

کانی‌سازی و ویژگی سیالات کانی‌ساز در کانسار سرب و روی گردنه شیر اردستان، استان اصفهان

فاطمه صباحی^۱، محمد لطفی^۲، پیمان افضل^۳ و نیما نظافتی^۴

^۱دکتر، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
^۲دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران
^۳دانشیار، گروه مهندسی نفت و معدن، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، تهران، ایران
^۴استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۰۲

چکیده

کانسار سرب و روی گردنه شیر در محدوده مطالعاتی جنوب باختر اردستان در استان اصفهان واقع است. از نقطه نظر لیتواستراتیگرافی علاوه بر رخنمون‌های کوچکی از شیل‌های ژوراسیک، ساختار اصلی از کربنات و سنگ‌های آواری تشکیل شده که از نظر زمانی به پالئوزوئیک، تریاس و کرتاسه تعلق دارند. این سکناس از واحدهای زمین‌شناختی در مجاورت توالی رسوبی-آتشفشانی ائوسن قرار دارد. در حالت خاص سیستم زمین‌شناختی تریاس متشکل از کربنات‌های دولومیتی است که از لحاظ زمین‌شناسی متعلق به سازند شتری می‌باشد و نقش اصلی را بعنوان سنگ میزبان در کانه‌زایی محدوده مطالعاتی گردنه شیر ایفا می‌کند. این پهنه بشدت برشی، شکستگی‌های کنتیکی محیط کم فشار را نشان می‌دهد که گذرگاهی برای حرکت محلول‌های کانه‌دار فراهم کرده و حاصل آن کانه‌زایی تیب رگه‌ای و پرشدگی درز و شکاف می‌باشد. جهت مطالعه کانه زایی در محدوده مطالعاتی ۴۰ مقطع صیقلی از پهنه‌های کانه‌ساز تهیه شد و تلفیق با سایر داده‌های آزمایشگاهی توالی پاراژنزی حاصل گردید که به ترتیب از قدیم به جدید عبارتند از: پیریت، کالکوپیریت، گالن، اسفالریت (فاز هیپوزن)، مالاکیت، آزوریت، سروریت، اسمیت زونیت، اکسیدهای آهن (فاز سوپرژن) و گانگ‌ها شامل باریت، کوارتز و کلسیت می‌باشند. براساس آنالیز شیمیایی میانگین عیار عناصر اصلی در کانسار گردنه شیر شامل $Zn=0.17\%$ ، $Pb=4.35\%$ و $Ag=20ppm$ گزارش شده که به شکل کانه‌های گالن، اسفالریت، سروریت و اسمیت زونیت است که در طول شکستگی‌های برشی و سیلیسی شده با روند اصلی NW-SE نمود دارند. با مطالعه میانبارهای سیال به دام افتاده در کانی‌های گانگ، شرایط فیزیکوشیمیایی محلول کانه‌ها حاصل شد. میانبارهای سیال غنی از مایع ذوفازی (L+V) بعنوان انواع اصلی سیالات شناسایی شد. این نوع سیالات در فاز مایع همگن شده‌اند که دامنه دمایی و شوری آنها به شرح ذیل می‌باشد: $TH: 78-183$ ؛ $216-C$ 283° ؛ $Salinity: 3.5-9.7$ و $10.2-25\%$ درصد وزنی معادل نمک طعام. داده‌های میکروترموتریک فوق‌الذکر ماهیت دو جمعیت از میانبارهای سیال را نشان می‌دهد که از منابع متفاوتی نشأت گرفته‌اند. منابع فوق می‌توانند از شورابه‌های حوضه‌ای باشند و طی فشرده‌گی رسوبات در محیط دریایی کم عمق مشتق شده و پس از حرکت رو به بالای آنها از میان رسوبات، کانسار سرب و روی نوع استراتاباند با میزبان کربنات دولومیتی حاصل شد. علاوه بر این مقادیر $S^{34}\delta$ در کانسار گردنه شیر با دامنه تغییرات 0.6 - تا 20.4 - در هزار از کانه گالن بدست آمده می‌تواند شاهدی بر احیاء سولفات باکتریایی در یک حوضه رسوبی فرونشستی باشد. براساس مشاهدات صحرایی، شواهد کانه‌شناسی، مطالعه میانبارهای سیال و آنالیز ایزوتوپ پایدار سولفور چنین نتیجه‌گیری می‌شود که کانسار گردنه شیر یک کانسار استراتاباند (چینه کران) با سنگ میزبان کربناته از نوع دره می‌سی‌سی‌پی (MVT) می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: سرب و روی، سنگ میزبان کربناته، سیال درگیر، ایزوتوپ پایدار گوگرد، کانسارهای نوع دره می‌سی‌سی‌پی، گردنه شیر.

*نویسنده مسئول: پیمان افضل

Email: p_afzal@azad.ac.ir

۱- پیش‌نوشتار

ذخایر سرب و روی در واحدهای سنگی رسوبی شامل ذخایر سرب و روی با میزبان کربناتی نظیر MVT و Irish، کانسارهای سرب و روی (SEDEX) با میزبان ولکانوسدیمتر (آتشفشانی زیردریایی-رسوبی) و سرب با میزبان ماسه‌سنگی است که از جمله ذخایر قابل توجه نوع سدکس و MVT (Leach et al., 2010) می‌باشد. با توجه به گستردگی واحدهای کربناته، آواری و شیل سیاه در ایران، کانسارهای سرب و روی در کشور از پتانسیل قابل ملاحظه برخوردارند که می‌توان به کانسارهای کوشک، چاه میر و زریگان از نوع سدکس (Rajabi et al., 2012b and 2015)، ذخایر MVT در شه‌میرزاد (Bazargani-Guilani et al., 2010 and 2011)، کوه سورمه (Liaghat et al., 2000) و نخلک (Jazi, and Shahabpour, 2010) و ذخایر سرب و روی با میزبان ماسه‌سنگی مانند کانسار گل زرد اشاره نمود که از نظر جایگاه ساختاری در پهنه سندج-سیرجان (Momenzadeh, 1976)، ایران مرکزی (Rajabi et al., 2012a) و البرز (Bazargani-Guilani et al., 2010 and 2011) تمرکز دارند. کانسار گردنه شیر از دیدگاه ساختاری در پهنه ایران مرکزی و در مرز بین زون ارومیه - دختر و سندج سیرجان قرار گرفته است. این کانسار در فاصله هوایی ۴۵ کیلومتری جنوب باختری شهرستان اردستان و ۸۰ کیلومتری شمال خاوری اصفهان در محدوده طول‌های جغرافیایی $60^{\circ} 12' 52''$ تا $58^{\circ} 14' 52''$ و 52° و خاوری و

۲- روش مطالعه

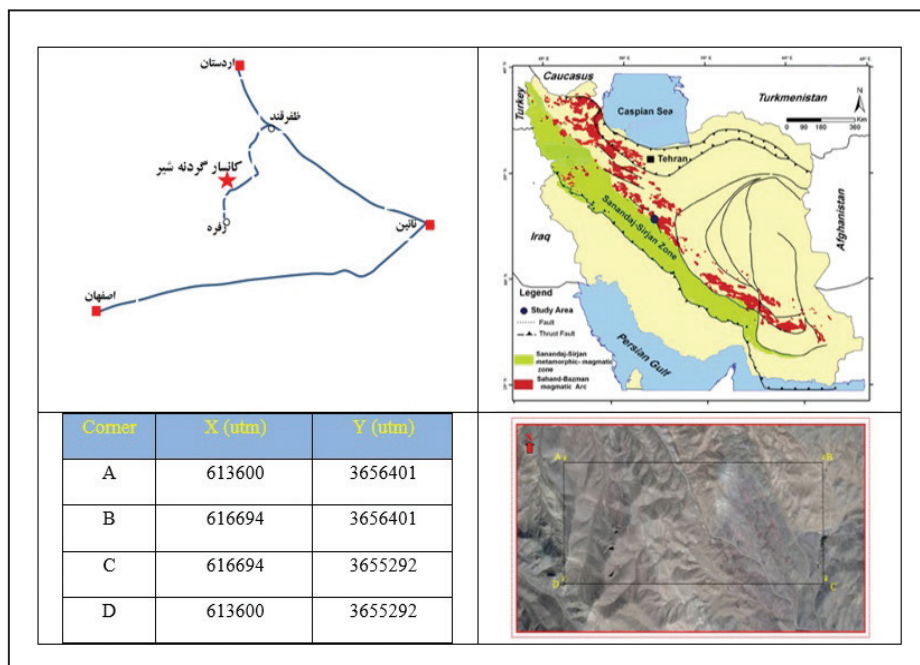
پس از انجام مطالعات اولیه بازدید از کانسار و عملیات نمونه برداری در چندین مرحله صورت پذیرفت. در مجموع تعداد ۴۰ نمونه مقطع نازک و ۴۰ مقطع نازک صیقلی جهت مطالعه کانه‌نگاری در کارگاه تهیه مقطع مرکز تحقیقاتی فرآوری مواد معدنی ایران آماده گردید. نمونه برداری برای مطالعه میانبارهای سیال از کانی کلسیت همراه با کانه‌زایی از نمونه‌های سطحی و مغزه‌های حفاری انجام شد و تعداد ۱۲ مقطع دوبر صیقلی از آنها تهیه و به مطالعه پتروگرافی و تعیین شکل و ویژگی‌های زایشی میانبارهای سیال پرداخته شد سپس مطالعات میکروترموتری در آزمایشگاه میانبارهای سیال شرکت مطالعات و پژوهش آذین زمین پویا با استفاده از دستگاه TMS با

کربونفر زیرین ملاحظه شد که شامل ماسه سنگ قرمز، کوارتزیت، و لایه های نازک آهک هستند و در راستای یک گسل، همبری خرد شده ای را با دولومیت- های تپ سازند شتری دارند. دولومیت های سازند شتری که در یک راستای عمدتاً شمال باختر - جنوب خاور گستره وسیعی را در منطقه پوشانده اند، بسیاری از بلندی های ناحیه را تشکیل داده اند و معرف تریاس میانی در محدوده مطالعاتی هستند. تریاس بالائی که بنام سازند نایبند نام گذاری شده، یک واحد عمدتاً شیلی با بین لایه هایی از ماسه سنگ و آهک است که در بردارنده نهشته های ذغالی متعددی در مقیاس ناحیه ای می باشد. سازند شمشک به سن ژوراسیک بصورت تپه ماهورهای کم ارتفاعی در محدوده، مشاهده می شود که بخش عمده ای از ناحیه را می پوشاند. قابل ذکر است که این مجموعه با رسوبات ولکانیکی - رسوبی انوسن هم مرز می باشند. واحدهای کرتاسه با یک واحد تخریبی قاعده ای شامل کنگلومرا و ماسه سنگ آغاز می گردد و با لایه های آهک ماری و پلیتی و سپس واحد آهکی توده ای تا ضخیم لایه خاکستری ادامه می یابد که در شرایط عادی روی آن را واحد آهک ماری و مارن می پوشاند. واحدهای سنگی تشریری با انوسن آغاز می گردند و در پهنه گسترده در سرتاسر بخش خاوری و شمال خاوری رخنمون دارند و در یک راستای شمال باختر- جنوب خاوری گسترش یافته اند و عمدتاً شامل فعالیت های آتشفشانی بازیک تا اسیدی است. برخی رخنمون های جوان تر در بخش جنوبی ناحیه (سازند قم) نمود یافته اند که پیرامون آنها با رسوبات تراورتنی کواترنری مشخص می گردد. توده های نفوذی منطقه مورد مطالعه شامل دو دسته هستند؛ دسته اول گرانودیوریت شمال باختر زفره که به پالئوژن نسبت داده اند. گرانودیوریت مذکور رسوبات دولومیتی تریاس میانی را قطع می نمایند و دسته دوم رخنمون های متعدد گرانودیوریتی است که رسوبات انوسن را قطع می نمایند. توده های نفوذی اسیدی که به نئوژن نسبت داده شده اند، از شمال تا جنوب پهنه خاوری زفره دیده می شوند.

کنترل کننده حرارتی THM 94 مدل Linkam 600 که بر روی میکروسکوپ زایس نصب شده LNP و سردکننده انجام پذیرفت. دقت و صحت استاندارد در محدوده دمایی ۱۹۶- تا ۶۵۰+ درجه سانتی گراد، ± 0.1 درجه سانتی گراد می باشد. جهت مطالعات ایزوتوپی گوگرد در منطقه به منظور شناسایی منبع گوگردهای سولفیدی، ۴ نمونه گالن انتخاب شد. سپس نمونه ها را در هاون خرد کرده و در زیر میکروسکوپ بیناکولار نمونه های خالص از باطله جدا شد. بعد از جداسازی، نمونه ها را با هاون آگاتی پودر نموده و در حدود یک گرم از آنها در ظروف مخصوص برای آنالیز به آزمایشگاه ایزوتوپ پایدار Hatch G. G. (G.G. Hatch Stable Isotope Laboratory) دیارتمان علوم زمین دانشگاه اتاوا، در کشور کانادا ارسال شد. تجزیه نمونه ها با استفاده از طیف سنج جرمی Finnigan Delta Plus انجام شد.

۲- زمین شناسی ناحیه ای

محدوده اکتشافی گردنه شیر بر اساس تقسیم بندی ساختاری در زون ایران مرکزی و در چهار گوش ۱:۲۵۰۰۰۰ کاشان و ورقه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ اردستان واقع است. این محدوده از نظر ساختاری در پهنه ایران مرکزی و حاشیه جنوب باختری کمان ماگمایی ارومیه - دختر و حاشیه شمال خاور پهنه دگرگونه سندج - سیرجان و در حوضه پلاتفرمی اصفهان که در آن پوشش کربناته - آواری کرتاسه گسترش دارد قرار گرفته است (شکل ۱). گسله میلجرد زفره که از بخش های میانه و باختری محدوده اکتشافی مجموعه آتشفشانی - آواری انوسن واقع بر روی واحد آهکی - دولومیتی کانه دار تریاس را به صورت طولی قطع نموده، گسلی است راستالغز با جابجایی راست بر که باعث بالا آمدن و قرارگیری مجموعه کربناته تریاس و کرتاسه در مجاور مجموعه آواری - آتشفشانی انوسن شده است. چند برونزد کوچک از رسوبات دوران اول غالباً به سن دونین زیرین تا

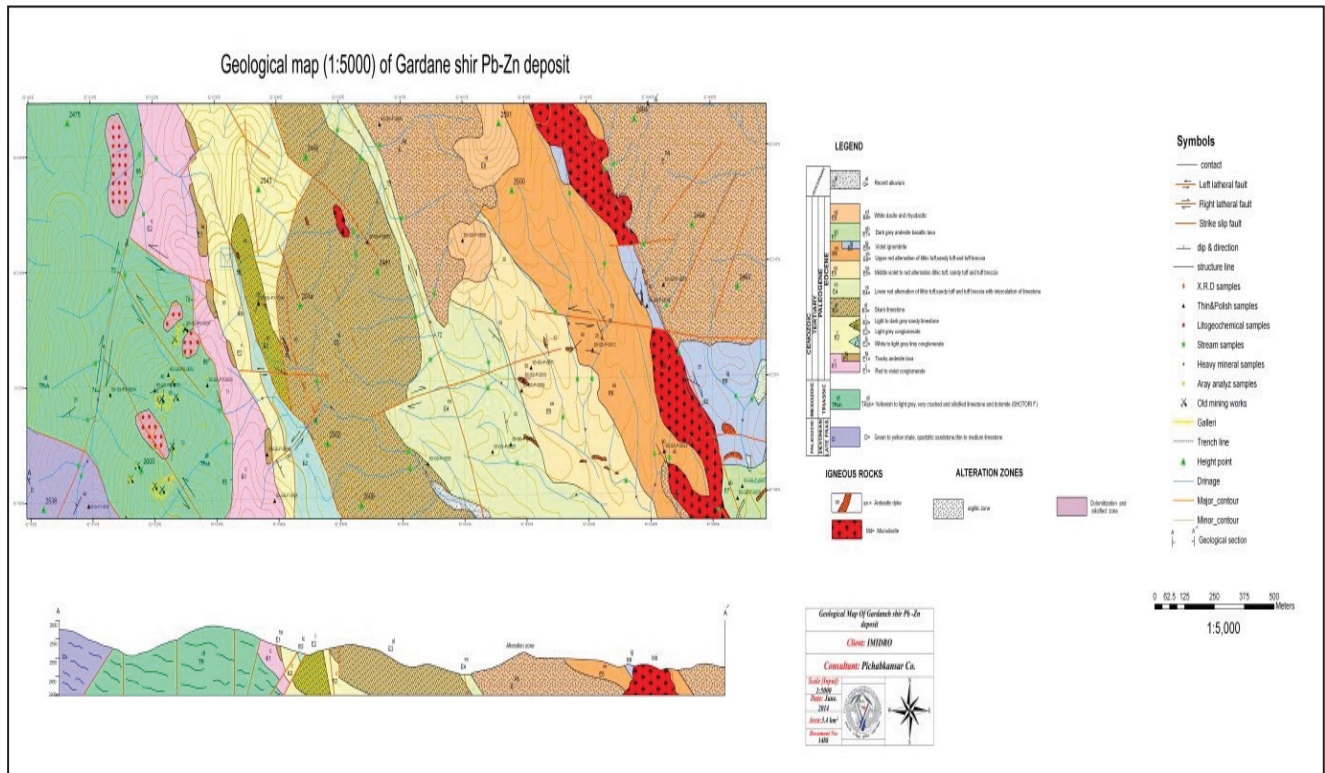


شکل ۱ - موقعیت جغرافیایی و راه های دسترسی و تصویر ماهواره ای همراه با مختصات چهار گوش محدوده مطالعاتی گردنه شیر.

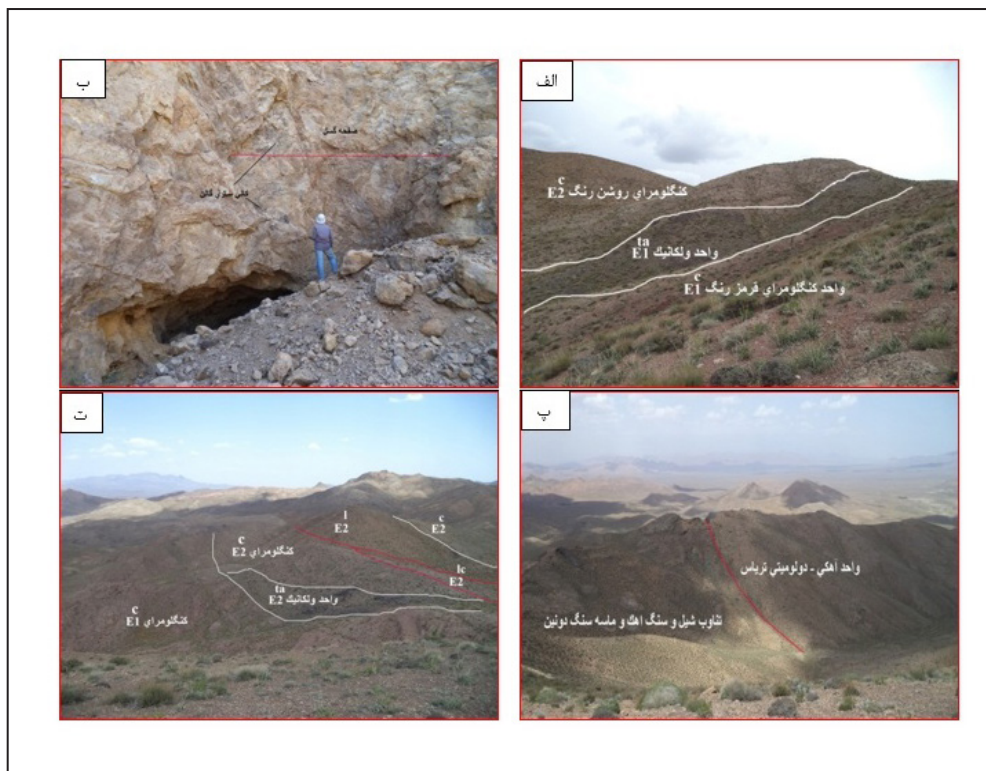
۴- زمین شناسی محلی کانسار گردنه شیر

۴-۱. واحد سنگی دونین (D)
 واحد دونین با ترکیب سنگی شیل و ماسه سنگ در بخش جنوبی منطقه گسترش داشته و ضخامتی در حدود ۲۵۰ متر را شامل می شود. این واحد با واحدهای سنگی انوسن دارای کنتاکت گسله می باشد (شکل ۳).

در محدوده کانسار گردنه شیر و اطراف آن، واحدهای آهکی، دولومیتی و کنگلومرای گسترش دارند. این سنگ ها عمدتاً شامل ماسه سنگ، آهک و دولومیت تریاس و واحدهای کنگلومرای و ولکانیکی انوسن هستند که بر اساس نقشه ۱:۵۰۰۰ محدوده مطالعاتی (شکل ۲) واحدهای سنگی از قدیم به جدید به شرح زیر توصیف گردیده اند:



شکل ۲ - نقشه ۱/۵۰۰۰ محدوده مطالعاتی گردنه شیر.



شکل ۳- واحدهای سنگی محدوده گردنه شیر: الف) کنگلومرای روشن رنگ E₂C و چگونگی ارتباط آن با واحد کنگلومرای E₁C؛ ب) نمایی نزدیک از واحدهای آهکی - دولومیتی تریاس میزبان ماده معدنی؛ پ) واحدهای آهکی - شیلی با سن دوتین که دارای کنتاکت گسله با واحد سنگ آهکی دولومیتی تریاس می باشد؛ ت) نمایی دور از واحد سنگ آهکی E₁A و ارتباط آن با واحدهای بالایی و پایینی.

۴-۲. سازند شتری به سن تریاس (TRshdl)

این واحد بعنوان میزبان کانسار با ضخامت بیش از ۵۰۰ متر بخش عمده‌ای از محدوده مورد مطالعه را پوشش می‌دهد و عمدتاً از واحدهای سنگ آهک دولومیتی و دولومیت‌های توده‌ای و خردشده با دگرسانی سیلیسی تشکیل شده است. این واحد تکنونیک نسبتاً شدیدی را متحمل شده و با گسترش کارست‌ها و حفره‌های غارگونه مشخص می‌باشد. گسلش زمینه‌ساز گسترش بسیاری از آبراهه‌های بزرگ بوده و در توسعه پدیده کارستیک نقش برجسته‌ای ایفا نموده است. بخش‌های دارای دگرسانی و پدیده‌های انحلالی گسترده از مهمترین ویژگی‌های سطحی هستند که برای پی‌جویی مواد معدنی اهمیت زیاد دارند. کانه‌زایی در این واحد در راستای گسله‌ها و حفرات انحلالی انجام شده است (شکل ۳-ب).

۴-۳. واحدهای کنگلومرای ائوسن

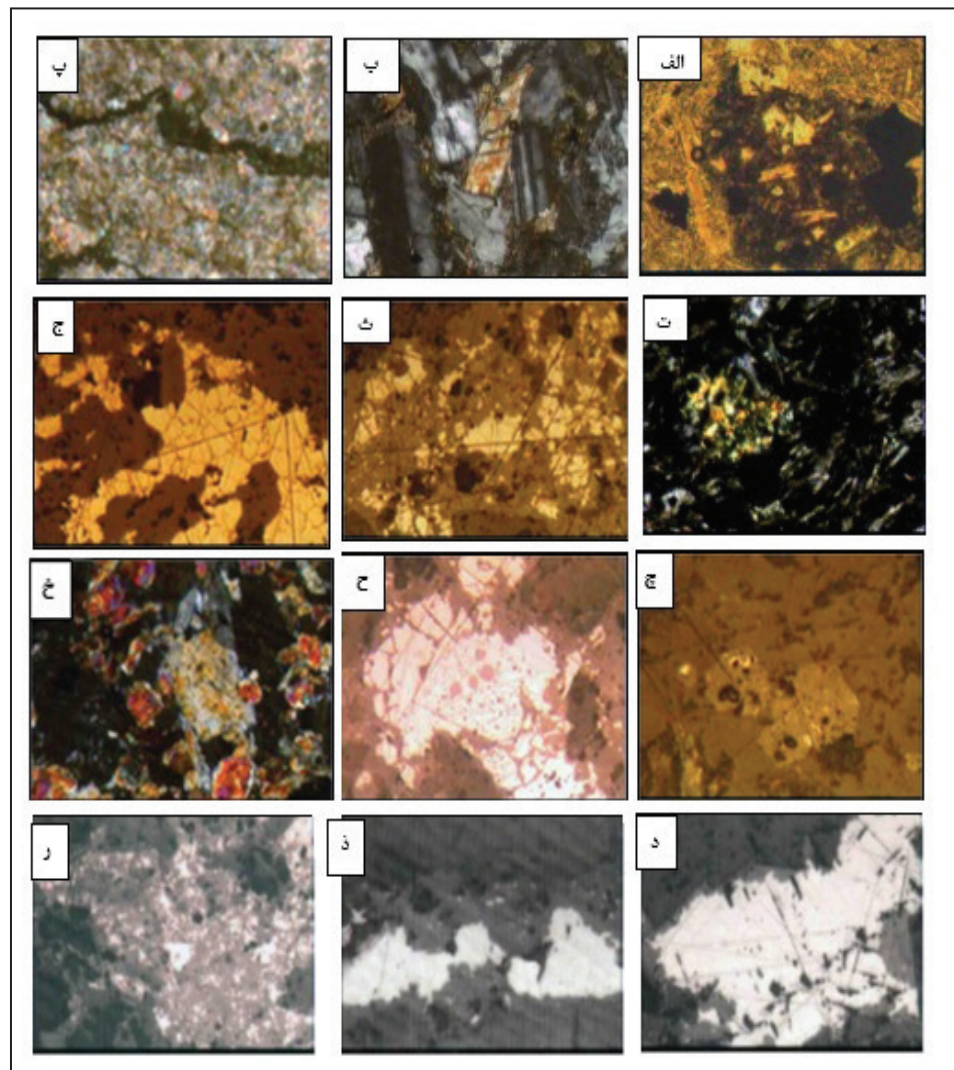
بخش گسترده‌ای از منطقه به واحدهای کنگلومرای ائوسن با ضخامت حدود ۴۰۰ متر اختصاص دارد که با واحدهای تریاس دارای کنتاکت گسلی می‌باشد. غالب قطعات کنگلومرا ترکیب آهکی و ولکانیکی دارد. در برخی نقاط بدلیل عملکرد گسله‌ها حالت شیستوز و متورق در این واحد مشهود است (شکل‌های ۳-د و ۳-ا).

۴-۴. واحدهای آتشفشانی رسوبی ائوسن تحتانی (Evs)

ترکیب واحدهای آتشفشانی عمدتاً آندزیت تا تراکی آندزیت با ضخامت حدود ۲۵۰ متر است. دایک‌های متعدد با روند عمدتاً شمال باختر- جنوب خاور داخل این واحدها نفوذ کرده است. براساس مطالعات پتروگرافی دایک‌ها نیز ترکیب تراکی آندزیت دارند.

۵- مراحل کانسار سازی و توالی پاراژنزی

سنگ‌های کربناته تریاس در محدوده مطالعاتی، تحت تأثیر حرکات تکنونیک منطقه فضای لازم جهت کانسار سازی را به دست آورده است. قابل ذکر است، این سنگ‌ها دگرسانی دولومیتی و سیلیسی شدن را متحمل شده‌اند. در مراحل بعدی ماده معدنی توسط سیالات کانسار ساز در فضای خالی ایجاد شده نهشته شده است. در شکل ۴ تصاویر میکروسکوپی مربوط به کانی‌سازی در کانسار نشان داده شده است. بطور خلاصه رسوبگذاری و دیاژنز سنگ میزبان، دولومیتی شدن، گسلش و شکستگی سنگ میزبان و کانسار سازی از جمله مراحل تکامل کانسار گردنه شیر می‌باشد. گالن کانی فلزی اصلی تشکیل دهنده کانسنگ بوده و با کالکوپریت و پیریت همراهی می‌شود. در شکل ۵ توالی پاراژنزی مراحل کانی‌سازی در کانسار آمده است.



شکل ۴- برخی از کانی‌های موجود در ماده معدنی کانسار گردنه شیر: الف) قطعات لیتیک، کوآرتز، میکرولیت‌های فلدسپار در زمینه ریز بلور اوپاسیته؛ ب) بافت اینترگرانولار از پلاژیوکلاز، پیروکسن، آلکالی فلدسپار و کانی‌های اوپاک؛ پ) زمینه بلورین دولومیت دانه شکری که توسط رگچه‌های نامنظم اوپاک قطع شده است؛ ت) پورفیرهای کلینوپروکسن در زمینه هیالیک؛ ث) بافت حفره پرکن، هم‌رشدی اسفالریت با گالن؛ ج) بافت حفره پرکن با کانی‌سازی گالن؛ خ) انکلوزیون‌های گالن درون اسفالریت؛ ح) انکلوزیون اسفالریت داخل گالن؛ د) پرکردگی حفره پرکن گالن (بزرگنمایی X10)؛ ذ) پرکردگی رگچه‌های اسفالریت و گالن (بزرگنمایی X10)؛ ز) کانی‌های آمفیبول خودشکل همراه کانی‌های اوپاک؛ ر) پرشدگی اسفالریت و گالن در حفره (بزرگنمایی X10).

Ore Minerals	Stage of ore-mineralization			
	Early	Late		
Pyrite	████████████████████			
Calchopyrite	████████████████████			
Sphalerite	-----			
Galena	████████████████████			
Barite	████████████████████			
Cerussite		████████████████████		
Dolomite	████████████████████			
Quartz		████████████████████		
Calcite		████████████████████		
Fe-Oxides		████████████████████		
	Very High ██████████	High ██████████	Low ██████████	Very Low -----

شکل ۵- توالی پاراژنتیک مراحل کانی‌سازی در کانسار گردنه شیر.

۶- دگرسانی

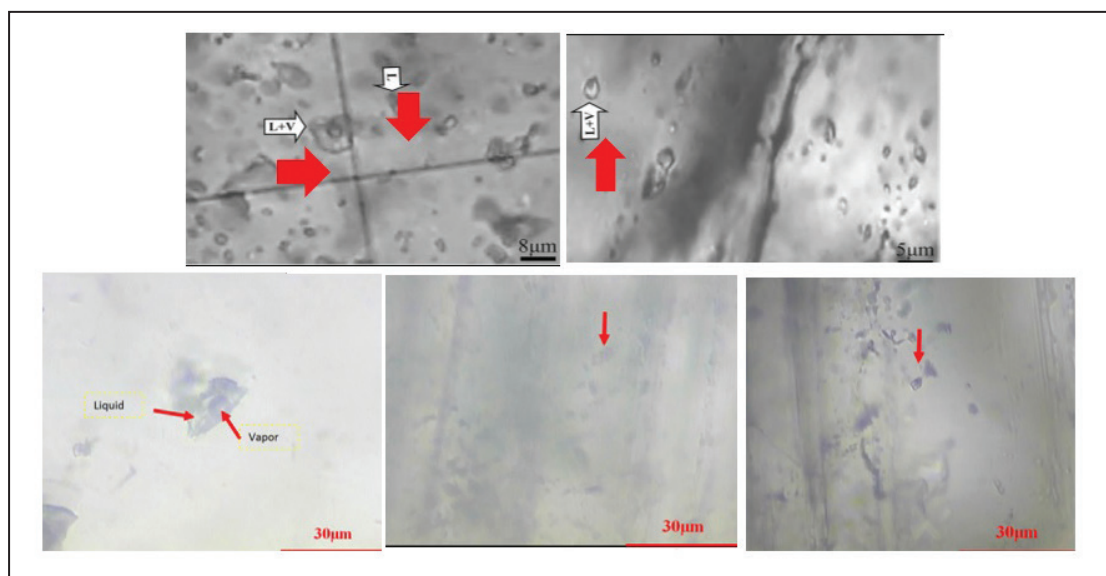
دگرسانی در کانسارهایی که محلول‌های گرمابی در تشکیل آنها نقش دارند، بسیار مهم می‌باشد. در کانسار گردنه شیر هجوم سیالات کانه‌دار به درون شکستگی‌های سنگ میزبان کربناته باعث ایجاد دگرسانی شده که در حاشیه رگه‌ها و زون‌های معدنی و تا فاصله چند سانتی‌متر تا چند متر و با شدت متفاوت قابل مشاهده است. دگرسانی‌ها اغلب از نوع کربناتی بوده و شامل دولومیتی شدن، کلسیتی شدن، ایجاد رگچه‌های کلسیتی، انحلال کربنات‌ها و به مقدار کمتر هماتیستی شدن است. در این کانسار دولومیتی شدن مهم‌ترین دگرسانی مؤثر در کانه‌زایی به شمار می‌آید، بطوری که غالب کانه‌زایی موجود در منطقه، در بخش‌های دولومیتی شده سنگ میزبان مشاهده می‌شود. دولومیتی شدن نشان از چرخش شوراها در سنگ میزبان دارد که سبب افزایش تخلخل در سنگ آهک و تمرکز قابل توجه عناصر سرب در سنگ میزبان شده است (Hitzman et al., 2003). انحلال بخش‌هایی از سنگ میزبان در مقیاس میکروسکوپی در اثر فعل و انفعالات بین سیال کانه‌دار و سنگ میزبان نیز مشاهده شده که احتمالاً انحلال ناشی از واکنش سنگ میزبان کربناته با اسید حاصل

از فرآیند اختلاط سیال کانه‌دار می‌باشد (Corbella et al., 2004).

۷- میانبرهای سیال

در مطالعات پتروگرافی براساس تقسیم‌بندی‌ها در دمای اتاق نوع میانبرهای سیال از نوع اولیه شناسایی شد (Roedder, 1984; Shepherd et al., 1985). میانبرهای سیال اولیه از لحاظ ظاهری دارای اشکال چندضلعی نامنظم با اندازه حدود ۲۰ میکرون هستند. قابل ذکر است بسیاری از میانبرهای سیال نمونه‌ها اندازه زیر ۵ میکرون دارند و بدلیل نامناسب بودن از مطالعه میکروترمومتری آنها اجتناب شد. مطالعات میکروترمومتری بر روی میانبرهای سیال اولیه و با اندازه بزرگتر از ۱۰ میکرون صورت گرفت.

در کانسار گردنه شیر نوع کانی‌سازی میانبرهای سیال از نوع سولفیدی می‌باشد که به شرح آن می‌پردازیم. میانبرهای سیال اولیه با فراوانی بیش از ۹۰٪ از نوع دوفازی L+V غنی از مایع با درجه پرشدگی بیش از ۶۰٪ می‌باشد (شکل ۶).

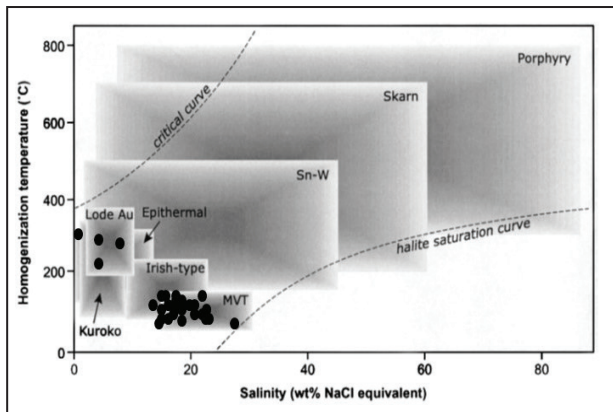
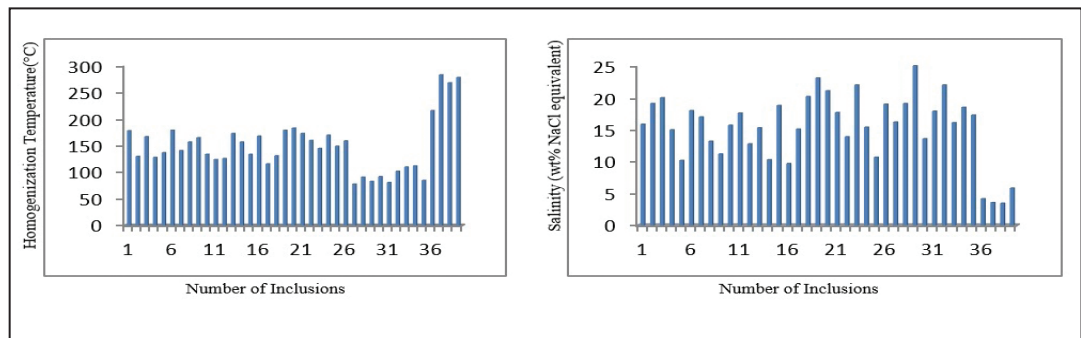


شکل ۶- انواع میانبرهای سیال دوفازی (L+V) متشکل از فاز گاز (V) و مایع آبگین (L) در کلسیت.

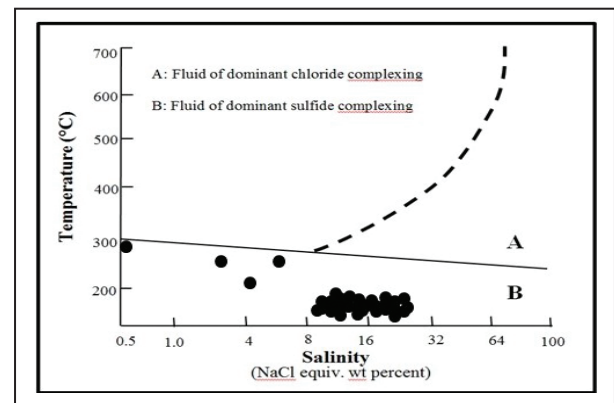
به سبب حضور نمک‌های دیگری از قبیل نمک‌های Mg و K در سیستم است (Valenza et al., 2000). دگرسانی دولومیتی سنگ میزبان کانسار می‌تواند شاهدهی بر حضور Mg در سیال کانه‌دار تلقی شود. دمای نهایی ذوب یخ بین ۰/۴- تا ۸/۱- درجه سانتی‌گراد با میانگین ۲/۶- متغیر است. براساس سیستم H₂O-NaCl (Bodnar, 1993) مقدار شوری بین ۳/۵ تا ۹/۷ و ۱۰/۲ تا ۲۵ درصد وزنی معادل NaCl بدست آمد. برای شناسایی کمپلکس غالب در حمل فلزات از نمودار (Pirajno, 2009) استفاده شده است (شکل ۸) داده‌های گردنه شیر بر طبق این نمودار در محدوده مربوط به کمپلکس سولفیدی قرار می‌گیرد (شکل ۹) و می‌توان نتیجه گرفت آنیون غالب در ناحیه SO₄²⁻ یا HS⁻ است. وجود کانه‌های پیریت، گالن و یا کالکوپیریت در ناحیه تأییدی بر این ادعاست. نمودار شکل ۱۰ (Kesler, 2005) تغییر ملایم شوری پایین تا متوسط همراه با تغییرات دما را نشان می‌دهد.

در سیالات مورد بررسی فاز نوزاد جامد مشاهده نشد که می‌تواند به دلیل شوری پایین سیال کانه‌ساز باشد. به طور کلی در فاز اصلی کانی‌سازی دامنه دمای همگن شدن بین ۷۸ تا ۱۸۳ درجه سانتی‌گراد و ۲۱۶ تا ۲۸۳ درجه سانتی‌گراد بوده و در تمامی نمونه‌ها همگن شدن از طریق فاز مایع صورت گرفته است (جدول ۱). شکل ۷ تغییرات دمای همگن شدن را نشان می‌دهد. همگن شدن با فاز مایع نشان می‌دهد سیالی که ادخال‌ها از آن به دام افتاده‌اند، میزان درصد فاز مایع نسبت به فاز بخار خیلی زیادتر بوده است (Kinsland, 1977). در نمونه‌های دوفازی اولیه در غالب موارد نقطه یوتکتیک بیش از ۲۰.۸- که دمای یوتکتیک در سیستم H₂O-NaCl می‌باشد و در نتیجه سیستم میانبارهای سیال می‌تواند یک سیستم خالص H₂O-NaCl باشد. دمای یوتکتیک سیستم سیال کانسار گردنه شیر دمای یوتکتیک نمونه‌ها کمتر از ۵۵- است که احتمالاً

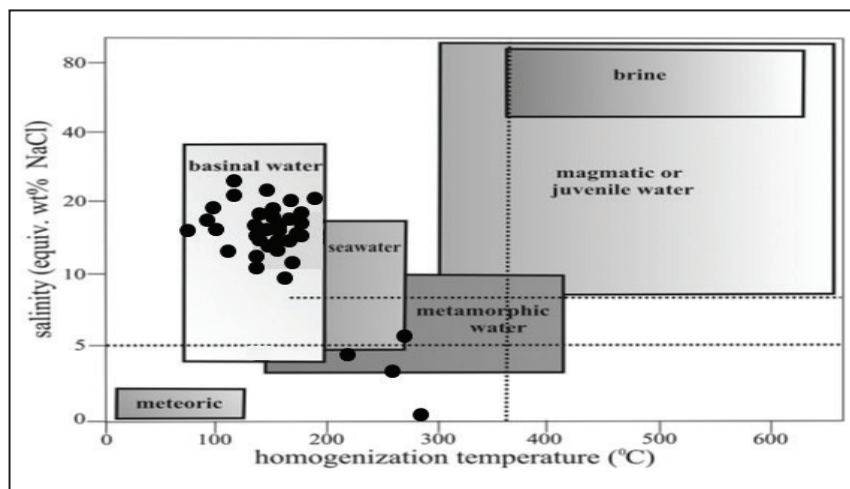
شکل ۷- نمودارهای تغییرات دمای همگن شدن و شوری در نمونه‌های کلسیت کانسار گردنه شیر.



شکل ۹- نمودار تعیین تیپ کانه‌زایی بر اساس شوری و دمای همگن شدن (Wilkinson, 2001).



شکل ۸- نمودار دمای همگن شدن - شوری برای تعیین کمپلکس فلزی (Pirajno, 2009).



شکل ۱۰- نمودار شوری- دمای همگن شدن میانبارهای سیال با محدوده آب‌های مختلف (Kesler, 2005)

جدول ۱ - داده‌های میانبار سیال برای نمونه‌های کلسیت در کانسار گردنه شیر.

Sample	n	Size (µm)	Type	Origin	Te (°C)	Tmice (°C)	wt% (NaCl)	Thv-1 (°C)	Degree of Fill	Host Mineral
sgs-18BH	1	10	L+V	Primary	-21	-3.5	15.86	178	0.8	Carbonate
	2	12				-	19.1	130		
sgs-12	1	10	L+V	Primary	-	-	20	167	0.7	Carbonate
	2	11				-	15	128		
sgs-7	1	11	L+V	Primary	-19	-1.1	10.2	137	0.9	Carbonate
	2	12			-23	-0.9	18	179		
sgs-9BH	1	15	L+V	Primary	-16	-1.2	17	141	0.6	Carbonate
	2	18			-20	-3.8	13.2	157		
	3	12			-18	-4.8	11.2	165		
sgs-15BH	1	8	L+V	Primary	-17	-2.1	15.7	134	0.7	Carbonate
	2	17			-19.5	-1.8	17.6	127		
	3	12			-24	-1.9	12.8	126		
sgs-11BH	1	16	L+V	Primary	-21.3	-0.5	15.3	173	0.8	Carbonate
	2	25			-18	-6.2	10.3	157		
sgs-12BH	1	19	L+V	Primary	-20	-4.1	18.8	134	0.6	Carbonate
	2	20			-15.3	-	9.7	168		
	3	23			-19	-3.1	15.1	116		
	4	9			-22.1	-2.1	20.2	131		
	5	14			-21	-2.5	23.1	179		
	6	6			-20.1	-0.8	21.1	183		
	7	28			-23	-1.2	17.7	173		
sgs-11	1	11	L+V	Primary	-19	-0.8	13.9	160	0.8	Carbonate
	2	15			-20	-1.3	22	145		
	3	5			-18.2	-0.6	15.4	170		
	4	8			-12.9	-0.4	10.7	149		
	5	14			-21	-0.9	19	159		
sgs-17	1	7	L+V	Primary	-13.2	-4.2	16.2	110	0.6	Carbonate
	2	11			-16	-8.1	18.5	112		
	3	6			-17.1	-0.9	17.3	85		
sgs-5BH	1	23	L+V	Primary	-19	-3.1	4.2	216	0.7	Carbonate
	2	33			-20	-0.8	3.6	283		
sgs-2	1	20	L+V	Primary	-15	-0.0	3.5	268	0.6	Carbonate
	2	10			-21	-3.5	5.86	278		
sgs-24BH	1	9	L+V	Primary	-9.3	-7	16.2	78	0.7	Carbonate
	2	5			-19	-2.2	19.1	91		
	3	11			-12.5	-0.9	25	83		
	4	13			-21	-4.5	13.6	92		
	5	5			-16.1	-6.8	17.9	81		
	6	14			-12.2	-1.5	22	102		

۸- مطالعات ایزوتوپی

نمونه‌ها بر مبنای استاندارد CDT یا فاز سولفیدی ترویلیت شخانه آهنی کانپون دیابلو آریزونا محاسبه و در جدول ۲ ارائه شده است. مقادیر $\delta^{34}\text{S}$ محاسبه شده در دامنه ۶/۰- تا ۴/۲۰- در هزار با میانگین ۲/۹- در هزار قرار می‌گیرد.

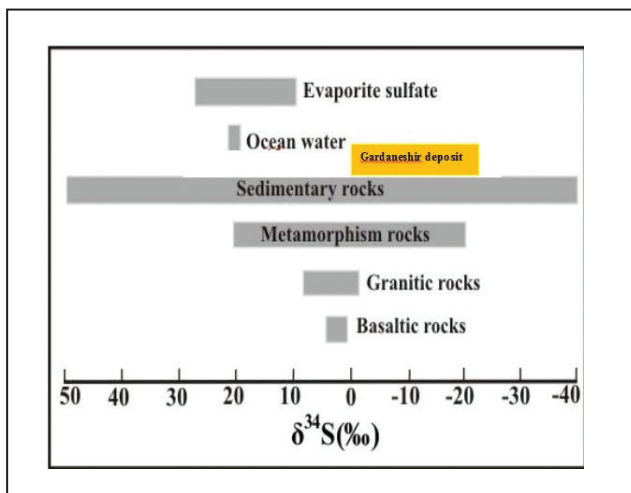
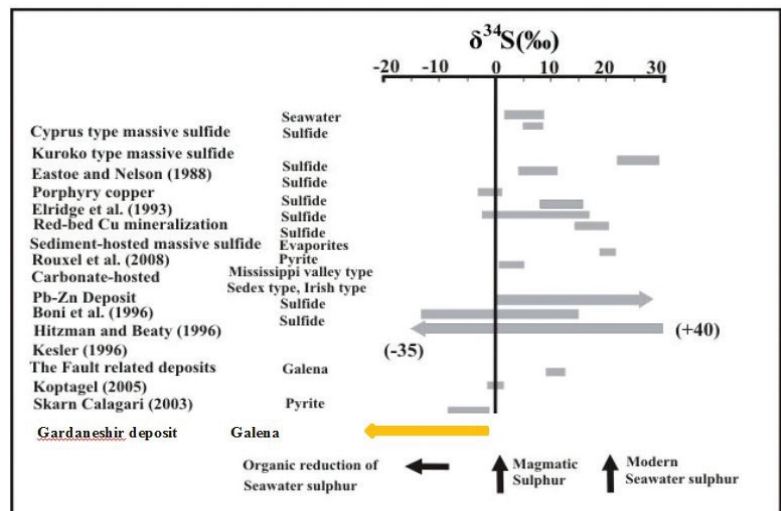
گوگرد در محیط طبیعی دارای دو منبع اصلی است؛ (a) منبع ماگمایی و (b) منبع آب دریا (Ohmoto and Rye, 1979). مقدار $\delta^{34}\text{S}$ سولفیدی گرمایی با منشأ ماگمایی بین ۳- تا ۱+ متغیر است (Hoefs, 2004). متداول‌ترین و مشخص‌ترین منبع گوگرد همسان، سولفات‌های دریایی می‌باشند (Ghazban et al., 1994). با توجه به عدم وجود کانی‌های سولفاتی همراه با گالن در بخش‌های کانه‌ساز، می‌توان فرض نمود سیال کانه‌دار احیایی بوده و کانی‌های سولفیدی در تعادل با سیال دارای H_2S نهشته شده‌اند. با استفاده از فاکتور تفکیک ایزوتوپی سولفید H_2S و مقادیر بیشترین،

با استفاده از ایزوتوپ‌های گوگرد می‌توان منشأ گوگرد مورد نیاز برای تشکیل فازهای سولفیدی در کانسار را تعیین نمود. همچنین تعیین دمای سیال کانه‌دار در صورت آنالیز گوگرد در جفت مینرال نظیر پیریت-کالکوپیریت، گالن-اسفالریت، تعیین نسبت مؤثر آب به سنگ (F/R) در طی کانی‌سازی، تعیین درجه تعادل موجود در سیستم و نهایتاً تعیین سازوکار نهشت ماده معدنی از دیگر کاربردهای ایزوتوپ‌های گوگرد است (Hoefs, 2004). بطور کلی تغییرات مشاهده شده در مقادیر $\delta^{34}\text{S}$ در کانی‌ها می‌تواند براساس تغییرات دمایی، شرایط احیایی، تغییرات pH و مقدار ایزوتوپ خاستگاه اولیه حاصل شود (Ohmoto, 1972; Mikulski et al., 2015). در کانسار گردنه شیر ۴ نمونه از کانی گالن جهت آنالیز ایزوتوپ پایدار سولفور مورد بررسی قرار گرفت. نسبت ایزوتوپی گوگرد برای کلیه

دمای حدود ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد رخ می‌دهد، بنابراین شرایط فعالیت باکتریایی با توجه به دمای کانی‌سازی کانسار مناسب بوده و در نتیجه گوگرد باکتری زاد در تشکیل کانی‌های کانسار نقش داشته است (شکل ۱۱). شواهد زمین‌شناسی، عدم ارتباط کانی‌سازی با ماگماتیسم در کانسار گردنه شیر محرز بوده و مقدار $\delta^{34}\text{S}$ کلسیت کانسار با سولفات‌های دریایی تریاس شباهت دارد (جدول ۳). قابل ذکر است؛ دولومیت‌های میزبان دال بر یک محیط رسوبی کم عمق دارد که در این گونه محیط‌ها، نهشته‌های تبخیری نیز می‌تواند شکل بگیرند و تأمین‌کننده گوگرد فرایند سولفیدی باشند. موقعیت ترکیب ایزوتوپی گوگرد گالن در کانسار گردنه شیر نسبت به محدوده‌های ایزوتوپی گوگرد در سیستم‌های زمین‌شناسی در شکل ۱۲ نشان داده شده است که بیشترین تطابق را با سولفید رسوبی نشان می‌دهد (Hoefs, 2004).

کمترین و میانگین دمای سیال در گیر، ترکیب ایزوتوپی گوگرد سیال بین ۱۸.۳ تا ۰.۳ - در هزار برای H_2S در تعادل با گالن تعیین می‌گردد. با فرض اینکه سولفات‌های دریایی منبع گوگرد باشد، تغییرات در مقدار $\delta^{34}\text{S}$ می‌تواند مربوط به فرایند احیاء SO_4 به H_2S باشد که توسط فرایندهای باکتریایی و یا شیمیایی صورت گرفته است (Machel, 2001). فعالیت باکتریایی سبب تهی‌شدگی ^{34}S در سولفید می‌شود. سولفیدهای با منشأ گوگرد باکتریایی نسبت به منبع اولیه معمولاً تهی از ^{34}S بوده و مقدار $\delta^{34}\text{S}$ دارای محدوده وسیعی است (Seal, 2006). با توجه به در نظر گرفتن گوگرد موجود در سولفات‌های تریاس بعنوان منبع اصلی گوگرد، در صورت فعالیت باکتریایی مقادیر $\delta^{34}\text{S}$ نسبت به منبع اولیه در سولفیدها به سمت منفی گرایش پیدا کرده که در کانسار گردنه شیر مقدار $\delta^{34}\text{S}$ گالن مقادیر منفی را نشان می‌دهد. احیاء باکتریایی سولفات در

شکل ۱۱ - مقادیر $\delta^{34}\text{S}$ برای کانی‌های گوگردار در کانسارهای مختلف. (Eldridge et al., 1993; Boni et al., 1996; Kesler, 1996; Calagari, 2003; Koptagel et al., 2005).



شکل ۱۲ - موقعیت ترکیب ایزوتوپی $\delta^{34}\text{S}$ کانسار گردنه شیر نسبت به محدوده‌های ایزوتوپی گوگرد در سیستم‌های زمین‌شناسی (Hoefs, 1997).

جدول ۲ - مقادیر ایزوتوپی گوگرد در نمونه‌های گالن در کانسار گردنه شیر.

Sample No	Mineral	$\delta^{34}\text{S}$	S%	$\delta^{34}\text{S}_{\text{H}_2\text{S}} (\text{T:78})$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{H}_2\text{S}} (\text{T:283})$
Gs-15	Galena	-14.0	12.3	-7.8	-11.9
Gs-17	Galena	-20.4	12.4	-15.2	-18.3
Gs-2	Galena	-1.8	0.6	-3.4	-0.3
Gs-24bh	Galena	-0.6	12.1	-4.6	-1.5

جدول ۳- مقایسه ویژگی‌های کانه‌زایی در کانسار سرب گردنه شیر با مدل‌های MVT.

ردیف	متغیر	کانسارهای MVT	نخلک	گردنه شیر
۱	پاراژنز کانسنگ	سرب، روی، نقره	سرب، روی، نقره	سرب، نقره
۲	محصول جانبی	Ag-Cd-Ge-Ba-F	Ag, Mo, As	Ag-Ba
۳	پاراژنز کانسنگ	گالن، اسفالریت، پیریت، کالکوپیریت	گالن، اسفالریت، کالکوپیریت، پیریت	گالن، پیریت، کالکوپیریت
۴	باطله	دولومیت، کلسیت، کوارتز	باریت، دولومیت، کلسیت	دولومیت، کلسیت، کوارتز، باریت
۵	جایگاه زمین ساختی	سکوه‌های قاره‌ای پایدار	سکوه‌های قاره‌ای پایدار	سکوه‌های قاره‌ای پایدار
۶	ارتباط با سنگ نفوذی	بدون ارتباط با سنگ‌های آذرین	بدون ارتباط با سنگ‌های آذرین	بدون ارتباط با سنگ‌های آذرین
۷	سن کانه زایی	از پروتروزوئیک تا تریشری	کرتاسه بالایی	تریاس
۸	سنگ میزبان	دولومیت، سنگ آهک، سنگ آهک دولومیتی	کربنات	دولومیت، سنگ آهک
۹	نوع	استراتاباند	استراتاباند	استراتاباند
۱۰	دگرسانی	دولومیتی شدن، سیلیسی شدن، تبلور دوباره، انحلال کربنات‌ها	دولومیتی شدن، سیلیسی شدن	دولومیتی شدن، انحلال کربنات‌ها
۱۱	خصوصیات میانبارهای سیال	گستره دمایی ۵۰ تا ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد و شوری ۱۴ تا ۲۲ درصد وزنی نمک طعام	گستره دمایی ۸۶ تا ۱۸۸ درجه سانتی‌گراد و شوری ۱۰.۹۷ تا ۱۶.۴۵ درصد وزنی نمک طعام	گستره دمایی ۷۸ تا ۱۸۳ شوری ۹.۷ تا ۲۵ درصد وزنی نمک طعام
۱۲	زایش	اپی‌ژنتیک	رگه‌های اپی‌ژنتیک	اپی‌ژنتیک
۱۳	مطالعات ایزوتوپی	Sphalerite $\delta^{34}\text{S} = +17.09$ (Mikulski et al., 2015; Mikulski, 2017) +38 to -32 (Leach, 1996)	Barite $\delta^{34}\text{S} = +10.95$ to +13.71	Galena $\delta^{34}\text{S} = \text{average}$ -9.2
۱۴	منابع	Leach et al. (2010)	Jazi and Shahabpour (2010) Jazi et al. (2015)	پژوهش حاضر

۹- نتیجه‌گیری

کانی‌سازی در گردنه شیر بصورت استراتاباند در دولومیت‌های سازند شتری به سن تریاس جای گرفته است. کانی‌شناسی شامل گالن، اسفالریت، پیریت، کالکوپیریت و باریت بعنوان کانی اولیه، سروزیت، میمیت، اکسیدهای آهن و منگنز کانی ثانویه می‌باشند. بافت ماده معدنی پرکننده فضای خالی است که نمود بارز فعالیت گسل‌های منطقه است. کانی‌سازی سولفیدی دارای محدوده دمای همگن شدگی بین ۷۸ تا ۱۸۳ درجه سانتی‌گراد و ۲۱۶ تا ۲۸۳ درجه سانتی‌گراد و مقدار شوری بین ۳/۵ تا ۹/۷ و ۱۰/۲ تا ۲۵ درصد وزنی معادل NaCl است. اندازه‌گیری دمای یوتکتیک نشان‌دهنده حضور کاتیون‌های Na^+ و Ca^{2+} و احتمالاً Mg^{2+} در فاز مایع میانبارهای سیال است. حضور عناصر Ca و Mg در محلول با ایجاد پدیده دولومیتی شدن قابل تأیید است. براساس نمودار شوری در برابر دمای همگن شدن سیال کانه‌زا در محدوده کانسارهای MVT پلات شده است (شکل ۹). از سوی دیگر، طبق نمودار دمای همگن شدگی در برابر درصد شوری که در آن شیوه حمل مواد معدنی در قلمرو کمپلکس‌های کلریتی و سولفیدی نشان داده شده، ملاحظه می‌شود که کلیه یافته‌های مربوط به میانبارهای سیال منطقه گردنه شیر در قلمرو سولفیدی قرار گرفته‌اند که بیان از شوری کم تا زیاد بوده و دمای محدود تا ۳۰۰ درجه را نشان می‌دهد. این داده‌ها خود مهر تأییدی بر شورابه‌های حوضه‌ای در یک محیط فرونشستی است و تطبیق آنها برای تشکیل نوعی کانسار از تیپ MVT به مانند کانسار با سنگ میزبان کربناتی گردنه شیر دارد که در این نمودار

نشان داده شده است. محدوده مقادیر $\delta^{34}\text{S}$ در کانسار گردنه شیر در دامنه ۰/۶- تا ۲۰/۴- در هزار با میانگین ۹/۲- در هزار می‌باشد. از آنجا که میانگین دامنه تغییرات ایزوتوپی H_2S $\delta^{34}\text{S}$ سیال در دماهای ۷۸ و ۲۸۳ درجه سانتی‌گراد در حال تعادل با میانگین PbS $\delta^{34}\text{S} = -9.2$ می‌باشد، بنابراین می‌توان چنین بیان کرد که بخشی از سولفات آب دریای تریاس در اثر فعالیت باکتریایی احیاء شده و گوگرد مورد نیاز کانه‌زایی در کانسار تیپ می‌سی‌سی‌پی گردنه شیر را تأمین نموده است. از یافته‌های زمین‌شناسی، پدیده دولومیتی شدن، استراتاباند بودن کانسار، عدم ارتباط با فعالیت آذرین، بافت پرکننده فضای خالی، ویژگی‌های کانی‌شناسی و کانه‌زایی نوع غنی بودن از سرب (Pb-Rich) و داده‌های مربوط به میانبارهای سیال و همچنین تغییرات مقادیر ایزوتوپی $\delta^{34}\text{S}$ گالن؛ چنین نتیجه‌گیری می‌شود که کانسار سرب و روی با سنگ میزبان کربناتی گردنه شیر نوعی کانسار تیپ دره می‌سی‌سی‌پی از زیرگونه میسوری می‌باشد.

۱۰- سپاسگزاری

از آقای مهندس باباخانی، دکتر مهرپترو و مهندس روحی از شرکت پیچاب کانسار به خاطر همکاری و مساعدتشان تشکر و قدردانی می‌شود. از خانم دکتر ابراهیمی به جهت یاری همیشگی سپاسگزاری می‌شود. از دانشگاه اتاوا نیز به خاطر آنالیز ایزوتوپی تشکر می‌شود.

References

- Bazargani-Guilani, K., Faramarzi, M. and Nekouvaght, Tak, M. A., 2010- Multistage dolomitization in the cretaceous carbonates of the east Shahmirzad area, north Semnan, central Alborz, Iran. *Carbonates Evaporites*, V. 25, p. 177–191.
- Bazargani-Guilani, K., Nekouvaght Tak, M. A. and Faramarzi, M., 2011- Pb–Zn deposits in Cretaceous carbonate host rocks, northeast Shahmirzad, central Alborz, Iran. *Aust. J. Earth Sci*, V. 58, p. 297–307.
- Bodnar, R.J., 1993- Revised equation and table for determining the freezing point depression of H₂O–NaCl solutions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 57(3): 683–684.
- Boni, M., Balassone, G. and Iannace, A., 1996- Base metal ores in the Lower Paleozoic of southwestern Sardinia. In: D.F. Sangster (Editor), *Carbonate-hosted Lead–Zinc Deposits*. Society of Economic Geologist Special Publication, Michigan 4, pp. 18–28.
- Calagari, A.A., 2003- Stable isotope (S, O, H and C) studies of the phyllic and potassic–phyllic alteration zones of the porphyry copper deposit at Sungun, East Azarbaijan, Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 21(7): 767–780.
- Corbella, M., Ayora, C. and Cardellach, E., 2004- Hydrothermal mixing, carbonate dissolution and sulfide precipitation in Mississippi Valleytype deposits. *Mineralium Deposita*, 39(3):344–357.
- Eldridge, C. S., Williams, N. and Walshe, J. L., 1993- Sulfur isotope variability in sedimenthosted massive sulfide deposits as determined using the ion microprobe shrimp shrimp: II. A study of the HYC deposit at McArthur River, Northern Territory, Australia. *Economic Geology*, 88(1): 1–26.
- Ghazban, F., McNutt, R. H. and Schwarcz, H. P., 1994- Genesis of sediment- hosted Zn–Pb–Ba deposits in the Irankuh district, Esfahan Area, West- Central Iran. *Economic Geology*, 89(6): 1262–1278.
- Hitzman, M. W., Reynolds, N. A., Sangster, D. F., Allen, C. R. and Carman, C. E., 2003- Classification, genesis, and exploration guides for nonsulfide zinc deposit, *Economic geology*, 98, 685–714.
- Hoefs, J., 2004- *Stable isotope geochemistry*. Springer Verlag, Berlin, 244 pp.
- Jazi, M. A. and Shahabpour, J., 2010- Mineralogical, Textural, Structural and Geochemical aspects of the of Nakhlak Lead mine, Isfahan. *Journal of Economic Geology*, 3(2): 131–151. (in Persian with English abstract).
- Jazi, M. A., Karimpour, M. H., Malekzadeh, A. and Rahimi, B., 2015- Stratigraphic, lithological and structural controls in placement of Nakhlak deposit (northeast of Esfahan). *Advanced Applied Geology*, 15(1): 59–75. (in Persian with English abstract) Kesler, S.E., 2005. *Ore-Forming Fluids*. *Elements*, 1(1): 13–18.
- Kesler, S. E., 1996- Appalachian Mississippi valley-type deposits: paleoaquifers and brine provinces. In: D.F. Sangster (Editor), *Carbonate-Hosted Lead–Zinc Deposits*. Society of Economic Geologist Special Publication, Michigan 4, pp. 29–57.
- Kesler, S. E., 2005- Ore-forming fluids. *Elements*, 1(1): 13–18.
- Kinsland, G. L., 1977- Formation temperature of fluorite in the Lockport dolomite in Upper New York State as indicated by fluid inclusion studies with a discussion of heat sources. *Economic Geology*, 72(5): 849–854.
- Koptagel, O., Ulusoy, U. and Efe, A., 2005- A study of sulphur isotopes in determining the genesis of Goynuk and Celaldagi Desandre Pb–Zn deposits, eastern Yahyali, Kayseri, Central Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 25(2): 279–289.
- Leach, D. L., Bradley, D. C., Huston, D., Pisarevsky, S. A., Taylor, R. D. and Gardolls, S. J., 2010- Sediment-hosted Lead-Zinc deposits in earth history, *Economic Geology* 195, 593–625.
- Liaghat, S., Moore, F. and Jami, M., 2000- The Kuh-e-Surmeh mineralization, a carbonate-hosted Zn–Pb deposit in the Simply Folded Belt of the Zagros Mountains, SW Iran. *Miner. Deposita*, V. 35, p. 72–78.
- Machel, H. G., 2001. Bacterial and thermochemical sulfate reduction in diagenetic setting. *Sedimentary Geology*, 140(1–2): 143– 175.
- Mikulski, S. Z., Krzemińska, E., Czupyt, Z. and Williams, I., 2015 — Sulfur isotope analysis of sulfide minerals – a remake done by SHRIMP IIe/MC. *Mineralogia, Spec. Pap.*, 44: 73.
- Mikulski, S. Z., 2017- Sulphur isotope measurements of sulphide minerals from the polymetallic ore deposits. *Biuletyn państwowego instytutu geologicznego* 464: 61–78.
- Momenzadeh, M., 1976- Stratabound lead-zinc ores in the lower Cretaceous and Jurassic sediments in the Malayar-Isfahan district (west central Iran). Ph.D. thesis. Univ. Heidelberg, 300 p.
- Ohmoto, H. and Rye, R. O., 1979- Isotopes of sulphur and carbon. In: H.L. Barnes (Editor), *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*. Wiley-Interscience, New York, pp. 509–567.
- Ohmoto, H., 1972- Systematics of sulfur and carbon isotopes in hydrothermal ore deposits. *Economic Geology*, 67(5):551–579.
- Pirajno, F., 2009- *Hydrothermal processes and mineral system*. Springer Science, New York, 1273 pp.
- Rajabi, A., Rastad, E., Canet, C. and Alfonso, P., 2015- The early Cambrian Chahmir shale-hosted Zn–Pb deposit, Central Iran: an example of vent-proximal SEDEX mineralization. *Miner. Deposita*, DOI 10.1007/s00126-014-0556-x.
- Rajabi, A., Rastad, E. & Canet, C., 2012a- Metallogeny of Cretaceous carbonate-hosted Zn–Pb deposits of Iran: geotectonic setting and data integration for future mineral exploration. *Int. Geol. Rev*, V. 54, No. 14, p. 1649–1672.
- Rajabi, A., Rastad, E., Alfonso, P. & Canet, C., 2012b- Geology, ore facies, and sulphur isotopes of the Koushk vent-proximal sedimentary-exhalative deposit, Posht-e-Badam Block, Central Iran. *Int. Geol. Rev*, V. 54, No. 14, p. 1635–1648.
- Roedder, E., 1984- Fluid inclusions. *Mineralogical Society of America, Review in mineralogy* 12: 644 pp.
- Rouxel, O., Shanks, W. C., Bach, W. and Edwards, K. J., 2008- Integrated Fe and S isotope study of seafloor hydrothermal vents at East Pacific Rise 9–10 N. *Chemical Geology*, 252(3–4): 214–227.
- Seal, R. R., 2006- Sulfur Isotope Geochemistry of Sulfide Minerals. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 61(1): 633–677.
- Shepherd, T. J., Ranbin, A. H. and Alderton, D. H. M., 1985- *A Practical Guide to Fluid Inclusion Studies*. Blackie, Glasgow, 239 pp.
- Valenza, K., Moritz, R., Mouttaqi, A., Fontignie, D. and Sharp, Z., 2000- Vein and karst barite deposits in the Western Jebilet of Morocco: fluid inclusion and isotope (S, O, Sr) evidence for regional fluid mixing related to central Atlantic Rifting. *Economic Geology*, 95(3): 587–606.
- Wilkinson, J. J., 2001- Fluid inclusion in hydrothermal ore deposites. *Lithos*, 55(1): 229– 272.

Mineralization, fluid inclusion and sulfur stable isotope studies in the Gardane-Shir Pb-Zn deposit, Ardestan, Isfahan province

F. Sabahi¹, M. Lotfi², P. Afzal^{3*}, and N. Nezafati⁴

¹Ph.D., Department of Geology, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

²Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran

³Associate Professor, Department of Petroleum and Mining Engineering, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran

⁴Assistant Professor, Department of Geology, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

Received: 2018 January 15

Accepted: 2018 January 22

Abstract

Gardane Shir carbonate-hosted Pb-Zn deposit on the ground of study area located southwest of Ardestan in Isfahan province. From a lithostratigraphy viewpoint, the main structure, besides the small outcrops of Jurassic shales, has been made up of carbonate and detrital rock materials depending on Paleozoic, Triassic and Cretaceous time stages. This sequence of geological rock units placed adjacent to Eocene volcano-sedimentary succession in the area. In special case, the Triassic system composed of dolomitic carbonate which in aspect of geology is attributed to Shotori Formation and played the major role of host rock in ore-mineralization at Gardane Shir area. It also showed a strongly brecciated zone of kinetic fracture features of low-pressure environment, favorable for moving the ore solutions into distributed fissures and subsequent production of fracture filling of vein-type mineralization. Ore-mineral description carried out on 40 sample polished thin sections obtained from the studied mineralized zone and its compilation with other laboratory data, caused the following ore-paragenesis in ascending order of: pyrite, chalcopyrite, galena, sphalerite (hypogene. phases), malachite, azurite, cerussite, smithsonite, iron oxides (supergene phases) and gangues of barite, quartz and calcite. Evaluation of ore-grade at Gardane Shir Pb-Zn deposit, based on chemical analyse indicates average values of Pb=4.35%, Zn=0.17%, Ag=20ppm in the form of galena, sphalerite, minor cerussite and smithsonite occurred along brecciated and silicified fractures mainly by NW-SE trending. Physico-chemical information of ore-solutions under chemical control, performed by entrapped fluid inclusion studies in gangue minerals. Through this way, liquid-rich two phase(L+V) inclusions as predominant types were recognized. These types of inclusions are homogenized into liquid state with a range of TH and related salinities between; TH :78 to 183 and 216 to 283°C, Salinity:3.5 to 9.7 and 10.2 to 25 wt% NaCl eq. The above microthermometric data reflect the nature of two population of fluid inclusions originating from different sources. The source materials could have been provided by basinal brines, derived during compaction of sediments in a shallow sea environment and then by upward movement into sediments, the stratabound dolomitized carbonate hosted Pb-Zn deposit are formed. Furthermore, the negative delta value ranges($\delta^{34}\text{S}$) from -0.6 ‰ to -20.4 ‰ that have been extracted by galena can be an evidence of bacterial sulfate reduction in a subsidence sedimentary basin. In conclusion, based on field, mineralogical, fluid inclusion and sulfur isotope evidence, we propose that Gardane Shir Pb-Zn deposit is a stratabound carbonate hosted of Mississippi Valley Type (MVT).

Keywords: Lead and zinc, Carbonate host rock; Fluid inclusions, Sulfur isotopes, MVT deposits, Gardane-Shir,

For Persian Version see pages 177 to 186

*Corresponding author: Peyman Afzal; E-mail: p_afzal@azad.ac.ir