تعیین شرایط فیزیکوشیمیایی سیال‌های کانسارساز با استفاده از مطالعات کانی‌شناسی و ریزدماسنجی میانبارهای سیال در کانسار Pb-Ba-Ag راونج، دلیجان، استان مرکزی

مصطفی نژادحداد [۱*]، بتول تقی‌پور [۲]، علیرضا زراسوندی [۳]، علیرضا کریم‌زاده سومرین [۴] و سمیه سلامب‌الهی [۱]

[۱] دانشجوی دکترا، گروه علوم زمین، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران
[۲] استادیار، گروه علوم زمین، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران
[۳] استاد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
[۴] استادیار، گروه علوم زمین، دانشکده علوم، دانشگاه براندون، مانیتوبا، کانادا

تاریخ دریافت: ۰۶/ ۰۸/ ۱۳۹۳ تاریخ پذیرش: ۲۰/ ۰۲/ ۱۳۹۴

چکیده

کانسار Pb-Ba-Ag راونج در ۲۰ کیلومتری شمال شهرستان دلیجان قرار دارد و سنگ میزبان آن سنگ‌های آهکی کرتاسه زیرین تاقدیس راونج هستند. از دید جغرافیایی تاقدیس راونج بخشی از کمان ماگمایی ارومیه- دختر در کمربند کوهزاد زاگرس است. کانه‌زایی در کمرپایین سنگ‌آهک توده‌ای، در مرز راندگی با سنگ‌های شیلی و شیلی- کربناتی رخ داده است. بافت‌های پرکننده میان برش‌ها، جانشینی سنگ میزبان و کانه‌زایی دانه‌پراکنده بافت‌های اصلی کانه‌دار هستند. کانی‌شناسی کانسار ساده و شامل گالن ریزدانه، باریت، مقادیر متغیری پیریت و مقادیر کمی اسفالریت، تتراهدریت و کالکوپیریت است. برخلاف پیریتی شدن شدید، مارکازیت در این کانسار یافت نشد. نبود مارکازیت نشان‌دهنده ته‌نشینی کانه‌ها از سیال با pH بالاتر از ۵ است. مطالعه ریزدماسنجی میانبارهای سیال روی کلسیت‌های پیش از مرحله اصلی کانه‌زایی(C2)، باریت مرحله اصلی و کلسیت پس از کانه‌زایی (C3) کانسار راونج انجام شد. میانگین دمای همگن‌شدگی میانبارهای سیال در کلسیت‌های پیش از کانه‌زایی ۱۶۵، در کلیست‌های پس از کانه‌زایی مرحله اصلی ۱۶۰ و در باریت ۱۷۵ درجه سانتی‌گراد است که تقریباً مساوی هستند اما مقدار شوری این میانبارها از کمتر از یک تا بیش از wt% ۱۸معادل نمک طعام تغییر می‌کند. سیلیسی شدن سنگ میزبان در کانسار راونج محدود است که نشان‌دهنده تغییرات کم دمای سیال در ضمن کانه‌زایی است. تغییرات زیاد در شوری میانبارهای سیال و ته‌نشینی همزمان باریت و گالن ریزبلور شواهد آمیختگی دو سیال با ویژگی‌های زمین‌شیمیایی متفاوت هستند. یکی از این دو سیال دارای شوری پایین (میانگین wt% NaCl ۵/۶) و CO_2 و غنی از گوگرد است. در دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد مقدار pH خنثی حدود ۵/۸ است. بنابراین ته‌نشینی سولفیدها از سیال‌هایی با pH میان ۵ تا ۶ رخ داده است. سیال CO_2دار با شوری پایین، موجب بافر شدن محیط می‌شود. سیال دوم با شوری بالا (میانگین wt%NaCl ۱۵/۷) در محدوده دما و شوری سیال‌های سازنده کانسارهای MVT قرار می‌گیرد. این سیال احتمالاً اکسایشی و غنی از فلزات بوده است.

کلیدواژه‌ها: کانسار Pb-Ba-Ag راونج، سنگ‌آهک توده‌ای کرتاسه زیرین، میانبارهای سیال، تغییرات گسترده شوری، آمیختگی سیال.

***نویسنده مسئول:** مصطفی نژادحداد
E-mail: nejadhadad_geo86@yahoo.com

۱- پیش‌نوشتار

مطالعات دماسنجی پرکاربردترین و شناخته‌شده‌ترین روش تجزیه غیر مخرب میانبارهای سیال است. اندازه‌گیری دمای همگن‌شدگی و شوری میانبارهای سیال روش مفیدی برای اثبات حضور دو سیال، تعیین مقدار آمیختگی میان دو سیال و تغییرات شوری یا دمای سیال در هنگام کانه‌زایی است (Wilkinson, 2001). با توجه به اینکه کانسارهای MVT ،کانه‌ها (مانند اسفالریت) و کانی‌های باطله (مانند کلسیت، دولومیت و کوارتز) مناسبی برای این نوع مطالعات دارند، ویژگی‌های سیال‌های سازنده آنها به خوبی شناخته شده است. دمای سیال‌های کانه‌زا در کانسارهای MVT از ۵۰ تا ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد متغیر است ولی بیشتر آنها در محدوده ۹۰ تا ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار می‌گیرند و شوری آنها میان ۱۰ تا ۳۰ درصد وزنی معادل نمک طعام است (Leach et al., 2005). این سیال‌ها از دید دما، شوری و ترکیب عناصر اصلی مشابه شورابه‌های حوضه‌ای هستند(Kharaka & Hanor, 2007). در این کانسارها آمیختگی سیال به عنوان سازوکار اصلی ته‌نشینی ماده معدنی مطرح است. آمیختگی یک سیال گرم با شوری بالا و غنی از فلز با یک سیال با شوری کمتر و غنی از گوگرد کاهیده یا سولفات موجب کانه‌زایی سولفیدهای سرب و روی در سنگ‌های کربناتی می‌شود. انحلال سنگ میزبان و تشکیل برش‌های گرمابی همراه با کانه‌زایی به‌طور گسترده‌ای در این کانسارها گزارش شده است (Corbella et al., 2004). دولومیتی شدن و سیلیسی شدن سنگ میزبان، دگرسانی‌های اصلی پیش از کانه‌زایی، در ضمن کانه‌زایی یا کمی پس از آن و در ارتباط با آمیختگی سیال‌های هستند (Plumlee et al., 1994).

کانسار Pb-Ba-Ag راونج در ۲۰ کیلومتری شمال شهرستان دلیجان و ۳ کیلومتری روستای راونج قرار دارد. تا کنون ۷ توده معدنی عدسی‌شکل (به ترتیب حجم ذخیره شامل توده‌های D، Bn، Bw، Bs، A، Cn و Cs) در این کانسار شناخته شده است. در کانسارهای سرب و روی با سنگ میزبان کربناتی مطالعات میانبارهای سیال در شناخت سازوکار کانه‌زایی اهمیت فراوانی دارند. هدف این مقاله بررسی کانی‌شناسی کانسار راونج و تعیین ویژگی های سیال‌های کانه‌زا در کانسار سرب، باریم و نقره راونج است.

۲- زمین‌شناسی

کانسار راونج بخشی از کمان ماگمایی ارومیه- دختر است و در کمربند کوهزاد زاگرس قرار دارد (Alavi, 1994). این کانسار در مقیاس بزرگ‌تر در تاقدیس راونج قرار گرفته است. کانه‌زایی در سنگ‌های کربناتی کرتاسه زیرین در دو یال این تاقدیس رخنمون دارند. پنجره فرسایشی این تاقدیس موجب برونزد سنگ‌های با سن ژوراسیک تا میوسن زیرین شده است که همه آنها توسط استوک‌ها و دایک‌های مرتبط با آنها قطع شده‌اند. هسته تاقدیس شامل شیل با میان‌لایه‌های ماسه‌سنگی ژوراسیک است. این شیل‌ها معادل سازند شمشک در دیگر نقاط ایران هستند (Emami, 1991 & 1996). کنگلومرا و ماسه‌سنگ‌های پیشرونده کرتاسه زیرین به‌طور دگرشیب روی لایه‌های شیلی قرار دارند. بالاترین بخش این آواری‌ها، دولومیت ماسه‌ای نازک‌لایه‌ای با رنگ کرم است. ستبرای مجموع دولومیت ماسه‌دار

و آواری‌ها حدود ۵۰ متر است (مدبری، ۱۳۷۴). روی این واحد، سنگ‌آهک‌های نازک‌لایه با میان‌لایه‌هایی از شیل قرار دارد. به سوی بالای توالی، به مقدار شیل افزوده می‌شود؛ به گونه‌ای که این لایه‌ها به شیل با میان‌لایه‌های آهکی تبدیل می‌شوند. این شیل‌ها توسط سنگ‌آهک متوسط تا ستبرلایه پوشیده می‌شوند. پس از آن به مقدار شیل دوباره افزوده می‌شود؛ به گونه‌ای که شیل‌ها بیشتر سنگ را تشکیل می‌دهند. مجموع ستبرای لایه‌های شیلی- آهکی حدود ۲۵۰ متر است. کانه‌زایی سرب و باریت به میزان کم همراه با توالی شیل- کربناتی گزارش شده است ولی ارزش اقتصادی ندارد. واحد شیلی- آهکی توسط سنگ‌آهک توده‌ای رودیست‌دار به ستبرای ۱۳۰ متر پوشیده می‌شود. کانه‌زایی اقتصادی در کمر پایین سنگ‌آهک توده‌ای رودیست‌دار رخ داده است. کانه‌زایی در بخش‌هایی از این سنگ‌آهک که روی دیگر واحدهای شیلی رانده شده، رخ داده است. روی واحد سنگ‌آهک توده‌ای، سنگ‌آهک اوربیتولین‌دار نازک‌لایه‌ای به سن آپتین وجود دارد. آخرین واحد مربوط به کرتاسه زیرین در تاقدیس راونج لایه‌های شیلی با میان‌لایه‌های آهکی معروف به شیل بالایی است (Emami, 1991). سن این شیل‌ها آلبین است (Emami, 1996). در تاقدیس راونج چینه‌های کرتاسه میانی و بالایی رخنمون ندارند (Emami, 1996) و سنگ‌های ائوسن تاقدیس، کنگلومرا، ماسه‌سنگ، توف، شیل و سنگ‌های آتشفشانی هستند که سنگ‌های کرتاسه زیرین را با دگرشیبی می‌پوشانند. سازندهای سرخ زیرین شامل لایه‌های تبخیری و ماسه‌سنگ، چینه‌های الیگوسن و سازند قم شامل مارن و آهک، چینه‌های میوسن زیرین منطقه هستند (Emami, 1996). استوک‌های گرانودیوریتی و دایک‌های مرتبط با آنها همه واحدهای پیشین را قطع می‌کنند بنابراین سن آنها پس از میوسن زیرین است. دایک‌های مورد نظر درون گسل‌هایی با روند NW-SE تزریق شده‌اند و بیشتر توده‌های معدنی را قطع می‌کنند. بنابراین این دایک‌ها بدون ارتباط با کانه‌زایی و پس از آن تزریق شده‌اند (نژادحداد و همکاران، ۱۳۹۲).

۳- کانه‌زایی و کانی‌شناسی

در کانسار راونج کانه‌زایی سرب- باریم و نقره در مرزهای راندگی میان واحد سنگ‌آهک توده‌ای و لایه‌های شیلی- آهکی رخ داده است. توده‌های معدنی چینه‌کران و به شکل عدسی‌های همشیب تا نیمه‌همشیب در سنگ‌آهک توده‌ای قرار دارند (نژادحداد و همکاران، ۱۳۹۲). اگر چه مقدار کمی کانه‌زایی بدون ارزش استخراج، جانشین سنگ‌آهک‌های نازک‌لایه با میان‌لایه‌های شیلی شده است. از بخش پایین توده‌های معدنی به سوی بالا، عیار ماده معدنی کم می‌شود که احتمالاً به دلیل بیشتر بودن میزان خردشدگی در کمر پایین و حرکت آسان‌تر سیال‌های کانه‌دار است. بافت‌های اصلی کانسار بیشتر پرکننده فضای خالی میان برش‌ها، شکستگی‌ها و جانشینی سنگ میزبان است (شکل ۲- الف). بلورهای پراکنده در متن سنگ اهمیت کمتری دارند. ماده معدنی از دید کانی‌شناسی ساده و شامل کانه‌های اولیه گالن، پیریت، اسفالریت، تتراهدریت و کالکوپیریت و کانی‌های غیر سولفیدی باریت، کلسیت، دولومیت، کوارتز و مواد آلی بیتومینه هستند. طی فرایند هوازدگی سطحی مقادیر متفاوتی از کانی‌های برونزاد مانند سروزیت، اکسیدهای آهن، کوولیت، مالاکیت و آزوریت تشکیل شده‌اند.

در کانسار راونج گالن کانه اصلی است و در سه مرحله اولیه، مرحله اصلی و تأخیری تەنشین شده است. دانه‌های پراکنده گالن مرحله اولیه و مرحله اصلی کانه‌زایی به‌صورت بلورهای بی‌شکل ریزدانه به ابعاد کمتر از ۰/۱ میلی‌متر تا بیشینه ۰/۶ میلی‌متر هستند. بلورهای پر کننده حفرات که در مرحله آخر تشکیل شده‌اند اندازه بزرگ‌تری دارند و تا ۵ میلی‌متر هستند. چهار نسل متفاوت پیریت در کانسار راونج شناسایی شد. این پیریت‌ها به ترتیب زمان تشکیل، پیریت‌های گرد ریزدانه (پیریت‌های خوشه انگوری؛ framboildal pyrite)، پیریت‌های قلوه‌ای (colloform pyrite)، پیریت‌های دانه‌ای و رگچه‌ای مرحله اصلی کانه‌زایی و پیریت‌های تأخیری هستند. پیریت‌های خوشه انگوری، ریزدانه هستند و بیشتر به‌صورت میانبار درون گالن‌ها دیده می‌شوند. این پیریت‌ها بیشتر در بخش‌های غنی از مواد آلی سنگ حضور دارند و احتمالاً در نتیجه فعالیت‌های باکتریایی تشکیل شده‌اند (Mavrogenes et al., 1992). برخلاف اندازه بسیار ریز پیریت‌های خوشه انگوری، پیریت‌های قلوه‌ای بسیار درشت هستند و گاه تا بیش از ۲ سانتی‌متر می‌رسند. پیریت‌های قلوه‌ای در نتیجه رشد سریع از یک سیال فوق اشباع از گوگرد کاهیده تەنشین شده‌اند. با وجود گستردگی پیریت‌زایی در کانسار راونج، هیچ گونه مارکازیتی دیده نشده است. عدم حضور مارکازیت نشان‌دهنده تەنشینی از سیال با pH بالاتر از ۵ است (Stanton & Goldhaber, 1991). فراوانی اسفالریت در کانسار راونج بسیار کم است. نسبت Zn/Pb در کانسار راونج همانند کانسارهای غنی از سرب جنوب خاور میسوری است. از دید پاراژنزی اسفالریت پیش از گالن تەنشین شده است و بیشتر به‌صورت میانبارهایی درون گالن دیده می‌شود (شکل ۲- د). کلسیتی شدن در کانسار راونج گسترده و در ۳ مرحله ناپیوسته رخ داده است. در مرحله اول اسپاریتی شدن سنگ به خرج میکریت‌ها بوده است. پیریت‌های قلوه‌ای کلسیت‌های اسپاری را در خود هضم کرده‌اند ولی توسط کلسیت‌های مرحله دوم قطع شده‌اند. اندازه این کلسیت‌ها تا بیش از یک سانتی‌متر است. به نظر می‌رسد که این کلسیت‌ها پیش از مرحله اصلی کانه‌زایی هستند چون شواهدی از انحلال دوباره و خوردگی اسیدی ناشی از مرحله اصلی کانه‌زایی و جانشینی توسط گالن را نشان می‌دهند (شکل ۲- ب). کلسیت‌های تأخیری پرکننده حفرات انحلالی همراه با مقادیر کمی پیریت و گالن درشت‌بلور، فاز پایانی کلسیتی شدن است. اگر چه مقدار کمی باریت پیش از سولفیدها تەنشین شده ولی بیشترین مقدار آن همزمان با گالن مرحله اصلی به شکل پرکننده فضای برش است. دولومیت دانه شکری و زین اسبی همراه با ماده معدنی و پس از آن به مقدار کم تشکیل شده‌اند. سیلیسی شدن سنگ میزبان در کانسار راونج بسیار کم است. مقادیر کمی سیلیس همراه با کانه‌های سولفیدی و بیتومین در مراحل پایانی تەنشین شده است. سیلیسی شدن سنگ میزبان در کانسارهای سرب و روی با سنگ میزبان کربناتی به تغییرات دمای سیال کانه‌دار وابسته است (Rowan & Leach, 1989).

۴- روش پژوهش

برای تعیین توالی پاراژنزی کانیایی کانسار راونج نمونه‌هایی از ساخت و بافت‌های مختلف حفرات معدن روباز در بلوک‌های Cs، Cn، Bw و A، تونل‌های بلوک A، Bs و همچنین گمانه‌های حفاری بلوک Cs برداشته شد. از این نمونه‌ها ۶۷ مقطع نازک و صیقلی تهیه شد که شامل ۲۷ مقطع نازک و ۴۰ مقطع صیقلی است. به منظور تعیین شوری و دمای تشکیل سیال‌های کانه‌زا مطالعات ریزدماسنجی روی صد و یک میانبار سیال در ۴ مقطع دوبر صیقلی و ۱۰۱ میانبار سیال انجام شد. اندازه‌گیری روی میانبارهای به دام افتاده در کلسیت‌های مرحله پیش از کانه‌زایی اصلی (C2)، باریت همراه با مرحله اصلی کانه‌زایی و کلسیت پس از کانه‌زایی (C3) انجام گرفت. این اندازه‌گیری‌ها در دانشگاه لرستان با استفاده از صفحه گرمایشی-سرمایشی مدل Linkam THMS600 که در محدوده دمایی ۱۹۶- تا ۶۰۰+ درجه سانتی‌گراد توانایی فعالیت دارد انجام شد. دقت این اندازه‌گیری‌ها برای دمای همگن‌شدگی و دمای ذوب آخرین قطعه یخ به ترتیب °C ۰/۱ ± و °C ۰/۲ ± بوده است.

۵- نتایج

نمونه‌هایی از باریت و کلسیت توده‌های معدنی A و Cs برای مطالعه میانبارهای سیال انتخاب شدند. این نمونه‌ها شامل کلسیت مرحله دوم (C2)، کلسیت مرحله سوم (C3) و باریت‌های همزمان با کانه‌زایی مرحله اصلی هستند. کلسیت‌های مرحله دوم که

شواهدی از خوردگی اسیدی، انحلال دوباره و جانشینی ماده معدنی را نشان می‌دهند، پیش از گالن مرحله اصلی کانسار تشکیل شده‌اند. کلسیت مرحله سوم حفرات انحلالی و فضای باقیمانده میان برش‌ها را در مراحل پایانی پر می‌کند و به شکل مشخصی پس از کانه‌زایی تشکیل شده است. این کلسیت‌ها در ارتباط با سیال‌های کانه‌زا هستند زیرا همراه با آنها دانه‌های پراکنده گالن درشت‌بلور دیده می‌شود.

مقاطع دوبرصیقلی به روش Shepherd et al. (1985) تهیه شدند و بیشترین ستبرای آنها حدود ۱۰۰ میکرومتر بود. ۳ گروه میانبار سیال شامل میانبارهای تک‌فازی مایع (L)، دوفازی غنی از فاز مایع (L1+V) و سه‌فازی دارای دو فاز مایع و یک فاز بخار (L1+L2+V) در نمونه‌ها شناسایی شد (شکل ۴). میانبارهای دوفازی غنی از فاز مایع (L1+V) فراوان‌ترین میانبارهای سیال هستند. نسبت پرشدگی این میانبارها (نسبت مایع به گاز) میان ۷۵ تا ۹۰ درصد است. اندازه آنها از ۲ تا ۲۵ میکرومتر متغیر است ولی بیشتر از ۴ تا ۱۵ میکرومتر هستند. میانبارهای تک‌فازی مایع حدود ۱۰ درصد مجموع میانبارها را شامل می‌شوند و بیشتر ثانویه هستند. معیار اولیه یا ثانویه بودن میانبارها بر پایه Roedder (1984) است. میانبارهای سه‌فازی اولیه هستند و کمتر از ۱۰ درصد از میانبارها را شامل می‌شوند. این میانبارها غنی از مایع هستند و درجه پرشدگی آنها حدود ۸۰ درصد است. مطالعات ریزدماسنجی روی میانبارهای دوفازی و سه‌فازی انجام شد. نتایج این مطالعات در جدول ۱ نشان داده شده‌اند. همه میانبارها به فاز مایع همگن شده‌اند. دمای ذوب اولین بلور یخ (Te) برای میانبارهای دوفازی از ۵۹/۸- تا ۳۷/۲- درجه سانتی‌گراد متغیر است که نشان‌دهنده حضور فاز $CaCl_2$ همراه با NaCl در این میانبارها است (Roedder, 1984; Goldstein & Reynolds, 1994). دمای ذوب آخرین بلور یخ (Tm, ice) در کلسیت‌های C2 از ۳/۲- تا ۱۳/۸- درجه سانتی‌گراد (معادل ۵/۲ تا ۱۷/۶ درصد وزنی نمک طعام) و دمای پایانی همگن‌شدگی فاز بخار (Th) آنها از ۱۲۳ تا ۲۰۵ درجه سانتی‌گراد است. دمای ذوب آخرین بلور یخ (Tm, ice) اندازه‌گیری شده در کانی باریت ۲/۲- تا ۱۱/۹- درجه سانتی‌گراد (معادل ۳/۶ تا ۱۵/۹ درصد وزنی نمک طعام) و دمای همگن‌شدگی بخار (Th) آنها از ۱۴۱ تا ۲۰۸ درجه سانتی‌گراد است. در کلسیت‌های پس از کانه‌زایی (C3) دمای پایانی ذوب یخ (Tm, ice) از ۰/۴- تا ۱۳/۵- درجه سانتی‌گراد (معادل ۰/۶۶تا ۱۷/۲ درصد وزنی نمک طعام) و یک داده خارج از معیار ۱۹/۸- درجه سانتی‌گراد و دمای همگن‌شدگی فاز بخار (Th) از ۱۲۲ تا ۲۲۰/۴ درجه سانتی‌گراد متغیر است. دمای ذوب اولین بلور یخ (Tm, carb) در میانبارهای سه‌فازی (L1+L2+V) از ۵۶/۷- تا ۵۸/۱- درجه سانتی‌گراد در هر دو نوع کلسیت همانند است. با توجه به دمای ذوب اولین بلور یخ، این میانبارها غنی از CO_2 هستند و مقدار CH_4 و N_2 این میانبارها کمتر از ۱۰ درصد است (Goldstein & Reynolds, 1994). دمای ذوب کلاتریت (Tmclat.) این میانبارها از ۴/۲ تا ۷/۳ درجه سانتی‌گراد برای کلسیت‌های نسل دوم (برابر ۵/۲ تا ۱۰/۲ درصد وزنی نمک طعام) و از ۱/۹ تا ۶/۳ درجه سانتی‌گراد برای کلسیت‌های نسل سوم (برابر ۶/۹ تا ۱۳/۲ درصد وزنی نمک طعام) متغیر است. شوری این میانبارها از کم تا متوسط است.

۶- بحث

در کانسارهای MVT بسیاری از کلسیت‌ها پس از ته‌نشینی ماده معدنی و توسط سیال‌هایی با دما و شوری کمتر ته‌نشین می‌شوند. با این وجود برخی از کلسیت‌ها ممکن است خواص دمایی و شوری همانند با سیال‌های کانه‌زا داشته باشند. برای نمونه Roedder (1977) در مطالعات ریزدماسنجی کلسیت‌های تأخیری در منطقه ویبرنوم‌ترند (Viburnum Trend) در جنوب خاور میسوری متوجه شد که این کلسیت‌ها از سیال‌هایی با دما و شوری کمتر از اسفالریت‌ها ته‌نشین شده‌اند. با این وجود کلسیت‌های پرکننده حفرات در دولومیت بونه‌تری (Bonneterre dolomite) کمربند سرب کهن (Old Lead Belt) که با اسفالریت به شکل نواری ته‌نشین شده‌اند، دما و شوری همانند با سیال‌های سازنده اسفالریت دارند. همچنین بیشتر کلسیت‌های کانسارهای ایرلندی از دید دما و شوری همانند اسفالریت‌ها و دولومیت‌ها هستند (Wilkinson, 2010).

با توجه به ضعف ذاتی کلسیت‌ها و باریت‌ها، این امکان وجود دارد که میانبارهای به دام افتاده در این کانی‌ها دچار تعادل دوباره شوند. در این شرایط میانبارهای سیال به دام افتاده ممکن است در دماهای بسیار بالا نیز همگن نشوند. مثلاً در کانسارهای دیرزاد (Epigenetic) باریت- سرب و روی کمربند راندگی آپالاچین در کبک (Appalachian thrust belt, Quebec) دمای همگن‌شدگی میانبارهای کلسیت تا بیش از ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد است ولی کوارتزها و اسفالریت‌های همزمان دمای حدود ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد دارند (William-Jones et al., 1992). در این زمینه نمودار دمای همگن‌شدگی در برابر اندازه میانبار برای تفکیک میانبارهایی که احتمالاً دچار تعادل دوباره شده‌اند توسط Bodnar et al. (1989) پیشنهاد شده است. همبستگی مثبت میان دمای همگن‌شدگی و اندازه میانبارها نشانه تعادل دوباره طی فرایندهای بعدی است. در کانسار راونج اندازه میانبارهای سیال به دام افتاده در باریت‌ها همبستگی مثبت با دمای همگن‌شدگی نشان می‌دهند ($r = ۰/۷$). با این وجود محدوده دمایی و میانگین دمای همگن‌شدگی این میانبارها (۱۷۵ درجه سانتی‌گراد) تقریباً همانند میانبارهای درون کلسیت‌ها (به ترتیب در کلسیت‌های پیش از کانه‌زایی و پس از کانه‌زایی ۱۶۵ و ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد) است. دمای همگن‌شدگی میانبارهای سیال کانسار راونج از ۱۲۲ تا ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد متغیر است ولی بیشتر آنها در محدوده ۱۴۰ تا ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار دارند. دمای میانگین این میانبارها ۱۶۵ درجه سانتی‌گراد است. میانگین و مد دمای همگن‌شدگی این میانبارها در کلسیت‌های پیش از کانه‌زایی تقریباً برابر با کلسیت‌های پس کانه‌زایی است (به ترتیب ۱۶۵ و ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد)، ولی میانگین دمای میانبارهای باریت کمی بالاتر (۱۷۵ درجه سانتی‌گراد) است که شاید به دلیل تعادل دوباره جزیی (۱۰+ درجه سانتی‌گراد) در آنها باشد؟ (شکل ۶).

بنابراین بر پایه مطالعات میانبارهای سیال، تغییرات دمای سیال کانه‌زا در هنگام کانه‌زایی کم بوده است. تغییرات کم دما در سیال کانه‌دار با ته‌نشینی و جانشینی کم سیلیس در سنگ‌آهک مطابق است. در مدل شوراب حوضه‌ای که برای کانسارهای سرب و روی رسوبی با سنگ میزبان کربناتی ارائه شده است، سیال نسبت به اجزای سنگ میزبان فوق اشباع است (Sverjensky, 1984). شیل‌های ژوراسیک و چینه‌های آهکی- شیلی کرتاسه زیرین تاقدیس راونج دارای اجزای سیلیسی و سیلیکاتی هستند. بنابراین این سیال‌ها نسبت به سیلیس فوق اشباع هستند. کاهش دمای این سیال‌ها به میزان ۱۰ درجه سانتی‌گراد سبب ته‌نشینی $۴/۸\times۱۰^{-۵}$ مول کوارتز به ازای هر کیلوگرم سیال می‌شود که تقریباً مساوی یا بیشتر از محتوای گالن ته‌نشین شده در این شرایط است (Rowan & Leach, 1989).

بر خلاف تغییرات کم دمای کانه‌زایی، تغییرات شوری میانبارها برای همه نمونه‌ها زیاد است. شوری میانبارهای سیال اندازه‌گیری شده از ۰/۶۶ تا ۱۸ wt % معادل وزنی نمک طعام (یک نمونه خارج از معیار ٪۲۲/۲) متغیر و مقدار میانگین آن ۸/۴ wt% NaCl equivalent است. این محدوده وسیع تغییرات شوری میانبارهای سیال را می‌توان با پدیده آمیختگی دو سیال با شوری متفاوت توجیه کرد. این میانبارها قابل تقسیم به دو گروه با شوری کم (۰/۶۶ تا ۸ درصد وزنی نمک) و شوری بالا (۱۴ تا ۱۸ درصد وزنی نمک) هستند. بیشتر میانبارهای با شوری کم، شوری نزدیک به محدوده آب دریا دارند (به‌جز ۴ نمونه با شوری کمتر از یک) و میانگین شوری آنها (۵/۶ wt % NaCl equivalent) کمی بالاتر از شوری آب دریاست. سیال دوم از دید شوری و دما در محدوده سیال‌های حوضه‌ای است. این دو گروه به وسیله یک گروه با شوری متوسط که ضمن آمیختگی حاصل شده‌اند به یکدیگر متصل می‌شوند. چگالی سیال اول کمتر از $1\ g/cm^3$ و چگالی سیال دوم بیشتر از $1\ g/cm^3$ است. بیشتر

میانبارهای به دام افتاده در کلسیت‌های پیش از کانه‌زایی از نوع سیال با شوری بالا هستند. در برابر آن بیشتر میانبارهای به دام افتاده در کلسیت‌های پس از کانه‌زایی شوری کم دارند و از نوع سیال اول هستند. درصد متفاوت آمیختگی میان دو سیال در کلسیت‌های پیش کانه‌زایی و پس از کانه‌زایی موجب ته‌نشینی سولفید یا انحلال کلسیت می‌شود (Corbella et al., 2004).

حضور میانبارهای سه‌فازی CO_2دار، با شوری کم تا متوسط و دمای همگن‌شدگی مساوی با دمای همگن‌شدگی میانبارهای دوفازی، نبود هیچ گونه روند خطی در کاهش دما و افزایش شوری، عدم حضور میانبارهای تک‌فازی گاز یا میانبارهای دو فازی غنی از فاز گازی که به گاز همگن می‌شوند؛ همگی شواهدی از عدم جوشش یا خروج گاز CO_2 از سیال (CO_2 effervescence) هستند (Shepherd et al., 1985). خروج CO_2 از سیال موجب بالا رفتن pH سیال و ته‌نشینی فاز کربناتی همراه با مقادیر کمی سولفید در شورابه‌های حوضه‌ای می‌شود (Plumlee et al., 1994). میانگین شوری میانبارهای دارای CO_2 در کلسیت‌های مرحله پیش از کانه‌زایی (۵/۷ wt % NaCl) کمتر از میانگین شوری میانبارهای CO_2دار کلسیت‌های پس از کانه‌زایی (۱۰/۲ wt % NaCl) است ولی با میانگین سیال‌های دوفازی با شوری کم (۵/۶ wt % NaCl) مساوی است. بر این اساس سیال با شوری کمتر، غنی از CO_2 بوده است. آمیختگی این سیال با سیال شور موجب تشکیل میانبارهای CO_2دار با شوری متوسط شده است. در کانسار راونج ته‌نشینی کلسیت پس از کانه‌زایی (C3) با گالن مرحله تأخیری همزمان است. این پدیده در کانسارهای سرب و روی با سنگ میزبان کربناتی بسیار کمیاب است و تنها زمانی رخ می‌دهد که بالا رفتن فعالیت CO_3^{2-} موجب افزایش pH سیال شود (Sverjensky, 1981).

مارکازیت در pH<5 و دمای کمتر از ۲۴۰ درجه سانتی‌گراد ته‌نشین می‌شود (Marie & Kesler, 2000). عدم حضور مارکازیت در کانسار راونج نشانه ته‌نشینی کانی‌های سولفیدی از سیال‌های با pH بالاتر از ۵ است. از سوی دیگر انحلال کربنات در pH کمتر از حد خنثی رخ می‌دهد (Gomez-Fernandez et al., 2000). شواهد کانی‌شناسی نشان‌دهنده انحلال و خوردگی اسیدی کلسیت در مرحله اصلی کانه‌زایی است. بنابراین سیال‌های کانه‌زا در این مرحله pH اسیدی ولی بالاتر از ۵ داشته‌اند. در دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد، pH خنثی حدود ۵/۸ است. بنابراین ته‌نشینی کانی‌های سولفیدی مرحله اصلی کانه‌زایی و انحلال کلسیت در pH میان ۵ تا کمتر از ۶ رخ داده است.

مقادیر بالای سرب و روی در شورابه‌های نفتی تنها در غلظت‌های کم H_2S (در حد ugL-1)، توسط کمپلکس های کلریدی قابل حمل هستند (Hanor, 1996). این سیال‌ها نسبت به گالن و اسفالریت تقریباً اشباع هستند (Giordano, 2000). امکان ته‌نشینی سولفیدها از راه رقیق‌شدگی سیال و در نتیجه کاهش فعالیت کلرید وجود دارد (Anderson, 1975)؛ ولی در این کانسارها رقیق‌شدگی از شوری بیشتر به کمتر تنها در pH کمتر از ۴/۵ توانایی ته‌نشینی سولفیدها را دارد (Rowan & Leach, 1989). بنابراین پدیده رقیق‌شدگی سیال به تنهایی توانایی ته‌نشینی گالن در کانسار راونج را نداشته است. در کانسار راونج، باریت و گالن همزمان با یکدیگر ته‌نشین شده‌اند. شرایط انحلال و ته‌نشینی گالن و باریت در سیال‌های گرمابی با یکدیگر متفاوت است. ته‌نشینی گالن به وسیله مقدار H_2S سیال کنترل می‌شود. افزایش مقدار گوگرد کاهیده در سیال، بدون افزایش pH سبب ته‌نشینی گالن می‌شود (Kharaka & Hanor, 2007). مقدار باریم محلول در سیال وابسته به مقدار سولفات محلول است و با ته‌نشینی باریت کنترل می‌شود (Hanor, 2000). ته‌نشینی همزمان باریت و گالن در کانسار راونج و حضور دو نوع میانبار با شوری متفاوت ولی دمای همگن‌شدگی مشابه، نشانه آمیختگی هم‌دمای (Isothermal mixing) دو سیال است. این دو سیال دمای یکسان ولی شوری و محتوای فلز و گوگرد متفاوت داشته‌اند. یکی از این دو سیال احتمالاً شوری بالا (میانگین wt% NaC ۱۵/۷)، فلز و Eh اکسایشی داشته است. سیال دوم با شوری کمتر (۵/۶ wt % NaCl)، غنی از CO_2 و احتمالاً کاهشی بوده است. این سیال در شرایطی که Eh آن از بافر هماتیت- مگنتیت کمتر باشد دارای گوگرد کاهیده بوده است (Philips & Evans, 2004). باریت ضمن آمیختگی سیال باریم‌دار با سیال غنی از سولفات یا اکسایش سیال غنی از گوگرد ته‌نشین می‌شود (Hanor, 2000). بنابراین ته‌نشینی همزمان باریت و گالن ضمن آمیختگی دو سیال با شوری، Eh و محتوای گوگرد و فلز متفاوت امکان‌پذیر است.

۷- نتیجه‌گیری

کانسار Pb-Ba-Ag راونج دارای سنگ میزبان کربناتی است و در ایران مرکزی جای دارد. توده‌های معدنی همشیب تا نیمه‌همشیب در کمر پایین سنگ‌آهک توده‌ای روی سطوح راندگی با سنگ‌های شیلی قرار گرفته‌اند.

ماده معدنی دیرزاد و شامل گالن ریزبلور، باریت، پیریت، مقدار کمی اسفالریت، تتراهدریت و کالکوپیریت است. مقدار اسفالریت در این کانسار بسیار کم و نسبت Zn/Pb و توالی پاراژنزی کانسار همانند کانسارهای غنی از سرب جنوب خاور میسوری با سنگ میزبان کربناتی است. با این وجود، فراوانی باریت و کم بودن دولومیتی شدن سنگ میزبان در کانسار راونج از تفاوت‌های اصلی دو کانسار است. همچنین هر دو کانسار یک سازند ماسه‌سنگی در افق پایه دارند (Sverjensky, 1984).

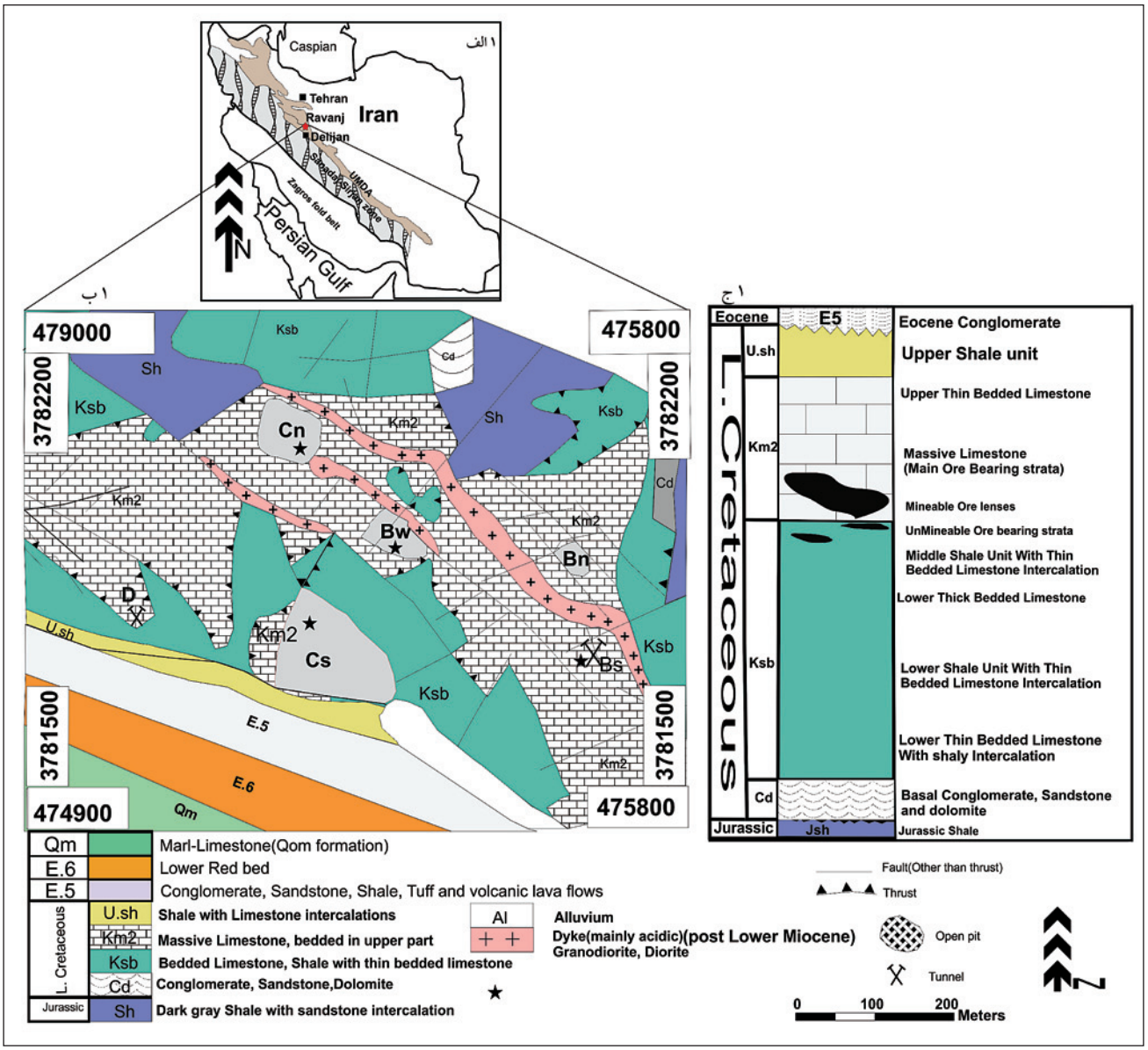
دمای همگن‌شدگی میانبارهای درون کلسیت‌های پیش از کانه‌زایی، پس از کانه‌زایی و باریت تقریباً مشابه (به ترتیب ۱۶۵، ۱۶۰ و ۱۷۵ درجه سانتی‌گراد)، ولی تغییرات شوری آنها زیاد (۱> تا < ۱۸ درصد وزنی معادل نمک طعام) است. کم بودن کاهش دمای سیال طی کانه‌زایی با ته‌نشینی کم سیلیس همخوانی دارد (Rowan & Leach, 1989) و تغییرات زیاد شوری سیال نشان‌دهنده آمیختگی سیال فلزدار و سیال با شوری کمتر است.

پیریتی شدن در کانسار راونج زیاد است ولی هیچ گونه مارکازیتی در این کانسار شناسایی نشد. نبود مارکازیت نشان‌دهنده ته‌نشینی کانه‌ها از سیال با pH بالاتر از ۵ است (Marie & Kesler, 2000). در دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد مقدار pH خنثی حدود ۵/۸ است. بنابراین ته‌نشینی سولفیدها از سیال‌هایی با pH میان ۵ تا ۶ رخ داده است. سیال CO_2دار با شوری پایین، موجب بافر شدن محیط می‌شود.

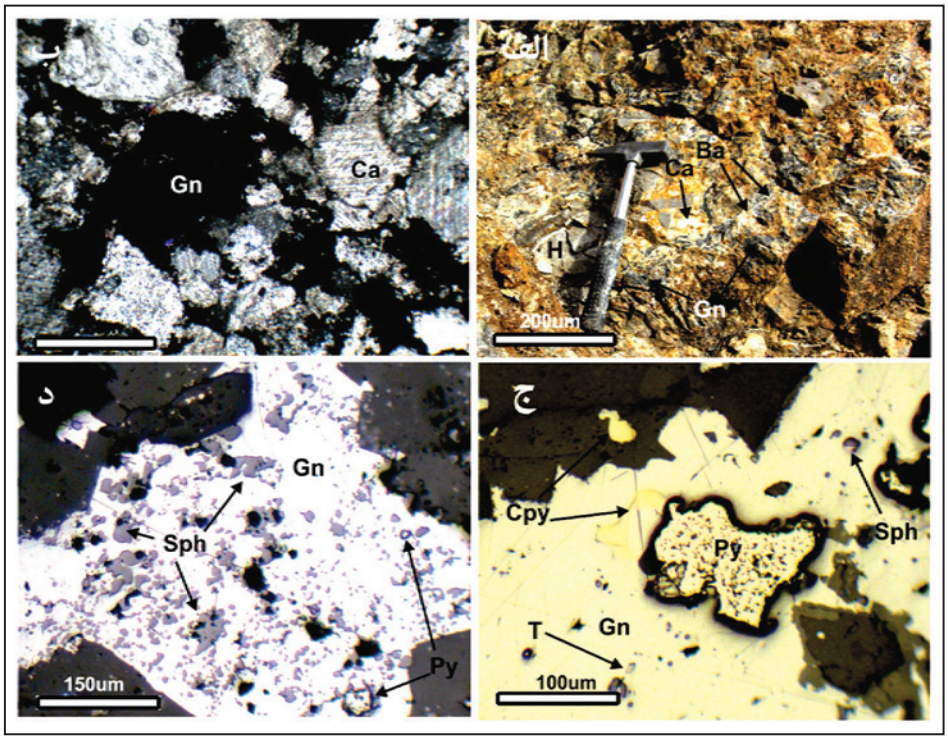
ته‌نشینی همزمان باریت و گالن ریزدانه شاهدی از آمیختگی میان دو سیال با خواص زمین‌شیمیایی متفاوت در محل کانه‌زایی است. یکی از این دو سیال با شوری کم (۵/۶ wt % NaCl)، غنی از CO_2، و احتمالاً دارای گوگرد کاهیده است. سیال دوم با شوری بالا (۱۵/۷ wt% NaCl)، غنی از فلز و اکسیدان بوده است.

سپاسگزاری

نویسندگان از کمیته تحقیقات دانشگاه شیراز به خاطر حمایت مالی و از مدیریت شرکت سوژمیران برای کمک در برداشت نمونه‌ها سپاسگزاری می‌کنند. مطالعه میانبارهای سیال در آزمایشگاه میانبارهای سیال دانشگاه لرستان انجام پذیرفت؛ بنابراین نویسندگان نهایت سپاس را از آقای احمدنژاد مسئول محترم این آزمایشگاه ابراز می‌دارند.



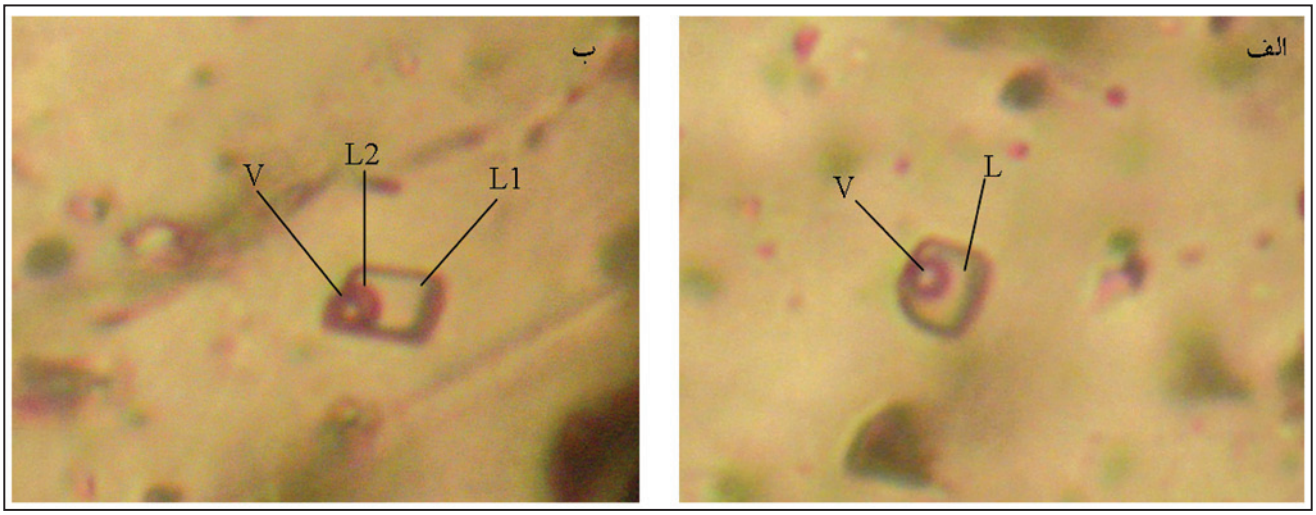
شکل ۱- الف) موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران؛ ب) نقشه زمین‌شناسی کانسار راونج؛ ج) ستون چینه‌شناسی کرتاسه زیرین منطقه (با تغییرات از مدبری (۱۳۷۴)).



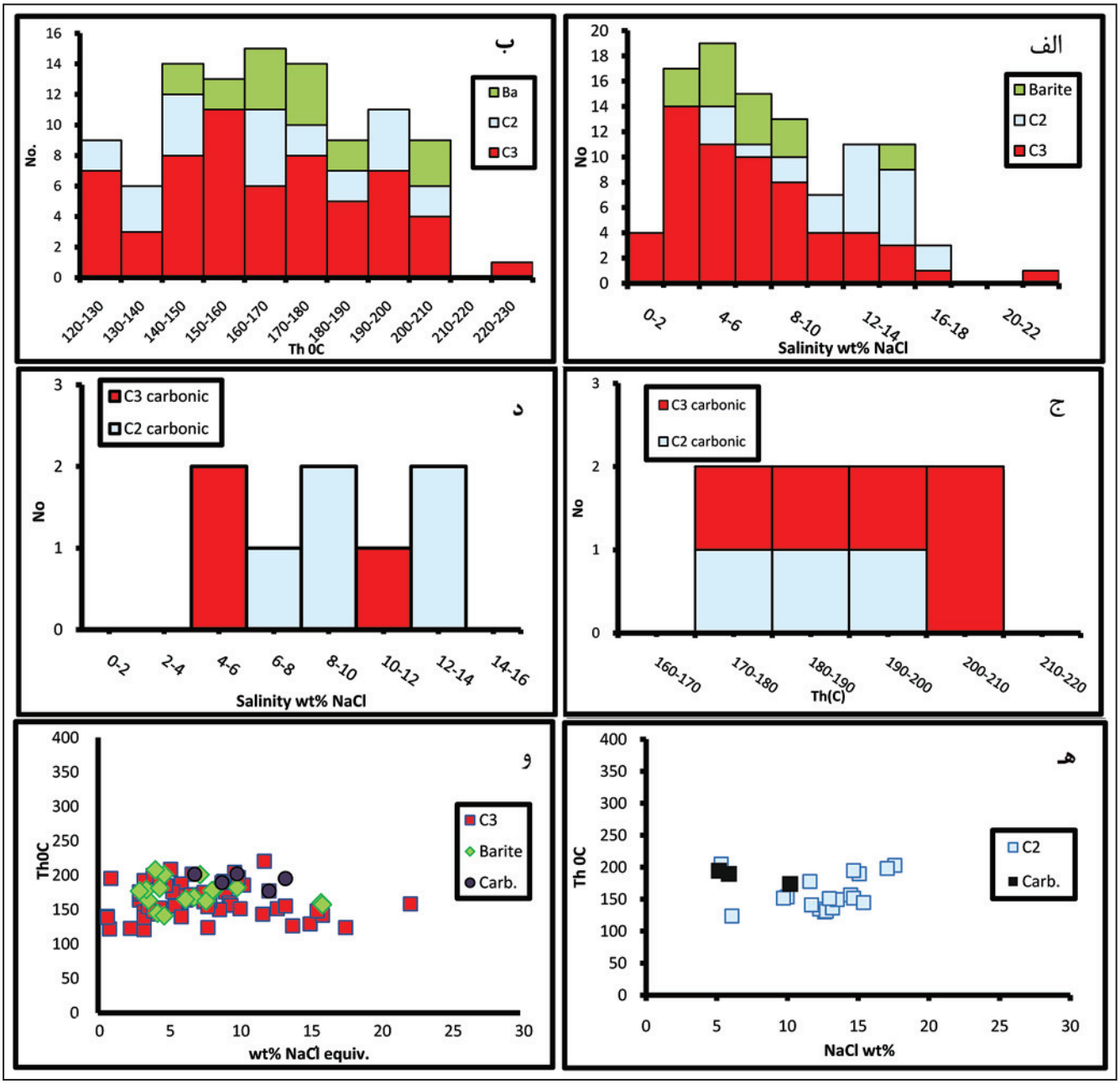
شکل ۲- الف) ته‌نشینی باریت و گالن پرکننده فضای خالی میان برش‌ها؛ ب) کلسیت با آثار انحلال و خوردگی اسیدی؛ ج) گالن دارای میانبار اسفالریت، تتراهدریت، پیریت و کالکوپیریت؛ د) گالن دارای میانبارهای اسفالریت و پیریت (ب تا د در نور ppl). H: Host rock; Cpy: Chalcopyrite ; Py: Pyrite; Sph: Sphalerite ; Gn: Galena; T: Tetrahedrite; Ca: Calcite.

	Pre-Mineralization Stage	MVT Stage	Supegene
Calcite			
Dolomite			
Pyrite			
Chalcopyrite			
Sphalerite			
Tetrahedrite			
Galena			
Barite			
Quartz			
Covellite			
Malachite, Azurite			
Cerrucite, Goetite			
Bitumen			

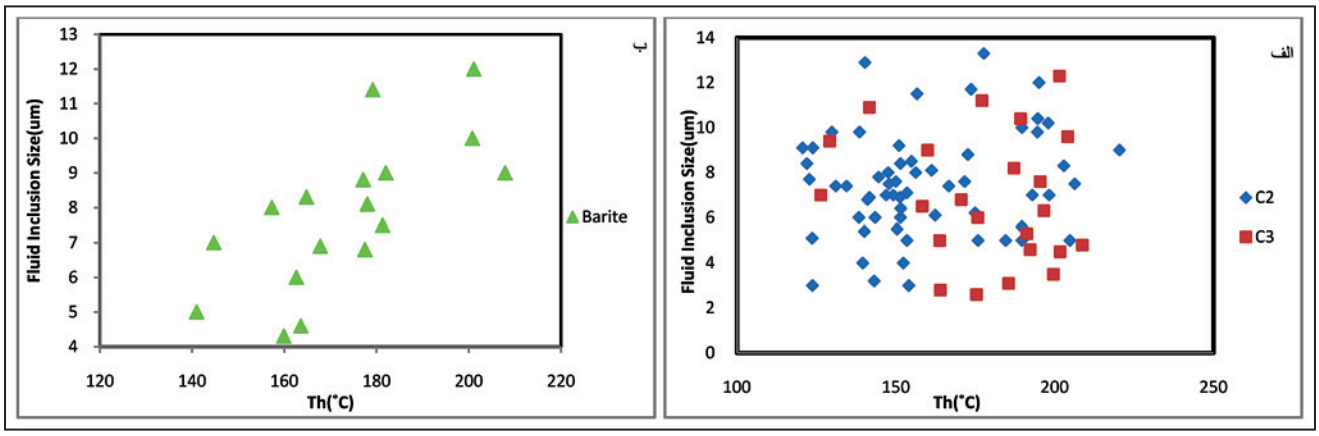
شکل ۳- توالی پاراژنزی کانیایی کانسار راونج.



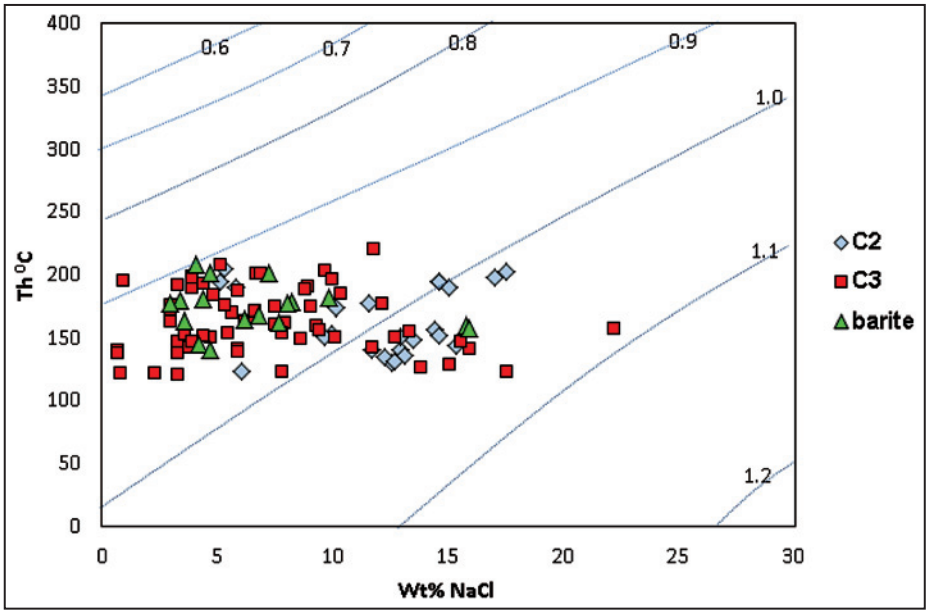
شکل ۴- الف) میانبارهای دوفازی غنی از فاز مایع؛ ب) میانبارهای سه‌فازی L1+L2+V.



شکل ۵- الف) دمای همگن‌شدگی میانبارهای دوفازی؛ ب) نمودار شوری میانبارهای دوفازی؛ ج) دمای همگن‌شدگی میانبارهای سه‌فازی؛ د) شوری میانبارهای سه‌فازی؛ و) نمودار Th در برابر شوری میانبارهای همراه با کلسیت C3 و باریت؛ ه) نمودار Th در برابر شوری میانبارهای همراه با کلسیت C2.



شکل ۶- نمودار اندازه میانبار در برابر دمای همگن‌شدگی میانبارهای سیال کانسار راونج؛ الف) کلسیت؛ ب) باریت.



شکل ۷- نمودار دمای همگن‌شدگی در برابر شوری سیال در میانبارهای سیال کانسار راونج.

جدول ۱- خلاصه داده‌های ریزدماسنجی میانبارهای سیال در کانسار راونج.

Tm, carb: first CO_2 melting; Tm, clath: last clathrate melting; Th, CO_2: melting temperature of CO_2 phase; Te: first ice melting; Tm,ice: last ice melting; Th: temperature of homogenization; N: number of measurements.

کانی میزبان	نوع میانبار	Tm, carb	Tm, clat (°C)	Te (°C)	Tm, ice (°C)	Th (°C)	Salinity (wt% NaCl eq.)	N
کلسیت نسل ۲	L+V	–	–	–	-۳/۳ / -۱۳/۸	۱۲۳/۷ – ۲۰۴/۸	۵/۲ – ۱۷/۹	۵۵
کلسیت نسل ۳	L+V	–	–	-۳۷/۲ / -۵۹/۸	-۰/۴ / -۱۹/۸	۱۲۰/۷-۲۲۰/۴	۰/۶۶ – ۲۲/۲	۲۱
باریت	L+V	–	–	–	-۱/۸ / ۱۱/۹	۱۴۱-۲۰۰/۸	۲/۹۵ – ۱۵/۹۵	۱۷
کلسیت نسل ۲	L1+L2+V	-۵۶/۷ / -۵۸/۱	۴/۲ / ۷/۳	–	–	۱۷۳-۱۹۴/۶	۵/۲ -۱۰ /۲	۵
کلسیت نسل ۳	L1+L2+V	-۵۶/۷ / -۵۷/۸	۱/۹ / ۶/۳	–	–	۱۷۷/۱-۲۰۲	۶/۸۷ – ۱۳/۲	۳

جدول ۲ – مقایسه ویژگی‌های کانسار راونج با برخی از کانسارهایی با ویژگی‌های مشابه در ایران و جهان.

کانسار	کشور	سنگ میزبان	ساز و کار نهشت	کانه اصلی	Th (°C)	شوری (Wt% NaCl)	مرجع
راونج	ایران	سنگ کربناتی	آمیختگی سیال‌ها	Ba-Pb	۱۲۰–۲۲۰	۱–۲۲	Study area
کانسارهای ایرلندی	ایرلند	سنگ کربناتی	آمیختگی سیال‌ها	Zn-Pb	۹۰–۲۷۰	۴–۲۸	Wilkinson (2010)
ایرانکوه	ایران	سنگ کربناتی	آمیختگی سیال‌ها – واکنش با سنگ میزبان	Zn-Pb	?	?	Ghazban et al. (1994)
منطقه ویبرنوم	آمریکا	سنگ کربناتی	آمیختگی سیال‌ها	Pb	۸۵–۱۵۰	۲۱–۲۷	Rowan & Leach (1989)
آرکانزانس شمالی	آمریکا	سنگ کربناتی	آمیختگی سیال‌ها – واکنش با سنگ میزبان	Zn-Pb	۱۰۰–۱۴۰	۱۶–۲۵	Stoffell et al. (2008)
کمربند آپالاچین	کانادا	سنگ کربناتی	آمیختگی سیال‌ها	Ba-Zn-Pb	۶۰–۱۹۰	۱۶–۳۲	William-Johns et al. (1992)
عمارت	ایران	سنگ کربناتی	آمیختگی سیال‌ها	Zn+Pb	۹۰–۲۵۰	۲–۱۵	Ehya et al. (2010)

کتابنگاری

مدبری، س.، ۱۳۷۴– زمین‌شناسی، آنالیز رخساره، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار Pb-Ag راونج، ایران مرکزی، بخش زمین‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

نژادحداد، م.، تقی‌پور، ب.، زراسوندی، ع. ر. و سلامب الهی، س.، ۱۳۹۲– کنترل‌کننده‌های ساختاری و چینه‌شناسی در تشکیل کانسار سرب و نقره راونج، سی و دومین گردهمایی و نخستین کنگره بین‌المللی علوم زمین.

References

Alavi, M., 1994- Tectonics of Zagros Orogenic belt of Iran, new data and interpretation. Tectonophysics: v. 229, 211–238.

Anderson, G. M., 1975- Precipitation of Mississippi Valley-type ores. Economic Geology: 70:937–942.

Bodnar, R. J., Binns, P. R. & Hall, D. L., 1989- Synthetic fluid inclusions. VI. Quantitative evaluation of the decrepitation behavior of fluid inclusions in quartz at one atmosphere confining pressure. Journal of Metamorphic Geology: 7: 229−242.

Corbella, M., Ayora, C. & Cardellach, E., 2004- Hydrothermal mixing, carbonate dissolution and sulfide precipitation in Mississippi Valley-Type deposits. Mineralium Deposita: 39: 344–357.

Ehya, F., Lotfi, M. & Rasa, I., 2010- Emarat carbonate-hosted Zn–Pb deposit, Markazi Province, Iran: A geological, mineralogical and isotopic (S, Pb) study, Journal of Asian Earth Sciences 37,186–194.

Emami, M. H., 1991- Qum map 1:250,000. Geological Survey and Mineral Exploration of Iran.

Emami, M. H., 1996- Kahak map 1:100,000. Geological Survey and Mineral Exploration of Iran.

Ghazban, F., McNutt, H. & Schwarcz, 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.

Giordano, T. H., 2000- Organic matter as transport agent in ore-forming systems. Rev. Economic Geology: 9:133–156.

Goldstein, R. H. & Reynolds, T. J., 1994- Systematics of fluid inclusions in diagenetic minerals. Society of Sedimentary Geology Short Course: 31: 199p.

Gomez-Fernandez, F., Both, R. A., Mangas, J. & Arribas, A., 2000- Metallogenesis of Zn-Pb carbonate-hosted mineralization in the southeastern region of the Picos de Europa (central northern Spain) province: geologic, fluid inclusion, and stable isotope studies. Economic Geology: 95: 19–40.

Hanor, J. S., 1996- Controls on the solubilization of lead and zinc in basinal brines. Society of Economic Geologists Special Publication: 4: 483−500.

Hanor, J. S., 2000- Barite–celestine geochemistry and environments of formation, In Sulfate Minerals. Rev. Mineralogy Geochemistry: 40: 193–275.

Kharaka, Y. K. & Hanor, J. S., 2007- Deep fluids in the continents: I. Sedimentary basins. Treatise on Geochemistry: 5: 1−48.

Leach, D. L., Sangster, D. F., Kelley, K. D., Large, R. R., Garven, G., Allen, C. R., Gutzmer, J. & Walters, S., 2005- Sediment-hosted lead–zinc deposits: a global perspective. Economic Geology 100th Anniversary: 561–608.

Marie, J. St. & Kesler, S. E., 2000- Iron-rich and iron-poor Mississippi Valley-Type mineralization, Metaline district, Washington. Economic Geology: 95: 1091–1106.

Mavrogenes, J. A., Hagni, R. D. & Dingess, P. R., 1992- Mineralogy, paragenesis, and mineral zoning of the West Fork mine, Viburnum Trend, Southeast Missouri. Economic Geology: 87: 113–124.

Philips, G. N. & Evans, K. A., 2004- Role of CO_2 in the formation of gold deposits. Nature: 429: 860-863.

Plumlee, C. S., Leach, D. L., Hofstra, A. H., Landis, G. P., Rowan, E. L. & Viets, J. C., 1994- Chemical reaction path modeling of ore deposition in Mississippi Valley type Pb-Zn deposits of the Ozark region, U.S. midcontinent. Economic Geology: 89: 1361-13B3.

Roedder, E., 1977- Fluid inclusion studies of ore deposits in the Viburnum Trend, Southeast Missouri. Economic Geology: 72: 474–9.

Roedder, E., 1984- Fluid inclusions. In: Ribbe, R.H. (Ed.), Review in Mineralogy, 12. Mineralogical Society of America. 646 pp.

Rowan, E. L. & Leach, D. L., 1989- Constraints from fluid inclusions on sulfide precipitation mechanisms and ore fluid migration in the Viburnum Trend lead district, Missouri. Economic Geology: 84: 1948-1965.

Shepherd, T. J., Rankin, A. H. & Alderton, A. H., 1985- A Practical Guide to Fluid Inclusion Studies. Blackie, Glasgow. 239 pp.

Stanton, M. R. & Goldhaber, M. B., 1991- Experimental studies of the synthesiosf pyrite and marcasite(FeS2) from 0° to 200°C and summary of results. U.S. Geological Survey Open-File Report 91-310, 27 p.

Stoffell, B., Appold, M. S., Wilkinson, J. J., McClean, N. A. & Jeffries, T. E., 2008- Geochemistry and evolution of Mississippi Valley-type mineralizing brines from the Tri-State and northern Arkansas districts determined by LA-ICP-MS microanalysis of fluid inclusions. Economic Geology:103: 1411−1435.

Sverjensky, D. A., 1981- The origin of a Mississippi Valley-type deposit in the Viburnum Trend, southeast Missouri. Economic Geology: 76: 184-187.

Sverjensky, D. A., 1984- Oil field brines as ore-forming solutions. Economic Geology: 79: 23-37.

Wilkinson, J. J., 2001- Fluid inclusions in hydrothermal ore deposit. Lithos: 55: 229–72.

Wilkinson, J. J., 2010- A Review of Fluid Inclusion Constraints on Mineralization in the Irish Ore Field and Implications for the Genesis of Sediment-Hosted Zn-Pb Deposits. Economic Geology: 105: 417–442.

William-Johns, A. E., Schrijver, K., Doig, R. & Sangster, D. F., 1992- A Model for Epigenetic Ba-Pb-Zn Mineralization in the Appalachian Thrust Belt, Quebec: Evidence from Fluid Inclusions and Isotopes. Economic Geology: 87- 154-174.

Determination of Physicochemical Properties of Ore-Forming Fluids Using Combined Mineralogy and Fluid Inclusion Microthermometric Studies in the Ravanj Pb-Ba-Ag Deposit, Delijan, Markazi Province

M. Nejadhadad [1*], B. Taghipour [2], A. R. Zarasvandi [3], A. R. Karimzadeh Somarin [4] & S. Salamab Elahi [1]

[1] Ph.D. Student, Department of Earth Sciences, Faculty of Sciences, Shiraz University, Shiraz, Iran
[2] Assistant Professor, Department of Earth Sciences, Faculty of Sciences, Shiraz University, Shiraz, Iran
[3] Professor, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
[4] Assistant Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Brandon, Manitoba, Canada

Received: 2014 October 28 Accepted: 2015 May 10

Abstract

Located 20 km north of the Delijan city, the Pb-Ba-Ag ore deposit was mineralized in the lower Cretaceous carbonate host rocks in the Ravanj anticline. Geographically, the Ravanj anticline is part of the Urumieh-Dokhtar magmatic arc in the Zagros orogenic belt. Deposition of the ore took place in the lower part of massive limestones where they have been structurally thrusted over the shale and shale-limestone strata. Breccia filling, host rock replacement and disseminated ore are the main textural features of mineralization. Mineralization consists of fine-grained galena, barite, variable amounts of pyrite, and minor amounts of sphalerite, tetrahedrite, and chalcopyrite. Despite extensive pyritization, marcasite was not found in the ore, indicating that the ores were mineralized from a fluid having a pH > 5. Fluid inclusion microthermometric studies were done in the calcites of pre-main-stage mineralization (C2), in main-stage barite and in post-mineralization calcite (C3). Average homogenization temperatures of fluid inclusions are approximately equal: 165 ˚C in the pre- main stage calcite, 160 ˚C in post-mineralization calcite and 175 ˚C in barite, but their salinities change from lower than 1 to higher than 18wt% NaCl equivalent. Silica precipitation in the Ravanj deposit is very limited, in agreement with minor changes in temperature of fluid during mineralization. The wide range in salinity of the fluid inclusions plus contemporaneous deposition of barite and fine-grained galena are evidences for mixing of two geochemically different fluids. One of them was probably a low-salinity (5.6 wt% NaCl), CO_2-beaing and sulfur-rich fluid. At a temperature of 160 ˚C, the neutral pH is about 5.8. Therefore the sulfides were deposited from fluids having a pH of 5-6. The effect of low-salinity, CO_2-beaing fluid is to buffer the system. The second fluid, which was probably oxidized, saline (15.7 wt% NaCl) and metal-rich, shows salinity and homogenization temperatures characteristic of MVT ore forming fluids.

Keywords: Ravanj Pb-Ba-Ag Deposit, Lower Cretaceous massive limestone, Fluid inclusions, Wide range of salinity, Fluid mixing.
For Persian Version see pages 131 to 140
*Corresponding author: M. Nejadhadad; E-mail: nejadhadad_geo86@yahoo.com

Created with nitroPDF professional
download the free trial online at nitropdf.com/professional