

# بررسی نحوه کانی‌سازی و تشکیل کانسار سرب و روی خانه‌سورمه (غرب اصفهان) بر اساس شواهد کانی‌شناسی، زمین‌شیمی و سیالات درگیر

زهرا کریم زاده

کارشناس ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه خوارزمی تهران

بهزاد مهربابی

عضو هیئت علمی دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی تهران

کمال الدین بازرگانی گیلانی

عضو هیئت علمی دانشکده زمین‌شناسی، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۹۴/۱/۲۰ تاریخ پذیرش: ۹۴/۲/۲۴

karimzadehzahra@ymail.com

## چکیده

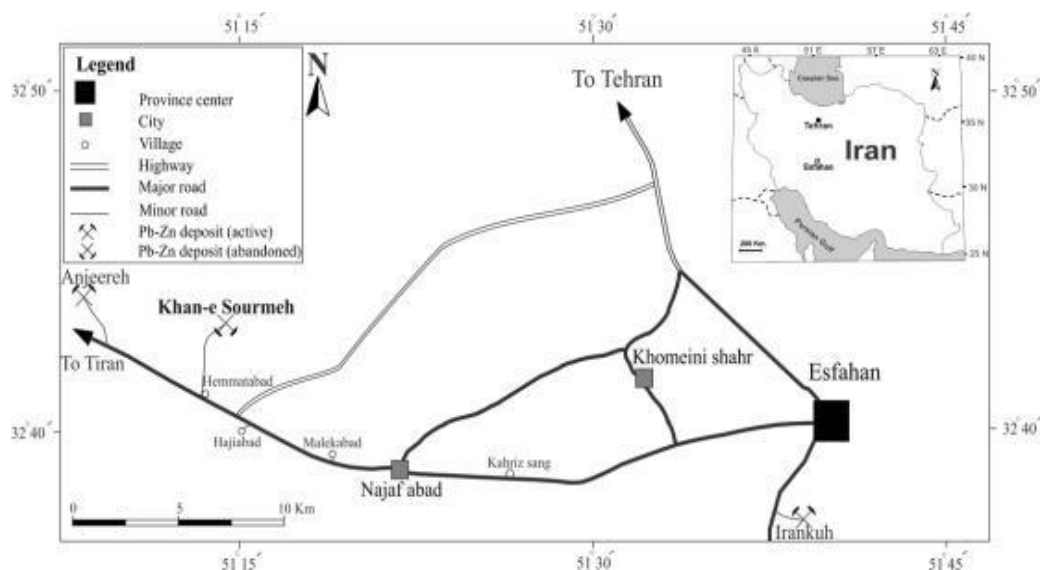
کانسار سرب و روی خانه‌سورمه در ۴۰ کیلومتری غرب اصفهان، در سنگ‌های کربناته کرتاسه زیرین واقع شده است. کانه‌های هیپوژن شامل گالن، اسفالریت، پیریت، تنانتیت، کالکوپیریت و کانی‌های سوپرژن سروزیت، آنگلیت، کوولیت و مالاکیت هستند. بر اساس مطالعات ژئوشیمیایی لایه شیلی تریاس فوقانی و به ویژه توالی کربناته کرتاسه پایینی در تأمین عناصر سرب و روی برای کانی‌سازی نقش داشته‌اند. بر اساس مطالعات میکروترموتری، سیال کانه‌ساز دمای ۲۱۰ تا ۲۴۰ درجه سانتیگراد و شوری حدود ۷ تا ۸ درصد وزنی معادل نمک طعام دارد. با توجه به نوع سنگ میزبان، کانی‌های هیپوژن و سوپرژن، شوری و دمای همگن شدن سیالات، کانسار خانه‌سورمه جزء کانسارهای MVT با میزبان کربناته قرار می‌گیرد. در این کانسار، سیالات گرمابی پس از شستن و حمل فلزات از لایه‌های شیلی تریاس و توالی کرتاسه در امتداد گسل‌های عمیق و اختلاط با آب‌های درون‌سازندی و جوی، سرب و روی را در امتداد زون‌های گسله‌ته‌نشین کردند. با استناد به نتایج پژوهش می‌توان تخمین زد که در عمق‌های بیشتر می‌توان کانی‌سازی سرب و روی را دنبال کرد.

**کلمات کلیدی:** سرب و روی، خانه‌سورمه، کانی‌شناسی، ژئوشیمی، میکروترموتری.

## مقدمه

میان‌ی کوه خانه‌سورمه قرار دارد. راه دسترسی به محدوده معدنی از طریق محور اصلی اصفهان-الیگودرز است که در میان راه نجف‌آباد-تیران به سمت شمال منشعب شده و پس از ۶ کیلومتر راه خاکی به منطقه مورد مطالعه می‌رسد (شکل ۱).

محدوده مورد مطالعه به وسعت ۱۸ کیلومتر مربع، در ۴۰ کیلومتری غرب اصفهان، ۱۰ کیلومتری شمال غرب شهرستان نجف‌آباد، در بخش میان‌ی زون ساختاری سنندج-سیرجان به مختصات جغرافیایی  $38^{\circ}14'51''$  طول شرقی و  $32^{\circ}42'53''$  عرض شمالی واقع شده است. این کانسار متروکه در بخش



شکل ۱. موقعیت کانسار خانه‌سورمه و راه دسترسی به آن.

(شکل ۲). در محدوده کانسار خانه سورمه کانی‌سازی در سنگ‌های کرتاسه پایینی انجام شده است و مقدار ذخیره کانسار کمتر از ۱ میلیون تن، با عیار ۵ درصد سرب و ۱ درصد روی گزارش شده است (مومن‌زاده، ۱۹۷۶). قدیمی‌ترین سازند بیرون‌زده در منطقه معدنی خانه سورمه، سازند نایبند با لیتولوژی متشکل از شیل‌های خاکستری تیره با میان لایه‌های آهک مرجانی و ماسه سنگ است. کرتاسه تحتانی در حوضه شمال غرب نجف‌آباد با کنگلومرا و ماسه سنگ‌های قرمز رنگ ( $K_1$ ) شروع می‌شود که با دگرشیبی به سن بارمین بر روی شیل‌ها و اسلیت‌های تریاس ( $T$ ) قرار می‌گیرد. ضخامت این کنگلومرا حداکثر ۲ متر بوده و قطعات آن از اسلیت‌ها و ماسه سنگ‌های قدیمی‌تر از تریاس است.

بر روی کنگلومرای قاعده، یک واحد دولومیت ماسه‌ای زرد رنگ ( $K_2$ ) قرار دارد که ضخامت آن متغیر بوده و حداکثر به ۱۲۰ متر می‌رسد. بر روی این دولومیت‌ها، آهک‌های ضخیم لایه خاکستری حاوی اوربیتولین فراوان ( $K_3$ ) قرار می‌گیرند. آهک‌های ضخیم لایه توسط تناوبی از آهک، شیل و آهک مارنی ( $K_4$ ) پوشیده می‌شوند که بر روی آنها یک واحد آهک نازک لایه ( $K_5$ ) قرار می‌گیرد که ارتفاعات جنوب و غرب حوضه را تشکیل می‌دهند. رسوبات آبرفتی کواترنری نیز سطح دشت را فرا گرفته است (Zahedi, 1975).

لازم به ذکر است تا شعاع ۱۰ کیلومتری کانسار، توده نفوذی مشاهده نشده است (شکل ۳). سنگ میزبان دارای پتانسیل ماده معدنی اعم از رگه‌ای و همچنین افق‌های کم عیار، از جنس دولومیت و آهک دولومیتی است. از آنجا که تمرکز ماده معدنی پرعیار در محل شکستگی‌ها و گسل‌ها است، بنابراین عامل ساختاری بعد از عامل چینه‌نگاری به عنوان عامل مهم کنترل‌کننده کانی‌سازی در نظر گرفته می‌شود. گسترش کارهای معدنی انجام شده در محدوده  $300 \times 300$  متر است ولی زون کانی‌سازی به صورت یک افق حاوی لکه‌های قرمز رنگ هماتیتی در طول بیش از ۲ کیلومتر به سمت غرب و شرق و شمال کانسار گسترش دارد که بخش کوچکی از آن برداشت شده است. به هر حال اگرچه تخمین ذخیره این کانسار امکان‌پذیر نیست ولی با توجه به میزان برداشت‌های انجام شده و باطله‌های بیرون آورده شده از داخل تونل‌ها، کانسار می‌بایستی ذخیره بالایی داشته باشد که بخش زیادی از آن تا اعماق ۱۵۰-۱۰۰ متری استخراج شده و بخش باقیمانده آن نامشخص است (شکل ۴).

### زمین شناسی ساختاری منطقه معدنی

ساختمان عمومی کانسار به صورت یک تاقدیس با روند شمال-غرب-جنوب-شرق است که دامنه شمالی آن با یک گسل موازی محور تاقدیس، قطع شده است. روند عمومی لایه حاوی کانه سازی شمال غرب-جنوب شرق و شیب آن به سمت جنوب غرب است و به نظر می‌رسد در دامنه جنوبی در زیر آبرفت قرار داشته باشد. بنابراین می‌توان در بخش جنوبی کانسار و در زیر آبرفت‌ها انتظار کانی‌سازی پنهان را داشت. شکستگی‌های سراسری تراسی به موازات این روند به نام گسل شازند (Nadimi and Konon, 2012)، به طول ۱۴۰ کیلومتر و دارای شیب و امتداد  $NE 70-60/320$  از شازند تا شمال غرب نجف‌آباد ادامه دارد (شکل ۲). افزون بر شکستگی‌های نام برده، سیستم شکستگی‌های شمال غربی-جنوب شرقی، شمالی-جنوبی و شمال شرقی-جنوب غربی نیز منطقه را دگرریخت کرده است. نمودار گل سرخی تهیه شده بوسیله نرم افزار Dips مربوط به امتداد ۲۸ گسل و شکستگی فرعی در محل کانسار در (شکل ۵-الف) نشان داده شده است.

در زون سندج-سیرجان، محور ملایر-اصفهان بیش از ۱۲۰ کانسار و نشانه معدنی سرب و روی گزارش شده است. مهمترین کانسارهای سرب و روی هیپوژن ایران نظیر کانسارهای ایرانکوه (Ghazban et al., 1994)، انجیره تیران (طاهریان، ۱۳۷۲)، عمارت (Ehya et al., 2010) و آهنگران (زمانیان، ۱۳۷۲)، همگی در سنگ میزبان آهکی و دولومیتی کرتاسه پایینی در این زون جای گرفته‌اند. این کانسار دارای پیشینه معدن‌کاری باستانی است و در آن آثار شدادی دیده می‌شود. فعالیت‌های معدن‌کاری امروزی، در این کانسار از اوایل سال ۱۳۵۱ تعطیل شده است.

بورنل در گزارش ۱۱ سازمان زمین‌شناسی در سال ۱۹۶۸ با تکیه بر کانی‌شناسی کانسار خانه سورمه، شرح مختصری از زمین‌شناسی این کانسار ارائه کرده است. مؤمن‌زاده (۱۹۷۶) در چارچوب مطالعه زمین‌شناسی معدنی، طرز تشکیل کانسارهای سرب و روی جای گرفته در محور ملایر-اصفهان، یک مقطع لیتواستراتیگرافی از کانسار خانه‌سورمه ارائه کرده است. زاهدی (۱۹۷۵) چهارگوش ۱:۱۰۰۰۰۰ نجف‌آباد را تهیه کرده است. در این پژوهش با مطالعه خصوصیات کانی‌شناسی، توالی پاراژنزی، دگرسانی، ژئوشیمی و میانبارهای سیال رگه‌های کانه‌دار در محدوده کانسار خانه‌سورمه، ضمن بررسی نحوه کانسارسازی و منشاء احتمالی کانسار، مدل پیشنهادی برای کانی‌سازی در این کانسار ارائه شده است.

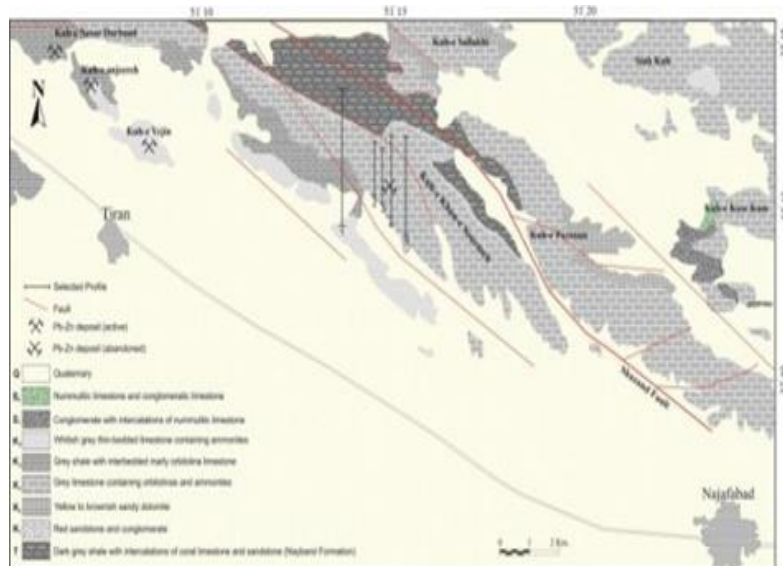
### روش مطالعه

به منظور مطالعه در کانسار خانه‌سورمه، یک نیمرخ از رخنمون رسوبات تریاس تا کرتاسه در ۲ کیلومتری غرب کانسار و چهار نیمرخ به ترتیب در ۵۰ متری شرق کانسار به ضخامت بیش از ۱۱۰ متر، در محل کانسار به ضخامت حدود ۱۰۰ متر، در ۶۵۰ متری غرب کانسار به ضخامت حدود ۷۰ متر و ۸۰۰ متری غرب کانسار به ضخامت حدوداً ۸۵ متر تهیه شده است. در مجموع با توجه به تغییرات لیتولوژیک و رنگ ۱۴۶ نمونه از سنگ میزبان، کانسنگ، مناطق دگرسانی و رگه‌های کلسیتی و سیلیسی کانه‌دار، به ترتیب برای تفکیک واحدهای سنگی و مطالعه سنگ دربرگیرنده، مطالعات کانی‌شناسی و فراوانی و پیوستگی عناصر، شناسایی دگرسانی‌های مرتبط با کانی‌سازی و مطالعات میکروترموتری برداشت شد.

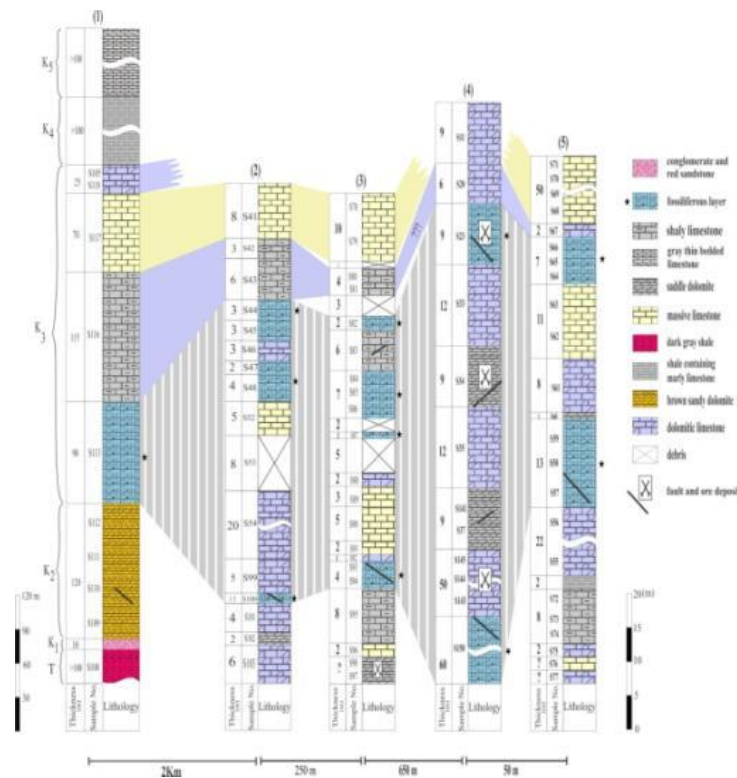
از این میان ۶۰ مقطع نازک از سنگ میزبان و زون کانه‌دار به منظور مطالعات پتروگرافی، ۶ مقطع نازک-صیقلی و ۱۲ مقطع صیقلی از تیپ‌های مختلف کانه‌ها به منظور مطالعه بافت و پاراژنز و ۶ مقطع دوبر صیقل از کوارتز، کلسیت و دولومیت به منظور مطالعات میکروترموتری تهیه شد. به منظور شناسایی عناصر اصلی، فرعی و جزئی ۲۱ نمونه از سنگ میزبان و زون کانه‌دار به روش ICP-MS در آزمایشگاه Acme کانادا و ۱۶ نمونه از سنگ میزبان و زون کانه‌دار به روش ICP-OES در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفتند. ۶ نمونه (۱ نمونه مربوط به رگه‌ها، ۱ نمونه از کانی‌های ثانویه، ۲ نمونه از سنگ دربرگیرنده و ۲ نمونه از رخنمون‌های دگرسان شده) به روش پراش پرتو ایکس (XRD) و ۶ نمونه از زون کانه‌دار به روش جذب اتمی (AAS)، به منظور تعیین غلظت عنصر سرب مورد تجزیه قرار گرفتند. همچنین طی عملیات صحرائی، شیب و امتداد ۲۸ گسل و شکستگی با کمپاس در کانسار مورد مطالعه اندازه‌گیری شد.

### زمین شناسی و چینه‌نگاری منطقه معدنی

این کانسار از نظر تقسیمات زمین‌شناسی و تکتونیکی ایران در زون سندج-سیرجان و از نظر متالوژنی در بخشی از ایالت متالوژنی ملایر-اصفهان، در چهارگوش ۱:۲۵۰۰۰۰ اصفهان و ۱:۱۰۰۰۰۰۰ نجف‌آباد قرار گرفته است



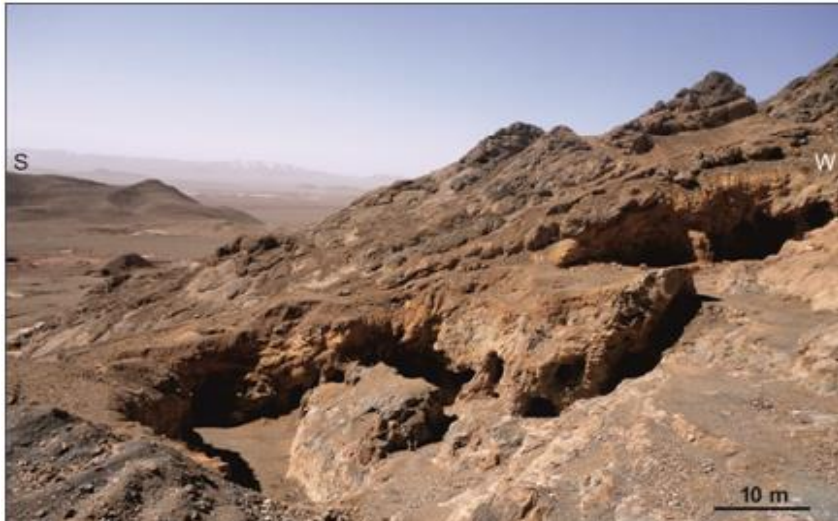
شکل ۲. نقشه زمین شناسی کانسار خانه سورمه در شمال غرب نجف آباد، به نقل از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ نجف آباد (Zahedi, 1975). موقعیت کانسار متروکه سرب و روی خانه سورمه و محل برداشت پروفیل‌ها در نقشه مشخص است.



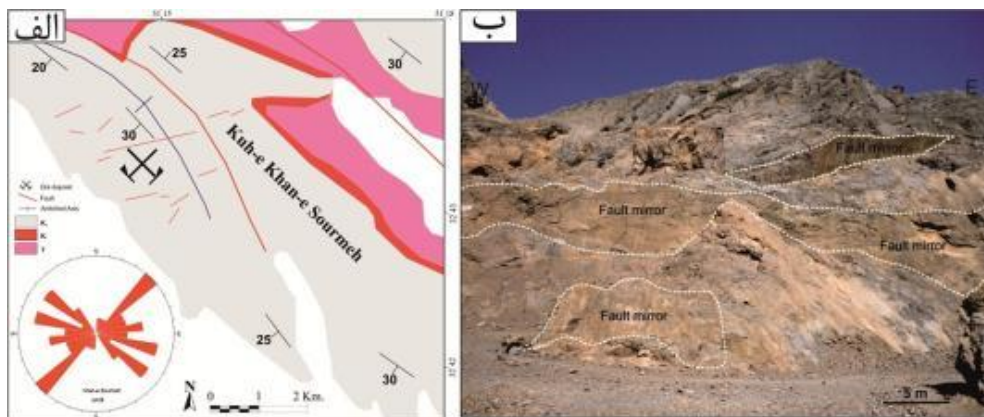
شکل ۳. ستون‌های چینه شناسی برداشت شده از کانسار خانه سورمه (موقعیت در شکل ۳ نشان داده شده است).

۴۰ درجه‌ای، امتدادلغز چپگرد بوده است (ناکینی، ۱۳۹۲). گسل های نرمال در محدوده کانسار دارای دو روند اصلی (۱) شمال شرق- جنوب غرب با امتداد N60E تا N85E و (۲) شمال غرب- جنوب شرق با امتداد کلی N135E که با گسل های تراستی منطقه انطباق خوبی را نشان می دهد. بخش عمده کانی زایی های سرب و روی در این منطقه با گسل های نرمال و تراستی با روند شمال غرب- جنوب شرق همراه است. علاوه بر آن کانه زایی در گسل های عادی با روند شمال شرق- جنوب غرب نیز مشاهده می شود (شکل ۵-ب).

در کانسار خانه سورمه گسلی به طول تقریبی ۲ کیلومتر واحدهای آهکی- شیلی کرتاسه را قطع کرده است که با توجه به تصاویر ماهواره‌ای می‌توان ادامه آن را به سمت شمال در واحدهای تریاس نیز مشاهده کرد. در طول این گسل حفاری‌های قدیمی صورت گرفته است که نشان می‌دهد این گسل یکی از فاکتورهای تجمع ماده معدنی بوده است. مشخصات صفحه گسل خانه سورمه ۳۴۰/۷۰ است. شواهد روی سطح این گسل نشان دهنده دو حرکت آن در زمان‌های مختلف است. حرکت اول این گسل به صورت شیب لغز و با سازوکار نرمال و حرکت دوم با توجه به ریک



شکل ۴. تونل‌های حفر شده در واحدهای دولومیتی کانسار خانه سورمه (دید به سمت جنوب غربی).



شکل ۵. الف- روند گسل‌ها و شکستگی‌های کانسار خانه سورمه بر روی نقشه مشخص شده است (برگرفته از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ نجف‌آباد، Zahedi, 1975). نمودار گل سرخی تهیه شده امتداد گسل‌ها و شکستگی‌ها را نشان می‌دهد. ب- نمای کلی از قسمت شمالی کانسار، قسمت اعظم ماده معدنی در این بخش همراه با سنگ میزبان دولومیتی در محل گسل خوردگی‌ها دیده می‌شود.

پراکنده منافذ و فضاهای خالی مشاهده می‌شود. این دولومیت ممکن است قبل، همزمان و یا بعد از مرحله اصلی کانه‌زایی ایجاد شود و معمولاً با مقادیر بسیار کمی سولفید همراه است. در منطقه مورد مطالعه دولومیت‌های هیدروترمالی ایدئوتوپیک-C و گزنوتوپیک-C همراه با کانه‌های سولفیدی ریز بلور در محل کانسار و بدون کانه‌های سولفیدی در فواصل دورتر از کانسار (فاصله ۲ کیلومتری) مشاهده می‌شوند (شکل ۳، نیمرخ شماره ۱).

**سیلیسی شدن:** سیلیسی شدن سنگ بستر کربناته در کانسار مورد مطالعه به ندرت دیده می‌شود. سیلیسی شدن هم به دلیل انحلال همزمان کربنات در سنگ میزبان تشکیل یافته است و هم در حفره‌ها، شکستگی‌ها و فضاهای باز نه‌نشین شده است.

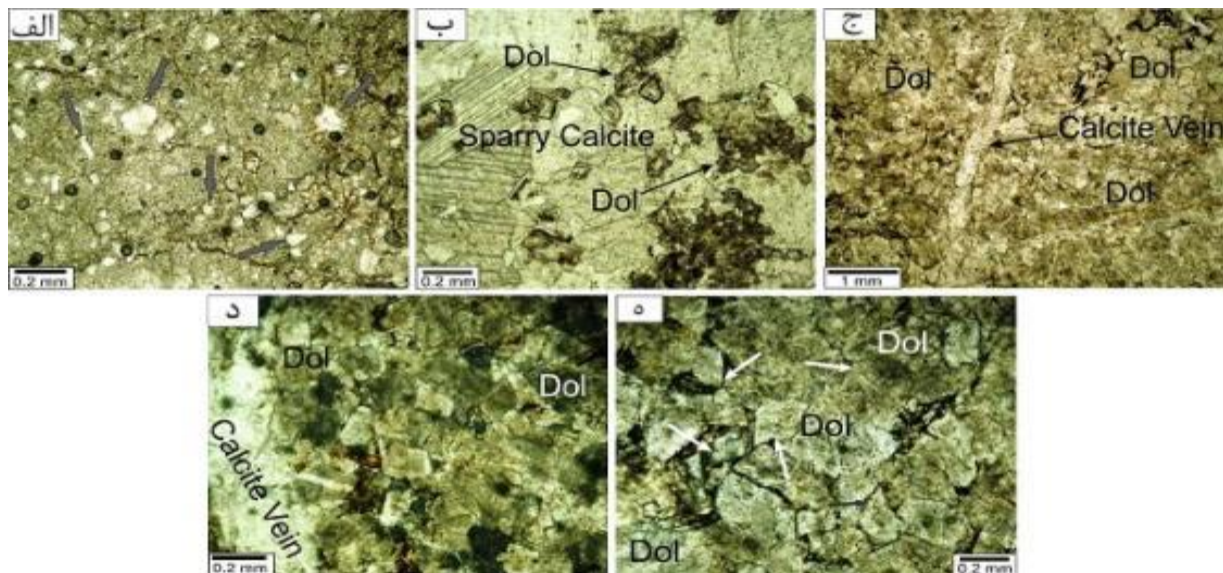
کلسیت میکریتی فسیل‌دار، رگه‌های کلسیت اسپاریتی، دولومیت گزنوتوپیک-A یا دولومیکرایت، ایدئوتوپیک-P، ایدئوتوپیک-S، ایدئوتوپیک-C و گزنوتوپیک-C یا زین اسبی، همراه با ذرات کوارتز آواری پراکنده در ماتریکس و جای گرفته در حفرات و شکستگی‌ها، از کانی‌های سازنده سنگ میزبان کانسار سرب و روی خانه سورمه است (شکل ۶). دولومیت‌های منطقه مورد مطالعه از نوع آهن‌دار هستند و پس از رنگ آمیزی با آلزبارین رد اس و فروسیانید پتاسیم رنگ آبی تیره به خود می‌گیرند. دولومیت‌های سیمانی (ایدئوتوپیک-C و گزنوتوپیک-C) همزمان با ماده معدنی توسط محلول‌های هیدروترمالی تشکیل شده است.

### کانی‌شناسی، دگرسانی و توالی پاراژنز

در محدوده مورد مطالعه ماده معدنی به طور عمده در سطح به حالت نواحی دگرسان شده‌ای به رنگ زرد تا لیمویی در سنگ آهک‌های دولومیتی شده گسترش یافته است. این نوار همواره بر روی بالاترین لایه‌های سنگ آهک درون دولومیت‌ها و آهک‌های دولومیت‌دار و در زیر مارن‌ها قرار دارد. در قسمت‌هایی که نوار کانه‌دار در سطح زمین رخنمون دارد، دگرسانی سبب اکسیده شدن سولفیدهای موجود در آن شده است. کانی‌سازی در محدوده مورد مطالعه به صورت چینه‌کران است و به توالی کرتاسه پایینی محدود می‌شود. در منطقه مورد مطالعه دگرسانی عمدتاً از نوع برش انحلالی ریزشی سنگ میزبان، دولومیتی و سیلیسی شدن است که در زیر به توضیح آنها پرداخته می‌شود:

**برش انحلالی ریزشی:** برش انحلالی ریزشی رایج‌ترین دگرسانی مشاهده شده در محدوده کانسار خانه سورمه است. این فرآیند نتیجه واکنش‌های تولیدکننده اسید است که عموماً مرتبط با امتزاج سیالات است (Corbella et al., 2004). مهمترین عامل ایجاد کننده اسید امتزاج سیالات غنی از گوگرد با یک سیال غنی از فلز و یا در مقادیر کمتر ناشی از کاهیده شدن سولفات در زون معدنی است (Leach et al., 2005).

**دولومیتی شدن:** دولومیت هیدروترمال در بیشتر کانسارهای سرب و روی با میزبان کربناته به صورت جانشینی سنگ میزبان، سیمان بین ذرات و



شکل ۶- الف- تصویر میکروسکوپی دولومیت‌های خیلی ریز تا ریزبلور (دولومیکریت)، نمونه S110، PPL، فلش‌ها کانی کوارتز را نشان می‌دهد؛ ب- دولومیت‌های شکل‌دار ریز بلور تا متوسط بلور همراه با زون‌بندی در زمینه کلسیت اسپاری، نمونه S125، PPL؛ ج- دولومیت‌های متوسط بلور نیمه شکل‌دار مترکم، نمونه S102، PPL؛ د- دولومیت‌های درشت بلور حفره پرکن (سیمان دولومیتی)، نمونه S105، XPL، دولومیت‌های درشت بلور شکل‌دار دارای خاموشی مستقیم تا موجی هستند؛ ه- دولومیت‌های زین اسبی یا باروک، نمونه S141، PPL، مرزهای اتحدار و شمشیری بلورهای دولومیت با علامت فلش مشخص شده است.

می‌شود و میزان فراوانی آن پایین است. کالکوپیریت در چند نمونه به صورت ادخال-های با اندازه ۰/۵ تا ۰/۸ میلیمتر به صورت بلورهای بی شکل تا نیمه شکل دار در میزبان گالن قابل مشاهده است، همچنین در مواردی درون رگه های کلسیت و دولومیت حضور دارند.

**سروزیت:** سروزیت به صورت ثانویه از هوازدگی بلورهای گالن تشکیل می‌شود و حاصل اکسیداسیون کربنیک گالن در یک محیط قلیایی است. سروزیت در فضاهای خالی بخصوص حواشی گالن و محل رخ های آن به صورت بی شکل و گاهی با بافت لایه ای ایجاد می‌شود.

**آنگلزیته:** آنگلزیته به ندرت در محدوده کانی سازی دیده می‌شود. با توجه به این که آنگلزیته در اثر اکسیداسیون گالن در محیط اسیدی تشکیل می‌شود، نادر بودن آن معرف غلبه محیط ته نشست قلیایی در منطقه است.

**کوولیت:** کوولیت اغلب در حاشیه گالن دیده می‌شود. با توجه به اینکه بقایای کالکوپیریت به همراه کوولیت دیده نشده است، نشان می‌دهد که مقدار اندک کالکوپیریت تماماً تحت تأثیر غنی سازی سوپرژن به کوولیت تبدیل شده است.

**مالاکیت:** در این کانسار کانی ثانویه مالاکیت به وفور در دیوهای اطراف کانسار دیده می‌شود که نشان دهنده تشکیل این کانی در سال های اخیر تحت تأثیر فعالیت های جوی است.

براساس بررسی های صحرایی، میکروسکوپی و آزمایشگاهی، کانی های باطله شامل کلسیت های درشت بلور و سفید رنگ رگه ای، دولومیت های سیمانی، کوارتز، مسکویت و باریت است.

بطور کلی با توجه به شواهد ذکر شده و مطالعات کانه زایی در کانسار خانه سورمه حداقل می‌توان سه مرحله کانی سازی به شرح زیر تشخیص داد که مراحل آن در شکل (۸) آمده است. مراحل کانی سازی عبارت است از:

۱- مرحله پیش از کانی سازی شامل رسوبگذاری سنگ های آهکی میکرایتی و آهک های فسیل دار، تشکیل میکرو-دولومیت، دولومیت ایدیوتوپیک-P، ایدیوتوپیک-S، رگه های کلسیت نسل اول، پیریت، کوارتز در مرحله دیاژنزی.

بر اساس مطالعات انجام شده کانه‌های فلزی هیپوزن موجود در کانسار خانه سورمه شامل گالن، اسفالریت، تنانتیت، پیریت، کالکوپیریت و کانه‌های سوپرژن سروزیت، آنگلزیته، کوولیت و مالاکیت است (شکل ۷).

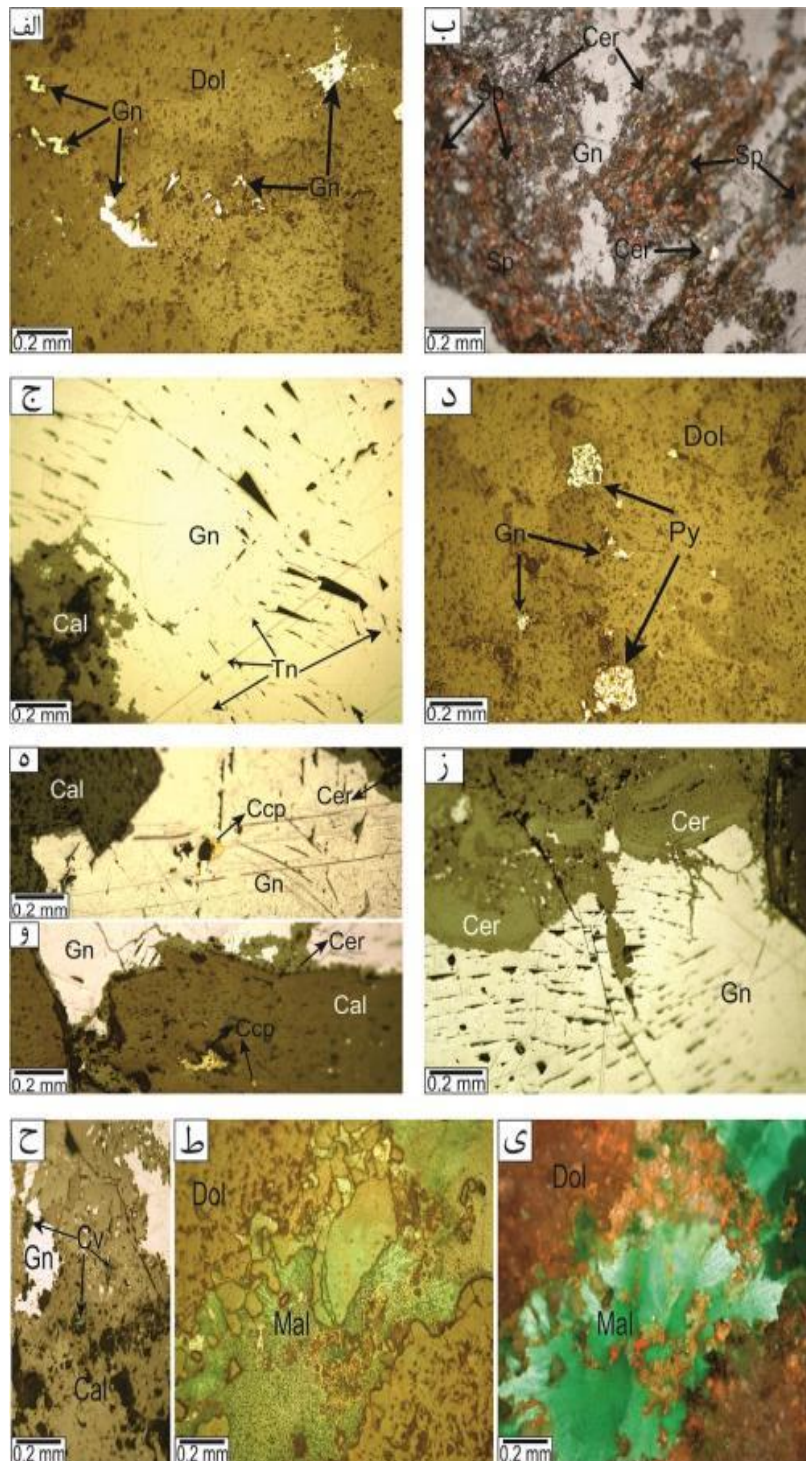
**گالن:** گالن به عنوان مهمترین فاز سولفیدی کانی‌سازی در کانسار خانه سورمه غالباً به صورت شکل‌دار، توده‌ای و بی‌شکل ریز، متوسط و درشت بلور (۰/۱ میلیمتر تا ۱ سانتیمتر) مشاهده می‌شود. نسل اول گالن به صورت بلورهای خودشکل تا نیمه خودشکل است و تماماً درون آهک‌ها و دولومیت-های هیدروترمالی ایدیوتوپیک-C و گزنوتوپیک-C جای گرفته‌اند، اندازه بلورها ریز است (۰/۱ تا ۰/۵ میلیمتر) و نسبت به دولومیت‌های همزمان خود رشد تماسی نشان می‌دهند و ظاهراً پیش از شکل‌گیری نسل دوم گالن ایجاد شده-اند. نسل دوم گالن به صورت بلورهای بی‌شکل و توده‌ای به صورت تراوشی و بافت پرکننده فضای خالی درون رگه‌های کلسیتی و بین بلورهای کلسیت و قطعات برشی شده دولومیت‌ها و کلسیت رگه‌ای نفوذ کرده و آنها را در بر گرفته است.

**اسفالریت:** در کانسار خانه‌سورمه، میزان روی (Zn) و متعاقب آن، درصد فراوانی اسفالریت بسیار پایین است و در نمونه دستی دیده نمی‌شود. فقط در چند نمونه محدود اسفالریت همراه گالن نسل دوم در مقاطع صیقلی قابل مشاهده است.

**تنانتیت:** تنانتیت به عنوان کانی سولفوسالتی حاوی آرسنیک در کنار مجموعه کانی های گالن، کالکوپیریت و پیریت در مقاطع صیقلی مشاهده می‌شوند. تنانتیت اغلب به صورت ادخال های ریز در گالن پراکنده است.

**پیریت:** پیریت ها ریز بلور هستند و به صورت بلورهای منفرد خودشکل تا نیمه خودشکل، درون رگه های کلسیتی و شکستگی ها (همراه با کانه زایی یا بدون کانه زایی)، درون آهک ها، دولومیت ها و شیل های منطقه مشاهده می‌شود. در اغلب موارد بلورهای پیریت خرد شده هستند و این خردشدگی احتمالاً ناشی از فرآیندهای برشی شدن است که طی مرحله اصلی کانه زایی ایجاد شده است.

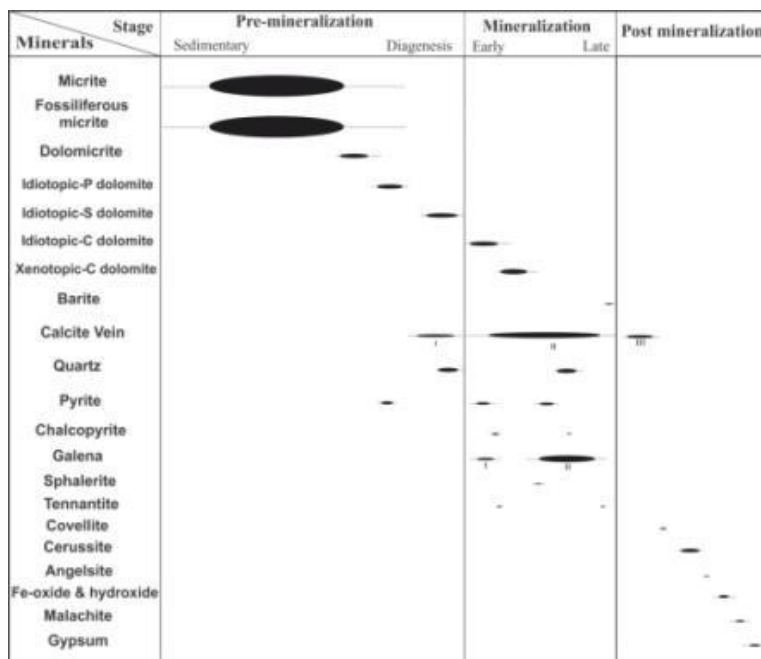
**کالکوپیریت:** کانی سازی کالکوپیریت تنها در زون کانه دار مشاهده



شکل ۷. الف- گالن اولیه ریز بلور افشان در زمینه دولومیتی، نمونه PPL, S137؛ ب- اسفالریت، نمونه XPL, S11؛ ج- ادخال‌های ریز تنانتیت درون گالن، نمونه PPL, S153؛ د- پیریت‌های افشان در زمینه دولومیتی، نمونه PPL, S137؛ ه- کالکوپیریت نیمه‌شکل‌دار در زمینه گالن، نمونه PPL, S26؛ و- کالکوپیریت بی‌شکل در زمینه کلسیت، نمونه PPL, S140؛ ز- در حاشیه بلورهای گالن سرزیت لایه‌ای تشکیل شده است، نمونه PPL, S140؛ ح- کوولیت (CV) در حاشیه گالن، نمونه PPL, S15؛ ط- ملاکیت (Mal) با بافت شعاعی در زمینه دولومیت، نمونه PPL, S36؛ ی- ملاکیت با انعکاس داخلی سبز، همان نمونه، XPL.

شده‌اند. مجموعه کانه‌های هیپوژن پیریت، کالکوپیریت، تنانتیت و کانی باطله کلسیت در هردو مرحله تشکیل شده‌اند.  
 ۳- مرحله پس از کانه‌زایی همراه با مجموعه کانه‌های سوپرژن کوولیت، سرزیت، آنگلیزیت، هیدروکسیدهای آهن از قبیل گوتیت، ملاکیت و ژپس.

۲- مرحله کانی‌سازی اپی‌ژنتیک شامل مراحل اولیه و تأخیری است. دولومیت‌های هیدروترمالی ایدئوتپیک-C، گزنوتوپیک-C و گالن نسل اول در مرحله اولیه و گالن نسل دوم، اسفالریت و کوارتز در مرحله تأخیری تشکیل



شکل ۸. توالی پاراژنزی کانی‌ها در کانسار خانه سورمه.

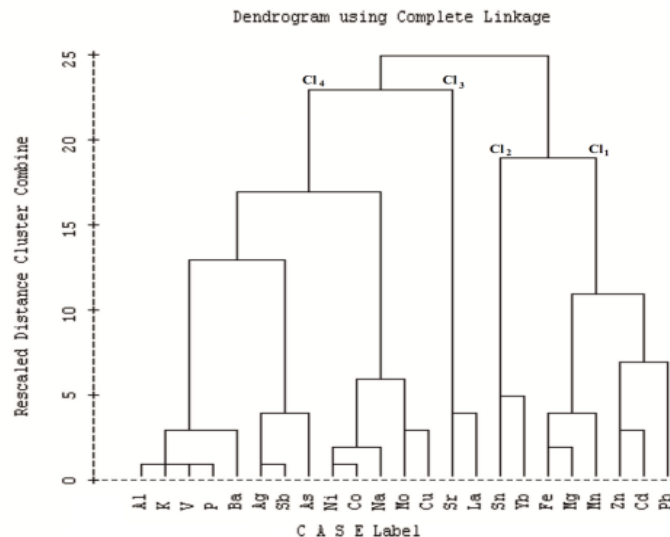
### ژئوشیمی

به منظور دستیابی به خصوصیات ژئوشیمیایی کانسار، نمونه‌هایی از نیمرخ‌های برداشت شده انتخاب و پس از آماده‌سازی، به روش‌های دستگاهی ICP-MS (۲۱ نمونه در آزمایشگاه Acme کانادا)، ICP-OES (۱۶ نمونه در آزمایشگاه دانشگاه خوارزمی) و AAS (۶ نمونه در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران) مورد تجزیه قرار گرفت. نتایج به دست آمده با استفاده از نرم افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. به منظور بررسی همبستگی آماری بین متغیرهای کانه‌ساز از ماتریس همبستگی رتبه‌ای

پیرسون استفاده شد. سرب به عنوان عنصر اصلی کانه‌ساز با اغلب عناصر کانسنگ دارای همبستگی متوسط تا بالا بوده و بالاترین میزان همبستگی آن با عناصر کادمیوم (۰/۶۲)، آهن (۰/۵۸) و روی (۰/۵۴) است. همبستگی روی با کادمیوم (۰/۸۲)، نقره با آنتیموان (۰/۹۵) و نقره با آرسنیک (۰/۸۰) است (جدول ۱). علاوه بر آن برای شناخت ارتباط ژنتیکی میان عناصر، از روش آماری چند متغیره آنالیز خوشه‌ای استفاده شد که بر اساس این نمودار (شکل ۹)، متغیرهای ژئوشیمیایی در کانسار خانه سورمه به چهار گروه اصلی زیر قابل تقسیم‌اند:

جدول ۱. ماتریس ضرایب همبستگی پیرسون برای ۲۳ عنصر اصلی، فرعی و جزئی در کانسار سرب و روی خانه سورمه.

	Mo	Cu	Pb	Zn	Ag	Ni	Co	Mn	Fe	As	Sr	Cd	Sb	V	P	Mg	Ba	Al	Na	K	Sn	La	Yb
Mo	۱																						
Cu	۰.۸۳	۱																					
Pb	۰.۴۸	۰.۴۰	۱																				
Zn	۰.۰۵	۰.۰۱	۰.۵۴	۱																			
Ag	۰.۱۵	۰.۰۰	۰.۲۷	-۰.۱۱	۱																		
Ni	۰.۸۰	۰.۷۲	۰.۳۶	-۰.۱۴	۰.۱۴	۱																	
Co	۰.۷۸	۰.۷۱	۰.۳۲	-۰.۱۴	۰.۱۱	۰.۹۷	۱																
Mn	-۰.۱۳	-۰.۱۳	۰.۳۳	۰.۴۰	-۰.۱۴	-۰.۲۴	-۰.۲۳	۱															
Fe	۰.۱۰	۰.۱۱	۰.۵۸	۰.۴۲	-۰.۰۳	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۹۱	۱														
As	۰.۳۳	۰.۲۰	۰.۳۹	۰.۲۳	۰.۸۰	۰.۱۳	۰.۱۰	-۰.۲۴	-۰.۱۶	۱													
Sr	-۰.۴۹	-۰.۳۰	-۰.۶۶	-۰.۰۹	-۰.۰۴	-۰.۴۹	-۰.۴۷	-۰.۵۲	-۰.۶۶	۰.۰۶	۱												
Cd	۰.۲۶	۰.۲۳	۰.۶۲	۰.۸۲	۰.۳۵	۰.۰۵	۰.۰۶	۰.۳۱	۰.۴۵	۰.۵۸	-۰.۱۲	۱											
Sb	۰.۳۱	۰.۲۴	۰.۳۴	-۰.۰۷	۰.۹۵	۰.۲۲	۰.۱۹	-۰.۱۱	۰.۰۴	۰.۸۲	-۰.۰۵	۰.۶۶	۱										
V	۰.۳۳	۰.۱۹	۰.۰۹	-۰.۳۸	۰.۵۸	۰.۴۸	۰.۵۱	-۰.۵۶	-۰.۳۱	۰.۴۰	۰.۰۷	-۰.۰۳	۰.۵۵	۱									
P	۰.۳۱	۰.۰۷	۰.۰۶	-۰.۳۲	۰.۵۴	۰.۵۴	۰.۵۵	-۰.۵۳	-۰.۳۳	۰.۳۶	۰.۰۱	-۰.۰۶	۰.۴۵	۰.۹۴	۱								
Mg	۰.۰۱	۰.۰۷	۰.۵۴	۰.۳۹	۰.۱۰	-۰.۱۸	-۰.۱۹	۰.۸۰	۰.۹۱	-۰.۰۳	-۰.۴۲	۰.۵۱	۰.۲۱	-۰.۲۳	-۰.۳۶	۱							
Ba	-۰.۰۶	-۰.۰۸	-۰.۲۵	-۰.۳۳	۰.۳۲	۰.۱۷	۰.۲۷	-۰.۵۸	-۰.۴۹	۰.۱۷	۰.۴۳	-۰.۱۸	۰.۲۵	۰.۸۳	۰.۸۰	-۰.۴۳	۱						
Al	۰.۱۶	۰.۰۷	-۰.۰۹	-۰.۴۳	۰.۴۳	۰.۴۶	۰.۵۲	-۰.۶۶	-۰.۴۸	۰.۲۷	۰.۱۷	-۰.۱۹	۰.۳۵	۰.۹۳	۰.۹۴	-۰.۴۹	۰.۹۰	۱					
Na	۰.۶۲	۰.۶۹	۰.۲۵	-۰.۱۴	-۰.۰۵	۰.۹۳	۰.۹۲	-۰.۲۱	۰.۰۰	-۰.۰۴	-۰.۳۷	-۰.۰۳	۰.۰۳	۰.۳۶	۰.۴۴	-۰.۲۴	۰.۲۱	۰.۴۳	۱				
K	۰.۱۸	۰.۰۸	-۰.۰۷	-۰.۴۳	۰.۴۶	۰.۴۸	۰.۵۳	-۰.۶۵	-۰.۴۶	۰.۲۸	۰.۱۴	-۰.۱۷	۰.۳۸	۰.۹۴	۰.۹۴	-۰.۴۷	۰.۸۹	۱.۰۰	۰.۴۵	۱			
Sn	۰.۳۰	۰.۱۱	۰.۲۳	۰.۱۸	-۰.۱۶	۰.۳۶	۰.۴۳	۰.۲۱	۰.۱۰	-۰.۰۴	-۰.۵۰	-۰.۰۵	-۰.۲۵	-۰.۱۲	۰.۱۰	-۰.۲۵	-۰.۰۷	۰.۰۰	۰.۴۳	۰.۰۱	۱		
La	-۰.۴۹	-۰.۳۳	-۰.۴۹	-۰.۰۵	-۰.۱۳	-۰.۴۵	-۰.۳۳	-۰.۲۷	-۰.۵۰	۰.۰۱	۰.۷۸	-۰.۱۵	-۰.۱۶	۰.۲۱	۰.۱۳	-۰.۳۷	۰.۶۴	۰.۳۶	-۰.۲۸	۰.۳۲	-۰.۲۱	۱	
Yb	-۰.۲۶	-۰.۳۲	-۰.۰۴	۰.۳۹	-۰.۳۶	-۰.۲۵	-۰.۱۷	۰.۲۶	-۰.۰۲	-۰.۱۳	-۰.۰۱	-۰.۰۳	-۰.۴۸	-۰.۴۱	-۰.۲۳	-۰.۲۴	-۰.۰۴	-۰.۲۲	-۰.۰۹	-۰.۲۴	۰.۶۹	۰.۳۰	۱



شکل ۹. نمودار درختی آنالیز خوشه‌ای عناصر اصلی، فرعی و جزئی کانسار سرب و روی خانه سورمه.

### تأثیر لایه شیلی و سنگ میزبان کربناته بر کانه‌زایی سرب و روی

با مقایسه مقدار سرب و روی نمونه‌های مورد مطالعه با متوسط مقدار سرب و روی زمینه در مقیاس جهانی در نمونه‌های شیلی ( $Pb=24ppm$  و  $Zn=100ppm$ ) و کربناتی ( $Zn=20$  و  $Pb=5ppm$ ) (Maynard, 1983) مشاهده می‌شود که مقدار سرب و روی در کلیه نمونه‌ها بالاتر از مقدار زمینه این عناصر در سنگ‌های کربناتی و شیلی است (جدول ۲). شیل‌ها تقریباً ۱۰ برابر مقدار زمینه سرب و حدود ۱/۵ برابر مقدار زمینه روی دارند. در حالیکه کربنات‌های منطقه بیش از ۱۰ تا ۱۰۰ برابر مقدار زمینه سرب و بین ۲ تا ۶ برابر مقدار زمینه روی دارند. همانطور که نتایج تجزیه شیمیایی نشان می‌دهد مقدار روی کمتر از حدی است که کانه‌زایی مستقل قابل توجهی را داشته باشد، مطالعات میکروسکوپی نیز آن را تأیید می‌کند. به طور کلی نمونه‌های کربناته‌ای که از نیمرخ ۴ و نزدیک به محل کانه‌زایی برداشت شده‌اند، حاوی مقادیر بیشتری سرب هستند که ممکن است تحت تأثیر فرسایش لایه‌های غنی از ماده معدنی اکسیدی و کربناتی باشد (قدیمی و نباتیان، ۱۳۹۳). با توجه به غلظت بالای عناصر سرب و روی در لایه شیلی تریاس فوقانی و توالی کربناته کوتاه پایینی نسبت به حد زمینه این عناصر در مقیاس جهانی، احتمالاً لایه شیلی و توالی کربناته هر دو (بیشتر توالی کربناته) در تأمین این عناصر برای کانی‌سازی نقش داشته‌اند.

### سیالات درگیر

مطالعه میانبارهای سیال می‌تواند نقش مهمی در درک زایش کانسارها داشته باشد (لطیفی ساعی و همکاران، ۱۳۹۳) به همین منظور در این مطالعه ۶ مقطع دوبر صیقل از دولومیت-هیدروترمالی، کلسیت رگه‌ای و کوارتز هم پارانژ با کانه‌زایی تهیه شد. در نهایت بدلیل ریز بودن سیالات، مطالعات سیالات درگیر بر روی تعداد ۱۷ سیال درگیر در ۲ مقطع دوبر صیقل در دانشگاه خوارزمی تهران با استفاده از میکروسکوپ ZEISS با عدسی شیئی LWD50X و سکوی گرمایش-سرمایش Linkam مدل THM600 و واحد کنترل کننده حرارتی TMS-93 انجام شد. که نتایج حاصل در جدول (۲) آمده است.

**خوشه اول:** این خوشه خود به دو زیر شاخه تبدیل می‌شود. زیر شاخه اول شامل عناصر منگنز، منیزیم، آهن که از مهمترین عناصر تشکیل دهنده سنگ میزبان آهنکی و دولومیتی است. زیر شاخه دوم شامل عناصر روی، کادمیوم، سرب است که از مهمترین عناصر کانه‌ساز در کانسارهای سرب و روی با میزبان کربناته هستند (Leach et al., 2005; Cox and Singer, 1986). براساس این خوشه‌بندی وجود دولومیت آهن-دار بخوبی نشان داده شده است که می‌تواند یک مدل ژنتیکی برای کانسارهای سرب و روی با میزبان کربناته باشد.

**خوشه دوم:** شامل عناصر قلع و ایتربیم است. این دو عنصر با روی همبستگی متوسطی دارند و با دیگر عناصر کانسنگ‌ساز رابطه بسیار ضعیفی دارند. به نظر می‌رسد این دو عنصر در شبکه کانیایی کانی‌های دارای روی قرار می‌گیرند که تشخیص آن به تجزیه با الکترون میکروپروب نیاز دارد.

**خوشه سوم:** شامل عناصر استرانسیم و لانتانیم است. این دو عنصر در کربنات‌های میزبان کانسنگ حضور دارند و همبستگی خوبی با یکدیگر دارند.

**خوشه چهارم:** شامل عناصر آلومینیم، پتاسیم، وانادیم، فسفر، باریوم، نقره، آنتیموان، آرسنیک، نیکل، کبالت، سدیم، مولیبدن و مس است که به طور عمده در کانسارهای سرب و روی SEDEX, MVT و سولفید توده‌ای تمرکز دارند (Berger, 2000; Sangster and Leach, 1995). این خوشه دارای سه زیر شاخه است. زیر شاخه اول شامل عناصر  $Mo, Na, Co, Ni$  است. زیر شاخه دوم شامل  $Ag, Sb, As$  است که احتمالاً در کانی کالکوپیریت یافت می‌شوند. زیر شاخه سوم شامل  $Pb, V, K, Al$  است که همگی از اجزای فرعی سنگ میزبان کربناته منطقه هستند.

عناصر  $Pb, Sb, Ag, Zn, Cd$  که در خوشه‌های ۱ و ۴ نمایان شده‌اند می‌توانند به عنوان ردیاب در اکتشافات ژئوشیمیایی برای کانسارهای کشف نشده مشابه کاربرد داشته باشند. این عناصر به عنوان عناصر اصلی و فرعی کانسارهای سرب و روی با میزبان کربناته محسوب می‌شوند (Leach et al., 2001).

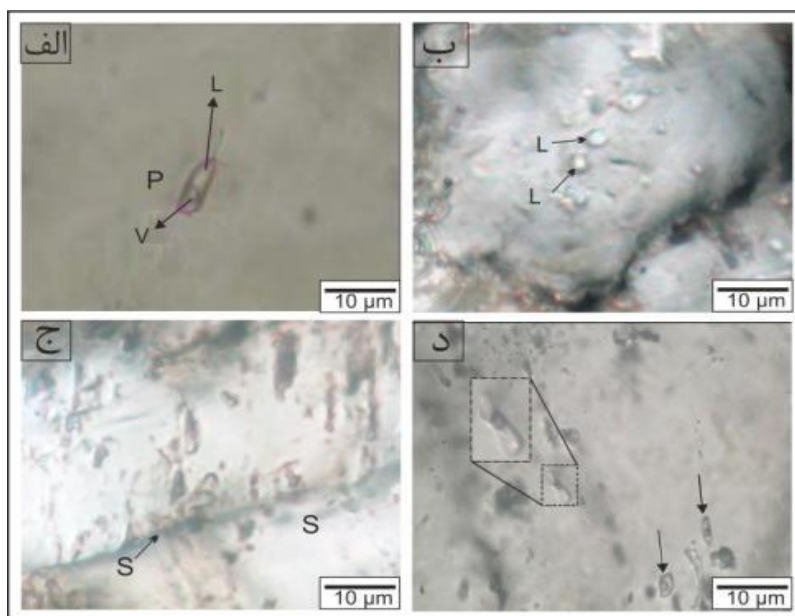


جدول ۲. مقادیر غلظت سرب و روی بر حسب ppm در شیل‌ها و کربنات‌های منطقه مورد مطالعه و مقایسه آنها با حد زمینه این عناصر در مقیاس جهانی (اقتباس از Maynard, 1983).

جنس نمونه	شماره نمونه	محل برداشت نمونه	Pb (ppm)	حد زمینه استاندارد Pb	Zn (ppm)	حد زمینه استاندارد Zn	روش تجزیه	میانگین Pb	میانگین Zn
شیل	S106	نیمرخ ۱	۱۲۸.۰۳	۲۴	۱۵۰.۵۰	۱۰۰	ICP-MS	۲۴۲.۷۶	۱۳۳.۵۰
	S107	نیمرخ ۱	۳۲۶.۳۵	۲۴	۱۷۵.۴۰	۱۰۰	ICP-MS		
	S157	نیمرخ ۱	۱۴۹.۷۷	۲۴	۷۳.۲۹	۱۰۰	ICP-OES		
	S158	نیمرخ ۱	۳۶۶.۸۹	۲۴	۱۳۴.۸۴	۱۰۰	ICP-OES		
کربنات	S109	نیمرخ ۱	۱۴۷.۰۰	۵	۲۸.۰۰	۲۰	ICP-OES	۴۳۰.۸۵	۶۶.۲۸
	S110	نیمرخ ۱	۵۷.۹۱	۵	۵۵.۴۰	۲۰	ICP-MS		
	S112	نیمرخ ۱	۱۰۵.۷۵	۵	۹۸.۱۰	۲۰	ICP-MS		
	S113	نیمرخ ۱	۱۰۷۸.۲۲	۵	۱۶۴.۵۰	۲۰	ICP-MS		
	S117	نیمرخ ۱	۲۰۷.۵۷	۵	۵۸.۹۰	۲۰	ICP-MS		
	S105	نیمرخ ۱	۷۳۱.۹۴	۵	۵۸.۲۰	۲۰	ICP-MS		
	S120	نیمرخ ۱	۲۵۵.۱۹	۵	۷۲.۲۰	۲۰	ICP-MS		
	S123	نیمرخ ۴	۱۲۶۴.۷۴	۵	۹۲.۰۰	۲۰	ICP-MS		
	S139	نیمرخ ۴	۱۶۲.۸۷	۵	۲۴.۵۰	۲۰	ICP-MS		
	S56	نیمرخ ۵	۴۹.۰۰	۵	۶۱.۰۰	۲۰	ICP-OES		
	S57	نیمرخ ۵	۵۲۸.۶۶	۵	۷۱.۷۲	۲۰	ICP-OES		
	S72	نیمرخ ۵	۸۸۳.۶۷	۵	۹۵.۵۴	۲۰	ICP-OES		
	S77	نیمرخ ۵	۴۶۶.۸۶	۵	۱۵۵.۱۱	۲۰	ICP-OES		
	S18	نیمرخ ۴	۱۱۸۵.۰۰	۵	۱۳.۰۰	۲۰	ICP-OES		
	S121	نیمرخ ۱	۵۰.۰۰	۵	۴۳.۰۰	۲۰	ICP-OES		
	S138	نیمرخ ۴	۵۳.۰۰	۵	۲۶.۰۰	۲۰	ICP-OES		
	S139	نیمرخ ۴	۱۴۹.۰۰	۵	۴۹.۰۰	۲۰	ICP-OES		
S151	نیمرخ ۴	۳۷۹.۰۰	۵	۲۷.۰۰	۲۰	ICP-OES			

بر مبنای تقسیم بندی‌های متداول (Roedder, 1984; Shepherd et al., 1985)، سیالات درگیر از نوع دو فازه مایع+گاز با فاز غالب مایع هستند و فاز جامد مستقل در آنها مشاهده نشد. علاوه بر آن حجم زیادی از سیالات ثانویه و ثانویه کاذب نیز در ابعاد زیر ۵ میکرون در نمونه‌ها تشخیص داده شد که بیشتر به صورت تک فازه مایع و تک فازه گاز هستند (شکل ۱۰).

همچنین به منظور رسم ایزوکرهاى PVTX از نرم افزار FLINCOR (Brown, 1989) استفاده شد. مطالعات بر روی سیالات درگیر اولیه (P) و در مواردی ثانویه کاذب (Ps) مطالعات بر روی سیالات درگیر اولیه (P) و در مواردی ثانویه کاذب (Ps) در کانی‌های کلسیت و دولومیت هیدروترمالی انجام شد. سیالات درگیر اندازه گیری شده به شکل‌های بیضوی، کروی، نیمه شکلدار و بی‌شکل با اندازه ۵ تا ۱۸ میکرون و بطور میانگین ۷ میکرون هستند.

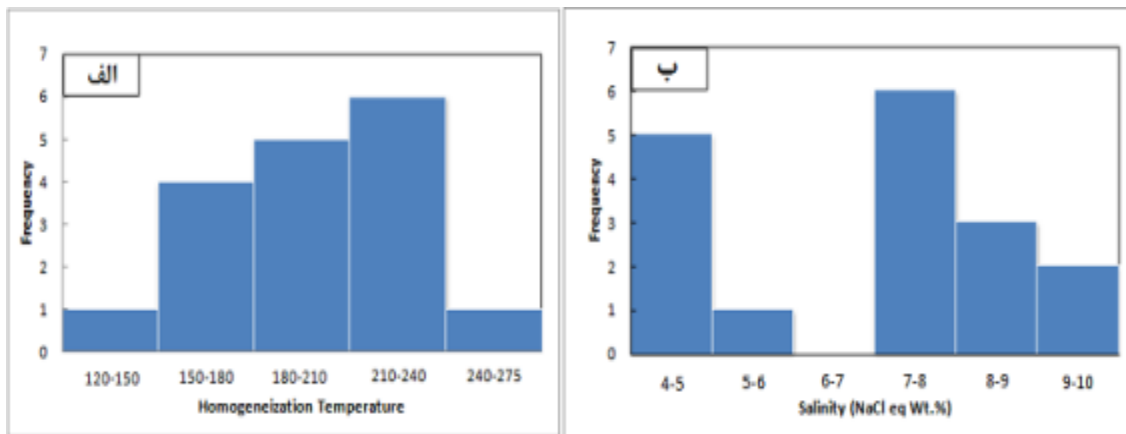


شکل ۱۰. سیالات درگیر در بلورهای کلسیت و دولومیت کانسارخانه سورمه؛ الف) سیال اولیه دوفازی با فاز غالب مایع، ب) سیالات تک فازی مایع، ج) سیالات ثانویه که مرز بلور را قطع کرده است، د) سیالات کشیده، بی‌شکل و کروی شکل.

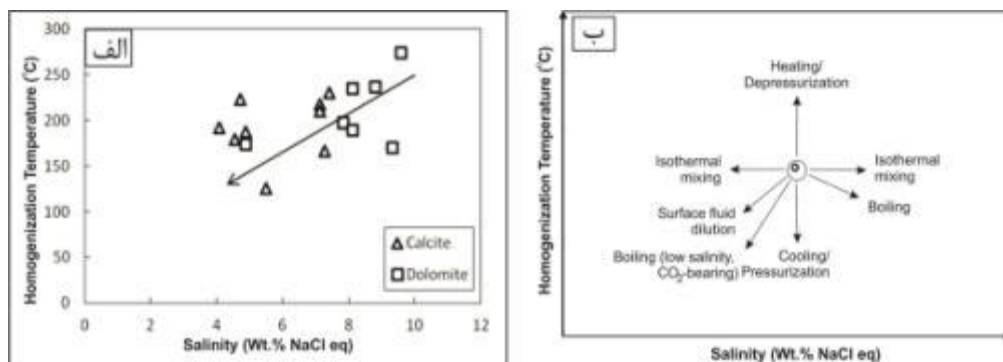
است، لذا دمای همگن شدن سیالات در دولومیت‌های هیدروترمالی نشان دهنده دمای سیال در مرحله اول کانه‌زایی و دمای همگن شدن سیالات در کلسیت‌های رگه‌ای نشان دهنده دمای سیال در مرحله پسین کانه‌زایی هیپوژن است. با مقایسه روند شوری در مقابل دمای همگن شدن سیالات درگیر کانسار خانه سورمه با نمودار (Wilkinson, 2001)، (شکل ۱۲-ب) می‌توان یک روند رقیق شدگی و اختلاط با آب‌های سطحی را در سیالات کانه‌ساز منطقه مورد مطالعه مشاهده کرد.

با توجه به داده‌های بدست آمده از مطالعات میکروترموتری سیالات درگیر، دمای همگن شدن نهایی از ۱۲۵/۶ تا ۲۷۴ درجه سانتیگراد متغییر است و بیشترین فراوانی در تغییرات دمایی ۲۱۰ تا ۲۴۰ درجه سانتیگراد مشاهده می‌شود (شکل ۱۱-الف). همچنین شوری سیالات درگیر نیز از ۴/۰۷۴ تا ۹/۵۸۳ درصد وزنی معادل نمک طعام متغیر است و بیشترین فراوانی در شوری‌های ۷ تا ۸ درصد مشاهده می‌شود (شکل ۱۱-ب).

نسبت شوری به دمای همگن شدن برای کانی‌های کلسیت و دولومیت هیدروترمالی در شکل ۱۲-الف نشان داده شده است. این نمودار نشان می‌دهد که دما و شوری دولومیت‌های هیدروترمالی بیش از کلسیت‌های رگه‌ای است. از آنجا که کانه‌زایی در کانسار خانه سورمه طی دو فاز اولیه و تأخیری رخ داده



شکل ۱۱. الف- هیستوگرام دمای همگن شدن سیالات درگیر کانسار خانه سورمه. بیشترین دمای همگن شدن سیالات در محدوده ۲۱۰-۲۴۰ درجه سانتیگراد قرار گرفته‌اند. ب- هیستوگرام شوری سیالات درگیر کانسار خانه سورمه. بیشترین شوری‌ها در محدوده ۴-۵ و ۷-۸ درصد وزنی نمک طعام قرار گرفته است.



شکل ۱۲. نمودارهای دمای همگن شدن سیالات درگیر در مقابل شوری، الف) در کانسار سرب و روی خانه سورمه، ب) نمودار مرجع wilkinson, 2001 مقایسه این دو نمودار نشان می‌دهد که عامل رقیق شدگی سیالات هیدروترمال و درون حوضه‌ای با آب‌های سطحی، سبب کانه‌زایی کانسار سرب و روی خانه سورمه شده است.

از کانسارهای این تیپ همزمان با فرآیندهای کوهزایی ایجاد شده‌اند. در زون سنندج- سیرجان نیز مشابه دیگر کانسارهای MVT دنیا شیب توپوگرافی ایجاد شده در اوایل کوهزایی لارامید عاملی برای حرکت سیالات به سمت ارتفاعات کمتر و به درون رسوبات کرتاسه بوده است. چرا که رسوبات کرتاسه در این زمان در حال شکل‌گیری بوده و در ارتفاع بسیار کمتری نسبت به کوهزایی مجاور خود قرار داشته است.

در رسوبات کرتاسه زیرین، وجود رخساره‌های کم‌عمق، رخساره-های عمیق فسیل‌دار و دولومیت پیش از کانه‌زایی سبب افزایش نفوذپذیری سنگ میزبان شده و لذا بخشی از سیالات هیدروترمال توانایی چرخش درون این ناحیه را داشته‌اند. قسمت اعظمی از سیالات هیدروترمال نیز به حرکت خود در امتداد گسل‌ها ادامه داده تا به بخش‌های نفوذ ناپذیر و عمیق‌تر توالی کرتاسه کرتاسه (واحد K<sub>4</sub>) رسیده است. در قسمت‌های بالایی به دلیل عدم

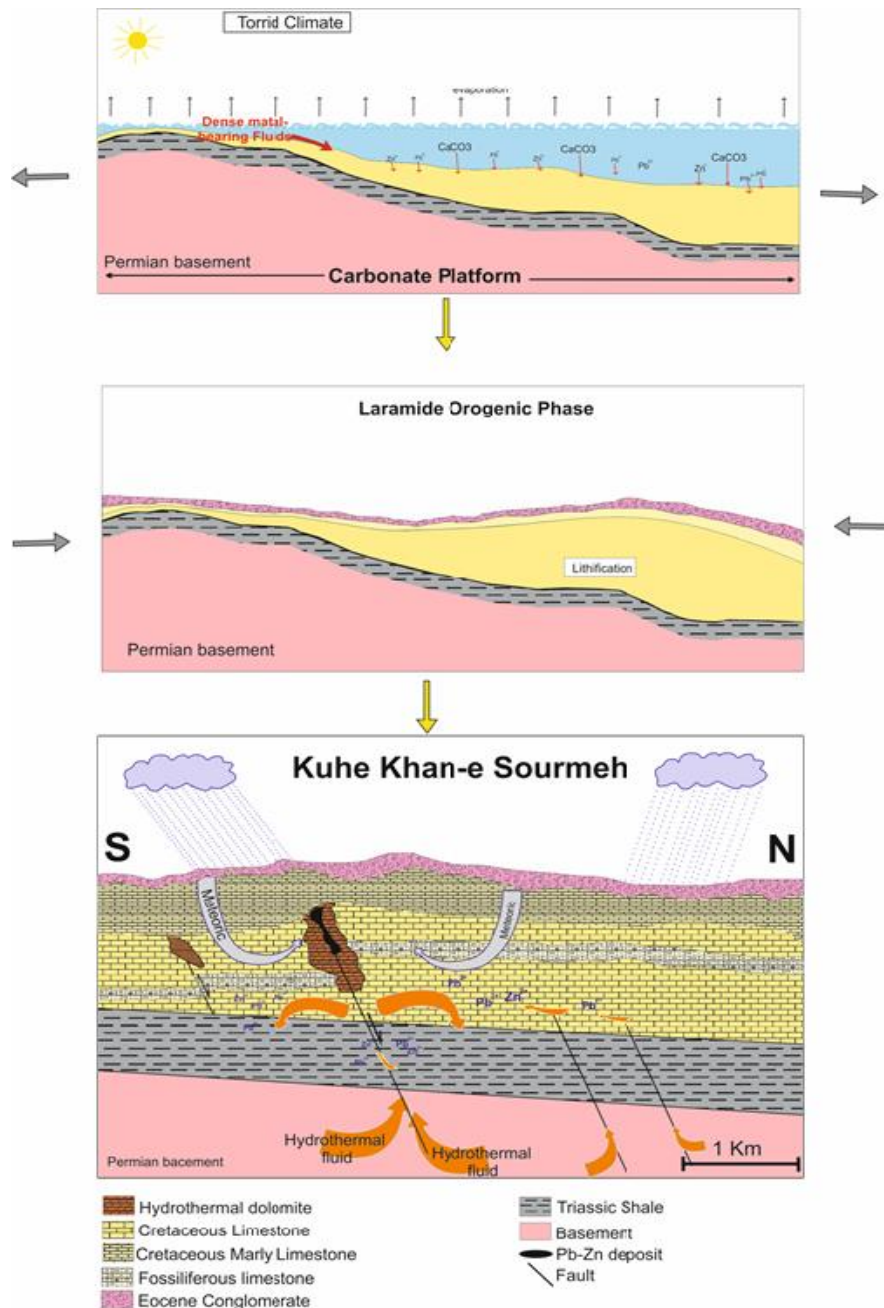
### چگونگی تشکیل کانسار

با توجه به مقایسه کانسار خانه سورمه با سایر تیپ‌های مختلف و با استفاده از نمودار (Wilkinson, 2001) و پیاده کردن شوری و دمای همگن شدن سیالات، کانسار خانه سورمه در محدوده کانسارهای تیپ دره می‌سی‌سی‌پی با میزبان کرتاسه قرار می‌گیرد. رخداد کوهزایی لارامید در ایران علاوه بر بستن نفوذتیس سبب ایجاد گسل‌های معکوس با مولفه کمی امتداد لغز راستگرد و اختلاف ارتفاع در زون سنندج- سیرجان نسبت به زون ایران مرکزی شده است (Mohajjel et al., 2003). شیب توپوگرافی مهمترین عامل حرکت حجم عظیمی از سیالات برای کانه‌زایی سرب و روی تیپ دره می‌سی‌سی‌پی است (Leach et al., 2005, 2003, 2001; Appold and Garven, 1999; Garven et al., 1998) و به همین دلیل بسیاری

کاسته است. منبع تأمین گرما هم احتمالاً گرادیان طبیعی زمین در خلال تکامل حوضه بوده است (Graven, 1985). محتوای فلزی این سیالات با شستشوی شیل‌های تریاس فوقانی و به ویژه کربنات‌ها بالا رفته، سپس کمپلکس‌های فلزی حمل شده در اثر مخلوط شدن با آب‌های جوی ناپایدار شده و فلزات رسوب کرده‌اند و کانی‌سازی درون گسل‌ها و شکستگی‌ها صورت گرفته است (شکل ۱۳). در ادامه فعالیت‌های گسلی و تکتونیکی در این ناحیه، بخش‌های سطحی و کم‌عمق در معرض سیالات و شرایط جوی قرار گرفتند. حرکت این سیالات درون واحدهای کربناته و دولومیتی میزبان کانسار خانه سورمه سبب پراکندگی بیشتر عناصر کانه‌زا و دیگر عناصر همراه درون بستر کربناته شده و کانه‌زایی سوپرژن را در این ناحیه ایجاد کرده است.

نفوذپذیری سنگ میزبان و نبود دولومیت قبل از کانه‌زایی، سیالات هیدروترمال مواد محلول خود را درون گسل‌ها رسوب داده‌اند. چرخش سیالات هیدروترمال کانه‌دار سبب ایجاد هاله‌های ژئوشیمیایی، بافت‌های جان‌شینی مواد معدنی به جای آهک فسیل‌دار، دولومیت میزبان و دولومیت هیدروترمال شده است. بنابراین می‌توان سنگ میزبان را در این ناحیه عامل مهمی در ایجاد شرایط قلیایی و پایین آوردن دما دانست.

شوراب‌های حوضه رسوبی ممکن است در اثر فشردگی رسوبات و یا فشارهای ناشی از کوه‌زایی، درون حوضه رسوبی به حرکت درآمده (Graven and Freeze, 1984) و در امتداد گسل‌ها و شکستگی‌های موجود، به سمت بالا صعود کرده‌اند. همچنین آب جوی با آنها امتزاج یافته و از شوری آنها



شکل ۱۳. مدل تشکیل کانسار خانه سورمه. در مرحله اول که مرحله کششی بوده است، یون‌های آزاد سرب و روی هم‌زمان با کربنات‌ها نهشته می‌شوند. در مرحله بعد که مرحله کوه‌زایی را نشان می‌دهد رسوبات از آب خارج شده و سنگ می‌شوند. مرحله سوم تشکیل کانسار در کوه خانه سورمه را نشان می‌دهد؛ بدین صورت که سیالات هیدروترمال از طریق شکستگی‌های عمیق بالا آمده و با شورابه‌های میان لایه‌ای که حاوی یون‌های سرب و روی هستند مخلوط شده و پس از اختلاط با آب‌های جوی سرد شده و کانسار نهشت یافته است.

## نتیجه گیری

ویژگی‌های سنگ‌شناختی سنگ میزبان (سنگ آهک‌های فسیل‌دار، آهک دولومیت‌دار و دولومیت) و وجود شکستگی‌های مناسب برای عبور محلول‌های کانه‌ساز، از عوامل مهم تاثیرگذار در تشکیل کانسار خانه سورمه بوده است. همچنین فرآیندهای فیزیکی حاصل از عملکرد زمین‌ساخت باعث برشی شدن و افزایش تخلخل شده‌اند و زمینه را برای عبور محلول‌های گرمایی و فرآیندهای شیمیایی و در نتیجه تنشست کانسار مهیا کرده‌اند. کانی‌های هیپوزن کانسار شامل گالن، اسفالریت، پیریت، کالکوپیریت و تنانتیت است و در کل پاراژنز ساده‌ای را نشان می‌دهند. کانه‌زایی تماماً به صورت چینه‌کران بوده و اثری از کانه‌زایی چینه‌سان مشاهده نمی‌شود. کانه‌سازی هیپوزن در دو فاز اولیه و تاخیری رخ داده که در فاز اول همراه با دولومیت‌های هیدروترمالی و فاز دوم همراه با رگه‌های کلسیتی بوده است. کانی‌های باطله نیز شامل کلسیت، دولومیت و کوارتز هستند.

بر اساس مطالعات ژئوشیمیایی و بررسی همبستگی عناصر موجود در کانسنگ، سرب به عنوان عنصر اصلی کانه‌ساز با اغلب عناصر کانسنگ دارای همبستگی متوسط تا بالا بوده و بیشترین همبستگی آن با عناصر کادمیوم، آهن و روی است. همبستگی روی با کادمیوم، نقره با آنتیموان و نقره با آرسنیک نیز اهمیت بالایی دارد. با توجه به مقادیر بالای عناصر سرب و روی در لایه شیلی تریاس فوقانی (تقریباً ۱۰ برابر مقدار زمینه سرب و حدود ۱/۵ برابر مقدار زمینه روی) و کربنات‌های کرتاسه (بیش از ۱۰ تا ۱۰۰ برابر مقدار زمینه سرب و بین ۲ تا ۶ برابر مقدار زمینه روی) چنین نتیجه‌گیری می‌شود که مقدار سرب و روی از ابتدای رسوبگذاری در لایه کربناتی بالا بوده است. بنابراین لایه شیلی تریاس فوقانی و به ویژه توالی کربناته کرتاسه پایین در تأمین عناصر سرب و روی برای کانی‌سازی نقش داشته‌اند. با توجه به مطالعات میکروترموتری انجام گرفته، دمای سیال کانه‌ساز حدود ۲۱۰ تا ۲۴۰ درجه سانتی‌گراد و شوری آن حدود ۷ تا ۸ درصد وزنی معادل نمک طعام بوده است. شوری پایین سیال کانه‌ساز احتمالاً به دلیل رقیق

شدگی و اختلاط با آب‌های سطحی است. با مقایسه ویژگی‌های کانسار سرب و روی خانه سورمه با کانسارهای گرمایی می‌توان گفت کانسار مورد نظر از نوع دیاژنتیک تا اپی‌ژنتیک است. شواهد زیر دیاژنتیک-اپی‌ژنتیک بودن این کانسار را نشان می‌دهد: (۱) مطالعات صحرایی و نمونه دستی نشان می‌دهد که بین گسل‌ها و کانه‌زایی ارتباط وجود دارد، زیرا کانی‌سازی پرعیار در گسل‌ها و شکستگی‌ها رخ داده است. (۲) در این مطالعات، هیچ‌گونه بافت یا ساخت رسوبی (مانند لایه‌بندی و لودکست) در ارتباط با کانی‌سازی دیده نشده است. (۳) دگرسانی دولومیتی موجب دولومیتی شدن سنگ‌های آهکی شده است. همچنین همراهی دولومیت‌های زین‌اسبی با ماده معدنی نشانه اپی‌ژنتیک بودن کانسار است. (۴) کانی‌سازی در ساختارهای تشکیل شده در زمان پس از رسوبگذاری و دیاژنز روی داده است. بافت کانسار به صورت پرکننده فضاهای خالی (حفرات، رگه‌ها و رگچه‌ها) رخ داده است.

تمامی شواهد زمین‌ساختی، چینه‌شناسی و سن رسوبات، کانی‌شناسی، ژئوشیمیایی و میکروترموتری کانسار خانه سورمه با کانسارهای تیپ دره می‌سی‌سی‌پی قابل مقایسه است و بر این اساس می‌توان این کانسار را از نوع کانسارهای MVT معرفی کرد. با توجه به شواهد موجود در ارتباط با شکل‌گیری کانسار خانه سورمه به طور خلاصه می‌توان گفت در اثر ایجاد اختلاف توپوگرافی ناشی از مراحل اولیه کوهزایی لارامید و فعالیت‌های زمان کرتاسه میانی، حجمی از سیالات برای کانه‌زایی سرب و روی در زون سندج-سیرجان و همین‌طور کانسار مورد مطالعه به طرف ارتفاعات کمتر و به درون رسوبات کرتاسه حرکت کرده‌اند و توسط گرادبان زمین‌گرمایی تبدیل به سیال هیدروترمالی شده‌اند. سیالات هیدروترمالی دمابالا توسط گسل‌ها به حوضه ورود پیدا کرده و با سیالات درون حوضه‌ای مخلوط شده‌اند و در مسیر خود فلزات را از واحدهای مختلف رسوبی شسته‌اند و در نهایت احتمالاً طی آمیختگی با سیالات جوی میزان شوری این سیالات کمی کاسته شده و نهشت ماده معدنی انجام شده است. این پژوهش نشان می‌دهد که در عمق‌های بیشتر در منطقه معدنی خانه سورمه می‌توان کانی‌سازی سرب و روی را دنبال کرد.

## منابع

- زمانیان، ح.، ۱۳۷۲، کانی‌شناسی، پاراژنز و نحوه تشکیل کانسار نقره و سرب آهنگران ملایر، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه تربیت معلم تهران، ۲۸۰ صفحه.
- طاهریان، ع.ر.، ۱۳۷۲، بررسی تیپ، ارتباطات کانی‌شناسی، ژئوشیمیایی و ژنز احتمالی معدن سرب و روی انجیره تیران (غرب نجف‌آباد)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم تهران، ۲۹۰ صفحه.
- قدیمی، س.، نباتیان، ق.، ۱۳۹۳، بررسی زمین‌شیمیایی معدن روی-سرب انگوران و اثرات فعالیت‌های معدنکاری بر آلودگی منطقه، مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۱۳، صفحه ۶۶-۵۶.
- لطیفی‌ساعی، ف.، میرنژاد، ح.، علی‌پور اصل، م.، نیرومند، ش.، ۱۳۹۳، بررسی کانی‌سازی طلا در سامانه رگه‌ای دره زار در منطقه پاریز (استان کرمان) باتاکید بر مطالعات میانبارهای سیال و ایزوتوپ‌های گوگرد، مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۱۴، صفحه ۷۵-۶۵.
- ناکینی، ع.، ۱۳۹۲، تحلیل ساختاری مناطق ایرانکوه و تیران (جنوب و غرب اصفهان)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس، ۱۸۰ صفحه.

- Appold, M.S., and Gruven, C., 1999. The hydrology of ore formation in the Southeast Missouri district: Numerical models of topography-driven fluid flow during the Ouachita orogeny, *Economic geology*. v. 94, p. 913-936.
- Berger, B.R., 2000. Classification of mineral deposits. In: Seal II, R.R., Foley, N.K. (Eds.), *Geoenvironmental Models of Mineral Deposits: U.S Geological Survey Open-File Report 02-195*.
- Brown P.E., 1989. FLINCOR: a microcomputer program for the reduction and investigation of fluid inclusion data. *American Mineralogist*, 74, 1390–1393.
- Burnol, L., 1968. Contribution a l'etude des gisements de plomb et Zinc de l' Iran. *Essais de classification paragenetique. Geological survey of Iran, report 11, Tehran*.
- Corbella, M., Ayora, C., and Cardellach, E., 2004, Hydrothermal mixing, carbonate dissolution and sulfide precipitation in Mississippi Valley-type deposits: *Mineralium Deposita*. v. 39, p. 344-357.

- Cox, P., Singer, D.A., 1986. Mineral Deposit Model: U.S. Geological Survey Bulletin 1693. 379 p.
- Ehya, F., Lotfi, M. & Rassa, I., 2010, Emarat carbonate-hosted lead-zinc deposits, Markazi province, Iran: A geological, mineralogical and isotopic (S,Pb) study. *Journal of Asian Earth Science*, 37(2), pp. 186-194.
- Garven, G., 1985. The role of regional fluid flow in the genesis of the Pine Point deposit, Western Canada Sedimentary Basin: *Economic Geology*, v. 80, p. 307-324.
- Garven, G., and Freeze, R.A., 1984. Theoretical analysis of the role of groundwater flow in the genesis of stratabound ore deposits. 2. Quantitative results: *American Journal of Science*, v. 284, p. 1125-1174.
- Ghazban, F., McNutt, R.H. & Schwartz, H.P., 1994, Genesis of sediment-hosted Zn-Pb-Ba deposits in the Irankuh district, Esfahan area, west-central Iran. *Economic Geology* 89, 1262-1278.
- Graven, Y., Martin, A.-G., Baud, J.-P., Renault, T. & Gérard, A. 1998. Selecting the flat oyster *Ostrea edulis* (L.) for survival when infected with the parasite *Bonamia ostreae*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 224: 91-107.
- Leach, D.L., Bechstadt, T., Boni, M., and Zeeh, S., 2003, Triassic-hosted MVf Zn-Pb ores of Poland, Austria, Slovenia and Italy, *In* Kelly, J.G., Andrew, C.J., Ashton, J.H., Boland, M.B., Earls, G., Fuscuardi, L., and Stanley, G., eds., *Europe's major base metal deposits*: Dublin, Irish Association for Economic Geology, p. 169-214.
- Leach, D.L., Bradley, D., Lewchuck, M.T., Symons, D.T.A., de Marsily, G., Brannon, J.C., 2001. Mississippi Valley-type lead-zinc deposits through geological time: implications from recent age-dating research. *Miner. Deposita* 36, pp. 711-740.
- 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 Volume*. Society of Economic Geologists, Inc, pp. 561-607.
- Maynard, B., 1983. *Geochemistry of Sedimentary Ore Deposits*, Springer-Verlag, New York Inc, 305p.
- Mohajjel, M., Fergusson, C.L., Sahandi, M.R., 2003. Cretaceous-Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj-Sirjan zone, western Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 21(4), pp.397-412.
- Momenzadeh, M., 1976. Stratabound lead zinc ores in the lower Cretaceous and Jurassic sediments in the Malayer-Esfahan District (West Central Iran): Lithology, Metal content, Zonation and Genesis. PhD Thesis, University of Heidelberg, 300 pp.
- Nadimi, A., Konon, A., 2012. Strike-slip faulting in the central part of the Sanandaj-Sirjan Zone, Zagros Orogen, Iran, *Journal of Structural Geology*, 40, 2-16.
- Roedder, E., 1984. *Fluid Inclusions*, Mineralogical Society of America, *Reviews in Mineralogy*, v. 12, 644 p.
- Sangster, D., Leach, D.L., 1995. Evidence for a genetic link between SEDEX and MVT deposits. In: Leach, D.L., Goldhaber, M.B. (Eds.), *Extended Abstracts, International Field Conference on Carbonate-hosted Lead-Zinc Deposits*, St. Louis Missouri, June 1-4, pp. 260-263.
- Shepherd, T.J., Rankin, A.H. and Alderton, D.H.M., 1985. *A Practical Guide to Fluid Inclusion Studies*, Glasgow, Blackie and Son, 239 p.
- Wilkinson, J.J., 2001. Fluid inclusion in hydrothermal ore deposits, *Lithos* 55, 229-272.
- Zahedi, M., 1975. Geological map of Najafābād, 1:100000, Geological Survey of Iran.