آنومالی منفی Ce در مواد معدنی حاکی از نقش آب دریا در تشکیل کانسار است. بر اساس مطالعات ساختاری، چینه‌شناسی، سنگ‌نگاری، بافت و ساخت، کانی‌شناسی، دگرسانی و ژئوشیمیایی به نظر می‌رسد کانه‌زایی سرب (نقره) دره امرود به صورت سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد (VMS) تیپ بایمدال فلسیک یا کوروکو رخ داده و ماده معدنی به صورت جانیشینی در سنگ‌های آتشفشانی زیر کف دریا نهشته شده است. شایان ذکر است کانسار دره امرود اولین رخداد سولفید توده‌ای غنی از فلزات پایه و فقیر از باریت است که در پهنه ارومیه - دختر معرفی می‌شود و اهمیت اکتشاف این گونه ذخایر را در این پهنه آشکار می‌سازد.

**کلیدواژه‌ها:** دره امرود، سرب (نقره)، ژئوشیمی، سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد (VMS)، ارومیه - دختر، قهرود.

\*نویسنده مسئول: فردین موسیوند

E-mail: mousivand@shahroodut.ac.ir

## ۱- پیش‌نوشتار

تاکنون تعدادی کانه‌زایی سولفید توده‌ای باریت (فلزات پایه) در توالی‌های آتشفشانی - رسوبی سنوزویک در پهنه ماگمایی ارومیه - دختر توسط محققین دانشگاهی شناسایی شده است. بیشتر این کانسارها از نوع کانسارهای تیپ سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد (VMS) هستند. مهم‌ترین این کانسارها شامل کانسار باریت دره (درین) (نظری و همکاران، ۱۳۷۰) کانسار باریت تپه‌سرخ بیجگان (خلج معصومی و همکاران، ۱۳۸۹)، کانسار باریت - سرب - مس ورندان (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۶) و کانه‌زایی باریت در منطقه بادرود است (Alaminia and Sharifi, 2018). برخلاف کانسارهای فوق‌الذکر، کانسار دره امرود فقیر از باریت و دارای کانه‌زایی سرب (نقره) است. لذا با توجه به این تفاوت ویژگی در کانسار مورد مطالعه با دیگر کانسارهای مطالعه شده در توالی سنوزویک بخش میانی پهنه ارومیه - دختر، مطالعه زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی، دگرسانی، ژئوشیمی و مدل تشکیل و تیپ کانسار سرب (نقره) دره امرود می‌تواند در اکتشاف کانسارهای مشابه در دیگر نقاط این پهنه مفید واقع شود.

کانسار سرب (نقره) دره امرود در ۶۵ کیلومتری جنوب شهر کاشان و ۵ کیلومتری جنوب قهرود واقع شده است (شکل ۱). کانسار دره (درین) در ۳۰ کیلومتری شمال باختری و کانسار ورندان در ۱۰ کیلومتری شمال این کانسار قرار گرفته‌اند (شکل ۱). از لحاظ تقسیم‌بندی پهنه‌های رسوبی - ساختاری ایران (Ruttner and Stöcklin, 1967; Berberian and King, 1981; Alavi, 1996) کانسارهای فوق‌الذکر در پهنه آتشفشانی - نفوذی ارومیه - دختر قرار دارند (شکل ۱). در رابطه با فعالیت‌های معدنی مرتبط با کانی‌سازی سرب در منطقه قهرود - قمصر می‌توان به فعالیت‌های قدیمی و آثار شدادی اشاره کرد. این فعالیت‌های معدنی در دو نقطه از گستره توالی آتشفشانی - رسوبی، واحدهای چینه‌شناسی E<sub>3</sub> و E<sub>6</sub><sup>v</sup> (میزبان کانی‌زایی‌های منطقه) به صورت حفر تونل‌های افقی و قائم در امتداد ماده معدنی در کانسار دره امرود و ورندان و با طول و عمق‌های محدود وجود دارند.

همچنین فعالیت‌های معدنی در این کانسارها به صورت برداشت‌های سطحی قابل مشاهده است. بر اساس قربانی (۱۳۸۱) کانسار دره امرود ۳۰ تا ۵۰ سال پیش فعال بوده و در سال ۱۳۴۷ تعطیل شده است. این کانسار هم اکنون متروکه است.

## ۲- روش مطالعه

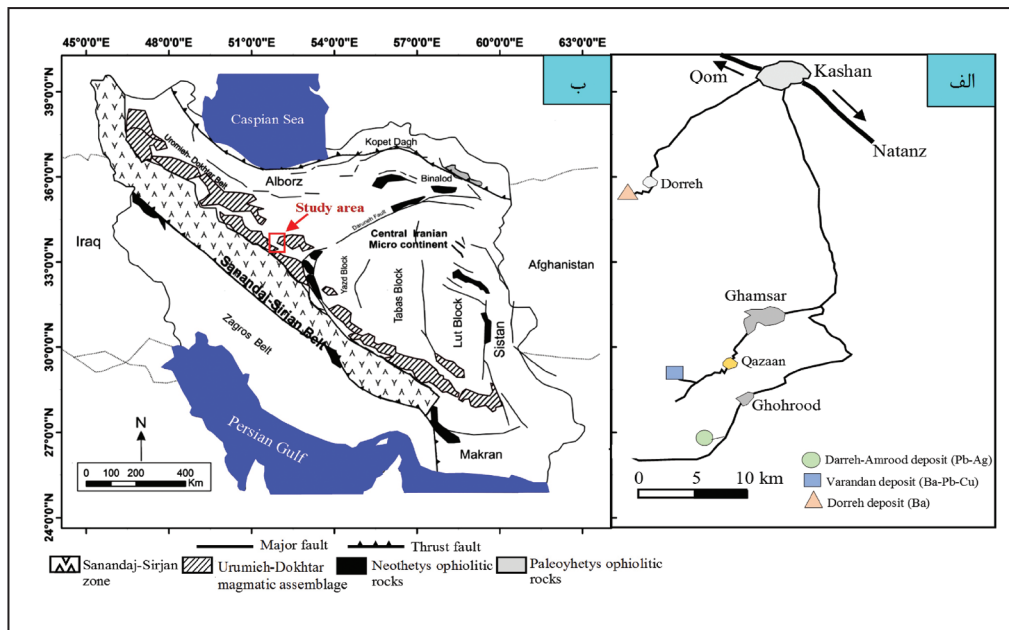
در این پژوهش عوامل مؤثر در تشکیل ماده معدنی و ایجاد کانسار سرب (نقره) دره امرود بررسی شده است. پس از انجام عملیات صحرایی، بررسی‌های سنگ‌نگاری و زمین‌شناسی ساختمانی، نقشه زمین‌شناسی و یک نمرخ از محدوده معدنی کانسار با مقیاس ۱/۵۰۰۰ تهیه شده است. ۳۰ نمونه از سنگ میزبان کانی‌سازی جهت مطالعات سنگ‌شناسی و بررسی ارتباط سنگ میزبان و کانی‌سازی برداشت و از آنها برای تهیه مقاطع نازک و نازک صیقلی استفاده شد. همچنین ۵ نمونه از کمربالین و کمربالا، بخش چینه‌سان ماده معدنی، بخش رگه - رگچه‌ای و پهنه دگرسانی انتخاب و به روش طیف سنجی جرمی گسیل پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS) آنالیز شدند و از نتایج به دست آمده از این نمونه‌ها رفتار عناصر نادر خاکی (REE) در این کانسار مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نمونه‌های فوق در شعبه آزمایشگاه Acme در ترکیه با حمایت سازمان توسعه نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران (ایمیدرو) آنالیز شده‌اند. همچنین در این تحقیق ویژگی‌های ساختاری توالی میزبان کانسار مورد بررسی قرار گرفته و عیار و میزان عناصر اصلی، فرعی و نادر خاکی در هر رخساره از ماده معدنی، پهنه دگرسانی و کمربالا و پایین ماده معدنی کانسار نسبت به همدیگر در توالی میزبان سنجیده و در پایان مدل تشکیل و تیپ کانسار دره امرود ارائه شده است.

## ۳- زمین‌شناسی

کانسار سرب (نقره) دره امرود در ۵ کیلومتری جنوب قهرود و در پهنه ارومیه - دختر

تئسی (از ترکیه تا پاکستان) است (Alavi, 1994). ابتدای این نوار ماگمایی در آذربایجان و انتهای آن کوه بزمان و گسل میناب در سیستان و بلوچستان است.

واقع شده است (شکل‌های ۱- الف و ب). این پهنه ساختاری به صورت نواری با راستای شمال باختری- جنوب خاوری و به درازای ۱۷۰۰ کیومتر، بزرگ‌ترین پهنه ماگمایی سنوزوییک ایران و بخشی از کمربند آذرین



شکل ۱- الف) راه‌های دسترسی به کانسارهای مورد مطالعه در جنوب کاشان؛ ب) موقعیت این کانسارها در نقشه تقسیم‌بندی پهنه‌های رسوبی- ساختاری ایران، شکل اولیه (با تغییرات از Ruttner and Stöcklin, 1967; Alavi 1991; Berberian and King, 1981).

رسوبی ( $E_5^1$ ) با ماهیت بایمدال (Bimodal) قرار دارد و دارای سن ائوسن میانی است. این بخش شامل توف سیلیسی سبز خاکستری، توف برش، کریستالیتیک توف، آندزیت، شیل، آهک، مارن و سنگ‌های آذرآواری و میزبان کانسارهای دره امروز و ورنندان است. بخش  $E_6^2$  شامل آذرآواری‌ها و گدازه‌های آندزیت بازالتی، واحد ریولیتی همراه با سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی نومولیت‌دار و آهک است و در توالی چین‌های ناحیه جنوب کاشان بروی بخش آتشفشانی- رسوبی ( $E_5^1$ ) قرار دارد و میزبان کانسار دره (درین) است. در محدوده مورد مطالعه (محدوده معدنی کانسار دره امروز) توالی سنگ‌شناسی دوران سنوزوییک را می‌توان به سه واحد تقسیم کرد: ۱) توف سیلیسی خاکستری و سبزرنگ و کریستالیتیک توف ائوسن؛ ۲) ماسه سنگ قرمز رنگ؛ ۳) آهک‌های سازند قم به سن پالئوژن (الیگوسن- میوسن). این واحدها بر روی بخش‌های مربوط به دوران کرتاسه رخمون دارند (شکل‌های ۲- الف و ب). شایان ذکر است که واحد ۱، فوقانی‌ترین واحد از بخش  $E_5^1$  است. این واحد در محدوده معدنی ضخامت حدود ۸۰۰ متر دارد بر اساس نمونه‌های دستی این واحد شامل آذرآواری‌های اسیدی از جنس توف سیلیسی خاکستری و سبزرنگ و کریستالیتیک توف بوده که در محل کانسار دره امروز تا حدودی دگرسان شده است. در مقاطع میکروسکوپی نمونه‌های این واحد به صورت تجمعات دانه‌ای بسیار ریز توفی شامل قطعات لیتیک و کریستال‌های کوارتز، پلاژیوکلاز و کلریت در یک زمینه خاکستر تشکیل شده است. ماسه سنگ قرمز رنگ (واحد ۲) دوران سنوزوییک بر روی واحد آتشفشانی پایینی (واحد ۱) قرار گرفته، که این واحد در محل کانسار دره امروز به دلیل ضخامت کم (حدود ۳۰ متر) و پوشیده شدن با خاک و مواد آبرفتی ناپدید شده، اما در فاصله حدود ۱ کیلومتری به سمت شرق نمایان است. یک اندیس کانه-زایی مس در ماسه سنگ‌های قرمز به صورت مس رسوبی در این پژوهش تشخیص داده شد. واحد بالایی (واحد ۳) دوران سنوزوییک بر روی واحد ماسه سنگ قرمز قرار گرفته است و شامل آهک‌های توده‌ای و لایه‌ای سازند قم با ضخامت حدود ۱۰۰۰ متر هستند. در مجموع هردو بخش سنگی دوران کرتاسه و پالئوژن در محدوده معدنی دره امروز توسط حرکات کوهزایی جوان دچار

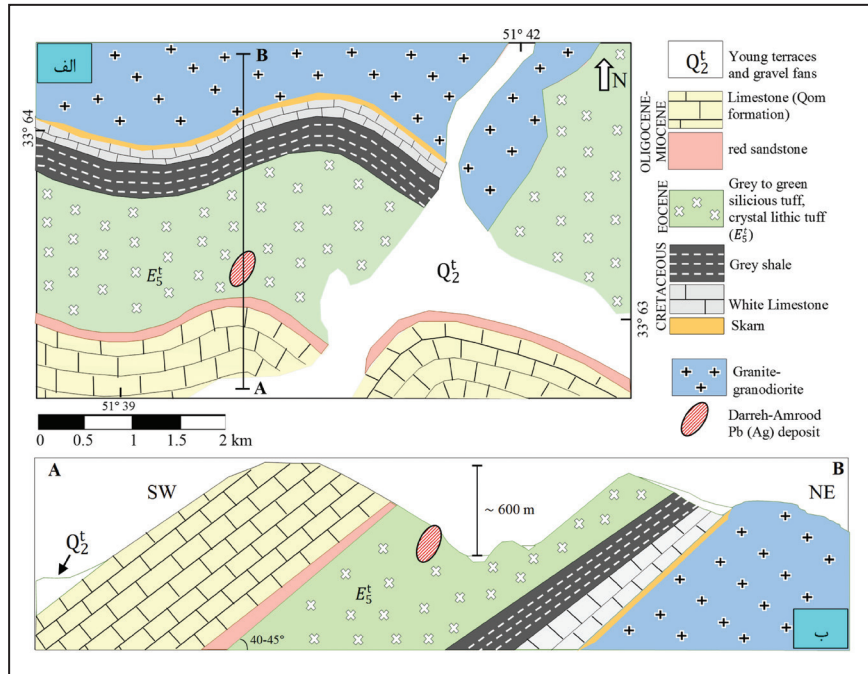
فعالیت‌های ماگمایی سنوزوییک پهنه ارومیه- دختر مرتبط با فرورانش بخش شمالی صفحه اقیانوسی نئوتئیس در طول ادامه روند بسته شدن و فرورانش صفحه عربی به زیر صفحه آسیاست (Berberian and King, 1981; Berberian et al., 1982; Alavi, 1996; Mohajjel and Fergusson, 2000; Stampfli et al., 2001; Agard et al., 2005; Omrani et al., 2008; Ghorbani and Bezenjani, 2011). در محدوده کانسار دره امروز قدیمی‌ترین بخش‌های سنگ‌شناختی مربوط به دوران کرتاسه و شامل دو واحد سنگی شیل و آهک‌های سفید است که تا حدود زیادی در ناحیه جنوبی توده نفوذی قهرود با آبرفت‌هایی از جنس سنگ‌های آتشفشانی ناحیه‌ای و خود توده‌های نفوذی که بر اثر هوازدگی تخریب شده‌اند، به صورت پوشیده شده و غیرقابل نمایان است اما در شمال مرز توده نفوذی (در ناحیه جنوب شهر قمصر) به صورت کامل رخمون دارند (هاشمی، ۱۳۹۴). ضخامت این بخش حدود ۲۰۰ متر آهک و شیل است و در اطراف توده نفوذی وجود دارند. از لحاظ پترولوژیکی بخش‌های مربوط به دوران مزوزوییک (آهک‌های کرتاسه و شیل‌های ژوراسیک) نیز به عنوان سنگ‌های در برگیرنده توده نفوذی قهرود توسط آهنکوب (۱۳۸۲) در منطقه قهرود مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته‌اند. در مجموع بر اساس مطالعات دیگر محققین در منطقه و مطالعات صحرائی و پیمایشی، نقشه زمین‌شناسی محدوده معدنی کانسار دره امروز به همراه نیمرخ توپوگرافی به صورت عمود بر روند کلی واحدهای سنگی رسم شد. واحدهای زیرین در نیمرخ محدوده مورد مطالعه (بخش‌های سنگی کرتاسه) در تماس با توده نفوذی هستند و بخش‌های سنگی دوران سنوزوییک به گونه‌ای دگرشیب بر روی آنها نهشته شده‌اند و این نهشته‌ها همزمان با سازند کرج در زون البرز در نظر گرفته می‌شوند (قربانی، ۱۳۸۱).

بر اساس رادفر و همکاران (۱۳۷۲) بخش‌های سنگی پالئوژن در محدوده مورد مطالعه در جنوب کاشان و شمال شرق دلیجان بر حسب جایگاه چینه‌شناسی و تغییرات ترکیب سنگ‌شناسی از پایین به بالا به چهار بخش  $O_1$ ،  $E_6^2$ ،  $E_5^1$  و  $OM_4$  تقسیم می‌شود. منطقه دره امروز از لحاظ جایگاه چینه‌ای در بخش آتشفشانی

توده‌های نفوذی با واحدهای دوران کرتاسه و پالئوژن در برخی نقاط به صورت اسکارن است و می‌تواند جهت اکتشاف کانسارهای اسکارنی آهن و سرب و روی با توجه به نوع توده نفوذی در منطقه مورد توجه واقع شود.

دگرشکلی شده‌اند و به صورت لایه‌های چین‌خورده و غیرافقی با شیب ۴۰ تا ۴۵ درجه و به شکل خوابیده با روند عمومی خاوری باختری بر روی توده نفوذی منطقه با ترکیب گرانیت گرانودیوریتی قرار گرفته‌اند (شکل‌های ۲- الف و ب). ارتباط

شکل ۲- الف) موقعیت کانسار سرب (نقره) دره امروز در نقشه زمین‌شناسی منطقه در واحد میزبان کانه‌زایی که جزئی از بخش اصلی  $E_5^1$  در ناحیه جنوب کاشان است؛ (ب) نیمرخ توالی محدوده معدنی از جنوب باختری به سمت شمال خاوری (A-B)، جایگاه کانسار دره امروز در ارتفاع حدود ۱۰۰ متر از کف دره و همچنین شیب تقریبی لایه‌ها و همبری بخش‌های سنگی مربوط به دوران کرتاسه با توده نفوذی به صورت اسکارن نشان داده شده است (مقیاس همانند قسمت الف است).



#### ۴- کانه‌زایی در منطقه

دره امروز توسط برش‌ها و رگه-رگچه‌هایی از جنس گالن و به مقدار کمتری رگه‌های سیلیسی و کلسیتی قطع شده‌اند. قابل ذکر است که میزان ماده معدنی در این برش‌ها و رگه-رگچه‌ها در مقایسه با ماده معدنی نیمه توده‌ای-نواری کمتر هستند. همچنین واحد ماسه‌سنگ قرمز رنگ (واحد ۲) در منطقه دره امروز، که یک اندیس کانه‌زایی مس در ماسه‌سنگ‌های قرمز به صورت مس رسوبی در این پژوهش تشخیص داده شد می‌تواند جهت اکتشاف این تیپ کانسارها در ناحیه جنوب قمصر و قهرود مفید واقع شود.

#### ۵- سنگ درونگیر

واحد توف سیلیسی سبز و خاکستری رنگ و کریستالیتیک توف، سنگ‌های درونگیر در منطقه کانسار دره امروز هستند که بخش عمده مواد معدنی نواری-نیمه‌توده‌ای و رگه-رگچه‌ای در داخل توف سیلیسی و کریستالیتیک توف دیده می‌شود. در کمربین افق معدنی کانسار توف سیلیسی سبز-خاکستری رنگ وجود دارد. بر اساس مطالعات سنگ‌نگاری، در مقاطع میکروسکوپی نمونه‌های این واحد به صورت تجمعات دانه‌ای بسیار ریز توفی به حالت خاکستر تشکیل شده است و دگرسانی‌های از نوع اپیدوتی-کلریتی و سرسیتی و همچنین رگچه‌های ثانویه قطع کننده کربناتی در آنها مشاهده می‌شود. ماده معدنی در کانسار به صورت چینه‌کران و نامنظم و ناهمگون با لایه‌بندی سنگ‌های درونگیر رخ داده است.

#### ۶- ساخت و بافت ماده معدنی

ماده معدنی در کانسار دره امروز دارای بافت برشی، نیمه‌توده‌ای، نواری، دانه‌پراکنده و رگه-رگچه‌ای هستند. در ادامه هر کدام از ساخت‌ها و بافت‌های اصلی در کانسار به صورت جداگانه مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

#### ۶-۱. ساخت رگه-رگچه‌ای و برشی

ساخت رگه-رگچه‌ای (شکل ۳- الف)، در سنگ‌های آتشفشانی کمربین ماده

کانه‌زایی باریت-فلزات پایه به صورت سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد در جنوب کاشان و شمال خاوری دلیجان در دو افق چینه‌شناسی تشکیل شده است (Hashemi et al., 2014؛ هاشمی و همکاران، ۱۳۹۶) که عبارتند از:

- **افق یک:** میزان این افق کانه‌زایی بخش  $E_5^1$  بوده که شامل توف سیلیسی سبز خاکستری، توف برش، کریستالیتیک توف، آندزیت، شیل، آهک، مارن و سنگ‌های آذرآواری است و کانسارهای ورندان و دره امروز در این افق قرار می‌گیرند.  
- **افق دوم:** میزان این افق کانه‌زایی بخش  $E_5^2$  است که شامل آذرآواری‌ها و گدازه‌های آندزیت-بازالتی، واحد ریولیتی همراه با سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی نومولیت دار و آهک بوده که کانسار دره (درین) در این افق قرار دارد.

کانه‌زایی کانسار دره امروز در افق یک کانه‌زایی ناحیه‌ای و در واحد ۱ که جزئی از بخش  $E_5^1$  بوده (پایین‌ترین واحد سنگی دوران سنوزویک) به صورت یک کانسار سرب (نقره) تشکیل شده است (شکل ۲). کانسار دره امروز حدود ۳۰ تا ۵۰ سال پیش فعال بوده و در سال ۱۳۴۷ تعطیل شده و هم‌اکنون متروکه است (قربانی، ۱۳۸۱). فعالیت معدنکاری در افق کانه‌دار این کانسار در امتداد روند واحدهای سنگی کانه‌دار صورت گرفته و در جهت امتداد مواد معدنی یک تونل حفر شده است. تراس‌های مصنوعی پلکانی از دیوهای سرب و سنگ میزبان دگرسان شده از دهانه تونل به طرف شیب دره جهت انتقال آسان مواد معدنی طراحی شده و شایان ذکر است که مسیر وردی تونل هم‌اکنون به طور کامل مسدود است و امکان نمونه‌برداری مستقیم و بررسی همبری سنگ میزبان و ماده معدنی در زیر زمین وجود ندارد. بر اساس مطالعات صحرایی و نمونه‌های دستی، شکل هندسی ماده معدنی در کانسار دره امروز به صورت چینه‌کران و نامنظم و ناهمگون با لایه‌بندی سنگ‌های درونگیر رخ داده است. ماده معدنی به صورت پیکره معدنی با ساخت و بافت نیمه توده‌ای تا نواری برشی-رگه-رگچه‌ای است. این پیکره که ضخامت متغیر از حدود ۱/۵ متر و طول ۲۰۰ تا ۳۰۰ متر دارد، دچار چین‌خوردگی و گسل خوردگی شده است. افق معدنی کانه‌دار در بخش‌های بالایی واحد آتشفشانی میزبان تشکیل شده است (شکل ۲). سنگ‌های درونگیر در کانسار

دره امروود قابل مشاهده است. ولی به علت اینکه حالت نامنظم دارد به نظر می‌رسد در اثر جان‌شینی سیال در داخل توف میزان تشکیل شده است (شکل ۳-د).

#### ۴-۶. بافت دانه‌پراکنده و شکافه‌پرکن

بافت دانه‌پراکنده عمدتاً حاوی گالن و پیریت است. ضمناً، بافت شکافه‌پرکن به صورت عدسی‌ها یا نوارها و رگچه‌های کربناتی قطع‌کننده در جهت‌های گوناگون از کمر پایین ماده معدنی به سمت افق‌های معدنی نیز دیده می‌شود که حاوی سولفید هستند.

#### ۵-۶. پدیده هوازگی و سوپرژن

در کانسار دره امروود گسترش فعالیت‌های هوازگی و سوپرژن موجب تبدیل سولفیدها به کانی‌های اکسیدی و گسترش کانی‌های اکسیدی-هیدروکسیدی آهن و منگنز و ایجاد کلاهیگ آهنین (gossan) شده است (شکل ۳-ه). در واقع فرایند سوپرژن در کانسار معمولاً به صورت اکسید شدن ادخال‌های پیریت و کالکوپیریت در گالن است و به اکسیدهای آهن و کولیت تبدیل شده‌اند. همچنین کولیت در اثر واکنش مس خارج شده از ساختار گالن با سولفات موجود در محیط می‌تواند ایجاد شود.

معدنی، عنوانی کلی برای شکستگی‌هایی است که ابعاد آنها از میلی‌متر تا چندین سانتی‌متر تغییر می‌کند و توسط کانی‌های اپی‌ژنتیک (ماده معدنی و کلسیت‌های ریز بلور) پُر شده‌اند. در منطقه دره امروود عمده این رگچه‌ها، که نسبت به لایه‌بندی حالت قطع‌کننده دارند، توسط کانه‌های گالن و مقدار کمی پیریت و با حاشیه‌ای از اکسید آهن پُر شده‌اند. پدیده برشی شدن، در کمر پایین و در فاصله نزدیک در زیر ماده معدنی و در بخش‌هایی از ماده معدن، قابل مشاهده است که در این بافت، قطعات برش در واقع خود ماده معدنی (گالن) هستند (شکل ۳-ب).

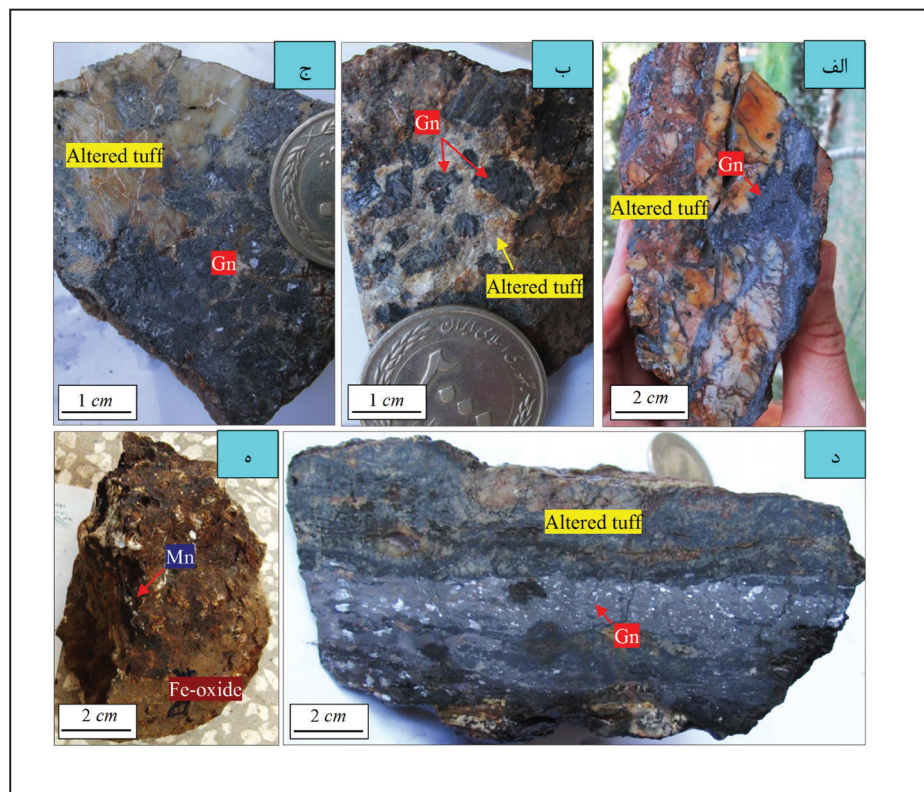
#### ۲-۶. بافت نیمه‌توده‌ای

بافت نیمه توده‌ای به صورت غنی از گالن دیده می‌شود (شکل ۳-ج) که در مقیاس میکروسکوپی گاهی مقداری پیریت همراه آن است.

#### ۳-۶. بافت و ساخت نواری

مهم‌ترین بافت در قسمت سولفیدی در کانسار دره امروود، بافت نواری است. این بافت غنی از گالن و پیریت بوده که گاه به صورت منظم و گاه به صورت نامنظم، نیمه همخوان تا ناهمخوان با سنگ میزبان است (شکل ۳-د). ساخت نواری نیز در کانسار

شکل ۳- الف) ساخت رگه- رگچه‌ای (استرینگر) تا حدودی برشی شده در سنگ‌های توفی کمر پایین واقع در زیر کانسنگ لایه‌ای- نواری (جنس رگه‌ها از گالن (Gn)؛ ب) ساخت برشی شده شامل قطعاتی از ماده معدنی با جنس گالن به همراه قطعاتی از سنگ میزبان در خمیره‌ای از سنگ‌های دگرسان شده سرسیتی به شکل توف دگرسان شده (Altered tuff)؛ ج) رخساره کانسنگ توده‌ای و نیمه توده‌ای، گالن (سربی رنگ) همراه با سنگ میزبان دگرسان شده سرسیتی (سفید رنگ)؛ د) رخساره کانسنگ نواری شامل تناوب نوارهای غنی از گالن و نوارهای سنگ میزبان توفی (خاکستری رنگ) دارای دگرسانی سرسیتی (سفید رنگ)؛ ه) اکسید- هیدروکسیدهای آهن و منگنزدار (Mn) در پهنه کلاهیگ آهنین. علایم اختصاری ارائه شده بر اساس Whitney and Evans (2010).



#### ۸- دگرسانی

مهم‌ترین دگرسانی‌ها در کانسار دره امروود در پهنه استرینگر دیده می‌شود و به طور عمده از نوع اپیدوتی- کلریتی و سرسیستیک هستند (شکل‌های ۵-الف تا د). به‌طور کلی دگرسانی اپیدوتی به میزان خفیف در عمده سنگ‌های توفی در منطقه نیز دیده می‌شود. اما بیشترین تمرکز آن در اطراف و زیر ماده معدنی در کانسار دره امروود است. کانی اپیدوت گاه در رگه‌ها و حفرات همراه با کلسیت و کلریت و به رنگ سبز و به شکل بلورهای پهن و مسطح یافت می‌شود که در صحرا با چشم غیر مسلح نیز قابل رویت است (شکل ۵-الف). در مقاطع میکروسکوپی بلورهای اپیدوت اغلب مسطح، تابی شکل هستند (شکل ۵-ج). دگرسانی سرسیستی با انحلال کامل و خارج شدن کاتیون‌های Ca، Mg و Na و باقی ماندن کاتیون K در سیستم تشکیل می‌شود. در طی دگرسانی سرسیستی، فلدسپارهای اولیه موجود در سنگ به

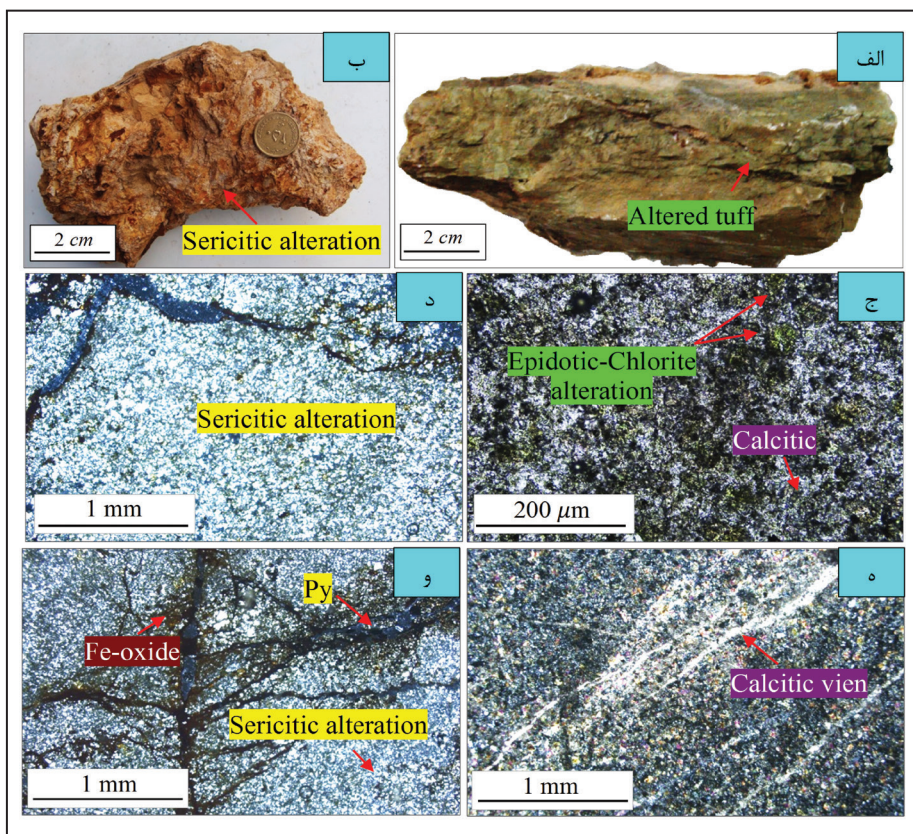
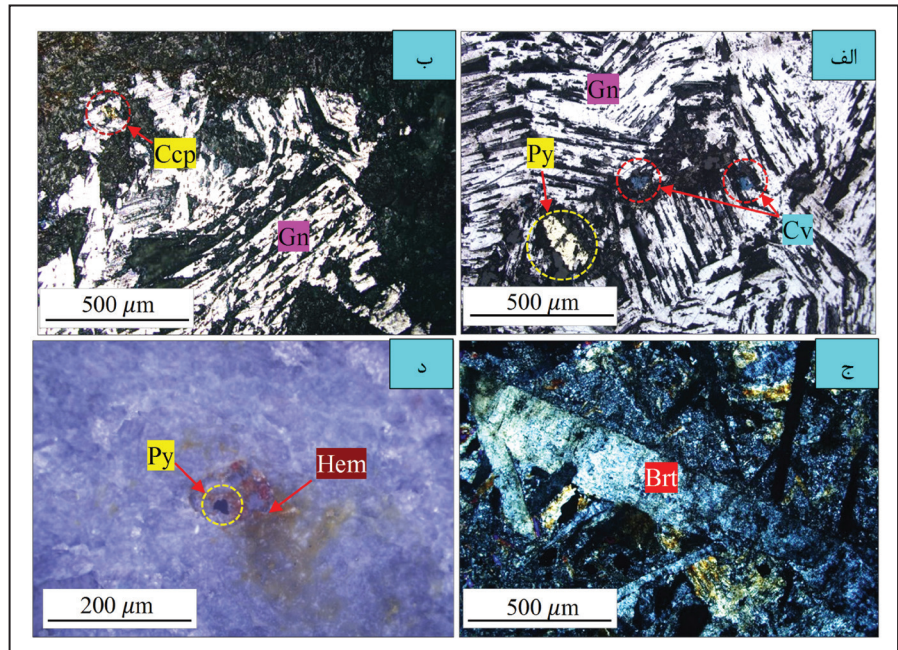
#### ۷- کانی‌شناسی ماده معدنی

کانی‌شناسی در کانسار دره امروود ساده است و گالن، پیریت، کالکوپیریت کانی‌های معدنی اولیه و کولیت، گوتیت و هماتیت کانی‌های ثانویه هستند (شکل ۴). کانی‌های باطله عمدتاً شامل اپیدوت، کانی‌های رسی، کلریت، سرسیست، باریت و کلسیت هستند (شکل‌های ۴ و ۵). گالن مهم‌ترین و فراوان‌ترین کانی سولفیدی و اقتصادی در کانسار دره امروود است که در رخساره نواری، برشی، نیمه‌توده‌ای، دانه‌پراکنده و رگه- رگچه‌ای وجود دارد. پیریت و کالکوپیریت ندرتاً به صورت ادخال‌های با اندازه چند میکرون تا حداکثر ۱۰۰ میکرون به صورت بی‌شکل تا نیمه‌خودشکل درون گالن پراکنده‌اند (شکل‌های ۴-الف و ب). این ادخال‌های پیریت و کالکوپیریت معمولاً اکسید شده و به صورت اکسیدهای آهن و کولیت درآمده‌اند (شکل‌های ۴-الف و ج).

رگه- رگچه‌های کلسیتی جوان سنگ‌های اپیدوتی و کلریتی شده کمر پایین را قطع کرده است (شکل ۵). بخش دگرسانی سریستیک در اثر هوازدگی کانی‌های سولفیدی دچار آغستگی به اکسیدهای آهن شده است (شکل ۵-و).

کانی سریست تبدیل شده که باعث تشکیل بلورهای ریزدانه و پراکنده سریست بر روی بلورهای درشت فلدسپار می‌شود (شکل‌های ۵- د و ه). همچنین میزان کربنات در بعضی سنگ‌ها و بخش‌های افق کانه‌دار قابل توجه بوده که به صورت

شکل ۴- کانی‌های اصلی و فرعی کانسار سرب (نقره) دره امروز: الف) همراهی پیریت با گالن (Gn) و رخساره استرینگر و تبدیل شدن کالکوپیریت (Ccp) و پیریت به کولیت (Cv) در اثر فرایندهای سوپرژن، درنور بازتابی مقیاس ۵۰۰ میکرومتر؛ ب) همراهی کالکوپیریت با گالن، در نور بازتابی مقیاس ۵۰۰ میکرومتر؛ ج) وجود باریت در رگه‌های رخساره استرینگر کانسار دره امروز، در نور عبوری مقیاس ۵۰۰ میکرومتر؛ د) اکسید شدن پیریت (Py) و تبدیل به کانی‌های ثانویه آهن از جمله هماتیت (Hem) در نور عبوری مقیاس میکروسکوپی ۲۰۰ میکرومتر. علایم اختصاری ارائه شده بر اساس Whitney and Evans (2010).



شکل ۵- انواع دگرسانی‌ها در کانسار دره امروز. الف) توف‌های میزان ماده معدنی دگرسان شده در کمرپایین کانسار؛ ب) دگرسانی‌های اطراف ماده معدنی که بیشتر از نوع دگرسانی سریستیک (Sericitic) هستند؛ ج) توف‌های میزان ماده معدنی دگرسان شده در مقیاس میکروسکوپی که دگرسانی اپیدوتی- کلریتی (Epidotic-Chlorite) را نشان می‌دهند (نور عبوری، بزرگنمایی ۲۰۰ میکرومتر)؛ د) دگرسانی سریستیک در مقیاس میکروسکوپی با نور عبوری، بزرگنمایی ۲۰۰ میکرومتر؛ ه) رگچه‌های جوان کربناتی (Calcitic) قطع‌کننده در جهت‌های گوناگون از کمر پایین ماده معدنی به سمت افق معدنی، در مقیاس میکروسکوپی با نور عبوری، بزرگنمایی یک میلی‌متر؛ و) آغستگی پهنه سریستی به هماتیت (Hem) در اثر هوازدگی کانی‌های سولفیدی در مقیاس میکروسکوپی با نور عبوری، بزرگنمایی یک میلی‌متر.

## ۹- ژئوشیمی کانسار

### ۹-۱. مواد و روش‌ها

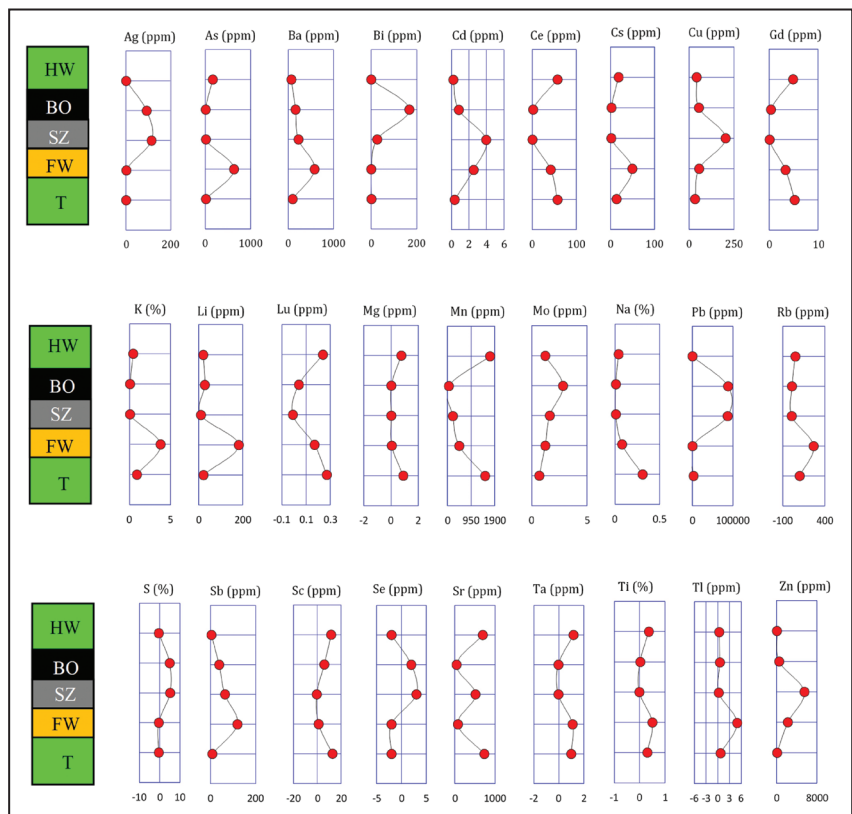
به منظور روشن شدن چگونگی توزیع ژئوشیمیایی عناصر مختلف در توالی سنگ میزبان و ماده معدنی موجود در کانسار دره امرو، اقدام به تهیه مقطع لیتوژئوشیمیایی از کانسار مذکور شد. این مقطع عمود بر روند عمومی افق کانه‌دار و نمونه‌های مربوط به ساخت و بافت‌های برشی و نواری، پهنه دگرسانی، کمرباین و کمربالای افق کانه‌دار و تا حد امکان به دور از آلودگی‌های معدنی انتخاب شده‌اند.

در مجموع ۵ نمونه، به صورتی که هر نمونه معرف یک بخش اصلی یا یک رخساره معدنی از کانسار باشد انتخاب شد که شامل نمونه‌های از کمرباین و کمربالای سنگ میزبان کانسار، بخش چینه‌سان ماده معدنی، بخش رگه-رگچه‌ای و پهنه دگرسانی (این پهنه در زیر ماده معدنی و به مقدار کمتری به همراه بخش چینه‌سان و بخش استرینگر وجود دارد) است که به روش طیف سنجی جرمی گسیل پلاسما جفت شده القایی (ICP-MS) آنالیز شدند. از نتایج به دست آمده از این نمونه‌ها رفتار عناصر نادر خاکی (REE) در این کانسار مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نمونه‌های فوق در شعبه آزمایشگاه Acme در ترکیه با حمایت سازمان توسعه نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران (ایمیدرو) آنالیز شده‌اند.

### ۹-۲. عیار و تغییرات میزان عناصر در رخساره‌های کانه‌دار، کمرباین و کمربالای کانسار

مطالعات نشان داده است که کانی گالن قادر است علاوه بر سازندهای اصلی خود (Pb, S)، عناصر دیگری همچون نقره، آنتیموان، بیسموت، آرسنیک، روی، کادمیم، سلنیم و مس را به صورت جزئی در خود جای دهد (Ahrens, 1953). مطالعاتی جهت تعیین میزان این عناصر در کانسار سرب (نقره) دره امرو صورت گرفت که نتایج آن به صورت نمودارهای تکی برای هر عنصر روبه‌روی ستون مقطع لیتوژئوشیمیایی رسم شد. این مقطع عمود بر بخش کمرباین و کمربالای کانسار و همچنین رخساره‌های مختلف ماده معدنی و سنگ‌های دگرسانی شدیداً سرسیتی رسم شد که بلافاصل در زیر افق معدنی و گاهی به همراه ماده معدنی وجود دارد (شکل ۶). در مجموع بر اساس این ستون تغییرات هر کدام از عناصر اصلی  $\text{Na}^+$ ,  $\text{P}$ ,  $\text{Sr}$ ,  $\text{S}$ ,  $\text{Ca}$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{Mn}$

و  $\text{K}$ ,  $\text{Ag}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Ba}$  و  $\text{Al}$  و مهم‌ترین عناصر فرعی شامل  $\text{Sb}$  -  $\text{Mo}$  -  $\text{Bi}$  -  $\text{As}$  و  $\text{T}$  و عناصر نادر خاکی (REE) اندازه‌گیری شد. برای عیار عناصر اصلی و با اهمیت کانسار از جمله سرب و روی عیار به صورت میانگین در بافت‌های نواری و برشی به ترتیب برابر  $۸/۷۵$  و  $۰/۳$  درصد و نقره تا  $۱۰۳$  گرم در تن است. عیار نقره در بخش استرینگر در کانسار دره امرو به طور قابل ملاحظه‌ای  $۱۱۴$  ppm است از این رو این کانسار به جهت میزان بالایی از نقره به عنوان کانسار سرب (نقره) معرفی شد. میانگین نقره  $۱۰۳$  g/t، بیسموت  $۱۶۶$  ppm، روی  $۲۹۹۸$  ppm، سلنیم  $۲/۵$  ppm و مس  $۱۲۹$  ppm است. وجود بخشی از این مقادیر در ماده معدنی می‌تواند در ساختار گالن باشد. در مجموع بر اساس این نمودارها نسبت به ستون چینه‌ای رسم شده، عناصر کانسار ساز  $\text{Ag}$  -  $\text{Zn}$  -  $\text{Pb}$  و مهم‌ترین عناصر فرعی شامل  $\text{S}$  -  $\text{Mo}$  -  $\text{Se}$  -  $\text{Bi}$  و  $\text{TI}$  در بخش‌های استرینگر، برشی و نواری افق معدنی کانسار دره امرو مقادیر تقریباً مشابه نشان می‌دهند و بالاترین مقدار این عناصر اکثراً در بخش کانی‌سازی نواری کانسار مشاهده می‌شود (شکل ۶). این مقادیر مشابه در بخش استرینگر و نواری می‌تواند با تیپ کانسارهای کوروکوی که ماده معدنی در سنگ‌های آتشفشانی میزبان آن زیر کف دریا جانشین شده است سازگار باشد. میزان عناصر  $\text{As}$  -  $\text{Ba}$  -  $\text{K}$  -  $\text{Li}$  -  $\text{Rb}$  -  $\text{Sb}$  -  $\text{W}$  -  $\text{TI}$  -  $\text{Ti}$  -  $\text{Cs}$  به طور قابل ملاحظه‌ای در نمونه دگرسان شده کاملاً سرسیتی همراه با آرژیلیکی ثانویه افزایش یافته‌اند و این می‌تواند به دلیل تحرک‌پذیری بالای این عناصر باشد که در بخش دگرسان تجمع یافته‌اند. در رابطه با دیگر عناصر اصلی از جمله مس، این عنصر در بخش رگه-رگچه‌ای زیرین نسبت به دیگر بخش‌های معدنی بالاترین عیار را دارد و این می‌تواند نشان از کم تحرکی عنصر مس نسبت به عناصر سرب و روی باشد (شکل ۶). در رابطه با رفتار ژئوشیمیایی عناصر نادر خاکی (REE) در کانسار دره امرو با توجه به تحرک‌پذیری خیلی پایین این عناصر در سنگ‌های آتشفشانی (غیر دگرسان تا دگرسانی غیر مرتبط با کانه‌زایی) میزبان، مقدار این عناصر نسبت به افق‌های مواد معدنی عیار بالاتری از خود نشان می‌دهند. اما نسبت به نمونه‌های شدیداً دگرسان شده (به ویژه دگرسانی سرسیتی در زیر افق معدنی) تغییرات کمی مشاهده می‌شود.



شکل ۶- عیار عناصر اصلی، فرعی و عناصر نادر خاکی در کانسنگ نواری (BO)، برشی-رگه‌ای (SZ) و توف شدیداً دگرسان از نوع سرسیتی شده کمرباین بلافاصل مواد معدنی (FW) در مقایسه با توف کمتر دگرسان دورتر از کانه‌زایی در توالی کمرباین (T) و توف کمربالا (HW) در کانسار دره امرو.

### ۹-۳. ژئوشیمی عناصر نادر خاکی

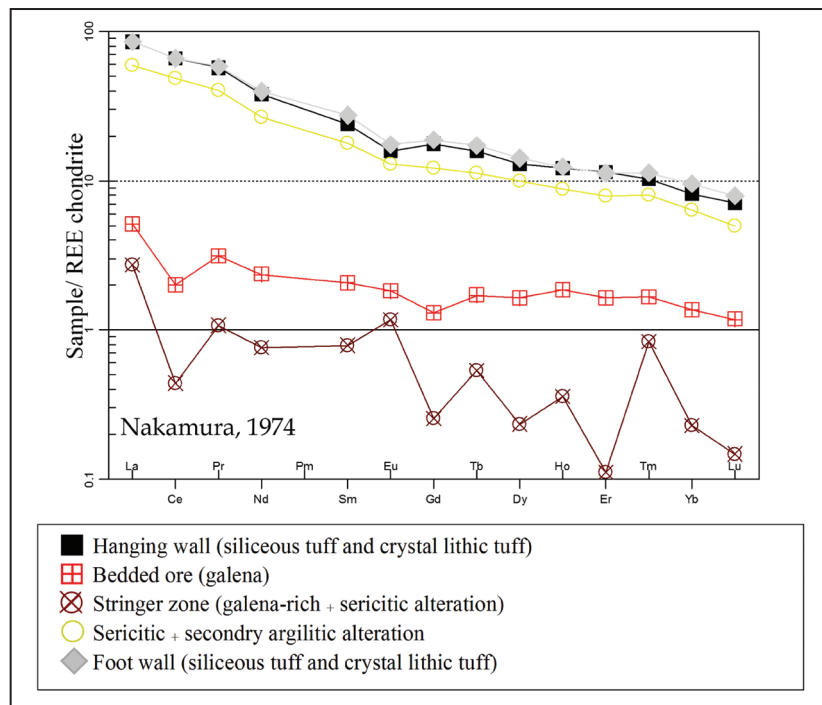
بر اساس Graf (1977) در حالت کلی، الگوی عناصر نادر خاکی در یک سنگ اسیدی به دلیل همراه بودن Eu با فلدسپارهای غنی از Ca و کمبود این پلاژیوکلازها در این سنگها، آنومالی منفی Eu دارد. در مجموع با توجه به اینکه آنومالی منفی خفیفی از Eu هم در کمرپاین و هم در کمربالا دیده می شود (شکل ۷) و سنگهای کمربالا و کمرپاین دگرسانی دارند، دلیل اصلی این آنومالی خفیف منفی می تواند عملکرد دگرسانی باشد.

همچنین برای عنصر سریم (Ce)، بر اساس Goseph and Graf (1977) و Spry et al. (2000) آنومالی منفی این عنصر از خواص ژئوشیمی REE در آب دریاست. بنابراین آنومالی منفی Ce در رخساره های مختلف ماده معدنی در کانسار دره امروز می تواند نشانه ارتباط تشکیل کانسار با آب های دریایی باشد.

در مجموع بر اساس مطالعات صحرایی، نمونه دستی و ژئوشیمیایی در کانسار دره امروز، عدم شباهت الگوی پراکندگی عناصر نادر خاکی در مواد معدنی در نمودار نرمالیزه شده به کندریت (Nakamura, 1974) با الگوی پراکندگی REE در سنگ های آتشفشانی منطقه در کمرپاین و کمربالای کانسار نیز می تواند با رخداد کانه زایی در سنگ های آتشفشانی میزبان به صورت جانشینی در زیر کف دریا سازگار باشد.

در منطقه دره امروز، نمودار الگوی پراکندگی عناصر نادر خاکی نرمالیزه شده نسبت به کندریت (Nakamura, 1974) در نمونه های آنالیز شده از کمرپاین و کمربالای مواد معدنی که دارای ترکیب توف سیلیسی خاکستری سبز رنگ و کریستالیتیک توف هستند، نسبتاً پهن با شیب کم است و آنومالی منفی خفیفی نیز در Eu نشان می دهند (شکل ۷). نمودارهای عنکبوتی REE برای سنگ های آتشفشانی میزبان یک روند نزولی تدریجی از گروه LREE (سمت چپ) به سمت گروه HREE (سمت راست نمودار) دارند و نمونه ها به طور نسبی از این عناصر غنی شدگی نشان می دهند (شکل ۷). یکنواخت بودن این نمودار برای سنگ های آتشفشانی میزبان در کمر بالا و پایین کانسار نشان از یکسان بودن خواستگاه این سنگ ها دارد. برخلاف سنگ های کمربالا و کمرپاین میزبان، الگوی REE مواد معدنی دارای شیب کمتر و مقادیر REE کمتری بوده است. همچنین آنومالی منفی Ce از ویژگی های مواد معدنی است (شکل ۷). الگوی REE در سنگ های کمرپاین و کمربالای کانسار می تواند مربوط به ماهیت کانی شناسی سنگ و آنومالی منفی خفیفی از Eu می تواند ناشی از تفریق در ماگمای اولیه و کمبود پلاژیوکلازهای غنی از کلسیم باشد. معمولاً در سنگ های آتشفشانی کمرپاین در توالی های بارور از نظر کانه زایی VMS دیده می شود (Campbell et al., 1982).

شکل ۷- مقایسه نمودار الگوی عناصر نادر خاکی در مواد معدنی نواری، رگه- رگچه ای و پهنه های دگرسانی در کانسار دره امروز با سنگ های آتشفشانی کمر بالا و پایین کانسار که به کندریت (Nakamura, 1974) نرمالیزه شده اند.



### ۱۰- الگوی تشکیل کانسار دره امروز

کانه زایی در کانسار سرب (نقره) دره امروز به صورت چینه کران و پیکره نامنظم، نیمه همخوان تا ناهمخوان با لایه بندی سنگ های درونگیر توفی (بخش E<sub>3</sub>) رخ داده که این بخش میزبان کانه زایی سولفید توده ای آتشفشان زاد نوع کوروکو و وردان (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۶) نیز است. ماده معدنی بافت های نیمه توده ای، نواری، برشی، رگه- رگچه ای و دانه پراکنده دارد و پهنه بندی فلزی در پیکره معدنی دیده می شود. بر اساس مطالعات ساختاری، چینه شناسی، سنگ نگاری، ساخت و بافت، کانی شناسی، دگرسانی و ژئوشیمیایی به نظر می رسد کانه زایی سرب (نقره) دره امروز به صورت سولفید توده ای آتشفشان زاد (VMS) رخ داده است. دو نوع مدل رایج برای تشکیل نهشته های سولفید توده ای شامل پلوم های شناور (Buoyant plumes) و مدل استخر شورابه ای (Brine pool) توسط

Solomon et al. (2004) ارائه شده است. علاوه بر این دو مدل، اخیراً مدل های جانشینی در زیر کف دریا و ته نشست سیالات در محیط های دریایی احیایی نیز توسط Tornos et al. (2015) ارائه شده است. از ویژگی های اصلی جانشینی در زیر کف دریا، سنگ میزبان توفی (تخلخل بالا)، ماهیت ناهمخوان و گسترش نامنظم ماده معدنی، محاط بودن کانسار در یک سنگ میزبان مثل واحدهای توفی، وجود بقایایی از سنگ میزبان در ماده معدنی و دگرسانی در هر دو قسمت کمرپاین و کمربالاست (Doyle and Allen, 2003; Piercey, 2015; Tornos et al., 2015). با توجه به وجود این ویژگی ها در کانسار دره امروز، به نظر می رسد این کانسار به صورت جانشینی در زیر کف دریا تشکیل شده باشد. بنابراین، بر اساس مدل های کانه زایی (Tornos et al. 2015)، کانسار سرب (نقره) دره امروز بیشترین شباهت را با مدل

کوروکو عمدتاً، گالن و اسفالریت (سرب و روی) بوده که مرتبط با سنگ‌های درونگیر آنها (فلسیک) است (Taylor et al., 1995). پاراژنز ماده معدنی در منطقه دره امرود نیز عمدتاً گالن است. پایین بودن عیار روی می‌تواند به دلیل تحرک پذیری بالای روی و دور شدن از محل کانسار باشد.

### ۱۳- نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج مطالعات زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی، شکل هندسی پیکره معدنی، بافت و ساخت، کانی‌شناسی ماده معدنی، دگرسانی و ژئوشیمیایی، تیپ کانه‌زایی در کانسار دره امرود را می‌توان سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد (VMS) از نوع کوروکو در نظر گرفت، با این تفاوت که کانسار سرب (نقره) دره امرود فقیر از باریت است. یکسان بودن توالی میزان کانسار دره امرود با کانسار سولفید توده‌ای باریت- فلزات پایه نوع کوروکو ورناندان قمصر و باریت دره کاشان نیز می‌تواند جهت پیشنهاد این تیپ کانه‌زایی برای کانسار دره امرود مفید واقع شود. عدم شباهت الگوی پراکندگی REE در کانسار دره امرود با الگوی سنگ‌های آتشفشانی منطقه در کمربین و کمربالای کانسار نیز می‌تواند با تیپ کانسارهای کوروکویی که ماده معدنی زیر کف دریا و در سنگ‌های آتشفشانی میزان آن جانشین شده است سازگار باشد. همچنین رفتار ژئوشیمی عنصر Ce که در اغلب نمودارها آنومالی منفی نشان می‌دهد، نشان‌دهنده نقش آب دریا در تشکیل کانسار است. در مجموع بر اساس مطالعات انجام گرفته کانسار دره امرود می‌تواند اولین رخداد سولفید توده‌ای غنی از فلزات پایه و فقیر از باریت باشد که در پهنه ارومیه- دختر معرفی می‌شود. بنابراین بر اکتشاف این گونه ذخایر در این پهنه تأکید می‌شود.

### ۱۴- سپاسگزاری

نگارندگان به این وسیله مراتب سپاس خود را نسبت به همکاری‌های معاونت محترم پژوهشی دانشگاه صنعتی شاهرود ابراز می‌دارند.

جانیشینی در زیر کف دریا نشان می‌دهد. هر چند که بخش فعلی کانسار دره امرود به صورت ناهمخوان و قطع کننده لایه بندی است، اما احتمال وجود بخش چینه‌سان در بالای آن که اکنون رخنمون ندارد دور از انتظار نیست و نیاز به اکتشاف تکمیلی دارد.

### ۱۱- مقایسه کانه‌زایی در منطقه دره امرود با تیپ بایمدال فلسیک یا کوروکو (Kuroko)

بر اساس مقایسه کانسار دره امرود با انواع کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد، این کانسار از جهات محیط زمین‌ساختی تشکیل، نوع سنگ‌های میزان و همراه، کانی‌شناسی و پاراژنز و نوع دگرسانی‌ها بیشترین شباهت را با کانسارهای VMS نوع کوروکو نشان می‌دهد. کانسارهای نوع کوروکو دارای مجموع فلزات Pb (+Ba)-Zn-Cu هستند و بر اساس Franklin et al. (2005)، Piercey (2009)، Galley et al. (2007)، Shanks and Koski (2012) و Koski and Mosier (2012) در همه محیط‌های زمین‌ساختی غیر از فشارشی تشکیل می‌شوند. محیط‌های پیشنهادی اصلی بر اساس Galley et al. (2007) برای این نوع کانسارها شامل پشت کمان قاره‌ای، کمان‌هایی ماگمای مرتبط با فرورانش (مثل جزایر قوسی)، محیط‌های ریفی پشت کمان اقیانوسی و کمان حاشیه قاره‌ای است. ماگماتیسم مرتبط با تشکیل آنها ماهیت کالک‌آلکالن دارد (Singer, 1986; Urabe and Marumo, 1991). همان‌طور که از قبل بیان شد کانسار دره امرود نیز در یک حوضه درون کمان قاره‌ای مرتبط با بسته شدن اقیانوس نئوتتیس در نتیجه فرورانش لیتوسفر اقیانوسی به زیر ورقه ایران رخ داده است. در این تیپ کانسارها به طور کلی سنگ‌های میزان در کمربین فلسیک هستند که میزان کانسار سرب دره امرود نیز سنگ‌های فلسیک است. افزایش میزان حضور سرب در کانه‌زایی، میزبانی سنگ‌های فلسیک را در مقایسه با مجموعه مافیک نشان می‌دهد که میزان رسوبات در آنها جزئی بوده و کانسار دره امرود نیز دارای میزان سنگ‌های فلسیک و میزان رسوبات جزئی است. در مجموع پاراژنز ماده معدنی در تیپ بثورست و



## کتابنگاری

- آهنکوب، م.، ۱۳۸۲- بررسی پترولوژیکی و ژئوشیمیایی هاله دگرگونی توده گرانیتوئیدی قهرود، پایان نامه کارشناسی ارشد گرایش پترولوژی، دانشگاه اصفهان، ایران.
- خلج معصومی، م.، لطفی، م. و نظری، م.، ۱۳۸۹- تعیین مدل کانی سازی معدن تپه سرخ بیجگان دلیجان، استان مرکزی، فصلنامه تخصصی زمین و منابع، پیش شماره دوم، ص. ۳۳ تا ۴۳.
- رادفر، ج.، علایی مهابادی، س. و هاشم امامی، م.، ۱۳۷۲- نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ کاشان، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- قربانی، م.، ۱۳۸۱- زمین شناسی اقتصادی، آثار و نشانه های رخدادهای معدنی ایران، سازمان زمین شناسی ایران (تهران)، ۶۹۵ ص.
- نظری، م.، یعقوب پور، ع. و مدنی، ح.، ۱۳۷۰- کانسار باریت درین کاشان، چهارمین سمپوزیوم معدنکاری ایران، دانشگاه تربیت معلم، شماره ۱، ص. ۱۰۶ تا ۱۲۵.
- هاشمی، ف.، ۱۳۹۴- کانی شناسی، زمین شیمی و الگوی پیدایش کانسار باریت- سرب- مس ورندان در پهنه ارومیه- دختر، جنوب کاشان، پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی شاهرود. ۲۳۱ ص.
- هاشمی، ف.، موسیوند، ف. و رضایی کهنخانی، م.، ۱۳۹۶- افق های کانه دار، رخساره های کانستنگ، کانی شناسی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانسار سولفید توده ای آتشفشان زاد (VMS) باریت- سرب- مس ورندان، جنوب غرب قمصر. مجله زمین شناسی اقتصادی، ج. ۹، ص. ۵۸۷ تا ۶۱۶.

## References

- Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L. and Mouthereau, F., 2005- Convergence history across Zagros (Iran): constraints from collisional and earlier deformation, *International journal of earth sciences*, V. 94, No. 3, p. 401- 419.
- Ahrens, L., 1953- The use of ionization potentials. II. Anion affinity and geochemistry, *Geochim. Et Cosmochim. Acta*, V. 4, p. 1- 29. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(53\)90046-5](https://doi.org/10.1016/0016-7037(53)90046-5).
- Alamina, Z. and Sharifi, M., 2018- Geological, geochemical and fluid inclusion studies on the evolution of barite mineralization in the Badroud area of Iran. *Ore Geology Reviews* V. 92, p. 613- 626. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2017.12.011>.
- Alavi, M., 1991- Tectonic map of the Middle East, scale 1:2,900,000, Geological Survey of Iran.
- Alavi, M., 1994- Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: New data and interpretations. *Tectonophysics* V. 229, p. 211- 238. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(94\)90030-2](https://doi.org/10.1016/0040-1951(94)90030-2).
- Alavi, M., 1996- Tectonostratigraphic synthesis and structural style of the Alborz Mountain system in northern Iran. *J. Geodyn.* V. 21, p. 1- 33. [https://doi.org/10.1016/0264-3707\(95\)00009-7](https://doi.org/10.1016/0264-3707(95)00009-7).
- Berberian, F., Muir, I. D., Pankhurst, R. J. and Berberian, M., 1982- Late Cretaceous and Early Miocene Andean type plutonic activity in northern Makran and Central Iran. *J. Geol. Soc. London* V. 139, p. 605- 614. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.139.5.0605>.
- Berberian, M. and King, G. C. P., 1981- Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran, *Canadian journal of earth sciences*, V. 18, No. 2, p. 210- 265. <https://doi.org/10.1139/e81-163>.
- Campbell, I. H., Coad, P., Franklin, J. M., Gorton, M. P., Scott, S. D., Sowa, J. and Thurston, P. C., 1982- Rare earth elements in volcanic rocks associated with Cu-Zn massive sulphide mineralization: a preliminary report, *Canadian Journal of Earth Sciences*, V. 19, No. 3, p. 619- 623. <https://doi.org/10.1139/e82-049>.
- Doyle, M. G. and Allen, R. L., 2003- Subsea-floor replacement in volcanic-hosted massive sulfide deposits, *Ore Geology Reviews*, V. 23, No. 3, p. 183- 222. [https://doi.org/10.1016/S0169-1368\(03\)00035-0](https://doi.org/10.1016/S0169-1368(03)00035-0).
- Franklin, J. M., Gibson, H. L., Galley, A. G. and Jonasson, I. R., 2005- Volcanogenic massive sulfide deposits. In: J.W. Hedenquist, J.F.H. Thompson, R.J. Goldfarb, and J.P. Richards (Editors), *Economic Geology 100th Anniversary Volume*. Society of Economic Geologists, Littleton, Colorado, pp. 523- 560.
- Galley, A. G., Hannington, M. D. and Jonasson, I., 2007- Volcanogenic massive sulphide deposits. In: Goodfellow, W.D., (Editors), a synthesis of major deposit-types, district metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods. Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Canada, V. 5, No. 1, p. 141- 161.
- Ghorbani, M. R. and Bezenjani, R. N., 2011- Slab partial melts from the metasomatizing agent to adakite, Tafresh Eocene volcanic rocks, Iran. *Island Arc* V. 20, p. 188- 202. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1738.2010.00757.x>.
- Goseph, L. and Graf, J. R., 1977- Rere earth element as hydrothermal tracers during the formation of massive sulfide deposit in volcanic rocks, *Economic geology*, V. 72, No. 4, p. 527- 548.
- Graf, J. L., 1977- Rare earth elements as hydrothermal tracers during the formation of massive sulfide deposits in volcanic rocks, *Economic Geology*, V. 72, No. 4, p. 527- 548.
- Hashemi, F., Mousivand, F. and Rezaei- kakhxaei, M., 2014- Volconogenic massive sulfide mineraliztion in the Kashan-Delijan region, Iran, First International Workshop on Tethyan Orogenesis and Metallogeny in Aisa, CUG University, Wuhan, China.
- Koski, R. A. and Mosier, D. L., 2012- Deposit types and associated commodities In: *Volcanogenic Massive Sulfide Occurrence Model*, Shanks III.P.W.C. and Thurston. R., (eds.), USGS Scientific Investigations Report 2010-5070-C. p. 10- 21.
- Mohajjel, M. and Fergusson, C. L., 2000- Dextral transpression in Late Cretaceous continental collision, Sanandaj-Sirjan zone, western Iran. *Journal of Structural geology*, V. 22, No. 8, p. 1125- 1139. [https://doi.org/10.1016/S0191-8141\(00\)00023-7](https://doi.org/10.1016/S0191-8141(00)00023-7).

- Nakamura, N., 1974- Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, V. 38, No. 5, p.757- 775. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(74\)90149-5](https://doi.org/10.1016/0016-7037(74)90149-5).
- Omrani, J., Agard, P., Whitechurch, H., Benoit, M., Prouteau, G. and Jolivet, L., 2008- Arc magmatism and subduction history beneath the Zagros Mountains, Iran: a new report of adakites and geodynamic consequences. *Lithos* 106, 380- 398. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2008.09.008>.
- Piercey, S. J., 2009- Lithogeochemistry of volcanic rocks associated with volcanogenic sulphide deposits and applications to exploration, *Submarine Volcanism and Mineralization: Modern through Ancient*, (eds.) Cousens, B., Piercey, S.J., Geological Association of Canada, Short Course 29- 30 May 2008- Quebec City, Canada, p. 15- 40. [https://www.researchgate.net/publication/257269237-Lithogeochemistry of volcanic rocks associated with volcanogenic massive sulfide VMS deposits and applications to exploration](https://www.researchgate.net/publication/257269237-Lithogeochemistry-of-volcanic-rocks-associated-with-volcanogenic-massive-sulfide-VMS-deposits-and-applications-to-exploration).
- Piercey, S. J., 2015- A semipermeable interface model for the genesis of seafloor replacement-type volcanogenic massive sulfide (VMS) deposits. *Economic Geology* 110: 1655- 1660. <https://doi.org/10.2113/econgeo.110.7.1655>.
- Ruttner, A. and Stöcklin, J., 1967- Geological map of Iran, scale 1:1000000, Geological Survey of Iran.
- Shanks, III. W. C. P. and Koski, R. A., 2012- Introduction. In: *Volcanogenic Massive 100 Sulfide Occurrence Model*, (eds.) Shanks, III. W. C. P. and Thurston, R., USGS Scientific Investigations Report 2010-5070-C. p. 4- 8.
- Singer, D. A., 1986- Descriptive model of kuroko massive sulfide, In: Cox, D. P. And Singer, D.A., eds., *Mineral Deposits Models: U.S. Geological Survey Bulletin*, V. 1693, No. 1, p. 189- 194.
- Solomon, M., Tornos, F., Large, R. R., Badham, J. N. P., Both, R. A. and Zaw, K., 2004- Zn-Pb-Cu volcanic-hosted massive sulphide deposits: criteria for distinguishing brine pool- from black smoker-type sulphide deposition, *Ore Geology Reviews*, V. 25, No. 3, p. 259- 284. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2004.01.003>.
- Spry, P. G., Peter, J. M. and Slack, J. F., 2000- Meta-exhalites as exploration guides to ore, In: Spry, P.G., Marshall, B. and Vokes, F. M., eds., *Metamorphosed and metamorphic ore deposits: Reviews in Economic Geology*, V. 11, No. 1, p. 163- 201.
- Stampfli, G. M., Mosar, J., Favre, P., Pillecuit, A. and Vannay, J. C., 2001- Permo-Mesozoic evolution of the western Tethys realm: the Neo-Tethys East Mediterranean basin connection, *Mémoires du Muséum national d'histoire naturelle*, V. 186, No. 1243- 4442, p. 51- 108.
- Taylor, C. D., Zierenberg, R. A., Goldfarb, R. J., Kilburn, J. E., Seal, R. R. II. and Kleinkopf, M. D., 1995- Volcanic-associated massive sulfide deposits, United States Geological Survey, America, Open-File Report 95- 831, 8 pp.
- Tornos, F., Peter, J. M., Allen, R. and Conde, C., 2015- Controls on the siting and style of volcanogenic massive sulphide deposits, *Ore Geology Reviews* V. 68, p. 142- 163. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2015.01.003>.
- Urabe, T. and Marumo, K., 1991- A new model for Kuroko-type deposits of Japan, *Episodes*, V. 14, No. 3, p. 246- 251.
- Whitney, D. L. and Evan, B. W., 2010- Abbreviations for names of rock-forming minerals, *Journal of American Mineralogist*, V. 95, p. 185- 187. <https://doi.org/10.2138/am.2010.3371>.

## Geology, geochemistry and genesis of the Darreh Amrood Pb (Ag) deposit in the Urumieh-Dokhtar magmatic arc, south of Ghohrood

F. Mousivand<sup>1\*</sup>, F. Hashemi<sup>2</sup>, M. Rezaei-Kahkhaei<sup>1</sup> and A. Pakizeh Sanajerdi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Assistant Professor, Faculty of Earth Sciences, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

<sup>2</sup>M.Sc., Faculty of Earth Sciences, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

Received: 2018 March 25

Accepted: 2018 August 21

### Abstract

The Darreh Amrood Pb (Ag) deposit is located in south of Ghohrood, in the Urumieh-Dokhtar magmatic arc (UDMA). Host rocks to the deposit are Middle to Late Eocene grey-green siliceous tuff and crystal lithic tuff. Geometry of orebodies is stratabound, irregular, and semiconcordant to discordant to layering of the host rocks. Ore structures and textures are dominated by semi-massive to brecciated, banded and vein-veinlets. Main primary minerals are galena, pyrite and chalcopyrite, and secondary minerals are dominated by covellite, goethite and hematite. Gangue minerals are epidote, chlorite, sericite, clay minerals, quartz, calcite and barite. Wall rock alterations are dominated by epidote-chlorite and sericitic. Based on geochemical studies, the amounts of lead and zinc in the brecciated and banded ores averagly is 8.75wt.% and 0.3wt.%, respectively, and amount of silver content is up to 103 g/t. The rare earth element (REE) pattern of ores is not similar to that of volcanic rocks in the footwall and hangingwall that is concordant with sub-seafloor replacement process for ore formation. Also Ce showed negative anomaly that can be attributed to Ce in the seawater. Also based on structural, stratigraphic, petrographic, textures, mineralogical, alteration and geochemical studies, it is inferred that the Pb (Ag) mineralization in the Darreh Amrood area occurred as bimodal felsic- or Kuroko-type volcanogenic massive sulfide (VMS) mineralization, and formed as sub-seafloor replacement. It should be noted that the Darreh Amrood deposit is the first recognition of base metal-rich and poor barite VMS mineralization in the UDMA.

**Keywords:** Darreh Amrood, Lead (Silver), Geochemistry, Volcanogenic massive sulfide (VMS), Urumieh-Dokhtar, Ghohrood.

For Persian Version see pages 259 to 268

\*Corresponding author: F. Mousivand; E-mail: mousivand@shahroodut.ac.ir