

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

علیرضا زراسوندی^(*)، 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 گل‌زرد 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 کالکوپریت است که عمدتاً در امتداد رگه‌های کوارتزی قرار گرفته‌اند. دوافق کانه‌زا، فیلیت‌های با کانه‌زایی بالا و ماسه‌سنگ‌های دگرگون‌شده با کانه‌زایی اندک می‌باشند. مطالعات کانی‌شناسی نشان می‌دهد که گالن، اسفالریت و کالکوپریت کانه‌های فلزی و کوارتز نیز مهم‌ترین کانی باطله در کانسار مورد مطالعه می‌باشد. شواهد نشان می‌دهد کانه‌زایی در کانسار گل‌زرد، 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 کانه‌زا علاوه تعیین منشا سیال کانه‌ساز در کانسار گل‌زرد می‌باشد. غنی‌شدگی LREE، (La/Lu میانگین ۴/۸) و بی‌هنجاری مثبت Eu (میانگین ۱/۶۷) شرایط کاهشی و سیال گرمایی را نشان می‌دهد. داده‌های میان‌بار سیال دمای همگن‌شدگی °C ۱۹۹/۵-۱۳۹، شوری (wt%/equ. NaCl) ۳۸/۳۰-۵/۲۱ و چگالی (gr/cm³) 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 گرمایی با آب دریا و همچنین آب جوی می‌باشد. می‌توان گفت، خروج سیال گرمایی از عمق، ورود به محیط دریایی و کاهش دما در اثر اختلاط با آب دریا، بالآمدن 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 گل‌زرد، کانه‌زایی چینه‌کران، میان‌بارهای سیال.

مقدمه

گسل‌ها، شکستگی‌ها و سنگ‌های متخلخل به شمار می‌آیند. محلول در مسیر حرکت، عناصر دارای ارزش اقتصادی را از سنگ‌های اطراف شسته و پس از حمل، در مکان مناسب

کانسارها به‌عنوان بی‌هنجاری‌های غیرمعمول در سطح زمین واضح‌ترین شواهد مسیر حرکت محلول از طریق

* نویسنده مرتبط: Zarasvandi_a@scu.ac.ir

اصفهان شناخته شده‌اند که از دیدگاه زایشی، دارای منشأ نوع سدکس در بخش باختری این کمربند و نوع دره می‌سی سی پی بیشتر در بخش خاوری هستند (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 به صورت رگه‌های و عدسی‌های هم‌شیب با لایه‌بندی و در امتداد رگه‌های کوارتزی جانشین شده، صورت پذیرفته است. کانه‌زایی در این کانسار اغلب به صورت رگه‌ای، پرکننده فضای خالی در امتداد برخی گسل‌ها و درزه‌های کششی و هم‌چنین عدسی‌ها و دانه‌های پراکنده می‌باشد. با توجه به رخداد بخش عمده کانه‌زایی به خصوص گالن در امتداد رگه‌های کوارتزی، می‌توان گفت کانه‌زایی در این کانسار وابستگی شدیدی به رگه‌های کوارتزی دارد. همچنین، ساختار چینه‌کران در منطقه مورد مطالعه منعکس‌کننده‌ی هم‌زمان زاد بودن کانه‌زایی با سنگ میزبان است و ساختارهایی نظیر کانه‌زایی رگه‌ای در امتداد رگه‌های کوارتزی و نیز کانه‌زایی‌های پرکننده فضای خالی نشان‌دهنده کانه‌زایی پس از زایش (دیرزاد) در این کانسار است. به‌طور کلی، کانه‌زایی در دو افق مجزا و با اختلاف چشمگیر در میزان عناصر اصلی مشاهده می‌شود که شامل افق فیلیتی با میزان بالای روی و سرب و افق ماسه‌سنگی با مقادیر بسیار 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 سیال، در تفکیک دو افق کانه‌دار و هم‌چنین منشأ سیال گرمابی کانه‌ساز می‌باشد.

زمین‌شناسی

کوهزایی زاگرس به‌عنوان بخشی از سلسله کوه‌های آلپ-همیالیا، کمربند کوهزایی نامتقارن فعال می‌باشد که با زاویه میل دوطرفه و با طول تقریبی ۲۰۰۰ کیلومتر و عرض ۱۰۰ تا ۳۰۰ متر، مشخص می‌شود (Alavi, 1994). این کمربند کوهزایی محصول همگرایی بین صفحات اوراسیا و آفریقا-عربی می‌باشد، کوهزایی زاگرس از اواخر کرتاسه شروع، در ائوسن ادامه و در میوسن (نئوزن) برخورد صورت پذیرفته

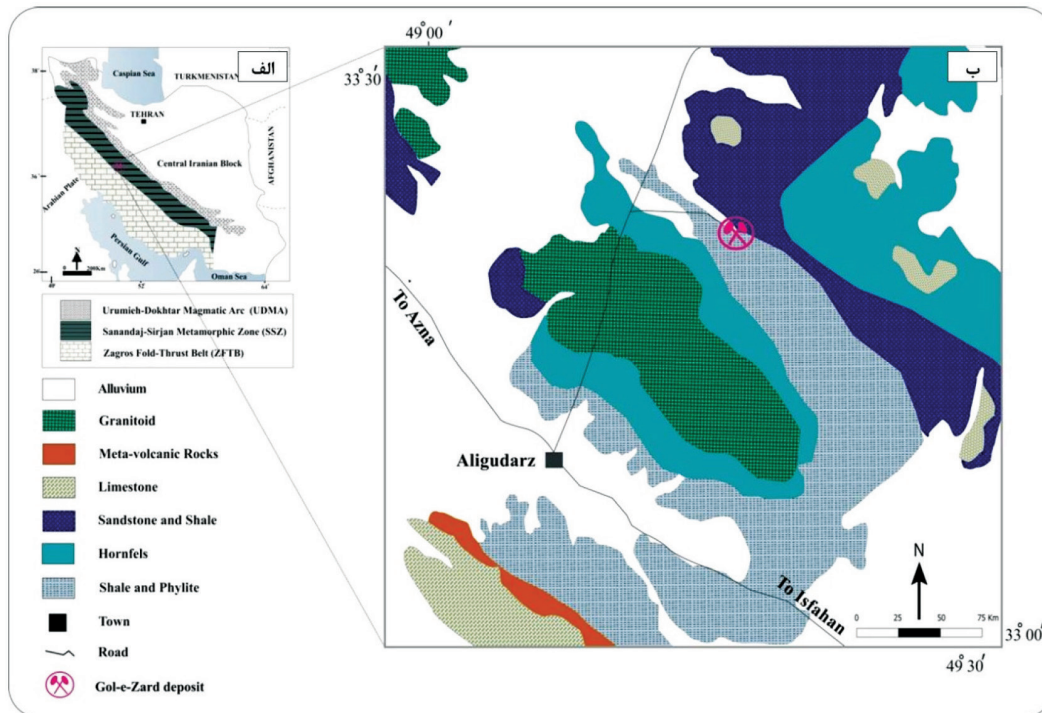
بر جای می‌گذارد (Wilkinson, 2001). به‌طور کلی، کانسارها توسط طیف وسیعی از فرآیندهای زمین‌شناسی شامل فشار و حرارت بالا (شرایط ماگمایی) تا شرایط حاکم بر سطح زمین (کانسارهای آبرفتی) تشکیل می‌شوند (شهاب پور، ۱۳۸۵). بر همین اساس سیالات مختلفی سبب نهشته شدن عناصر کانسار ساز می‌شوند، منشأ سیالات درگیر نیز ممکن است سیالات ماگمایی، سیالات جوی و یا سایر سیالات کانه‌ساز باشد (Kesler, 2005). میان بارهای سیال به‌عنوان ابزاری قدرتمند در تعیین شرایط حاکم بر نهشت و هم‌چنین نوع سیال دخیل در کانه‌زایی تلقی می‌شوند (احیا، ۱۳۸۸). سیالات درگیر همچنین در زمینه زایش کانسنگ، از اهمیت به خصوصی برخوردار می‌باشند و نقش بارزتری در درک فعلی ما از حمل و ترسیب کانسنگ‌ها بازی می‌کنند (Roedder, 1979a). میان بارهای سیال ضمن تبلور کانی یا پس از تبلور آن در امتداد زون‌های رشد بلوری یا درون هر نقصی که طی رشد یک بلور ایجاد گردد، به دام می‌افتند. این میان بارها قادر به ارائه اطلاعات مستقیمی از شرایط فیزیکی و شیمیایی سیال سازنده مانند فشار (P)، دما (T)، حجم (V) و ترکیب شیمیایی (X) می‌باشند (Wilkinson, 2001). ضمن اینکه، میان بارهای سیال حاوی اطلاعات مهمی از سامانه‌های گرمایی موجود در منطقه هستند (Kesler, 2005)، بنابراین دستیابی به شرایط PTVX، نیازمند تجزیه‌های مختلف و اندازه‌گیری‌های 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 ایران زمین شناخته شده 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 شمار می‌رود. کانسارها و نشانه‌های معدنی سرب و روی چینه‌کران محدود به سنگ‌های آهک دولومیتی، شیلی و ماسه‌سنگی کرتاسه و توالی‌های رسوبی کهن‌تر از کرتاسه پیشین در پهنه سنندج-سیرجان در محور ملایر-

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 مورد مطالعه 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 (فرهادی نژاد، ۱۳۷۷). دورنمای منطقه معدنی مورد مطالعه و واحدهای سنگی رخنمون یافته، نشان داده شده است (شکل ۲).

روش مطالعه

پس از انجام مطالعات دقیق صحرایی در منطقه مورد مطالعه و نمونه‌برداری از سنگ میزبان، کانه‌های فلزی و رگه‌های کوارتزی، بررسی‌های سنگ‌شناسی جهت تعیین رخنمون‌های کانه‌زایی در منطقه مورد نظر 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 مورد مطالعه قرار گرفتند. 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

است (Alavi, 1994؛ احیا، ۱۳۸۸). کمربند کوهزایی-فلززایی زاگرس ترکیبی از سه زون تکتونیکی با روند شمال غرب-جنوب شرق است که شامل: زون چین‌خورده-رورانه 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 واقع شده است (فرهادی نژاد، ۱۳۷۷). پهنه سنندج-سیرجان به‌عنوان پهنه به‌هم‌ریخته و دگرگون‌شده در حد رخساره‌های شیبست سبز تا آمفیبولیت شناخته شده است (Davoudian et al., 2008). پهنه دگرگونی-ماگمایی سنندج-سیرجان با روند شمال باختر-جنوب خاور به‌صورت نواری باریک به طول ۱۵۰۰ کیلومتر 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 رورانه-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 مورد مطالعه 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 مورد مطالعه 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



شکل ۱. الف) موقعیت واحدهای ساختاری اصلی ایران (اقتباس از Zarasvandi et al., 2008) بر اساس داده‌های (Alavi, 2004) و موقعیت قرارگیری کانسار 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 واقع شده است. دید به سمت شمال شرقی می‌باشد

حد ۹۰ تا ۱۱۰ میکرون می‌باشد. ماسه‌سنگ‌های دگرگون شده ژوراسیک دارای کمترین کانه‌زایی رگه‌ای در امتداد کوارتزهای جاننشینی 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 گذاشته شده‌اند (Ansdel et al., 1989). بالاترین میزان فراوانی رگه‌های کوارتزی را، رگه‌های همراه با گالن به خود اختصاص داده‌اند که در فیلیت و اسلیت‌های تریاس قرار گرفته‌اند. این کوارتزها اغلب درشت‌دانه هستند و در درزه‌های کششی قرار گرفته‌اند (فرهادی نژاد، ۱۳۷۷). در امتداد این دسته از رگه‌ها معمولاً اسفالریت هم به چشم می‌خورد. از آنجا که کانسار روی و سرب گل زرد به صورت مشخص از نوع کانسارهای Zn-Pb-Cu-Ag می‌باشد. در این کانسار Zn فاز غالب کانه‌زایی شناخته شده است و به شکل اسفالریت که رایج‌ترین کانی اقتصادی حاوی روی می‌باشد، ظاهر شده است. بررسی‌های کانی‌شناسی انجام شده، نشان می‌دهد که اسفالریت به صورت دانه پراکنده، لامینه و پرکننده فضای خالی نهشته شده است. کالکوپیریت و اسفالریت به ندرت در امتداد رگه‌های کوارتزی قرار گرفته‌اند. لازم به ذکر است که گالن در امتداد تمامی کوارتزهای رگه‌ای به جز 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 جاننشینی سنگ میزبان به‌وسیله این کانی‌ها است (شکل ۳-ب). کانه‌ها عمدتاً به صورت شکافه‌پرکن در امتداد رگه‌های

سیال دانشگاه اصفهان مورد مطالعه 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 به کاررفته، 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

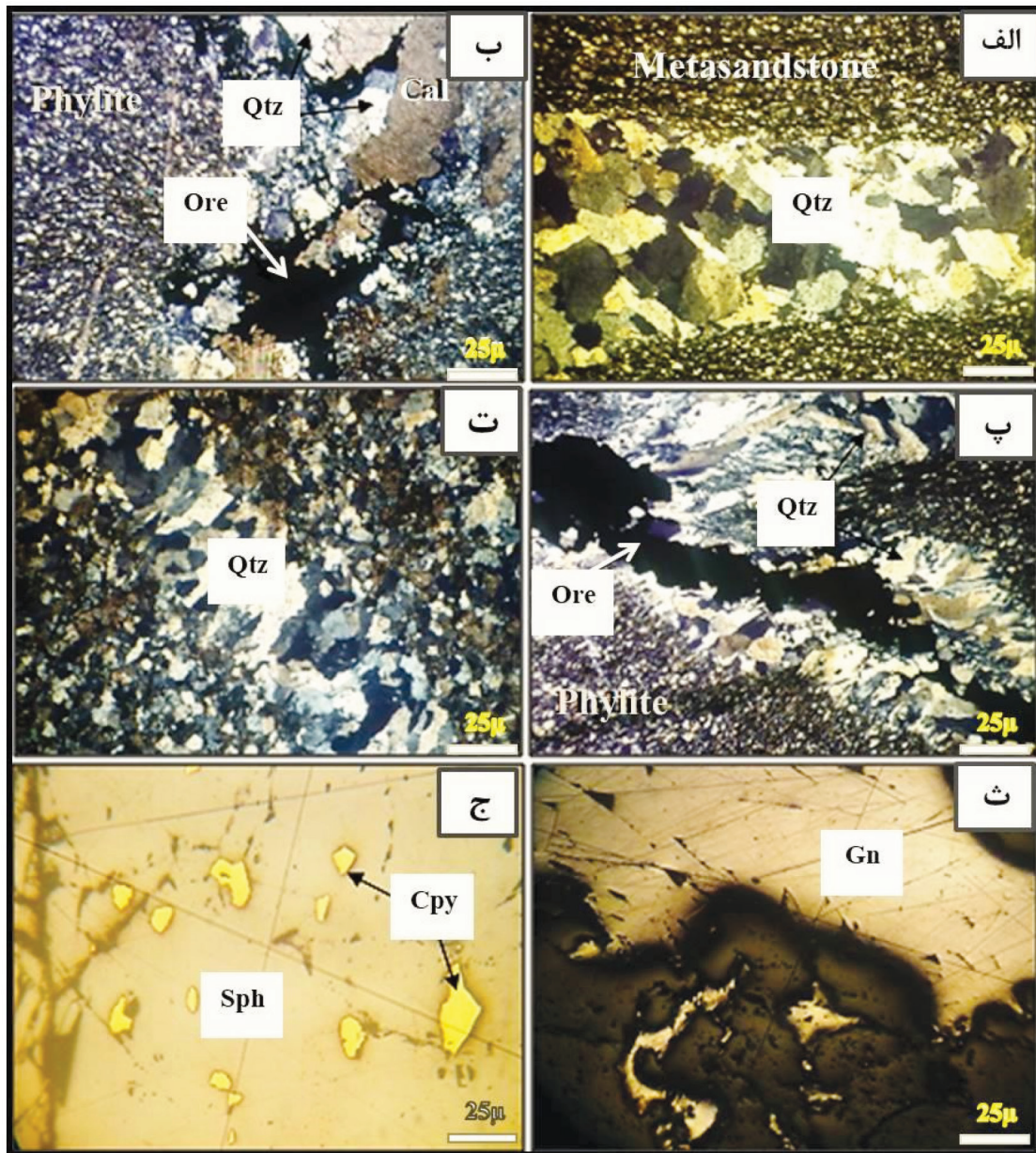
بررسی‌های سنگ‌شناسی در محدوده معدنی گل‌زرد حاکی از وجود دو افق کانه‌دار در این محدوده است. نخست، افق فیلیتی-اسلیتی می‌باشد که با رگه‌ها و عدسی‌های فراوان کوارتز همراه است. در این افق کانه‌دار لایه‌ها از جنس فیلیت و اسلیت می‌باشند. رنگ آن‌ها در برخی موارد کمی مایل به تیره است، لایه‌های آن دارای ضخامتی بین ۱۰ تا ۵۰ سانتی‌متر می‌باشند. توالی کانیایی این افق شامل اسفالریت، گالن، کالکوپیریت و پیریت است. گالن به صورت رگه‌□ رگچه‌ای و اسفالریت به صورت عدسی‌های متوسط تا درشت در سنگ میزبان فیلیتی قرار گرفته‌اند. 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 قابل مشاهده است، که اغلب در درزه‌های کششی جای گرفته‌اند و گالن به‌وفور در امتداد رگه‌های کوارتزی قابل مشاهده 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 به صورت دانه‌ریز در سنگ میزبان پراکنده هستند. لازم به ذکر است، سنگ میزبان ماسه‌سنگی نیز دارای دانه‌بندی بسیار ریز در

گالن، اسفالریت، کالکوپیریت و پیریت است. مرحله بعدی در واقع فاز دگرگونی، چین خوردگی و دگرشکلی سنگ میزبان و کانه است که در این میان طی فرآیندهای دگرسانی کانی‌هایی مانند مالاکیت و آزوریت نیز شکل گرفته‌اند، به‌احتمال زیاد بافت شکافه‌پیرکن 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) می‌باشند. 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).

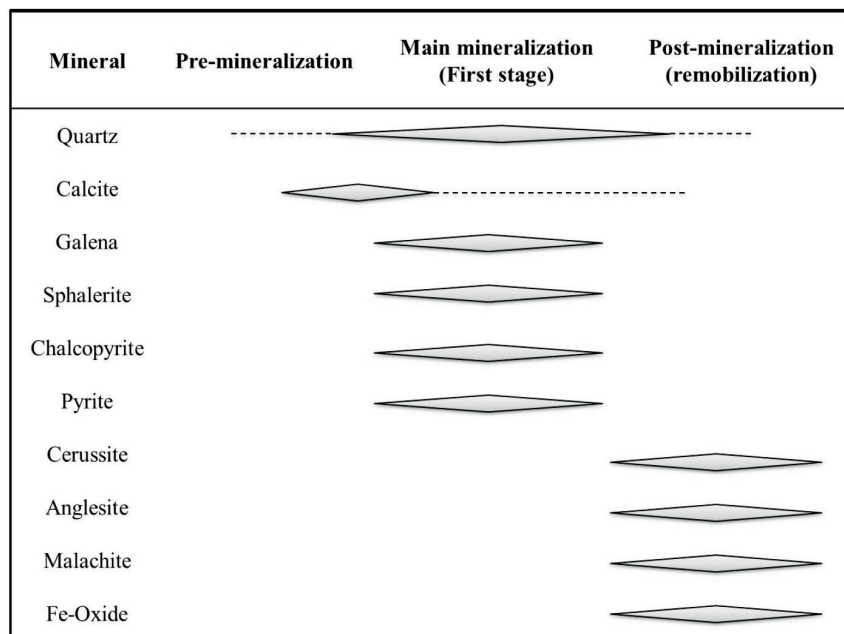
کوارتزی یا پرکننده فضای خالی در سنگ میزبان هستند (شکل ۳-پ). سیلیسی شدن مهم‌ترین دگرسانی رخ داده در منطقه مورد مطالعه می‌باشد (شکل ۳-ت). در کانسار گل زرد گالن به لحاظ فراوانی پس از اسفالریت و در رتبه دوم قرار می‌گیرد. همان‌طور که اشاره شد، عمده کانه‌زایی گالن در امتداد رگه‌های کوارتز با بافت جان‌شینی رخ داده 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 واقع شده است. مس فاز فرعی کانه‌زایی در کانسار روی و سرب گل زرد می‌باشد و کالکوپیریت عمده‌ترین کانی حاوی عنصر مس در منطقه مورد مطالعه 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 تقسیم شده 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

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

رگه	نوع کانه‌زایی	ویژگی	
V-A	کوارتزهای فاقد کانه‌زایی	سنگ میزبان ماسه‌سنگ‌های دگرگون شده، دانه‌های نسبتاً 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	



شکل ۳. مقاطع نازک و صیقلی از سنگ میزبان، کانه و رگه‌های کوارتزی در کانسار روی و سرب گل زرد، الف) رگه کوارتزی جانشین شده در ماسه‌سنگ دگرگون شده 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 جانشین 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 دگرگون شده) = (Metasandstone)، کانه فلزی = (Ore)، فیلیت = (Phylite)، کوارتز = (Qtz)، گالن = (Gn)، کالکوپیریت = (Cpy)، اسفالریت = (Sph) (Whitney and Evans, 2010)



شکل ۴. توالی پاراژنزی در کانسار سرب و روی گل‌زرد

مطالعات زمین‌شیمی

عناصر کمیاب

اصلی در ماسه‌سنگ‌های دگرگون‌شده به مقدار قابل‌توجهی کمتر از غلظت آن‌ها در فیلیت می‌باشد. در واقع به‌غیر از مس، بقیه عناصر در فیلیت، غلظت بالاتری دارند، بنابراین می‌توان نتیجه‌گرفت این عناصر پس از چرخش سیال گرمایی در رسوبات شیلی و ماسه‌سنگی، در محیط کم‌عمق دریایی ته‌نشین شده‌اند (Ma et al., 2004). جدول (۲) بیانگر غلظت عناصر کانه‌ساز در سنگ میزبان، کانه‌ها و کوارتزها می‌باشد. به نظر می‌رسد فلزات در اثر ورود سیال گرمایی به محیط رسوبات نهشته شده در محیط دریایی آبشویی شده و هم‌زمان با تبلور کوارتزها به‌صورت رگه‌ای در شکاف‌ها و فضاهای خالی ته‌نشین شده‌اند.

نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی عناصر کمیاب در جدول (۲) نشان داده شده است. کانسار سرب و روی گل‌زرد دارای کانه‌زایی نوع Zn-Pb-Cu-Ag می‌باشد، بدین معنی که میزان کانه‌زایی روی از سرب بیشتر است. سرب و روی با غلظت‌های بیشتر از ۱۰۰۰۰ ppm فاز اصلی کانه‌زایی محسوب می‌شود. مس نیز با میانگین غلظت ۳۵۰۰ ppm فاز فرعی کانه‌زایی است و همچنین نقره با میانگین غلظت ۲۳ ppm به‌عنوان محصول فرعی در این کانسار مطرح می‌باشد. مطابق جدول (۲)، روی و سرب به‌عنوان عناصر کانه‌ساز

جدول ۲. غلظت عناصر کمیاب (ppm) در کانسار روی و سرب گل‌زرد (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

عناصر نادر خاکی

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 به منظور 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 داده شده 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

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 تهنشت شده، محصول مرکبی از تفکیک REE در حین فروشست از سنگ منبع، مهاجرت سیال به محل تهنشت کانی و تفکیک در حین تهنشت 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 داده شده است. با توجه به تشابه سیالات گرمایی با ترکیبات جبهه، از مقادیر کندریت که خود نشان‌دهنده ترکیب جبهه اولیه می‌باشد، جهت به هنجار سازی داده‌های عناصر نادر خاکی استفاده شده است. با توجه به داده‌های جدول (۳) مقادیر La/Lu بزرگ‌تر از یک می‌باشد که بیان‌کننده غنی‌شدگی

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

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 به صورت مجزا، درشت در زمینه کانی شفاف پراکنده شده‌اند، میان بارهای سیال ثانویه در ارتباط با شکستگی‌های ایجاد شده در کانی می‌باشند، بنابراین در محل شکستگی‌ها به صورت 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).

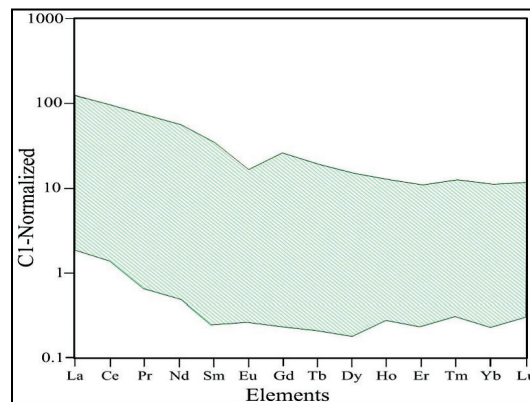
پتروگرافی میان بارهای سیال

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 مورد مطالعه بسیار مشهود است، بنابراین میان بارهای سیال در کانسار روی و سرب گل‌زرد از نوع اولیه (P) می‌باشند. میان بارهای سیال کوارتزهای کانه‌دار (عمدتاً گالن) و بدون کانه مورد مطالعه‌ی میکروسکوپی قرار گرفتند، طبق بررسی‌های پتروگرافی این میان بارها از نوع دوفازی مایع-بخار می‌باشند که در طی عمل گرمایش به فاز مایع همگن شده‌اند. میان بارهای سیال اغلب دارای شکل منظم بیضی 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) ارائه شده است. TH دمای همگن‌شدگی سیال کانه‌ساز است که در منطقه

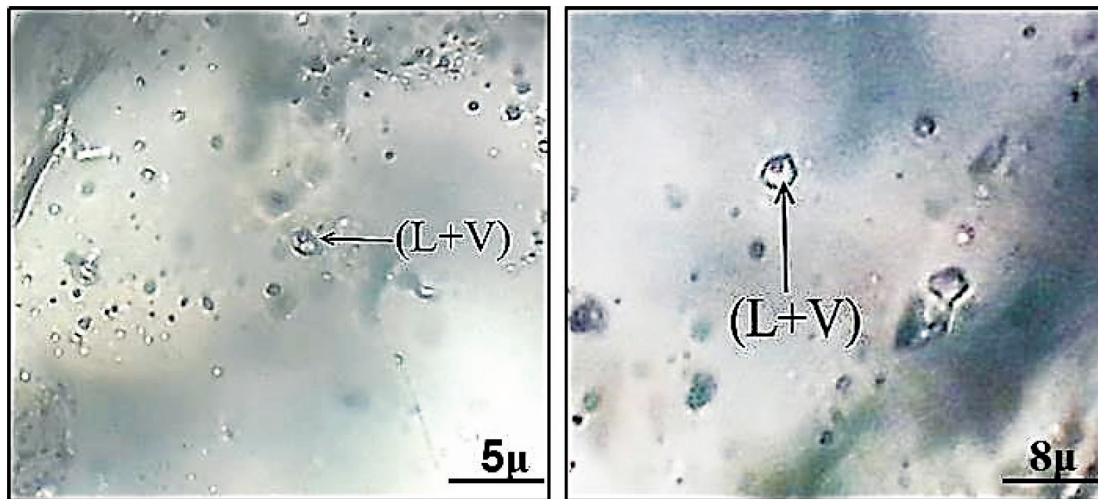
$Eu/Eu^* = Eu_n / (Sm_n \times Gd_n)^{2/1}$ استفاده می‌شود، آنومالی مثبت در میزان Eu نیز، نشان‌دهنده محیط کاهشی در حین کانه‌زایی است (Bonsall et al., 2011; Davis et al., 1998). از طرفی در محیط کاهشی، جذب REE در کانی‌های تنه‌نشین شده به‌صورت مستقیم در سطح کانی و بدون حضور لیگاندهای شیمیایی صورت می‌گیرد. 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 مورد مطالعه 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 تأیید 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 اظهار نظر بیشتر نسبت به گذشته درباره ماهیت این سیالات کانی‌ساز و فرآیندهایی که به‌وسیله آن‌ها کانسارها تشکیل شده‌اند، تشخیص داده



شکل ۶. میان بارهای سیال در کانی کوآرتز، میان بارهای دوفازی غنی از مایع

مورد مطالعه بین ۱۳۹ تا ۱۹۹/۵ درجه سانتی گراد می باشد. از آن جا که تصحیح فشار بر روی دماهای به دست آمده صورت نگرفته است، این دماها می توانند در حکم دمای تشکیل کانی باشند (Wilkinson, 2001). TLM نیز دمای ذوب آخرین قطعه یخ است که در کانسار گل زرد دامنه تغییرات ۳- تا ۱۰/۵- درجه سانتی گراد را نشان می دهد (جدول ۴).

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

$$wt\%equ.NaCl = 1.769580 - 4.2384 \times 10^{-2} \theta^2 + 5.2778 \times 10^{-4} \theta^3 + 0.028$$

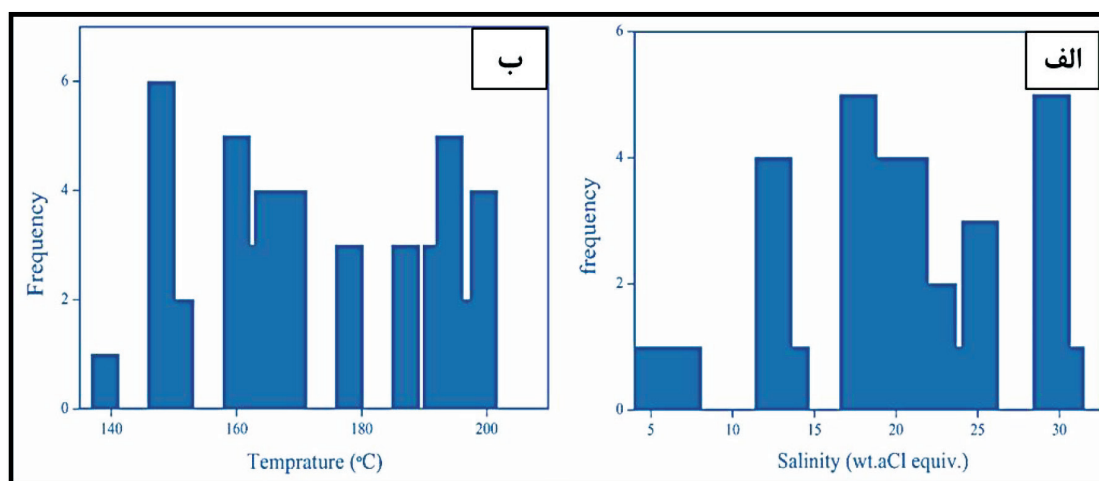
در فرمول بالا θ برابر است با درجه حرارت ذوب آخرین قطعه یخ برحسب درجه سانتی گراد.

جدول ۴. داده های 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 همگن شدگی 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

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، قابل تشخیص است (شکل ۷).

شوری و درجه حرارت از مهم‌ترین ویژگی‌های یک سیال هستند که سبب ایجاد تمایز بین سیالات مختلف کانه‌زا می‌باشد (Kesler, 2005). بدین صورت شوری به‌دست‌آمده برای نمونه‌های مورد مطالعه در کانسار روی و سرب گل‌زرد محدوده‌ای بین ۵/۲۱ تا ۳۰/۳۸ (wt%equ.NaCl) و به‌طور میانگین ۱۷/۸ (wt%equ.NaCl) را به خود اختصاص



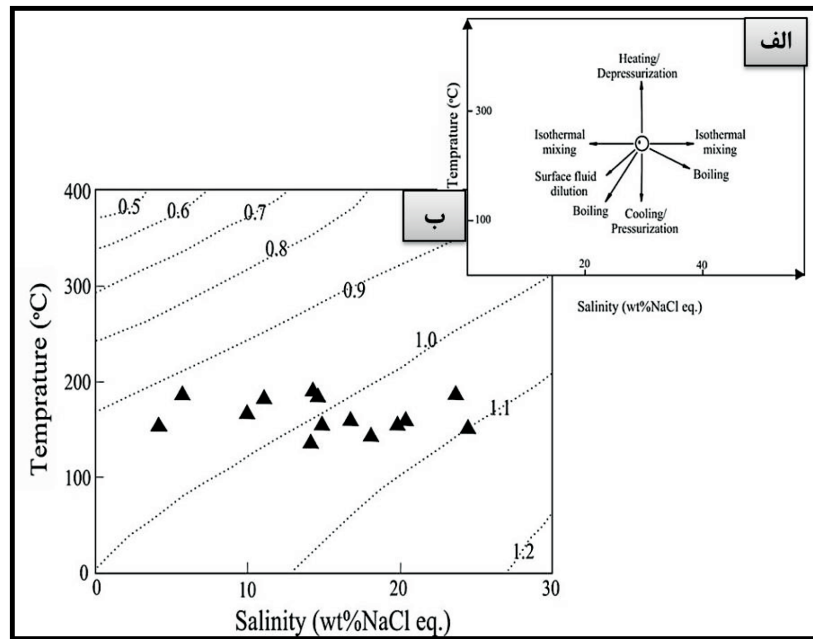
شکل ۷. نمودار فراوانی میان بارهای سیال. الف) میزان شوری برحسب درصد وزنی معادل NaCl، ب) دمای همگن شدن TH

مخلوط شده است که چگالی آن کمتر از چگالی آب دریا می‌باشد (Canet et al., 2003). داده‌های میانبارسیال به‌دست‌آمده از گستره معدنی گل‌زرد مخلوط شدن دو نوع سیال مختلف شامل سیالات ماگمایی با آب دریا یا آب‌های جوی است. دمای همگن شدن در کانسار گل‌زرد 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 گرمایی از درون معابر تغذیه‌کننده و ورود آن به محیطی دریایی که احتمالاً مخلوطی از آب دریا و سیالات جوی است، سرد شدن سیال گرمایی 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 گرمایی از کانال‌های عبوری و ورود به محیطی

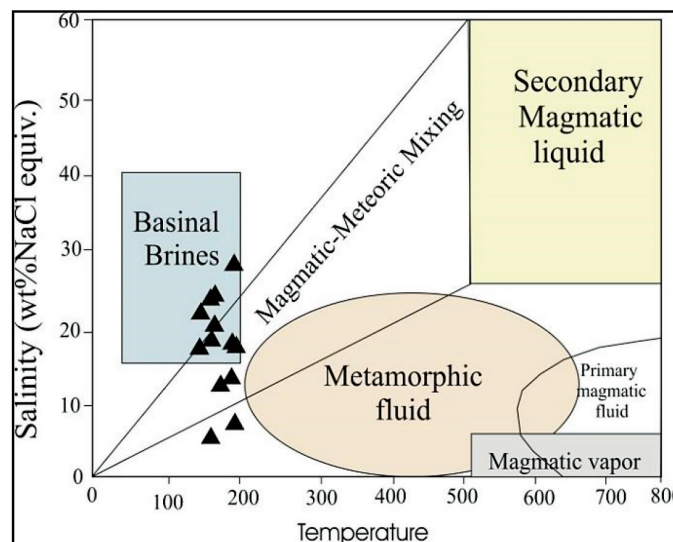
به باور Wilkinson (2001) می‌توان با ترکیب شوری و دمای همگن‌شدگی، چگالی سیال را به‌دست آورد. بدین منظور نمودار شوری-دمای همگن‌شدگی برای داده‌های میانبارسیال ترسیم گردید و چگالی میان‌بارهای سیال بین ۰/۹ تا ۱/۱ تعیین شد (شکل ۸-الف). نمودار (Wilkinson 2001)، تغییرات چگالی در ارتباط با سیر تحول سیال کانسنگ‌ساز را نشان می‌دهد. روند تکامل سیال گرمایی در کانسار روی و سرب گل‌زرد در محدوده اختلاط هم‌دمای قرار می‌گیرد (۸-ب). شوری کم سیال نیز بیان‌کننده اختلاط سیال کانه‌ساز با سیالات دیگر از جمله آب‌های جوی و آب دریا می‌باشد (Kelley et al., 2004). مشخصات کانی‌شناسی و بافتی، مانند رگه‌های جان‌شینی و کانه‌زایی رگه‌ای بیانگر حضور سامانه گرمایی در منطقه است (Bouabdellah et al., 2009). بنابراین اختلاط سیالات امری بدیهی است زیرا یک سامانه گرمایی با دمای بین $500-50^{\circ}C$ مخلوطی از چند منبع سیال مختلف است که از میان همه این منابع، سیالات و آب‌های جوی محتمل‌تر می‌باشند. از آنجا که شوری سیال پایین است، سیال گرمایی با سیالی

پایین در عمق ۲۰۰ متری (شکل ۱۰-الف) و فشار کمتر از ۵۰ bar (شکل ۱۰-ب) در محیط دریایی می‌باشد که سبب شست‌وشوی عناصر کانه‌ساز از رسوبات تریاس بالایی-ژوراسیک شده و در نهایت در اثر عملکرد کمپلکس‌های آمیونی تهنشست فلزات صورت گرفته است (باقری و همکاران، ۱۳۹۰).

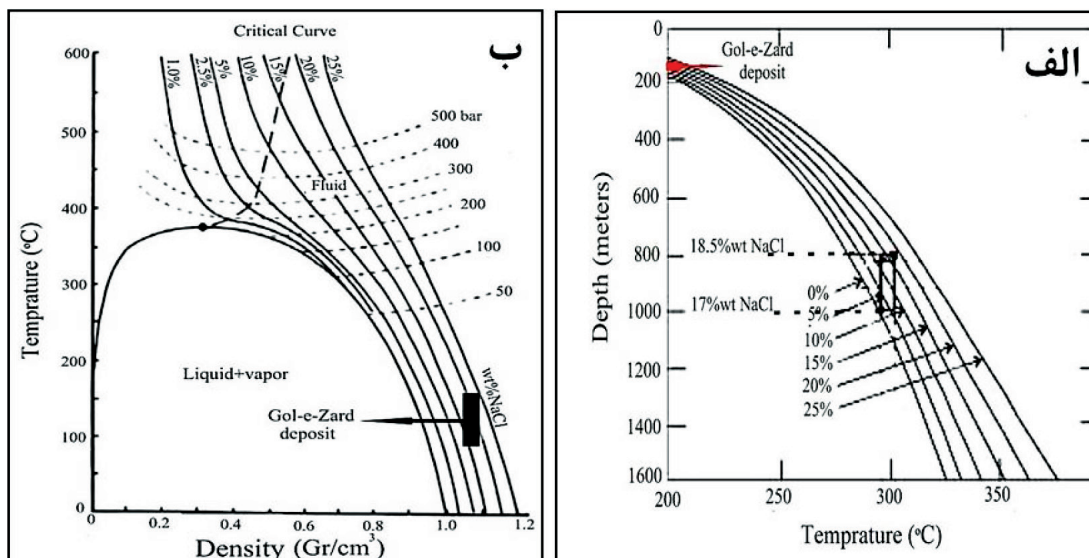
دریایی باعث تشکیل کانسارهای روی و سرب رسوبی-بروندمی (SEDEX) می‌شود که بر اثر متصاعد شدن سیال گرمایی در حوضه‌های کافتی روی می‌دهد (Pirajno, 2009). میان بارهای سیال به‌دست‌آمده از کانسار روی و سرب گل زرد، در گستره کانسارهای رسوبی-بروندمی قرار دارد (شکل ۹). شواهد نشان‌دهنده ورود سیال گرمایی سبک (چگالی کم) و با شوری



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%/equiv. NaCl) برای کوارتزه‌های رگه‌های مختلف در کانسار گل زرد که نشان‌دهنده انواع سیالات مختلف است (Orgun et al., 2005)



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)

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 گل زرد 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 کاهش در منطقه در حین کانه‌زایی، محتمل است (Ehya, 2012). کاهش 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 وارد شده 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

مقایسه کانسار گل زرد با سایر کانسارهای سرب و روی

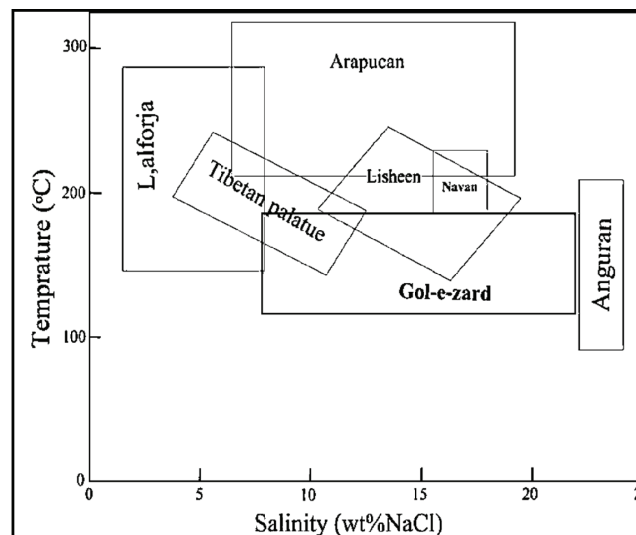
کانسارهای روی و سرب رسوبی به سه گروه عمده نوع دره می‌سی‌سی‌پی (MVT)، رسوبی-بروندمی (SEDEX) و نوع سنگ میزبان ماسه‌سنگی (SST) تقسیم می‌شوند (Leach et al., 2010). جدول (۵) تفاوت‌های عمده میان این کانسارها را با محوریت ویژگی‌های سیال کانه‌ساز نشان می‌دهد. همچنین داده‌های میان‌بارسیال حاصل از کانسار روی و 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 تپ انگوران^۱، 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^۲ 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. براساس این مقایسه، کانسار روی و سرب گل زرد بیشترین شباهت را به کانسارهای

امر کانه‌زایی هم‌زمان با رسوب‌گذاری در محیط دریایی را به همراه داشته است (Pirajno (2009). (Ma et al., 2004). پدیده اختلاط را در تشکیل کانسار بسیار مهم می‌داند، زیرا سیال حاوی فلز و سیال حاوی سولفید (در صورتی که کانه‌زایی سولفیدی باشد) به صورت جداگانه حمل شده و پس از اختلاط، ترکیبات فلزی ته‌نشین می‌شوند. عناصر کانه‌ساز (فلزات)، به صورت کاتیونی هستند و جهت حمل و نقل به کمپلکس‌های آنیونی نیاز دارند (Kesler, 2005). این کمپلکس‌ها، کلریدی یا سولفیدی می‌باشند (باقری و همکاران، ۱۳۹۰)، که کمپلکس‌های سولفیدی آنیون‌های غالب در حمل و نهشت عناصر کانه‌ساز کانسار روی و سرب گل زرد هستند (Pirajno, 2009). شکل (۱۱) نشان‌دهنده اختلاط سیالات 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 می‌سی‌سی‌پی (MVT)	رسوبی-بروندمی (SEDEX)	نوع سنگ میزبان ماسه‌سنگی (SST)	کانسار گل زرد
جایگاه تکتونیکی	سکانس‌های کربناته در حوضه‌های رسوبی درون قاره‌ای	حاشیه کافت‌های قاره‌ای	تکتونیک پایدار (محیط درون قاره‌ای)	زون دگرگونی سندج-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 قابل توجه Cu
بافت و ساخت کانه‌زایی	رگه‌ای و توده‌ای اندازه متغیر دانه‌ها	سولفیدهای با لامیناسیون باریک	انتشاری	سولفیدهای رگه‌ای باریک در امتداد کوارتزهای رگه‌ای
ویژگی درجه حرارت (°C)	۵۰-۲۰۰ (میانگین ۱۲۰)	۵۰-۲۰۰ °C	بیش از ۳۵۰ °C	میانگین ۱۸۰ °C
میانبار شوری (wt/equ.NaCl)	۱۰-۳۰ (wt/equ.NaCl)	۱۰-۳۰ (wt/equ.NaCl)	—	۲۳ (wt/equ.NaCl)
نوع سیال	شورابه‌های رسوبی	سیالات گرمایی وارد شده در محیط دریایی	آب‌های دریایی کم‌عمق	سیال گرمایی

داده‌های جدول فوق بر اساس شهاب‌پور (۱۳۸۵)، Leach et al (2010)، He et al (2009)، زمینان و اسداللهی (۱۳۸۹) به دست آمده است



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

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 قابل مشاهده است.
۲. دو افق کانه‌زایی فیلیتی و ماسه‌سنگی در کانسار مورد مطالعه 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 گل‌زرد بیانگر عبور سیال گرمایی از میان رسوبات و جای‌گذاری کانه‌ها بوده است.
۴. در مطالعات کانی‌شناسی، بافت دانه پراکنده اسفالریت قابل مشاهده است که بیانگر محیط کانه‌زایی رسوبی و کانه‌زایی هم‌زمان زایش در کانسار مورد مطالعه 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 نشان‌دهنده 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 نه‌نهشت 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 گل‌زرد از نوع SEDEX می‌باشد.
۹. مطالعات میانبارسیال دمای همگن‌شدن سیال را

میانگین $169/3^{\circ}\text{C}$ و شوری $17/8 \text{ wt}/\text{equ. NaCl}$ تخمین زده است، این داده‌ها بیانگر اختلاط سیالات در محیط کانه‌زایی (دریایی) و همچنین بیانگر گستره کانه‌زایی رسوبی-بروندمی برای کانسار گل‌زرد هستند. ۱۰. کمپلکس‌های سولفیدی آنیون‌های غالب در حمل فلزات در کانسار روی و سرب گل‌زرد می‌باشند. ۱۱. ورود سیال گرمایی 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، نه‌نهشت این عناصر و تشکیل کانسار صورت گرفته است.

منابع

- احیا، ف.، ۱۳۸۸. ژئوشیمی و منشاسیال 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 منشاسیال فلزات و سیالات کانه‌زا در کانسار سرب و روی ایرانکوه. پژوهش‌های چینه‌نگاری 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 گل‌زرد شمال الیگودرز. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت مدرس تهران. ۱۴۰.
- قربانی، م.، ۱۳۸۱. زمین‌شناسی اقتصادی، انتشارات آریز، ۵۵۰.
- Alavi, M., 1994. Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations. Tectonophysics, 229 (x), 211-238.
- Alavi, M., 2004. Regional stratigraphy of

- the Zagros fold-thrust belt of Iran and its pro fore-land 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 Shabaniyan, N., 2008. Petrology of eclogites from north of 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 Sciences*, 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.,

- 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 Sahan-di, 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. Barennes (ed.) *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*. 2nd edn. Wiley Interscience. New York. 684-738.
 - Shelton, L.K. and McMenemy, 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., Yuning, 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.