مجله زمین شناسی اقتصادی
سال ۱۳۸۹، شماره ۲ (جلد ۳)
صفحه : ۱۳۱ تا ۱۵۱

Journal of Economic Geology
2010- 2011, No. 2 (Vol. 3)
ISSN 2008-7306

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

محمدعلی جزی[۱]، جمشید شهاب‌پور[۲]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی 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 مادهٔ معدنی ساده بوده و گالن و باریت، کانیهای اصلی و اولیه را تشکیل می‌دهند و سروزیت کانی اقتصادی ثانویه پس از گالن می‌باشد. کانیهای اسفالریت، کالکوپیریت، پیریت، تترائدریت- تنانتیت و آکانتیت از دیگر کانیهای اولیه‌اند که به‌صورت ادخالهای کمیابی درون گالن حضور دارند. علاوه بر سروزیت، دیگر کانیهای ثانویه عبارتند از: انگلزیت، پلاتنریت، ولفنیت، مالاکیت و غیره. سنگ میزبان در اثر فرآیند دولومیتی‌شدن 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 کلوفرم در رگه‌های 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 Ag-As، Zn-Cd، As-Cuو 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 بافهای پرکننده فضای خالی، ویژگیهای کانی‌شناسی و شواهد ژئوشیمیایی، مدل کانسارسازی نوع دره می‌سی‌سی‌پی برای کانسار سرب نخلک پیشنهاد می‌شود.

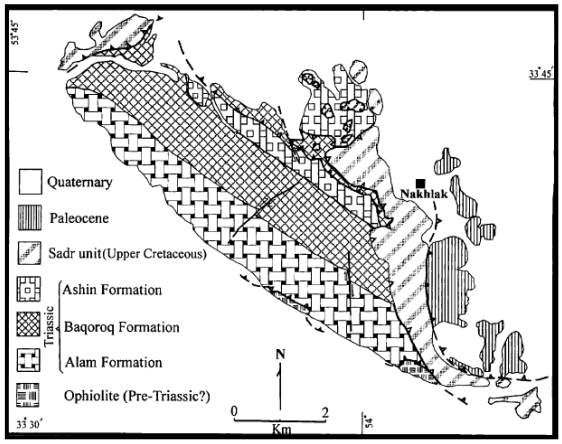
واژه‌های کلیدی: *نخلک، گالن، پرکننده فضای خالی، عناصر کمیاب، نوع دره می‌سی‌سی‌پی.*

[۱]مسؤول مکاتبات : mohamad.jazi@gmail.com

مقدمه

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 شده‌است. معدن نخلک در حاشیه شرقی یک رشته کوه منفرد به‌نام کوه نخلک جای گرفته‌است. 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 قراردارند و به طور کلی از سرپانتینیت، پریدوتیت سرپانتینی و گابرو تشکیل یافته‌اند. تعیین سن دقیق این سنگها صورت نگرفته‌است؛ ولی به واسطه قرارگیری این سنگها در زیر واحد تریاس، سن این سنگها به قبل از تریاس نسبت داده شده‌است[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 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 قراردارند[۳،۴، ۵]، البته این مرز به صورت راندگی نیز در نظر گرفته شده‌است[۲،۱](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 گرفته‌است. 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 شده‌است[۶]. کانسار سازی در کوه نخلک به صورت لایه‌کران و ناهمشیب در سنگهای کرتاسه بالایی جای گرفته است. هدف از این تحقیق بررسی خاستگاه کانسار نخلک بر اساس شواهد کانی‌شناسی، ساخت و بافت و ژئوشیمی کانسار می‌باشد.



شکل۱. نقشه زمین‌شناسی کوه نخلک (برگرفته از علوی و همکاران (۱۹۹۷).

شکل۲. قرارگیری سنگهای کرتاسه برروی سنگهای تریاس.

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 مادهٔ 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 قرارگرفت. 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 تجزیهٔ 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 ازآنها 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 میکروسکپ 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 قرارگرفت. تجزیه جذب اتمی برای عنصر نقره در مجتمع پژوهشهای کاربردی سازمان زمین شناسی 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 سروزیت کانی ثانویه اقتصادی پس از گالن است. کانیهای فرعی و کمیاب اولیه عبارتند از: اسفالریت، پیریت، کالکوپیریت، تترائدریت($Cu_{12}Sb_4S_{13}$) (- تنانتیت($Cu_{12}As_4S_{13}$) و آکانتیت (Ag_2S). این کانیها عمدتاً به صورت ادخال درون گالن حضور دارند و هیچ‌کدام در مقیاس ماکروسکپی قابل مشاهده نیستند. علاوه بر سروزیت، کانیهای فرعی و کمیاب ثانویه عبارتند از: انگلزیت، پلاتنریت (PbO_2)، مازیکوت (PbO)، ولفنیت ($PbMoO_4$)، کوولیت، مالاکیت، کالکانتیت، میمتیت ($Pb_5(AsO_4)_3Cl$)، مینیوم (Pb_3O_4) و اکسیدهای آهن و منگنز. علاوه بر باریت، به مقدار کمتر کلسیت و دولومیت به عنوان کانیهای باطله درکانسار 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 پرکننده فضای خالی بین قطعات برش حضور دارد. رخداد سولفیدها در اندازه‌های ریز و درشت می تواند 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 حضوردارد. 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 پر کننده فضای خالی است[۸] (شکل۳). 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 می باشد[۹]، که درنمونه‌های گالن نخلک، غنی بودن از آنتیموان و فقیر بودن از بیسموت توسط آنالیزهای انجام شده مورد تأیید قرارگرفت.

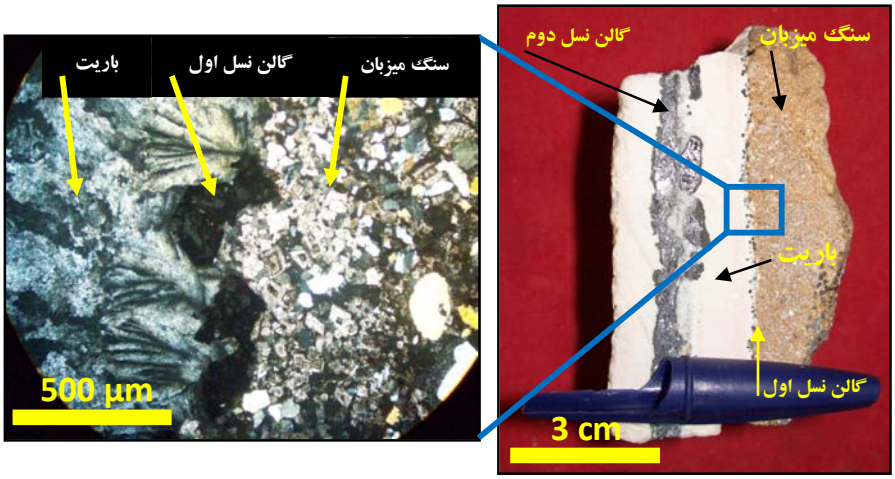
اسفالریت، پیریت و کالکوپیریت: این کانیها ندرتاً به صورت ادخالهایی با اندازه چند میکرون تا حداکثر ۱۰۰ میکرون به صورت بی‌شکل تا نیمه خودشکل درون گالن پراکنده شده‌اند. ادخالهای پیریت و کالکوپیریت معمولاً اکسید شده‌اند و به صورت اکسیدهای آهن و کوولیت درآمده‌اند (شکل۴).

تترائدریت-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 (شکل۵). از مشخصات بارز این کانیها نسبت به گالن در زیر میکروسکپ، به سختی بالاتر کانیهای تترائدریت- تنانتیت باز می‌گردد، بدین صورت که خشهای سایش روی سطح گالن با رسیدن به کانیهای تترائدریت- تنانتیت به اتمام می‌رسد و مجدداً با رسیدن به گالن ادامه این خط سایش مشاهده می‌شود.

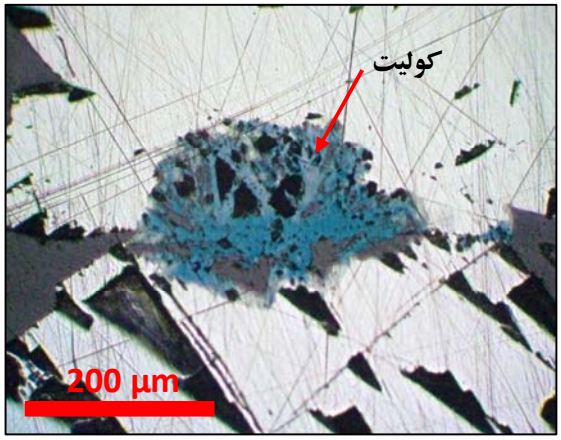
سروزیت: فراوانترین کانی ثانویه سرب در این کانسار سروزیت است (شکل ۶). با توجه به سنگ میزبان کربناته و در نتیجه حضور کربنات در محیط، فراوانی مطلق این کانی نسبت به دیگر کانیهای ثانویه سرب قابل توجیه است. فرآیند زیر را می‌توان برای تشکیل سروزیت ارائه کرد[۸] :

$$PbS + H_2O + CO_2 + 2O_2 \longrightarrow PbCO_3 + SO_4^{2-} + 2H^+$$

در مقیاس ماکروسکپی، 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.



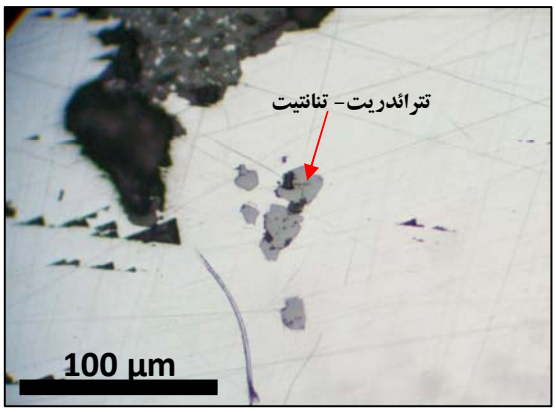
شکل۳ .گالن نسل اول در حالت ماکروسکپی و میکروسکپی.

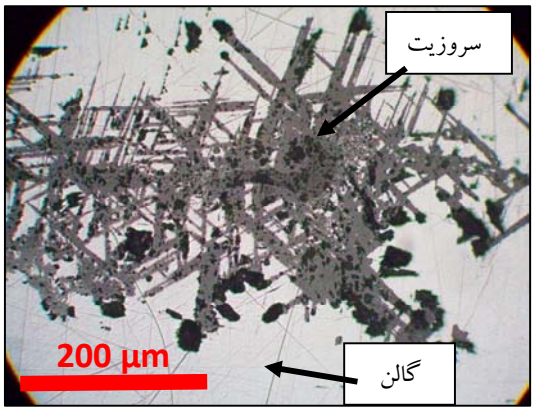


شکل۴. کولیت معمولی با ماکل موجدار در حاشیه هوازده گالن

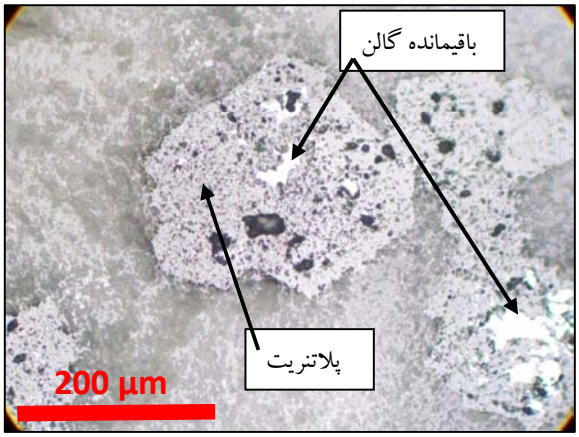
پلاتنریت: این کانی به‌صورت پوششی خاکی سیاه رنگ در سطوح تونلها و کارگاههای قدیمی استخراج و در نقاطی با مقدار اکسیژن بالا به عنوان اصلی‌ترین کانی اکسیدی سرب در کانسار نخلک حضور دارد. این کانی خاص نقاط با آب و هوای خشک است. این کانی در محیطهای اسیدی، در پتانسیل اکسیداسیون (Eh) بالا به‌وجود می‌آید و با افزایش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

جانشینی گالن توسط سروزیت و پلاتنریت و به مقدار کمتر انگلزیت 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 (شکل۶) (Cleavage replacement) و برجای مانده جانشینی (Replacement relict texture)، قابل مشاهده‌است. در بافت برجای مانده جانشینی، گالن اولیه توسط کانیهای ثانویه جانشین شده و فقط قالبی از کانی گالن باقی‌مانده‌است (شکل۷).





شکل۵. ادخالهای تترائدریت-تنانتیت درون گالن که خشهای سایش از آن عبور نمی‌کند. **شکل ۶.** بافت جانشینی‌گالن توسط سروزیت در امتداد رخ.



شکل۷. بافت بر جای مانده جانشینی از گالن توسط پلاتنریت.

ولفنیت($PbMoO_4$): این کانی به همراه سروزیت در شکافها به صورت پولکهای نارنجی و خود شکل تتراگونال به طور کمیابی دیده می‌شود. مولیبدن لازم برای تشکیل ولفنیت احتمالاً از ساختار شبکه‌ای گالن خارج شده و یا از ادخالهای میکروسکپی مولیبدنیت درون گالن منشأ گرفته است. در منطقه اکسیدی حامل اصلی مولیبدن کانی ولفنیت است که می‌تواند مقادیری از عناصر تنگستن،کروم، وانادیوم، مس وکلسیم را نیز در ساختار خود نگه دارد[۱۱].

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

$$PbS + MoS_2 + 2H_2O + 7O_2 \rightarrow PbMoO_4 + 3SO_4^{2-} + H^+$$

کولیت: کولیت در برخی مقاطع تجزیه شده گالن به همراه سروزیت قابل مشاهده است(شکل۴). 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 می تواند کولیت را ایجاد نماید[۸]:

$$PbS + CuSO_4 \longrightarrow CuS + PbSO_4$$

مالاکیت و کالکانتیت: این کانیها در داخل برخی رگه‌ها دیده می‌شوند. کالکانتیت به‌دلیل حلالیت در آب، خاص محیطهای خشک همچون منطقه نخلک می‌باشد. منبع مس در این کانیها احتمالاً ادخالهای کالکوپیریت و تترائدریت- تنانتیت درون گالن است.

میمتیت($Pb_5(AsO_4)_3CL$): 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 تترائدریت- 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)(شکل۸)، رشد شعاعی و نیمه‌موازی (sub-parallel and radial growths)، طرح پر مانند(Plumose pattern)، بافت دم چلچله ای و دم جارویی(شکل۹) 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

شکل۸. باریت با بافت کلوفرم.

شکل ۹. باریت با بافت دم جارویی

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 وکلسیت) 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 مادهٔ معدنی حضور دارند. در مطالعات میکروسکپی سنگ میزبان و مادهٔ معدنی چهار نوع دولومیت تشخیص داده شده‌است که از نظر شکل، اندازه، ادخال و منطقه‌بندی با یکدیگر متفاوتند.

دولومیت نوع اول: ریز بلور و عمدتاً بی‌شکل هستند و به صورت گسترده‌تری 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 به‌صورت درشت‌تر نسبت به نوع اول و خود شکل با اندازه‌های در حد چند ده میکرون و با بافت دانه‌شکری 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 به‌وسیله گالن پر و یا جانشین شده‌است. پرشدگی تخلخل بین بلوری و نیز جانشینی حاشیه بلورهای دولومیت توسط گالن نشان‌دهنده تقدم این دولومیتها نسبت به کانسارسازی است (شکل۱۰). تخلخل بین بلوری، نتیجه جانشینی دولومیت به جای کلسیت است، که به دلیل چگال‌تر 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 میلی‌متر 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 مشاهده‌است (شکل۱۱). تفاوت در ساخت منطقه‌ای دولومیتهای مختلف مربوط به تغییرات متوالی شرایط فیزیکوشیمیایی (مانند Eh) سیالاتی است‌که عامل حمل مقادیر متفاوتی از Fe^{++} وMn^{++} وعناصردیگر 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 کانسارسازی و گاهی مواقع تا مراحل آخر کانسارسازی به‌صورت هم‌رشدیافته با گالن قابل مشاهده است (شکل۱۲). 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] :

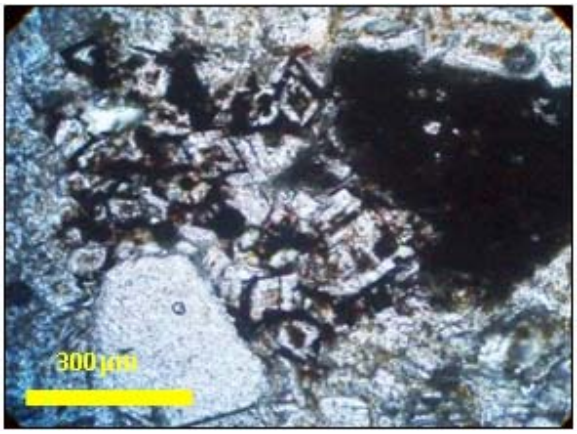
$$H_2S + CO_2 + MeCl^{+} + Mg^{++} + 2CaCO_3 + H_2O \longrightarrow MeS + Ca^{++} + CaMg(CO_3)_2 + HCO3^{-} + Cl^{-} + 3H^{+}$$

Me در رابطه بالا می تواند 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 مرکزهستند، نیز اشاره کرد(شکل۱۳). منیزیم لازم برای دولومیتی‌شدن سنگ میزبان از تبدیل کانیهای رسی و بی‌آب شدن شیل فراهم می‌شود[۷].

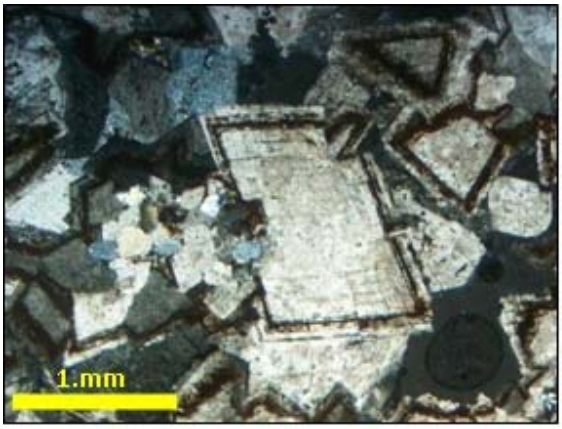
۳) ساخت و بافت

الف- ساختار ماده معدنی

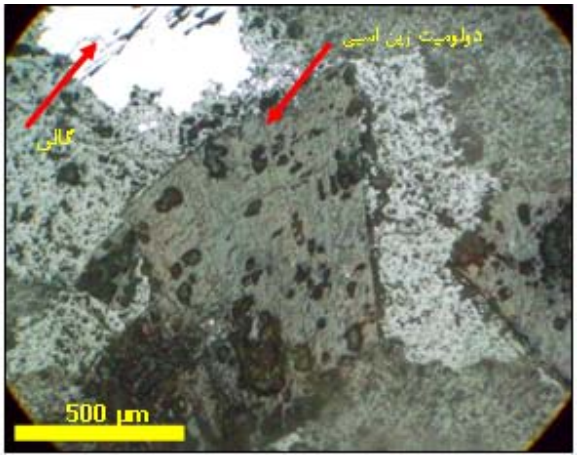
به‌طور کلی ماده معدنی در کانسار نخلک به شکل رگه‌هایی با ضخامتهای متفاوت دیده می‌شود. شیب رگه‌های معدنی زیاد بوده و معمولاً بین ۶۵ تا ۹۰ درجه متغیر است. رگه‌ها به‌صورت تقریباً موازی با هم قرار گرفته‌اند و به ندرت همدیگر را قطع کرده و امتداد عمده آنها شرقی- غربی است (شکل۱۴). برای



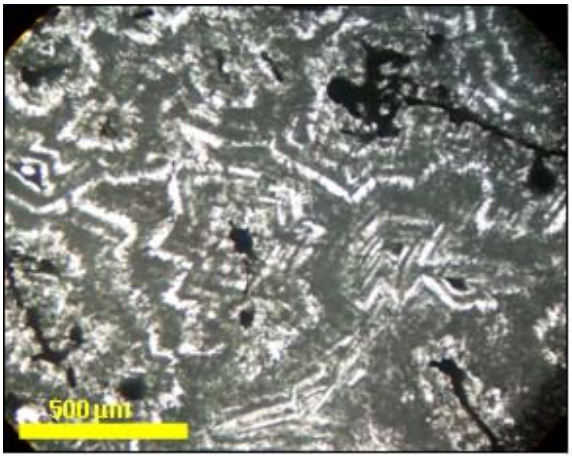
شکل۱۰. جانشین شدن حاشیه بلورهای دولومیت نوع دوم توسط گالن.



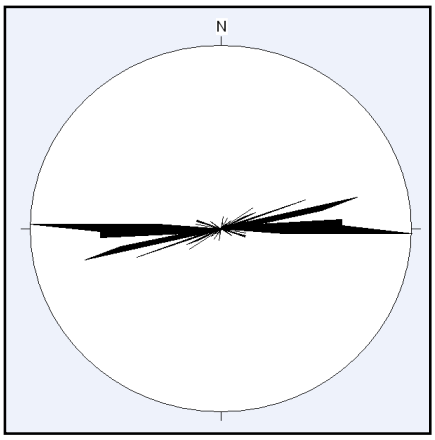
شکل ۱۱. دولومیت نوع سوم درشت بلور و با حاشیه تیره.



شکل ۱۲. .بلور دولومیت زین اسبی به‌صورت هم‌رشدی با گالن.



شکل۱۳. دولومیتهای رشد کرده در شکافها با حالت زیگزاگی شکل و هم مرکز.



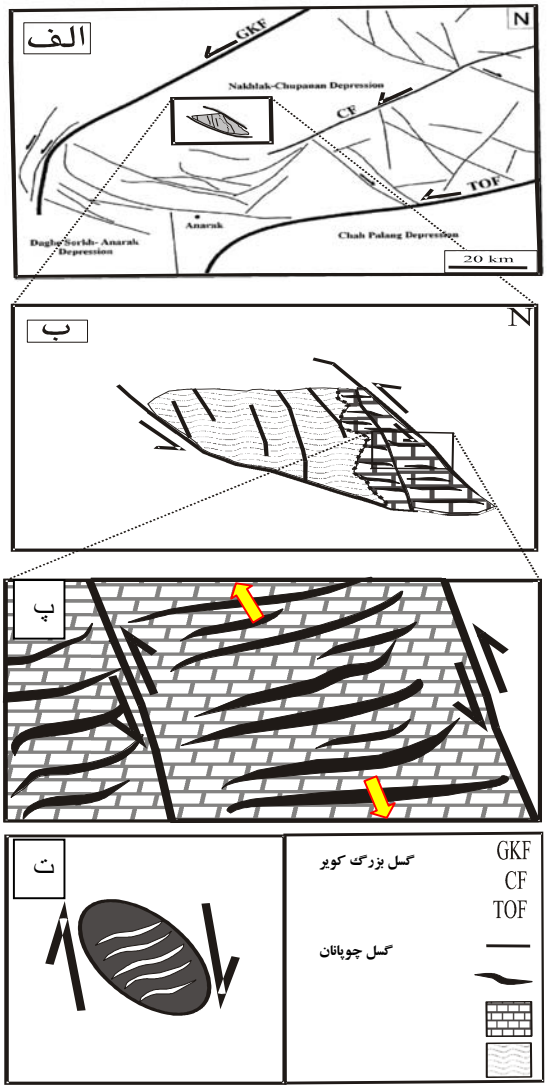
شکل ۱۴. امتداد عمده رگه‌های معدنی تقریباً شرقی = غربی و تقریباً ۸۰ درجه نسبت به شمال است (تعداد کل داده‌ها= ۱۸۰ عدد).

ایجاد چنین رگه‌هایی وجود نیروهای کششی عمود بر امتداد رگه‌ها لازم است[۱۴]. براساس مطالعات تکتونیکی می‌توان شکل۱۵را به عنوان مدل ایجاد فضای خالی مناسب جهت کانسارسازی پیشنهاد کرد.

ب- شکل قرارگیری ماده معدنی درون رگه‌ها

مادهٔ 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 کانسارسازی در کانسار نخلک است. برشها از جنس سنگ دیواره هستند که کم و بیش دگرسان شده و با اندازه از چند سانتی‌متر تا چند ده سانتی‌متر درون رگه‌ها قرار گرفته‌اند و توسط مادهٔ 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] (شکل۱۶).

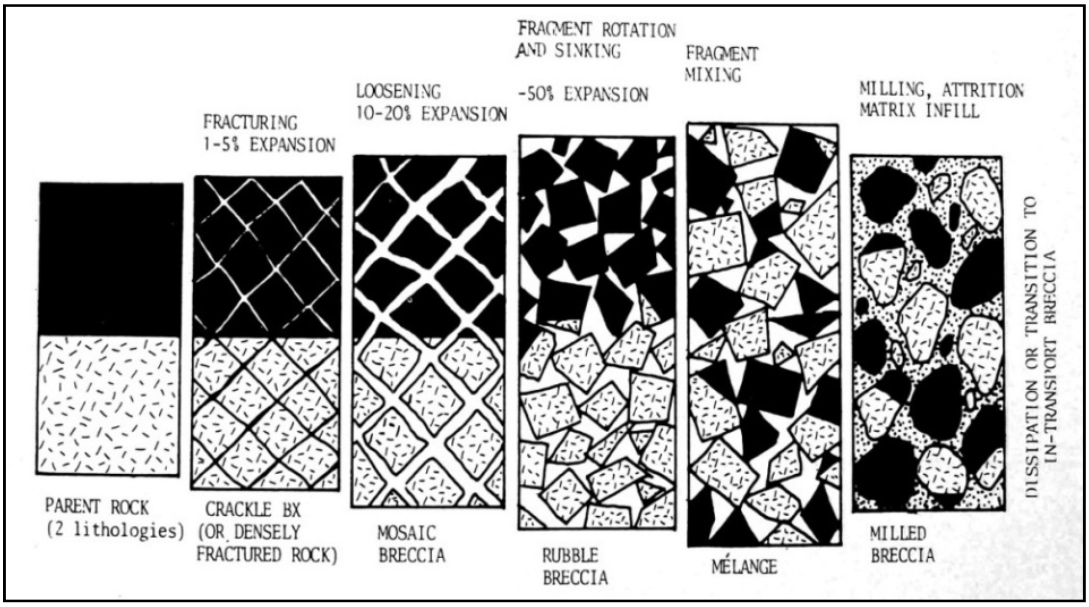


شکل ۱۵. الف.گسلها و شکستگیهای با امتداد NNW تا NW-SE در اثر عملکرد گسلهای بزرگ منطقه مانند گسل بزرگ کویر و چوپانان ایجاد شده‌اند (ندیمی و ندیمی[۱]، ۲۰۰۸ با تغییرات).

ب. کوه نخلک محصور به گسلهای ذکر شده در بالا می باشد. کوه نخلک دراثر عملکرد گسلهای کوچکترو چپ‌گرد به بلوکهایی تقسیم شده‌است.

پ. عملکرد گسلهای چپ‌گرد در کربناتهای 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 مادهٔ معدنی پرشده است.

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



شکل۱۶. سری تکاملی برشهای تخریبی در واحدهای سنگی(لازنیکا، ۱۹۸۹).

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:

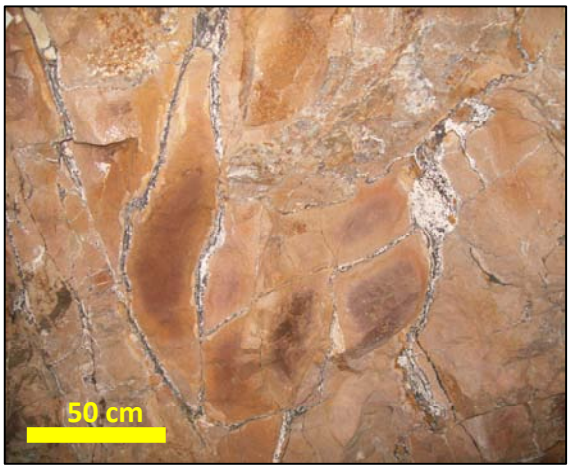
برشی خرد شده : در این نوع برش، هیچ‌گونه اثری از جابه‌جایی، چرخش و یا ساییدگی در قطعات برش مشاهده نمی‌شود. واقع این نوع برش در سنگ میزبان قراردارد و مرز بین سنگ میزبان و شروع مادهٔ معدنی است (شکل۱۷).

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 (شکل۱۸).

بافت برش رابل : لاوه بر افزایش فاصلهٔ 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 (شکل۱۹).

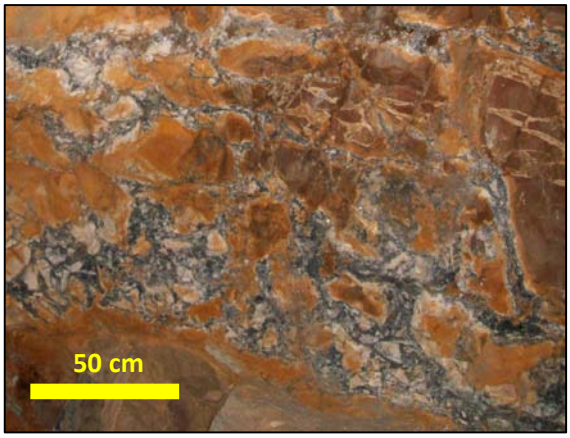
بافت ساییده شده : در آخرین مرحله از تشکیل برشها در مادهٔ معدنی، این بافت شکل گرفته‌است که در آن قطعات برش به طور کامل اختلاط یافته و با حاشیه گردشده در سیمانی از مادهٔ معدنی قرارگرفته‌اند. برای تشکیل این بافت قطعات خرد شده سنگ میزبان درون جریان سیال کانه‌ساز غوطه‌ور شده و همراه با آن حرکت نموده‌اند (شکل۲۰).

بافت تجمعات برشی (Breccia aggregate): در این بافت، قطعات برش در واقع خود مادهٔ 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 مادهٔ معدنی سیمان شده‌اند. این بافت می‌تواند به عنوان شاهدی مبنی بر وجود حرکات تکتونیکی در حین کانسارسازی تلقی شود. این بافت هم در مقیاس میکروسکپی (شکل۲۱) و هم در مقیاس ماکروسکپی (شکل۲۲) قابل مشاهده است. شکل ۲۳ نحوهٔ تشکیل این گونه برشها را نشان می‌دهد.

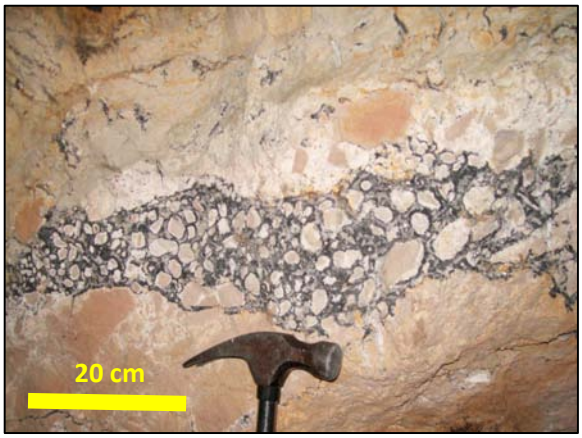


شکل۱۷. بافت برشی خرد شده شامل قطعات خرد شدهٔ سنگ میزبان و سیمان مادهٔ معدنی.

شکل۱۸. بافت برشی موزائیکی شامل قطعات خرد شدهٔ سنگ میزبان و سیمان مادهٔ معدنی.



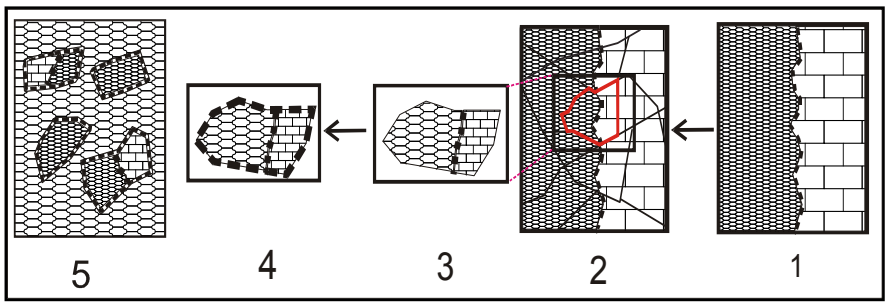
شکل۱۹. برشهای رابل که شامل برشهای چرخیده سنگ میزبان و سیمان مادهٔ معدنی است.



شکل۲۰. برشهای چرخیده وگرده شده سیمان شده با مادهٔ معدنی.

شکل۲۱. بافت کوکاد حاصل از ته نشینی نازک لایه گالن برروی قطعه خرد شده از بافت اولیه قشری

شکل۲۲. قرارگیری قطعات بافت اولیه قشری. به‌صورت برش در میان رگه و سیمان‌شدگی توسط باریت نسل بعدی در مقیاس ماکروسکپی.



شکل ۲۳. مراحل ایجاد بافت تجمعات برشی ۱) ایجاد بافت اولیه قشری با نازک لاینه 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 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 (شکل۲۴). این بافت بیشتر در برشهای نوع ساییده شده که بیشتر در معرض حرکت سیالات بوده‌اند، دیده‌می‌شود.

بافت قشری(Crustification bounding): حاصل رشد متناوب گالن و باریت درون شکافها و فضای‌خالی بدون حضور برش است (شکل۲۵)، در این بافت مادهٔ معدنی به‌طور 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 مادهٔ معدنی در این بافت نسبت به بافتهای مادهٔ 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 بلورهایی با اندازه درشت‌تر شده است. این بافت غالباً در کانسارهای دمای پایین دیده می‌شود [۱۷].

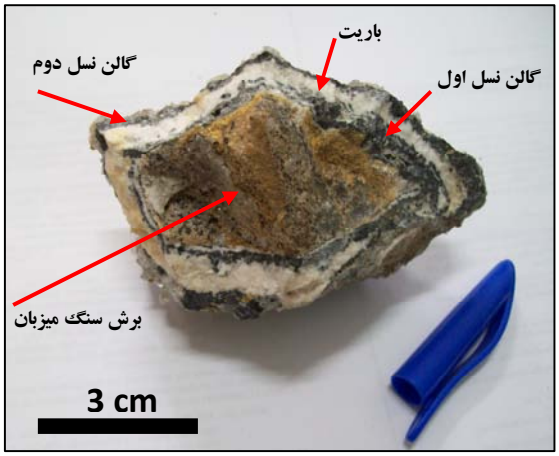
بافت موزون(Rhythmic texture): این بافت از تناوب تشکیل باریت و گالن درون شکافها حاصل می‌شود و به سبب نظم و ترتیب در قرارگیری کانه‌ها، از این بافت می‌توان به منظور درک توالی پاراژنزی استفاده کرد (شکل۲۶).

در کلیه بافتهایی همچون بافتهای قشری، کوکاد و موزون که مادهٔ معدنی به‌صورت قشری روی سنگ دیواره قرارمی‌گیرد، اولین قشر مادهٔ 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].

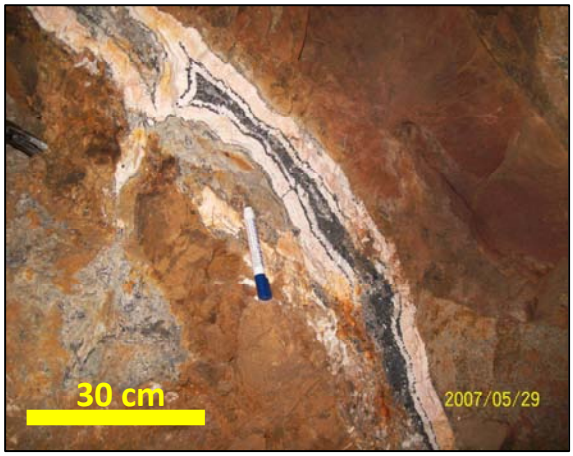
بافت خوشه انگوری(Botryoidal texture): بافت خوشه انگوری از دسته بافتهای کلوئیدی است و در این کانسار در کانی باریت و کلسیت دیده می‌شود و از رشد این کانیها بر روی سطح فضای خالی حاصل می‌شود که می‌تواند حالت هم مرکزی در قشرهای آن دیده شود.

بافت انتشاری(Disseminated texture): این بافت در نزدیکی رگه‌ها و درون سنگ میزبان دیده می‌شود که در واقع حاصل نفوذ سیالات گرمابی به‌داخل سنگ میزبان است. در مواردی نیز این بافت به‌صورت پرکننده فضای بین بلوری در سنگ میزبان دولستون دیده می‌شود.

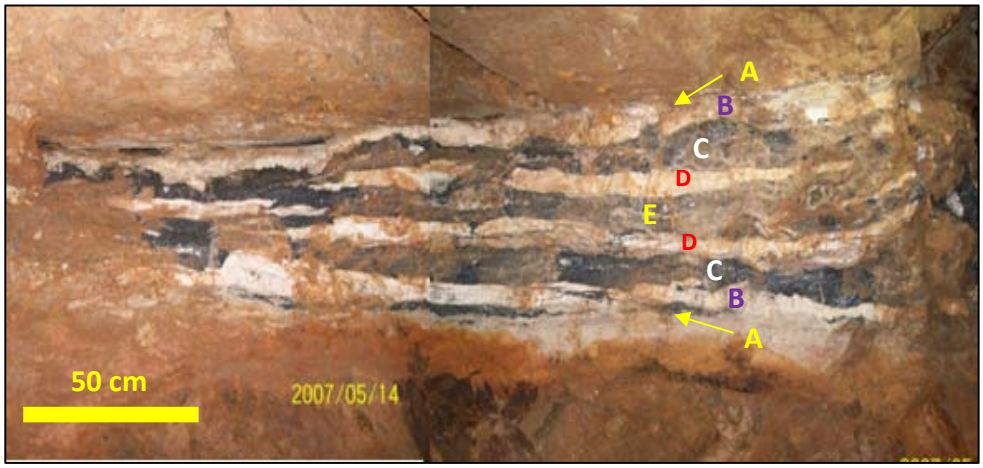
بازشدگی مجدد در تعداد کمی از رگه‌های کانی‌سازی شده صورت گرفته‌است و به‌عنوان مثال در شکلهای ۲۷ تا۲۹ شکستگی که با بافت قشری پر شده‌است، مجدداً باز شده و فضای خالی باز شده در مرحلهٔ بعد با مادهٔ معدنی(گالن) پر شده است.



شکل۲۴. تناوب لایه‌های گالن و باریت بروی سطح خارجی برش.

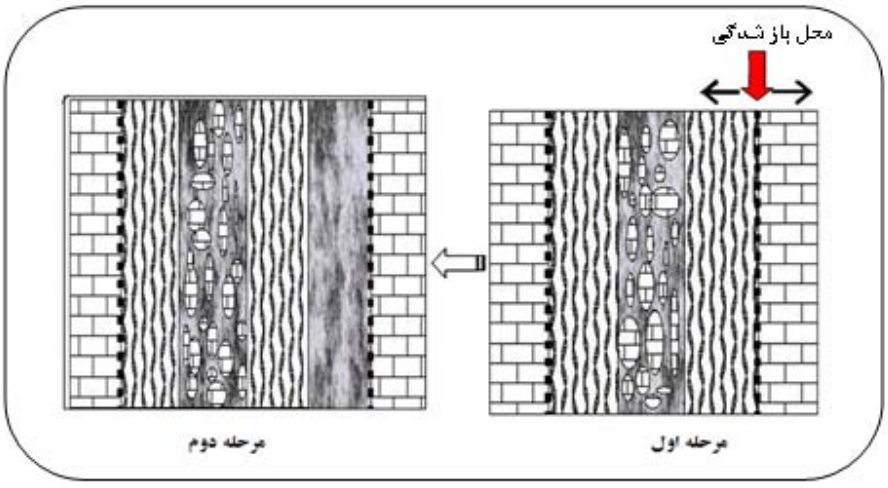


شکل۲۵. لایه‌های متناوب گالن و باریت بروی سطح داخلی شکاف.

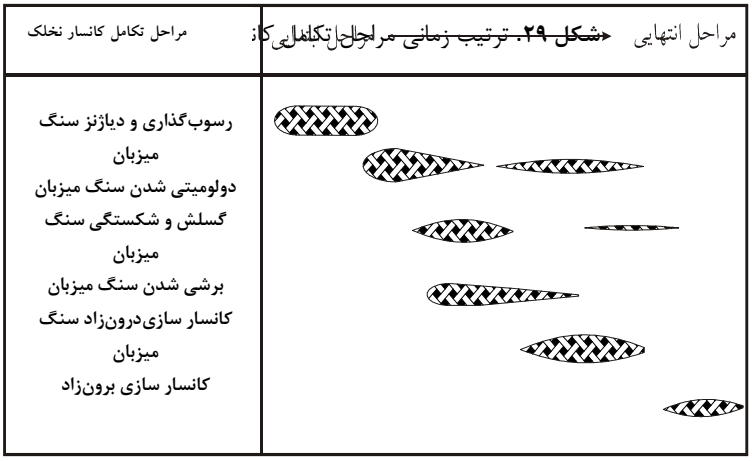


شکل۲۶. تقارن لایه‌های گالن و باریت نسبت به مرکز رگه.

شکل۲۷. 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 کانسار ساز مرحله بعد و تشکیل رگه‌چه گالن.



شکل ۲۹. ترتیب زمانی مراحل تکاملی کانسار

پ- مراحل کانسار سازی و توالی پاراژنزی

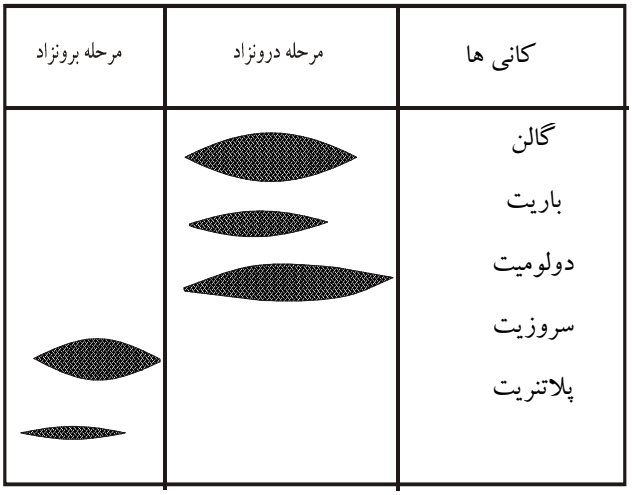
سنگهای کربناتی کرتاسه بالایی در کوه نخلک، تحت تأثیر حرکات تکتونیکی منطقه، فضای لازم را برای کانسارسازی به‌دست آورده‌است. ضمناً این سنگها قبل از این مرحله تحت دولومیتی شدن قرارگرفته‌اند. در مرحله بعد مادهٔ معدنی توسط سیالات کانسارساز در فضاهای خالی ایجاد شده نهشته شده است. در شکل۲۹ مراحل تکامل کانسار 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 فرآوردهٔ جانبی (By- product) در نظر گرفت. میانگین نقره در 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 A, Ag^{+}=1.26 A) 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: $Ag^{+}+(Sb, Bi)^{3+} = 2Pb^{2+}$ شکل دیگر تمرکز نقره در گالن به صورت حضور در کانیهای نقره‌دار مانند آکانتیت و تترائدریت-تنانتیت است که به صورت ادخال درون گالن حضور دارند. بالا بودن آنتیموان و نقره، حضور احتمالی تترائدریت- 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 $\frac{Ag = ۱۰۲۹/۶ppm}{Sb = ۳۷۷/۳ppm + Bi = ۰/۱ppm}$ در کانسار نخلک برابر با ۲/۷ است، می توان انتظار داشت که علاوه بر حضور نقره در ترکیب تترائدریت- تنانتیت، مقداری از نقره در ترکیب آکانتیت نیز حضور داشته‌باشد. حضور کمیاب این ادخالها در مطالعات کانی‌شناسی نیز به اثبات رسیده‌است.



شکل۳۰. توالی پاراژنزی کانیهای اصلی کانسار نخلک.

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 میمتیت ($Pb_5(AsO_4)_3Cl$)، 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 کرده‌است.

کادمیم: حضور کادمیم در گالن می تواند 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 خواهدشد.

مس: ادخالهای کالکوپیریت، تترائدریت- 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.

آنتیموان: مقدار آنتیموان در گالن نخلک نسبتاً بالاست. جانشینی آنتیموان در شبکه بلوری به همراه نقره و ادخالهای سولفوآنتیمونید همچون تترائدریت را می توان 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.

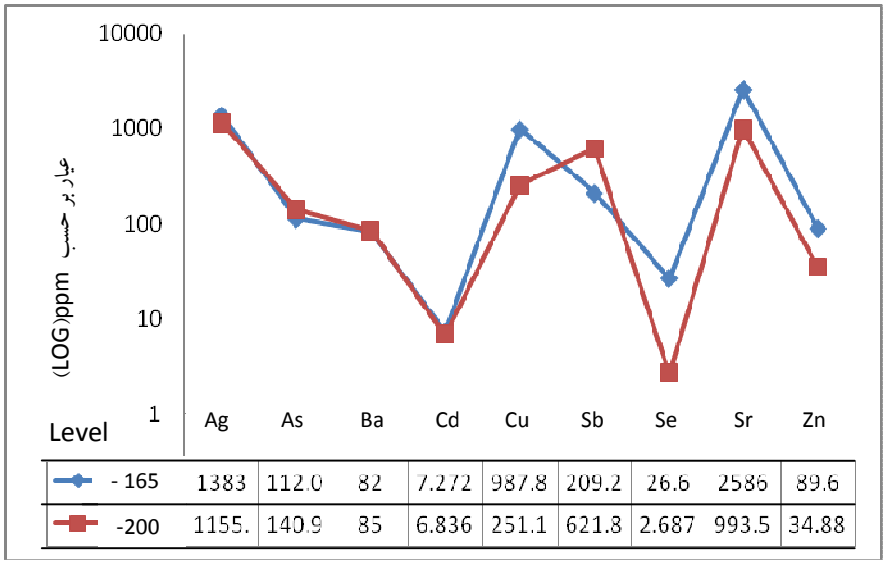
روی: معمولاً حضور روی در گالن به صورت ادخالهایی از اسفالریت در نظر گرفته می‌شود و کمتر پدیده جانشینی ممکن است روی‌دهد. در مطالعه مقاطع صیقلی این کانی به صورت ادخالهای کمیابی مشاهده شده‌است. میانگین فراوانی عناصر در رگه‌های معدن نخلک (جدول۲)، و نیز در طبقه ۲۰۰- و ۱۶۵- متری (شکل۳۱)، نشان می‌دهد که منطقه‌بندی خاصی در جهت عمودی و افقی کانسار وجود ندارد و تغییرات موجود به صورت محلی و موضعی عمل کرده‌اند.

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. Deviayion	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	۳۳٫۲۲
رگه ۱۲	۱۳۱۵	۹۵٫۲	۸۹٫۲	۴۱۰	۲۸۹	۲۰	۴۸۳۰
رگه ۲۰	۲۱۶۰	۱۷۲٫۱	۱۲٫۵۳	۱۰۶۸	۲۳۲	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



شکل۳۱. 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).

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 تترائدریت- 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]. رابطهٔ 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 تترائدریت- تنانتیت است. علاوه بر این آرسنیک با آهن 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 میکروسکپی اسفالریت به صورت مستقل درون گالن است[۲۱].

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

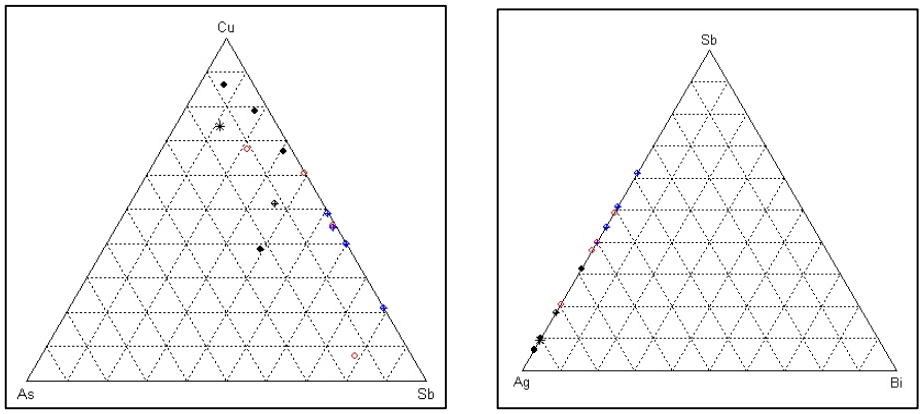
	Ag	As	Bi	Cd	Cu	Sb	Se	Zn
Ag	**1**	+++	***n.c***	***n.c***	++	+	++	***n.c***
As	**0.725**	**1**	***n.c***	***n.c***	++	++	++	***n.c***
Bi	**0.116**	**0.113**	**1**	***n.c***	+	***n.c***	***n.c***	***n.c***
Cd	**0.069**	**0.025**	**-0.157**	**1**	***n.c***	***n.c***	***n.c***	+++
Cu	**0.657**	**0.418**	**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**

در نمودارهای سه‌تایی Ag-Sb-Bi تمامی نمونه‌ها در ضلع آنتیموان- نقره تجمع یافته‌اند که تمایل به سمت راس نقره بیشتر است. در نمودار Cu-Sb-As که در واقع عناصر فلزی اصلی سازنده کانیهای تترائدریت- تنانتیت می‌باشد، به نظر می‌رسد که بیشتر نمونه‌ها به ضلع مس - آنتیموان تمایل دارند که این شاید از بیشتر بودن کانی تترائدریت نسبت به کانی تنانتیت حکایت دارد (شکل۳۲).

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 می توان 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 < ۱ (یعنیNi>Co) باشد، نشان‌دهنده خاستگاه رسوبی و اگر نسبت Co/Ni >۱ (یعنیCo>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 نشان‌دهندهٔ عدم ارتباط با فعالیت آذرین برای کانسار نخلک می‌باشد، البته باید توجه داشت‌که این نسبت با احتیاط به‌کار برده می‌شود.

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



شکل ۳۲. پراکندگی عناصر درون گالن نخلک در نمودار های سه تایی Ag-Sb-Bi و Cu-Sb-As.

نتیجه‌گیری

کانسارسازی 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. سروزیت 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، تترائدریت ($Cu_{12}Sb_4S_{13}$) - تنانتیت ($Cu_{12}As_4S_{13}$) و آکانتیت (Ag_2S). علاوه بر سروزیت، فرآیندهای برون‌زاد باعث ایجاد کانیهای ثانویه دیگری از جمله : انگلزیت ($PbSO_4$)، پلاتنریت (PbO_2)، مازیکوت (PbO)، ولفنیت ($PbMoO_4$)، کولیت (CuS)، مالاکیت، کالکانتیت، میمتیت ($Pb_5(AsO_4)_3Cl$)، مینیوم (Pb_3O_4) و اکسیدهای آهن و منگنز نیز شده‌است. بافتهای متنوعی از مادهٔ معدنی مشاهده شده که همگی از نوع پرکننده فضای خالی در دمای پایین هستند. در مورد نحوهٔ ایجاد فضای خالی باید گفت که فعالیت گسلهای منطقه به حرکات تکتونیکی منجر شده است و این حرکات در مرحلهٔ بعد طبق مدلی که ارائه گردید باعث ایجاد درز و شکافهای مناسب جهت کانسارسازی شده است. تجزیهٔ 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 (۳۲۶ppm) که هر کدام از این عناصر می‌توانند به‌عنوان محصول جانبی نیز در نظر گرفته شوند. مقدار نقره در گالن نخلک نسبتاً بالاست.

از آن‌جایی‌که هیچ‌گونه فعالیت آذرین در مجاورت کانسار نخلک دیده نمی‌شود، نمی‌توان بالا بودن نقره را به این گونه فعالیتها نسبت‌داد و احتمالاً این بالاتر بودن به سبب دخالت ژئوشیمی محلی، تأثیرات سنگ میزبان، واکنش با سنگهای در مسیر حرکت سیالات کانسارساز و نیز شرایط کانه‌زایی است. با توجه به چینه‌شناسی کربناتی کرتاسه بالایی، دگرسانی دولومیتی سنگ میزبان، کانسارسازی 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 نظرگرفت.

مراجع

[۱]وزیری ح. *"مطالعه لیتواستراتی‌گرافی، بیواستراتی‌گرافی 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.

[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 ",*Heidel. 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 ائوسن 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) ۴۸۷ص.

[13] Hill C.A. *" H_2S- related porosity and sulfuric acid oil-field karst. In: Budd, D.A., Saller, A.H., Harris, P.M. Eds., Unconformities and Porosity in 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 1: 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 paragenisis 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 Chinhuhahua, 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 Alcudia 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.