فصلنامه زمین‌شناسی ایران، سال نهم، شماره سی و سوم، بهار ۱۳۹۴، صفحات ۶۳ـ۷۷

کانی‌شناسی و چگونگی رخداد سولفیدها، سولفات‌ها و کربنات‌ها در کانسارهای فلوریت شرق استان مازندران

شهربانو ذبیحی تبار[۱] و بهنام شفیعی[۲و*]

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران

۲. استادیار زمین‌شناسی اقتصادی، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۲/۷/۱٤

تاریخ پذیرش: ۹۳/۹/۳

چکیده

بخش‌های بالایی سازند کربناته الیکا به سن تریاس میانی در بخش مرکزی پهنه ساختاری – رسوبی البرز در شرق مازندران (مناطق سوادکوه، خطیرکوه و کیاسر) میزبان کانی‌سازی‌های فراوان و مهم از فلوئور – سرب – باریم شامل پاچی میانا، شش رودبار، اِراء، عالیکلا و کمرپشت است. برپایه مشاهدات صحرایی در مطالعه حاضر، محل‌های اصلی تمرکز ماده معدنی درون سنگ‌های کربناته میزبان به‌صورت منقطع، نامنظم و ناهم‌شیب با لایه‌بندی است که در شکستگی‌ها و یا حفرات انحلالی و کارستی به شکل رگه‌ای، عدسی و توده‌ای تظاهر یافته‌اند.کانی‌شناسی در کانسارها ساده بوده و عمدتاً گالن، باریت، فلوریت، کلسیت و مقادیر جزئی اسفالریت می‌باشد. مشاهدات ماکروسکوپی و میکروسکوپی، ساخت و بافت‌های کانی‌سازی هم‌زاد و دیرزاد متنوعی را آشکار نمود. بافت‌های افشان، استیلولایتی و ریزرگچه‌ای از گالن و کلسیت با و یا بدون همراهی دیگر کانی‌ها به‌عنوان بافت‌های هم‌زاد با سنگ‌شدگی سنگ‌های میزبان شناسایی شدند. ساخت و بافت‌های دیرزاد از نوع پرشدگی فضای خالی مانند رگه – رگچه‌ای، گورخری، نواربندی قشرگون، جانشینی اولیه و کلوفرمی از بافت‌های غالب و مناطق اصلی و اقتصادی تمرکز ماده معدنی می‌باشند. بافت‌های ثانویه مانند خمیدگی در رخ‌های گالن‌های درشت و همچنین جانشینی این گالن‌ها توسط سروزیت و کوولیت بیانگر رخداد دگرشکلی و اکسید–شدن برون‌زاد بعد از مرحله اصلی کانی‌سازی می‌باشد. برپایه این پژوهش، کانی‌سازی اولیه در کانسارهای فلوئور – باریم – سرب شرق مازندران در دو گامه (۱) اولیه هم‌زاد با سنگ‌شدگی و (۲) اصلی دیرزاد شکل گرفته است. لیکن با استناد به شواهد ساختی تظاهر ماده معدنی در محیط کانسارها و شواهد بافتی در مقیاس ماکروسکوپی و میکروسکوپی می‌توان مرحله اصلی و البته اقتصادی کانی‌سازی را در کانسارهای مورد مطالعه از نوع گرمابی ناهم‌زاد با سنگ میزبان کربناته معرفی نمود.

واژه‌های کلیدی: ساخت و بافت، کانسارهای سرب – باریم – فلوئور، مازندران

مقدمه

مطالعه ساخت و بافت کانی‌سازی در کانسارهای رسوبی به‌ویژه کانسارهای سرب – روی – باریم – فلوئور با سنگ میزبان کربناته یکی از مطمئن‌ترین روش‌ها برای پی بردن به الگوی تشکیل این کانسارها می‌باشد؛ زیرا بحث اصلی در ارتباط با تشکیل این کانسارها، الگوهای هم‌زادی[۱] مانند هم‌زاد با رسوبگذاری[۲] یا هم‌زاد

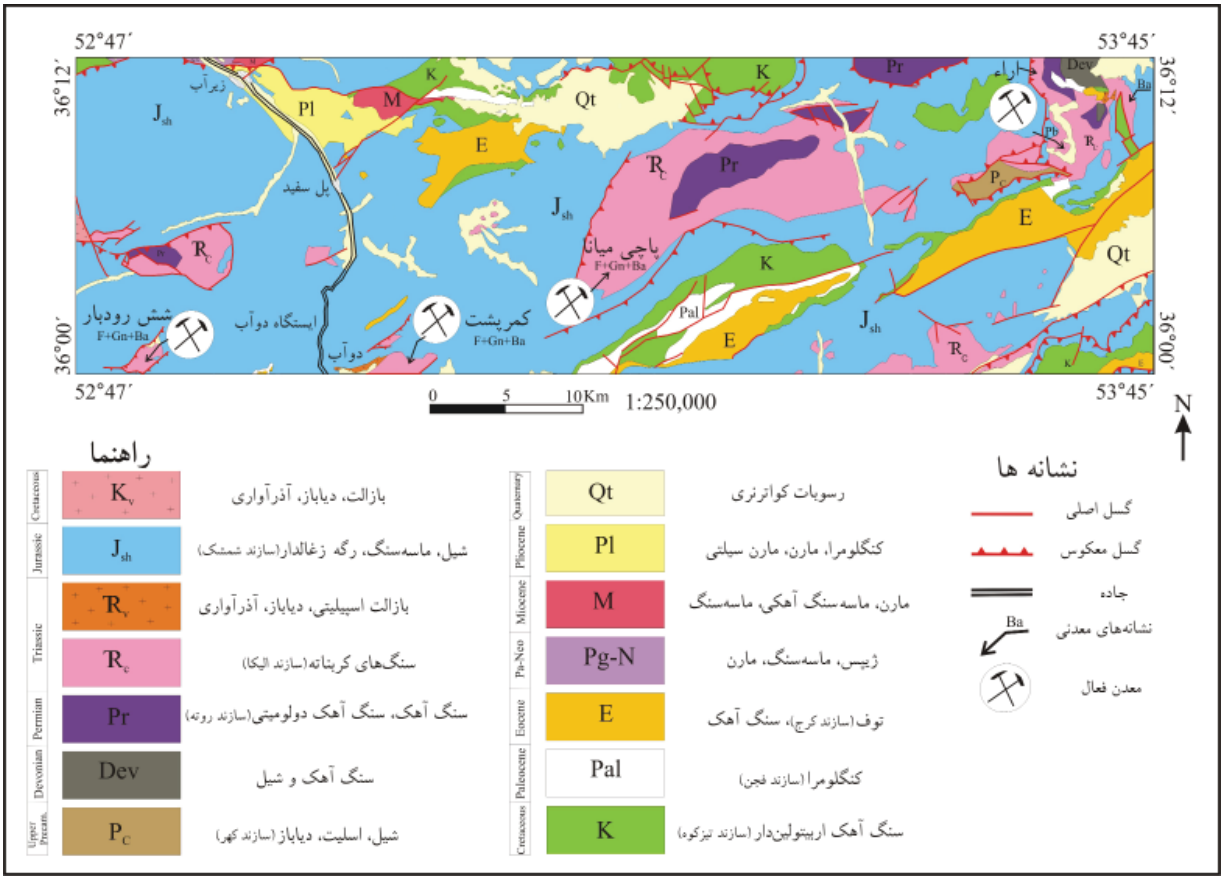
* نویسنده مرتبط behnam.shafiei@gmail.com

1. Syngenetic
2. Syn-sedimentary

با سنگ‌شدگی[1] و الگوی ناهم‌زادی[2] می‌باشد. در این زمینه مطالعات متعددی در سراسر جهان در این نوع کانسارها مانند کانسارهای Denton mine, North Green mine, Argo mine و Wall mine در ایالت‌های Illinois و Kentucky در آمریکا، کانسارهای Alston Block, Boltsburn mine, Heights mine, Rogerley mine, Groverake mine و Hilton mine در Pennine انگلستان، کانسارهای Berbes, I.aCollada و Villabona در استرالیا و کانسار نخلک در ایران صورت پذیرفته است که دستاورد این مطالعات آشکار نمودن جنبه‌های منشایی این کانسارها بوده است (Ixer and Garcia and Loredo,1994؛ Dunham, 1983 ؛Townley, 1979؛ Partey et al., 2009 ؛Cann and Banks,2001؛ جزی و شهاب‌پور، ۱۳۸۹). کانسارهای پاچی میانا، شش رودبار، اِراء (عالیکلاء) و کمرپشت در منطقه سوادکوه، خطیرکوه و کیاسر در شرق استان مازندران نیز از جمله این کانسارها هستند، لیکن به واسطه فلوئور و باریم بیشتر نسبت به سرب و روی به‌عنوان کانسارهای فلوریت – باریت شناخته می‌شوند (علیرضایی، ۱۳٦٦؛ گرجی‌زاد، ۱۳۷٤؛ راستاد و شریعتمدار، ۱۳۸۰؛ وهاب‌زاده و همکاران ۱۳۸۷). این کانسارها از گذشته‌های نسبتاً دور شناسایی و از جنبه‌های مختلف زمین‌شناسی مانند مطالعه چینه‌شناسی تطبیقی افق‌های کانه‌دار سرب – روی – باریم – فلوئور سازند الیکا در البرز مرکزی (علیرضایی، ۱۳٦٦)، مطالعات زمین‌شناسی اقتصادی از جنبه‌های متنوع در مقیاس کانسار مانند ساخت و بافت، رخساره‌های رسوبی، زمین‌شیمی، میانبارهای سیال و زمین‌شناسی ساختمانی (گرجی‌زاد، ۱۳۷٤؛ طبسی، ۱۳۷۵؛ راستاد و شریعتمدار، ۱۳۸۰) و مطالعه ایزوتوپ‌های گوگرد (وهاب‌زاده و همکاران، ۱۳۸۷) مورد بررسی قرار گرفته‌اند. پژوهش حاضر که در راستای تکمیل مطالعات ارزشمند گذشته در کانسارهای فلوریت شرق استان مازندران به مطالعه ساخت، بافت و کانی‌شناسی سولفیدها، سولفات‌ها و کربنات‌ها در کانسارهای مذکور انجام پذیرفته است، سعی نموده است برپایه معرفی چگونگی رخداد و تظاهر ماده معدنی در مقیاس صحرایی، نمونه دستی (ماکروسکوپی) و میکروسکوپی به اطلاعاتی درباره مراحل مختلف کانی‌سازی و ترتیب زمانی نهشت کانی‌های همراه فلوریت در کانسارهای مذکور دست یابد.

زمین‌شناسی ناحیه‌ای کانسارهای مورد مطالعه

بخش‌های بالایی سازند کربناته الیکا به سن تریاس میانی در بخش مرکزی پهنه ساختاری – رسوبی البرز در شرق استان مازندران (مناطق سوادکوه، خطیرکوه و کیاسر) (علیرضایی، ۱۳٦٦)



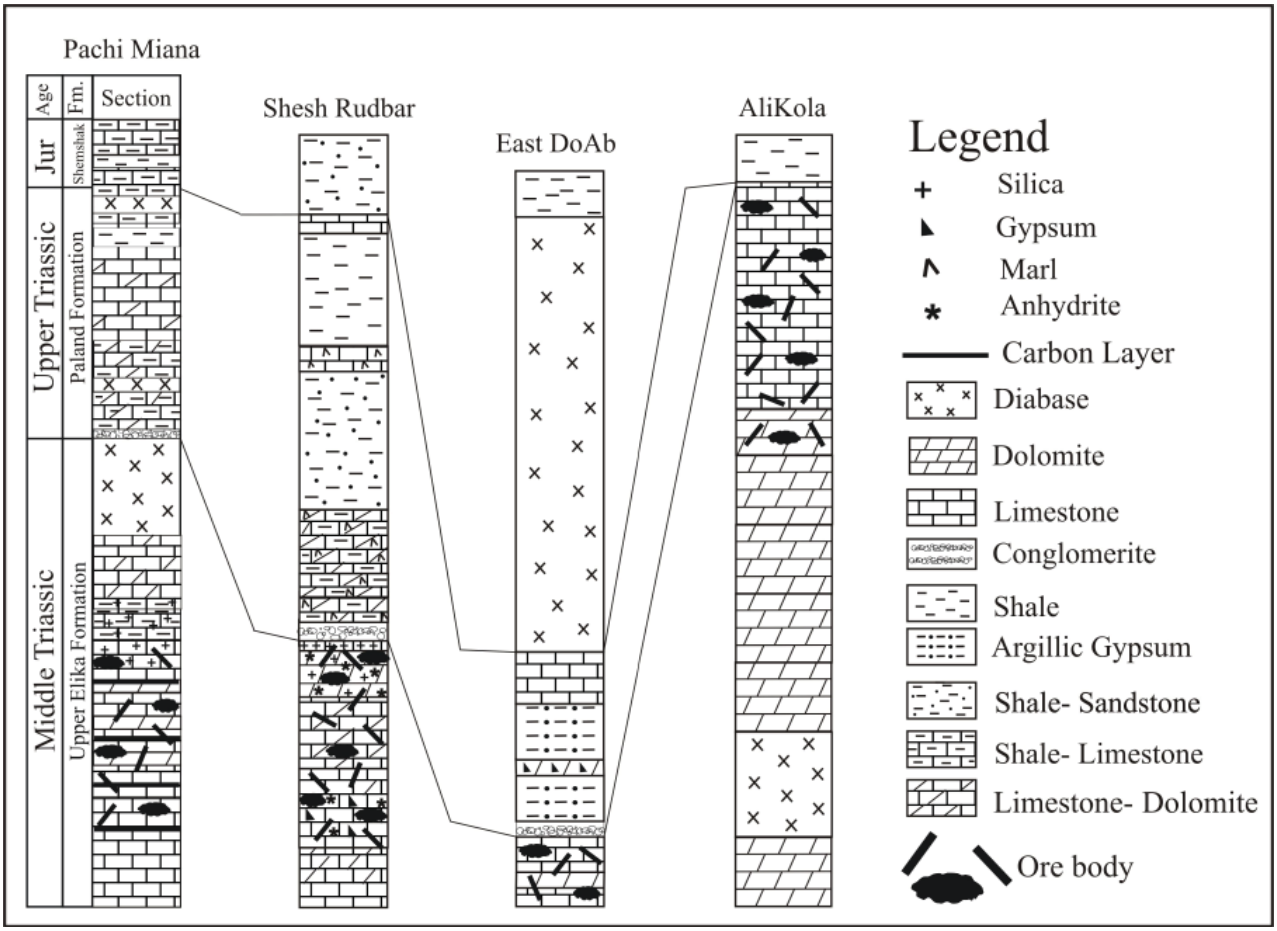
شکل ۱. کانسارهای فلوئور – سرب – باریم مورد مطالعه در مناطق سوادکوه – خطیرکوه – کیاسر در شرق استان مازندران (نقشه زمین‌شناسی ساده‌شده نیمه جنوبی نقشه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ ساری، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور).

1. Syn-diagenetic
2. Epigenetic

میزبان کانی‌سازی‌های فراوان و مهم از فلوئور – سرب – باریم از جمله معادن پاچی میانا (گرجی‌زاد، ۱۳۷٤)، شش رودبار (راستاد و شریعتمدار، ۱۳۸۰)، اِراء (عالیکلا) و کمرپشت و کانسارهای دراسله، اشجال، بایجان و سرچلشک می‌باشد (علیرضایی، ۱۳٦٦؛ گرجی‌زاد، ۱۳۷٤؛ شریعتمدار، ۱۳۷۷؛ وهاب‌زاده و همکاران، ۱۳۸۷) (شکل ۱). این تمرکز چشم‌گیر، البرز مرکزی را به مهم‌ترین ایالت معدنی فلوئور – باریم – سرب در ایران تبدیل کرده است.

به لحاظ ساختاری، سازند الیکا در مناطقی که دارای کانی‌سازی‌های فوق است توسط گسل‌های معکوس با روند شمال شرق- جنوب غرب محصور شده است (وهاب‌زاده و همکاران، ۱۳۷۸) (شکل ۱)، به‌طوری که در اکثر نواحی سنگ‌های این سازند بر روی سنگ‌های سازند آواری – زغال‌دار شمشک (تریاس بالایی – ژوراسیک زیرین) رانده شده و عمده کانی‌سازی در فضاهای خالی ناشی از زاویه بین گسلش عادی (برای مثال؛ دارای روند غالب E150-145N در شش رودبار) (طبسی، ۱۳۷۵) با گسل‌های معکوس در سنگ‌های کربناته سازند الیکا رخ داده است (طبسی، ۱۳۷۵، شریعتمدار، ۱۳۷۷). در سراسر منطقه مورد مطالعه، سازند الیکا از سنگ‌شناسی نسبتاً یکنواختی برخوردار است و از پایین به بالا دارای ۳ بخش است (علیرضایی، ۱۳٦٦؛ Brunet et al., 2009). بخش زیرین شامل سنگ آهک خاکستری دارای طبقات ضخیم است که به طور محلی، دولومیتی‌شده و بخش میانی شامل مادستون نودولی با لایه‌بندی‌های نازک که به‌طور محلی به‌واسطه موجودات زنده به‌هم‌ریخته شده است. بخش بالایی شامل سنگ آهک با لایه‌بندی نازک و دولومیت‌های صخره‌ساز می‌باشد. قابل ذکر است که بخش‌های بالایی سازند الیکا به سازند غیررسمی پالند (وحدتی دانشمند،۱۳٦۲؛ وهاب‌زاده و همکاران، ۱۳۸۷) ختم می‌شود که شامل دولومیت، مارن، شیل، تناوب شیل و مارن به همراه لایه‌های نازک چرتی و آهک دولومیتی است. علیرضایی (۱۳٦٦) برپایه بررسی چینه‌شناسی تطبیقی نشان داده است که تمام کانسارهای منطقه به بخش بالایی سازند الیکا وابسته می‌باشند؛ به بیان دیگر کانی‌سازی در بستری از سنگ‌های کربناته با سن تریاس میانی تشکیل شده است (شکل ۲). گرجی‌زاد (۱۳۷٤) کانی‌سازی در معدن پاچی میانا را به ۳ رخساره رسوبی وابسته می‌داند. این رخساره‌های کانه‌دار براساس ترکیب سنگ درونگیر به نام‌های رخساره کانه‌دار آهک میکرایتی، رخساره کانه‌دار آهک سیلیسی و رخساره کانه‌دار آهک دولومیتی نامگذاری شده است. همچنین راستاد و شریعتمدار (۱۳۸۰) عمده کانی‌سازی‌های موجود در کانسار شش رودبار را به رخساره‌های میکرایتی و اسپارایتی که غالباً سیلیسی شده‌اند، نسبت داده است.

فعالیت‌های آتشفشانی در تریاس زیرین و میانی البرز مرکزی



شکل۲. ستون چینه‌شناسی مقاطع مختلف تریاس در البرز مرکزی و موقعیت افق‌های کانه‌دار در آن‌ها (با تغییرات از علیرضایی، ۱۳٦٦).

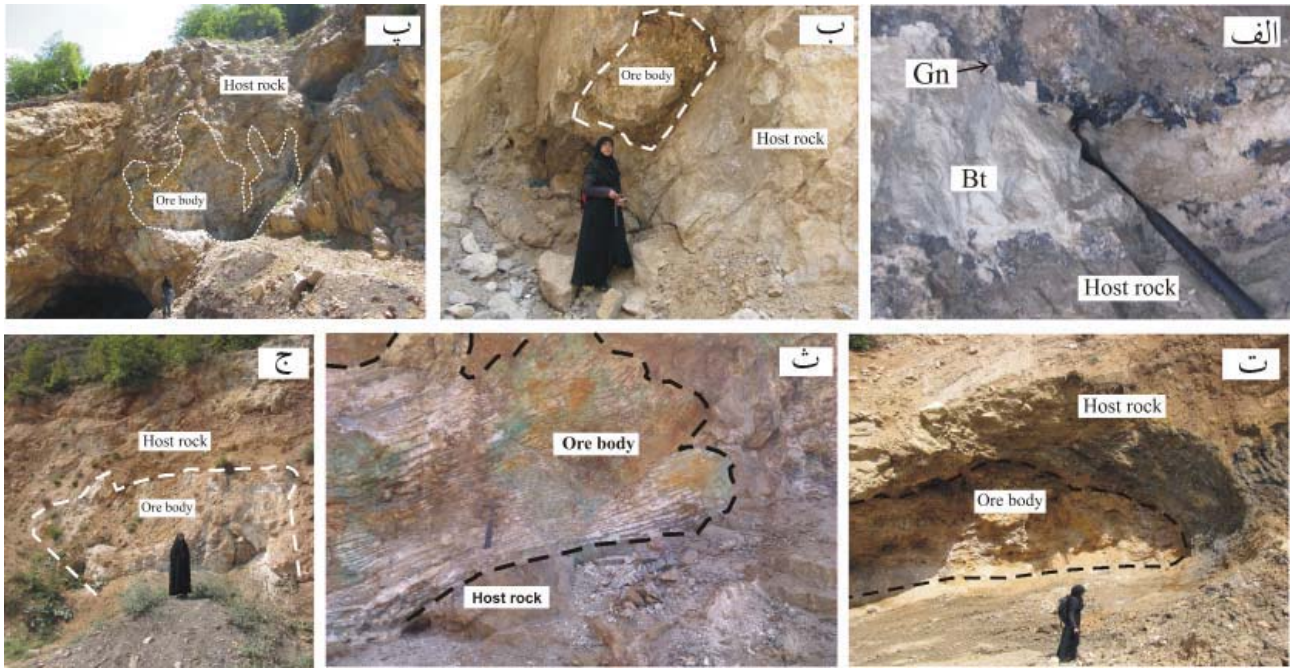
ضعیف بوده است (گرجی‌زاد، ۱۳۷٤) و شامل بازالت‌های قلیایی می‌باشد که سطوح کارستی بین سازندی الیکا (تریاس میانی) و یا کهن‌تر (مانند روته و نسن) را می‌پوشانند (آقانباتی، ۱۳۸۳). رخنمون اصلی سنگ‌های بازالتی که از شرق شهرستان دماوند تا فیروزکوه و شمال سمنان امتداد دارد، به‌صورت یک لایه کلیدی تیره‌رنگ تظاهریافته و کربنات‌های روشن تریاس میانی (سازند الیکا) را می‌پوشاند (آقانباتی، ۱۳۸۳). در تریاس پسین – لیاس، فعالیت آتشفشانی نسبتاً مهم دیگری در البرز رخ می‌دهد که با سنگ‌های مافیک در قاعده سازند شمشک و در مرز با بخش‌های بالایی سازند الیکا و همچنین با سنگ‌های آتشفشانی درون سازند شمشک مشخص گردیده است (Berberian and King, 1981). همچنین هیچ توده نفوذی مربوط به دوره مزوزوئیک در سراسر منطقه سوادکوه، خطیرکوه و کیاسر گزارش نشده است (گرجی‌زاد، ۱۳۷٤؛ شریعتمدار، ۱۳۷۷) لیکن در جنوب منطقه کیاسر به سمت دامغان، توده گرانیتی تویه‌دروار حضور دارد که سازندهای پالئوزوئیک زیرین را قطع کرده و خود توسط سازندهای پالئوزوئیک بالایی پوشیده شده است (قاسمی و خانعلی زاده، ۱۳۹۱).

روش مطالعه

برای انجام پژوهش حاضر، با انجام مشاهدات و برداشت‌های صحرایی، نمونه‌برداری از انواع کانسنگ‌ها برپایه بافت، ساخت و پاراژنز کانیایی از معادن مورد مطالعه به تعداد ۲۹٤ عدد نمونه انجام گرفت. در بخش کارگاهی و آزمایشگاهی، ابتدا ویژگی‌های بافتی، ساختی و کانیایی در نمونه‌های دستی شناسایی و تشریح شد. در ادامه، به‌منظور شناسایی کانه‌ها، کانی‌ها و ارتباطات بافتی بین آن‌ها تعداد ۷۸ عدد مقطع نازک و ۲۱٦ عدد مقطع نازک – صیقلی تهیه شد و به روش‌های مرسوم میکروسکوپی مورد مطالعه قرار گرفت. علاوه بر این، به‌منظور شناسایی کانی‌های مجهول، ۱۹ عدد نمونه به روش پراش پرتو ایکس (XRD) در آزمایشگاه کانی‌شناسی مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی کرج مورد تجزیه قرار گرفت.

بررسی داده‌ها و نتایج

ساخت کانی‌سازی: ساخت کانی‌سازی معمولاً ویژگی‌های بزرگ مقیاس از شکل هندسی و نحوه قرارگیری ماده معدنی در سنگ‌های میزبان را شامل می‌شود. برپایه مشاهدات صحرایی در مطالعه حاضر، ماده معدنی عمدتاً از نوع پرشدگی فضای خالی به شکل رگه‌ای، عدسی، توده‌ای و به‌صورت ناهم‌شیب در سنگ‌های کربناته است. مناطق اصلی تمرکز ماده معدنی درون سنگ‌های میزبان منقطع و نامنظم است و عمدتاً مناطق شکافه پرکن، گسله و یا حفرات کارستی هستند. این مناطق توده‌های کانسنگی با ابعاد تا حداکثر ۲ متر را در خود جای داده‌اند که از طریق تونل‌ها و ترانشه‌های استخراجی قابل مشاهده هستند. در این توده‌ها، انواع کانه‌ها و کانی‌ها با ابعاد چند میلیمتر تا چند ده سانتیمتر حضور دارند (شکل ۳).



شکل۳. ساخت‌های ناهم‌شیب حاوی ماده معدنی در کانسارهای مورد مطالعه. الف) ساخت رگه‌ای (پرکننده فضای خالی) از باریت و گالن در کانسار شش رودبار، ب) ساخت عدسی باریت درون حفرات انحلالی سنگ میزبان کربناته کانسار پاچی میانا، پ) ساخت ناهم‌شیب ماده معدنی درون سنگ میزبان آهک دولومیتی در کانسار شش رودبار، ت) ساخت عدسی ماده معدنی در حفرات انحلالی و کارستی کانسار اراء، ث) ساخت پرکننده فضای خالی ماده معدنی به‌صورت ناهم‌شیب درون سنگ میزبان کربناته در کانسار شش رودبار، ج) ساخت کارستی پرشده توسط باریت در کانسار شش رودبار.

کانی‌شناسی و بافت کانسنگ‌ها: تشریح ماکروسکوپی کانسنگ‌ها در نمونه دستی و مشاهدات میکروسکوپی مقاطع نازک - صیقلی در کانسارهای مورد مطالعه، ضمن آشکار نمودن ترکیب کانی‌شناسی کانسنگ‌ها، به شناسایی بافت‌های متنوعی برای حالت تک‌دانه (از کانه‌ها و کانی‌ها) و همچنین برای حالتی که کانه‌ها و کانی‌ها با همدیگر بافت خاصی را به‌وجود آورده‌اند، کمک نموده است. کانی‌شناسی در کانسارهای مورد مطالعه به‌طور کلی ساده بوده و بجز فلوریت در سه گروه اصلی سولفیدها، سولفات‌ها و کربنات‌ها قابل گروه‌بندی و تشریح هستند. گالن، باریت، فلوریت و کلسیت کانی‌های اصلی کانسنگ‌ها را تشکیل می‌دهند. اسفالریت، پیریت، کالکوپیریت، سروزیت، کوولیت، اسمیت‌زونیت، مالاکیت، آزوریت، کوارتز و آنکریت در مقادیر جزئی حضور دارند که کانی‌های اصلی را همراهی می‌کنند. در ادامه به تشریح ساخت و بافت غالب کانه‌ها و کانی‌ها در چارچوب سه گروه کانیایی سولفیدها، سولفات‌ها و کربنات‌ها پرداخته شده است.

سولفیدها

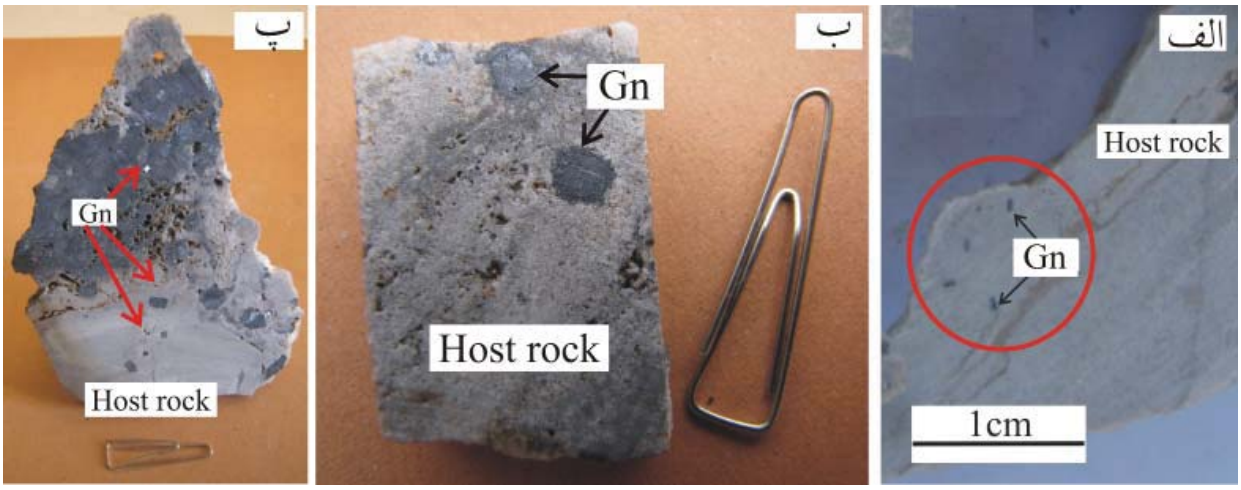
گالن (PbS) کانی سولفیدی غالب در کانسارهای مورد مطالعه است که عمدتاً به‌صورت دانه‌های شکل‌دار تا بی‌شکل با ابعاد کمتر از چند میلیمتر تا حداکثر چند سانتیمتر در ساخت‌های رگه‌ای، رگچه‌ای و پرکننده فضای خالی و کمتر به‌صورت افشان در کانسنگ‌ها حضور دارد. براساس شواهد ماکروسکوپی و میکروسکوپی حداقل سه نسل گالن در کانسنگ‌های مورد مطالعه تشخیص داده شد: ۱- گالن بسیار دانه ریز (کمتر از ۱ میلیمتر) عمدتاً به‌صورت افشان در متن سنگ میزبان بدون هیچ گونه ارتباطی با رگه - رگچه‌های ریز و دیگر کانی‌ها (شکل٤- الف)، ۲- گالن دانه متوسط (بین۱تا ۵ میلیمتر) به‌صورت افشان در متن سنگ میزبان و بدون همراهی دیگر کانی‌ها (شکل٤- ب)، ۳- گالن دانه درشت (بزرگتر از ۵ میلیمتر و گاهی بزرگتر از ۵ سانتیمتر) به‌صورت رگچه‌ای و پرکننده فضاهای خالی و شکستگی‌های موجود در سنگ میزبان (شکل٤- پ) که با باریت و فلوریت و مقادیر جزئی اسفالریت همراه است که در برخی موارد بافت‌های قشری را به وجود آورده است (شکل۵- الف).

همراهی گالن با بلورهای ریز سیلیکا و کلسیت در بافت استیلولایتی یکی دیگر از شکل‌های رخداد گالن در این کانسارها می‌باشد که بیشتر در کانسار پاچی میانا و کمتر در کانسار شش رودبار مشاهده شده است (شکل۵- ب، پ، ت). از دیگر بافت‌های تک‌کانیایی مشاهده شده در گالن و به‌ویژه بلورهای درشت آن می‌توان به انحنایافتگی سطوح بلوری لایه‌های آن اشاره کرد که باعث خمش یا جهت‌یافتگی سیمای خطی رخ‌های سه گوش آن شده است (شکل۵- ث، ج، ح).

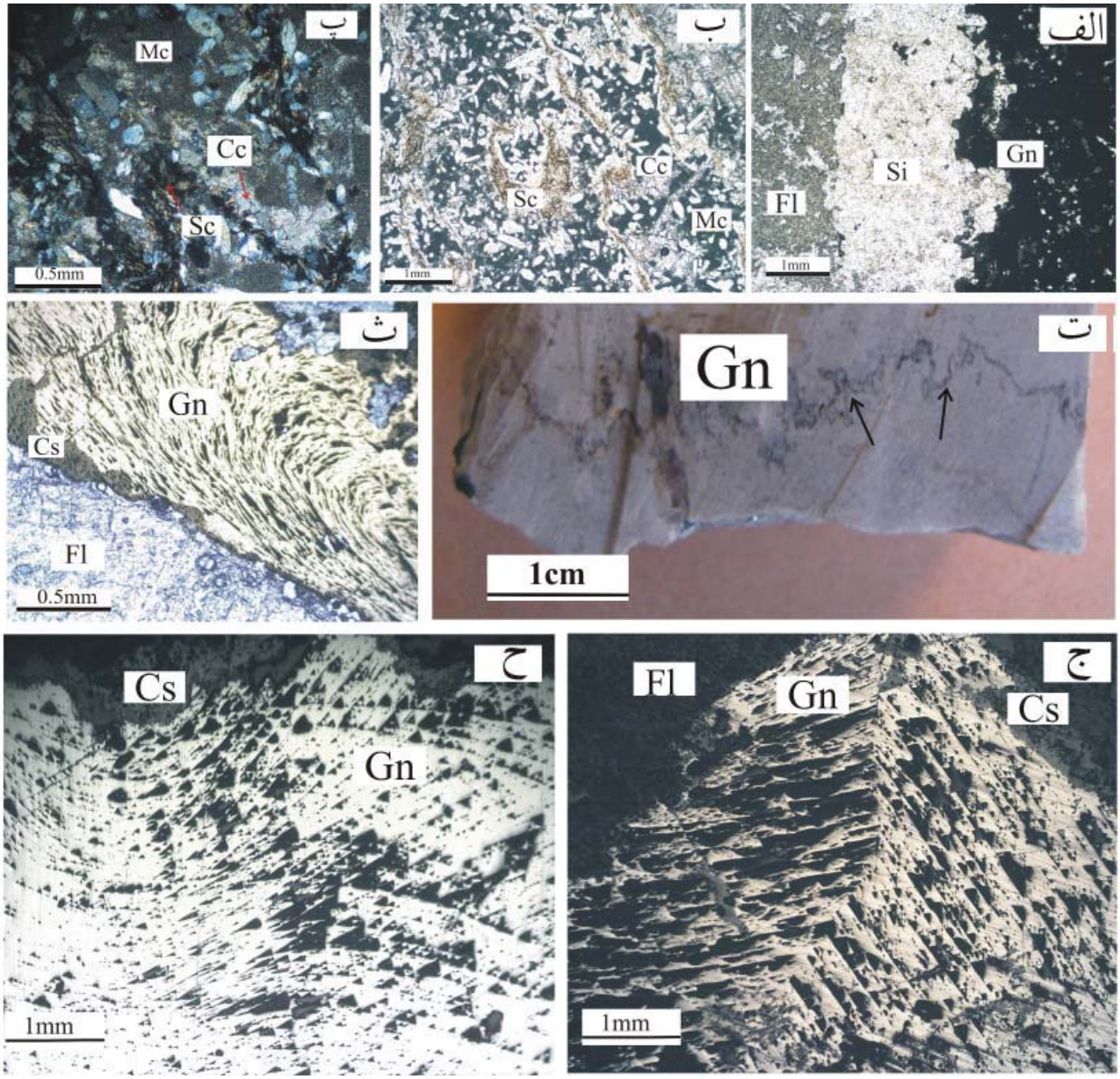
گالن در منطقه مورد مطالعه عمدتاً به‌صورت رگه - رگچه‌ای تظاهر دارد؛ عمده رگه‌ها حاوی گالن- فلوریت و گالن - باریت می‌باشد و همچنین در برخی نمونه‌ها همراهی سه کانی گالن - فلوریت - باریت مشاهده می‌شود (شکل٦).

فضاهای خالی ناهم‌شیب با سنگ میزبان یکی از مهم‌ترین مکان‌ها برای تجمع ماده معدنی در کانسارهای مورد مطالعه بوده است که نشان‌دهنده فرآیندهای کانی‌سازی بعد از سنگ‌شدگی سنگ میزبان می‌باشد (شکل ۷).

اسفالریت (ZnS) به‌صورت بسیار فرعی در کانسارهای مورد مطالعه حضور دارد و معمولاً با گالن موجود در رگچه‌ها و پرشدگی فضاهای خالی و شکستگی‌ها هم‌رشدی دارد که عمدتاً بی‌شکل است (شکل ۸- الف). مطالعات میکروسکوپی نشان داد که عمده اسفالریت‌ها به‌صورت درهم‌رشدی با گالن رخ داده‌اند (شکل ۸- پ، ت)؛ در حالی که هیچ‌گونه کانی منفردی از اسفالریت مشاهده نشد. مشاهدات میکروسکوپی وجود اسفالریت-های با رنگ خاکستری متمایل به قهوه‌ای (I) و اسفالریت‌های خاکستری روشن (II) را در کانسنگ‌ها آشکار نمود (شکل ۸- ب، ت)؛ اسفالریت‌های تیره رنگ‌تر نشان‌دهنده محتویات آهن بالاتر



شکل٤. نسل‌های مختلف گالن در کانسارهای مورد مطالعه. الف) گالن دانه‌ریز به‌صورت افشان در سنگ میزبان آهکی در کانسار پاچی میانا، ب) گالن دانه متوسط افشان در متن سنگ آهک در کانسار پاچی میانا، پ)گالن دانه درشت از نوع رگه‌ای در کانسار پاچی میانا.



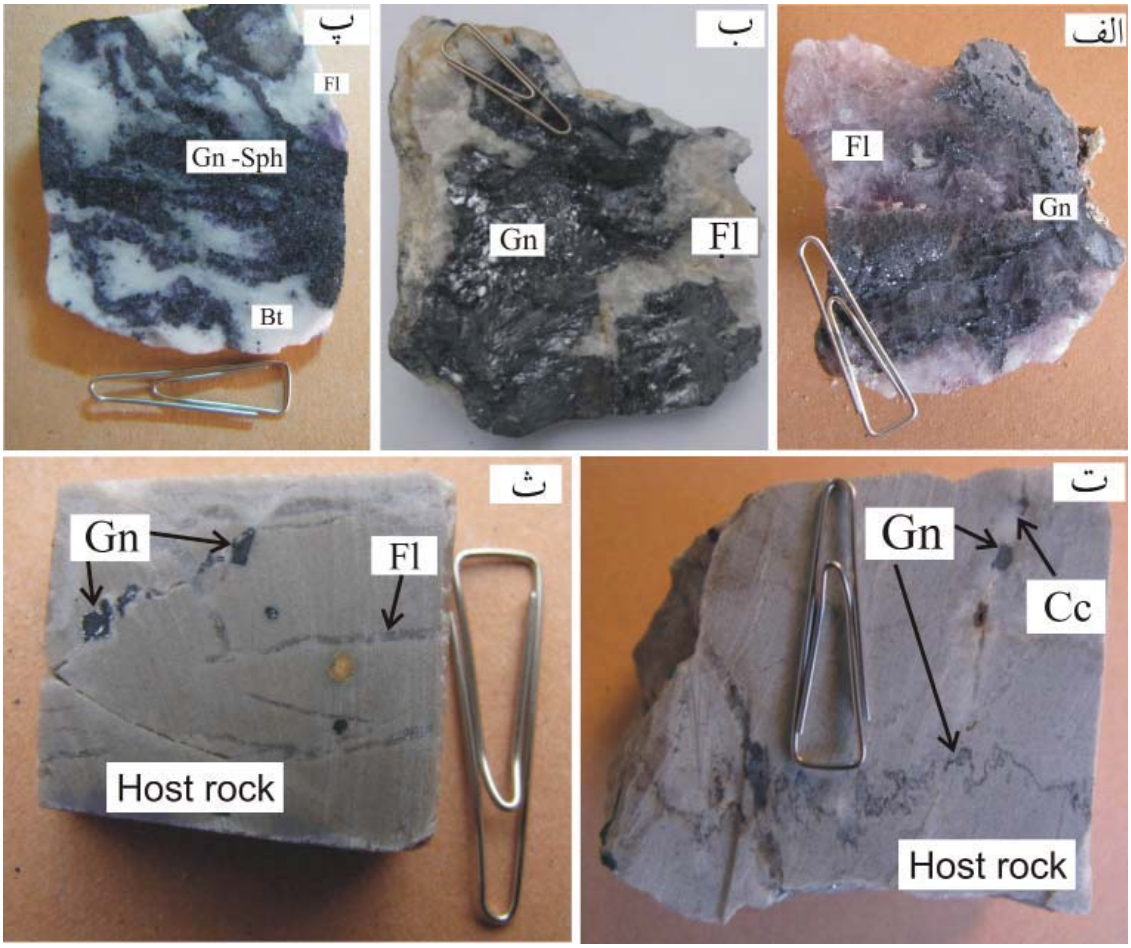
شکل ۵. الف) تصویر میکروسکوپی از نواربندی قشری گالن، سیلیکا و فلوریت در کانسار پاچی میانا، ب و پ) رخداد استیلولایت دارای ترکیب کانی‌شناسی سیلیکا و کلسیت در سنگ میزبان کربناته کانسار پاچی میانا، ت) استیلولایت دارای ترکیب گالن در سنگ میزبان کربناته در پاچی میانا، ث) رخ‌های جریانی گالن در زمینه فلوریت، ج) رخ‌های دو جهته گالن در همراهی با فلوریت، ح) رخ‌های خمیده گالن که از حاشیه به سروزیت تبدیل شده است.

(Craige and Vaughan, 1981) هستند. اسفالریت‌های نوع اول که دارای انعکاس داخلی قهوه‌ای هستند، ممکن است غنی از آهن و نوع دوم فقیر از آهن باشند (Gomes et al., 2000). تعیین تقدم و تاخر تشکیل این دو نسل اسفالریت مشکل است لیکن در کانسارهای مشابه مانند کانسار سرب – روی مهدی‌آباد یزد ذکر کرده‌اند که اسفالریت‌های نوع پُر آهن در دماهای بالاتری تشکیل شده‌اند (قاسمی و همکاران، ۱۳۸۷).

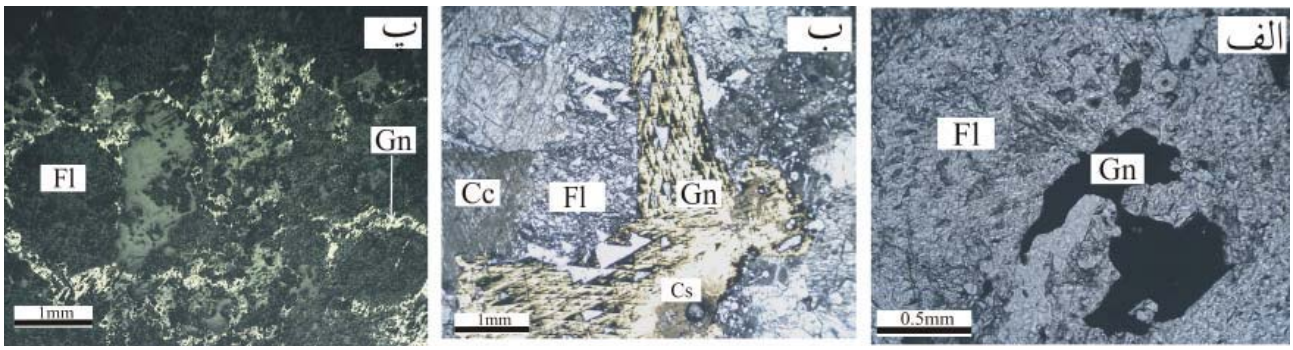
پیریت (FeS_2) در مقادیر فرعی به دو شکل افشان و رگچه‌ای در سنگ‌های میزبان کانی‌سازی حضور دارد. در نوع افشان، بلورهای نیمه‌شکل‌دار تا شکل‌دار دانه‌ریز در متن سنگ‌های میزبان پراکنده‌اند؛ اما در نوع رگچه‌ای، دانه‌های شکل‌دار متوسط تا درشت دانه در ریزرگچه‌های کلسیتی که سنگ‌های میزبان را قطع کرده‌اند، بدون همراهی دیگر کانی‌های سولفیدی (گالن، اسفالریت و کالکوپیریت) حضور دارند (شکل ۹). قابل ذکر است که پیریت‌ها غالباً در سنگ میزبانی که متحمل فرآیند سیلیسی‌شدن قرار گرفته است، تشکیل شده‌اند. از دیگر کانی‌های سولفیدی که در مطالعات میکروسکوپی مشاهده شد، کوولیت (CuS) می‌باشد که تماماً همراه با گالن سروزیتی‌شده مشاهده می‌شود (شکل ۹- پ، ت).

سولفات‌ها

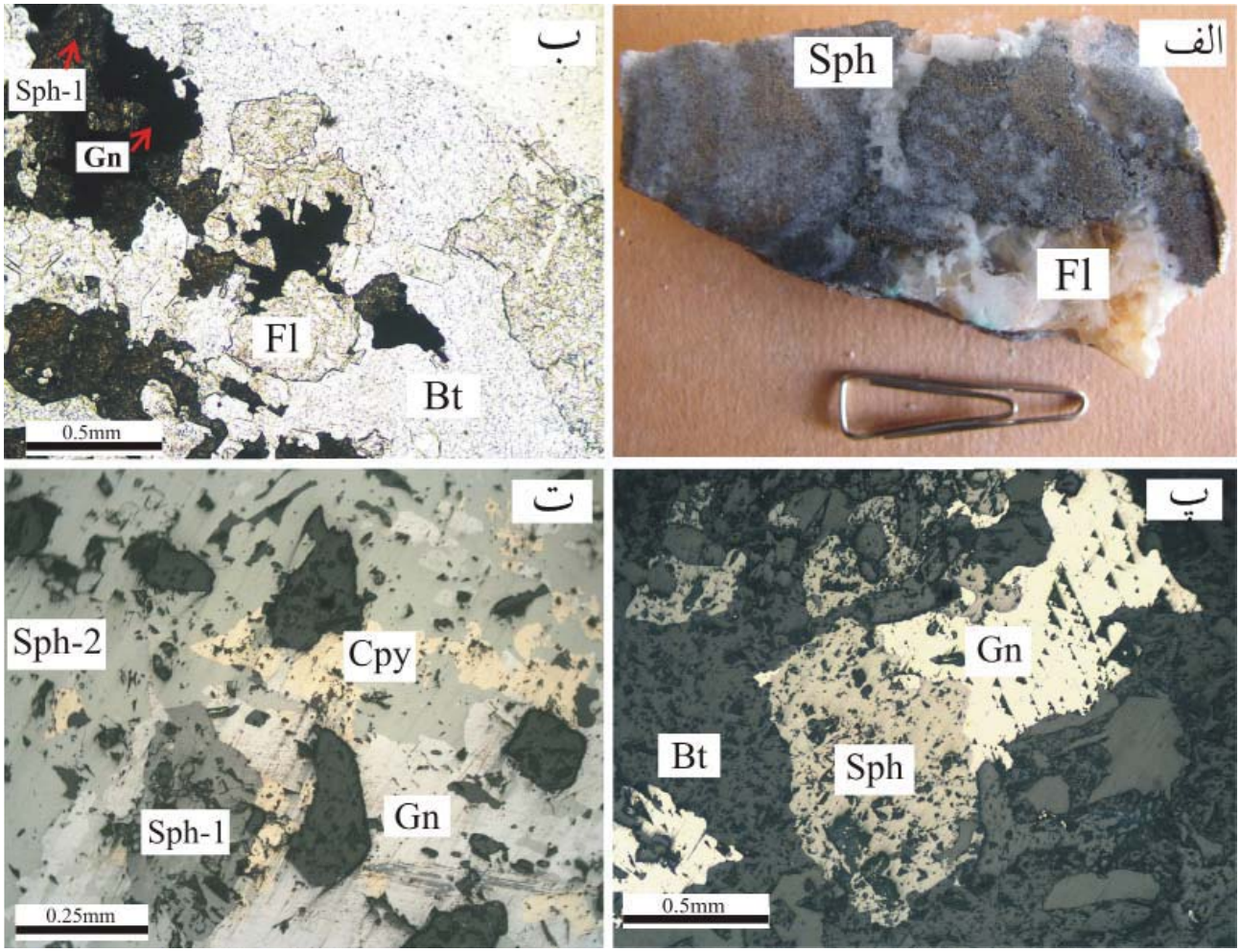
باریت ($BaSO_4$) با رنگ سفید تا کرم و وزن مخصوص



شکل ٦. رخداد رگه‌ای گالن نسل سوم در کانسنگ‌های مورد مطالعه. الف) رگه حاوی گالن دانه درشت که داخل فلوریت تزریق شده است [در کانسار پاچی میانا]، ب) گالن دانه درشت که به‌صورت رگچه‌های ضخیم، فلوریت سفید را تحت نفوذ قرار داده است [در کانسار اراء]، پ) رگه‌های گالن- اسفالریت که زمینه باریت و فلوریت را قطع کرده‌اند [در کانسار شش رودبار]، ت) بلور مکعبی گالن که در رگه کلسیتی به‌عنوان گالن نسل دوم قرارگرفته به همراه ریزرگچه استیلولایتی واجد کانی‌سازی گالن [در کانسار پاچی میانا]، ث) همراهی فلوریت و گالن در ریزرگچه‌های اولیه کانی‌سازی در سنگ میزبان کربناته [در کانسار پاچی میانا].



شکل۷. بافت پرکننده فضای خالی. الف) گالن به‌صورت پرکننده حفرات در زمینه فلوریت (نور عبوری عادی) در کانسار شش رودبار، ب) رگه گالن که زمینه فلوریت و کلسیت را قطع کرده است (نور انعکاسی عادی) در کانسار پاچی میانا، پ) بافت پرکننده فضای خالی توسط گالن که فلوریت را احاطه کرده است (نور انعکاسی عادی) در کانسار شش رودبار.

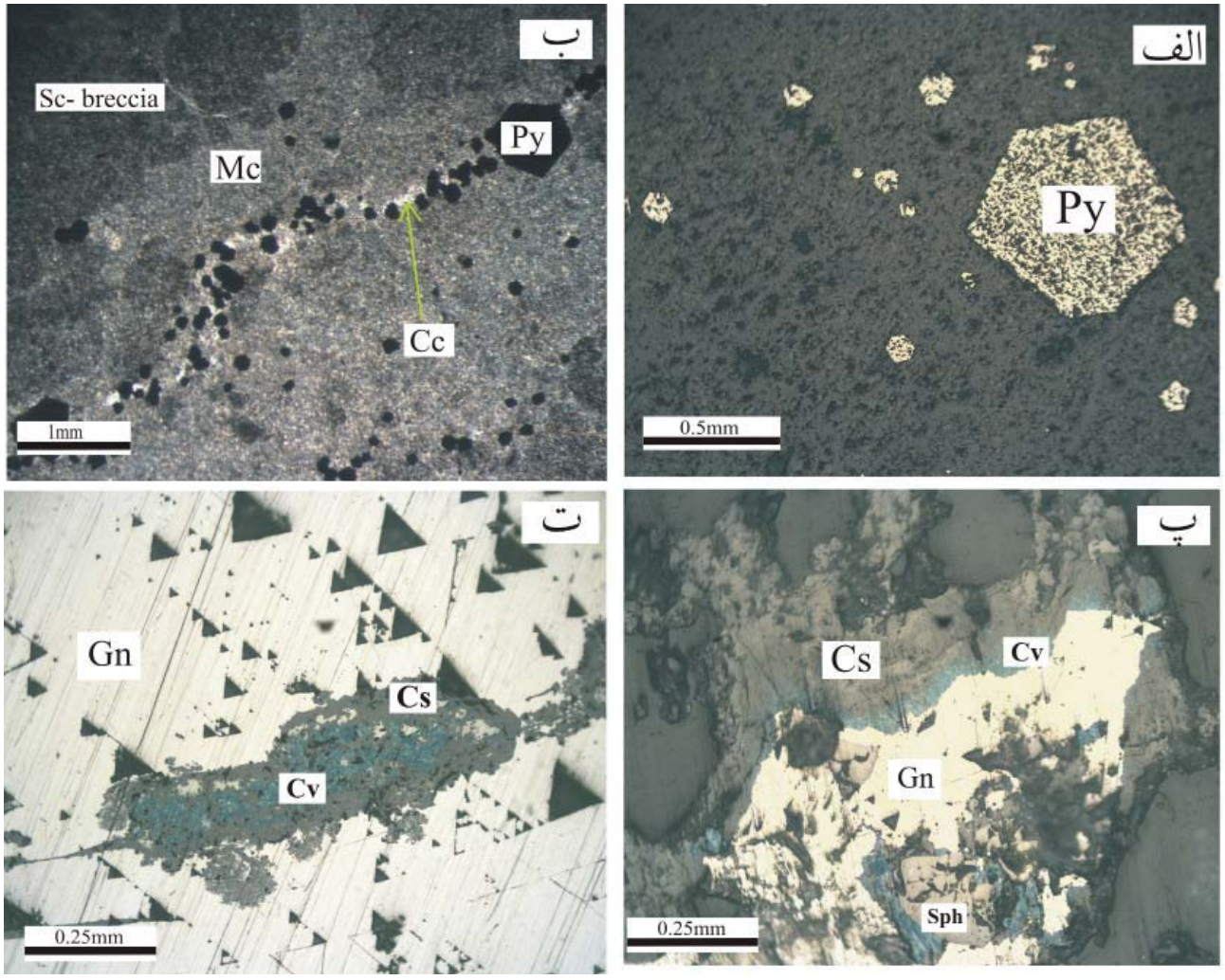


شکل ۸. انواع رخداد اسفالریت در کانسنگ‌های مورد مطالعه. الف) اسفالریت به‌صورت ریزرگچه‌ای که زمینه و رگچه‌های فلوریتی را قطع کرده است در کانسار شش رودبار، ب) هم‌رشدی اسفالریت و گالن در زمینه‌ای از باریت و فلوریت در کانسار شش رودبار، پ) در همرشدی گالن و اسفالریت در کانسار شش رودبار، ت) درهم‌رشدی اسفالریت نوع I و II با گالن و کالکوپیریت درکانسار شش رودبار. تعیین توالی زمانی تشکیل کانه‌ها برپایه زمان نهشت عناصر نسبت به دما از محلول‌های گرمابی می‌تواند به‌صورت کالکوپیریت- اسفالریتI- گالن- اسفالریت II باشد.

بالا از کانه‌های فراوان در کانسارهای مورد مطالعه می‌باشد که کانسنگ‌های قابل استخراج آن به‌صورت رگه‌ای، توده‌ای و به شکل شعاعی یا رشته‌ای در حفرات کارستی (پرشدگی فضاهای خالی و شکستگی‌ها) (شکل۱۰- ت) با یا بدون همراهی دیگر کانی‌ها به‌ویژه گالن و فلوریت می‌باشد. تناوب لایه‌های روشن از کانی‌های باریت (رشته‌ای، شعاعی و کلوفرمی) به همراه فلوریت (نوع بی‌رنگ و آبی) و لایه‌های تیره از گالن، پیریت، اسفالریت و سروزیت در برخی کانسنگ‌ها باعث ایجاد بافت نواری یا بافت گورخری (Leach et al., 2005) شده است (شکل۱۰- الف و پ). از دیگر ارتباطات بافتی بین باریت و دیگر کانی‌ها می‌توان به (۱) جانشینی فلوریت توسط باریت (شکل۱۰- چ، ح و خ) و (۲) جانشینی باریت توسط گالن (شکل۱۰- ث) اشاره نمود. در بافت اول، کانی‌سازی باریت بعد از فلوریت و در بافت دوم نهشت گالن (سولفیدها) بعد از باریت رخ داده است. نوع کم اهمیت باریت از لحاظ استخراجی، بلورهای شعاعی (شکل۱۰- د) در سنگ میزبان می‌باشد که می‌توانند نسل اول کانی‌سازی باریت در کانسارهای مورد مطالعه قلمداد شوند که با نسل‌های اول از فلوریت همراه می‌باشند. همچنین در برخی از بافت‌های نواری قشرگون، باریت‌های کلوفرم نیز مشاهده شده است که همراه با پاراژنز گالن و فلوریت می‌باشد (شکل۱۰- ب). برپایه مطالعات میکروسکوپی، بافت دم چلچله‌ای (شکل۱۰- ر) و دسته جارویی (شکل۱۰- ذ) و طویل با ماکل کارلسباد تا پُلی‌سنتتیک از مشخصه‌های بارز باریت‌های منطقه می‌باشند.

کربنات‌ها

کلسیت ($CaCO_3$) فراوان‌ترین کانی کربناته در کانسارهای مورد مطالعه است که حداقل ۳ نسل از آن شناسایی شد. اولین نسل از کلسیت به‌صورت ریزرگچه‌ها و همچنین رگچه‌های ضخیم با بلورهای درشت کلسیت بدون همراهی با کانی‌سازی (فلوریت، گالن، باریت) که زمینه سنگ کربناته را قطع کرده و عمدتاً دیاژنتیک می باشند، نشان داده شده است (شکل ۱۱- الف، ب، پ، ت، ث). نسل دوم از کلسیت‌ها با همراهی فلوریت و گالن و



شکل۹. الف) بلورهای شکل‌دار پیریت در سنگ کربناته سیلیسی‌شده (نور انعکاسی عادی) در کانسار شش رودبار،ب) بلورهای شکل‌دار و ریز تا درشت پیریت در ریزرگچه کلسیتی که زمینه سنگ میکرایتی حاوی قطعات برشی از جنس سیلیکا را قطع کرده است (نور عبوری عادی) در کانسار شش‌رودبار، پ) بافت جانشینی کوولیت که از حاشیه گالن را در برگرفته است و همراه با سروزیت می‌باشد، در کانسار شش‌رودبار، ت) کوولیتی‌شدن به همراه سروزیتی شدن در امتداد رخ (سطوح ضعف یا شکست) گالن در کانسار کمرپشت.

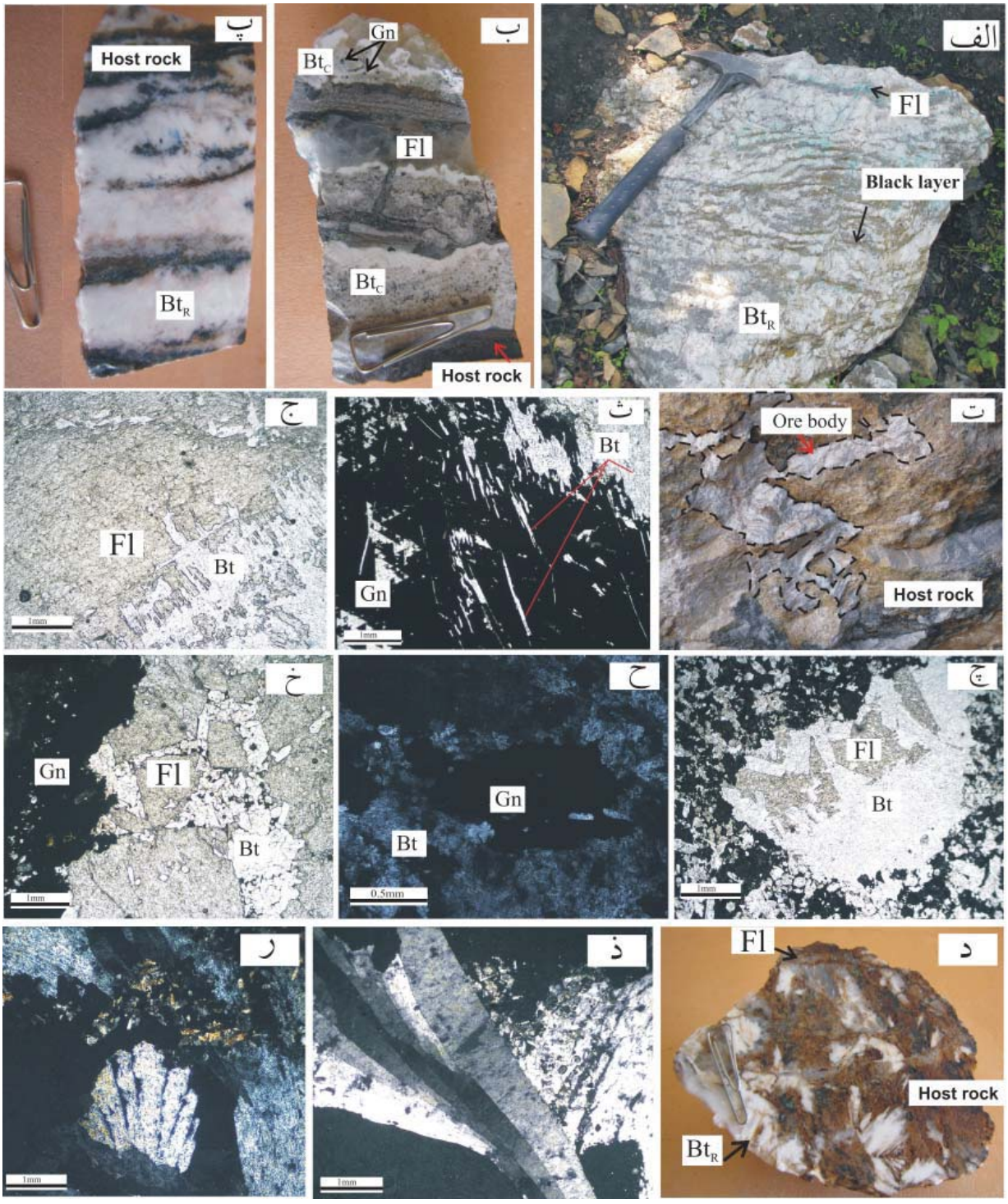
کمتر باریت به‌صورت رگه‌ای و پرکننده فضاهای خالی است که مبین کلسیت‌های مرحله کانی‌سازی می‌باشند (شکل۱۱- ج). نسل سوم از کلسیت‌ها بدون همراهی با کانه‌ها (فاقد کانی‌سازی) است و به‌صورت بلورهای رومبوئدر درشت و خالص که فضاهای خالی را در سنگ میزبان پر کرده‌اند و همچنین به‌صورت رگه‌های کلسیت اسپاری خالص حضور دارند (شکل۱۱- چ، ح، خ).

اسمیت‌زونیت ($ZnCO_3$) در مقادیر فرعی فقط در کانسار پاچی میانا از کانسارهای مورد مطالعه، شناسایی شد که در برخی نمونه‌ها با گالن همراه است. بافت لامینه‌ای به رنگ سفید و خاکستری تا قهوه‌ای روشن از مشخصه‌های بارز کانی‌سازی کربنات روی در کانسار پاچی میانا است (شکل ۱۲- الف، ب). سروزیت ($PbCO_3$) به‌عنوان یک کانی ثانویه سرب‌دار، در اکثر کانسنگ‌های مورد مطالعه به فراوانی و به‌صورت جانشینی در حاشیه و یا در امتداد رخ گالن‌های دانه درشت شناسایی شد (شکل۱۲- پ، ت). آزوریت و مالاکیت نیز از جمله کربنات‌هایی هستند که در مقادیر جزیی در کانسنگ‌ها حضور دارند. آنها بیشتر به‌صورت آغشتگی‌های سطحی دیده می‌شوند که بر اثر فرآیندهای ثانویه از هوازدگی و اکسیدشدن ترکیبات سولفیدی اولیه مانند کالکوپیریت به‌وجود آمده‌اند (شکل۱۲- ث، ج).

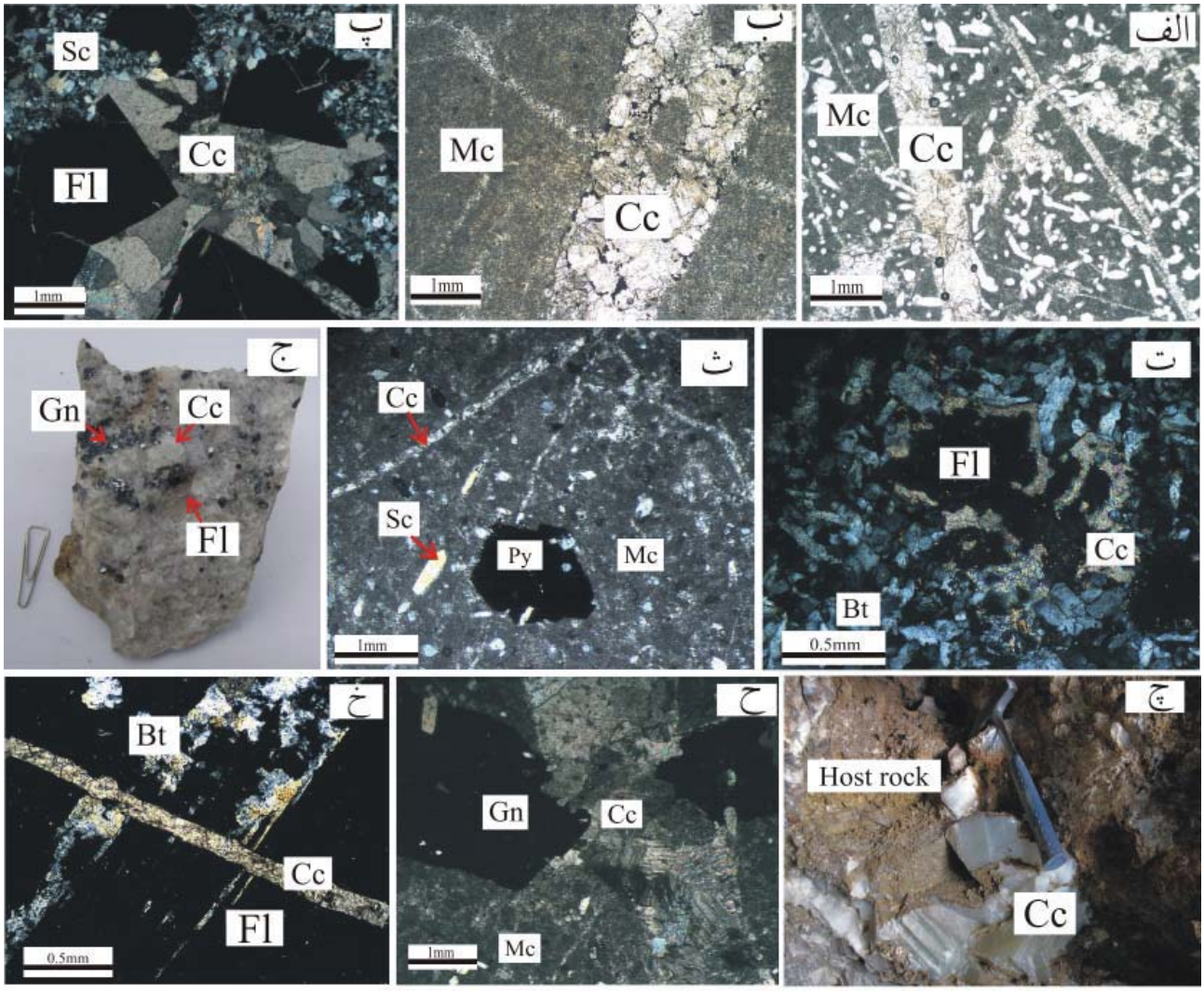
بحث

نتایج حاصل از مشاهدات صحرایی و مطالعات میکروسکوپی در مطالعه حاضر که به شناسایی ساخت و بافت-های غالب در کانسارهای فلوئور - باریم - سرب مورد مطالعه کمک نموده است، با رویکرد منشایی مورد بحث قرار گرفته‌اند.

حضور ساخت‌های ناهم‌شیب توده‌ای، عدسی و رگه‌ای از ماده معدنی نسبت به سنگ‌های میزبان که غالبا تحت کنترل مناطق گسله و حفرات انحلالی و کارستی با انحنای به سمت بالا تمرکز یافته‌اند، به‌همراه عدم مشاهده ساخت‌های لایه‌سان از توده‌های معدنی هم‌شیب با لایه‌بندی سنگ میزبان در کانسارهای مورد



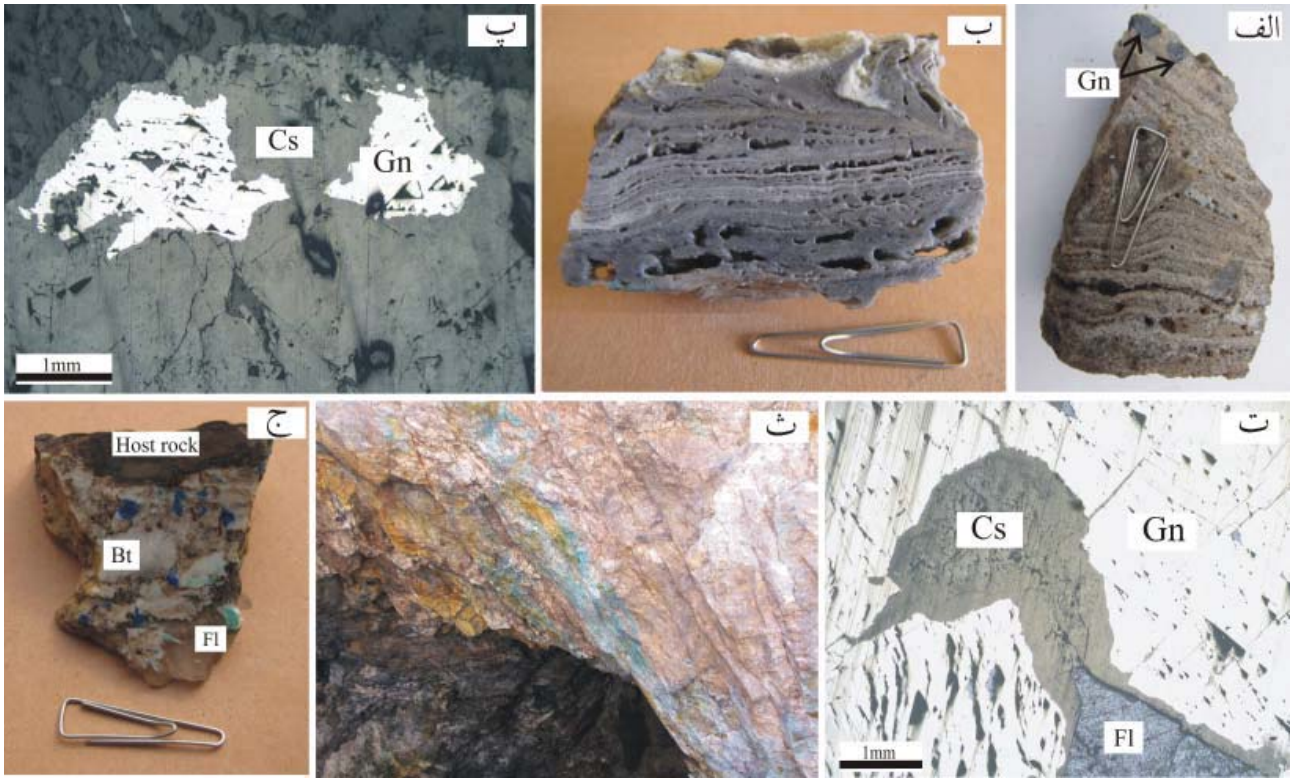
شکل ۱۰. انواع رخداد باریت در کانسنگ های مورد مطالعه الف) بافت گورخری شامل تناوبی از نوارهای روشن باریت، فلوریت و نوارهای تیره متشکل از سنگ میزبان، سولفیدها و اکسیدهای آهن ثانویه در کانسار شش رودبار، ب) بافت نواری قشرگون حاوی تناوبی از فلوریت، باریت کلوفرمی، سنگ میزبان با دانه‌های افشان و ریز گالن در کانسار شش رودبار، پ) بافت گورخری شامل تناوبی از نوارهای سفید باریت و فلوریت با نوارهای تیره‌تر سنگ میزبان، سولفیدها و اکسید آهن در کانسار شش رودبار، ت) توسعه بین انگشتی و چندشاخه‌ای ماده معدنی در سنگ میزبان، ث) تقدم کانی‌سازی باریت نسبت به گالن در کانسار پاچی میانا، ج)گالن به‌صورت پرکننده حفرات باریت در کانسار شش رودبار، چ) برشی‌شدن فلوریت ناشی از نفوذ باریت داخل زمینه فلوریتی کانسنگ (نور عبوری عادی) در کانسار شش رودبار، ح) بافت خوردگی ناشی از جانشینی فلوریت به‌وسیله باریت که تاخر کانی‌سازی باریت نسبت به فلوریت را نشان می‌دهد (نور عبوری عادی) در کانسار شش رودبار، خ) تاخر کانی‌سازی باریت نسبت به فلوریت در کانسار شش رودبار، د) همراهی باریت شعاعی با فلوریت بی‌رنگ در کانسار شش رودبار، (ذ) باریت دسته جارویی با ماکل پلی سنتتیک (نور عبوری عادی) در کانسار شش رودبار، ر) باریت دم چلچله‌ای در کانسار شش رودبار.



شکل ۱۱. رخداد انواع کلسیت در کانسارهای مورد مطالعه. الف) رگچه نسل اول کلسیت در زمینه سنگ آهک میکرایت سیلیسی (نور عبوری عادی) در کانسار پاچی میانا، ب) رگچه ضخیم نسل اول کلسیت (بدون همراهی فلوریت و گالن) در زمینه سنگ میزبان میکرایتی در کانسار شش رودبار، پ) رگه کلسیتی ضخیم نسل اول در زمینه یک سنگ آهک سیلیسی در کانسار پاچی میانا که توسط فلوریت در حال جانشینی است، ت) جانشینی کلسیت‌های زمینه سنگ میزبان توسط فلوریت‌های افشان، ث) رگچه‌های کلسیتی نسل اول که توسط پیریت قطع شده‌اند، ج) رگه کلسیتی همراه شده با کانی‌سازی (کلسیت نسل دوم) که حاوی فلوریت بنفش تا بی‌رنگ و گالن دانه متوسط در کانسار پاچی میانا، چ) کلسیت رومبوئدر (نسل سوم) در زمینه سنگ میزبان، ح) رگه کلسیتی در کانسار پاچی میانا (کلسیت نسل سوم) که گالن را قطع کرده است و بدون همراهی فلوریت و گالن است، خ) تاخر بخشی از کانی‌سازی کلسیت (نسل سوم) نسبت به باریت و فلوریت در کانسار شش رودبار که بدون کانی‌سازی می‌باشد.

مطالعه دلالت بر منشاء ناهم‌زادی این کانسارها دارد. حفرات انحلالی و کارستی غالباً پرشده توسط باریت از ساخت‌های معدنی شاخص در منطقه هستند که انحلال سنگ‌های کربناته منطقه را می‌توان عامل اصلی تشکیل آن‌ها ذکر کرد. این نوع ساخت‌ها به‌علت ذخیره بالایی که دارند، اقتصادی می‌باشند. بافت‌های مشاهده شده در نمونه دستی و مطالعات میکروسکوپی که کانی‌سازی غالب و قابل بهره‌برداری اقتصادی را در کانسارهای مورد مطالعه نشان می‌دهد آن‌ها را در زمره بافت‌های دیرزاد یا بافت‌های مربوط به بعد از سنگ‌شدگی سنگ میزبان قرار می‌دهد؛ هرچندکه بافت‌های هم‌زاد با رسوبگذاری و سنگ‌شدگی نیز حضور دارند لیکن بسیار کم اهمیت و کمیاب هستند.

بافت‌های دیرزاد (ناهم‌زاد) که در واقع انواع بافت‌های پرکننده فضای خالی مانند بافت گورخری، نواربندی قشرگون، رگه – رگچه‌ای و جانشینی را شامل می‌شوند که به جهت دارا بودن دانه‌های متوسط تا درشت اندازه کانه‌ها از جمله بافت‌های اقتصادی در منطقه مورد مطالعه می‌باشند؛ در نتیجه می‌توانند به‌عنوان مرحله اصلی کانی‌سازی در کانسارها شناخته شوند. بافت‌های پرکننده فضای خالی در اثر نهشته‌شدن پی در پی کانه‌ها درون شکستگی‌ها و یا شکاف‌های باز موجود در سنگ دیواره پدید می‌آیند. این بافت می‌تواند چندکانه‌ای یا تک‌کانه‌ای و یا به‌صورت تناوبی باشد که در این صورت مبین رخدادهای گوناگون نهشته‌شدن هستند. بافت پرشدگی فضای خالی در کانسارهای



شکل۱۲. الف) دانه درشت گالن در لامینه‌های قهوه‌ای رنگ اسمیت‌زونیت در پاچی میانا، ب) نمایی از لامینه سفید و خاکستری اسمیت‌زونیت در پاچی میانا، پ) بافت جزیره‌ای گالن ناشی از جانشین‌شدن گالن توسط سروزیت در پاچی میانا، ت) جانشین‌شدن گالن توسط سروزیت از محل ریزشکستگی در پاچی میانا، ث) آغشتگی سطحی مالاکیت و آزوریت در یکی از تونل‌های استخراجی در شش رودبار، ج) آغشتگی سطحی مالاکیت و آزوریت به همراه باریت و فلوریت در شش رودبار.

رگه‌ای فلزات پایه و کانسارهای سرب و روی در کربنات‌ها بسیار رایج است (Craige and Vaughan, 1981). از جمله بافت‌های رایج دیگر در منطقه بافت موزون یا گورخری می‌باشد Leach et al., (2005) و Paradis et al., (2007) این بافت‌ها را جزو بافت‌های دیرزاد رایج در کانسارهای نوع دره میسی‌سی‌پی معرفی نموده‌اند، لیکن گرجی‌زاد (۱۳۷٤) و شریعتمدار (۱۳۷۷) از این بافت در کانسارهای مورد مطالعه با عنوان ریتمیت‌های تبلور دیاژنتیکی یاد کرده‌اند. از آنجا که توده‌های معدنی واجد بافت مذکور در حفرات انحلالی و کارستی با انحنای به سمت بالا در سنگ‌های میزبان واقع شده‌اند این ویژگی به وضوح نشان‌–دهنده کانی‌سازی بعد از سنگ‌شدگی می‌باشد. تناوبی از لایه‌های روشن و تیره با کانی‌شناسی متفاوت در این بافت، گامه‌های چندگانه نهشت کانه‌ها را نشان می‌دهد که می‌تواند معلول تغییر در ترکیب محلول کانه‌ساز یا تغییر در عوامل موثر در ته‌نشست هر کدام از کانی‌ها باشد (Ineson, 1989). از دیگر بافت‌های شاخص مرحله اصلی کانی‌سازی، بافت رگه – رگچه‌ای می‌باشد که به‌وضوح بیانگر کانی‌سازی بعد از سنگ‌شدگی سنگ میزبان است. رگه – رگچه‌ها در این بافت واجد کانی‌های متوسط تا درشت دانه باریت، فلوریت و گالن هستند که بیان–کننده نهشت هم‌زمان این کانی‌ها با هم است. همچنین حضور ریزرگچه‌هایی واجد تک کانی‌هایی از گالن، کلسیت و پیریت در زمینه سنگ‌های میزبان می‌تواند به‌عنوان گامه‌های آغازین مرحله اصلی کانی‌سازی معرفی شوند. به هرحال، رخداد سولفیدها در اندازه‌های درشت تا ریز در رگچه‌های نازک تا ضخیم را می‌توان به سرعت متفاوت اختلاط محلول‌های گرمابی کانه‌ساز با هم نسبت داد (Ghazban et al.,1994).

بافت نواربندی قشرگون از جمله بافت‌هایی است که در اثر نهشته‌شدن پی‌درپی کانی‌ها درون شکستگی‌ها یا شکاف‌های باز موجود در دیواره پدید می‌آید. این بافت می‌تواند چندکانه‌ای یا دارای نظم و تناوب باشد که در این صورت مبین رخدادهای گوناگون (پاراژنتیکی) نهشته‌شدن کانه‌ها می‌باشد. Ineson (1989) این بافت را خاص کانسارهای گرمابی دمای پایین معرفی کرده است. از انواع بافت‌های جانشینی اولیه در کانسارهای مورد مطالعه، جانشین‌شدن فلوریت توسط باریت، کلسیت توسط فلوریت و جانشینی باریت توسط گالن است. این بافت‌ها علاوه‌بر این که تقدم و تاخر کانی‌ها را نسبت به یکدیگر نشان می‌دهد می‌تواند بیانگر تامین کلسیم مورد نیاز برای نهشت فلوریت از انحلال کلسیت و همچنین مصرف شدن گوگرد باریت برای تشکیل گالن باشد. بافت کلوفرمی یا خوشه انگوری نیز در بین باریت‌ها دیده می‌شود که در حقیقت در گروه بافت‌های کلوئیدی تقسیم‌بندی شده و از نهشت و رشد کانی‌ها در فضای خالی از محلول های کلوئیدی حاصل می‌شود Guilbert and Park,

1997) ؛ جزی و شهاب پور، ۱۳۸۹) که مشخصاً مربوط به زمان بعد از دیاژنز می‌باشند. باریت‌های دسته جارویی و دم چلچله‌ای نیز همگی معرف نهشت در فضاهای خالی از محلول‌های گرمابی دمای پایین می‌باشند (جزی و شهاب‌پور، ۱۳۸۹). از بافت‌های هم‌زاد با رسوبگذاری و دیاژنز نیز می‌توان به بافت‌های افشان و استیلولایتی اشاره نمود که از جمله بافت‌های نادر و همچنین کم اهمیت ماده معدنی در کانسارهای مورد مطالعه هستند. حضور گالن‌های شکل‌دار ریزدانه در متن سنگ‌های میزبان بدون ارتباط و اتصال به ریزرگچه‌ها می‌تواند نشان‌دهنده ته‌نشست ماده معدنی هم‌زمان با رسوبگذاری و رشد آن‌ها در طی فرآیند سنگ‌شدگی سنگ‌های میزبان به‌ویژه میکرایت‌ها باشد. پیریت‌های افشان ریزدانه در متن سنگ‌آهک‌های سیلیسی نیز می‌-تواند مبین نهشت اولیه اما کم اهمیت سولفیدها در حین رسوبگذاری و سنگ‌شدگی باشد.

وجود بافت‌های دگرشکلی و جانشینی ثانویه در کانسنگ‌های مورد مطالعه نشانگر متاثرشدن کانی‌سازی‌های اولیه و اصلی توسط فرآیندهای بعدی مانند فشردگی تکتونیکی (گسلش معکوس و چین‌خوردگی) و همچنین اکسیدشدن و غنی‌شدگی برون‌زاد یا سوپرژن می‌باشد. این بافت‌ها می‌توانند به‌عنوان مرحله پس از کانی‌سازی در کانسارهای مورد مطالعه معرفی شوند. از بین کانی‌ها، گالن به‌عنوان یک کانی نرم نشانه‌هایی از تغییر شکل یا دگرشکلی را نشان داده است که با خمیدگی و یا انحناء در اشکال خطی مانند رخ‌های آن مشخص شده را نشان داده است. خاصیت پلاستیسیته بسیار بالای گالن منجر به حرکت خمیری این کانی در اثر تنش‌های تکتونیکی می‌شود که در این حالت رخ‌های مثلثی گالن، به‌صورت خمیده و چین‌خورده تظاهر می‌یابد. وجود

شکل۱۳. توالی زمانی تشکیل بافت‌ها و نهشت کانه‌ها در کانسارهای مورد مطالعه.

درهم‌رفتگی و آشفتگی در رخ‌های مثلثی نشان‌دهنده فشار و تنش بر روی این رخ‌ها می‌باشد. این بافت وقوع تنش‌های تکتونیکی پس از تشکیل گالن در مرحله اصلی کانی‌سازی را نشان می‌دهد (Craige and Vaughan, 1981). از جمله بافت‌هایی که در اثر فرآیند غنی‌شدگی سوپرژن در مراحل بعد از کانی‌سازی شکل گرفته‌اند، سروزیتی-شدن گالن‌های دانه درشت مربوط به مراحل اصلی کانی‌سازی می‌باشد که از حاشیه و همچنین در امتداد رخ‌ها اتفاق افتاده است. از آنجا که جانشینی عمدتاً یک واکنش شیمیایی سطحی است، معمولاً از مرزهای بلور یا در امتداد شکستگی‌ها (از حاشیه به مرکز) تشکیل می‌شود (Craige and Vaughan, 1981). با توجه به سنگ میزبان کربناته و در نتیجه حضور کربنات در محیط، تشکیل سروزیت به‌عنوان یک کانی ثانویه سرب طی فرآیند زیر قابل قبول می‌باشد (Guilbert and Park,1997):

(۱) $PbS + H_2O + CO_2 + 2O_2 \rightarrow PbCO_3 + SO_4^{2-} + 2H^+$

در برخی موارد، کوولیت نیز همراه با سروزیت حضور دارد که غنی‌شدگی ثانویه سولفیدی برون‌زاد را تحت تاثیر محلول‌های فرورو نشان می‌دهد که برپایه سری شورمن، جانشین شدن مس به جای سرب در گالن امکان‌پذیر است؛ به‌طوری‌که مس خارج شده از ساختار گالن یا کالکوپیریت با سولفات موجود در محیط ترکیب شده و طبق واکنش زیر می‌تواند کوولیت را ایجاد نماید (Guilbert and Park,1997):

(۲) $PbS + CuSO_4 \rightarrow CuS + PbSO_4$

و

(۳) $CuFeS_2 + CuSO_4 \rightarrow CuS + FeSO_4$

نتیجه‌گیری

با تفاسیری که از نظر گذشت، مهم‌ترین نتیجه‌ای که می‌توان از پژوهش حاضر ارائه نمود، ترتیب زمانی شکل-گیری ساخت و بافت‌های شناسایی شده، نهشت سولفیدها، سولفات‌ها و کربنات‌ها در چهره این ساخت و بافت‌ها و نتیجتاً تکوین و تکامل کانی‌سازی در کانسارهای مورد مطالعه است که به‌صورت زیر ترسیم شده است (شکل ۱۳).

هر چند که این توالی زمانی نشان می‌دهد کانی‌سازی اولیه در کانسارهای فلوئور- باریم- سرب شرق مازندران در دو گامه (۱) اولیه هم‌زاد با سنگ‌شدگی سنگ‌های میزبان و (۲) اصلی دیرزاد تکوین و تکامل یافته است و در مرحله پس از کانی‌سازی متحمل فرآیندهای ثانویه مانند دگرشکلی و اکسیدشدن برون‌زاد شده است لیکن با استناد به شواهد ساختی از تظاهر ماده معدنی در محیط کانسارها و شواهد بافتی در مقیاس ماکروسکوپی و میکروسکوپی می‌توان مرحله اصلی و البته اقتصادی کانی‌سازی را در کانسارهای مورد مطالعه از نوع ناهم‌زاد با سنگ میزبان کربناته معرفی نمود.

منابع

- آقانباتی، ع.، ۱۳۸۳. زمین‌شناسی ایران. سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور، ۵۸۶ .

- جزی، م. و شهاب پور، ج.، ۱۳۸۹. بررسی خصوصیات کانی‌شناسی، ساختی، بافتی و ژئوشیمیایی معدن سرب نخلک. مجله زمین‌شناسی اقتصادی،۲، ۱۵۱-۱۳۱.

- راستاد، ا. و شریعتمدار، ا.، ۱۳۸۰. کانسار فلوریت شش رودبار (سوادکوه مازندران)؛ محیط تشکیل و ساخت و بافت‌های رسوبی- دیاژنتیک آن. مجله علوم زمین، ۴۲-۴۱، ۳۷-۲۰.

- شریعتمدار، ا.، ۱۳۷۷. زمین‌شناسی و ژنز کانسار فلوریت شش رودبار سوادکوه مازندران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس، ۲۳۰ .

- طبسی، ه.، ۱۳۷۵. آنالیز ساختاری معدن فلوریت شش رودبار. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس.

- علیرضایی، س.، ۱۳٦٦. پژوهشی در چینه‌شناسی و چگونگی پیدایش کانسارهای فلئور، سرب و باریم در تریاس شرق البرز مرکزی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تهران، ۸۷.

- قاسمی، حبیب ا... ، علیرضا، خانعلی زاده.، ۱۳۹۱. گرانیتوئید نوع A تویه دروار، جنوب باختر دامغان: نشانه ای از ماگماتیسم حوضه‌ی کششی پالئوتتیس در پالئوزوئیک زیرین البرز. مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، سال بیستم، ۱، ۲٤-۳.

- گرجی‌زاد، ح.، ۱۳۷٤. مطالعه زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، آنالیز رخساره‌ای و ژنز کانسار فلوریت پاچی میانا. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس، ۱۵٦.

- وحدتی دانشمند، ف.، ۱۳٦۲. داده‌های جدید درباره مرز بالایی سازند الیکا و معرفی نهشته‌ی پالند. سازمان زمین‌شناسی کشور، گزارش داخلی، ۱۷.

- وهاب‌زاده، ق.، خاکزاد، ا.، رساء ا.، موسوی، م.، ۱۳۸۷. مطالعه ایزوتوپ‌های گوگرد گالن و باریت کانسارهای فلوریت منطقه سوادکوه. مجله علوم پایه دانشگاه آزاد اسلامی، ٦۹، ۱۰۸-۹۹.

- Berberian, M., and King, G.C.P., 1981. Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. Canadian Journal of Earth Science, 18, 210-265.

- Brunet, M.F., Granath, J.W. and Wilsmen, M., 2009. South Caspian to Central Iran Basins, Introduction. The Geological Society London Special Publications, 312, 1-6.

- Cann, J.R., and Banks, D.A., 2001. Constraints on the genesis of the mineralization of the Alston Block, Northern Pennine Ore field, northern England. Proceedings of the Yorkshire Geology Society, 53, 187-196.

- Craige, J.R. and Vaughan D.J., 1981. Ore Microscopy and Ore Petrography. John Wiley and Sons, 406.

- Dunham, K.C., 1983. Ore genesis in the English Pennines: a fluorite subtype. In: Kisvarsanyi, G., Grant, S.K.,

Pratt, W.P., and Koenig, J.W. (Eds.), International conference on Mississippi Valley-type lead-zinc deposits, Proceeding Volume, University of Missouri-Rolla, 86–112.

- Garcia, I.J. and Loredo, J., 1994. Geological, geochemical and mineralogical characteristics of the Asturias fluorspar district. Exploration and Mining Geology, 3, 31-37.

- Ghazban, F., McNutt, R.H. and Schwartz, H.P. 1994. Genesis of sediment- hosted Zn-Pb-Ba deposits in the Irankuh district, Esfahan area, west- central Iran. Economic Geology, 89, 1262-1278.

- Gomes, F.F., Both, R.A., Mangas, J., and Arribas, A., 2000. Metallogensis of Zn-Pb carbonate- hosted mineralization in the Southeastern Region of the Picosde Europe (Central Northern Spain) Province: geologic, fluid inclusion, and stable isotope studies. Economic Geology, 95, 19-40.

- Guilbert, J.M. and Park, C.F., 1997. The Geology of Ore Deposits. Freeman and Company, NewYork, 985.

- Ineson, P.R., 1989. Introduction to Practical Ore Microscopy. Longman publishers, 181.

- Ixer, R.A. and Townley, R. 1979. The sulfide mineralogy and paragenesis of the South Pennine Ore field, England. Mercian Geologist, 7, 51–63.

- Leach, D.L., Sangster, D.F., Kelley, K.D., Large, R.R., Garven, G., Allen, C.R., Gutzmer, J. and Walters, S., 2005. Sediment-hosted lead-zinc deposits: a global perspective. In: Hedenquist, J.W., Thompson, J.F.H., Goldfarb, R.J., and Richards, J.P. [Eds.], 100th Anniversary of Economic Geology, 100, 561-607.

- Paradis, S., Hannigan, P. and Dewing K., 2007. Mississippi Valley-Type Lead-Zinc Deposits (MVT). Mineral Deposits of Canada, 111-119.

- Partey, K.F., Lev, S., Casey, R., Widom, E., Lueth, V. and Rakovan, J., 2009. Source of fluorine and petrogenesis of the Rio Grande Rift type barite-fluorite-galena deposit. Economic Geology, 104, 505-520.