فصلنامه زمین‌شناسی ایران، سال ۱۳، شماره ۵۰، تابستان ۱۳۹۸، صفحات ۵۷-۷۴

Archive of SID

تعیین منشا سیال کانه‌ساز در کانسار روی و سرب گل‌زرد، الیگودرز با استفاده از مطالعات زمین شیمیایی و میان‌بارهای سیال

علیرضا زراسوندی[۱و*]، منا صامتی[۲]، زهرا فریدونی[۳]، محسن رضایی[۴] و هاشم باقری[۵]

۱. استاد گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
۲. دانشجوی دکتری گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران
۳. دانشجوی دکتری گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
۴. استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
۵. دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۶/۲۶
تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۸/۳۰

چکیده

کانسار روی و سرب گل زرد در شمال شرق شهرستان الیگودرز (استان لرستان)، در فیلیت‌ها و ماسه‌سنگ‌های تریاس بالایی-ژوراسیک در زون ساختاری سنندج سیرجان رخنمون دارد. کانه‌زایی در این کانسار شامل اسفالریت، گالن و کالکوپیریت است که عمدتاً در امتداد رگه‌های کوارتزی قرارگرفته‌اند. دو افق کانه زا، فیلیت‌های با کانه‌زایی بالا و ماسه‌سنگ‌های دگرگون‌شده با کانه‌زایی اندک می‌باشند. مطالعات کانی‌شناسی نشان می‌دهد که گالن، اسفالریت و کالکوپیریت کانه‌های فلزی و کوارتز نیز مهم‌ترین کانی باطله در کانسار مورد مطالعه می‌باشد. شواهد نشان می‌دهد کانه‌زایی در کانسار گل زرد، همزاد و دیرزاد می‌باشد. بارزترین الگوی ساختاری در منطقه، کانه‌زایی چینه‌کران است .هدف از انجام این مطالعه، تعیین نوع و ویژگی‌های سیال کانه‌ساز در تفکیک افق‌های کانه زا بعلاوه تعیین منشا سیال کانه‌ساز در کانسار گل زرد می‌باشد. غنی‌شدگی LREE، (La/Lu میانگین ۴/۸) و بی‌هنجاری مثبت Eu (میانگین ۱/۶۷) شرایط کاهشی و سیال گرمابی را نشان می‌دهد. داده‌های میانبار سیال دمای همگن‌شدگی °C ۱۹۹/۵-۱۳۹، شوری (wt%equ.NaCl) ۳۰/۳۸-۵/۲۱ و چگالی (gr/cm^3) ۱/۱-۰/۹ را در کانسار نشان می‌دهد. بررسی سیر تکاملی سیال، نشان‌دهنده اختلاط هم‌دمای سیالات در حین کانه‌زایی است که شامل اختلاط سیالات گرمابی با آب دریا و همچنین آب جوی می‌باشد. می‌توان گفت، خروج سیال گرمابی از عمق، ورود به محیط دریایی و کاهش دما در اثر اختلاط با آب دریا، بالاآمدن تا نزدیک سطح آب دریا، ورود به رسوبات دریایی و چرخش در فضاهای خالی این رسوبات و سپس، آبشویی فلزات از رسوبات و ته‌نشست آن‌ها در امتداد فضاهای خالی و رگه‌های کوارتزی صورت گرفته است

واژه‌های کلیدی: اختلاط هم‌دما، کانسار گل زرد، کانه‌زایی چینه‌کران، میان بارهای سیال.

مقدمه

کانسارها به‌عنوان بی‌هنجاری‌های غیرمعمول در سطح زمین واضح‌ترین شـــواهد مســـیر حرکت محلـــول از طریق گسل‌ها، شکستگی‌ها و سنگ‌های متخلخل به شمار می‌آیند. محلول در مسیر حرکت، عناصر دارای ارزش اقتصادی را از ســـنگ‌های اطراف شسته و پس از حمل، در مکان مناسب

* نویسنده مرتبط: Zarasvandi_a@scu.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

بـــر جـــای می‌گـــذارد (Wilkinson، 2001). به‌طورکلی، کانسارها توسط طیف وســـیعی از فرآیندهای زمین‌شناسی شـــامل فشـــار و حرارت بالا (شـــرایط ماگمایی) تا شرایط حاکم بر سطح زمین (کانسارهای آبرفتی) تشکیل می‌شوند (شـــهاب پور، ۱۳۸۵). بر همین اســـاس سیالات مختلفی ســـبب نهشته شـــدن عناصر کانسار ساز می‌شـــوند، منشا سیالات درگیر نیـــز ممکن است سیالات ماگمایی، سیالات جوی و یا سایر سیالات کانه‌ساز باشد (Kesler، 2005). میان بارهای سیال به‌عنوان ابزاری قدرتمند در تعیین شرایط حاکم بر نهشـــت و هم‌چنین نوع سیال دخیل در کانه‌زایی تلقی می‌شـــوند (احیا، ۱۳۸۸). ســـیالات درگیر همچنین در زمینه زایش کانســـنگ، از اهمیت به خصوصی برخورد می‌باشـــند و نقش باارزشـــی در درک فعلی مـــا از حمل و ترسیب کانســـنگ‌ها بازی می‌کنند (Roedder، 1979a). میان بارهای ســـیال ضمن تبلور کانی یا پس از تبلور آن در امتداد زون‌های رشد بلوری یا درون هر نقصی که طی رشد یـــک بلور ایجاد گردد، به دام می‌افتند. این میان بارها قادر به ارائه اطلاعات مســـتقیمی از شرایط فیزیکی و شیمیایی ســـیال ســـازنده مانند فشـــار (P)، دما (T)، حجم (V) و ترکیب شـــیمیایی (X) می‌باشـــند (Wilkinson، 2001). ضمـــن اینکـــه، میـــان بارهای ســـیال حـــاوی اطلاعات مهمی از ســـامانه‌های گرمابی موجود در منطقه هســـتند (Kesler، 2005)، بنابراین دســـت‌یابی به شرایط PTVX، نیازمنـــد تجزیه‌های مختلـــف و اندازه‌گیری‌هـــای دقیق و هدفمند بر روی میان بارهای سیال به دام افتاده درون کانی شفاف موجود در کانسار می‌باشد (شهاب پور، ۱۳۸۵). ایران به لحاظ کانه‌زایی سرب و روی دارای پتانسیل بالایی است، بیش از ۶۰۰ معدن، کانسار و رخداد معدنی سرب و روی در پهنه ایران‌زمین شناخته‌شده است (قربانی، ۱۳۸۱). به دلیل قرارگیری بیش‌ترین ذخایر سرب و روی ایران در زون سنندج سیرجان، این زون مهم‌ترین میزبان کانه‌زایی سرب و روی در ایران به شـــمار می‌رود. کانسارها و نشانه‌های معدنی سرب و روی چینه‌کران محدود به ســـنگ‌های آهک دولومیتی، شیلی و ماسه‌سنگی کرتاســـه و توالی‌های رسوبی کهن‌تر از کرتاسه پیشـــین در پهنه سنندج-سیرجان در محور ملایر-اصفهان شناخته‌شـــده‌اند که از دیدگاه زایشی، دارای منشأ نوع سدکس در بخش باختری این کمربند و نوع دره می‌سی ســـی پی بیشتر در بخش خاوری هســـتند (قربانی، ۱۳۸۱؛ شهاب پور، ۱۳۸۵). کانسار گل‌زرد یکی از کانسارهای روی و سرب رخنمون یافته در بخش میانی زون سنندج-سیرجان می‌باشد. کانه‌زایی روی و سرب در این کانسار به‌صورت رگه‌ای و عدسی‌های هم‌شیب با لایه‌بندی و در امتداد رگه‌های کوارتز جانشین شده، صورت پذیرفته است. کانه‌زایی در این کانسار اغلب به‌صورت رگه‌ای، پرکننده فضای خالی در امتداد برخی گسل‌ها و درزه‌های کششی و هم‌چنین عدسی‌ها و دانه‌های پراکنده می‌باشـــد. با توجه به رخداد بخش عمده کانه‌زایی به‌خصوص گالن در امتداد رگه‌های کوارتزی، می‌توان گفت کانه‌زایی در این کانسار وابستگی شدیدی به رگه‌های کوارتزی دارد. همچنین، ساختار چینه‌کران در منطقه موردمطالعه منعکس‌کننـــده‌ی هم‌زمـــان زاد بودن کانه‌زایی با ســـنگ میزبان است و ساختارهایی نظیر کانه‌زایی رگه‌ای در امتداد رگه‌های کوارتزی و نیـــز کانه‌زایی‌های پرکننده فضای خالی نشـــان‌دهنده کانه‌زایی پس از زایش (دیرزاد) در این کانسار اســـت. به‌طورکلی، کانه‌زایی در دو افـــق مجزا و با اختلاف چشمگیر در میزان عناصر اصلی مشاهده می‌شود که شامل افق فیلیتی با میزان بالای روی و ســـرب و افق ماسه‌سنگی با مقادیر بســـیار پایین روی و سرب می‌باشد. هدف اصلی از انجام مطالعه پیش‌رو انجام مطالعات حرارت‌سنجی بر روی میان بارهای سیال جهت تعیین شرایط فیزیکی و شیمیایی ســـیال، در تفکیک دو افق کانه‌دار و هم‌چنین منشا سیال گرمابی کانه‌ساز می‌باشد.

زمین‌شناسی

کوهزایی زاگرس به‌عنوان بخشی از سلسله کوه‌های آلپ-هیمالیا، کمربند کوهزایی نامتقارن فعال می‌باشد که با زاویه میـــل دوطرفه و با طول تقریبی ۲۰۰۰ کیلومتر و عرض ۱۰۰ تا ۳۰۰ متر، مشخص می‌شـــود (Alavi، 1994). این کمربند کوهزایی محصول همگرایی بین صفحات اوراســـیا و آفریقا-عربی می‌باشـــد، کوهزایی زاگرس از اواخر کرتاسه شروع، در ائوســـن ادامه و در میوسن (نئوژن) برخورد صورت پذیرفته

www.SID.ir

Archive of SID

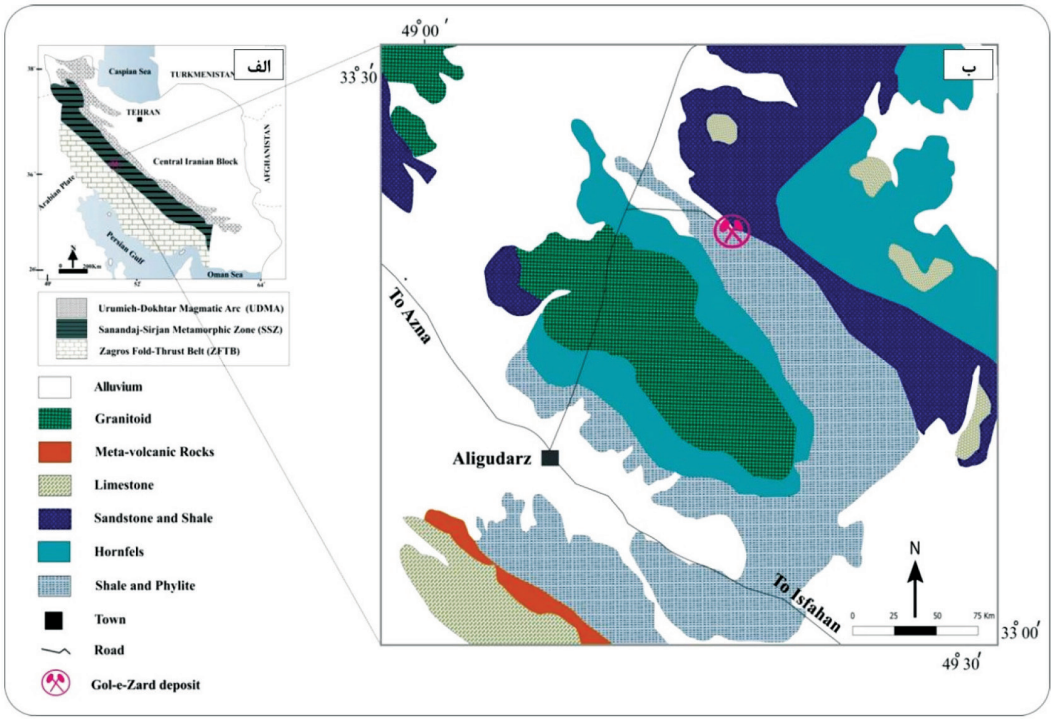
است (Alavi، 1994؛ احیا، ۱۳۸۸). کمربند کوهزایی-فلززائی زاگرس ترکیبی از سه زون تکتونیکی با روند شمال غرب-جنوب شرق است که شامل: زون چین‌خورده-رورانده زاگرس در سمت جنوب غرب، زون سنندج-سیرجان در وسط و کمان ارومیه-دختر در سمت شمال غرب می‌باشد. کوهزایی زاگرس حاصل بسته شدن اقیانوس نئوتتیس است (Alavi، 2007). کانسار روی و سرب گل زرد در بخش غربی کشور، استان لرستان، در فاصله ۱۲ کیلومتری شمال شرقی شهرستان الیگودرز و در مسیر الیگودرز به خمین قرار دارد. این کانسار به طول جغرافیایی "۲۵ '۴۶ °۴۹ شرقی و عرض جغرافیایی "۴۰ '۲۶ °۳۳ شمالی در کمربند اصفهان-ملایر، بخش میانی پهنه سنندج-سیرجان واقع‌شده است (فرهادی نژاد، ۱۳۷۷). پهنه سنندج-سیرجان به‌عنوان پهنه به‌هم‌ریخته و دگرگون‌شده در حد رخساره‌های شیست سبز تا آمفیبولیت شناخته‌شده است (Davoudian et al.، 2008). پهنه دگرگونی-ماگمایی سنندج-سیرجان با روند شمال باختر-جنوب خاور به‌صورت نواری باریک به طول ۱۵۰۰کیلومتر و عرض ۱۵۰ کیلومتر از شهرهای ارومیه و سنندج در شمال باختر تا شهرهای اسفندقه و سیرجان در جنوب خاور ادامه دارد و در میان مجموعه ماگمایی ارومیه-دختر و کمربند رورانده-چین‌خورده زاگرس جای گرفته است (شکل ۱-الف) (Alavi، 2004؛ Mohajjel et al.، 2003). این پهنه همچنین یکی از مناطق مهم کانه‌زایی سرب و روی در ایران است. موقعیت واحدهای ساختاری اصلی ایران، جایگاه پهنه سنندج-سیرجان و منطقه موردمطالعه نشان داده شده است (شکل ۱-الف). رسوبات مربوط به زمان تریاس بالایی ژوراسیک قدیمی‌ترین واحدهای سنگی رخنمون یافته در کانسار گل زرد هستند. این واحدهای سنگی در منطقه شامل توالی یکنواختی از فیلیت، کوارتز فیلیت و اسلیت متناوب با ماسه‌سنگ‌های ناخالص دگرگون‌شده با رنگ خاکستری است که دچار چین‌خوردگی و به‌هم‌ریختگی شده‌اند. رخنمون‌های سنگی منطقه موردمطالعه در شکل (۱-ب) مشاهده می‌شود که بیانگر رخنمون کانسار گل زرد در فیلیت‌ها و ماسه‌سنگ‌های دگرگون‌شده است .توده گرانیتوئیدی در شمال الیگودرز دارای ترکیبی از گرانیت تا گرانیتوئید با سن ژوراسیک میانی می‌باشد (Esna-Ashari et al.، 2012). دگرگونی مجاورتی با نفوذ توده گرانیتوئیدی الیگودرز در رسوبات تریاس بالایی-ژوراسیک، سبب ایجاد هورنفلس‌های تیره‌رنگ در منطقه شده است. شواهدی نظیر ماسه‌سنگ‌های برشی شده، در محدوده موردمطالعه حاکی از اعمال فشار در طی دگرگونی می‌باشد. رسوبات آبرفتی عهد حاضر جوان‌ترین رسوبات برونزد یافته در منطقه هستند. این رسوبات شامل پادگانه‌های آبرفتی قدیم و جدید، رسوبات مخروط افکنه‌ای، کنگلومرایی و رودخانه‌ای می‌باشند (فرهادی‌نژاد، ۱۳۷۷). دورنمای منطقه معدنی موردمطالعه و واحدهای سنگی رخنمون یافته، نشان داده شده است (شکل ۲).

روش مطالعه

پس از انجام مطالعات دقیق صحرایی در منطقه موردمطالعه و نمونه‌برداری از سنگ میزبان، کانه‌های فلزی و رگه‌های کوارتزی، بررسی‌های سنگ‌شناسی جهت تعیین رخنمون‌های کانه‌زایی در منطقه موردنظر انجام پذیرفت. به‌منظور حصول بهترین نتایج از میان نمونه‌های برداشت‌شده تعداد پنج نمونه، جهت مطالعات کانی‌شناسی و هفت نمونه جهت مطالعات کانه‌نگاری انتخاب شدند. نمونه‌های منتخب از رخنمون‌های کانه‌دار و فاقد کانه‌زایی، دارای کمترین شکستگی و فاقد دگرسانی می‌باشند. نمونه‌های انتخاب‌شده جهت تهیه مقطع نازک (برای سنگ میزبان) و صیقلی (برای نمونه‌های کانه‌دار) به شرکت کانساران بینالود در تهران ارسال شدند. مقاطع نازک با استفاده از میکروسکوپ‌های نور پلاریزان در دو نور PPL و XPL و مقاطع صیقلی در نور انعکاسی موردمطالعه قرارگرفتند. به‌منظور انجام مطالعات میکروسکوپی و ریز دماسنجی بر روی میان بارهای سیال، چهار مقطع دو بر صیقلی به ضخامت یک میلی‌متر از کانی کوارتز تهیه شد. پس از بررسی‌های پتروگرافی و تعیین شکل و ویژگی‌های زایشی میان بارهای سیال، نمونه‌ها جهت مطالعات ریز دماسنجی توسط دستگاه Linkam مدل THM600، با کنترل حرارتی TMS-94 و سردکننده LNP نصب‌شده بر روی میکروسکوپ Zeiss، در آزمایشگاه میانبار

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱. الف) موقعیت واحدهای ساختاری اصلی ایران (اقتباس از Zarasvandi et al., 2008) بر اساس داده‌های (Alavi, 2004) و موقعیت قرارگیری کانســار موردنظر در ایران، ب) واحدهای سنگی برونزد یافته در محدوده معدنی کانسار روی و سرب گل زرد (با تغییرات از سهیلی و همکاران، ۱۳۷۱)

شکل ۲. دورنمای محدوده معدنی کانسار گل زرد و واحدهای سنگی رخنمون یافته در منطقه، واحد سنگی کرتاسه در ستیغ کوه‌ها واقع‌شده است. دید به سمت شمال شرقی می‌باشد

www.SID.ir

Archive of SID

سیال دانشگاه اصفهان موردمطالعه قرار گرفتند. به‌منظور سنجش غلظت عناصر کمیاب و عناصر نادر خاکی افق‌های کانه‌سازی در کانسار روی و سرب گل زرد، نمونه‌های کانه سنگ میزبان و رگه کوارتزی جهت تجزیه شیمیایی به روش طیف‌سنجی جرمی پلاسمایی جفتیده القایی (ICP-MS) به آزمایشگاه ACME کانادا فرستاده شد. حد آشکارسازی در روش تجزیه‌ای به‌کاررفته، برای عناصر کمیاب ppm ۰/۵ تا ۰/۱ و برای عناصر نادر خاکی بین ppm ۰/۱ تا ۰/۰۵ می‌باشد.

پترولوژی و پتروگرافی

بررسی‌های سنگ‌شناسی در محدوده معدنی گل‌زرد حاکی از وجود دو افق کانه‌دار در این محدوده است. نخست، افق فیلیتی-اسلیتی می‌باشد که با رگه‌ها و عدسی‌های فراوان کوارتز همراه است. در این افق کانه‌دار لایه‌ها از جنس فیلیت و اسلیت می‌باشند. رنگ آن‌ها در برخی موارد کمی مایل به تیره است، لایه‌های آن دارای ضخامتی بین ۱۰ تا ۵۰ سانتی‌متر می‌باشند. توالی کانیایی این افق شامل اسفالریت، گالن، کالکوپیریت و پیریت است. گالن به‌صورت رگه□رگچه‌ای و اسفالریت به‌صورت عدسی‌های متوسط تا درشت در سنگ میزبان فیلیتی قرارگرفته‌اند. پیریت و کالکوپیریت نیز به شکل دانه‌های پراکنده در سنگ میزبان و به میزان بسیار کم‌تر از کانه‌های سرب و روی یافت می‌شود. رگه‌های کوارتزی در این افق به‌وفور قابل‌مشاهده است، که اغلب در درزه‌های کششی جای گرفته‌اند و گالن به‌وفور در امتداد رگه‌های کوارتزی قابل‌مشاهده است، این مطالعات حاکی از وابستگی عمیق کانه‌زایی در کانسار گل‌زرد با رگه‌های کوارتزی می‌باشد. دومین افق، افق ماسه‌سنگ دگرگون همراه با کوارتزهای بسیار دانه‌ریز است. افق ماسه‌سنگی کانه‌زایی اندکی از سرب و روی را نشان می‌دهد. توالی کانیایی شامل اسفالریت، گالن، کالکوپیریت و پیریت است که از این میان دانه‌های پراکنده کالکوپیریت نسبتاً متوسط تا درشت‌دانه می‌باشد، سایر کانه‌ها به‌صورت دانه‌ریز در سنگ میزبان پراکنده هستند. لازم به ذکر است، سنگ میزبان ماسه‌سنگی نیز دارای دانه‌بندی بسیار ریز در حد ۹۰ تا ۱۱۰ میکرون می‌باشد. ماسه‌سنگ‌های دگرگون‌شده ژوراسیک دارای کمترین کانه‌زایی رگه‌ای در امتداد کوارتزهای جانشینی می‌باشد. مطالعات کانی‌شناسی، نشان‌دهنده بافت موزاییکی برای این گروه از رگه‌ها می‌باشد، بنابراین در اثر سیلیسی شدن سنگ میزبان در حین عبور محلول کانه‌دار از میان سنگ میزبان به‌جا گذاشته‌شده‌اند (Ansdel et al., 1989). بالاترین میزان فراوانی رگه‌های کوارتزی را، رگه‌های همراه با گالن به خود اختصاص داده‌اند که در فیلیت و اسلیت‌های تریاس قرارگرفته‌اند. این کوارتزها اغلب درشت‌دانه هستند و در درزه‌های کششی قرارگرفته‌اند (فرهادی نژاد، ۱۳۷۷). در امتداد این دسته از رگه‌ها معمولاً اسفالریت هم به‌چشم می‌خورد. از آن‌جا که کانسار روی و سرب گل زرد به‌صورت مشخص از نوع کانسارهای Zn-Pb-Cu-Ag می‌باشد. در این کانسار Zn فاز غالب کانه‌زایی شناخته‌شده است و به شکل اسفالریت که رایج‌ترین کانی اقتصادی حاوی روی می‌باشد، ظاهرشده است. بررسی‌های کانی‌شناسی انجام‌شده، نشان می‌دهد که اسفالریت به‌صورت دانه پراکنده، لامینه و پرکننده فضای خالی نهشته شده است. کالکوپیریت و اسفالریت به‌ندرت در امتداد رگه‌های کوارتزی قرارگرفته‌اند. لازم به ذکر است که گالن در امتداد تمامی کوارتزهای رگه‌ای به‌جز رگه‌های عقیم مشاهده می‌شود. جدول (۱) ویژگی‌های رگه‌های کوارتزی را در کانسار گل‌زرد نشان می‌دهد. کانی‌شناسی کانسار روی و سرب گل زرد مانند سایر کانسارهای روی و سرب رسوبی شامل اسفالریت، گالن، کالکوپیریت و ندرتاً دارای پیریت به‌عنوان کانه‌های فلزی می‌باشد، همچنین کانی کوارتز مهم‌ترین و فراوان‌ترین کانی باطله در کانسار مورد مطالعه است. همان‌طور که ذکر شد، رگه‌های کوارتزی عقیم و فاقد کانه‌زایی در افق ماسه‌سنگی در محدوده معدنی دیده شد (شکل ۳-الف). وجود باقی‌مانده‌های کربناتی در سنگ میزبان و در کنار کانه‌های فلزی نشان‌دهنده جانشینی سنگ میزبان به‌وسیله این کانی‌ها است (شکل ۳-ب). کانه‌ها عمدتاً به‌صورت شکافه‌پرکن در امتداد رگه‌های

www.SID.ir

Archive of SID

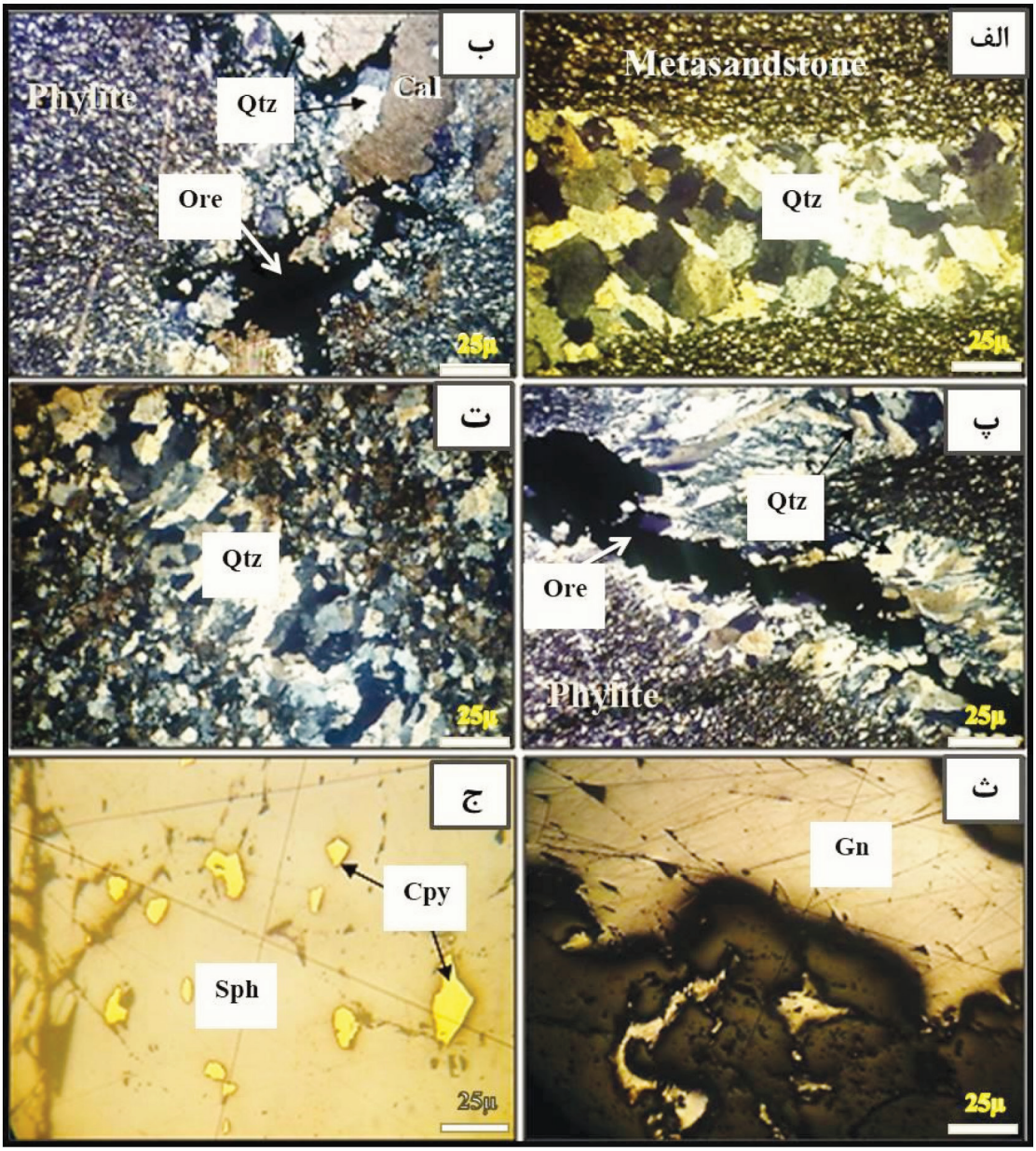
کوارتزی یا پرکننده فضای خالی در سنگ میزبان هستند (شکل ۳-پ). سیلیسی شدن مهم‌ترین دگرسانی رخ‌داده در منطقه موردمطالعه می‌باشد (شکل۳-ت). در کانسار گل زرد گالن به لحاظ فراوانی پس از اسفالریت و در رتبه دوم قرار می‌گیرد. همان‌طور که اشاره شد، عمده کانه‌زایی گالن در امتداد رگه‌های کوارتز با بافت جانشینی رخ‌داده است. این نوع قرارگیری بیانگر حضور گالن به‌صورت ثانویه می‌باشد. گالن‌های دارای بافت پرکننده فضای خالی، حضور اولیه و هم‌زمان با رسوب‌گذاری را در کانسار گل زرد اثبات می‌کند. شکل (۳-ث) نمونه‌ای از گالن را نشان می‌دهد که در امتداد رگه کوارتز واقع‌شده است. مس فاز فرعی کانه‌زایی در کانسار روی و سرب گل زرد می‌باشد و کالکوپیریت عمده‌ترین کانی حاوی عنصر مس در منطقه موردمطالعه است. کالکوپیریت به شکل دانه‌ای بی‌شکل در متن سنگ میزبان دیده می‌شود. دانه‌های کالکوپیریت به‌صورت ادخال در اسفالریت حضور دارد که بیانگر هم‌رشدی کالکوپیریت با اسفالریت است (شکل ۳-ج). توالی کانیایی کانسار سرب و روی گل زرد در (شکل ۴) آمده است. این توالی به سه بخش تقسیم‌شده است که شامل مرحله قبل از کانه‌زایی، مرحله اصلی کانه‌زایی و مرحله پس از کانه‌زایی می‌باشد. مرحله قبل از کانه‌زایی شامل ته‌نشست سنگ میزبان شیلی و ماسه‌سنگی به همراه کانی‌های کوارتز و کلسیت است. مرحله اصلی کانه‌زایی شامل تشکیل کانه‌های اصلی نظیر گالن، اسفالریت، کالکوپیریت و پیریت است. مرحله بعدی در واقع فاز دگرگونی، چین‌خوردگی و دگرشکلی سنگ میزبان و کانه است که در این میان طی فرآیندهای دگرسانی کانی‌هایی مانند مالاکیت و آزوریت نیز شکل‌گرفته‌اند، به‌احتمال زیاد بافت شکافه‌پرکن و رگه‌ای کانه‌ها مختص به این مرحله از تشکیل کانسار سرب و روی گل زرد می‌باشد. در کل می‌توان ذکر کرد، در کانسار روی و سرب گل زرد، افق اصلی کانه‌زایی فیلیت و اسلیت‌های تریاس می‌باشد و ماسه‌سنگ‌ها اغلب فاقد کانه‌زایی چشم‌گیر می‌باشند. کانه‌زایی در افق فیلیتی گالن رگه‌ای و عدسی‌های اسفالریت با اندازه‌های مختلف دیده می‌شود. مطالعات کانی‌شناسی و توالی پاراژنتیکی در کانسار روی و سرب گل زرد نشان می‌دهد که اسفالریت و گالن (کانه‌های اصلی) و کالکوپیریت (کانه فرعی) می‌باشد. پیریت در محدوده معدنی گل زرد به‌صورت دانه‌های خود شکل و با فراوانی بسیار پایین به چشم می‌خورد. از آن‌جا که این کانی فاز سولفیدی قدیمی است، بنابراین در اثر تزریق دیگر سولفیدها در حین کانه‌زایی شکسته شده و پراکنده شده است (احیا، ۱۳۸۸). با توجه به وجود ادخال‌هایی از سنگ میزبان این رگه‌ها در اثر پر کردن فضاهای خالی به وجود آمده‌اند. شواهد ذکرشده همگی مبنی بر حضور سامانه گرمابی در منطقه و عبور سیال گرمابی از میان سنگ میزبان می‌باشد (شهاب‌پور، ۱۳۸۵).

جدول ۱. مشخصات رگه‌های کوارتزی مشاهده‌شده در کانسار روی و سرب گل زرد

رگه	نوع کانه‌زایی	ویژگی
V-A	کوارتزهای فاقد کانه‌زایی	سنگ میزبان ماسه‌سنگ‌های دگرگون شده، دانه‌های نسبتا متوسط، بافت موزائیکی، دارای قطر ۰/۵-۱ سانتی‌متر
V-B	V-B-1 گالن کانه‌زایی اصلی، اسفالریت کانه‌زایی فرعی	سنگ میزبان فیلیت و اسلیت، کوارتزهای درشت‌دانه، گالن به شکل رگه-رگچه، دانه‌های پراکنده اسفالریت، دارای قطر ۱-۱/۵ سانتی‌متر
	V-B-2 اسفالریت کانه‌زایی اصلی، گالن کانه‌زایی فرعی	سنگ میزبان فیلیت و اسلیت،کوارتزهای درشت‌دانه، اسفالریت به شکل عدسی، گالن به شکل رگچه‌ای، دارای قطر ۱-۱/۵ سانتی‌متر
V-C	اسفالریت و کالکوپیریت	سنگ میزبان ماسه‌سنگ‌های دگرگون شده،کوارتزهای دانه‌ریز، دانه‌های درشت کالکوپیریت فراوان‌تر از اسفالریت می‌باشد،دارای قطر ۱/۵-۲ سانتی

www.SID.ir

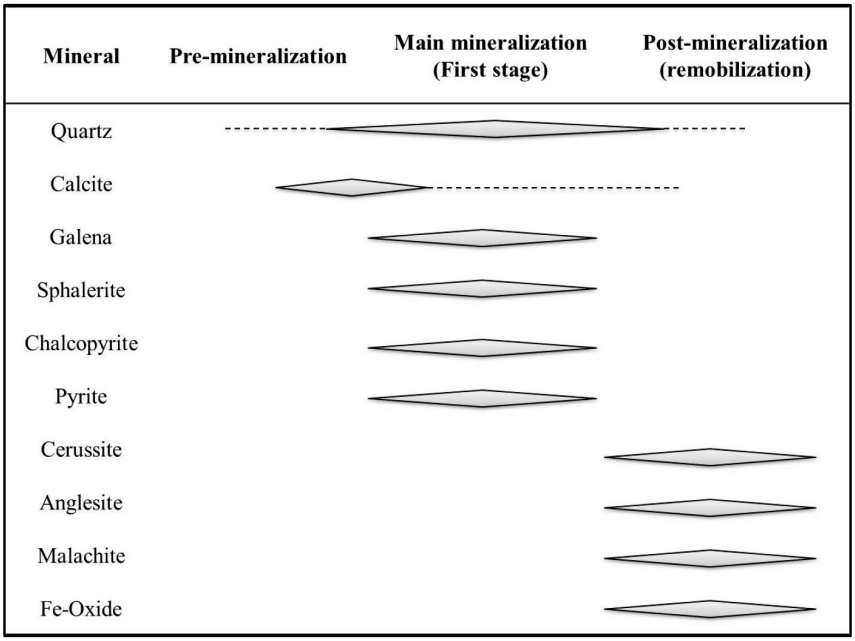
Archive of SID



شـــکل ۳. مقاطع نازک و صیقلی از ســـنگ میزبان، کانه و رگه‌های کوارتزی در کانســـار روی و سرب گل زرد، الف) رگه کوارتزی جانشین شده در ماسه‌سنگ دگرگون‌شده که رگه فاقد کانه‌زایی است (نور XPL)، ب) کانه فلزی با بافت پرکننده فضای خالی در سنگ میزبان افق فیلیتی (نور XPL)، پ) بافت رگه‌ای کانه در امتداد رگه کوارتز جانشـــین شده در سنگ میزبان فیلیتی (نور XPL)، ت) رگه کوارتزی حاصل سلیسی شدن سنگ میزبان (نور XPL)، ث) گالن پرکننده فضای خالی در سنگ میزبان (نور انعکاسی)، ج) ادخال‌های کالکوپیریت در اسفالریت در اثر هم‌رشدی این دو کانه فلزی (نور انعکاسی)، (ماسه‌سنگ دگرگون‌شده= (Metasandstone)، کانه فلزی= (Ore)، فیلیت= (Phylite)، کوارتز= (Qtz)، گالن= (Gn)، کالکوپیریت= (Cpy)، اسفالریت= (Sph) (Whitney and Evans، 2010))

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۴. توالی پاراژنزی در کانسار سرب و روی گل زرد

مطالعات زمین‌شیمی

عناصر کمیاب

نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی عناصر کمیاب در جدول (۲) نشـــان داده‌شده است. کانسار ســـرب و روی گل زرد دارای کانه‌زایـــی نوع Zn-Pb-Cu-Ag می‌باشـــد، بدین معنی که میزان کانه‌زایی روی از ســـرب بیشتر است. سرب و روی با غلظت‌های بیشتر از ppm ۱۰۰۰۰ فاز اصلی کانه‌زایی محسوب می‌شـــود. مس نیز با میانگین غلظت ppm ۳۵۰۰ فاز فرعی کانه‌زایی است و همچنین نقره با میانگین غلظت ppm ۲۳ به‌عنوان محصول فرعی در این کانســـار مطرح می‌باشـــد. مطابق جدول (۲)، روی و ســـرب به‌عنوان عناصر کانه‌ساز اصلی در ماسه‌سنگ‌های دگرگون‌شده به مقدار قابل‌توجهی کمتر از غلظت آن‌ها در فیلیت می‌باشـــد. در واقع به‌غیر از مس، بقیه عناصر در فیلیت، غلظت بالاتری دارند، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت این عناصر پس از چرخش سیال گرمابی در رسوبات شیلی و ماسه‌سنگی، در محیط کم‌عمق دریایی ته‌نشین شـــده‌اند (Ma et al., 2004). جدول (۲) بیانگر غلظت عناصر کانه‌ســـاز در سنگ میزبان، کانه‌ها و کوارتزها می‌باشد. به نظر می‌رسد فلزات در اثر ورود سیال گرمابی به محیط رسوبات نهشته شده در محیط دریایی آبشویی شده و هم‌زمان با تبلور کوارتزها به‌صورت رگه‌ای در شـــکاف‌ها و فضاهای خالی ته‌نشین شده‌اند.

جدول۲. غلظت عناصر کمیاب (ppm) در کانسار روی و سرب گل زرد (سنگ میزبان، کانه و رگه کوارتز)

Sample	Type	Au	Ag	Cu	Zn	Pb
GI-3	Phylite	1/12	0/236	0/210	0/10000	0/10000
GO-13	Meta-sandstone	2/6	7/1	7/1416	0/513	8/585
GO-16	Sphalerite	5/118	5/23	7/97	0/10000	0/10000
GO-2	Galena	0/116	3/5	1/1834	2/68	7/2707
GO-20	Quartz	0/556	2/74	4/479	4752	0/10000
GO-6	Chalcopyrite	0/1756	0/100	0/10000	0/10000	1553

www.SID.ir

Archive of SID

عناصر نادر خاکی

عناصر نادر خاکی به علت تغییرات تدریجی در شعاع یونی و افزایش تدریجی عدد اتمی می‌توانند شاخص موثری جهت تشخیص فرآیندهای موثر در کانه‌زایی محسوب شوند (Ye et al., 2011). توزیع REEها در کانی‌های ته‌نشست شده، محصول مرکبی از تفکیک REE در حین فروشست از سنگ منبع، مهاجرت سیال به محل ته‌نشست کانی و تفکیک در حین ته‌نشست کانی می‌باشد .ماهیت تفکیک توسط شرایط فیزیکی و شیمیایی خاصی که در حین این مراحل حکم‌فرما است، تعیین می‌شود (Ehya, 2012). جهت بررسی عناصر نادر خاکی در یک کانسار می‌بایست این عناصر نسبت به یک مرجع به هنجار شوند. نتایج آنالیز زمین‌شیمی برای عناصر نادر خاکی در جدول (۳) نشان داده‌شده است. با توجه به تشابه سیالات گرمابی با ترکیبات جبه، از مقادیر کندریت که خود نشان‌دهنده ترکیب جبه اولیه می‌باشد، جهت به هنجار سازی داده‌های عناصر نادر خاکی استفاده‌شده است. با توجه به داده‌های جدول (۳) مقادیر La/Lu بزرگ‌تر از یک می‌باشد که بیان‌کننده غنی‌شدگی این کانسار از LREE است. نسبت Ce/Ce^* نشان‌دهنده آنومالی Ce می‌باشد که بی‌هنجاری مثبت در Ce بیانگر محیط اکسیدان و دریایی است (Davis et al., 1998). مقدار Ce از برون‌یابی Ce بر اساس غلظت La و Pr استفاده می‌شود، در این پژوهش به‌منظور محاسبه بی‌هنجاری Ce از فرمول $Ce/Ce^* = Ce_n/(La_n \times Pr_n)^{1/2}$ استفاده شد. مقادیر بی‌هنجاری Ce برای کانسار سرب و روی گل‌زرد در جدول (۳) نشان داده‌شده است. مطابق با داده‌های این جدول مقادیر بی‌هنجاری از ۰/۰۱ تا ۱/۱۶ متغیر هستند. عدم یکنواختی بی‌هنجاری Ce در کانسار سرب و روی گل‌زرد نشان‌دهنده تغییر شرایط فیزیکی و شیمیایی در محیط کانه‌زایی است. به این معنی که محیط کانه‌زایی صرفاً اکسیدان نبوده است و علاوه بر آب دریا، سیالات دیگری نیز در کانه‌زایی کانسار گل‌زرد نقش داشته‌اند (Jiang et al., 2006). تغییر در شرایط فیزیکی و شیمیایی محیط نهشت، سبب نوسان جذب Ce در کانه‌های سولفیدی موجود، شده است. بی‌هنجاری در عنصر Eu توسط نسبت Eu/Eu^* سنجیده می‌شود، جهت محاسبه میزان بی‌هنجاری Eu از فرمول

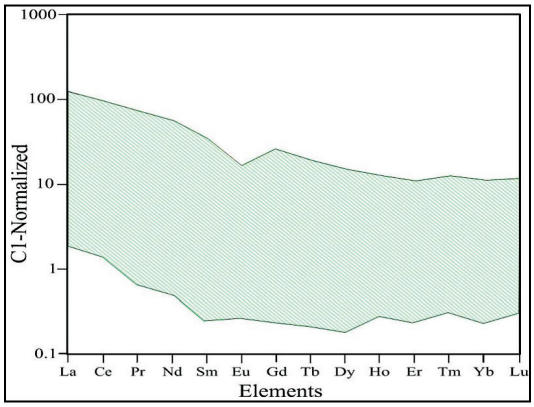
جدول ۳. غلظت عناصر نادر خاکی (ppm) در کانسار سرب و روی گل‌زرد

نمونه‌ها عناصر	GI-3	GO-13	GO-16	GO-2	GO-20	GO-24
La	۳۴/۹	۲۹/۷	۰/۶	۷/۶	۵/۰	۳/۱
Ce	۷۲/۱	۶۳/۲	۱/۱	۱۴/۴	۷/۷	۵/۵
Pr	۷/۴۹	۸/۶۸	۰/۱۲	۱/۵۲	۰/۷۹	۰/۵۳
Nd	۲۸/۸	۲۵/۸	۰/۵	۵/۹	۳/۴	۲/۰
Sm	۴/۶۶	۴/۸۰	۰/۰۸	۱/۲۶	۰/۵۱	۰/۳۲
Eu	۱/۰۲	۱/۲۲	۰/۰۲	۰/۳۵	۰/۱۸	۰/۱۰
Gd	۳/۸۵	۴/۰۹	۰/۰۷	۱/۲۲	۰/۵۶	۰/۳۸
Tb	۰/۶۱	۰/۶۶	۰/۰۱	۰/۱۵	۰/۰۷	۰/۰۵
Dy	۳/۷۶	۴/۰۰	۰/۰۶	۰/۷۹	۰/۳۹	۰/۳۰
Ho	۰/۸۱	۰/۷۳	۰/۰۲	۰/۱۷	۰/۰۹	۰/۰۷
Y	۱۹/۴۰	۲۰/۳۰	۰/۳۵	۴/۳۰	۱/۸۰	۱/۶۵
Er	۲/۱۰	۲/۲۶	۰/۰۴	۰/۴۳	۰/۱۸	۰/۱۵
Tm	۰/۲۹	۰/۳۶	۰/۰۱	۰/۰۷	۰/۰۳	۰/۰۳
Yb	۲/۲۲	۱/۸۶	۰/۰۶	۰/۴۰	۰/۱۸	۰/۱۵
Lu	۰/۳۴	۰/۳۶	۰/۰۱	۰/۰۷	۰/۰۴	۰/۰۳
la/ lu	۱/۱۶	۰/۹۳	۰/۶۸	۱/۲۳	۱/۶۱	۱/۲۵
Ce/Ce^*	۱/۰۲۸	۰/۱۸۰	۱/۱۶۱	۱/۰۱۸	۰/۸۶۳	۰/۰۰۱
Eu/Eu^*	۱/۱۳	۱/۲۹	۱/۸۸	۱/۰۶	۱/۹۴	۲/۷۵

www.SID.ir

Archive of SID

$Eu/Eu^{*}=Eu_n/(Sm_n\times Gd_n)^{2/1}$ استفاده می‌شود، آنومالی مثبت در میزان Eu نیز، نشان‌دهنده محیط کاهشی در حین کانه‌زایی است (Bonsall et al., 2011; Davis et al., 1998). از طرفی در محیط کاهشی، جذب REE در کانی‌های تهنشین شده به‌صورت مستقیم در سطح کانی و بدون حضور لیگاندهای شیمیایی صورت می‌گیرد. بی‌هنجاری مثبت Eu و محیط کاهشی، نشان‌دهنده حضور سیال گرمابی در محیط کانه‌زایی می‌باشد (Davis et al., 1998). مقادیر آنومالی Eu برای نمونه‌های کانه‌دار منطقه موردمطالعه در جدول (۳) نشان داده شده است. آنومالی Eu در کانسار گل‌زرد از بی‌هنجاری منفی با مقادیر نظیر (۰/۰۲) تا مقادیر بی‌هنجاری مثبت مانند (۱/۲۲) متغیر است. براساس این داده‌ها، اغلب نمونه‌ها دارای بی‌هنجاری مثبت در Eu می‌باشند که تایید کننده شرایط کاهشی در حین کانه‌زایی و هم‌چنین تأثیر فرآیندهای گرمابی در حین کانه‌زایی در محدوده معدنی گل‌زرد است. ضمن اینکه بی‌هنجاری‌های مثبت و منفی در عناصر Eu و Ce به‌طور هم‌زمان می‌تواند بیانگر حضور هم‌زمان دو نوع سیال کانه‌زا باشد (Ma et al., 2004). شکل (۵) نشان‌دهنده محدوده مقادیر عناصر نادر خاکی در کانسار گل‌زرد است.



شکل ۵. الگوی پراکندگی عناصر نادر خاکی در کانسار گل‌زرد

مطالعات میان بارهای سیال

توجه به میان بارهای سیال به دام افتاده در رگه‌های گرمابی، به‌عنوان یک راه مستقیم برای اظهارنظر بیشتر نسبت به گذشته درباره ماهیت این سیالات کانی‌ساز و فرآیندهایی که به‌وسیله آن‌ها کانسارها تشکیل‌شده‌اند، تشخیص داده شد (Kesler, 2005). مطالعه انجام‌شده بر روی کوارتزهای رگه‌ای جانشین شده در سنگ میزبان صورت پذیرفته است. میان بارهای سیال به لحاظ زایشی یا بر اساس زمان به دام افتادن، به سه نوع اولیه (P)، ثانویه (S) و ثانویه دروغین (PS) تقسیم می‌شوند (Wilkinson, 2001)، میان بارهای سیال اولیه در ضمن رشد بلور به دام می‌افتند و به‌صورت مجزا، درشت در زمینه کانی شفاف پراکنده‌شده‌اند، میان بارهای سیال ثانویه در ارتباط با شکستگی‌های ایجادشده در کانی می‌باشند، بنابراین در محل شکستگی‌ها به‌صورت خطی قرار می‌گیرند و میان بارهای ثانویه دروغین ضمن تبلور بخش‌های خارجی بلور به مرکز آن راه می‌یابند و کاملاً ریز و خطی هستند (Pirajno, 2009 ;Wilkinson, 2001).

پتروگرافی میان بارهای سیال

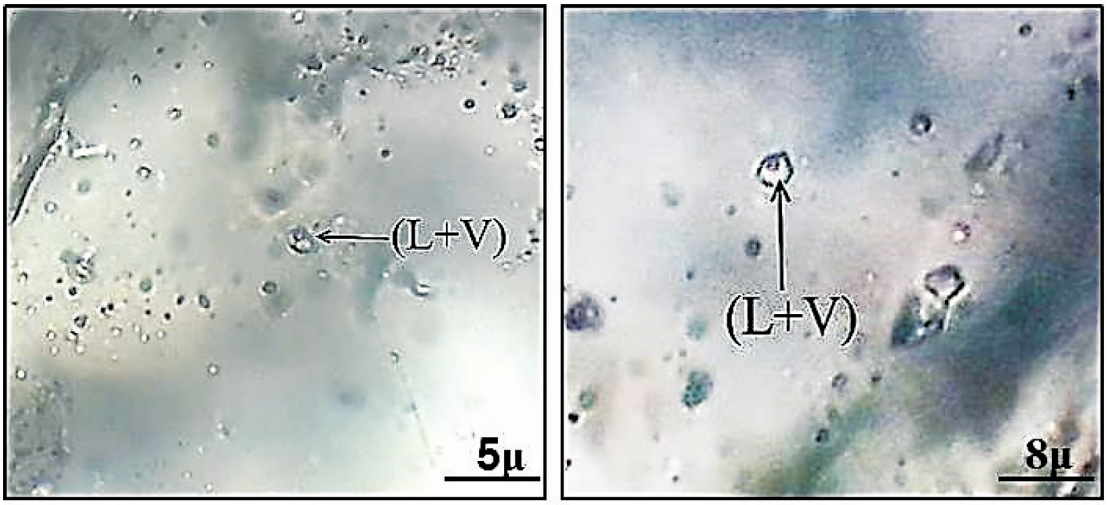
با توجه به تقسیم‌بندی انواع میان بارهای سیال به لحاظ زایشی یا بر اساس زمان به دام افتادن، پراکندگی میان بارهای سیال در بلورهای کوارتز موردمطالعه بسیار مشهود است، بنابراین میان بارهای سیال در کانسار روی و سرب گل زرد از نوع اولیه (P) می‌باشند. میان بارهای سیال کوارتزهای کانه‌دار (عمدتاً گالن) و بدون کانه موردمطالعه‌ی میکروسکوپی قرار گرفتند، طبق بررسی‌های پتروگرافی این میان بارها از نوع دوفازی مایع□بخار می‌باشند که در طی عمل گرمایش به فاز مایع همگن‌شده‌اند. میان بارهای سیال اغلب دارای شکل منظم بیضوی می‌باشند و اندازه‌ی آن‌ها به‌طور متوسط بین ۲-۷ میکرومتر می‌باشد (شکل ۶). شکل سیالات درگیر تا حدودی به‌وسیله ساختمان بلوری کانسنگ میزبان کنترل می‌شود. سیالات درگیر ممکن است، شکل کامل بلور منفی را به خود بگیرند و یا کاملاً شکل نامنظم داشته باشند (Shelton and McMenamy, 2004).

میکروترمومتری میان بارهای سیال

مطالعات سیالات درگیر جهت درک عمیق‌تر روند تکاملی سیال کانه‌دار و تعیین عوامل فیزیکی و شیمیایی، به‌خصوص فشار و دما (P-T) در کانسار گل‌زرد مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج به‌دست‌آمده در جدول (۴) ارائه‌شده است. TH دمای همگن‌شدگی سیال کانه‌ساز است که در منطقه

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۶. میان بارهای سیال در کانی کوارتز، میان بارهای دوفازی غنی از مایع

موردمطالعه بین ۱۳۹ تا ۱۹۹/۵ درجه سانتی گراد می‌باشد. از آن‌جا که تصحیح فشار بر روی دماهای به‌دست‌آمده صورت نگرفته اســت، این دماها می‌توانند در حکم دمای تشکیل کانی باشــند (Wilkinson، 2001). TLM نیز دمای ذوب آخرین قطعه یخ اســت که در کانسار گل زرد دامنه تغییرات ۳- تا ۱۰/۵- درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهد (جدول ۴).

با توجه به T_{LM}، میزان شوری با استفاده از فرمول Bodnar and Vityk (1994) قابل‌محاسبه است.

$$wt\%equ.NaCl=1.76958\theta-4.2384\times10^{-2}\,\theta^{2}+5.2778\times10^{-4}\,\theta^{3}+0.028$$

در فرمول بالا θ برابر اســت با درجه حرارت ذوب آخرین قطعه یخ برحسب درجه سانتی‌گراد.

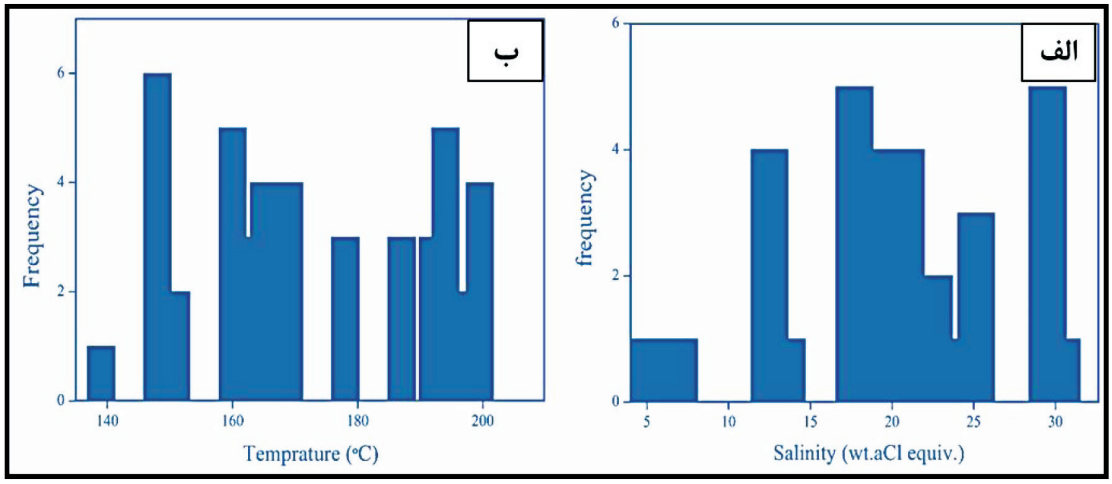
جدول ۴. داده‌های میان بارهای سیال کانسار روی و سرب گل زرد، دمای ذوب آخرین قطعه یخ (TLM)، دمای همگن شدن (TH) و میزان شوری (wt٪.equ.NaCl)

نمونه	کانی	تعداد	اندازه (µm)	نوع همگن‌شدگی میانبار سیال	TLM (°C)	TH (°C)	شوری (wt ٪.NaCl equiv)
GO-4	Quartz	4	7	L+V→L	-۱۰/۵	۱۶۵	۱۸/۵۸
GO-4	Quartz	2	7	L+V→L	-۱۳	۱۵۱	۲۲/۵۵
GO-4	Quartz	5	10	L+V→L	-۱۰/۲	۱۴۸	۱۷/۷۱
GO-4	Quartz	2	10	L+V→L	-	۱۶۴	-
GO-4	Quartz	3	5	L+V→L	-	۱۴۵	-
GI-2	Quartz	2	10	L+V→L	-۱۰/۵	۱۹۴	۱۸/۲۲
GI-2	Quartz	1	10	L+V→L	-۷/۸	۱۹۹	۱۳/۵۴
GI-2	Quartz	3	10	L+V→L	-	۱۷۸/۵	-
GI-2	Quartz	3	5	L+V→L	-	۱۹۷	-
GI-2	Quartz	4	5	L+V→L	-۷/۲	۱۹۹/۵	۱۲/۵
GI-2	Quartz	2	7	L+V→L	-	۱۹۲	-
GO-2	Quartz	3	10	L+V→L	-۱۷	۱۶۴	۲۹/۵۱
GO-2	Quartz	1	10	L+V→L	-۱۶	۱۶۰	۱۷/۷۸
GO-2	Quartz	1	10	L+V→L	-۳	۱۴۸	۵/۲۱
GO-2	Quartz	4	8	L+V→L	-	۱۶۰	-
GO-2	Quartz	3	8	L+V→L	-۱۷	۱۶۳	۲۰/۵۱
GO-2	Quartz	1	5	L+V→L	-۱۷/۵	۱۶۵	۳۰/۳۸
GI-3	Quartz	1	7	L+V→L	-۱۴/۲	۱۹۸	۲۴/۷
GI-3	Quartz	4	8	L+V→L	-۱۲	۱۶۹	۲۰/۳۸
GI-3	Quartz	1	10	L+V→L	-۴	۱۳۹	۶/۹۵
GI-3	Quartz	4	10	L+V→L	-	۱۶۸	-
GI-3	Quartz	3	5	L+V→L	-۱۴/۵	۱۸۷	۲۵/۱۲

www.SID.ir

Archive of SID

شوری و درجه حرارت از مهم‌ترین ویژگی‌های یک سیال هستند که سبب ایجاد تمایز بین سیالات مختلف کانه‌زا می‌باشد (Kesler، 2005). بدین‌صورت شوری به‌دست‌آمده برای نمونه‌های موردمطالعه در کانسار روی و سرب گل‌زرد محدوده‌ای بین (wt%equ.NaCl) ۵/۲۱ تا ۳۰/۳۸ و به‌طور میانگین (wt%equ.NaCl) ۱۷/۸ را به خود اختصاص می‌دهد. باوجوداینکه به لحاظ آماری تعداد میان بارهای سیال مطالعه شده کم است، اما در نمودار شوری معادل نمونه‌ها سه قله فراوانی در ۱۱، ۱۷ و ۲۹ درصد وزنی دیده می‌شود، بنابراین سیالی با شوری کم تا متوسط و سیالی با شوری بالا، قابل‌تشخیص است (شکل ۷).



شکل ۷. نمودار فراوانی میان بارهای سیال. الف) میزان شوری برحسب درصد وزنی معادل NaCl، ب) دمای همگن شدن TH

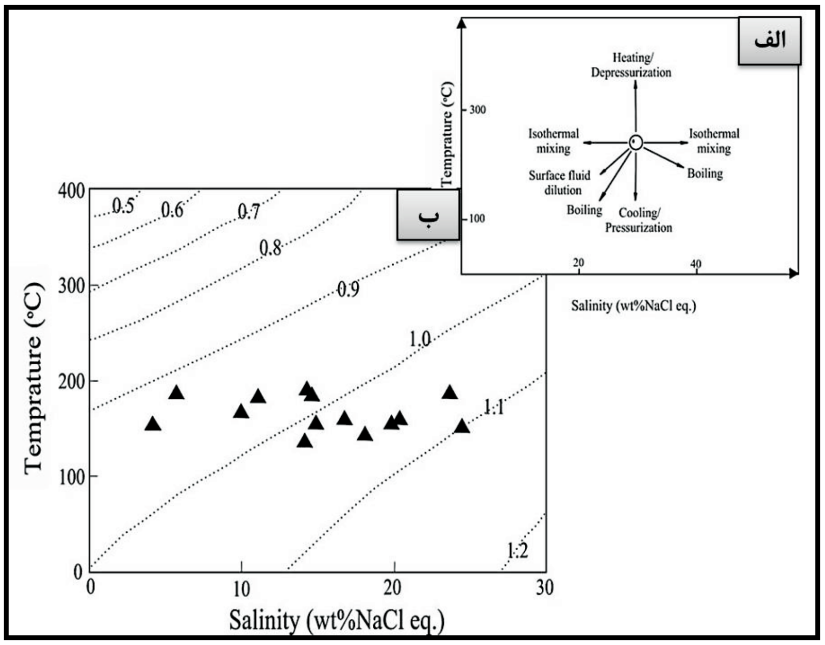
به باور Wilkinson (2001) می‌توان با ترکیب شوری و دمای همگن‌شدگی، چگالی سیال را به‌دست آورد. بدین منظور نمودار شوری-دمای همگن‌شدگی برای داده‌های میانبار سیال ترسیم گردید و چگالی میان‌بارهای سیال بین ۰/۹ تا ۱/۱ تعیین شد (شکل ۸-الف). نمودار Wilkinson (2001)، تغییرات چگالی در ارتباط با سیر تحول سیال کانسنگ‌ساز را نشان می‌دهد. روند تکامل سیال گرمابی در کانسار روی و سرب گل زرد در محدوده اختلاط هم‌دما[1] قرار می‌گیرد (۸-ب). شوری کم سیال نیز بیان‌کننده اختلاط سیال کانه‌ساز با سیالات دیگر ازجمله آب‌های جوی و آب دریا می‌باشد (Kelley et al.، 2004). مشخصات کانی‌شناسی و بافتی، مانند رگه‌های جانشینی و کانه‌زایی رگه‌ای بیانگر حضور سامانه گرمابی در منطقه است (Bouabdellah et al.، 2009). بنابراین اختلاط سیالات امری بدیهی است زیرا یک سامانه گرمابی با دمای بین ۵۰۰-۵۰°C مخلوطی از چند منبع سیال مختلف است که از میان همه این منابع، سیالات و آب‌های جوی محتمل‌تر می‌باشند. ازآنجاکه شوری سیال پایین است، سیال گرمابی با سیالی مخلوط شده است که چگالی آن کمتر از چگالی آب دریا می‌باشد (Canet et al.، 2003). داده‌های میانبار سیال به‌دست‌آمده از گستره معدنی گل زرد مخلوط شدن دو نوع سیال مختلف شامل سیالات ماگمایی با آب دریا یا آب‌های جوی است. دمای همگن‌شدن در کانسار گل زرد طیف وسیعی را به خود اختصاص نداده است، بنابراین وجود نسل‌های مختلف سیال محتمل نمی‌باشد (Orgun et al.، 2005). عدم هم‌زیستی دو فاز سیال (غنی از H_2O و غنی از CO_2) حاکی از عدم جوشش سیال در حین کانه‌زایی است (Canet et al.، 2003). خروج سیال گرمابی از درون معابر تغذیه‌کننده و ورود آن به محیطی دریایی که احتمالاً مخلوطی از آب دریا و سیالات جوی است، سرد شدن سیال گرمابی را به همراه دارد و مانع جوشش سیال کانه‌زا می‌شود (Bouabdellah et al.، 2009). از میان انواع مختلف کانسارهای روی و سرب فقط نوع VMS در اثر جوشش سیال به وجود می‌آید (Canet et al.، 2003). خروج سیال گرمابی از کانال‌های عبوری و ورود به محیطی

1. Isothermal mixing

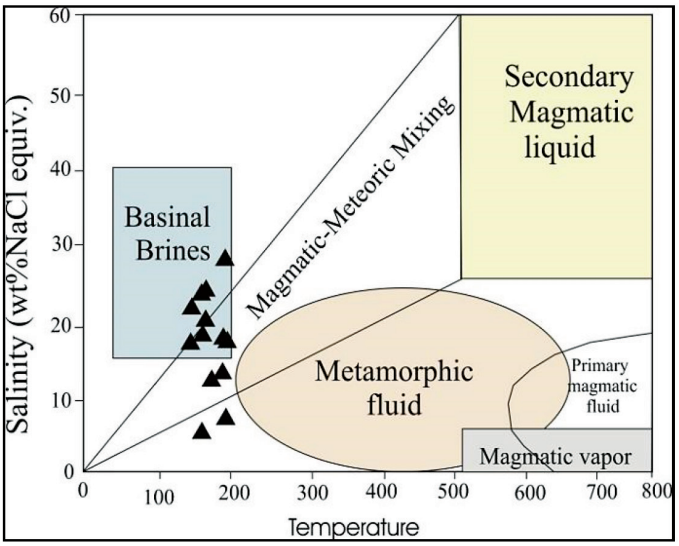
www.SID.ir

Archive of SID

دریایی باعث تشکیل کانسارهای روی و سرب رسوبی-بروندمی (SEDEX) می‌شـــود که بر اثر متصاعد شـــدن سیال گرمابی در حوضه‌های کافتی[1] روی می‌دهد (Pirajno، 2009). میان بارهای ســـیال به‌دست‌آمده از کانسار روی و سرب گل زرد، در گستره کانسارهای رسوبی-بروندمی قرار دارد شکل (۹). شواهد نشان‌دهنده ورود سیال گرمابی سبک (چگالی کم) و با شوری پایین در عمق ۲۰۰ متری (شکل۱۰-الف) و فشار کمتر از bar ۵۰ (شکل ۱۰-ب) در محیط دریایی می‌باشد که سبب شست‌وشوی عناصر کانه‌ســـاز از رسوبات تریاس بالایی-ژوراسیک شده و در نهایت در اثر عملکرد کمپلکس‌های آنیونی ته‌نشســـت فلزات صورت گرفته است (باقری و همکاران، ۱۳۹۰).



شکل ۸. الف) روند تکاملی سیال. ب) چگالی سیال در کانسار روی و سرب گل زرد (برگرفته از Wilkinson، 2001)

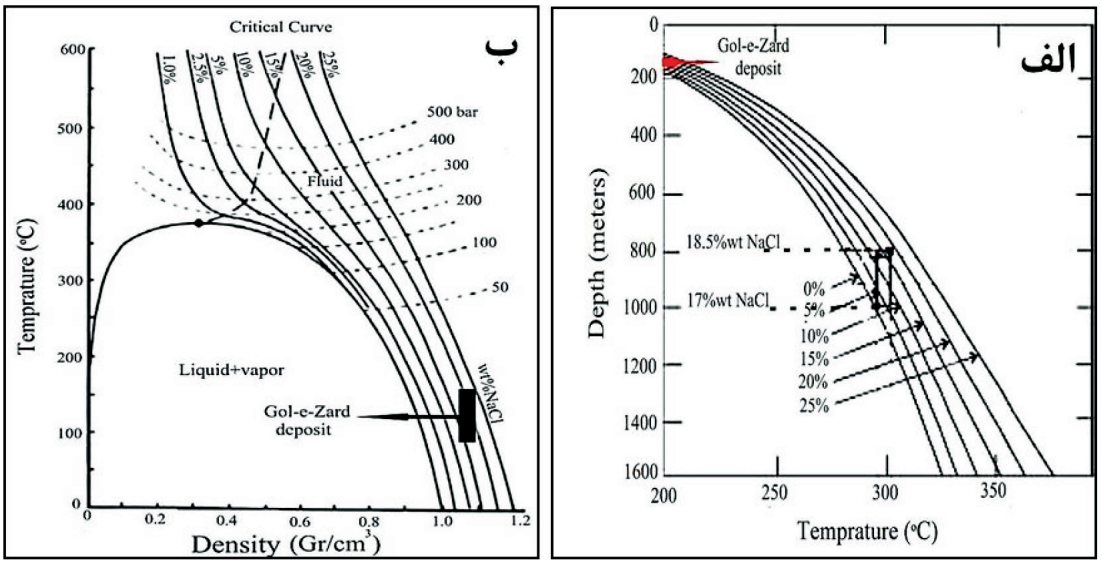


شکل ۹. نمودار دمای همگن شدن (°C) در مقابل شوری (wt/.equ.NaCl) برای کوارتزهای رگه‌های مختلف در کانسار گل زرد که نشان‌دهنده انواع سیالات مختلف است (Orgun et al.، 2005)

1. Rifting

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۰. الف) تعیین عمق کانه‌زایی در کانسار روی و سرب گل زرد (Orgun et al., 2005)، ب) تعیین فشار کانه‌زایی در کانسار روی و سرب گل زرد (Wilkinson, 2001)

مقایسه کانسار گل زرد با سایر کانسارهای سرب و روی

کانسارهای روی و سرب رسوبی به سه گروه عمده نوع دره می‌سی‌سی‌پی (MVT)، رسوبی-بروندمی (SEDEX) و نوع سنگ میزبان ماسه‌سنگی (SST) تقسیم می‌شوند (Leach et al., 2010). جدول (۵) تفاوت‌های عمده میان این کانسارها را با محوریت ویژگی‌های سیال کانه‌ساز نشان می‌دهد. هم‌چنین داده‌های میانبارسیال حاصل از کانسار روی و سرب گل زرد با انواع دیگر کانسارهای روی و سرب مقایسه شده است. براساس این مقایسه، در کانسار گل زرد شوری سیالات کانه‌ساز مشخصاً از نوع MVT تیپ انگوران[1]، کمتر می‌باشد. محدوده دمایی کانسار گل زرد از سایر کانسارهای مقایسه شده کمتر است که مربوط به اختلاط سیالات است. ویژگی سیال کانه‌دار در کانسار گل زرد تا حدودی شبیه به کانساری[2] در چین می‌باشد (He et al., 2009) که جز کانسارهای دارای سنگ میزبان رسوبی است. داده‌های ارائه‌شده در جدول (۵) مقایسه بین کانسار سرب و روی گل زرد با انواع مختلف کانسارهای سرب و روی را نشان می‌دهد. بر اساس این مقایسه، کانسار روی و سرب گل زرد بیشترین شباهت را به کانسارهای نوع SEDEX دارد. شکل (۱۱) بیانگر محدوده دما و شوری در کانسارهای مختلف و مقایسه آن‌ها با ویژگی‌های سیال کانه‌ساز کانسار گل زرد می‌باشد، این شکل نیز تایید می‌کند که SEDEX محتمل‌ترین نوع کانه‌زایی در کانسار سرب و روی گل زرد است. همچنین بررسی ویژگی‌های میان بارهای سیال در کانسار گل‌زرد بیان می‌کند که خصوصیات همه میان‌بارهای سیال مشابه هم هستند. از آن‌جا که روند پراکندگی عناصر نادر خاکی در منطقه بی‌هنجاری مثبت در Eu و بی‌هنجاری‌های مثبت و منفی Ce را در محیط کانه‌زایی نشان می‌دهد، لذا وجود محیط‌های اکسیداسیون و کاهشی در منطقه در حین کانه‌زایی، محتمل است (Ehya, 2012). کاهشی بودن از ویژگی‌های سیال گرمابی و اکسیدان بودن ویژگی آب دریا است (Davis et al., 1998). با توجه به آن چه ذکر شد، بی‌هنجاری Ce نشان‌دهنده حضور آب دریا در محیط کانه‌زایی است و پس از آن بی‌هنجاری Eu بیان‌کننده وجود فرآیندهای گرمابی در حین کانه‌زایی است. بنابراین می‌توان گفت، سیال گرمابی ابتدا به محیط دریایی واردشده و پس از مخلوط شدن با آب دریا، از میان خلل و فرج رسوبات نهشته شده در دریا حرکت کرده است. این

1. Anguran
2. Palatue tibetan

www.SID.ir

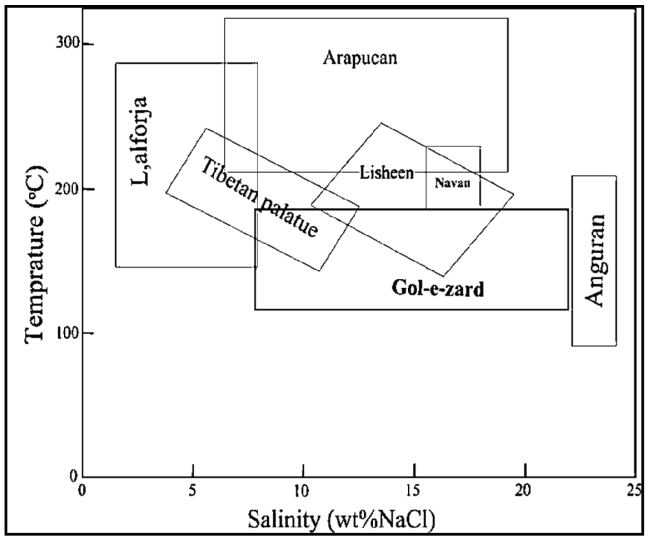
Archive of SID

امر کانه‌زایی هم‌زمان با رسوب‌گذاری در محیط دریایی را به همراه داشته است (Ma et al., 2004). Pirajno (2009) پدیده اختلاط را در تشـــکیل کانســـار بسیار مهم می‌داند، زیرا ســـیال حاوی فلز و سیال حاوی سولفید (درصورتی‌که کانه‌زایی سولفیدی باشد) به‌صورت جداگانه حمل شده و پس از اختلاط، ترکیبات فلزی ته‌نشین می‌شوند. عناصرکانه‌ساز (فلزات)، به‌صـــورت کاتیونی هســـتند و جهت حمل‌ونقل بـــه کمپلکس‌های آنیونـــی نیاز دارنـــد (Kesler، 2005). این کمپلکس‌ها، کلریدی یا ســـولفیدی می‌باشند (باقری و همکاران، ۱۳۹۰)، که کمپلکس‌های ســـولفیدی آنیون‌های غالب در حمل و نهشت عناصر کانه‌ساز کانسار روی و سرب گل زرد هستند (Pirajno، 2009). شکل (۱۱) نشان‌دهنده اختلاط ســـیالات ماگمایی، جوی و شوراب‌های حوضه‌ای می‌باشد.

جدول ۵. ویژگی‌های مختلف کانسارهای روی و سرب رسوبی و مقایسه آن‌ها با کانسار گل زرد

نوع کانسار		نوع دره می‌سی سی پی (MVT)	رسوبی-بروندمی (SEDEX)	نوع سنگ میزبان ماسه‌سنگی (SST)	کانسار گل زرد
جایگاه تکتونیکی		سکانس‌های کربناته در حوضه‌های رسوبی درون‌قاره‌ای	حاشیه کافت‌های قاره‌ای	تکتونیک پایدار (محیط درون‌قاره‌ای)	زون دگرگونی سنندج-سیرجان
سنگ میزبان		سنگ‌های کربناتی و دولومیتی	شیل‌های کربناته، مارن و آرنایت	ماسه‌سنگ غنی از کوارتز	فیلیت و اسلیت (افق اصلی کانه‌زایی)
کانه‌زایی غالب		Pb، Zn و فقیر از Cu	Pb، Zn و غنی از Cu	Pb، Zn (Pb>Zn)	Pb، Zn (Zn>Pb) مقادیر قابل‌توجه Cu
بافت و ساخت کانه‌زایی		رگه‌ای و توده‌ای اندازه متغیر دانه‌ها	سولفیدهای با لامیناسیون باریک	انتشاری	سولفیدهای رگه‌ای باریک در امتداد کوارتزهای رگه‌ای
ویژگی میانبار سیال	درجه حرارت (°C)	۵۰-۲۰۰ °C (میانگین ۱۲۰)	۵۰-۲۰۰ °C	بیش از ۳۵۰ °C	میانگین ۱۸۰ °C
	شوری (wt٪.equ.NaCl)	۱۰-۳۰ (wt٪.equ.NaCl)	۱۰-۳۰ (wt٪.equ.NaCl)	---	۲۳ (wt٪.equ.NaCl)
نوع سیال		شورآبه‌های رسوبی	سیالات گرمابی واردشده در محیط دریایی	آب‌های دریایی کم‌عمق	سیال گرمابی

داده‌های جدول فوق بر اساس شهاب‌پور (۱۳۸۵)،Leach et al (2010)، He et al (2009)، زمانیان و اسداللهی (۱۳۸۹) به‌دست‌آمده است



شـــکل ۱۱. مقایســـه داده‌های میانبار سیال کانسار روی و سرب گل زرد با انواع مختلف کانســـارهای روی و سرب، Arapucan نهشته گرمابی (Orgun et al., 2005)، Lisheen نوع دره می‌سی‌سی‌پی و Navan نوع ایرلندی، بر اساس (Wilkinson، 2001)، L،alforja نهشته گرمابی با سنگ میزبان رسوبی (Canet et al., 2003) و Tibetan Plateu نوع سنگ میزبان رسوبی (He et al., 2009)

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری

۱. مشاهدات صحرایی ساختار چینه‌کران برای کانه‌زایی و وابستگی کانه‌زایی به رگه‌های کوارتزی را نشان می‌دهد. همچنین کانه‌زایی در امتداد گسل و شکستگی‌ها نیز قابل‌مشاهده است.

۲. دو افق کانه‌زایی فیلیتی و ماسه‌سنگی در کانسار موردمطالعه رویت شد که افق ماسه‌سنگی عمدتاً فاقد کانه‌زایی چشمگیر است.

۳. ساختار رگه‌ای کانه‌ها در امتداد رگه‌های کوارتزی و بافت شکافه‌پرکن در کانی‌های فلزی کانسار روی و سرب گل زرد بیانگر عبور سیال گرمابی از میان رسوبات و جای گذاری کانه‌ها بوده است.

۴. در مطالعات کانی‌شناسی، بافت دانه پراکنده اسفالریت قابل‌مشاهده است که بیانگر محیط کانه‌زایی رسوبی و کانه‌زایی هم‌زمان زایش در کانسار موردمطالعه می‌باشد. همچنین بافت‌های رگه‌ای در کانی کوارتز و کانه‌های فلزی نشان‌دهنده کانه‌زایی پس از زایش است.

۵. آنالیز زمین‌شیمیایی انجام‌شده، نشان‌دهنده بالاتر بودن میزان عنصر روی نسبت به سرب است و همچنین عنصر مس به‌عنوان فاز فرعی کانه‌زایی شناخته می‌شود.

۶. شواهدی همچون غنی‌شدگی از LREE و بی‌هنجاری‌های مثبت Eu نشان‌دهنده‌ی محیط کاهشی در حین کانه‌زایی است. بی‌هنجاری Ce در برخی از نمونه‌ها دلالت بر محیط اکسیدان و نوسان جذب Ce در حین کانه‌زایی در کانی‌های سازنده است.

۷. دمای پایین سیال کانه دار به دلیل وارد شدن به محیط دریایی و اختلاط با آب دریا می‌باشد. این سیال با عبور از میان رسوبات نهشته شده دارای روی و سرب، سبب ته‌نهشت این عناصر و تشکیل کانسار شده است.

۸. ساختار چینه‌کران، شواهد بافتی، مطالعات زمین‌شیمیایی و سیال‌درگیر همگی بیان‌کننده این هستند که کانسار سرب و روی گل زرد از نوع SEDEX می‌باشد.

۹. مطالعات میانبارسیال دمای همگن‌شدن سیال را میانگین ۱۶۹/۳ °C و شوری ۱۷/۸ wt%.equ.NaCl تخمین زده است، این داده‌ها بیانگر اختلاط سیالات در محیط کانه‌زایی (دریایی) و هم‌چنین بیانگر گستره کانه‌زایی رسوبی-بروندمی برای کانسار گل زرد هستند.

۱۰. کمپلکس‌های سولفیدی آنیون‌های غالب در حمل فلزات در کانسار روی و سرب گل زرد می‌باشند.

۱۱. ورود سیال گرمابی به محیط دریایی و اختلاط با آب دریا، سبب کاهش دمای آن شده، سپس با عبور از میان رسوبات نهشته شده حاوی روی و سرب، ته‌نهشت این عناصر و تشکیل کانسار صورت گرفته است.

منابع

- احیا، ف.، ۱۳۸۸. ژئوشیمی و منشا کانسارهای روی و سرب عمارت و باباقله، جنوب اراک. پایان‌نامه دکتری. دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران. ۱۷۸.
- باقری، ه.، پاکزاد، ح. و تیموری اصل، ف.، ۱۳۹۰. بررسی منشاء فلزات و سیالات کانه زا در کانسار سرب و روی ایرانکوه. پژوهش‌های چینه نگاری و رسوب‌شناسی، ۴۴، ۸۳-۱۰۲.
- زمانیان، ح. و اسداللهی، ب.، ۱۳۸۹. ذخایر صفحه‌ای و تکتونیک فلزی. جلد اول. انتشارات دانشگاه لرستان. خرم‌آباد.
- سهیلی، م.، جعفری م. و عبداللهی م.، ۱۳۷۱. نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ ناحیه الیگودرز. سازمان زمین‌شناسی ایران.
- شهاب پور، ج.، ۱۳۸۵. زمین‌شناسی اقتصادی. انتشارات شهید باهنر کرمان. کرمان. ۵۳۰.
- فرهادی نژاد، ط.، ۱۳۷۷. زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و ژنز کانسار روی و سرب گل زرد شمال الیگودرز. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت مدرس تهران. ۱۴۰.
- قربانی، م.، ۱۳۸۱. زمین‌شناسی اقتصادی، انتشارات آرین، ۵۵۰.
- Alavi, M., 1994. Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: newdata and interpretations. Tectonophysics, 229 (x), 211-238.
- Alavi, M., 2004. Regional stratigraphy of

www.SID.ir

Archive of SID

the Zagros fold-thrust belt of Iran and its pro foreland evolution. American Journal of Science, 304, 1-20.

- Alavi, M., 2007. Structure of the Zagros Fold-Thrust Belt in Iran. American Journal of Science, 307, 1064-1095.

- Ansdel, M.K., Nesbit, E.B. and Longstaff J.F., 1989. A Fluid Inclusion and Stable Isotope Study of the Tom Ba-Pb-Zn Deposit, Yukon Territory, Canada. Economic Geology, 84, 841-856.

- Bodnar, R. j. and Vityk, M.O., 1994. Interpretation of micro thermometric data for H2O-NaCl fluid inclusions. In fluid inclusions in Minerals, Methods and Applications. Virginia Technology Blacksburg.

- Bonsall, T. A., Spry, P. G., Voudouris, P., S. Seymour, K., Tombros, S. and Melfos, V., 2011. the geochemistry of carbonate-replacement Pb-Zn-Ag mineralization in the Lavrion district, Attica, Greece: Fluid inclusion, stable isotope, and rare earth element studies, Economic Geology, 106, 619-651.

- Bouabdellah, M., Beaudoin, G., Leach, D., Grandia, F. and Cardellach, E., 2009. Genesis of the Assif El Mal Zn-Pb (Cu, Ag) vein deposit. An extension-related Mesozoic vein system in the High Atlas of Morocco. Structural, mineralogical, and geochemical evidence. Mineral Deposita, 44, 689-704.

- Canet, C., Alfonso, P., Melgarejo, J.C. and Fallick, A.E. 2003. Origin of the mineralizing fluids from the Carboniferous sedex deposits of L'Alforja (SW Catalonian Coastal Ranges, Spain. Journal of Geochemical Exploration, 79, 513-517.

- Davis, J.F., Prevec, S.A., Whitehead, R.E. and Jackson, S.E., 1998. Variations in REE and Sr-isotope chemistry of carbonate gangue, Castellanos Zn-Pb deposit Cuba, Chemical Geology, 144, 99-119.

- Davoudian, A.R., Genser, J., Dachs, E. and Shabanian, N., 2008. Petrology of eclogites from northof Shahrekord, Sanandaj-Sirjan Zone, Iran. Mineralogy and Petrology, 92, 393-413.

- Ehya, F., 2012, Variation of mineralizing fluids and fractionation of REE during the emplacement of the vein-type fluorite deposit at Bozijan, Markazi Province, Iran. Journal of Geochemical Exploration, 112, 93-106.

- Esna-Ashari, A., Tiepolo, M., Vlizade, M.V. and Hassanzadeh, J., 2012. Geochemistry and Zircon U-Pb geochronology of Aligudarz granitoid complex, Snandaj-Sirjan Zone, Iran. Journal of Asian Earth Siences, 43, 11-22.

- He, L., Song, Y., Chen, K., Hou, Z., Yu, F., Yang, Z., Wei, J., Li, Z. and Liu, Y., 2009. Thrust-controlled, sediment-hosted, Himalayan Zn-Pb-Cu-Ag deposits in the Lanping foreland fold belt, eastern margin of Tibetan Plateau. Ore Geology Reviews, 36, 106-132.

- Jiang, S.Y., Chen, Q.Y., Ling, H.F., Yang, J.H., Feng, H.Z. and Ni, P., 2006. Trace and rare earth element geochemistry and Pb-Pb dating of black shales and intercalated Ni-Mo-PGE-Au sulfide ores in Lower Cambrian strata, Yangtze Platform, South China, Mineral Deposita, 41, 453-467.

- Kelley, K., Dumoulin, J.A. and Jennings S., 2004. The Anarraaq Zn-Pb-Ag and Barite Deposit, Northern Alaska: Evidence for Replacement of Carbonate by Barite and Sulfides. Economic Geology, 99, 1577-1591.

- Kesler, E.S., 2005. Ore-Forming Fluids. Elements, 1, 13-18.

- Leach, D.L., Bradely, D.C., Hutson, D.,

www.SID.ir

Archive of SID

Pisarevsky, S.A., Taylor, R.D. and Gardoll, S.J., 2010. Sediment-Hosted Lead-Zinc Deposits in Earth History, Economic Geology, 105, 593-625.

- Ma, G., Beaudoin, G., Qi, S. and Li, Y., 2004. Geology and geochemistry of the Changba SEDEX Pb-Zn deposit, Qinling orogenic belt, China. Mineralium Deposita, 39, 380-395.

- Mohajjel, M., Fergusson, C.L. and Sahandi, M.R., 2003. Cretaceous-Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj-Sirjan Zone, western Iran. Journal of Asian Earth Sciences, 21, 397-412.

- Orgun, Y., Gultekin, A.H. and Onal, A., 2005. Geology, mineralogy and fluid inclusion data from the Arapucan Pb-Zn-Cu-Ag deposit, Canakkale, Turkey. Journal of Asian Earth Sciences, 25, 629-642.

- Pirajno, F., 2009. Hydrothermal processes and mineral systems. Springer. New York. 1273.

- Roedder, E., 1979a. "Fluid inclusions as samples of ore fluids" In H.L. Barenes (ed.) Geochemistry of Hydrothrmal Ore Deposits. 2nd edn. Widley Inrerscience. New York. 684-738.

- Shelton, L.K. and McMenamy, A.T., 2004. "Deciphering the complex fluid history of a greenstone-hosted gold deposits: fluid inclusion and stable isotope studies of the giant mine", Yellowknife, Northwest Territories. Canada, Economic Geology, 99, 1643-1663.

- Whitney, D.L. and Evans, B.W., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. American Mineralogist, 95,1, 185-187.

- Wilkinson, J.J., 2001. Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits. Lithos, 55, 229-272.

- Ye, L., Cook, N.J., Ciobanu, C.L., Yuping, L., Qian, Z., Tiegeng, L., Wei, G., Yulong, Y. and Danyushevskiy, L., 2011. Trace and minor elements in sphalerite from base metal deposits in South China: A LA-ICPMS study, Ore Geology Reviews, 39, 188-217.

- Zarasvandi, A., Charchi, A., Carranza, E.J.M. and Alizadeh, B., 2008. Karst bauxite occurrence in the Zagros Mountain Belt, Iran, Ore Geology Reviews, 34, 521-532.

www.SID.ir