

## بررسی خصوصیات کانی‌شناسی، ساختی، بافتی و ژئوشیمیایی معدن سرب نخلک، اصفهان

محمدعلی جزی<sup>۱</sup>، جمشید شهاب‌پور<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی

۲- گروه زمین‌شناسی، دانشگاه شهید باهنر، کرمان

دریافت مقاله: ۱۳۸۸/۸/۱۱، نسخه نهایی: ۱۳۸۹/۲/۱۸

### چکیده

معدن سرب نخلک در ۵۵ کیلومتری شمال‌شرق انارک و در امتداد رشته‌کوهی منفرد موسوم به کوه نخلک واقع شده است. کانی‌شناسی ماده معدنی ساده بوده و گالن و باریت، کانیهای اصلی و اولیه را تشکیل می‌دهند و سرروزیت کانی اقتصادی ثانویه پس از گالن می‌باشد. کانیهای اسفالریت، کالکوپیریت، پیریت، تترائدریت-تاننتیت و آکانتیت از دیگر کانیهای اولیه‌اند که به‌صورت ادخالهای کمیابی درون گالن حضور دارند. علاوه بر سرروزیت، دیگر کانیهای ثانویه عبارتند از: انگلزیت، پلاتنریت، ولفنیت، مالاکیت و غیره. سنگ میزبان در اثر فرآیند دولومیتی شدن به دولوستون تبدیل شده است. چهار نوع دولومیت در سنگ میزبان تشخیص داده شده‌اند که شناخته‌شده که شناخته‌شده‌ترین آنها دولومیت‌های نوع زین‌اسبی است. بافت‌های متنوعی از جمله بافت‌های برشی، کوکاد، نواربندی قشری و کلوفرمد در رگ‌های کانسار وجود دارد که این بافت‌ها از نوع بافت‌های پرکننده فضای خالی هستند. آزمایش نمونه‌های گالن نخلک نشان داد که تعدادی از عناصر کمیاب ارزشمند درون این کانی تمرکز یافته‌اند که مهم‌ترین آنها نقره است. جفت عناصر Zn-Cd، Ag-As، As-Cu و As-Sb دارای همبستگی بالایی نسبت به یکدیگر می‌باشند. برخی از همبستگیها به سبب حضور ادخال کانیهای بیگانه درون گالن است. نمودار سه‌تایی Ag-Sb-Bi نشان می‌دهد که گالن نخلک غنی از نقره و آنتیموان و فقیر از بیسموت می‌باشد. نسبت Sb/Bi (۳۷۷۳) در گالن، شرایط تشکیل در دمای پایین را نشان می‌دهد. با توجه به چینه‌شناسی کربناتی کرتاسه بالایی، دگرسانی دولومیتی سنگ میزبان، کانسارسازی دیرزاد و لایه‌کران، عدم ارتباط با فعالیت‌های آذرین و همچنین بافت‌های پرکننده فضای خالی، ویژگیهای کانی‌شناسی و شواهد ژئوشیمیایی، مدل کانسارسازی نوع دره می‌سی‌سی‌پی برای کانسار سرب نخلک پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: نخلک، گالن، پرکننده فضای خالی، عناصر کمیاب، نوع دره می‌سی‌سی‌پی.

## مقدمه

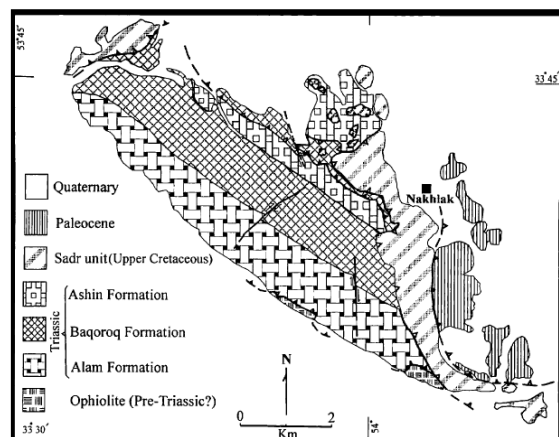
به این دوره (سازند شتری)، با جنس دولومیت کاملاً متفاوت است. با توجه به تشابهات سنگهای گروه نخلک با سازند آق‌دربند در کپه‌داغ نظریاتی مبنی بر چرخش ۱۳۵ درجه‌ای ایران مرکزی در جهت عکس عقربه‌های ساعت مطرح شده است [۲]. سنگهای کرتاسه بالایی (واحد صدر)، سنگ میزبان اصلی کانسار نخلک را تشکیل می‌دهند که با مرز دگرشیب بر روی گروه نخلک قرار دارند [۳، ۴، ۵]، البته این مرز به صورت راندگی نیز در نظر گرفته شده است [۱، ۲] (شکل ۲).

جنس سنگهای کرتاسه بالایی عمدتاً کربناته است که با رخساره کم‌عمق و گاهی نزدیک به ریف با ضخامت ۲۵۸ متر رخنمون دارند [۴]. به طور کلی جنس این سنگها شامل: آهک، ماسه آهکی، آهک ماسه ای و دولومیت می‌باشد. جوانترین واحد سنگی در کوه نخلک واحد خالد است که با سن پالئوسن که با مرز گسله در کنار سنگهای کرتاسه بالایی جای گرفته است. سنگهای پالئوسن در کوه نخلک عمدتاً شامل رسوبات تخریبی دانه درشت است. ضخامت این سنگها با رخساره کنگلومرایی زیرین (۶۰ متر زیرین) و سنگ آهک بالایی تا ۲۰۰ متر گزارش شده است [۶]. کانسار سازی در کوه نخلک به صورت لایه‌کران و ناهمشیب در سنگهای کرتاسه بالایی جای گرفته است. هدف از این تحقیق بررسی خاصیت کانسار نخلک بر اساس شواهد کانی‌شناسی، ساخت و بافت و ژئوشیمی کانسار می‌باشد.

معدن سرب نخلک از جمله معادن بزرگ و کهن زیرزمینی ایران به شمار می‌رود. این معدن در فاصله ۱۲۰ کیلومتری شمال شرق شهر نائین، ۵۵ کیلومتری شمال شرق شهر انارک و با مختصات جغرافیایی طول ۵۰°، ۵۳° شرقی و عرض ۳۴°، ۳۳° شمالی در استان اصفهان واقع شده است. معدن نخلک در حاشیه شرقی یک رشته کوه منفرد به نام کوه نخلک جای گرفته است. کوه نخلک از نظر ساختاری در خرده قاره ایران مرکزی و در بلوک یزد قرار دارد. واحدهای سنگی سازنده کوه نخلک از قدیم به جدید عبارتند از: سنگهای اولترامافیک، سنگهای تریاس (گروه نخلک)، سنگهای کرتاسه بالایی (واحد صدر) و سنگهای پالئوسن (واحد خالد) (شکل ۱). سنگهای الترامافیک در کوه نخلک به صورت دو عدسی کوچک (کمتر از ۱ کیلومتر)، در قسمت جنوبی قرار دارند و به طور کلی از سرپانتینیت، پریدوتیت سرپانتینی و گابرو تشکیل یافته‌اند. تعیین سن دقیق این سنگها صورت نگرفته است؛ ولی به واسطه قرارگیری این سنگها در زیر واحد تریاس، سن این سنگها به قبل از تریاس نسبت داده شده است [۱]. سنگهای تریاس یا گروه نخلک با مرز راندگی به روی سنگهای اولترامافیک قرار گرفته‌اند و با ضخامت ۲۷۰۱ متر به صورت ناودیسی نامتقارن، قسمت اعظم کوه نخلک را تشکیل می‌دهند. گروه نخلک شامل سه سازند علم، باقروق و عشین است که جنس این سازندها به طور کلی شامل شیل، ماسه سنگ و کنگلومرا می‌شود. جنس سنگهای تریاس نخلک با دیگر سنگهای مربوط



شکل ۲. قرارگیری سنگهای کرتاسه بر روی سنگهای تریاس.



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی کوه نخلک (برگرفته از علوی و همکاران (۱۹۹۷)).

## روش مطالعه

پس از انجام مطالعات کتابخانه‌ای بازدید از معدن و عملیات نمونه‌برداری طی چند مرحله صورت گرفت. در مجموع بیش از ۱۰۰ نمونه از ماده معدنی و سنگ میزبان به صورت تصادفی انتخاب گردید. از نمونه‌های برداشت شده در حدود ۸۰ مقطع نازک و صیقلی تهیه و مطالعه گردید. تعداد ۱۰ عدد نمونه از ماده معدنی و سنگ میزبان به روش XRD در آزمایشگاه زمین‌شناسی دانشگاه شهید باهنر کرمان مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به این‌که معدن نخلک یک معدن سرب می‌باشد و کانی گالن تشکیل‌دهنده اصلی ماده معدنی است، کانی گالن جهت بررسی‌های ژئوشیمیایی انتخاب گردید. با توجه به پایین بودن مقادیر عناصر در کانی گالن، روش تجزیه ICP-MS به عنوان روش مناسب انتخاب و عمل تجزیه نمونه‌ها در آزمایشگاه ALS-Chemex کانادا صورت گرفت. برای به دست آوردن نمونه‌های تا حد امکان خالص گالن جهت آنالیز، بدین صورت عمل شد که پس از مطالعه مقدماتی مقاطع صیقلی ۱۸ نمونه مناسب انتخاب گردید که ۲ عدد از آنها تکراری بودند. نمونه‌های انتخاب شده در هاون سرامیکی عاری از هرگونه آلودگی خرد گردید و سپس توسط الک‌هایی با مش‌های به ترتیب ۶، ۱۲، ۱۶، ۱۸ و ۲۰ به اندازه‌های مختلف تفکیک گردید. در نهایت از نمونه‌های با اندازه ۱/۶۸ تا ۱/۱۳ میلی‌متر (بین الک ۱۲ و ۱۶) و نیز ۱/۱۳ تا ۱ میلی‌متر (بین الک ۱۶ و ۱۸)، برای جداسازی نمونه‌های خالص گالن در زیر میکروسکوپ دوچشمی (Binocular Microscope)، استفاده گردید. پس از دریافت نتایج حاصل از روش تجزیه ICP-MS، مقدار نقره در گالن خالص شده نخلک به روش جذب اتمی نیز مورد تجزیه قرار گرفت. تجزیه جذب اتمی برای عنصر نقره در مجتمع پژوهش‌های کاربردی سازمان زمین‌شناسی و برای ۱۸ نمونه انجام گردید.

## بحث و بررسی

## ۱) کانی‌شناسی

کانی‌شناسی کانسار نخلک ساده بوده و گالن و باریت کانیهای اصلی و اولیه و سروریت کانی ثانویه اقتصادی پس از گالن است. کانیهای فرعی و کمیاب اولیه عبارتند از: اسفالریت، پیریت،

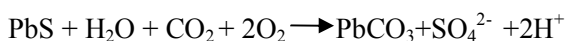
کالکوپیریت، تتراندريت (Cu<sub>12</sub>Sb<sub>4</sub>S<sub>13</sub>) - تنانتیت (Cu<sub>12</sub>As<sub>4</sub>S<sub>13</sub>) و آکانتیت (Ag<sub>2</sub>S). این کانیها عمدتاً به صورت ادخال درون گالن حضور دارند و هیچ‌کدام در مقیاس ماکروسکوپی قابل مشاهده نیستند. علاوه بر سروریت، کانیهای فرعی و کمیاب ثانویه عبارتند از: انگلریت، پلاتنریت (PbO<sub>2</sub>)، مازیکوت (PbO)، ولفنیت (PbMoO<sub>4</sub>)، کوولیت، مالاکیت، کالکانتیت، میمیت (Pb<sub>5</sub>(AsO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>Cl)، مینیوم (Pb<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) و اکسیدهای آهن و منگنز. علاوه بر باریت، به مقدار کمتر کلسیت و دولومیت به عنوان کانیهای باطله در کانسار حضور دارند.

در ادامه شرح مختصری از برخی کانیها و نحوه رخداد آن آورده شده‌است.

**گالن:** کانی اصلی و اولیه در کانسار نخلک است که به صورت درشت بلور درون شکافها و رگه‌ها و ریز بلور به صورت پراکنده فضای خالی بین قطعات برش حضور دارد. رخداد سولفیدها در اندازه‌های ریز و درشت می‌تواند به سرعت متفاوت اختلاط سیالات کانسارساز با هم نسبت داده شود [۷]. از نظر توالی کانسارسازی، گالن مقدم بر هرگونه کانه‌سازی دیگر است؛ به طوری که این کانی به شکل ریز بلور و نازک لایه به‌صورت قشری به روی تمامی برشها و سطوح شکافها و فضاهای خالی حضور دارد. این حالت از کانی‌سازی به دلیل کاهش ناگهانی دما و واکنش سریع سیالات کانسار ساز در اثر برخورد با سنگ میزبان ایجاد شده‌است و این بافت خاص کانسارهای با بافت پراکنده فضای خالی است [۸] (شکل ۳). شکل بلورهای گالن مکعبی و اندازه آن بین ۱۵/ تا ۲ میلی‌متر و به ندرت ۱۰ میلی‌متر متغیر است. بلورهای مکعبی گالن، خاص کانسارهای دما پایین بوده و معمولاً غنی از آنتیموان و فقیر از بیسموت می‌باشد [۹]، که در نمونه‌های گالن نخلک، غنی بودن از آنتیموان و فقیر بودن از بیسموت توسط آنالیزهای انجام شده مورد تأیید قرار گرفت.

اسفالریت، پیریت و کالکوپیریت: این کانیها ندرتاً به صورت ادخالهایی با اندازه چند میکرون تا حداکثر ۱۰۰ میکرون به صورت بی‌شکل تا نیمه خودشکل درون گالن پراکنده شده‌اند. ادخالهای پیریت و کالکوپیریت معمولاً اکسید شده‌اند و به صورت اکسیدهای آهن و کوولیت درآمده‌اند (شکل ۴).

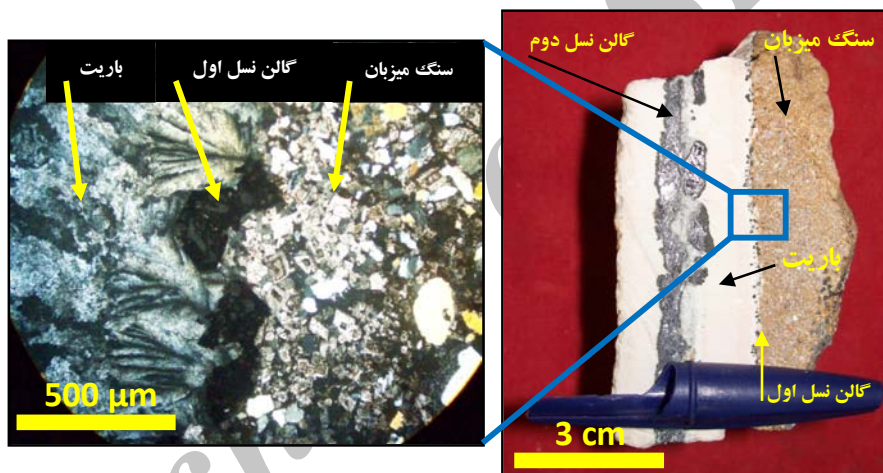
سروزیت است (شکل ۶). با توجه به سنگ میزبان کربناته و در نتیجه حضور کربنات در محیط، فراوانی مطلق این کانی نسبت به دیگر کانیهای ثانویه سرب قابل توجهیه است. فرآیند زیر را می‌توان برای تشکیل سروزیت ارائه کرد [۸]:



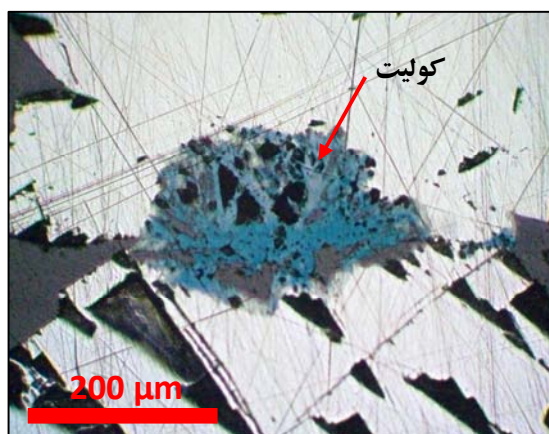
در مقیاس ماکروسکوپی، سروزیت به شکل صفحات درهم تنیده شیشه‌ای رنگ در شکافها و حفرات وجود دارد و به شکلهای رگه‌چهای، انتشاری، ژئودی و باندهای قشری نیز دیده می‌شود.

تتراندیریت-تنانتیت: این دو کانی به صورت محلول، به شکل ادخالهای بی‌شکل و با حالت گرد به صورت کمیاب درون گالن حضور دارند. اندازه این کانیها در حد چند میکرون تا حداکثر ۵۰ میکرون قابل مشاهده است (شکل ۵). از مشخصات بارز این کانیها نسبت به گالن در زیر میکروسکپ، به سختی بالاتر کانیهای تتراندیریت-تنانتیت باز می‌گردد، بدین صورت که خشکهای سایش روی سطح گالن با رسیدن به کانیهای تتراندیریت-تنانتیت به اتمام می‌رسد و مجدداً با رسیدن به گالن ادامه این خط سایش مشاهده می‌شود.

سروزیت: فراوانترین کانی ثانویه سرب در این کانسار



شکل ۳. گالن نسل اول در حالت ماکروسکوپی و میکروسکوپی.

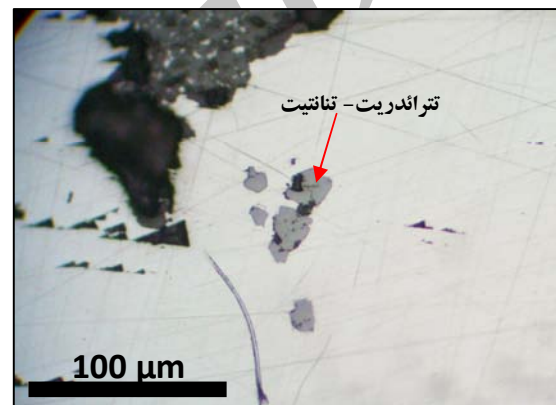
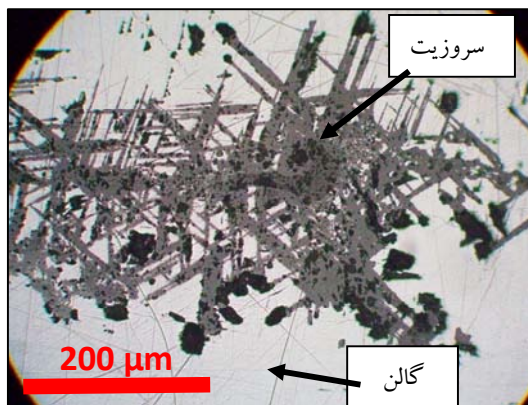


شکل ۴. کولیت معمولی با ماکل موج‌دار در حاشیه هوازده گالن

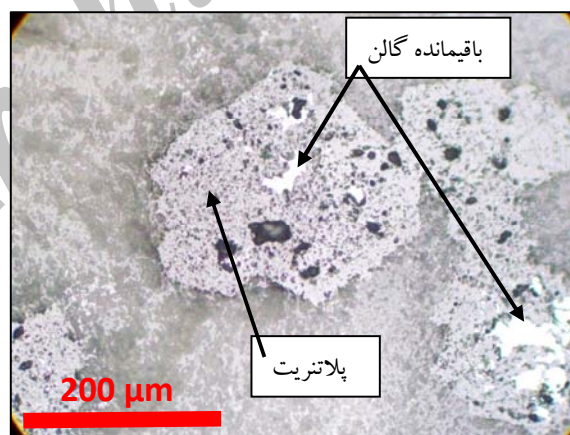
پلاتنریت: این کانی به صورت پوششی حاکی سیاه رنگ در سطوح تونلها و کارگاههای قدیمی استخراج و در نقاطی با مقدار اکسیژن بالا به عنوان اصلی‌ترین کانی اکسیدی سرب در کانسار نخلک حضور دارد. این کانی خاص نقاط با آب و هوای خشک است. این کانی در محیطهای اسیدی، در پتانسیل اکسیداسیون (Eh) بالا به وجود می‌آید و با افزایش pH این کانی می‌تواند در پتانسیل اکسیداسیون پایین‌تر نیز تشکیل شود [۱۰].

جانشینی گالن توسط سروزیت و پلاتنریت و به مقدار کمتر

انگلیزیت منجر به تشکیل بافتهای جانشینی متنوعی شده است که از آن جمله بافتهای جانشینی خوردگی (Caries)، کناره‌ای (Boundary)، اسکلتی، جانشینی شبکه‌ای (Network replacement)، جانشینی در امتداد رخ (شکل ۶) (Cleavage replacement) و برجای مانده جانشینی (Replacement relict texture)، قابل مشاهده است. در بافت برجای مانده جانشینی، گالن اولیه توسط کانیهای ثانویه جانشین شده و فقط قالبی از کانی گالن باقی مانده است (شکل ۷).



شکل ۵. ادخالهای تترائدریت-تنانتیت درون گالن که خشک‌های سایش از آن عبور نمی‌کند. شکل ۶. بافت جانشینی گالن توسط سروزیت در امتداد رخ.



شکل ۷. بافت برجای مانده جانشینی از گالن توسط پلاتنریت.



خشک همچون منطقه نخلک می‌باشد. منبع مس در این کانیها احتمالاً ادخالهای کالکوپیریت و تتراندیریت- تنانتیت درون گالن است.

میمتیت ( $\text{Pb}_5(\text{AsO}_4)_3\text{Cl}$ ): به مقدار بسیار کمی در سطوح کمتر اکسیده شده همراه با سروزیت و پلاتنریت مشاهده می‌شود. این کانی به لحاظ رنگی، طیفی از رنگهای سبز و زرد را به نمایش می‌گذارد. ادخالهای تتراندیریت- تنانتیت درون گالن می‌تواند منبع عناصر لازم برای تشکیل این کانی باشد.

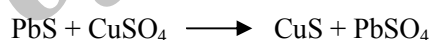
باریت: اصلی‌ترین کانی باطله همراه با ماده معدنی بوده و به صورت توده‌ای در رگه‌ها، رگه‌چه‌ها، فضای بین قطعات برشی و نیز به عنوان پر کننده فضای بین بلورهای گالن حضور دارد. این کانی بافتهای متنوعی همچون کلوفرم (Colloform) (شکل ۸)، رشد شعاعی و نیمه‌موازی (sub-parallel and radial growths)، طرح پر مانند (Plumose pattern)، بافت دم چلچله ای و دم جارویی (شکل ۹) نشان می‌دهد که همگی نشان از رشد در دمای پایین و در فضای خالی است. ماکل پلی سنتتیک و ساعت شنی از مشخصاتی است که در برخی از نمونه‌های باریت نخلک قابل مشاهده است

ولفنیث ( $\text{PbMoO}_4$ ): این کانی به همراه سروزیت در شکافها به صورت پولکهای نارنجی و خود شکل تتراگونال به طور کمیابی دیده می‌شود. مولیبدن لازم برای تشکیل ولفنیث احتمالاً از ساختار شبکه‌ای گالن خارج شده و یا از ادخالهای میکروسکوپی مولیبدنیت درون گالن منشأ گرفته است. در منطقه اکسیدی حامل اصلی مولیبدن کانی ولفنیث است که می‌تواند مقادیری از عناصر تنگستن، کروم، وانادیوم، مس و کلسیم را نیز در ساختار خود نگه دارد [۱۱].

واکنش زیر را می‌توان برای تشکیل ولفنیث پیشنهاد کرد [۹]:



کولیت: کولیت در برخی مقاطع تجزیه شده گالن به همراه سروزیت قابل مشاهده است (شکل ۴). کولیت از نوع معمولی بوده و چند رنگی شدید نشان می‌دهد. مس خارج شده از ساختار بلوری گالن یا کالکوپیریت با سولفات موجود در محیط ترکیب شده و طبق واکنش زیر می‌تواند کولیت را ایجاد نماید [۸]:



مالاکیت و کالکانتیت: این کانیها در داخل برخی رگه‌ها دیده می‌شوند. کالکانتیت به دلیل حلالیت در آب، خاص محیطهای



شکل ۹. باریت با بافت دم جارویی



شکل ۸. باریت با بافت کلوفرم.

**۲) دگرسانی سنگ میزبان**

دگرسانی سنگ میزبان در کانسار نخلک در محدوده رگه‌های معدنی به‌خوبی دیده می‌شود. دگرسانی‌های مشاهده شده شامل تشکیل کربنات‌های گرمابی (دولومیت و کلسیت) و رسی شدن می‌شود. دولومیتی شدن اصلی‌ترین دگرسانی مشاهده شده در سنگ میزبان است. دولومیتها به صورت پرکننده فضای خالی، سیمان سنگ میزبان و یا جانشین کننده کربنات اولیه در سنگ میزبان و نیز همراه با ماده معدنی حضور دارند. در مطالعات میکروسکوپی سنگ میزبان و ماده معدنی چهار نوع دولومیت تشخیص داده شده است که از نظر شکل، اندازه، ادخال و منطقه بندی با یکدیگر متفاوتند.

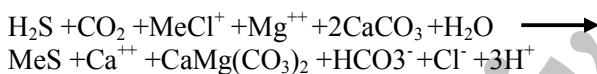
**دولومیت نوع اول:** ریز بلور و عمدتاً بی‌شکل هستند و به صورت گسترده تری نسبت به دیگر انواع دولومیتها در سنگ میزبان حضور دارند. این دولومیتها معمولاً با کانی سولفیدی همراه نیستند و احتمالاً منشأ دیاژنزی دارند. اندازه این دولومیتها از چند میکرون تجاوز نمی‌کند.

**دولومیت نوع دوم:** این دولومیتها به صورت درشت تر نسبت به نوع اول و خود شکل با اندازه‌های در حد چند ده میکرون و با بافت دانه شکری حضور دارند. زونینگ کاملاً مشخص در این دولومیت بدین صورت دیده می‌شود که قسمت مرکز بلور تیره و حاشیه روشن می‌باشد. این دولومیتها با کانیهای سولفیدی همراه بوده و در برخی مواقع فضای بین بلورها و نیز اطراف بلورهای دولومیت به وسیله گالن پر و یا جانشین شده است. پرشدگی تخلخل بین بلوری و نیز جانشینی حاشیه بلورهای دولومیت توسط گالن نشان دهنده تقدم این دولومیتها نسبت به کانسار سازی است (شکل ۱۰). تخلخل بین بلوری، نتیجه جانشینی دولومیت به جای کلسیت است، که به دلیل چگال تر بودن دولومیت نسبت به کلسیت، تخلخل سنگ در حدود ۱۲/۵ درصد افزایش می‌یابد [۱۲].

**دولومیت نوع سوم:** این دولومیتها کاملاً خود شکل و درشت بوده و اندازه آن تا ۲ میلی متر نیز می‌رسد. از خصوصیات مهم این دولومیت حضور ساخت منطقه‌ای کاملاً مشخص در آن است

که برعکس دولومیت نوع دوم به صورت حاشیه تیره و مرکز روشن قابل مشاهده است (شکل ۱۱). تفاوت در ساخت منطقه‌ای دولومیت‌های مختلف مربوط به تغییرات متوالی شرایط فیزیکوشیمیایی (مانند Eh) سیالاتی است که عامل حمل مقادیر متفاوتی از  $Fe^{++}$  و  $Mn^{++}$  و عناصر دیگر هستند [۷].

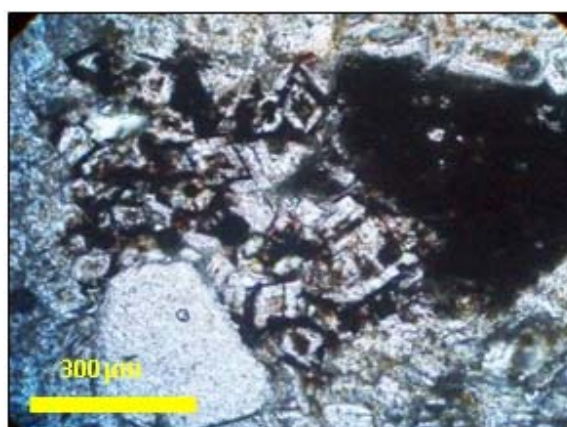
**دولومیت نوع چهارم:** این دولومیتها درشت و دارای سطوح خمیده هستند. این نوع دولومیت در فضای خالی بین دیگر انواع دولومیت و در حفرات سنگ میزبان دیده می‌شود. این نوع دولومیت همراه با کانسار سازی و گاهی مواقع تا مراحل آخر کانسار سازی به صورت هم‌رشد یافته با گالن قابل مشاهده است (شکل ۱۲). خصوصیات ذکر شده مشابه با دولومیت‌های نوع زین‌اسبی (Saddle dolomite) است. دولومیت‌های زینی همراه با فازهای گرمابی و در دمای ۶۰ تا ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد ته‌نشین می‌شود و فرآیند زیر را می‌توان برای تشکیل آن پیشنهاد کرد [۱۳]:



Me در رابطه بالا می‌تواند آهن، سرب و یا روی باشد که به ترتیب به تشکیل کانیهای پیریت، گالن و اسفالریت می‌انجامد. از اشکال فرعی قابل مشاهده می‌توان به دولومیت‌های تشکیل شده در شکستگیها که به صورت نا منظم و حالت زیگزاگ هم مرکز هستند، نیز اشاره کرد (شکل ۱۳). منیزیم لازم برای دولومیتی شدن سنگ میزبان از تبدیل کانیهای رسی و بی‌آب شدن شیل فراهم می‌شود [۷].

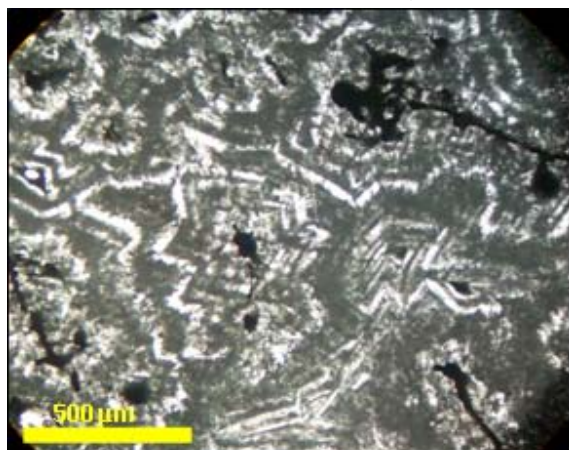
**۳) ساخت و بافت****الف - ساختار ماده معدنی**

به‌طور کلی ماده معدنی در کانسار نخلک به شکل رگه‌هایی با ضخامت‌های متفاوت دیده می‌شود. شیب رگه‌های معدنی زیاد بوده و معمولاً بین ۶۵ تا ۹۰ درجه متغیر است. رگه‌ها به‌صورت تقریباً موازی با هم قرار گرفته‌اند و به ندرت همدیگر را قطع کرده و امتداد عمده آنها شرقی- غربی است (شکل ۱۴). برای



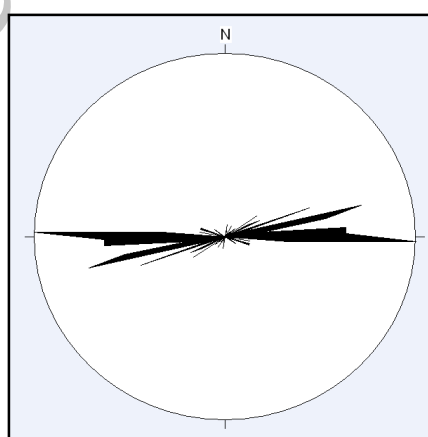
شکل ۱۱. دولومیت نوع سوم درشت بلور و با حاشیه تیره.

شکل ۱۰. جانشین شدن حاشیه بلورهای دولومیت نوع دوم توسط گالن.



شکل ۱۳. دولومیت‌های رشد کرده در شکافها با حالت زیگزاگی شکل و هم مرکز.

شکل ۱۲. بلور دولومیت زین‌اسبی به‌صورت هم‌رشدی با گالن.



شکل ۱۴. امتداد عمده رگه‌های معدنی تقریباً شرقی = غربی و تقریباً ۸۰ درجه نسبت به شمال است (تعداد کل داده‌ها = ۱۸۰ عدد).



هستند که کم و بیش دگرسان شده و با اندازه از چند سانتی‌متر تا چند ده سانتی‌متر درون رگه‌ها قرار گرفته‌اند و توسط ماده معدنی سیمان شده‌اند. برشهای حاصل از خرد شدن سنگها را بر اساس جدایش قطعات برش از یکدیگر، مقدار چرخش و ساییدگی قطعات برش می‌توان به انواع مختلف تقسیم‌بندی کرد [۱۵] (شکل ۱۶).

ایجاد چنین رگه‌هایی وجود نیروهای کششی عمود بر امتداد رگه‌ها لازم است [۱۴]. براساس مطالعات تکتونیکی می‌توان شکل ۱۵ را به عنوان مدل ایجاد فضای خالی مناسب جهت کانسازسازی پیشنهاد کرد.

#### ب- شکل قرارگیری ماده معدنی درون رگه‌ها

ماده معدنی به فرمهای مختلفی درون رگه‌ها قرار دارد که در زیر به برخی از آنها اشاره می‌شود:

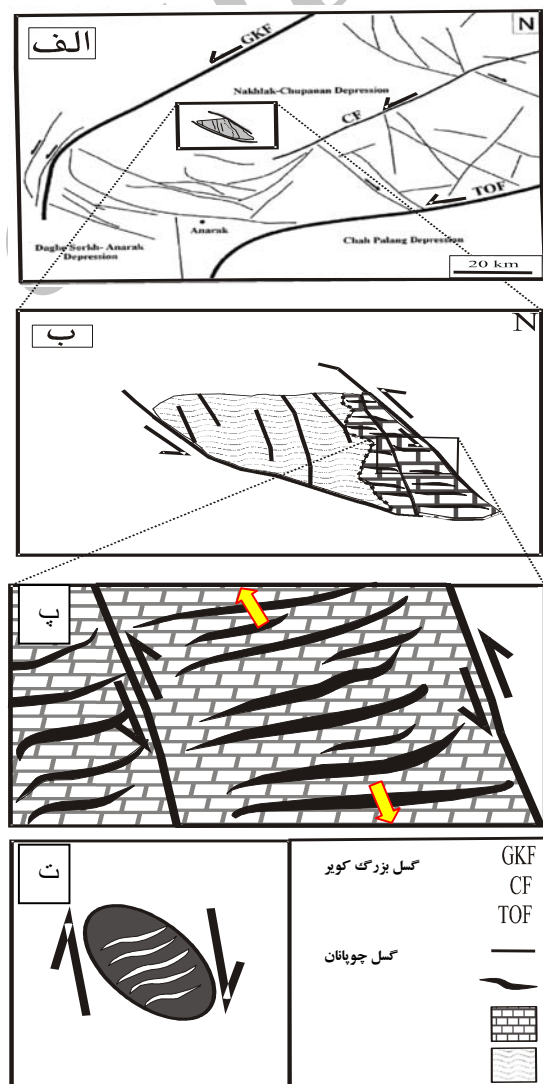
بافت برشی (breccia texture): این بافت عمده‌ترین شکل کانسازسازی در کانسار نخلک است. برشها از جنس سنگ دیواره

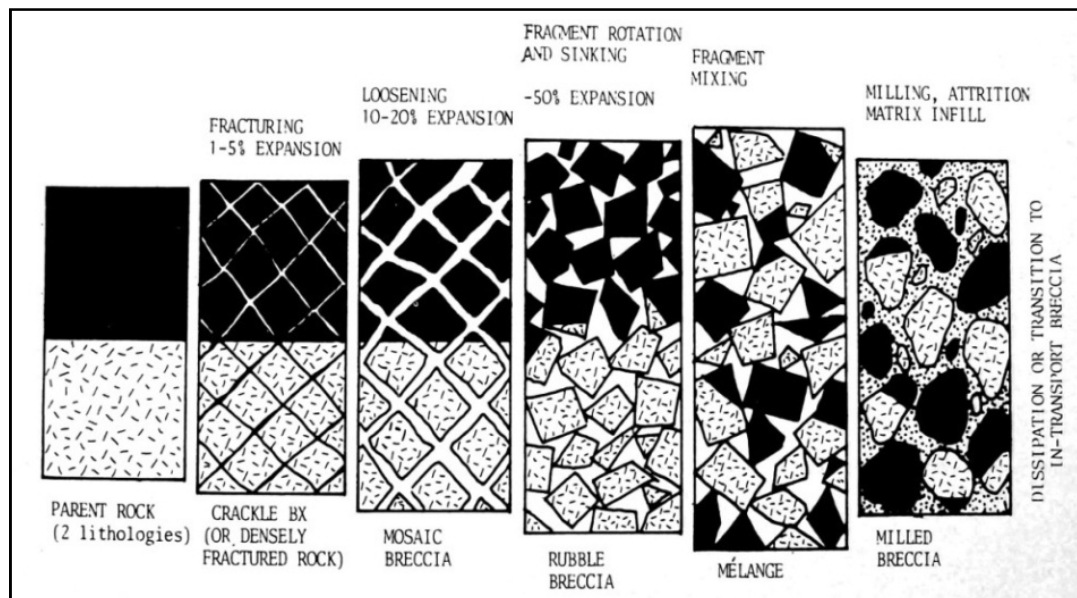
شکل ۱۵. الف. گسلها و شکستگیهای با امتداد NNW تا NW-SE در اثر عملکرد گسلهای بزرگ منطقه مانند گسل بزرگ کویر و چوپانان ایجاد شده‌اند (ندیمی و ندیمی<sup>۱</sup>، ۲۰۰۸ با تغییرات).

ب. کوه نخلک محصور به گسلهای ذکر شده در بالا می‌باشد. کوه نخلک در اثر عملکرد گسلهای کوچکتر و چپ‌گرد به بلوکهایی تقسیم شده‌است.

پ. عملکرد گسلهای چپ‌گرد در کرنشهای کرتاسه باعث ایجاد محیط کششی در جهت عمود بر جهت امتداد رگه‌ها شده و در نتیجه ساختارهایی مانند مناطق شکستگی، شکاف و گسلهای نرمال را ایجاد نموده که در مرحله بعد توسط ماده معدنی پر شده است.

ت. این شکل شماتیک نحوه به‌وجود آمدن شکافها و دیگر ساختارهای کششی در اثر نیروهای حاصل از عملکرد گسلهای چپ‌گرد را نشان می‌دهد.





شکل ۱۶. سری تکاملی برشهای تخریبی در واحدهای سنگی (لازنیکا، ۱۹۸۹).

بافت ساییده شده: در آخرین مرحله از تشکیل برشها در ماده معدنی، این بافت شکل گرفته‌است که در آن قطعات برش به طور کامل اختلاط یافته و با حاشیه گردشده در سیمانی از ماده معدنی قرار گرفته‌اند. برای تشکیل این بافت قطعات خرد شده سنگ میزبان درون جریان سیال کانه‌ساز غوطه‌ور شده و همراه با آن حرکت نموده‌اند (شکل ۲۰).

بافت تجمعات برشی (**Breccia aggregate**): در این بافت، قطعات برش در واقع خود ماده معدنی هستند؛ بدین صورت که بافت اولیه قشری در اثر عملکرد حرکات تکتونیکی یا فشار سیالات خرد شده و به صورت قطعات برش تجمع یافته‌اند و در مرحله بعدی توسط ماده معدنی سیمان شده‌اند. این بافت می‌تواند به عنوان شاهدی مبنی بر وجود حرکات تکتونیکی در حین کانسارسازی تلقی شود. این بافت هم در مقیاس میکروسکوپی (شکل ۲۱) و هم در مقیاس ماکروسکوپی (شکل ۲۲) قابل مشاهده است. شکل ۲۳ نحوه تشکیل این گونه برشها را نشان می‌دهد.

بافتهای برشی مشاهده شده در کانسار نخلک شامل بافت برش خرد شده (**Crackle breccia**)، بافت برش موزائیکی (**Mosaic breccia**)، بافت برش رابل (**Rubble breccia**) و برش ساییده شده (**Milled breccia**)، می‌باشد. مختصری از مشخصات این برشها در زیر بررسی شده‌است:

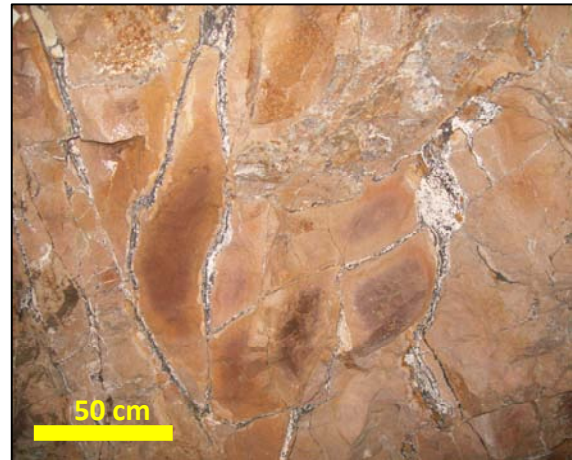
برشی خرد شده: در این نوع برش، هیچ‌گونه اثری از جابه‌جایی، چرخش و یا ساییدگی در قطعات برش مشاهده نمی‌شود. واقع این نوع برش در سنگ میزبان قرارداد و مرز بین سنگ میزبان و شروع ماده معدنی است (شکل ۱۷).

بافت برش موزائیکی: این بافت نسبت به حالت قبل از بسط بیشتر شکستگیها و فاصله بیشتر بین قطعات بافت برش برخوردار است. این پدیده می‌تواند در اثر فشار سیالات کانسار ساز ایجاد شده باشد (شکل ۱۸).

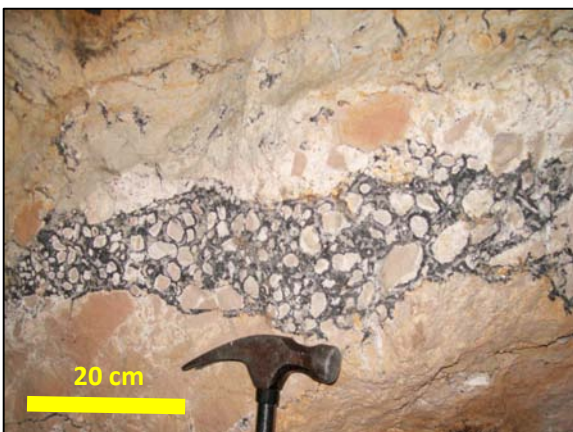
بافت برش رابل: لایه بر افزایش فاصله بین قطعات برش در این نوع بافت چرخش قطعات برش نیز صورت گرفته‌است. فشار سیالات و احتمالاً حرکات تکتونیکی به قدری بوده که توانایی چرخاندن قطعات برش را نیز داشته‌است (شکل ۱۹).



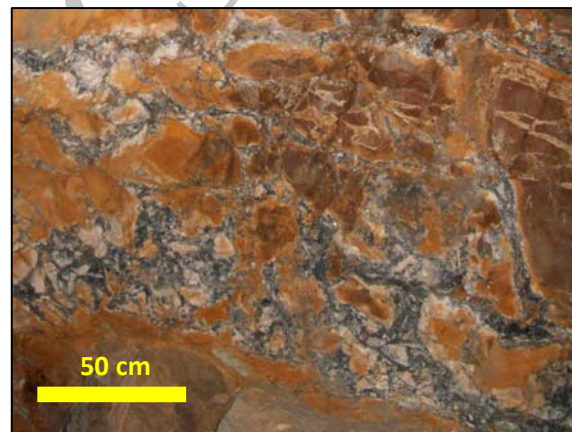
شکل ۱۸. بافت برشی موزائیکی شامل قطعات خرد شده سنگ میزبان و سیمان ماده معدنی.



شکل ۱۷. بافت برشی خرد شده شامل قطعات خرد شده سنگ میزبان و سیمان ماده معدنی.



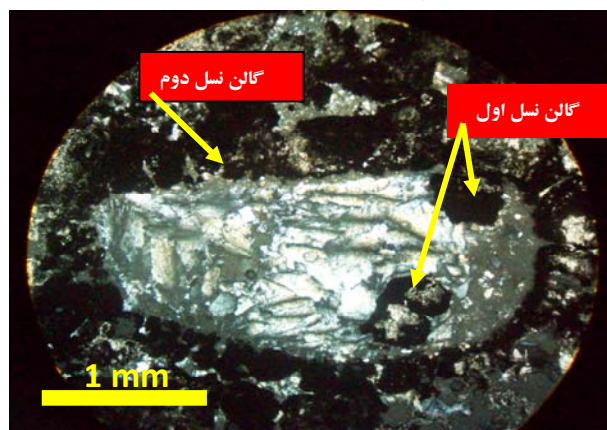
شکل ۲۰. برشهای چرخیده و گرده شده سیمان شده با ماده معدنی.



شکل ۱۹. برشهای رابل که شامل برشهای چرخیده سنگ میزبان و سیمان ماده معدنی است.

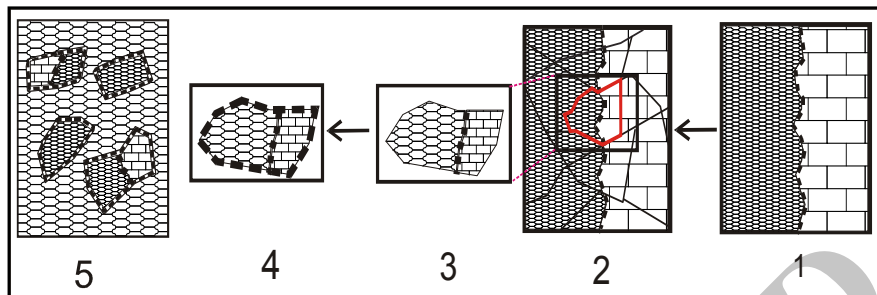


شکل ۲۲. قرارگیری قطعات بافت اولیه قشری. به صورت برش در میان رگه و سیمان‌شدگی توسط باریت نسل بعدی در مقیاس ماکروسکوپی.



شکل ۲۱. بافت کوکاد حاصل از ته نشینی نازک لایه گالن بر روی قطعه خرد شده از بافت اولیه قشری





شکل ۲۳. مراحل ایجاد بافت تجمعات برشی (۱) ایجاد بافت اولیه قشری با نازک لایه گالن و لایه باریت. (۲) خرد شدن بافت قشری در اثر حرکات تکتونیکی. (۳) شناور شدن قطعات خرد شده در سیالات کانسار ساز بعدی. (۴) ته نشست نازک لایه گالن بروی قطعات خرد شده و ایجاد بافت کوکاد. (۵) سیمان شدن قطعات شناور برشی توسط باریت نسل بعدی.

**بافت موزون (Rhythmic texture):** این بافت از تناوب تشکیل باریت و گالن درون شکافها حاصل می‌شود و به سبب نظم و ترتیب در قرارگیری کانه‌ها، از این بافت می‌توان به منظور درک توالی پاراژنزی استفاده کرد (شکل ۲۶).

در کلیه بافتهایی همچون بافتهای قشری، کوکاد و موزون که ماده معدنی به صورت قشری روی سنگ دیواره قرار می‌گیرد، اولین قشر ماده معدنی (گالن)، به صورت ریز بلور روی سطح سنگ دیواره قرار می‌گیرد. به احتمال زیاد این پدیده به سبب تبادل حرارتی سریع سیالات کانه‌ساز با سنگ دیواره حاصل شده‌است. این پدیده مشخصاً در کانسارهای با بافت پرکننده فضای خالی دیده می‌شود [۸].

**بافت خوشه انگوری (Botryoidal texture):** بافت خوشه انگوری از دسته بافتهای کلوئیدی است و در این کانسار در کانی باریت و کلسیت دیده می‌شود و از رشد این کانیها بر روی سطح فضای خالی حاصل می‌شود که می‌تواند حالت هم مرکزی در قشرهای آن دیده شود.

**بافت انتشاری (Disseminated texture):** این بافت در نزدیکی رگه‌ها و درون سنگ میزبان دیده می‌شود که در واقع حاصل نفوذ سیالات گرمایی به داخل سنگ میزبان است. در مواردی نیز این بافت به صورت پرکننده فضای بین بلوری در سنگ میزبان دولستون دیده می‌شود.

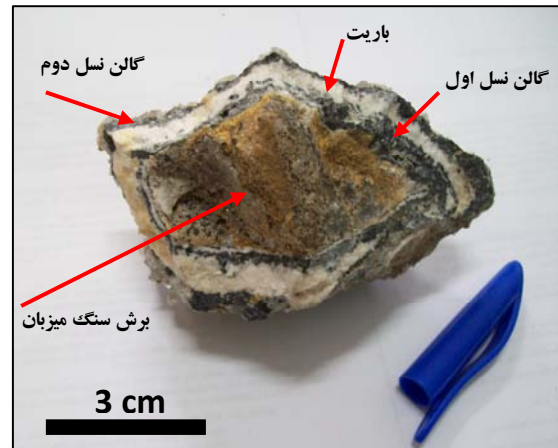
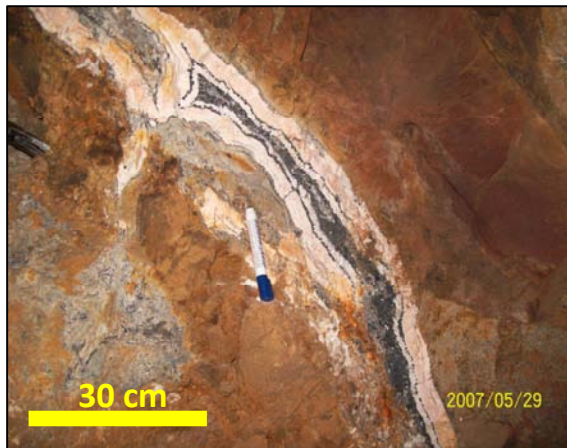
**بافت کوکاد (Cockade texture):** بافت کوکاد از بافتهای شاخص پر کننده فضای خالی در کانسارهای سرب و روی با میزبان کربناته است [۱۶]. در کانسار نخلک این بافت از رشد متناوب گالن و سپس باریت به روی سطح خارجی قطعات برش ایجاد شده‌است (شکل ۲۴). این بافت بیشتر در برشهای نوع ساییده شده که بیشتر در معرض حرکت سیالات بوده‌اند، دیده می‌شود.

**بافت قشری (Crustification bounding):** حاصل رشد متناوب گالن و باریت درون شکافها و فضای خالی بدون حضور برش است (شکل ۲۵)، در این بافت ماده معدنی به طور قرینه نسبت به مرکز قرار دارد که به صورت قشرهایی روی سطح داخلی شکافها و حفرات را پر کرده و متناوباً از نظر ترکیب تغییر می‌نمایند که نشان‌دهنده تغییر در ترکیب سیال اولیه یا تغییر در عوامل مؤثر در ته نشست هرکدام از کانیها بوده‌است. معمولاً مرکز این بافت خالی بوده یا با کانیهای ثانویه همچون سروزیت و ولفنیت پر شده است. بلورهای ماده معدنی در این بافت نسبت به بافتهای ماده معدنی در بافت برشی درشت‌تر است که احتمالاً به سبب سرعت پایین‌تر رشد و آرامش بیشتر سیالات و در نتیجه هسته‌زایی کمتر در این نقاط می‌باشد که باعث ایجاد بلورهای با اندازه درشت‌تر شده است. این بافت غالباً در کانسارهای دمای پایین دیده می‌شود [۱۷].



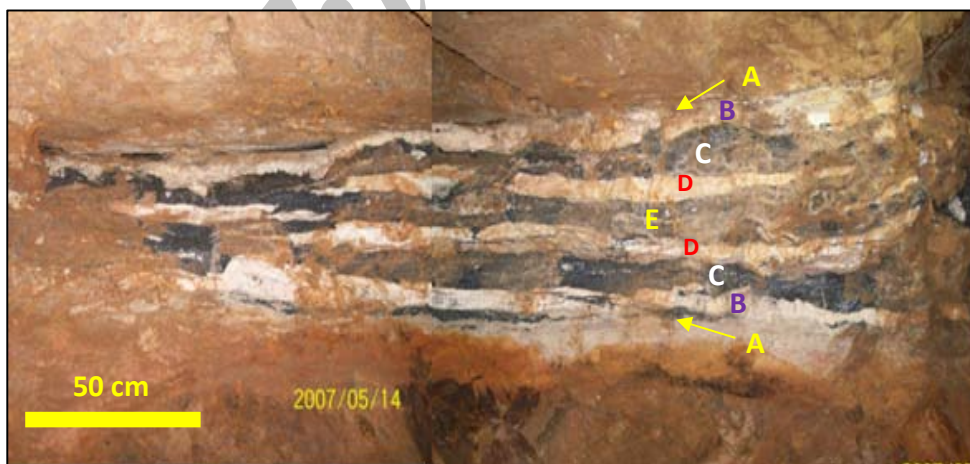
فضای خالی باز شده در مرحله بعد با ماده معدنی (گالن) پر شده است.

بازشدگی مجدد در تعداد کمی از رگه‌های کانی‌سازی شده صورت گرفته‌است و به‌عنوان مثال در شکل‌های ۲۷ تا ۲۹ شکستگی که با بافت قشری پر شده‌است، مجدداً باز شده و



شکل ۲۵. لایه‌های متناوب گالن و باریت بروی سطح داخلی شکاف.

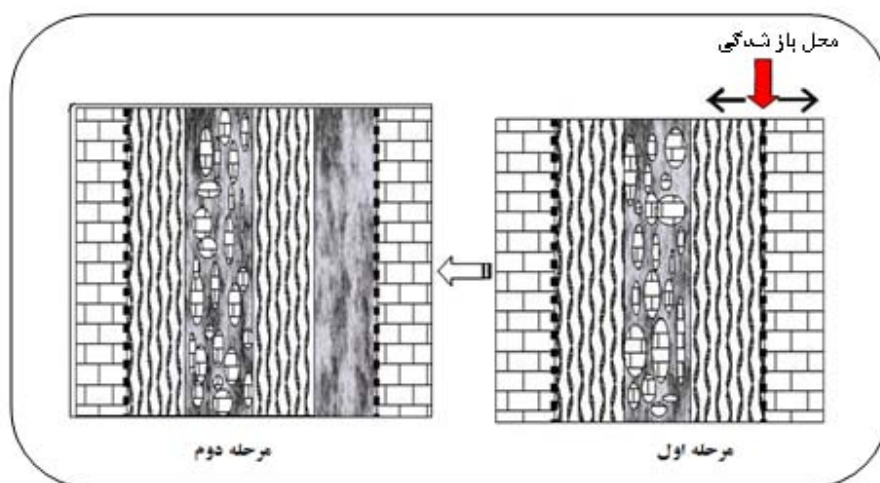
شکل ۲۴. تناوب لایه‌های گالن و باریت بروی سطح خارجی برش.









شکل ۲۶. تقارن لایه‌های گالن و باریت نسبت به مرکز رگه.



شکل ۲۷. قسمتی از رگه با باز شدگی مجدد رگه اولیه.



شکل ۲۸. مراحل تشکیل رگه با باز شدگی مجدد : (۱) تشکیل رگه با بافت قشری (۲) باز شدگی رگه در اثر تکتونیک و یا فشار سیالات در محل نشان داده شده و سپس پر شدگی شکاف ایجاد شده با سیالات کانساز ساز مرحله بعد و تشکیل رگه‌چه گالن.

مراحل تکامل کانسار نخلک	مراحل انتهایی شکل ۲۹. ترتیب زمانی مراحل تکاملی کانسار
رسوب‌گذاری و دیازنز سنگ میزبان	
دولومیتی شدن سنگ میزبان	
گسلش و شکستگی سنگ میزبان	
برشی شدن سنگ میزبان	
کانسار سازی درون‌زاد سنگ میزبان	
کانسار سازی برون‌زاد	

گالن نخلک نسبتاً بالاست. نقره به شکلهای مختلفی می‌تواند در گالن متمرکز شود که از آن جمله به صورت محلول جامد و ادخال کانیهای مختلف است. جانشینی نقره به جای سرب با توجه به شعاع یونی ( $Pb^{2+}=1.20 \text{ \AA}$ ,  $Ag^{+}=1.26 \text{ \AA}$ ) امکان‌پذیر است؛ اما مقدار جانشینی متفاوت بوده و به حضور عناصر واسطه‌ای همچون آنتیموان و بیسموت بستگی دارد. این جانشینی به شکل رابطه روبه‌رو قابل انجام است:

$$Ag^{+} + (Sb, Bi)^{3+} = 2Pb^{2+}$$

در کانیهای نقره‌دار مانند آکانتیت و تتراندريت-تنانتیت است که به صورت ادخال درون گالن حضور دارند. بالا بودن آنتیموان و نقره، حضور احتمالی تتراندريت-تنانتیت را نشان می‌دهد و کم بودن آنتیموان و بیسموت و بالا بودن نقره حضور احتمالی آکانتیت را در کانی گالن نشان می‌دهد [۱۹] با توجه به این‌که نسبت

$$\frac{Ag = 1029 / 6 \text{ ppm}}{Sb = 377 / 3 \text{ ppm} + Bi = 0 / 1 \text{ ppm}}$$

با ۲/۷ است، می‌توان انتظار داشت که علاوه بر حضور نقره در ترکیب تتراندريت-تنانتیت، مقداری از نقره در ترکیب آکانتیت نیز حضور داشته‌باشد. حضور کمیاب این ادخالها در مطالعات کانی‌شناسی نیز به اثبات رسیده‌است.

#### پ- مراحل کانسار سازی و توالی پاراژنزی


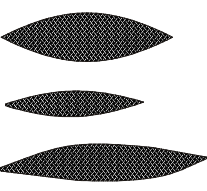
سنگهای کربناتی کرتاسه بالایی در کوه نخلک، تحت تأثیر حرکات تکتونیکی منطقه، فضای لازم را برای کانسارسازی به‌دست آورده‌است. ضمناً این سنگها قبل از این مرحله تحت دولومیتی شدن قرار گرفته‌اند. در مرحله بعد ماده معدنی توسط سیالات کانسار ساز در فضاهای خالی ایجاد شده نهشته شده است. در شکل ۲۹ مراحل تکامل کانسار به اختصار ارائه شده است. با توجه به بافتهایی همچون قشری و موزون، روابط بین کانیها نیز مراحل کانه‌سازی درون‌زاد و برون‌زاد، توالی پاراژنزی را می‌توان به صورت شکل ۳۰ برای این کانسار پیشنهاد داد.

#### ۴ ژئوشیمی

مطالعات نشان داده است که کانی گالن قادر است علاوه بر سازنده‌های اصلی خود (Pb, S)، عناصر دیگری همچون نقره، آنتیموان، بیسموت، آرسنیک، روی، کادمیوم، سلنیوم و مس را به صورت جزئی در خود جای دهد [۱۸].

نتایج آزمایش برخی از عناصر مهم به صورت مؤلفه‌های آماری در جدول ۱ آمده است که در زیر نیز مختصراً بررسی شده‌اند:

**نقره:** عنصر نقره را می‌توان مهمترین عنصر پس از سرب به‌عنوان فرآورده جانبی (By-product) در نظر گرفت. میانگین نقره در

مرحله پروتازاد	مرحله درونزاد	کانی‌ها
		گالن باریت دولومیت سروزیت پلاتنریت

شکل ۳۰. توالی پاراژنزی کانیهای اصلی کانسار نخلک.

**آنتیموان:** مقدار آنتیموان در گالن نخلک نسبتاً بالاست. جانشینی آنتیموان در شبکه بلوری به همراه نقره و ادخالهای سولفوآنتیمونید همچون تتراندريت را می‌توان از اشکال حضور آنتیموان در گالن نخلک در نظر گرفت. آنتیموان به مقدار بالا معمولاً در کانسارهای با دمای تشکیل پایین تمرکز می‌یابد [۹].

**سلنیوم:** مقدار سلنیوم در کانسار نخلک پایین است. سلنیوم به راحتی می‌تواند در گالن جانشین گوگرد شود و محلول جامد کلاستالیت (PbSe)، را ایجاد نماید. لوفتوس و سولومون [۲۳]، سلنیوم بالا در کانیهای سولفیدی را مربوط به خاستگاه آتشفشانی می‌دانند.

**روی:** معمولاً حضور روی در گالن به صورت ادخالهایی از اسفالریت در نظر گرفته می‌شود و کمتر پدیده جانشینی ممکن است روی دهد. در مطالعه مقاطع صیقلی این کانی به صورت ادخالهای کمیابی مشاهده شده است. میانگین فراوانی عناصر در رگه‌های معدن نخلک (جدول ۲)، و نیز در طبقه ۲۰۰- و ۱۶۵- متری (شکل ۳۱)، نشان می‌دهد که منطقه‌بندی خاصی در جهت عمودی و افقی کانسار وجود ندارد و تغییرات موجود به صورت محلی و موضعی عمل کرده‌اند.

**آرسنیک:** جانشینی با سرب و نیز به صورت ادخال کانیهایی همچون تنانتیت و آرسنوپیریت از اشکال احتمالی حضور آرسنیک در گالن نخلک می‌تواند در نظر گرفته شود. حضور کانی ثانویه میمیتیت  $(\text{Pb}_5(\text{AsO}_4)_3 \text{Cl})$ ، نیز تأییدی بر حضور این عنصر در کانسار است.

**بیسموت:** بیسموت عنصری است که در مقایسه با دیگر عناصر متمرکز در گالن نخلک مقدار پایینی دارد. مالاخوف [۲۴]، بیان می‌دارد که تفاوت شاخصی بین ترکیب گالن در تیپ‌های مختلف وجود دارد. وی گالن‌های مرتبط با اسکارن و آتشفشانی را غنی از بیسموت شناسایی کرده است.

**کادمیم:** حضور کادمیم در گالن می‌تواند به صورت جانشینی با سرب صورت گیرد؛ ولی این جانشینی تا حد زیادی تحت تأثیر حضور اسفالریت می‌باشد؛ چرا که کادمیم تمایل زیادی به تمرکز در اسفالریت دارد. در ادامه برای اثبات این گفته در قسمت روابط عناصر بیشتر پرداخته خواهد شد.

**مس:** ادخالهای کالکوپیریت، تتراندريت- تنانتیت و جانشینی مس به جای سرب و نیز حضور کانیهای ثانویه مس همچون کوولیت می‌تواند از عوامل حضور مس در گالن نخلک به‌شمار رود.

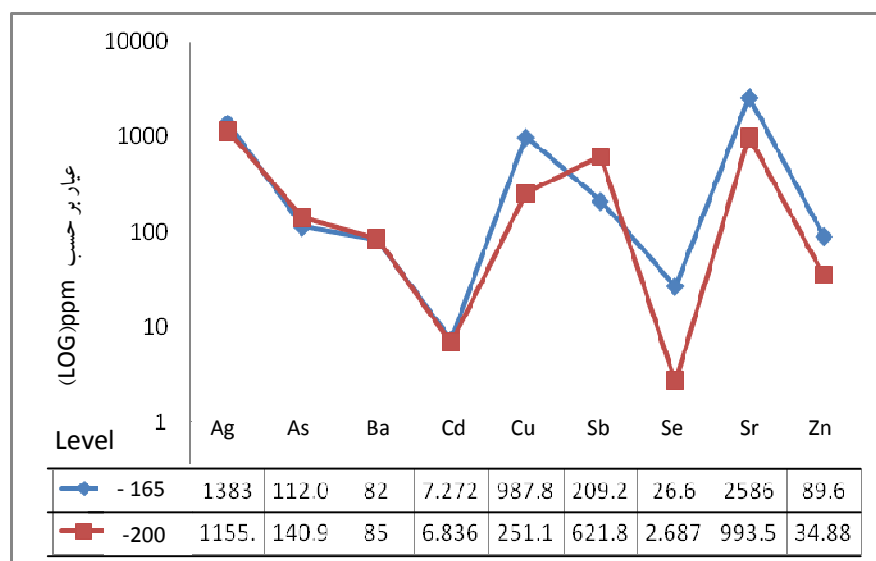


جدول ۱. مؤلفه‌های آماری مربوط به نتایج آزمایش نمونه‌های گالن نخلک

	Ag	As	Bi	Cd	Cu	Sb	Se	Zn
N	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸
Mean	۱۰۲۹٫۶	۱۰۱٫۶	۰٫۱	۱۲٫۹	۴۶۱٫۲	۳۷۷٫۳	۱۱٫۸	۳۲۶٫۶
Std. Deviation	۸۴۰٫۸	۱۳۶٫۳	۰٫۱	۱۹٫۶	۶۲۲	۳۲۰٫۲	۲۰٫۲	۱۱۲۶
Skewness	۰٫۵	۱٫۱	۱٫۱	۳٫۹	۲٫۷	۱٫۴	۳	۴٫۲
Kurtosis	-۱٫۲	-۰٫۴	-۰٫۴	۱۵٫۶	۷٫۲	۱٫۱	۱۰٫۲	۱۷٫۸
Minimum	۹۸	۰٫۱	۰٫۰	۳٫۴	۹۵٫۷	۵۸٫۳	۰٫۵	۰٫۱
Maximum	۲۶۰۰	۴۱۷	۰٫۳	۸۹٫۲	۲۴۹۰	۱۱۰۰	۸۴	۴۸۳۰

جدول ۲. میانگین فراوانی عناصر در برخی از رگه‌های معدن نخلک

	Ag	As	Cd	Cu	Sb	Se	Zn
رگه ۵	۳۲۰	۱٫۷۲	۵٫۰۳	۱۸۹٫۲	۳۴۹٫۷	۳٫۲	۳۲٫۲۲
رگه ۱۲	۱۳۱۵	۹۵٫۲	۸۹٫۲	۴۱۰	۲۸۹	۲۰	۴۸۳۰
رگه ۲۰	۲۱۶۰	۱۷۲٫۱	۱۲٫۵۳	۱۰۶۸	۲۲۲	۴۳٫۵	۱۵۲٫۵
رگه ۲۱	۱۸۶۵	۲۵۲	۷٫۵۶	۱۴۹۹	۳۵۴٫۲	۱۸٫۲۵	۹۲
رگه ۲۴	۱۶۲۸	۲۰۷٫۷	۶٫۴۳	۲۱۷	۷۷۵٫۱	۳٫۷۵	۱۸
رگه ۲۶	۶۵۰	۱٫۹	۷٫۴۹	۱۴۱٫۵	۱۶۹	۴	۴
رگه ۳۳	۹۸	۳۰٫۳	۱۴٫۳	۱۸۵	۵۸٫۳	۱۸	۲۴۲
رگه ۳۴	۱۰۲	۰٫۵	۹٫۶۹	۱۵۲	۹۸٫۷	۱۴	۲۶
رگه ۳۵	۲۰۵	۱۲٫۹	۲۱	۴۶۵	۱۵۴٫۵	۲	۴۹



شکل ۲۱. نمودار مقدار عناصر در دو طبقه ۱۶۵- و ۲۰۰- متری همراه با مقدار این عناصر برای هر طبقه (رگه‌هایی که فقط در یک طبقه داده داشته‌اند، حذف گردیده‌است).

همبستگی مثبت متوسط دارد که از حضور احتمالی کانی آرسنوپیریت حکایت دارد.

**بیسموت:** بیسموت با عمده عناصر از جمله نقره، آنتیموان و آرسنیک همبستگی نشان نمی‌دهد. نبود همبستگی از عدم جایگاه بیسموت در کانیهای عناصر ذکر شده (نقره، آنتیموان و آرسنیک)، حکایت دارد. همبستگی مثبت ضعیفی بین بیسموت و مس وجود دارد که شاید علت آن تمرکز مختصر بیسموت در ادخالهای کانی کالکوپیریت موجود در گالن باشد.

**کادمیم و روی:** این دو عنصر در بین دیگر زوجهای عنصری دارای بالاترین مقدار همبستگی می‌باشند و جالب این‌که این دو با هیچ کدام از دیگر عناصر همبستگی خاصی نشان نمی‌دهد. این شکل از همبستگی بین دو عنصر به سبب حضور این دو عنصر به صورت ادخالهای میکروسکوپی اسفالریت به صورت مستقل درون گالن است [۲۱].

روابط بین عناصر مختلف به شکل ضریب همبستگی عناصر در جدول ۳ محاسبه شده که در زیرمختصراً بررسی شده‌اند:

**نقره:** نقره با آرسنیک همبستگی مثبت بالا، با مس همبستگی مثبت متوسط و با آنتیموان همبستگی مثبت ضعیف دارد. این سه عنصر (آرسنیک، مس و آنتیموان)، به همراه گوگرد سازنده‌های کانیهای تتراندريت- تنانتیت می‌باشد. با توجه به این‌که نقره با آرسنیک همبستگی بیشتری نسبت به آنتیموان نشان می‌دهد، احتمالاً نقره بیشتر در تنانتیت ( $Cu_{12}As_4S_{13}$ )، تمرکز می‌یابد. همبستگی مشاهده شده بین نقره و مس می‌تواند ناشی از جانشینی نقره در ساختار کالکوپیریت نیز باشد [۲۰]. رابطه خاصی بین نقره و روی وجود ندارد که عدم جانشینی نقره در ساختار اسفالریت را نمایانگر است.

**آرسنیک:** آرسنیک با مس و آنتیموان همبستگی مثبت متوسط نشان می‌دهد که احتمالاً به‌واسطه حضور این عناصر در کانیهای تتراندريت- تنانتیت است. علاوه بر این آرسنیک با آهن

جدول ۳. مقادیر همبستگی محاسبه شده و علامت اختصاری مربوط به هر جفت عنصر\*  
+++ همبستگی مثبت بالا، ++ همبستگی مثبت متوسط، + همبستگی مثبت ضعیف، - همبستگی منفی ضعیف و n.c عدم همبستگی

	Ag	As	Bi	Cd	Cu	Sb	Se	Zn
Ag	1	+++	n.c	n.c	++	+	++	n.c
As	0.725	1	n.c	n.c	++	++	++	n.c
Bi	0.116	0.113	1	n.c	+	n.c	n.c	n.c
Cd	0.069	0.025	-0.157	1	n.c	n.c	n.c	+++
Cu	0.657	0.418	0.348	0.002	1	-	+++	n.c
Sb	0.355	0.552	-0.122	-0.115	-0.235	1	-	n.c
Se	0.504	0.419	-0.075	0.177	0.738	-0.246	1	n.c
Zn	0.093	0.012	-0.166	0.979	0.001	-0.083	0.146	1

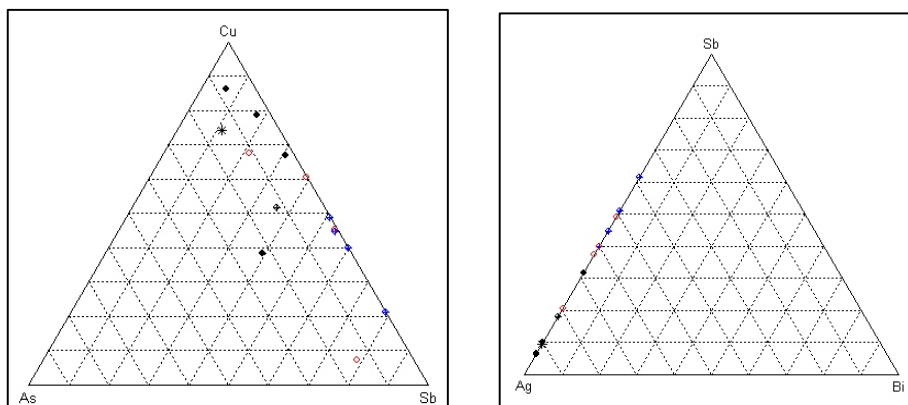
$Co/Ni > 1$  (یعنی  $Co > Ni$ ) باشد، خاستگاه ماگمایی - گرمابی برای کانسار در نظر گرفته می‌شود. این نسبت با احتیاط برای گالن کانسار نخلک محاسبه گردید که برابر با ۰/۵ می‌باشد. مقدار به‌دست آمده نشان‌دهنده عدم ارتباط با فعالیت آذرین برای کانسار نخلک می‌باشد، البته باید توجه داشت که این نسبت با احتیاط به‌کار برده می‌شود.

نسبت  $Sb/Bi$  به طور خاص برای گالن به‌کار برده می‌شود. این نسبت در گالن نشان‌دهنده دما و فشار تشکیل کانی است. به‌طوری که اگر نسبت فوق کمتر از ۰/۶ باشد، نشان‌دهنده تشکیل کانی در دمای بالاست و مقادیر بیشتر این نسبت نشان‌دهنده تشکیل در دمای پایین است [۲۴]. مالاخوف [۲۴] کانیهای سولفوبیسموتینید را خاص تیپ کانسارهای دما بالا و سولفوآنتیمونید را خاص تیپهای دما پایین دانسته‌است. نسبت عناصر  $Sb/Bi$  در کانی گالن نخلک محاسبه گردید و برابر با ۳۷۷۳ شد که این مقدار نشان‌دهنده تشکیل گالن نخلک در دمای پایین است.

در نمودارهای سه‌تایی  $Ag-Sb-Bi$  تمامی نمونه‌ها در ضلع آنتیمون- نقره تجمع یافته‌اند که تمایل به سمت راس نقره بیشتر است. در نمودار  $Cu-Sb-As$  که در واقع عناصر فلزی اصلی سازنده کانیهای تتراندريت- تنانتیت می‌باشد، به نظر می‌رسد که بیشتر نمونه‌ها به ضلع مس - آنتیمون تمایل دارند که این شاید از بیشتر بودن کانی تتراندريت نسبت به کانی تنانتیت حکایت دارد (شکل ۳۲).

همان‌طور که گفته شد کانیهای سولفیدی همچون گالن به ندرت خالص بوده و معمولاً مقادیر متفاوتی از عناصر فرعی و کمیاب دارند. جایگزینی عناصر فرعی و کمیاب به عوامل فیزیکی و شیمیایی فراوانی بستگی دارد که از جمله این عوامل pH، دما، فشار و غیره است. با تعیین این نسبتها می‌توان تا حدودی شرایط حاکم بر محیط را در حین تشکیل کانسار ارزیابی کرد.

دیویدسون [۲۲]، نسبت کبالت به نیکل را برای تشخیص پیریت کانسارهای رسوبی از ماگمایی - گرمابی پیشنهاد نموده‌است. لوفتوس و سولومون [۲۳]، این نسبت را به صورت کمتر یا بیشتر از یک بیان کرده‌اند؛ به‌طوری که اگر نسبت  $Co/Ni < 1$  (یعنی  $Ni > Co$ ) باشد، نشان‌دهنده خاستگاه رسوبی و اگر نسبت



شکل ۲۲. پراکنندگی عناصر درون گالن نخلک در نمودارهای سه تایی Cu-Sb-As و Ag-Sb-Bi.

#### نتیجه‌گیری

۳۲۶ppm) که هر کدام از این عناصر می‌توانند به‌عنوان محصول جانبی نیز در نظر گرفته شوند. مقدار نقره در گالن نخلک نسبتاً بالاست.

از آنجایی که هیچ‌گونه فعالیت آذرین در مجاورت کانسار نخلک دیده نمی‌شود، نمی‌توان بالا بودن نقره را به این گونه فعالیتها نسبت داد و احتمالاً این بالاتر بودن به سبب دخالت ژئوشیمی محلی، تأثیرات سنگ میزبان، واکنش با سنگهای در مسیر حرکت سیالات کانسار ساز و نیز شرایط کانه‌زایی است. با توجه به چینه‌شناسی کربناتی کرتاسه بالایی، دگرسانی دولومیتی سنگ میزبان، کانسار سازی دیرزاد و لایه کران، عدم ارتباط با فعالیتهای آذرین و همچنین بافتهای پرکننده فضای خالی، ویژگیهای کانی‌شناسی و شواهد ژئوشیمیایی، معدن نخلک شباهت بسیار زیادی به کانسارهای نوع دره می‌سی‌سی‌پی نشان می‌دهد و در واقع این معدن را می‌توان به‌عنوان یک نمونه شاخص از کانسارهای نوع دره می‌سی‌سی‌پی در ایران در نظر گرفت.

#### مراجع

[۱] اوزیری ح.، "مطالعه لیتواستراتی گرافی، بیواستراتی گرافی و محیطهای رسوبی سنگهای تریاس ناحیه نخلک واقع در شمال شرق انارک (محدوده ساختاری ایران مرکزی) و تهیه نقشه ۱:۲۰۰۰۰ ناحیه مورد مطالعه" رساله دکتری (Ph.D)، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، (۱۳۷۵) ۳۴۴ ص.

کانسار سازی در نخلک به شکل رگه‌هایی با امتداد شرقی- غربی به صورت لایه‌کران و ناهمشیب در کربناتهای کرتاسه بالایی جای گرفته‌است. کانی‌شناسی کانسار شامل گالن و باریت به عنوان کانیهای اصلی و اولیه می‌باشد. سروریت کانی ثانویه اقتصادی پس از سرب است. کانیهای فرعی و کمیاب اولیه که به صورت ادخال درون گالن حضور دارند عبارتند از: اسفالریت، پیریت، کالکوپیریت، تتراآندریت ( $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ ) - تنانتیت ( $\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$ ) و آکانتیت ( $\text{Ag}_2\text{S}$ ). علاوه بر سروریت، فرآیندهای برون‌زاد باعث ایجاد کانیهای ثانویه دیگری از جمله: انگلزیت ( $\text{PbSO}_4$ )، پلاتنریت ( $\text{PbO}_2$ )، مازیکوت ( $\text{PbO}$ )، ولفنیت ( $\text{PbMoO}_4$ )، کولیت ( $\text{CuS}$ )، مالاکیت، کالکانتیت، میمیت ( $\text{Pb}_5(\text{AsO}_4)_3 \text{Cl}$ )، مینیوم ( $\text{Pb}_3 \text{O}_4$ ) و اکسیدهای آهن و منگنز نیز شده‌است. بافتهای متنوعی از ماده معدنی مشاهده شده که همگی از نوع پرکننده فضای خالی در دامی پایین هستند. در مورد نحوه ایجاد فضای خالی باید گفت که فعالیت گسلهای منطقه به حرکات تکتونیکی منجر شده است و این حرکات در مرحله بعد طبق مدلی که ارائه گردید باعث ایجاد درز و شکافهای مناسب جهت کانسار سازی شده است. تجزیه نمونه‌های گالن نشان داد از جمله عناصری که در این کانی حضور دارند عبارتند از: نقره (۱۰۲۹ppm)، آرسنیک (۱۰۱ppm)، مس (۴۶۱ppm)، آنتیموان (۳۷۷ppm) و روی



- Carbonate Strata* " AAPG Mem, v. 63 (1995) 301-306.
- [۱۴] کریم پور م. ح. و سعادت س. " زمین شناسی اقتصادی کاربردی "، انتشارات ارسلان، (۱۳۸۱) ۵۳۵ ص.
- [15] Laznicka P. " *breccias and ores. Part I: History, organization and petrography of breccias* ". Ore Geology Rev., v. 4 (1989) 314-344.
- [16] Shadlun T. N. " *Ore texture as indicators of formation conditions of mineral paragenesis in different type of stratiform lead- zinc deposits* ", Heidelberg, (1980) 607- 624.
- [17] Ineson P.R. " Introduction to Practical Ore Microscopy ". Longman publishers, (1989) 181.
- [18] Ahrens L., " *The use of ionization potentials. II. Anion affinity and geochemistry* ", Geochim. et Cosmochim. Acta, v. 4 (1953) 1-29.
- [19] Lueth V.W., Megaw P.K.M., Pinatore N.E., and Goodell P.C. " *Systematic variation in galena solid solution at Santa Eulaia Chihuahua, Mexico* ", Economic Geology, V.95 (2000) 1673-1687.
- [20] Amcoff O. " *Distribution of silver in massive sulfide ores, Mineralium Deposita* "; v. 19 (1984) 63-69.
- [21] Fernandez P. F.J. and Izard M.A. " *Trace element content in galena and sphalerite from ore deposits of the Alcurdia Valley mineral field (Eastern Sierra Morena, Spain)* ", Journal of Geochemical Exploration, v. 86 (2005) 1-25.
- [22] Davidson C.F. " *On the cobalt: nickel ratio in ore deposits* ". Mineral. Mag, v. 106 (1962) 78-85.
- [23] Loftus- Hills G. and Solomon M. " *Cobalt, nickel and selenium in sulphides as indicators of genesis* ". Mineralium Deposita, v. 2 (1967) 228-242.
- [24] Malakhov A.A. " *Bismuth and antimony in galenas as indicators of some conditions of ore formation* ". Geochemistry International, v.7 (1968) 1055-1068.
- [2] Alavi M., Vaziri S.H., Seyed-Emami K., and Lasemi V., " *The Triassic and associated rocks of the Nakhlak and Aghdarband areas in Central and Northeastern Iran as remnants of the Southern Turanian continental margin* ", G.S.A. Bulletin, v. 109, no.12 (1997) 1563-1575.
- [3] Rasa I., " *Geologisch, Petrographische untersuchungen in der Blie \_ Lagerstaette Nakhlak , Zentraliran* " Heidelberg. Geo. Abh Band 10 (1987) 191.
- [۴] خسرو تهرانی خ. " *زمین شناسی ایران* "، انتشارات پیام نور شماره ۵۸۴ (۱۳۷۵) ۳۲۷ ص.
- [5] Holzer H. F., and Ghassernipour R. " *Geology of the Nakhlak lead mine area (Anarak district. Central Iran)* ", Geol. Surv. Iran, (1969) 44.
- [۶] حاجیان ج. " *زمین شناسی ایران (پالئوسن و اتوسن در ایران)* "، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور. شماره ۲۸ (۱۳۷۵) ۴۶۰ ص.
- [7] Ghazban F., McNutt R.h., and Schwarcz H.P. " *Genesis of sediment- hosted Zn-Pb-Ba deposits in the Irankuh district, Esfahan Area, West- Central Iran* ", Economic Geology, v. 89 (1994) 1262-1278.
- [8] Guilbert J.M., and Park Jr. C.F. " *The Geology of Ore Deposits, Freeman and Company* "; New York, (1997) 985.
- [9] Marshal R.R. and Joensuu O. " *Crystal habit and trace element content of some galena* ", Economic Geology, v. 56 (1961) 758-771.
- [10] Mason, B., C.B. Moore. " *Principles of Geochemistry* ", John Willey and Sons, Inc. (1982) 329-341.
- [11] Williams S.A. " *The Significance of Habit and Morphology of Wulfenite* "; The American Mineralogist, v. 51 (1966) 1212-1217.
- [۱۲] رحیم پور بناب ح. " *سنگ شناسی کربناته: ارتباط دیاژنز و تکامل تخلخل* "، انتشارات دانشگاه تهران، (۱۳۸۴) ۴۸۷ ص.
- [13] Hill C.A. " *H<sub>2</sub>S- related porosity and sulfuric acid oil-field karst. In: Budd, D.A., Saller, A.H., Harris, P.M. Eds., Unconformities and Porosity in*