

۱ بلورشناسی، کانی‌شناسی و ژئوشیمی گالن، کانسار سرب نخلک (اصفهان)

۲ محمدعلی جزی، محمدحسن کریم‌پور*، آزاده ملک‌زاده شفارودی

۳ دانشگاه فردوسی مشهد، گروه زمین‌شناسی

۴ آدرس پست الکترونیک: karimpur@um.ac.ir، تلفن: ۰۵۱-۳۸۷۹۷۲۷۵، فاکس: ۰۵۱-۳۸۷۹۷۲۷۵

۵ تاریخ تنظیم: ۱۳۹۳/۶/۳۱

۶ چکیده

۷ کانسار سرب نخلک یکی از قدیمی‌ترین و بزرگترین معادن سرب ایران در ۵۵ کیلومتری شمال شرقشهر انارک قرار گرفته
۸ است. کانسار نخلک به صورت چینه‌کران و دیرزاد در سنگ میزبان کربناته کرتاسه بالایی دولومیتی شده جای‌گرفته است.
۹ ماده‌معدنی درونزاد شامل گالن و باریت بوده که در زون برونزاد با سروزیت همراه می‌شود. گالن به‌صورت درشت‌بلور و
۱۰ ریزبلور و با بافت جان‌شینی و پرکننده فضای خالی به فرم بلوری کوبواکتاه‌درال مشاهده می‌شود. ادخال کانی‌های مستقل
۱۱ مانند فاهلور (سری تترائدریت-تنانتیت)، اسفالریت، پیریت و کالکوپیریت با اندازه چند میکرون تا چند ده میکرون حضور
۱۲ داشته که تنوع و فراوانی ادخال‌ها متفاوت است. تجزیه گالن به روش ICP-MS حضور عناصر کمیاب مانند نقره (۹۳۲ ppm
۱۳)، آنتیموان (۳۴۲ ppm)، مس (۴۲۲ ppm) و آرسنیک (۹۱ ppm) را آشکار ساخته است که در میان آنها نقره از همه
۱۴ مهمتر است. مقادیر بسیار پایین Bi و فراوانی Sb و As و نیز نسبت بالای Sb/Bi نشان دهنده تشکیل گالن نخلک در دما
۱۵ و فشار پایین می‌باشد. آنالیز نقطه‌ای نشان می‌دهد عناصر کمیاب به صورت ادخال درون گالن متمرکز شده‌اند. بر اساس
۱۶ ویژگی‌های کانی گالن و دیگر خصوصیات زمین‌شناسی، مدل کانی‌سازی نوع دره می‌سی‌سی‌پی برای کانسار سرب نخلک
۱۷ پیشنهاد می‌گردد.

۱۸ **کلید واژه‌ها:** نخلک، گالن، کوبواکتاه‌درال، ادخال، ژئوشیمی، نقره.

مقدمه	۳۱
کانسار سرب نخلک به‌عنوان یکی از بزرگترین ذخایر سرب ایران، از دیر باز مورد استفاده و بهره برداری قرار گرفته است. در	۳۲
زمان ساسانیان توجه به ظروف نقره‌ای و صنعت نقره‌کاری، رونق معدنکاری را در پی داشته است. از آنجایی که ایرانیان،	۳۳
بیشتر نقره را همراه با کانسنگ سرب یافته بودند، کانسنگ‌های سرب نقره‌دار همچون کانسنگ کانسار نخلک مورد توجه	۳۴
ویژه قرار گرفته است [۲، ۱]. در این تحقیق خصوصیات بلور شناسی، کانی شناسی و ژئوشیمیایی گالن به عنوان کانه اصلی	۳۵
کانسار نخلک مورد بررسی قرار گرفته است. به‌طور کلی گالن‌های نقره‌دار هم از نظر ارزش اقتصادی و هم از نظر تحقیقاتی	۳۶
مورد توجه می‌باشند. عناصر اصلی موجود در گالن شامل Ag, Bi, Sb می‌باشد [۳]. به‌طور کلی گالن‌های نقره‌دار را می‌توان	۳۷
به دو گروه تقسیم نمود: (۱) مرتبط با زوج Ag-Sb؛ (۲) مرتبط با زوج Ag-Bi [۴]. عناصر فرعی و کمیاب موجود در گالن یا	۳۸
نتیجه جانیشینی و ایجاد محلول جامد (Solid Solution) و یا به دلیل حضور اذخال کانی‌های دیگر و یا ترکیبی از هر دو	۳۹
حالت می‌باشد [۵].	۴۰
جانیشینی نقره به جای سرب با وجود شباهت در شعاع یونی ($Pb^{2+}=1.20 \text{ \AA}$, $Ag^{+}=1.26 \text{ \AA}$)، با محدودیت مواجه است.	۴۱
برای غلبه بر محدودیت جانیشینی نقره حضور دو عنصر آنتیموان (Sb) و بیسموت (Bi)، نقش مهمی ایفا می‌نماید؛ به‌طوری	۴۲
که جانیشینی نقره به جای سرب همراه با عناصر آنتیموان و بیسموت ($Ag^{+}+(Sb, Bi)^{3+} = 2Pb^{2+}$)، بار و نسبت کاتیون به	۴۳
آنیون را به تعادل رسانیده و نقره می‌تواند تمرکز بیشتری در گالن داشته باشد [۶]. شکل دیگر تمرکز عناصر و بویژه نقره در	۴۴
گالن، حضور به‌صورت کانی‌های اذخاله شکل پراکنده و بی نظمی می‌باشد [۷]. مطالعات نشان می‌دهد که سولفیدهای نقره	۴۵
(مانند آرژنتیت) کمی درون گالن محلول بوده حال آنکه سولفوسالت‌ها (مانند سری تترادریت-تنانتیت) از حلالیت بیشتری	۴۶
برخوردار هستند [۳]. سولفوسالت‌ها به عنوان زیر گروهی از سولفیدها به‌عنوان مهمترین کانی‌های اولیه نقره‌دار در پوسته	۴۷
زمین شناخته شده‌اند [۸]. این کانی‌ها دارای ترکیب پیچیده‌ای هستند که شکل کلی آن به صورت زیر تعریف شده است:	۴۸
$(Me^{+} Me^{2+}, \text{ etc.})_x [(Bi, Sb, As)^{3+}, Te^{4+}]_y [(S, Se, Te)^{2-}]_z$	۴۹
در این تعریف Me و Me فلزات مختلف می‌باشند [۹]. از نظر کانی‌سازی سولفیدهای حاوی Bi در محدوده کانسارهای	۵۰
دمای بالای گرمایی، سولفیدهای حاوی Sb در محدوده دمای متوسط و کانسارهای حاوی As در محدوده کانسارهای دما	۵۱
پایین متبلور می‌شوند [۴، ۱۰].	۵۲
کانسار نخلک در فاصله ۱۲۰ کیلومتری شمال شرقنایین، ۵۵ کیلومتری شمال شرققارنار کودر استاناصفهانبا موقعیتجغرافیایطول ۵۰°۵۳	۵۳
شرقیوعرض ۳۴°۳۳ شمالیواقعهشدهاست. تاکنون مطالعاتی متفاوتی در مورد خصوصیات زمین شناسی و کانی‌سازی نخلک	۵۴
صورت پذیرفته که از آن جمله گزارش هولزر و قاسمی‌پور [۱۱]، شارپوسکی و همکاران [۱۲]، رمانکو و همکاران [۱۳]، رسا	۵۵
[۱۴] و جزئی و شهاب‌پور [۱۵] می‌باشد. گالن کانسار نخلک و نیز دیگر کانسارهای سرب و روی ایران، به عنوان بخش مهمی	۵۶
از ماده معدنی کمتر مورد توجه قرار گرفته و کمیود مطالعات بلورشناسی، کانی‌شناسی و ژئوشیمی در آن وجود دارد؛ چراکه	۵۷
که این مطالعات می‌تواند به درک بهتر زمین‌شناسی اقتصادی این کانسارها کمک نماید.	۵۸
روش مطالعه	۵۹

پس از بازدید از کلیه رگه‌های معدنی، نمونه‌های مختلف از سرتاسر کانسار جمع‌آوری گردید. نمونه‌های مناسب جهت تهیه	۶۰
مقاطع نازک (۸۰ عدد)، صیقلی (۵۲ عدد) و نازک صیقلی (۶ عدد) انتخاب و مطالعات به روی آن صورت پذیرفت. تعداد ۲۰	۶۱
نمونه آنالیز ICP-MS در آزمایشگاه ALS-Chemex کانادا از کانی گالن که به روش دستی و زیر میکروسکپ باینوکولار	۶۲
خالص سازی شده بود انجام گرفت. بر اساس مطالعات میکروسکوپی و نیز نتایج آنالیز عناصر فرعی و کمیاب، تعداد ۷ نمونه	۶۳
مقطع صیقلی جهت آنالیز میکروپروپ انتخاب گردید که در مجموع ۳۲ نقطه از این مقاطع در آزمایشگاه شرکت کانساران	۶۴
بینالود تهران آنالیز گردید. دستگاه مورد استفاده از نوع Horiba-XGT-7200 با ولتاژ [kV] ۵۰ بوده که قطر شعاع اشعه x آن	۶۵
۱۰ و ۱۰۰ میکرون بوده و حد تشخیص عناصر سدیم تا اورانیمدر آن ۰/۰۱٪ و یا به عبارتی بالاتر از ۱۰۰ قسمت در	۶۶
میلیون می‌باشد.	۶۷
زمین‌شناسی	۶۸
کانسارنخلک در حاشیه شرقی رشته کوه نخلک و در جنوب کویر مرکزی ایران قرار گرفته است. به لحاظ تقسیم‌بندی‌های	۶۹
زمین‌شناسی کوه نخلک در خرد قاره ایران مرکزی و در بلوک یزد قرار گرفته است. چینه‌شناسی کوه نخلک به ترتیب سن از	۷۰
قدیم به جدید شامل: سنگ‌های الترامافیک قبل از تریاس، واحدهای سنگی تریاس (گروه نخلک)، واحد سنگی کربناته	۷۱
کرتاسه بالایی (واحد صدر)، واحد تخریبی-کربناتی پالئوسن (واحد خالد) و دایک و استوک گرانیتی ائوسن می‌باشد	۷۲
[۱۶] (شکل ۱).	۷۳
واحد سنگ‌های کربناتی- آواری کرتاسه بالایی با ضخامت ۲۵۸ متر شامل کنگلومرا، آهک و دولومیت ماسه‌ای، ماسه‌سنگ	۷۴
آهکی، آهک ماسه‌ای-رسی و آهک ریفی بوده [۱۷] که در بردارنده ماده معدنی می‌باشد. با توجه به چینه‌شناسی کربناتی	۷۵
کرتاسه بالاییسنگ میزبان، دگرسانی دولومیتی شدید، کانی‌سازی غیرهمزاد و چینه‌کران، عدم ارتباط با فعالیت‌های آذرین و	۷۶
همچنین بافت‌های پرکننده فضای خالی، ویژگی‌های کانی‌شناسی و شواهد ژئوشیمیایی، مدل کانی‌سازی نوع دره	۷۷
می‌سی‌سی‌پی برای کانسار سرب نخلک پیشنهاد شده است [۱۵].	۷۸
بحث و بررسی	۷۹
کانی‌سازی	۸۰
کانی‌سازی در کوه نخلک بصورتچینه‌کران (Stratabound) و غیرهمزاد (Epigenetic) درون سنگ‌های کربناته کرتاسه	۸۱
بالایی رخ داده که کنترل‌کننده‌های اصلی در جایگیری ماده معدنی شامل: عوامل چینه‌شناسی، عوامل سنگ‌شناسی و عوامل	۸۲
ساختاری می‌باشد. ماده معدنی به شکل رگه‌هایی با شیب زیاد (۶۵ تا ۹۰ درجه به سمت شمال و جنوب) و با امتداد تقریباً	۸۳
شرقی-غربی (آزیموت ۸۰ تا ۹۵ درجه) تقریباً به موازات یکدیگر قرار گرفته اند. رگه‌های معدنی کوچک و بزرگ شناسایی	۸۴
شده، بیش از ۵۰ عدد بوده که ضخامتی از چند سانتیمتر تا چند متر داشته که طول آنها به ۴۰۰ متر نیز می‌رسد. فعالیت	۸۵
استخراجی زیرزمینی از گذشته در پنج طبقه (۵۰-، ۸۵-، ۱۲۵-، ۱۶۵- و ۲۰۰-) انجام شده ولی اکنون تنها طبقات ۱۶۵-	۸۶
و ۲۰۰- متری فعال است. معدنکاری بر اساس دو تونل شمالی- جنوبی بنا نهاده شده است که رگه‌های شرقی- غربی را	۸۷
قطع می‌کنند.	۸۸

- ۸۹ ورود سیالات کانه دار به درون سنگ میزبان باعث دگرسانی دولومیتی نسبتاً شدیدی در سنگ میزبان گردیده که با کانی
- ۹۰ سازی جانشینی و بافت انتشاری همراه شده اند. گالن‌های جانشینی به صورت بی‌شکل تا خودشکل جانشین کانی‌های کربناته
- ۹۱ شده است؛ با این وجود گاهی درون آنها ذرات ماسه کوارتزی دیده می‌شود که کانی گالن قادر به جانشین کردن آن نبوده
- ۹۲ است. پس از این مرحله، کانی‌سازی در مقیاس وسیع‌تر و درون فضای خالی و بصورت بافت برشی و قشری ادامه یافته است.
- ۹۳ گالن و باریت تشکیل دهنده‌های اصلی و اولیه ماده معدنی بوده که در زون سوپرژن کانی سروزیت به عنوان کانی ثانویه اصلی
- ۹۴ این دو کانی را همراهی می‌نماید. گالن در مرحله اول کانی‌سازی به صورت ریزبلور و نازک لایه بصورت قشری به روی تمامی
- ۹۵ برش‌ها و سطوح شکاف‌ها و فضاهای خالی حضور داشته که به دلیل کاهش ناگهانی دما و واکنش سریع سیالات کانسار ساز
- ۹۶ در اثر برخورد با سنگ میزبان نهشته شده است. دیگر کانی‌های اولیه، کمیاب بوده و تنها به صورت ادخال درون گالن حضور
- ۹۷ دارند که از آن جمله: پیریت، کالکوپیریت، اسفالریتو سولفوسالت می‌باشد. کانی‌های سوپرژن فرعی و کمیاب شامل: انگلیت،
- ۹۸ پلاتنریت (PbO_2)، مازیکوت (PbO)، ولفنیت ($PbMoO_4$)، کوولیت، مالاکیت، کالکانتیت، میمیت ($(AsO_4)_3Pb_5Cl$)،
- ۹۹ مینیوم (Pb_3O_4) و اکسیدهای آهن و منگنز می‌باشد. علاوه بر باریت، به مقدار کمتر کلسیت و دولومیت بعنوان کانی‌های
- ۱۰۰ باطله در کانسار حضور دارند.
- ۱۰۱ بررسی کامل‌ترین توالی‌های کانیایی در بافت‌های قشری نشان می‌دهد که گالن در ۳ برهه زمانی (Interval) و باریت در دو
- ۱۰۲ برهه زمانی تشکیل شده‌اند (شکل ۲). ایجاد این بافت به دلیل تغییرات فیزیکیوشیمیایی بصورت بازخوردی (Feedback) در
- ۱۰۳ هنگام رسوب‌گذاری بوده که حاصل آن تغییرات در ته نشست کانی‌ها می‌باشد. اصلی‌ترین عامل فیزیکیوشیمیایی
- ۱۰۴ تغییرات فوگاسیته اکسیژن (fO_2) بوده بطوری‌که با بالا بودن فوگاسیته اکسیژن کانی باریت تشکیل و در نتیجه اکسیژن مصرف
- ۱۰۵ می‌شود، پی‌آمد آن کاهش اکسیژن در سیال کانه‌دار و ایجاد محیط احیایی مناسب جهت تشکیل گالن است و این چرخه تا
- ۱۰۶ رسوب‌گذاری کامل سیال ادامه دارد [۱۸].
- ۱۰۷ **بلورشناسی گالن نخلک**
- ۱۰۸ گالن نخلک بصورت بی‌شکل تا شکل‌دار و از اندازه چند ده میکرون تا ۱۰ میلی‌متر تشکیل شده است. گالن‌های درشت بلور
- ۱۰۹ عمدتاً به صورت پرکننده فضای خالی و گالن‌های ریز بلور به شکل سیمان بین قطعات سنگ میزبان برشی حضور دارند.
- ۱۱۰ حضور سولفیدها در اندازه‌های ریز و درشت می‌تواند به سرعت متفاوت اختلاط سیالات کانسار ساز با هم نسبت داده
- ۱۱۱ شود [۱۹]؛ با این حال عواملی مانند فضای رشد و تعداد و سرعت هسته‌زایی نیز در اندازه بلورها موثر است. کانی گالن دارای
- ۱۱۲ سیستم بلوری کوبیک همانند هالیت (NaCl) می‌باشد. در یک بلور گالن دو سطح کوبیک $\{100\}a$ و نیز سطح اکتاهدرال
- ۱۱۳ $\{111\}o$ قابل توسعه یافتن است؛ در نتیجه بلورهای با مشخصات متفاوت و به فرم‌های کوبیک، اکتاهدرال و همچنین فرم
- ۱۱۴ های ترکیبی همانند کوبو-اکتاهدرال مشاهده می‌شود [۲۰].
- ۱۱۵ بلورهای گالن کانسار نخلک موجود در فضای خالی به دلیل بالا بودن شدت فرایندهای سوپرژن به سروزیت مبدل گشته‌اند
- ۱۱۶ و علاوه بر جستجوهای بلور گالن با سطوح بلوری کامل یافت نگردید؛ با این حال بلورهای گالن درون سنگ میزبان و نیز در
- ۱۱۷ زمینه باریت به شکل سالم وجود داشته که می‌توان شکل بلوری گالن را تصویرسازی نمود (شکل ۳). بررسی‌های
- ۱۱۸ بلورشناسی نشان می‌دهد که گالن معدن نخلک عمدتاً از نوع ترکیبی کوبیک-اکتاهدرال می‌باشد.

- ۱۱۹ بلورهای گالن کانسارهای نوع دره می‌سی‌سی‌پی منطقه ویبرنوم ترند (Viburnum Trend) واقع در میسوری آمریکا، به
- ۱۲۰ عنوان بزرگترین تولیدکننده سرب جهان، دارای هر دو فرم کوبیک و اکتاهدراول و نیز شکل‌های ترکیبی (کوبیک-اکتاهدراول)
- ۱۲۱ می‌باشند [۲۲، ۲۱]. نکته جالب در مورد فرم‌های بلورشناسی گالن این است که این فرم‌ها از نظر ترکیب شیمیایی تفاوت قابل
- ۱۲۲ توجهی با یکدیگر نشان می‌دهند. این نکته نشان می‌دهد فرم بلوری در گالن می‌تواند متأثر از برخی فاکتورها همچون دمای
- ۱۲۳ تشکیل و نیز ژئوشیمی محلول باشد. مهمترین عامل ژئوشیمیایی به حضور یا عدم حضور Bi نسبت داده می‌شود، بطوری‌که
- ۱۲۴ حضور Bi در گالن اکتاهدراول، به نقش مهم این عنصر در پایدار نمودن شبکه اکتاهدراول اشاره دارد [۲۰]. مقدار این عنصر در
- ۱۲۵ گالن نخلک همانگونه که در ادامه در قسمت ژئوشیمی بیان خواهد شد بسیار ناچیز می‌باشد.
- ۱۲۶ عامل اصلی در حضور این عنصر دما بوده بطوری‌که سولفیدهای حاوی Bi بالا در محدوده کانسارهای دمای بالای گرمایی
- ۱۲۷ قرار داشته که گالن‌های مرتبط با اسکارن و آتشفشانی از این نوع هستند [۴]؛ همچنین در کانسارهای نوع MVT تغییرات
- ۱۲۸ زیادی در محتوای Ag و Bi با فرم بلوری وجود نداشته که نشان می‌دهد، دیگر فاکتورها بویژه دما دارای اهمیت بالایی از
- ۱۲۹ نظر ایجاد فرم بلور خاص در گالن می‌باشند [۲۳]. مطالعات اخیر دماسنجی بر روی سیالات درگیر در کانسار نخلک نشان
- ۱۳۰ می‌دهد، دمای کانسار نخلک در محدوده کانسارهای نوع دره می‌سی‌سی‌پی قرار دارد. دمای تشکیل کانسارهای MVT بین
- ۱۳۱ ۵۰ تا ۲۵۰ درجه سانتیگراد بوده، با این حال اغلب دماها بین ۹۰ تا ۱۵۰ درجه سانتیگراد می‌باشد [۲۴]. همچنین از نظر
- ۱۳۲ رخ یا جداشدگی، دو نوع رخ یا جدایش اکتاهدراول و کوبیک در کانی گالن مشاهده می‌گردد. رخ یا جداشدگی برای گالن
- ۱۳۳ کانسار نخلک مطلقاً از نوع کوبیک بوده و اثری از رخ اکتاهدراول در آن دیده نمی‌شود (شکل ۴). والستروم [۲۵] رخ یا
- ۱۳۴ جداشدگی اکتاهدراول در گالن را در ارتباط با محتوای بیسموت آن می‌داند. جانشینی Bi به جای Pb در شبکه بلوری گالن
- ۱۳۵ باعث ایجاد پیچ و تاب در شبکه بلوری اکتاهدراول و کوبواکتاهدراول می‌شود که تفاوت در شعاع یونی Pb^{2+} و Bi^{3+} می‌تواند
- ۱۳۶ بعنوان عامل پیچ و تاب شبکه بلوری در نظر گرفته شود [۲۰].
- ۱۳۷ **کانی‌شناسی گالن نخلک**
- ۱۳۸ گالن مهم‌ترین کانه سولفیدی اولیه کانسار نخلک بوده که به لحاظ اهمیت، شرح کانی‌شناسی آن در دو محیط درون‌زاد
- ۱۳۹ (Hypogene) و برون‌زاد (Supergene) بررسی می‌گردد.
- ۱۴۰ **کانی‌شناسی درون‌زاد:** کانی گالن به تنهایی در حدود ۹۹ درصد از کانه‌های سولفیدی کانسار نخلک را شامل می‌شود. دیگر
- ۱۴۱ سولفیدها تنها به صورت ادخال و در مقیاس میکروسکوپی در گالن حضور داشته که از جمله مهمترین آنها کانی‌های
- ۱۴۲ اسفالریت، کالکوپیریت، پیریت و سولفوسالت (فاهلور) می‌باشند. با توجه به حالت منفرد و نیمه خودشکل‌کانی‌های پیریت،
- ۱۴۳ کالکوپیریت و اسفالریت، این کانی‌ها قبل از گالن زمینه تشکیل و به عبارت دیگر در گالن حبس شده‌اند. ادخال‌های
- ۱۴۴ سولفوسالت حالت‌های شبه میرمکیتی نشان می‌دهد که ناشی از تشکیل آنها به صورت اکسلوشن بوده است. حضور ادخال‌ها
- ۱۴۵ در تمامی نمونه‌ها یکسان نبوده و از نظر نوع ادخال، مقدار و اندازه با یکدیگر تفاوت‌هایی وجود دارد: بطوریکه در گالن
- ۱۴۶ مرحله اول نسبت به دو مرحله دیگر کمترین ادخال مشاهده می‌گردد. همچنین گالن‌های درشت بلور درون بافت قشری
- ۱۴۷ نسبت به گالن‌های ریز بلور درون بافت برشی معمولاً از ادخال‌های متنوع‌تر و با اندازه و فراوانی بیشتری برخوردار بوده که

- ۱۴۸ این تفاوت کانی‌شناسی، در ژئوشیمی این دو نوع گالن نیز تاثیرگذار بوده است (شکل ۵). اذخال‌ها در سطح گالن بدون نظم و
- ۱۴۹ بصورت پراکنده توزیع شده‌اند که شرح مختصری از برخی آنها در ادامه آورده شده است.
- ۱۵۰ اسفالریت: این کانی در اندازه بین چند میکرون تا حداکثر ۱۰۰ میکرون به صورت نیمه خود شکل حضور دارد. پراکندگی
- ۱۵۱ این کانی در تمامی رگه‌ها یکسان نبوده و در رگه‌های مانند رگه ۳۳ از فراوانی بیشتری برخوردار بوده که نتایج ژئوشیمی نیز
- ۱۵۲ این مطلب را تایید می‌کند (شکل ۵ الف، چ). پیریت: این کانی از جمله کانی‌های معمول در کانسارهای نوع MVT می‌باشد
- ۱۵۳ [۲۴]؛ با این وجود این کانی تنها بصورت اذخال‌های کمیاب در حد چند میکرون تا حداکثر ۱۰۰ میکرون و به صورت بی
- ۱۵۴ شکل درون گالن مشاهده می‌گردد (شکل ۵ ب، ت). کانسارهای نوع MVT بر اساس محتوای Fe به دو گروه آهن پایین و آهن
- ۱۵۵ بالا تقسیم شده که Fe آنها عمدتاً بصورت پیریت ظاهر می‌شود. از نظر ژنتیکی محتوای Fe در کانسارهای MVT با دمای
- ۱۵۶ تشکیل آن رابطه مستقیم دارد؛ بدین صورت که کانسارهای MVT با مقدار پایین پیریت نسبت به کانسارهای با پیریت بالا
- ۱۵۷ در دمای پایین تری تشکیل شده‌اند [۲۶]. کالکوپیریت: این کانی تنها به صورت اذخال‌های چند میکرون تا حداکثر ۵۰
- ۱۵۸ میکرون، به عنوان کانی حامل Cu با فاصله زیاد در رده پایین‌تر از کانی‌های سولفوسالت قرار می‌گیرد (شکل ۵ ب). از نظر
- ۱۵۹ حضور و فراوانی این کانی با سولفوسالت‌ها همبستگی نشان می‌دهد بطوریکه در نمونه‌های دارای اذخال سولفوسالت،
- ۱۶۰ کالکوپیریت نیز مشاهده می‌شود. فراوانی پایین کانی کالکوپیریت نسبت به کانی‌های سولفوسالت به عنوان حامل‌های مس
- ۱۶۱ احتمالاً به دلیل دمای پایین تشکیل کانسار می‌باشد. سولفوسالت (فاهلور): این کانی بصورت اذخال‌های خاکستری روشن به
- ۱۶۲ صورت بی شکل و با اندازه چند میکرون تا حداکثر ۵۰ میکرون مشاهده می‌شوند. این کانی بصورت پراکنده و نیز بصورت
- ۱۶۳ زنجیره‌وار و به دنبال هم و شبه می‌ریمکیتی در سطح گالن حضور دارند (شکل ۵ ب، پ، ت). با توجه به خصوصیات نوری و نیز
- ۱۶۴ کانی‌های ثانویه و ژئوشیمی کانی‌ها که در ادامه مورد بحث قرار می‌گیرد، این کانی‌ها به احتمال زیاد متعلق به سری
- ۱۶۵ تتراآندریت $(\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13})$ -تنانتیت $(\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13})$ می‌باشند. این کانی‌ها با نام فاهلور (Fahlore) نیز شناخته شده‌اند و
- ۱۶۶ دارای فرمول شیمیایی متغییر و نسبتاً پیچیده‌ای هستند [۲۷]. این کانی‌ها درون گالن‌های درشت بلور فراوانی بیشتری
- ۱۶۷ داشته و معمولاً در محیط برونزاد همراه با آنها کانی کولیت نیز مشاهده می‌شود که ناشی از فرآیند اکسایش می‌باشد. علاوه
- ۱۶۸ بر اذخال‌های سولفیدی ذکر شده، اذخال‌های خود شکل دولومیت نیز در گالن قابل مشاهده می‌باشد (شکل ۵ ج).
- ۱۶۹ کانی‌شناسی برونزاد: عوامل زیادی در ایجاد فرآیند سوپرژن در کانسارهای سرب و روی با سنگ میزبان رسوبی دخیل
- ۱۷۰ هستند، همانند: کانی‌شناسی اولیه، موقعیت سطح ایستایی و نوسانات آن، لیتولوژی سنگ میزبان، شیمی سیال و رژیم آب و
- ۱۷۱ هوایی. این عوامل مسئول تغییرات در Eh-pH و فشار موثر $\text{PO}_2, \text{PCO}_2, \text{PSO}_2$ روی زون کانی‌سازی می‌باشند [۲۸]. محیط
- ۱۷۲ سوپرژن در کانسار نخلک به دلیل شکستگی فراوان در سنگ‌های میزبان دارای سیستم باز و در تعادل با اتمسفر بوده و
- ۱۷۳ مقدار O_2 و CO_2 در آن مشابه اتمسفر است؛ همچنین به دلیل محیط گرم و خشک فعالیت بیولوژیک خاک در آن پایین
- ۱۷۴ بوده و pH متاثر از سنگ میزبان و ترکیب کانیایی می‌باشد. شرحی از این کانی‌ها در ادامه آورده شده است (شکل ۶).
- ۱۷۵ سروزیت: مهمترین کانی برونزاد سرب کانسار نخلک بوده که به دو شکل کاملاً متمایز رخ داده است: سروزیت ریز بلور که
- ۱۷۶ به صورت درجا جانشین گالن شده است و سروزیت درشت بلور به صورت پراکنده فضای خالی شکستگی‌ها و حفرات مشاهده می
- ۱۷۷ شود (شکل ۶ الف). در حالت میکروسکوپی سروزیت و به مقدار کمتر انگلریت با بافت‌های جانشینی همچون جانشینی

- ۱۷۸ خوردگی (Caries)، کناره ای (Boundary)، جانیشینی شبکه‌ای (Network replacement)، اسکلتی، جانیشینی در امتداد
- ۱۷۹ رخ (Cleavage replacement) و برجای مانده جانیشینی (Replacement relict texture) مشاهده می‌شود. در
- ۱۸۰ کانسارهای با سولفید آهن پایین، گالن می‌تواند به طور مستقیم به کربنات سرب اکسید شده و نیازی به فاز واسطه سولفات
- ۱۸۱ سرب ندارد. تاثیر سنگ میزبان کربناته و نیز مقدار بسیار پایین کانی‌های اسیدی کننده محیط سوپرژن مانند پیریت،
- ۱۸۲ کالکوپیریت، آرسنوپیریت و اسفالریت آهن‌دار در غالب بودن سروزیت در کانسار نخلک به خوبی قابل توجیه می‌باشد.
- ۱۸۳ انگلیزیت: حضور این کانی در کانسار نخلک نسبت به سروزیت بسیار ناچیز بوده که علت این کمبود به دو دلیل می‌باشد: ۱-
- ۱۸۴ حضور سنگ میزبان کربناته کانسار نخلک و ۲-پایین بودن مقدار پیریت درون ماده معدنی و سنگ میزبان. سنگ میزبان
- ۱۸۵ کربناته در فراهم نمودن یون کربنات نقش اساسی داشته و پایین بودن مقدار پیریت قادر به ایجاد محیط اسیدی نمی‌باشد.
- ۱۸۶ حضور سولفید آهن و اکسایش آن، محیط را اسیدی کرده و یون Fe^{3+} تولید می‌کند که در چنین محیطی ترجیحا انگلیزیت
- ۱۸۷ تشکیل می‌شود [۲۹]. پلاتنریت (PbO_2): در سطوح تونل‌ها و کانی‌سازی‌های سطحی عمدتا بصورت پوششی سیاه رنگ حضور
- ۱۸۸ دارد، با این حال بصورت کمیاب ریز بلور نیز مشاهده می‌شود. حضور کانی پلاتنریت به معنای محیط با اکسیداسیون بالا
- ۱۸۹ می‌باشد [۳۰]. مینیوم (Pb_3O_4): این کانی به رنگ نارنجی و با بافت‌های گل کلمی بصورت بسیار کمیاب یافت می‌شود (شکل ۶
- ۱۹۰ الف). این کانی در محیط کربناته امکان تشکیل ضعیفی دارد [۳۰]. ولفنیت ($PbMoO_4$): از جمله کانی‌های جالب و کمیاب
- ۱۹۱ در کانسار نخلک بوده که درون شکستگی‌ها و یا همراه با سروزیت مشاهده می‌شود (شکل ۶ ب). بعد از اکسیداسیون گالن،
- ۱۹۲ سرب و مولیبدن وارد محلول شده و بعد از مهاجرت به صورت سروزیت و ولفنیت ته نشین شده است. گلدشمیت [۳۱] در
- ۱۹۳ مورد حضور مولیبدن درون ساختار گالن تردید داشته و معتقد بود که این عنصر به صورت اذخالی‌های ریز مولیبدنیت درون
- ۱۹۴ کانی حضور داشته است. مهاجرت یون مولیبدات در مراحل آخر سوپرژن صورت می‌گیرد که توسط تشکیل ولفنیت درون
- ۱۹۵ فضای خالی به اثبات می‌رسد [۳۰]. این کانی در محیط سوپرژن به صورت زیر تشکیل می‌گردد [۳۲]:
- ۱۹۶
$$PbS + MoS_2 + 2H_2O + 7O_2 \longrightarrow PbMoO_4 + 3SO_4^{2-} + 4H^+$$
- ۱۹۷ در منطقه اکسیدی حامل اصلی مولیبدن کانی ولفنیت بوده و می‌تواند مقادیری از عناصر تنگستن، کروم، وانادیوم، مس
- ۱۹۸ و کلسیم را در ساختار خود نگه دارد [۳۳]. حضور این عناصر بصورت فرعی در ولفنیت نخلک به اثبات رسیده است [۳۴].
- ۱۹۹ کانی آرسنات‌دار مشاهده در محیط سوپرژن کانسار نخلک میمتیت ($Pb_5(AsO_4)_3Cl$) بوده که به رنگ سبز تا زرد متمایل
- ۲۰۰ به سبز رنگ مشاهده شده و منشا آرسنیک در آن از اذخالی‌های کانی تنانتیت درون گالن قابل تامین می‌باشد (شکل ۶ پ).
- ۲۰۱ کانی‌های کولیت (CuS)، مالاکیت ($Cu_2CO_3(OH)_2$) و کالکانتیت ($CuSO_4, Cu(OH)_2$) از جمله کانی‌های ثانویه مس‌دار
- ۲۰۲ بوده که مس‌انها از اذخالی‌های کالکوپیریت و تتراندیریت-تنانتیت درون گالن تامین می‌شود. مس خارج شده از ساختار
- ۲۰۳ سولفیدهای مس اولیه با سولفات موجود در محیط ترکیب شده و به صورت زیر تشکیل کولیت می‌دهد [۳۲] (شکل ۶ ت):
- ۲۰۴
$$PbS + CuSO_4 \longrightarrow CuS + PbSO_4$$
- ۲۰۵ در برخی از نمونه‌ها مجموعه‌ای از گالن در حال اکسایش همراه با کانی اذخالی اسفالریت غیر اکسید شده و پیریت اکسیده
- ۲۰۶ مشاهده می‌گردد (شکل ۷). این پدیده به دلیل فرایند جفت گالوانیک بوده که در کانیهای سولفیدی به هم چسبیده اتفاق
- ۲۰۷ می‌افتد. در فرایند جفت گالوانیک یک جریان الکترون بین دو سولفید برقرار شده و یک سولفید به صورت کاتد (دهنده
- ۲۰۸ الکترون) و سولفید دیگر به صورت آند (گیرنده الکترون) عمل می‌کند و در نتیجه تا مادامی که سولفید کاتدی در حال

اکسیداسیون حضور دارد و الکترون می‌دهد، سولفید آندی دست نخورده باقی خواهد ماند. هر سولفید دارای یک مقدار	۲۰۹
پتانسیل ساکن (Rest Potential) بوده و در یک زوج سولفیدی کانی با مقدار پتانسیل ساکن بالاتر میل کمتری به اکسید	۲۱۰
شدن دارند. مقدار این پتانسیل برای سولفیدهای گالن، پیریت و اسفالریت در جدول شماره (۱) آورده شده است. با توجه به	۲۱۱
این مقادیر در جفت‌های گالن-اسفالریت و گالن-پیریت، گالن به سبب پتانسیل کمتر میل به اکسید شدن دارد. در	۲۱۲
نمونه‌هایی از کانسار نخلک، گالن تحت اکسیداسیون به سروزیت و انگلزیت تبدیل شده در حالی که کانی اسفالریت به	۲۱۳
صورت دست نخورده باقی مانده است. با این حال این حالت در مورد ادخال های پیریت درون گالن نخلک مشاهده	۲۱۴
نمی‌شود. جریان گالوانیک بین کانی گالن و دیگر سولفیدها می‌تواند در اثر ایجاد سپر گالنی متوقف شود و در نتیجه	۲۱۵
سولفید مجاور گالن نیز اکسید شود، که این حالت در مورد جفت گالن-پیریت رخ داده است. پوششی از کانی‌های انگلزیت و	۲۱۶
در ادامه سروزیت به روی سطح گالن ایجاد می‌گردد که مانع از اکسیداسیون بیشتر گالن می‌شود که این ویژگی گالن به	۲۱۷
سپر گالن (Galena Armouring) معروف می‌باشد [۲۹]. همانطور که گفته شد حضور پیریت مهمترین نقش در تشکیل	۲۱۸
کانی انگلزیت را دارا بوده و در واقع با اعمال فرایند اکسیداسیون در ابتدا جریان گالوانیک بین پیریت و گالن برقرار شده، اما	۲۱۹
با پیشرفت فرایند، اکسیداسیون پیریت باعث بالا رفتن اسیدیته و نیز Fe^{3+} شده و در نتیجه کانی انگلزیت تشکیل شده که	۲۲۰
خود باعث توقف جریان گالوانیک می‌شود. توقف جریان گالوانیک باعث ادامه اکسید شدن پیریت خواهد شد. در این حالت	۲۲۱
به نمونه‌هایی با ادخال‌های پیریت در حال اکسیدشدن و اسفالریت دست نخورده برخورد خواهیم کرد (شکل ۷ الف، ب).	۲۲۲
ژئوشیمی گالن نخلک	۲۲۳
در زمان ته نشست ماده معدنی، عناصر کمیاب موجود در سیال کانه‌دار به صورت محلول جامد و یا بصورت ادخال کانی‌های	۲۲۴
مستقل به درون کانی میزبان وارد می‌شوند [۳۸]. کانی گالن معمولاً دارای مقادیری عناصر فرعی و کمیاب درون خود بوده	۲۲۵
که عنصر نقره به همراه آنتیموان و بیسموت از جمله مهمترین این عناصر به شمار می‌رود. کانسارهای نوع MVT	۲۲۶
کانی‌شناسی و ژئوشیمی ساده‌ای دارند؛ با این حال در برخی مناطق دارای پیچیدگی هستند. کانسارهای ویبرنیوم ترند	۲۲۷
(Viburnum Trend) یکی از پیچیده‌ترین آنها بوده و دارای تنوعی از سولفیدها و سولفوسالت‌های Ag, Fe, Ni, Co, Cu	۲۲۸
و Sb می‌باشند [۳۹]. آزمایشات ژئوشیمیایی (ICP-MS و XPMA) به روی کانی گالن نخلک نشان از تنوعی از عناصر	۲۲۹
فرعی چه بسا ارزشمند می‌باشد (جدول ۲). عنصر نقره مهمترین عنصر کمیاب درون گالن بوده چرا که بالاترین مقدار	۲۳۰
فراوانی را بین دیگر عناصر دارد و به لحاظ اقتصادی نیز محصول جانبی (By-Product) ارزشمندی به شمار می‌رود. یکی از	۲۳۱
مهمترین سوالات در مورد ژئوشیمی گالن نخلک چگونگی حضور نقره و دیگر عناصر کمیاب می‌باشد. به همین جهت	۲۳۲
گالن‌های مختلف تحت آنالیز نقطه‌ای قرار گرفتند (جدول ۲). نمونه‌ای از نتایج آنالیز ادخال‌ها در شکل (۸) آورده شده	۲۳۳
است. آنالیزهای نقطه‌ای نشان داد که گالن زمینه، از نظر عناصر کمیاب فقیر بوده، حال آنکه در آنالیز گالن کل به روش	۲۳۴
ICP-MS و نیز آنالیز نقطه‌ای ادخال‌ها، تنوعی از عناصر کمیاب مشاهده می‌شود. ترکیب نتایج مینرالوگرافی، آنالیز ICP-	۲۳۵
MS و نیز XPMA نشان می‌دهد که ارتباط کاملاً مستقیمی بین تنوع و فراوانی ادخال‌ها و ژئوشیمی کل گالن وجود دارد.	۲۳۶

گالن زمینه در آنالیزهای نقطه‌ای در تمامی نمونه‌ها ترکیبی تقریباً یکسان و فقیر از عناصر کمیاب‌شان می‌دهد. به عبارت	۲۳۷
دیگر شکل اصلی حضور عناصر کمیاب در گالن نخلک به صورت ادخال کانی‌های مستقل بوده و حضور بصورت محلول جامد	۲۳۸
از اهمیت کمتری برخوردار است.	۲۳۹
محتوای عناصر کمیاب درون گالن می‌تواند با ویژگی‌های ژنتیکی کانسار مرتبط بوده و اطلاعاتی پیرامون شرایط تشکیل	۲۴۰
ماده معدنی ارائه نماید. دو عنصر آنتیموان و بیسموت از عناصر اصلی جایگزین در گالن بوده که به عنوان نشانگر شرایط	۲۴۱
کانی‌سازی از آن استفاده می‌شود. به اعتقاد مالاخوف [۴] بیسموت در گالن مرتبط با کانسارهای مرتبط با اسکارن و تیپ	۲۴۲
آتشفشانی غنی بوده و با اعتقاد مارشال و جونسو [۲۳] آنتیموان به مقدار بالا در گالن کانسارهای دما پایین تمرکز می‌یابد.	۲۴۳
نسبت معرف Sb/Bi در گالن نشان دهنده شرایط تشکیل کانی‌سازی بوده؛ بطوریکه نسبت کمتر از ۰/۶ بیانگر شرایط دما و	۲۴۴
فشار بالا و نسبت بیش از ۶ تا ۱۳ نشان‌دهنده شرایط دما و فشار پایین می‌باشد [۴]. در گالن نخلک این نسبت (۳۴۲۶)	۲۴۵
بسیار بالا بوده و دلیل آن مقدار بسیار پایین بیسموت بوده که گالن نخلک‌ها نظر عناصر شاخص و نیز نسبت معرف Sb/Bi با	۲۴۶
چند نمونه گالن از تیپ‌های مختلف کانسارها مقایسه شده است (جدول ۳). در کانسارهای مرتبط با ماگماتیسیم بیسموت	۲۴۷
مقادیر بالایی دارد و برعکس با کاهش ارتباط با ماگماتیسیم مقادیر بیسموت کاهش می‌یابد. کانسار نخلک از نظر فراوانی	۲۴۸
عناصر و نسبت معرف شباهت زیادی به کانسارهای نوع دره می‌سی‌سی‌پی نشان می‌دهد.	۲۴۹
با توجه به فراوانی عناصر در گالن کل، نقره با آرسنیک همبستگی مثبت و بالا (۰/۷۲۵) و با مس همبستگی مثبت متوسط	۲۵۰
(۰/۶۵۷) دارد (شکل ۹). آرسنیک و مس به همراه آنتیموان عناصر سازنده کانی‌های سری تتراآندریت-تنانتیت می‌باشد. با	۲۵۱
توجه به اینکه نقره با آرسنیک همبستگی بیشتری نسبت به آنتیموان (۰/۳۵۵) نشان می‌دهد، احتمالاً نقره بیشتر در	۲۵۲
تنانتیت (Cu ₁₂ As ₄ S ₁₃)، تمرکز یافته است. آنتیموان گالن نخلک از چند نظر جالب توجه هست: (۱) حضور در آنالیز کل گالن	۲۵۳
(۳۴۲ ppm؛ ۲) عدم حضور در ادخال‌ها و (۳) همبستگی پایین بین آنتیموان و نقره. این شواهد می‌تواند بدین سبب باشد	۲۵۴
که آنتیموان به صورت محلول جامد و با تمرکز پایین در گالن زمینه پراکنده شده است. عدم شناسایی آنتیموان توسط	۲۵۵
آنالیز نقطه‌ای در گالن زمینه احتمالاً به دلیل پایین‌تر بودن فراوانی این عنصر از حد تشخیص روش آنالیزی بوده است. گالن	۲۵۶
نخلک از نظر اندازه به دو صورت درشت بلور و ریز بلور قابل مشاهده می‌باشد. نمودار مقایسه ترکیب ژئوشیمیایی‌میانگین این	۲۵۷
دو نوع گالن در شکل شماره (۱۰) آورده شده است. بطور کلی هماهنگی خوبی بین عناصر فرعی دو نوع گالن وجود داشته	۲۵۸
با این حال در گالن‌های درشت بلور عناصر کمیاب از فراوانی بالاتری برخوردار است. علت این تفاوت در ژئوشیمی گالن	۲۵۹
درشت و ریز بلور را می‌توان در مینرالوگرافی آنها جستجو کرد که بطور کلی گالن‌های درشت بلور نسبت به ریز بلور، فراوانی	۲۶۰
بیشتر ادخال و اندازه ادخال بزرگتری دارا می‌باشند.	۲۶۱
برداشت	۲۶۲
گالن مهم‌ترین کانه کانسار نخلک بوده و به تنهایی حدود ۹۹ درصد از ماده معدنی سولفیدی را تشکیل می‌دهد. این کانی از	۲۶۳
نظر خصوصیات بلورشناسی، کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی مورد بررسی قرار گرفته است. بلورشناسی گالن نخلک نشان می‌دهد	۲۶۴
این کانی عمدتاً به فرم کوبو-اکتاهدرال و با رخ یا جدادگی کوبیک بوده که نشان‌دهنده تشکیل در دمایی پایین است.	۲۶۵
مهمترین خصوصیت کانی‌شناسی کانسار نخلک علیرغم سادگی پاراژنزی، حضور ادخال‌های اسفالریت، پیریت، کالکوپیریت و	۲۶۶

۲۶۷ فاهلور (سری تتراندريت-تنانتيت) درون گالن می‌باشد. فراوانی و تنوع ادخال‌ها در تمامی نمونه‌ها یکسان نبوده و تغییرات
 ۲۶۸ نسبی نشان می‌دهد. گالن نخلک در مرحله پرکننده فضای خالی در سه فاصله زمانی ته نشست شده که فراوانی ادخال‌ها در
 ۲۶۹ گالن‌های متاخر بیشتر است. کانی گالن قادر است علاوه بر سازنده های اصلی خود (Pb, S)، عناصر دیگری همچون نقره،
 ۲۷۰ آنتیموان، بیسموت، آرسنیک، روی، کادمیوم، سلنیوم و مس را به صورت جزئی در خود جای دهد. نتایج آنالیزهای
 ۲۷۱ ژئوشیمیایی (گالن کل به روش ICP-MS و آنالیزهای نقطه‌ای به روش XPMA) نشان می‌دهد که عناصر مهمی مانند
 ۲۷۲ Ag, Sb, As و Cu در گالن نخلک حضور دارند. این عناصر فرعی عمدتاً به صورت ادخال کانی‌های مستقل و کمتر به صورت
 ۲۷۳ محلول جامد درون گالن حضور دارند؛ چراکه حضور این عناصر در آنالیز نقطه‌ای به اثبات رسیده و نیز بین فراوانی و نوع
 ۲۷۴ ادخال و ژئوشیمی کل گالن رابطه مستقیم مشاهده می‌شود. عنصر بیسموت در ژئوشیمی کل گالن مقدار بسیار پایینی (۰/۱
 ۲۷۵ ppm) بوده و در کانی‌های ادخال نیز این عنصر یافت نگردید، که این عدم حضور می‌تواند خود دلیلی بر عدم ارتباط با
 ۲۷۶ ماگماتیسم باشد. مقادیر بسیار پایین Bi و فراوانی Sb و As و نیز نسبت بالای Sb/Bi نشان دهنده تشکیل گالن نخلک در
 ۲۷۷ دما و فشار پایین می‌باشد. همبستگی بالای بین نقره با آرسنیک و نیز نقره با مس نشان از حضور این عناصر در یک کانی به
 ۲۷۸ صورت ادخال‌های فاهلور غنی از نقره می‌باشد. خصوصیات کانی‌شناسی گالن نخلک در دما و فشار پایین تشکیل و در رده
 ۲۷۹ کانسارهای نوع دره می‌سی‌سی‌پی قرار می‌گیرد.

۲۸۰ **قدردانی**

۲۸۱ این مقاله مربوط به طرح پژوهشی به شماره ۳/۲۲۷۳۴ مورخ ۱۳۹۱/۴/۱۳ در دانشگاه فردوسی مشهد می‌باشد.

۲۸۲ **مراجع**

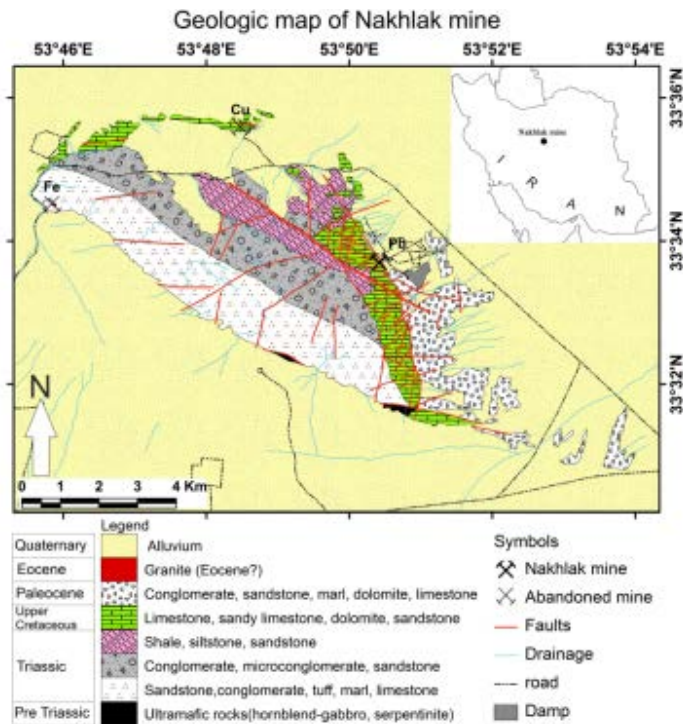
- [1] Hallier U. W., "Fort, Atashgah und Chahar Taq von Nakhlak. Überreste einer sasanidischen Bergbauansiedlung" AMI, N.F. 5 (1972) 285-307.
- [2] Harper P. O., Meyers P., "Silver Vessels of the Sasanian Period: Royal imagery", Metropolitan Museum of Art, published in association with Princeton University Press (1981) 256 p.
- [3] Vanhook H. j., "The ternary system $Ag_2S-Bi_2S_3-PbS$ ", Economic Geology 55 (1960) 759- 788.
- [4] Malakhov A. A., "Bismuth and antimony in galenas as indicators of some conditions of ore formation", Geochemistry International 7 (1968) 1055-1068.
- [5] Fjord E. E., Shawe D. S., "Pb-Bi-Ag-Cu-(Hg) chemistry of galena and some associated sulfosalts. A review and some new data from Colorado California and Pennsylvania", Canadian Mineralogist 27 (1989) 363- 382.
- [6] Sharp T. G., Buseck P. R., "The distribution of Ag and Sb in galena; inclusions versus solid solution", American Mineralogist 78 (1993). 85-95.
- [7] Hall W. E., Czamanske G, K., "Mineralogy and trace element content of the Wood River lead-silver deposits, Blaine County, Idaho", Economic Geology 67 (1977) 350- 361.
- [8] Wu L., Peterson U "Geochemistry of tetrahedrite and mineral zoning at Casapalca, Peru", Economic Geology 72 (1977) 993- 1016.
- [9] Mabelo Y., Makovicky E., Mozgova N. N., Jambor J. L., Cook N., Pring A., Paar W., Nickel E. H., Graeser S., Karup-Møller S., Balic-Žunic T., Mumme W. G., Vurro F., Topa D., Bindi L., Bente K., Shimizu M., "Sulfosalts systematics: a review. Report of the sulfosalts sub-committee of the IMA Commission on Ore Mineralogy", European Journal of Mineralogy 20 (2008) 7- 46.

- [10] Kärup-Møller S., "Mineralogy of some Ag-(Cu)-Pb-Bi sulphide associations", Bulletin of the Geological Society of Denmark 26 (1977) 41-68.
- [11] Hölzer H F., Ghassernipour R., "Geology of the Nakhlak lead mine area (Anarak district Central Iran)", Geological Survey of Iran (1969) 44 p.
- [12] Cherepovsky N., Plyaskin V., Zhitiner N., Kikorin V U., Susov M., Melnikov B., Aistov L., "Report on detailed geological prospecting in Anarak area (Central Iran) Nakhlak locality", Geological Survey of Iran and Technoexport Co.(USSR)14 (1982) 196 p.
- [13] Romanko E., Kokorin Y U., Krivyakin B., Sosov M., Morozov L., Sharkovski M., "Outline of metallogeny of Anarak area (Central Iran)", Technoexport Report 19 (1984) 143p.
- [14] Rása I., "Geologisch, Petrographische untersuchungen in der Blie_Lagerstaette Nakhlak", Zentraliran, Heidel. Geo. Abh Band 10 (1987) 191 p.
- [15] جزی م.ع.، شهاب‌پور ج.، "بررسی خصوصیات کانی‌شناسی، ساختی، بافتی و ژئوشیمیایی معدن سرب نخلک، صفهان"، مجله زمین‌شناسی اقتصادی، شماره ۲ (جلد سوم)، (۱۳۸۹) ص ۱۳۱-۱۵۱. ۳۱۴
- [16] Alavi M., Vaziri S.H., Seyed-Emami K., Lasemi Y., "The Triassic and associated rocks of the Nakhlak and Aghdarband areas in Central and Northeastern Iran as remnants of the Southern Tethyan continental margin", Geological Society of America Bulletin 109 No.12 (1997) 1563-1575. ۳۱۵
- [17] Vaziri S. H., Fursich F.T., Kohansal-ghadimvand N., "Facies analysis and depositional environments of the Upper Cretaceous Sadr unit in the Nakhlak area, Central Iran", Revista Mexicana de Ciencias Geológicas 29 (2012) 384-397.
- [18] Shahabpour J., "Feedback Concept in the Ore-forming Systems", Resource Geology 60 (1) (2010) 109-115.
- [19] Ghazban F., McNutt R. H., Schwarcz H. P., "Genesis of sediment-hosted Zn-Pb-Ba deposits in the Irankuh district, Esfahan Area, West-Central Iran", Economic Geology 89 (1994) 1262-1278.
- [20] Bonev I.k., "Crystal habit of Ag-, Sb- and Bi-bearing galena from the Pb-Zn ore deposits in the Rhodope Mountains", Geochemistry, Mineralogy and Petrology Sofia 45 (2007) 1-18.
- [21] Hagni R. D., "Origin of platy galena in the Viburnum Trend, southeast Missouri", GSA North-Central Section 47th Annual Meeting (2013).
- [22] Hagni R. D., Trancynger T. C., "Sequence of deposition of the ore minerals at the Magmont mine, Viburnum Trend, Southeast Missouri", Economic Geology 72 (1977) 451-464.
- [23] Marshal R.R., Joensuu O., "Crystal habit and trace element content of some galena", Economic Geology 56 (1961) 758-771.
- [24] Leach D. L., Sangster D.F., Kelley K. D., Large R.R., Garven G., Allen C. R., Gutzmer J., Walters S.S., "Sediment-Hosted lead-zinc deposits: A Global Perspective", Economic Geology, 100th Anniversary volume (2005) 501-607.
- [25] Wahlstrom E.E., "Octahedral parting on galena from Boulder County, Colorado", American Mineralogist 22 (1984) 906-911.
- [26] Marie J S., Kesler S E., "Iron-Rich and Iron-Poor Mississippi Valley-Type Mineralization, Mettle District, Washington", Economic Geology 95 (2000) 1091-1106.
- [27] Ramdohr p., "The Ore Minerals and their Intergrowths", Peragmon Press, 1207 p.
- [28] Jeffrey C. A., "Supergene processes in galena-replacement mineralization from the Longstone Edge vein system, Derbyshire", Proceedings of the Yorkshire geological society 53 (2001) 197-206.

- [29] Szczerba M., Sawlowicz Z., "Remarks on the origin of cerussite in the Upper Silesian Zn-Pb deposits, Poland", *Mineralogia* 40 (2009) 53-64.
- [30] Takahashi T., "Supergene alteration of Zinc and Lead deposits in limestone", *Economic Geology* 55 (1960) 1083-1115.
- [31] Goldschmidt V. M., "Geochemistry" Oxford University Press, London, (1954) 407p.
- [32] Guilbert J. M., Park Jr. C. F., "The Geology of Ore Deposits", Freeman and Company, New York (1997) 985 p.
- [33] Williams S. A., "The Significance of Habit and Morphology of Wulfenite", *The American Mineralogist* 51 (1966) 1212-1217.
- [۳۴] عمیقان ج.، علوی م.، "بررسی شیمیائی و کریستالین بطور طبیعی ولفینیت معدن نخلک انارک"، *مجله علوم دانشگاه تهران*، شماره ۳-۴ (۱۳۵۹) ص ۴۹-۵۳. ۳۵۴
- [35] Won K. J., "Direct acid leaching of zinc from marmatite ores", *Journal of the Korean Chemical Society* 11 (1) (1967) 38-43.
- [36] Karavaiko G. I., "Microbiological processes for the leaching of metals from ores, State-of-the-art Review". In A.E. Torma (Ed.), United Nations Environment Programme, USSR commission for UNEP Moscow, Center of International Projects, GKNKT. (1985) 62-69.
- [37] da Silva G., Lastra M. R., Budden J. R., "Electrochemical passivation of sphalerite during bacterial oxidation in the presence of galena", *Minerals Engineering* 16(3) (2003) 199-203.
- [38] Loftus-Hills G., Solomon M., "Cobalt, nickel and selenium in sulphides as indicators of genesis", *Mineralium Deposita* 2 (1967) 228-242.
- [39] Heyl A. V., "Geologic characteristics of three major Mississippi Valley districts", In: Kishvarsanyi G, Grant SK, Pratt WP, Koenig JW (eds.) International conference on Mississippi Valley-type lead-zinc deposits, proceedings volume. University of Missouri-Rolla Press, Rolla, (1983) 27-60.
- [40] Song X., "Minor elements and ore genesis of the Fankou lead-zinc deposit, China", *Mineralium Deposita* 19 (1984) 95-104.
- [41] Hall WE., Heyl A V., "Distribution of minor elements in ore and host rock, Illinois-Kentucky fluorspar district and Upper Mississippi Valley zinc-lead district", *Economic Geology* 63 (1968) 655-670.
- [42] Hagni R D., "Minor elements in Mississippi Valley-Type ore deposits. In: Shanks, W.C. (Ed.), *Cameron volume on unconventional mineral deposits*", American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, Society of Mining Engineers, New York (1983) 71- 88.
- [43] Hanczyk C., "Development of the Variscan mineral paragenesis in Poland", *Freiberger Forschungshefte, Reihe C: Geowissenschaften, Mineralogie-Geochemie* 354 (1979) 7-17
- [44] Enslie D P., Beukest G J., "Minor- and trace-element distribution in sphalerite and galena from the Otavi Mountainland, South West Africa", *Annals of the Geological Survey, Republic of South Africa* 15 (1981) 11-28.
- [45] Zakrzewski M A., "Members of the freibergite-argentotennantite series and associated minerals from Silvermines, County Tipperary, Ireland", *Mineralogical Magazine* 53 (1989) 293-298.
- [46] Ozamanske G. K., Hall W. E., "The Ag-Bi-Pb-Sb-S-Se-Te mineralogy of Darwin lead-silver zinc deposit, Southern California", *Economic Geology* 70 (1975) 1092-1110.

[47] Both R. A., "Minor element geochemistry of sulphide minerals in the Broken Hill lode (NSW) in relation to the origin of ore", Mineralium Deposita 8 (1973) 349-369.

Cu-Ag- [۴۸] کریم پور م. ح.، لاج ر. ر.، رزم آرا م.، پاتریک ر. ا. د.، "کانی‌های سولفوسالت بیسموت و پاراژنز آنها در کانسار	۳۸۸
Au غنی از اسپیکیولاریت قلعه‌زری (ایران)"، مجله بلور شناسی و کانی شناسی ایران، شماره ۲ (۱۳۸۴) ص ۴۱۷-۴۳۲.	۳۸۹
	۳۹۰
	۳۹۱
	۳۹۲
	۳۹۳
	۳۹۴
	۳۹۵
	۳۹۶
	۳۹۷
	۳۹۸
	۳۹۹
	۴۰۰
	۴۰۱
	۴۰۲
	۴۰۳
	۴۰۴
	۴۰۵
	۴۰۶
	۴۰۷
	۴۰۸
	۴۰۹
	۴۱۰
	۴۱۱
	۴۱۲
	۴۱۳
	۴۱۴
	۴۱۵
	۴۱۶
	۴۱۷
	۴۱۸
	۴۱۹
	۴۲۰
	۴۲۱

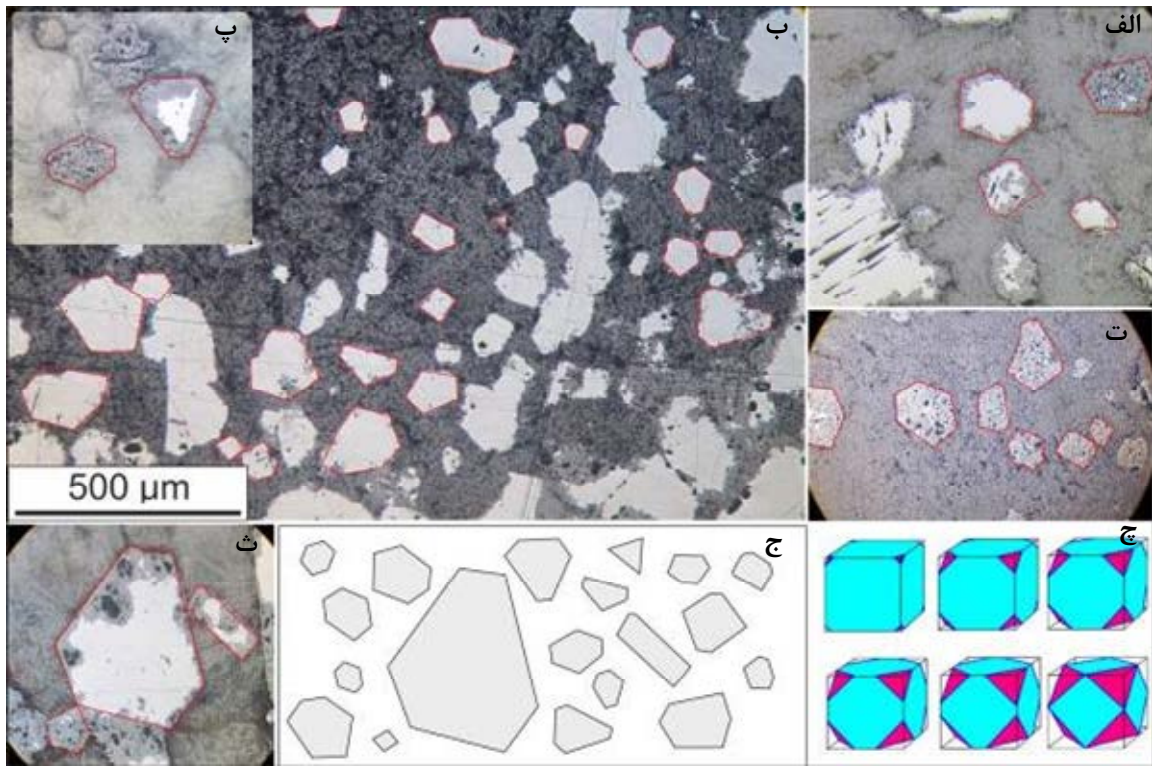


شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی کوه نخلک (با تغییرات از ۱۵)

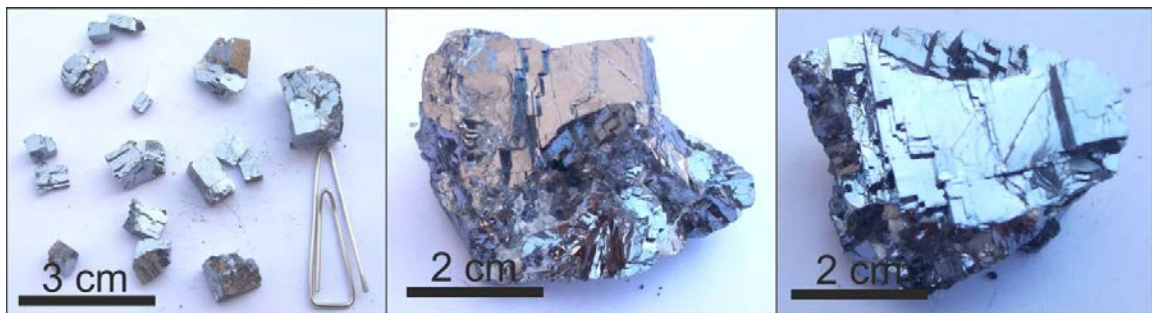
Minerals	Hypogene mineralization		Supergene mineralization
	Replacement	Open space filling	
Dolomite	—————	
Galena	◆◆◆◆◆	
Barite	◆◆◆	
Pyrite		
Sphalerite		
Calcocopyrite		
Fahlore		
Cerrusite			—————
Anglesite		
Covellite		
Malachite		
Mimetite		
Wulfenite		
Minium		
Plattnerite		

شکل ۲- توالی پاراژنزی کانی‌های اصلی و فرعی کانسار نخلک

۴۲۲
۴۲۳
۴۲۴
۴۲۵
۴۲۶
۴۲۷
۴۲۸
۴۲۹
۴۳۰
۴۳۱
۴۳۲
۴۳۳
۴۳۴
۴۳۵
۴۳۶
۴۳۷
۴۳۸
۴۳۹
۴۴۰
۴۴۱
۴۴۲
۴۴۳
۴۴۴
۴۴۵
۴۴۶
۴۴۷
۴۴۸
۴۴۹
۴۵۰
۴۵۱



شکل ۳- الف، ب، پ، ت، ث: حضور بلورهای گالن در زمینه باریت و در برش‌های مختلف که به ترتیب فراوانی دارای سطوح ۴، ۵، ۸، ۴ و ۳ ضلعی می‌باشد. ج: فرم ایده‌آل بلورهای گالن بصورت اشکال چند ضلعی. چ: فرم ایده‌آل کوبیک تا فرم کوبو-اکتاهدرال، که این فرم‌های بلوری به شکل چند ضلعی در برش‌هایی از گالن نخلک مشاهده می‌شود (مقیاس برای همه عکسها یکسان است).

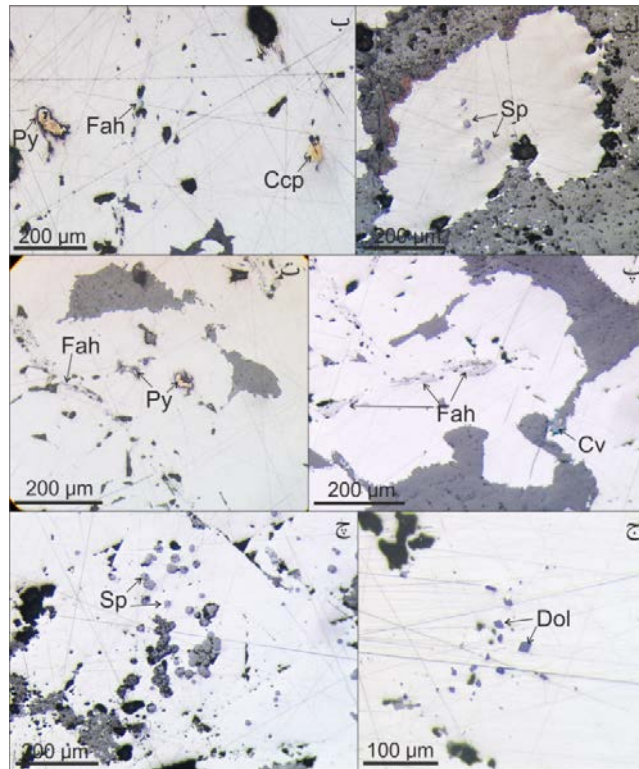


شکل ۴- انواع رخ و جداسدگی در کانی گالن نخلک که بصورت کاملا کوبیک می‌باشد.

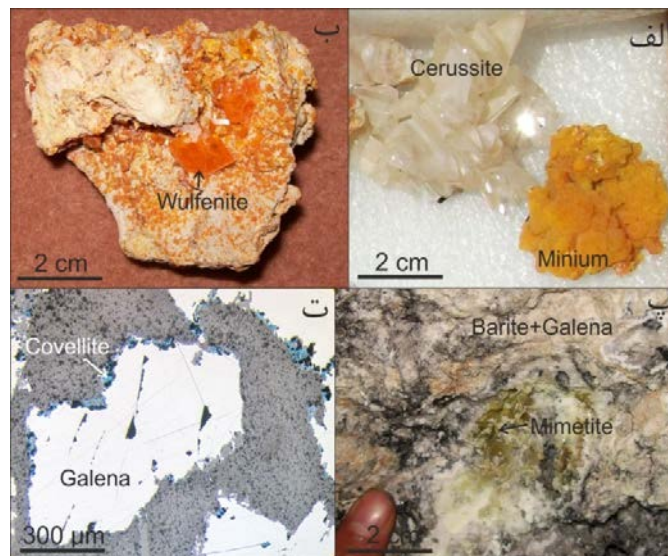
۴۵۲
۴۵۳
۴۵۴
۴۵۵
۴۵۶
۴۵۷
۴۵۸
۴۵۹
۴۶۰
۴۶۱
۴۶۲
۴۶۳
۴۶۴
۴۶۵
۴۶۶
۴۶۷
۴۶۸
۴۶۹
۴۷۰
۴۷۱

۴۷۲
۴۷۳
۴۷۴

۴۷۵
 ۴۷۶
 ۴۷۷
 ۴۷۸
 ۴۷۹
 ۴۸۰
 ۴۸۱
 ۴۸۲
 ۴۸۳
 ۴۸۴
 ۴۸۵
 ۴۸۶
 ۴۸۷
 ۴۸۸
 ۴۸۹
 ۴۹۰
 ۴۹۱
 ۴۹۲
 ۴۹۳
 ۴۹۴
 ۴۹۵
 ۴۹۶
 ۴۹۷
 ۴۹۸
 ۴۹۹
 ۵۰۰
 ۵۰۱
 ۵۰۲
 ۵۰۳



شکل ۵- کانی‌شناسی درون‌زاد نخلک، الف: ادخال اسفالریت در زمینه گالن؛ ب: ادخال پیریت، کالکوپیریت و فاهلور در زمینه گالن؛
 پ: ادخال فاهلور در حال تجزیه به کولیت؛ ت: ادخال پیریت و فاهلور در زمینه گالن؛ ج: ادخال خودشکل دولومیت درون گالن؛ چ:
 ادخال های گرد از اسفالریت درون گالن. (Sp: اسفالریت؛ Py: پیریت؛ Ccp: کالکوپیریت؛ Fah: فاهلور؛ Cv: کولیت؛ Dol: دولومیت).



۵۰۴

شکل ۶- کانی‌شناسی برون‌زاد نخلک. الف: نمونه‌های جداگانه تیپیک سروریت و مینیوم؛ ب: ولفنیت بلوری درون حفرات سنگ آهک میزبان؛ پ: پر شدگی حفره درون رگه بوسیله میمیتیت؛ ت: جانشینی کوولیت در اطراف بلور گالن.

۵۰۵

۵۰۶

۵۰۷

۵۰۸

۵۰۹

۵۱۰

۵۱۱

۵۱۲

۵۱۳

۵۱۴

۵۱۵

۵۱۶

۵۱۷

۵۱۸

۵۱۹

۵۲۰

۵۲۱

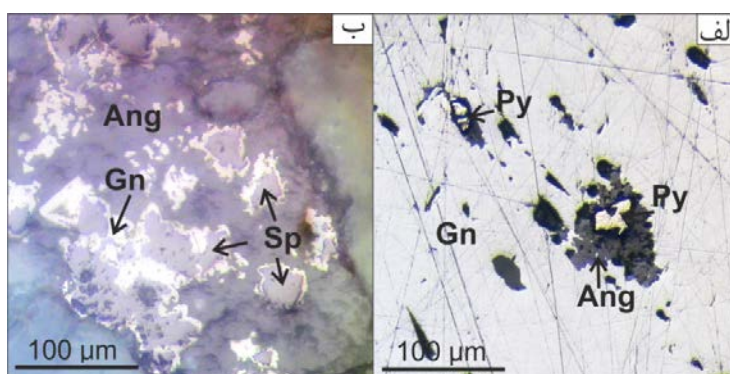
۵۲۲

۵۲۳

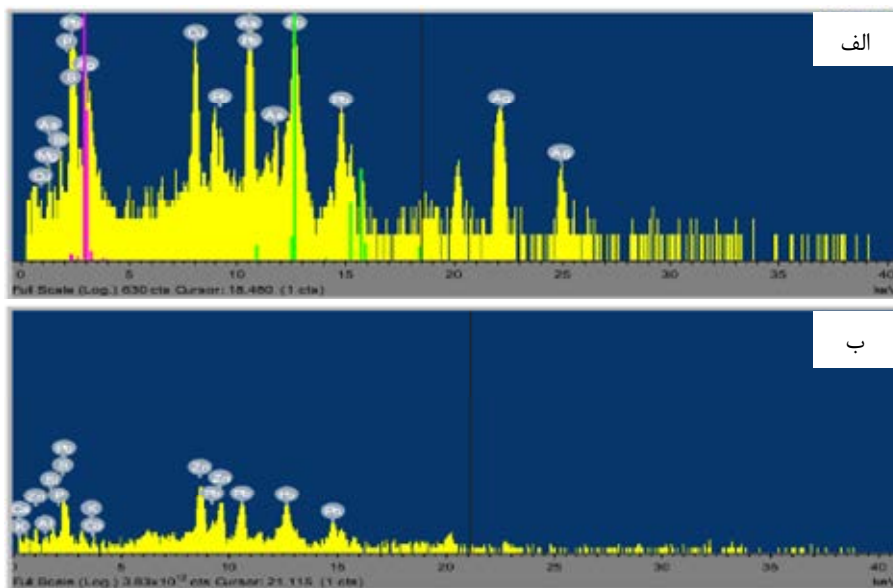
۵۲۴

۵۲۵

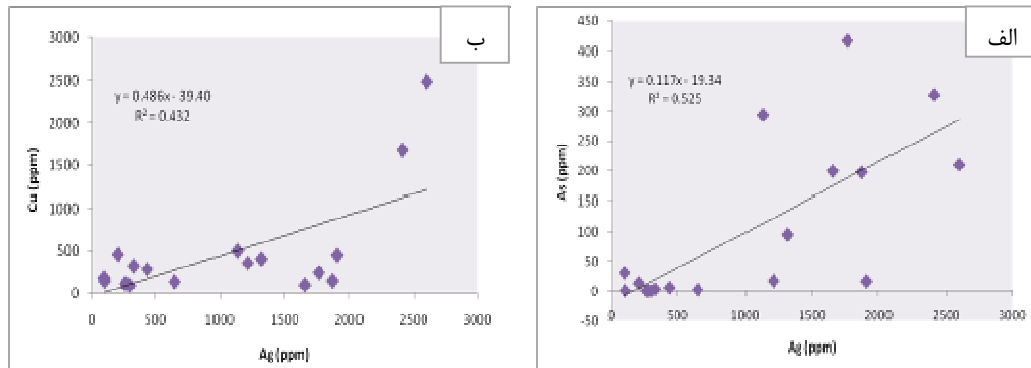
۵۲۶



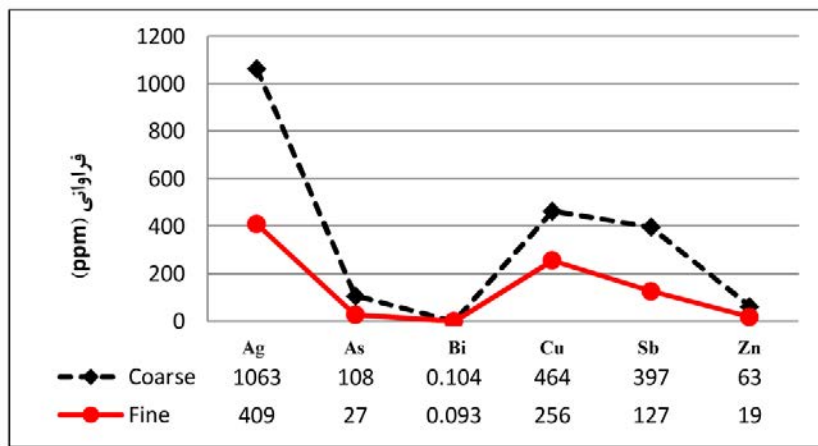
شکل ۷-تاثیر فرایند جفت گالوانیک. الف: قرارگیری ادخال پیریت در زمینه گالن و ایجاد کانی انگلزیت در مرز بین دو کانی؛ ب: قرارگیری ادخال های اسفالریت دست نخورده در زمینه گالن در حال اکسیداسیون شدید (Sp: اسفالریت؛ Py: پیریت؛ Ang: انگلزیت؛ Gn: گالن)



شکل ۸- نمودارهای آنالیز نقطه ای. الف: فاهلور؛ ب: اسفالریت.



شکل ۹- همبستگی بین زوج عناصر درون گالن کل. الف: نقره-آرسنیک؛ ب: نقره-مس.



شکل ۱۰- مقایسه مقدار میانگین فراوانی عناصر در گالن کل درشت و ریز بلور کانسار نخلک

جدول ۱- مقادیر پتانسیل ساکن برای سولفیدهای گالن، پیریت و اسفالریت [۲۵،۲۶،۲۷]

سولفید	Won [35]	Karavaiko [36]	Da Silva et al. [37]
پیریت	-	۰/۶۰	-
اسفالریت	~ ۰/۲	۰/۲۳	۰/۳۷۲
گالن	~ ۰/۱	-	۰/۳۲۵

۵۲۷

۵۲۸

۵۲۹

۵۳۰

۵۳۱

۵۳۲

۵۳۳

۵۳۴

۵۳۵

۵۳۶

۵۳۷

۵۳۸

۵۳۹

۵۴۰

۵۴۱

۵۴۲

۵۴۳

۵۴۴

۵۴۵

۵۴۶

۵۴۷

۵۴۸

۵۴۹

۵۵۰

۵۵۱

۵۵۲

۵۵۳

۵۵۴

۵۵۵

۵۵۶

۵۵۷

۵۵۸

۵۵۹

۵۶۰

۵۶۱

۵۶۲

۵۶۳

۵۶۴

جدول ۲- نتایج مینرالوگرافی و میانگین فراوانی عناصر مختلف گالن در رگه‌های نخلک بر اساس آنالیز ICP-MS و XPMA (خط تیره: اندازه‌گیری نشده، n.d: شناسایی نشده، ادخال‌های دارای علامت *مقداری گالن زمینه نیز وارد آنالیز شده است).

۵۶۵

۵۶۶

شماره رگ	شماره ICP	میانگین عناصر کمیاب در آنالیز گالن کل بر حسب (ppm)					مقاطع پایش	بافت ماده	کاتیون ها	فلوئیدی ادخال ها	اندازه ادخال ها (um)	عناصر در آنالیز نقطه ای بر حسب (%)					
		Ag	As	Bi	Cu	Sb						Zn	Ag	As	Bi	Cu	Fe
۵	M1	۴۳۵	۵۱۳	-/۰.۱۷	۲۹۰	۳۵۲	۱۳۷	V7A	گالن زمینه	گالن زمینه	۱-۳۰۰	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
	M2	۲۶۰	۰/۳	-/۰.۰۶	۱۱۶	۱۷۳	۱۷	V9A	فاهلور	متوسط	۱-۵۰	۲/۴	n.d	۶۰	n.d	n.d	
	M3	۳۷۵	۰/۴	-/۰.۰۶	۱۱۷	۴۳۷	۲	R25	اسفلاریت	کم	۱-۵۰	-	-	-	-	-	
	M4	۳۳۰	۳/۸	-/۰.۰۸	۳۳۷	۳۴۲	۴	R1	بیریت	کم	۱-۵۰	-	-	-	-	-	
	M18	۳۰۰	۰/۳	-/۰.۰۸	۹۵۷	۴۴۴	۸		بیریت	کم	۱-۵۰	-	-	-	-	-	
۱۲	M5	۸۰	۱/۳	-/۰.۰۴	۶۲	۲۹۶	۵۱	R9A	گالن زمینه	گالن زمینه	-	-	-	-	-	-	
	M6	۳۵	۰/۳	-/۰.۰۶	۸۸	۳۳۳	۳	R11	فاهلور	کم	۱-۵۰	-	-	-	-	-	
	M7	۱۳۱۵	۹۵/۲	-/۰.۰۶	۴۱۰	۲۸۹	۴۸۳۰	R12	اسفلاریت	متوسط تا زیاد	۱-۱۰۰	-	-	-	-	-	
	M8	۳۴۱۰	۳۲۸	-/۰.۰۶	۱۶۸۰	۲۵۳	۳۶۲		گالن زمینه	گالن زمینه	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	
۲۰	M9	۱۹۱۰	۱۶۲	-/۰.۱۳	۴۵۶	۲۱۱	۴۳	V3	فاهلور	بسیار زیاد	۱-۳۰۰	-	-	-	-	-	
	M10	۳۶۰۰	۲۱۰	-/۰.۲۲	۳۴۹۰	۱۸۵	۳۱	V11	اسفلاریت*	متوسط	۱-۱۰۰	n.d	n.d	n.d	n.d	۱۳/۱	
۲۱	M11	۱۱۳۰	۲۹۴	-/۰.۲۱	۵۰۸	۵۲۳	۱۵۳	V14C	اسفلاریت	کم	۱-۵۰	-	-	-	-	-	
	M12	۱۲۱۰	۱۶۹	-/۰.۲۶	۳۶۳	۸۲۴	۲	68	دولومیت	بسیار کم	۱-۵۰	-	-	-	-	-	
	M13	۱۶۶۰	۱۹۹	-/۰.۰۷	۱۰۳	۱۱۰۰	۱۵		گالن زمینه	گالن زمینه	۱-۳۰۰	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	
	M19	۱۸۷۵	۱۹۷	-/۰.۱	۱۵۲	۱۰۷۰	۲۴	103	فاهلور	بسیار زیاد	۱-۴۰۰	۱/۵	۱/۵	n.d	n.d	n.d	
	M20	۱۷۶۷	۴۱۷	-/۰.۰۹	۲۵۰	۸۴۸	۳۲	70	اسفلاریت	بسیار کم	۱-۵۰	-	-	-	-	-	
۲۶	M14	۶۵۰	۱/۹	-/۰.۰۴	۱۴۱	۱۶۹	۴	V17A	گالن زمینه	گالن زمینه	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	
	M15	۹۸	۳۰/۳	-/۰.۰۵	۱۸۵	۵۸۳	۴۴۲	V17B	فاهلور	کم تا متوسط	۱-۵۰	-	-	-	-	-	
۳۳	M16	۱۰۲	۰/۵	-/۰.۰۸	۱۵۲	۹۸۷	۲۶	R20	دولومیت	کم	۱-۵۰	-	-	-	-	-	
	M17	۲۰۵	۱۲/۹	-/۰.۲۱	۲۶۵	۱۵۴	۴۹	V6	گالن زمینه	گالن زمینه	۱-۲۰۰	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	
۳۴	M16	۱۰۲	۰/۵	-/۰.۰۸	۱۵۲	۹۸۷	۲۶	R19	اسفلاریت*	متوسط	۱-۲۰۰	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	
	M17	۲۰۵	۱۲/۹	-/۰.۲۱	۲۶۵	۱۵۴	۴۹	R17	فاهلور	کم	۱-۵۰	-	-	-	-	-	
۳۵	M16	۱۰۲	۰/۵	-/۰.۰۸	۱۵۲	۹۸۷	۲۶	R7	گالن زمینه	گالن زمینه	۱-۲۰۰	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	
	M17	۲۰۵	۱۲/۹	-/۰.۲۱	۲۶۵	۱۵۴	۴۹	R5	فاهلور*	کم تا متوسط	۱-۵۰	۱۴/۱۱	۲۳/۳	n.d	n.d	n.d	
میانگین عناصر		۹۲۳	۹۱	-/۰.۱	۴۲۲	۳۴۲	۲۹۶	R8	اسفلاریت	کم	۱-۵۰	-	-	-	-	-	
								R5A	بیریت	بسیار کم	۱-۵۰	-	-	-	-	-	

جدول ۳- مقدار میانگین عناصر نقره، آرسنیک، بیسموت و آنتیمون و نسبت Sb/Bi گالن (کل) نخلک و دیگر کانسارها.

نام كانسار	نوع كانسار	Ag(ppm)	As(ppm)	Bi(ppm)	Sb(ppm)	Sb/Bi	منبع
Nakhlak	MVT	٩٣٢/٣	٩١/٤	٠/١	٣٤٢/٦	٣٤٢٦	
Fankou	MVT	١٦٤٠	٥٠٠	١٢٠	١٢١٠	١٠/٠.٨	٤٠
Illinois-Kentucky	MVT	١٤٩	٢٣٤	١٣٩	٨١٣	٥/٨	٤١
Missouri SE	MVT	٨٥	٣٤٠	٥٠	١٧١	٣/٤	٤١
Wisconsin- Illinois	MVT	١٥/٧	-	١	٢٨٣	٢٨٣	٤١
Tri- State	MVT	١١/٢	-	٥٢	٤٩	٠/٩	٤٢
Silesia	MVT	١٧٣	٦٠٩	١٠	٢١٣	٢١/٣	٤٣
Berg Aukas	MVT	٥٢١	-	-	٢٢٠		٤٤
Abenab	MVT	٣٢٠	-	-	١٨١		٤٤
Silver mines	Irish type	٥٠٠	-	-	٨٠٠		٤٥
Darwin	Sedex	١٨٨٥٥	-	٤٤٤٥٦	٤٦٤	٠/٠.١	٤٦
British Island	Syngenetic galena	١٠	-	٠/٠٠٠١	٨	٨٠٠٠٠	٤٠
Broken Hill	Metamorphosed Sedimentary	٦١٨	-	١٣٥	١٠١٠	٧/٣	٤٧
Shuikoushan, China	Skarn- hydrothermal	١٠٧٦	٢٧٢	٨٦٠	١٥٨٠	١/٨	٤٠
Qaleh Zari	IOCG	٢٣٩٢٥	-	٣١٣٥٠	-	-	٤٨

- ٥٧٠
- ٥٧١
- ٥٧٢
- ٥٧٣
- ٥٧٤
- ٥٧٥
- ٥٧٦
- ٥٧٧
- ٥٧٨
- ٥٧٩
- ٥٨٠
- ٥٨١
- ٥٨٢
- ٥٨٣
- ٥٨٤

Crystallography, mineralogy and geochemistry of galena, Nakhlak lead deposit (Isfahan)

۰۸۶

۰۸۷

۰۸۸

۰۸۹

۰۹۰

M.A. Jazi, M.H. Karimpour*, A. Malekzadeh

Department of geology, Ferdowsi University of Mashhad

Email: karimpur@um.ac.ir

(22/9/2014)

Abstract

Nakhlak lead deposit, one of the oldest and largest Iranian lead mines, is located in 55 Km from the northeast of Anarak town. Nakhlak deposit occurs as stratabound and epigenetic in Upper Cretaceous dolomitic carbonate host rocks. The hypogene ore deposits include galena and barite that are associated in supergene zone with cerussite. Galena occurs as coarse and fine grains with replacement and open space filling texture and Cuboctahedral form. Inclusions of independent minerals such as fahlore (Tennantite-Tetrahedrite Series), sphalerite, pyrite and chalcopyrite are present within galena with wide diversity in size and type for different veins. ICP-MS Analysis of galena indicates presence of valuable trace elements such as silver (932 ppm), antimony (342 ppm), copper (422 ppm), arsenic (91 ppm), among which silver is the most important. Low values of Bi and high values of Sb as well as high ratio of Sb/Bi represent that the Nakhlak galena formed in low temperature - pressure conditions. XPM analysis indicates that these trace elements are concentrated as inclusions in galena. According to the characteristics of the galena and other geological features, Mississippi Valley-type model is proposed for Nakhlak lead deposit.

Keywords: *Nakhlak, Galena, Cuboctahedral, Inclusion, Geochemistry, Silver.*