

کانه‌زایی پلی‌متال سرب-روی، مس و آنتیموان نوع انتشاری، رگه‌چهای و رگه‌ای در محدوده معدنی گله‌چاه-شوراب، مجموعه ماگمایی شرق ایران

بهزاد مهربانی^۱، ابراهیم طالع‌فاضل^۱ و علی نخبه‌الفرهانی^۲

۱- گروه زمین‌شناسی دانشگاه تربیت معلم، تهران، ایران

۲- گروه زمین‌شناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

دریافت مقاله: ۱۳۸۹/۶/۱۵، نسخه نهایی: ۱۳۹۰/۱/۲۹

چکیده

مجموعه ماگمایی شرق ایران در ناحیه لوت مرکزی، میزبان کانسارهای پلی‌متال رگه‌ای و پورفیری متعددی است که محدوده معدنی گله‌چاه-شوراب در شمال غرب آن قرار دارد. سنگهای آتشفشانی و توده‌های نیمه‌عمیق در منطقه، متشکل از کوارتزلاتیت پورفیری، داسیت و ریوداسیت پورفیری و هورنبلند-بیوتیت آندزیت با ماهیت کالک‌آلکان، معادل گرانیات تیپ I، طی جای‌گیری در تشریری، سنگ بستر منطقه را که شیل، سیلتستون و آهک ژوراسیک (سازند شمشک) است قطع کرده‌اند. گسلها و درز و شکافها، کنترل‌کننده‌های اصلی کانی‌سازی در منطقه هستند. سیالات کانه‌دار حاوی سرب، روی، مس، آنتیموان و عناصر کمیاب، کانه‌زایی‌های نوع انتشاری، رگه-رگه‌چهای و در مواردی استوک‌ورک و برشی در این شکستگیها ایجاد کرده‌اند. کانه‌زایی رگه‌ای و رگه‌چهای سرب+روی±مس±آنتیموان در معدن متروکه گله‌چاه به همراه دگرسانیهای کربناتی و سیلیسی مشاهده می‌شود. کانه‌های هیپوژن شامل گالن، اسفالریت، پیریت، کالکوپیریت، بورنویت و تتراهدريت و محصولات سوپرژن آن شامل سروریت، کوولین، دیژنیت و پیریت کلونیدی نسل دوم است. کانه‌زایی سرب+روی+مس+آنتیموان همراه با دگرسانی‌های سریسیتی و سیلیسی در معدن متروکه شوراب نیز شامل دو نوع کانی‌سازی، یکی رگه‌چهای و رگه‌ای برشی در مرز داسیت پورفیری، شیل و ماسه‌سنگ‌های ژوراسیک و دیگری کانه‌زایی انتشاری و انتشاری-رگه‌چهای درون نفوذی‌های ریوداسیت و داسیت‌های پورفیری دگرسان‌شده است. کانه‌های اصلی هیپوژن شامل گالن، اسفالریت، استیبینیت، پیریت آرسنیک‌دار، کالکوپیریت و مجموعه تتراهدريت-تنانتیت و کانی‌سازی سوپرژن سولفیدی-اکسیدی شامل مالاکیت، کوولین، سروریت و پیریت ملنکوئیتی است. رخداد کانه‌زایی پلی‌متال سرب+روی+آنتیموان±آرسنیک±نقره همراه با مجموعه دگرسانی سریسیتی، کربناتی و کلریتی در اندیس معدنی چوپان به دو شکل رگه‌ای، رگه‌چهای-استوک‌ورک (تا عمق ۳۰ متری) محدود به گسلها و کانی‌سازی نوع انتشاری-جانشینی (عمق بیش از ۷۰ متر) در سنگ میزبان ریوداسیت و داسیت‌های پورفیری است. مطالعه سیالات درگیر حاکی از آن است که کانه‌زایی‌های مس انتشاری-رگه‌چهای و پلی‌متال انتشاری-جانشینی به ترتیب در کانسارهای شوراب و چوپان در دما، شوری و عمق بالاتری نسبت به کانه‌زایی سرب و روی رگه-رگه‌چهای کانسار گله‌چاه تشکیل شده‌اند و کانه‌زایی‌های تشکیل‌شده در ارتباط با تحول سیالات گرمایی کانه‌دار و اختلاط با آبهای جوی دارای دما و شوری پایین در منطقه هستند.

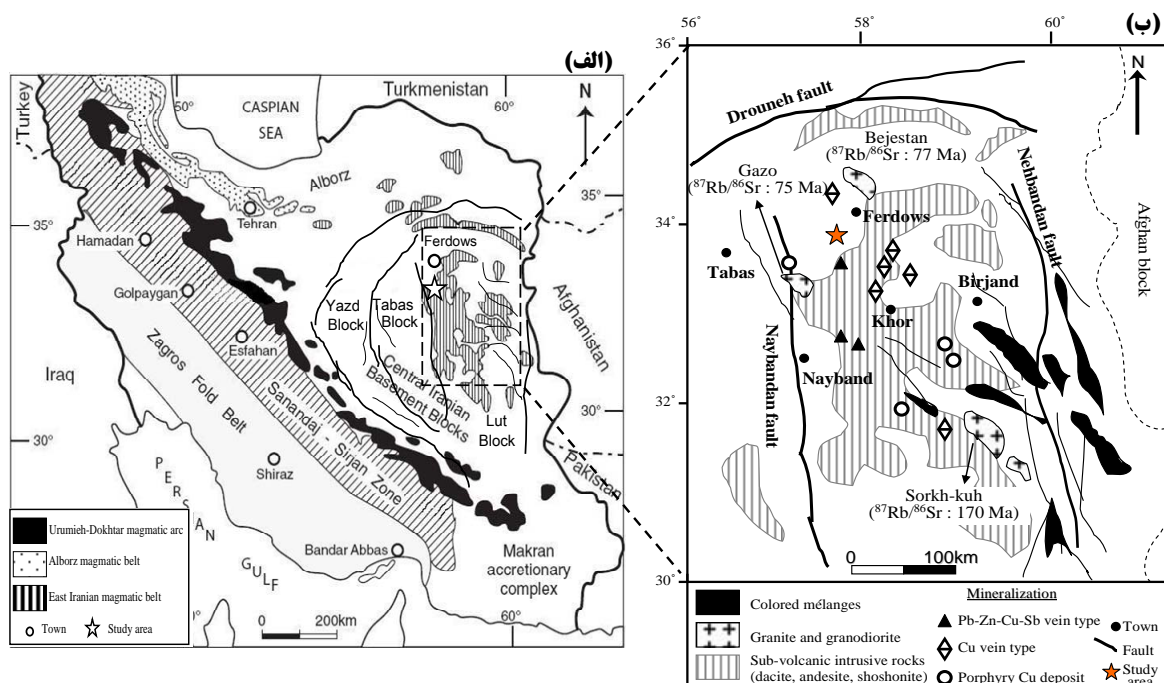
واژه‌های کلیدی: کانه‌زایی پلی‌متال، انتشاری-رگه‌چهای و رگه‌ای، مجموعه ماگمایی شرق ایران، گله‌چاه-شوراب، اختلاط سیالات گرمایی.

مقدمه

توسط شرکت تهیه و تولید مواد معدنی ایران با مشاورت شرکت توسعه علوم زمین انجام شد. کانی‌سازی در منطقه به طور عمده متشکل از رگه‌های سیلیسی-سولفیدی کانه‌دار است که عمده فعالیت‌های استخراجی قدیمی نیز بر روی آنها متمرکز است. پژوهش حاضر سعی در بررسی مجموعه کانی‌سازی پلی‌متال انتشاری، رگه‌چه‌ای و رگه‌ای محدوده معدنی گله‌چاه-شوراب و مقایسه تحولات کانی‌سازی در آنها بر مبنای داده‌های عمقی جدید دارد. بر اساس مطالعات کانی‌شناسی، دگرسانی، ژئوشیمی و سیالات درگیر، ضمن بیان ارتباط منطقی میان مناطق کانه‌ساز، مدل پیشنهادی برای کانی‌سازی پلی‌متال در منطقه ارائه شده است.

محدوده معدنی گله‌چاه-شوراب در مجموعه ماگمایی شرق ایران و بخش شرقی گسل نایبند در شمال بلوک‌لوت قرار گرفته است (شکل ۱).

چرخه ماگماتیسیم لوت‌شمالی از کرتاسه‌پسین تا الیگوسن‌پسین ادامه داشته که نتیجه آن تشکیل مجموعه عظیمی از سنگ‌های آذرین نفوذی، نیمه‌نفوذی و آذرآوری از قبیل گدازه‌های بازالتی، آندزیتی، داسیتی، ربولیتی، توف و نفوذیهای نیمه‌عمیق است. تاکنون کانسارها و اندیس‌های متعددی از قبیل ذخایر پلی‌متال مس، سرب، روی، آنتیموان، جیوه و طلا از نوع رگه‌ای و پورفیری در منطقه گزارش شده است [۱-۵] (شکل ۱ب). در این میان محدوده معدنی گله‌چاه-شوراب در سالهای ۱۳۱۷ تا ۱۳۲۲ با هدف پی‌جویی عناصر مس، سرب، روی و آنتیموان به صورت دنباله‌رگه، توسط چندین چاه، تونل و گزنگ مورد استخراج سطحی قرار گرفته است. پس از آن در سال ۱۳۶۴ منطقه توسط سازمان زمین‌شناسی کشور مورد اکتشافات چکشی قرار گرفت. همچنین اکتشافات تفصیلی منطقه با تهیه نقشه ۱/۱۰۰۰ زمین‌شناسی و انجام عملیات حفاری-مغزه‌گیری در سال ۱۳۸۵،



شکل ۱. الف) موقعیت منطقه معدنی گله‌چاه-شوراب در مجموعه ماگمایی شرق ایران واقع در نقشه ساختاری ایران (با تغییرات از [۳۰] و ب) پراکندگی کانسارها و نشانه‌های معدنی پلی‌متال رگه‌ای و پورفیری در کمر بند ولکانوپلوتونیک ناحیه مرکزی لوت (با تغییرات از [۲])

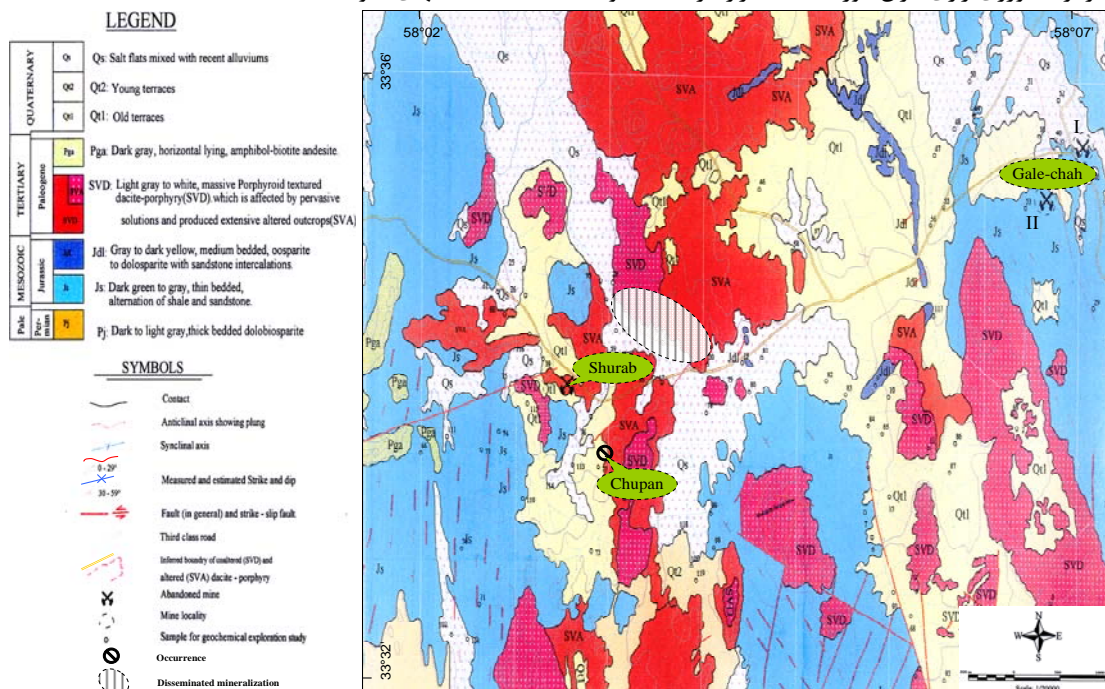
روش مطالعه

محدوده معدنی مورد مطالعه، شامل کنسارهای پلی‌متال گله‌چاه، شوراب و اندیس معدنی چوپان- شندمحمود به وسعت تقریبی ۱۰ کیلومتر مربع مورد مطالعه قرار گرفته است. نقشه‌های زمین‌شناسی ۱/۲۰۰۰۰ و ۱/۱۰۰۰۰ به ترتیب از مناطق معدنی گله‌چاه- شوراب [۶] و اندیس معدنی چوپان- شندمحمود [۷] تهیه شده است. همچنین تجزیه تعداد ۲۰ نمونه سنگی از رخنمونهای سنگی غیرهوازده به روش XRF در دانشگاه تربیت معلم تهران، تعداد ۱۳۳ نمونه از رگه، ترانشه، چاهک و مغزه‌های حفاری منطقه به روش AAS توسط سازمان زمین‌شناسی کشور، تعداد ۳۴ نمونه سنگی از زون معدنی و سنگ‌میزبان به روش ICP-MS (روش ۴۴ عنصری) در آزمایشگاه Acme کانادا و مجموعاً تعداد ۳۰ نمونه پودر سنگی از رگه‌های کوارتز- کانه‌دار، به روش XRD در شرکت کنساران بینالود مورد تجزیه قرار گرفتند. مطالعات میکروسکوپی کانیها نیز با استفاده از ۳۰ مقطع نازک، ۲۴ مقطع صیقلی، ۴۲ مقطع نازک- صیقلی در آزمایشگاه میکروسکوپی نوری دانشگاه تربیت معلم تهران و تعداد ۵ مقطع صیقلی نیز توسط میکروسکپ الکترونی بازتابشی (SEM-EDS) در مرکز متالورژی رازی ایران مورد مطالعه قرار گرفتند. علاوه

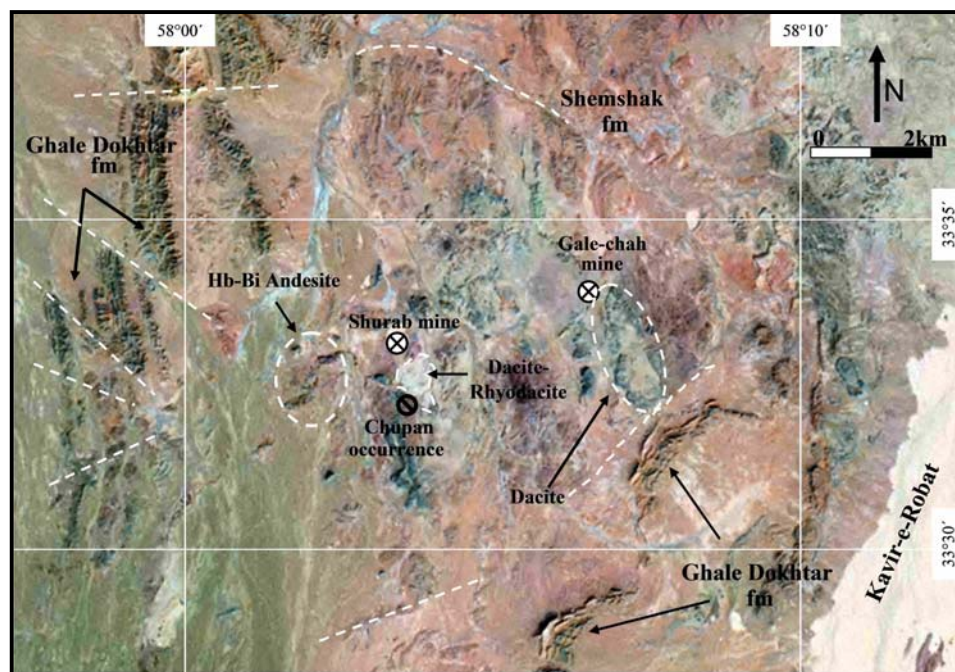
بر آن مطالعه سیالات درگیر برای تعیین شرایط دمایی و خصوصیات فیزیکوشیمیایی سیال کانه‌ساز، مجموعاً بر روی ۷ مقطع دوبرصیقل (ویفر)، در دانشگاه تربیت معلم تهران با همکاری سازمان زمین‌شناسی کشور انجام شد.

زمین‌شناسی

گستره گله‌چاه- شوراب از لحاظ زمین‌شناسی ناحیه‌ای در برکه ۱/۲۵۰۰۰۰ بشرویه [۸] قرار گرفته است. مجموعه ماگمایی شرق ایران که محدوده معدنی پلی‌متال مورد مطالعه در آن واقع شده، شامل مجموعه سنگهای آندزیت، داسیت، ریولیت، توف و ایگنمبریت است که در برخی نقاط سنگهای نیمه‌نفوذی اسیدی- حدواسط در آنها نفوذ کرده‌اند. بر اساس مطالعات انجام‌شده در منطقه [۹-۱۲]، به طور کلی دو واحد سنگ‌شناسی، شامل سنگهای رسوبی مزوزوئیک و سنگهای آذرین آتشفشانی و نیمه‌عمیق کالک‌آلکالن به سن ترشیری در منطقه دیده می‌شود. قدیمی‌ترین سنگهای منطقه شامل تناوب شیل، سیلتستون، مارن و ماسه‌سنگهای کرم‌رنگ ژوراسیک سازند شمشک (Js) است که بخش اصلی معدن گله‌چاه بر روی این واحد سنگ‌چینه‌ای قرار داشته و در سراسر منطقه نیز دارای گسترش وسیع است (شکل‌های ۲ و ۳).



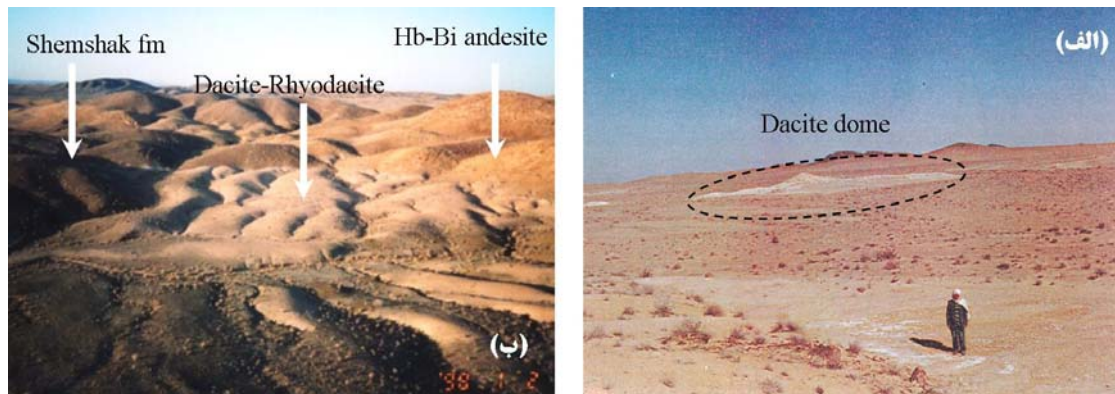
شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۰۰۰۰ محدوده معدنی گله‌چاه-شوراب (با تغییرات جزئی از [۱۵]) و نمایش موقعیت مناطق معدنی گله‌چاه (I و II)، شوراب و اندیس معدنی چوپان نسبت به یکدیگر



شکل ۳. تصویر ماهواره‌ای (Landsat TM) منطقه مورد مطالعه و نمایش موقعیت معادن متروکه گله‌چاه، شوراب و اندیس معدنی چوپان همراه با توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق ساب‌ولکانیک ائوسن-الیگوسن (محدوده‌های خط‌چین)، پراکندگی گسلها و گسترش واحدهای رسوبی شمشک و قلعه‌دختر در منطقه

سنگی ژوراسیک- کرتاسه (Js) نفوذ و آنها را قطع کرده است (شکل ۴الف). این سنگ‌ها عمدتاً با ترکیب کلسیمی- قلیایی و ماهیت کالک‌آلکان غنی از K_2O بر اساس نسبت‌های $Y+Nb$ و $Y+Ta$ بر Rb [۱۴]، در محیط زمین‌ساختی کمان ماگمایی مناطق فرورانش قرار می‌گیرند و نیز سنگ میزبان اصلی کانی‌سازی پلی‌متال فلزات پایه در مناطق شوراب و چوپان محسوب می‌شوند [۱۲]. این مجموعه در اواخر پالئوژن (الیگوسن بالایی- میوسن زیرین) توسط توده‌های ضخیم‌لایه خاکستری تیره هورنبلند- بیوتیت آندزیت (Pga) دنبال می‌شود که به ویژه در غرب معدن شوراب رخنمون دارند [۱۵] (شکل ۴ب). شکستگیها و کنترل کننده‌های ساختاری کانی‌سازی در منطقه شامل دو دسته گسل‌ای اصلی شمال‌غرب- جنوب‌شرق (N15W- گسل عادی با مولفه امتدادلغز چپ‌گرد) و گسل‌های فرعی شمال‌شرق- جنوب‌غرب و شرقی- غربی (گسل عادی با شیب ۳۰ تا ۴۰ درجه) که شاخه‌های فرعی گسل‌های قبل محسوب می‌شوند، هستند.

بر روی این سازند، نهشته‌های آهکی بادامو و سازند بغمشاه (Jdl) با ترکیب شیل‌مارنی تا ماسه‌ریزانه با مرز مشخصی قرار گرفته که در بخش‌های فوقانی به ماسه‌سنگ‌های آهکی تبدیل می‌شود. پس از رسوبگذاری سازندهای مذکور، طی سنوزوئیک حرکات کوهزایی منتسب به فاز پیرنه به‌همراه فعالیتهای ماگمایی وسیع ائوسن- الیگوسن سبب تشکیل حجم عظیمی از سنگ‌های نفوذی و نیمه‌نفوذی در منطقه شده است [۱]. در مجموع ولکانیسم ناحیه لوت در دو مرحله؛ ۱) ولکانیسم قدیمی (ترشیری) متشکل از سنگ‌های آذرین ریولیت، داسیت و حجم وسیعی از سنگ‌های آذرآواری ایگنمبریت با ماهیت پرآومین و جزء سری کالک‌آلکان؛ ۲) ولکانیسم جوان (نئوژن-کواترن) متشکل از گدازه‌های بازالتی با ترکیب مختلف، آندزیت، آندزیت بازالت، داسیت آندزیت و داسیت پورفیری محدود به شکستگیها و گسل‌های منطقه با ماهیت آلکان شکل گرفته است [۱۳]. گنبدها و توده‌های نفوذی داسیت و ریوداسیت پورفیری (SVD) در منطقه طی ائوسن بالایی- الیگوسن زیرین در واحدهای



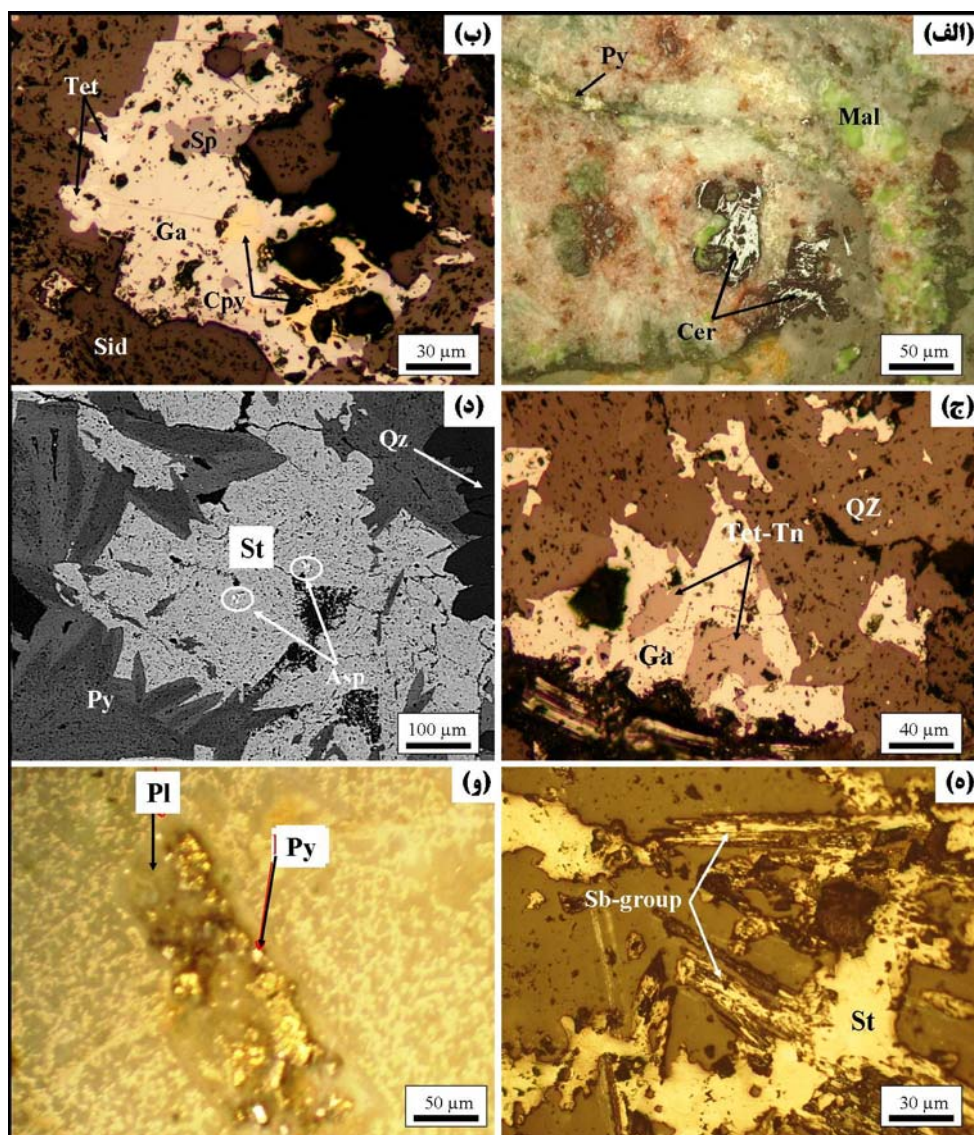
شکل ۴. تصاویر صحرایی، شامل الف) نمایی از رخنمون گنبد داسیت پورفیری در منطقه و ب) رخنمون واحدهای نیمه‌نفوذی داسیت و ریوداسیت پورفیری (SVD) به سن ائوسن-الیگوسن و توده نفوذی هورنبلاند-بیوتیت آندزیت (Pga) به سن الیگوسن-میوسن در واحدهای رسوبی سازند شمشک (Js) به سن ژوراسیک

کانی‌سازی

فعالیت‌های معدن‌کاری قدیمی انجام‌شده در معادن متروکه گله‌چاه و شوراب، غالباً در امتداد رگه‌چاه‌های کوارتز-سولفیدی حاوی گالن، اسفالریت، کالکوپریت و استیبنیت به منظور استخراج مس (معدن گله‌چاه) و آنتیموان (معدن شوراب) انجام شده است. مطالعات صحرایی و بررسی نمونه‌های مغزه‌های حفاری در معادن گله‌چاه، شوراب و کانه‌زایی چوپان، به شناسایی کانه‌زایی پلی‌متال سولفیدی هاپیوژن و سوپرژن مس، سرب و روی، آنتیموان، آرسنیک، نقره و طلا به شکل‌های انتشاری، رگه‌ای-رگه‌چاهی و در مواردی استوک‌ورک و برشی در مرز نفوذی‌های نیمه‌عمیق داسیت‌پورفیری خرد و به‌شدت دگرسان (SVA) ترشیری و شیل و ماسه‌سنگ‌های ژوراسیک منجر شده است [۱۶ و ۱۷]. در این بخش سعی شده ضمن توصیف جداگانه هر یک از کانسارهای گله‌چاه، شوراب و اندیس معدنی چوپان و بیان دقیق سیستم کانی‌سازی در منطقه، ارتباط ژنتیکی میان کانی‌سازی و فعالیت‌های آذرین مجموعه ماگمایی شرق ایران مورد بحث قرار گیرد. به این منظور، خصوصیات ژنتیکی هر یک از کانی‌سازها شامل سنگ میزبان، شکل کانی‌سازی، کانی‌شناسی کانسنگ و باطله، ساخت و بافت، دگرسانی‌ای مرتبط، پتروگرافی و میکروترموتری سیالات درگیر، گسترش و عیارسنجی ماده معدنی اشاره شده است.

معدن متروکه سرب-روی (مس) گله‌چاه

معدن متروکه گله‌چاه یا قلعه‌چای [۶] به‌صورت دو محدوده معدنی I و II در بخش شمال‌شرقی نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۰۰۰۰ منطقه معدنی و در فاصله ۶ کیلومتری شمال‌شرقی معدن متروکه شوراب قرار گرفته است. محدوده معدنی نخست (I) با وسعت تقریبی یک کیلومترمربع شامل کانی‌سازی رگه‌ای سولفیدی سرب-روی (مس) بطول تقریبی ۵۰ متر و پهنای ۱۰ متر در امتداد گسلی با راستای شمال‌شرقی است که سنگ میزبان آن، توده نفوذی نیمه‌عمیق کوارتزلاتیت تا کوارتزمونزونیت پورفیری دگرسان‌شده است. کانه‌زایی سرب و روی در این محدوده به شکلهای رگه‌چاهی و رگه‌ای، با مجموعه کانیهای هیپوژن گالن توده‌ای همراه با ادخال‌های اسفالریت، بورنونیت ($PbCuSbS_3$)، کالکوپریت و باطله سیدریت و کلسیت است که سروزیت، مالاکیت و رگه‌چاه‌های پیریت تأخیری با بافت کلونیدی کانی‌های زون سوپرژن را تشکیل می‌دهند (شکل ۵الف). به دلیل بالا بودن سطح آب‌زیرزمینی در منطقه، تأثیر فرآیندهای سوپرژن بر کانه‌زایی نسبتاً شدید بوده و کانیهای سوپرژن سولفیدی-اکسیدی گسترش زیادی در منطقه داشته و میتوان کانه‌زایی از عمق به سطح رابه دو مجموعه اکسیدی-سولفیدی (تا عمق ۲۰ متر) و سولفیدی (عمق ۲۰ تا بیش از ۷۰ متر) تقسیم کرد. مهمترین دگرسانی مرتبط کانی‌سازی در این محدوده، نوع کربناتی (سیدریت-کلسیت) است.



شکل ۵. تصاویر میکروسکوپی نوری و الکترونی شامل، الف) کانی‌سازی سوپرژن سروزیت (Cer)، مالاکیت (Mal) و رگچه‌ی پیریت کلوئیدی (Py) در محدوده معدنی اول (I) کانسارگله‌چاه، ب) کانی‌سازی شکافه‌پرکن گالن (Ga)، کالکوپیریت (Cpy)، اسفالریت (Sp) و تتراهدریت (Tet) در گانگ سیدریتی (Sid) از محدوده معدنی دوم (II) کانسارگله‌چاه، ج) حضور مجموعه تتراهدریت-تنانتیت (Tet-Tn)، به صورت ادخال در میزبان گالن (Ga) با بافت شکافه‌پرکن از کانسار شوراب، د) تصویر BSE از رگه کوارتز-استینیت کانسار شوراب، متشکل از استینیت (St) و ذرات ریز آرسنوپیریت (Asp) در مرکز و کوارتز (Qz) و پیریت‌های نسل دوم (Py) با مقادیر بالای آرسنیک در حاشیه رگه، ه) کانی‌سازی آنتیموان با ماهیت سولفیدی (استینیت-St) و اکسیدی (گروه استیبیکونیت-Sb) به صورت تیغه‌ای شکل از گمانه ۵ (عمق ۳۰ متر) کانسار چوپان، و) جانشینی پیریت (Py) در پلاژیوکلاز (Pl) از سنگ میزبان داسیت پورفیری (گمانه ۷-عمق ۷۰ متر) کانسار چوپان.

سولفیدی گالن، اسفالریت، استیبینیت، پیریت (دونسل) و کالکوپیریت به‌عنوان مهمترین فاز کانه‌سازی هایپوزن (بین ۲۰ تا ۳۰ درصد رگه) و کوارتز، سیدریت و کلسیت، فراوان‌ترین کانی‌های باطله محسوب می‌شوند. کانی‌سازی سوپرن سولفیدی-اکسیدی در شوراب با حضور آغستگی‌های سولفید آرسنیک، مالاکیت، کولین، سروزیت و پیریت ملنکوئیتی تأخیری مشخص می‌شود. به‌عقیده [۱۵]، فرآورده‌های ژاروسیت-آلونیت متعلق به فاز گرمایی جوان در کانسار شوراب با دمای پایین، معادل کانه‌زایی تأخیری رگه‌چه‌های پیریت کلونیدی در کانسار گله‌چاه بوده که شاخص کانه‌زایی اپی‌ترمال در منطقه است. استیبینیت عمدتاً به‌همراه دیگر کانی‌های آنتیموان‌دار مانند کالکواستیبت (CuSbS₂) و مجموعه سولفوسالت تتراهدريت-بورنونیت با بافت شکافه‌پرکن و در مواردی به شکل ادخال در گالن دیده می‌شود. در تجزیه‌های نقطه‌ای الکترون میکروپروب، عناصر نقره (۴/۵٪)، روی (۵/۳٪)، آرسنیک (۲/۳٪) و طلا (۲ppb) در ساختمان کالکواستیبت‌های منطقه قابل تشخیص است (جدول ۱). علاوه بر آن، مجموعه تتراهدريت-تانتیت نیز به صورت ادخال‌های ریز و پراکنده در میزبان گالن تشخیص داده شد که دارای ۱۳/۵۴٪ آهن، ۵/۶۵٪ روی، ۱/۸۳٪ آرسنیک و ۴/۱۵٪ نقره در ترکیب خود هستند [۱۰] (جدول ۱ و شکل ۵ج). کانی‌سازی پیریت در شوراب، حداقل در سه نسل، شامل پیریت توده‌ای نسل اول، پیریت‌های خودشکل و سوزنی نسل دوم با مقادیر بالای آرسنیک همراه با ذرات ریز آرسنوپیریت (۱۰ تا ۲۰ میکرون) و پیریت ملنکوئیتی رگه‌چه‌ای تأخیری به همراه فاز سولفید آرسنیک‌دار به‌عنوان پیریت‌های نسل سوم تشخیص داده شد (شکل ۵د). چهار نوع دگرسانی به ترتیب فراوانی شامل دگرسانی‌های پروپیلیتیک، آرژیلیک، سریسیتیک و سیلیسیک در کانسار شوراب وجود دارد که در آن دگرسانی‌های سیلیسیک و سریسیتیک در مجاورت رگه و رگه‌چه‌های کوارتز-سولفیدی کانه‌دار و ندرتاً سنگ میزبان داسیت و ریوداسیت پورفیری تشکیل شده‌اند [۱۷].

کانه‌زایی سرب-روی، آنتیموان و عناصر کمیاب چوپان

کانه‌زایی رگه‌ای پلی‌متال سرب-روی، آنتیموان (آرسنیک و نقره) چوپان به وسعت تقریبی ۱ کیلومتر مربع در فاصله ۱ کیلومتری جنوب کانسار شوراب واقع در جنوب‌غربی نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۰۰۰۰ منطقه قرار گرفته است (شکل ۲). رگه اصلی سیلیسی-سولفیدی

محدوده معدنی دوم (II) با وسعت تقریبی ۳/۵ کیلومتر مربع شامل دو رگه سولفیدی، یکی با طول ۱۰۰ و پهنای ۲۰ متر با راستای شمال‌غرب-جنوب‌شرق و دیگری به‌طول ۲۰۰ و پهنای ۱۵ متر با راستای تقریبی شمالی-جنوبی است که با فاصله ۱۲۰ متر در جنوب‌غربی رگه نخست قرار دارد (شکل ۲). کانه‌زایی در این رگه‌ها (مشابه رگه‌ی نخست) شامل کانی‌سازی سرب، روی، مس و آنتیموان به شکلهای رگه‌ای و رگه‌چه‌ای در سنگ میزبان کوارتزلاتیت پورفیری هورنبلاند-بیوتیت‌دار سریسیتی‌شده و شیل و سیلستون‌های دگرگون و سیلیسی‌شده است. کانیهای هایپوزن سولفیدی غالباً با بافت شکافه‌پرکن و ندرتاً پراکنده، شامل گالن توده‌ای و پراکنده، اسفالریت، پیریت خودشکل (نسل اول)، کالکوپیریت، بورنونیت، تتراهدريت $(Cu,Fe)_{12}Sb_4S_{13}$ و بورنیت به همراه سیدریت، کوارتز، کلسیت و کانیهای رسی است (شکل ۵ب). کانیهای اکسیدی-سولفیدی فاز تأخیری (سوپرن) نیز که به طور وسیع در سطح منطقه مقاطع مشاهده می‌شوند، شامل سروزیت، مالاکیت، کولین، دیژنیت، پیریت‌های کلونیدی تأخیری (نسل دوم)، اکسید و هیدروکسیدهای آهن (گوئیت و هماتیت) بصورت رگه‌چه‌ای و پراکنده هستند.

معدن متروکه سرب-روی، مس و آنتیموان شوراب

کانه‌زایی پلی‌متال فلزات پایه و آنتیموان منطقه معدنی شوراب در فاصله ۶ کیلومتری معدن گله‌چاه و در غرب نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۰۰۰۰ منطقه قرار دارد (شکل ۲). منطقه معدنی شوراب متشکل از دودسته رگه اصلی، یکی با راستای شرقی-غربی و طول ۲۰۰ و پهنای ۳۰ متر که در آن ماده معدنی به‌صورت رگه‌چه‌ای و رگه‌ای برشی (شکل ۶الف) در مرز داسیت‌پورفیری، شیل و ماسه‌سنگ‌های ژوراسیک تشکیل شده و بخش عمده‌ای از فعالیت‌های شدادی قدیمی بر روی آن انجام گرفته است و دیگری با راستای شمال‌غربی-جنوب‌شرقی، در فاصله ۲۰۰ متری شمال رگه نخست، به طول ۱۰۰ و پهنای ۲۰ متر متشکل از کانی‌سازی انتشاری و انتشاری-رگه‌چه‌ای پلی‌متال درون نفوذی‌های نیمه‌عمیق ریوداسیت و داسیت‌های پورفیری خردشده و به‌شدت دگرسان (SVA) ترشیری تشکیل شده است (شکل ۲). محدوده مورد مطالعه تا عمق ۱۳۰ متری توسط ۶ حلقه گمانه (جمعاً ۸۵۰ متر) مورد حفاری مغزه‌گیری قرار گرفته که جهت تکمیل مطالعات از آنها نمونه‌برداری شده است. در رگه‌های مورد بررسی، به‌ترتیب کانه‌های

مالاکیت، و پیریت کلونیدی تأخیری (نسل دوم) مشخص می‌شود. کانه‌زایی آنتیموان با ماهیت سولفیدی (استینیت) و اکسیدی (گروه استیبیکونیت $(\text{SbSb}_2\text{O}_6(\text{OH}))$) در تجزیه‌های XRD و مقاطع صیقلی به ترتیب تهیه شده از ترانسه ۷ و گمانه ۵ (عمق ۳۰ متر) کانسار چوپان قابل مشاهده است [۱۱] (شکل ۵ه). حضور مجموعه کانی‌های اکسیدی-هیدروکسیدی بصورت وسیع در منطقه چوپان نشان از شرایط ویژه اکسیدی حاکم بر منطقه و جانشینی گسترده کانیهای اکسی‌هیدروکسیدی، به جای کانی‌های سولفیدی در منطقه است که حضور پلی‌مورف کمیاب پیرولوژیت به شکل رامزدلیت (Ramsdellite-MnO_2) همراه با کانیهای گروه استیبیکونیت در مراحل پایانی کانی‌سازی رگه‌ای این کانسار از شواهد بارز کانه‌زایی سوپرژن در این منطقه است. مطالعه مغزه‌های حفاری، نشان از دست‌کم عمق ۳۰ متری کانی‌سازی سوپرژن در منطقه دارد [۱۶].

کانه‌دار اندیس معدنی چوپان، به طول ۶۰۰ و پهنای تقریبی ۱ متر در امتداد گسل عادی با راستای N15W همراه با کانی‌سازی رگه‌ای، رگه-چه‌ای-استوکورک (در سطح) (شکل ۶ب) و انتشاری-جانشینی (در عمق)، بصورت پلی‌متال درون نفوذیهای نیمه‌عمیق کوارتزلاتیت پورفیری تا ریوداسیت و داسیت‌های پورفیری برشی دگرسان (SVA) و غیردگرسان (SVD) ترشیری، تشکیل شده است که در مجاورت آن ۴ رگه فرعی کانه‌دار عمدتاً با راستای شمال‌شرق-جنوب‌غرب و شرقی-غربی وجود دارد [۱۱]. در محدوده مورد مطالعه، ۴ حلقه گمانه (بطور متوسط تا عمق ۱۰۰ متری)، ۱۲ ترانسه، و ۷ چاه و چاهک استخراجی حفر شده که جهت تکمیل مطالعات از آنها نمونه‌برداری به عمل آمده است. مرحله کانه‌سازی هیپوژن متشکل از گالن، اسفالریت، استینیت، پیریت، کانه‌های سولفیدی آرسنیک (رآلگار-اریمنت) آرسنوپیریت و کالکوپیریت (۱۰ تا ۲۰ درصد رگه)، به همراه کانی‌سازی سوپرژن اکسیدی-سولفیدی وسیع با حضور مجموعه کانی‌سازی اکسیدمنگنز (پیرولوژیت-سیلوملان)، هماتیت،

جدول ۱. نتایج تجزیه نقطه‌ای به روش الکترون میکروپروب از کانی‌های مختلف کانسار شوراب (بر حسب wt%)، شامل (۱) آرسنوپیریت، (۲) تتراهدردیت، (۳) پیریت، (۴) گالن، (۵) اسفالریت، (۶) کالکواستیبیت، (۷) کالکوپیریت، (۸) استینیت و (۹) بورنونیت (n : تعداد نقاط آنالیز و n.d: مقادیر ثبت نشده)

| Elem. | 1 (n=3) | 2 (n=3) | 3 (n=4) | 4 (n=5) | 5 (n=4) | 6 (n=3) | 7 (n=7) | 8 (n=6) | 9 (n=2) |
|-------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Cu | 0.06 | 38.90 | n.d | n.d | 1.35 | 33.49 | 34.55 | n.d | 12.33 |
| Fe | 33.41 | 10.17 | 45.54 | n.d | 1.61 | 3.49 | 29.62 | n.d | 4.50 |
| Mn | n.d | n.d | n.d | n.d | n.d | n.d | n.d | n.d | n.d |
| As | 45.03 | 1.56 | 0.54 | n.d | 0.26 | 2.37 | n.d | n.d | 0.74 |
| Ag | n.d | 4.15 | n.d | n.d | n.d | 4.51 | 0.21 | 0.13 | n.d |
| Sb | 0.12 | 6.95 | n.d | 0.13 | n.d | 18.94 | n.d | 70.41 | 14.87 |
| Zn | n.d | 5.60 | n.d | n.d | 59.95 | 5.35 | n.d | n.d | n.d |
| Pb | 0.08 | 0.04 | n.d | 85.45 | 1.42 | 0.10 | 0.22 | n.d | 18.35 |
| Hg | n.d | 0.24 | 0.18 | n.d | n.d | 0.11 | 0.06 | 0.13 | n.d |
| Cd | n.d | n.d | 0.02 | 0.06 | 0.03 | n.d | n.d | n.d | 0.89 |
| Bi | n.d | 0.29 | 0.56 | n.d | 0.13 | n.d | 0.11 | 0.09 | n.d |
| Au | n.d | n.d | 0.05 | n.d | n.d | 0.02 | n.d | n.d | n.d |
| Te | n.d | n.d | n.d | 0.95 | n.d | n.d | 0.03 | n.d | n.d |
| S | 21.65 | 31.65 | 53.15 | 13.55 | 34.36 | 30.88 | 35.16 | 28.83 | 47.93 |
| Total | 100.3 | 99.55 | 100.0 | 100.1 | 99.11 | 100.3 | 99.96 | 99.59 | 99.61 |

جدول ۲. نتایج تجزیه دستگاهی ICP-MS از ۹ عنصر معرف کانساز از رگه‌های مناطق معدنی شوراب (Sh)، گله‌چاه (Gh) و اندیس معدنی چوپان (Ch)

| Sample no. | Au (ppb) | Cu (ppm) | Pb (ppm) | Zn (ppm) | Ag (ppm) | Mo (ppm) | Hg (ppm) | As (ppm) | Sb (ppm) |
|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Ch-P-0 | 0.39 | 150 | 1520 | 420 | 30 | 2.9 | 0.12 | 1050 | 3810 |
| Ch-P-1 | 0.02 | 6 | 46 | 100 | 0.56 | 3.3 | 0.03 | 106 | 89 |
| Ch-P-2 | 0.06 | 16 | 66 | 60 | 0.20 | 5.1 | 0.05 | 247 | 93 |
| Ch-P-3 | 0.05 | 20 | 57 | 280 | 1.80 | 6.4 | 0.09 | 140 | 90 |
| Ch-14-1 | 0.02 | 6 | 18 | 65 | 1.31 | 1.5 | 0.10 | 99.5 | 148 |
| Ch-14-2 | 0.08 | 12 | 54 | 100 | 3.23 | 1.1 | 0.14 | 210 | 73 |
| Sh-V1-01 | 0.01 | 67.9 | 1512 | 2406 | 2.10 | 7.9 | 9.40 | 432 | 540 |
| Sh-V1-02 | 0.23 | 3467 | 3236 | 2640 | 4.93 | 1.5 | 5.63 | 700 | 1950 |
| Sh-V1-03 | 0.38 | 80 | 1145 | 2358 | 1.95 | 2.1 | 5.55 | 155 | 9200 |
| Sh-V2-04 | 0.49 | 180 | 278 | 2663 | 0.73 | 0.7 | 8.87 | 3245 | 44000 |
| Sh-V2-05 | 0.04 | 123 | 2331 | 193 | 1.42 | 1.9 | 7.12 | 500 | 305 |
| Sh-V2-06 | 0.21 | 546 | 234 | 561 | 0.39 | 2.0 | 4.25 | 1313 | 456 |
| Gh-Z1-10 | 0.05 | 7100 | 1184 | 265 | 0.26 | 1.3 | 5.26 | 310 | 1260 |
| Gh-Z1-08 | 0.02 | 4500 | 5.94 | 241 | 0.11 | 0.8 | 2.71 | 90 | 310 |
| Gh-Z1-13 | 0.87 | 4430 | 381 | 1085 | 0.15 | 3.0 | 3.42 | 383 | 2500 |
| Gh-Z2-11 | 0.08 | 2300 | 246 | 1232 | 0.07 | 7.5 | 4.96 | 120 | 993 |
| Gh-Z2-02 | 0.03 | 2312 | 354 | 2356 | 0.10 | 1.9 | 5.13 | 134 | 324 |
| Gh-Z2-03 | 0.00 | 346 | 23 | 234 | 0.18 | 1.1 | 5.76 | 43 | 125 |

ژئوشیمی

به منظور مطالعات ژئوشیمیایی عملیات نمونه‌برداری از رگه‌های کانهدار و سنگ میزبان از محل مغزه‌های حفاری، ترانشه‌ها و چاهکهای حفار شده در هر سه منطقه کانساز جداگانه انجام گرفته که طی آن نمونه‌ها به روش‌های XRF برای عناصر اصلی و ICP-MS و AAS برای عناصر جزئی از قبیل Cu, Zn, Pb, Ag, Au, Ba, Sb, As, Mn, Bi, Hg, Mo مورد تجزیه قرار گرفتند (جدول ۲). نتایج بدست آمده با استفاده از نرم افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل‌های آماری قرار گرفت. به منظور بررسی همبستگیهای آماری بین متغیرهای کانساز با یکدیگر در هر یک از مناطق مورد مطالعه، از ماتریس همبستگی رتبه‌ای اسپرمن و پیرسون استفاده شد (جدول ۳). علاوه برآن برای شناخت ارتباط ژنتیکی میان عناصر در هر منطقه، از روش آماری چند متغیره آنالیز خوشه‌ای استفاده شد که بر اساس این نمودار، سه گروه عنصری به ترتیب شامل، (۱) سرب، روی و جیوه (همبستگی ۰/۸۴)، (۲) آنتیموان و نقره (همبستگی ۰/۶۹) و (۳) طلا، آرسنیک و آنتیموان (همبستگی ۰/۵۴) به طور مشترک در کانسازهای گله‌چاه و شوراب، و سه گروه عنصری به ترتیب شامل، (۱) مس و روی (همبستگی ۰/۸۲)،

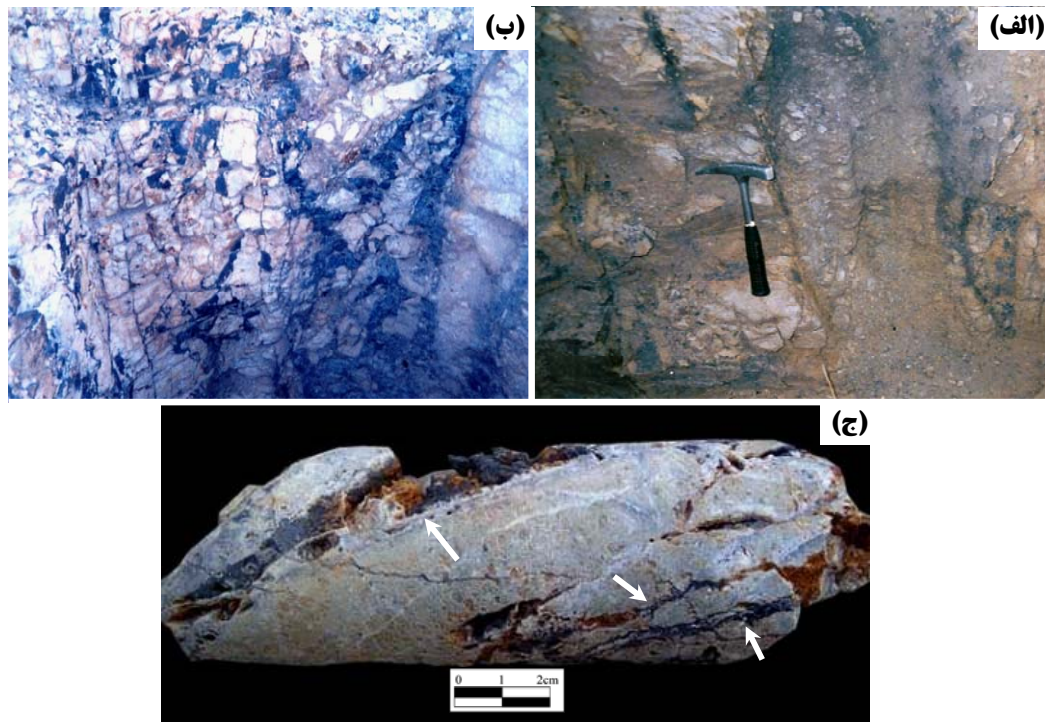
علاوه بر آن کانی‌سازی در مناطق سطحی، عمدتاً به شکل رگچه‌ای- استوک‌ورک (چاه شماره ۲) و نوع انتشاری- جانیشینی به صورت جانیشینی پیریت در پلاژیوکلاز (گمانه شماره ۶) در عمق ۷۰ متر مشاهده شد (شکل ۵). بافت شکافه‌پرکن مهمترین بافت مشاهده شده در مقاطع و نمونه‌های دستی است که نشان از دیرزاد بودن فرآیند کانساز در منطقه چوپان دارد (شکل ۶). کوارتز، دولومیت، کلسیت و کلریت به عنوان کانی‌های باطله همراه کانی‌سازی هستند. دگرسانیهای عمده در کانسار چوپان، شامل دو دسته دگرسانیهای مرتبط با کانساز از قبیل سرب‌سیتی‌شدن و کلریتی- کربناتی‌شدن (حضور کلسیت و دولومیت) و پراکنده در سنگ میزبان ولکانیکی شامل دگرسانی سولفیدی (با حضور مقادیر بالای پیریت)، آرژیلیک و کلریتی است. توالی پاراژنتیکی عمومی کانیه‌ها، شامل کانسازهای رگه‌ها، باطله‌های همراه، دگرسانی و بافت‌های مرتبط با کانسازهای محدوده مورد مطالعه در شکل (۷) ارائه شده است.

تحت‌کانساری $Cu-Mo \pm Hg \pm W$ و عناصر فوق‌کانساری $Sb-As \pm Ag$ است که از این مجموعه می‌توان به‌عنوان ردیاب کنای‌سازی طلا در منطقه استفاده کرد. به منظور بررسی میزان تغییرات عیار عناصر کنه‌ساز و توزیع آن در رگه‌های معدنی، نمودار هم‌روندی عناصر برای آنتیموان، نقره، آرسنیک و مولیبدن بر مبنای داده‌های حفاری و نمونه‌های برداشت‌شده از رگه‌ها در کنسارهای گله‌چاه (شکل ۸الف)، شوراب (شکل ۸ب) و چوپان (شکل ۸ج) رسم شده است.

۲) آنتیموان، نقره و سرب (همبستگی ۰/۷۱ و ۳) طلا، آرسنیک و جیوه (همبستگی ۰/۶۰)، در کنه‌زایی رگه‌ای پلی‌متال چوپان تشخیص داده شد. لازم به ذکر است که نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل فاکتوری داده‌های ژئوشیمیایی در مناطق معدنی مورد مطالعه سازگاری قابل قبولی (بیش از ۸۰ درصد) با تحلیل آماری خوشه‌ای انجام شده دارد [۱۱ و ۱۲]. با استفاده از نتایج تجزیه ژئوشیمیایی مهمترین پارائزهای موجود که به عنوان ردیاب و معرف کنای‌سازی در ناحیه معدنی گله‌چاه- شوراب قابل تشخیص است شامل، مجموعه عناصر

جدول ۳. ضرایب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن-پیرسون برای عناصر معرف کنه‌ساز در مناطق معدنی مورد مطالعه

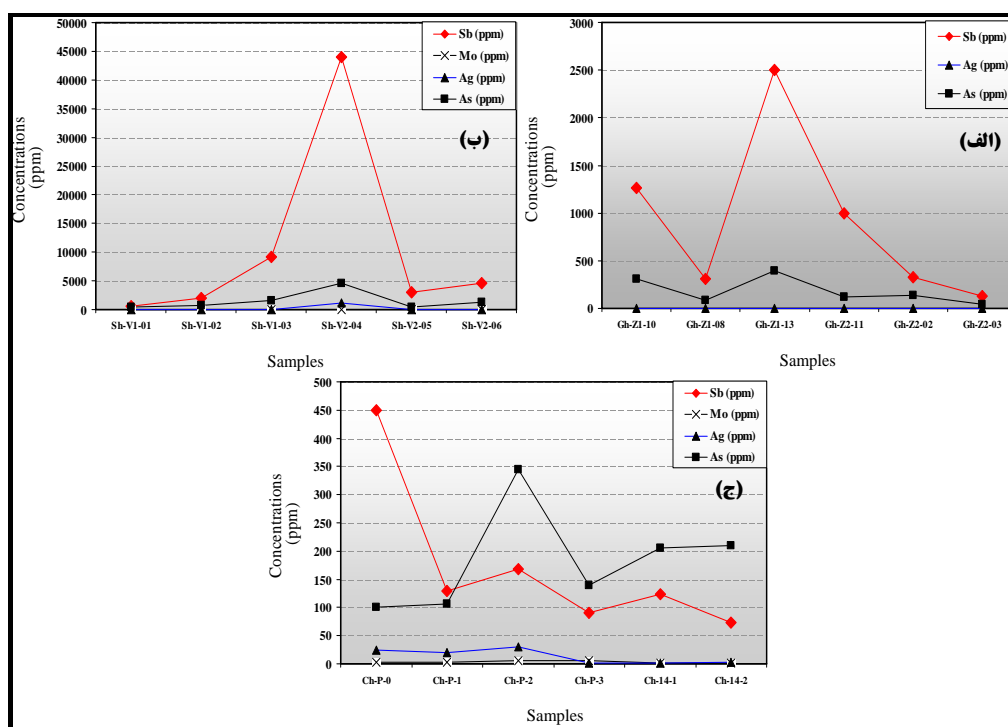
| Sb | W | As | Ag | Zn | Pb | Cu | Au | Mine area | Elem |
|-------|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|------|
| | | | | | | | 1.000 | Gale-chah | Au |
| | | | | | | | 1.000 | Shurab | |
| | | | | | | | 1.000 | Chupan | |
| | Correlation coefficient (CC) | | | | | 1.000 | .517 | Gale-chah | Cu |
| | | | | | | 1.000 | .407 | Shurab | |
| | | | | | | 1.000 | .416 | Chupan | |
| | CC ≥ 0.6 | | | | 1.000 | .515 | .567 | Gale-chah | Pb |
| | | | | | 1.000 | .618 | .512 | Shurab | |
| | CC < 0.5 | | | | 1.000 | .714 | .646 | Chupan | |
| | | | | 1.000 | .910 | .554 | .647 | Gale-chah | Zn |
| | | | | 1.000 | .923 | .723 | .513 | Shurab | |
| | | | | 1.000 | .642 | .703 | .405 | Chupan | |
| | | | 1.000 | .339 | .281 | .466 | .324 | Gale-chah | Ag |
| | | | 1.000 | .413 | .432 | .512 | .443 | Shurab | |
| | | | 1.000 | .611 | .711 | .555 | .652 | Chupan | |
| | | 1.000 | .424 | .714 | .613 | .607 | .668 | Gale-chah | As |
| | | 1.000 | .567 | .812 | .710 | .508 | .612 | Shurab | |
| | | 1.000 | .656 | .245 | .420 | .222 | .615 | Chupan | |
| | 1.000 | .778 | .416 | .688 | .606 | .665 | .582 | Gale-chah | W |
| | 1.000 | .638 | .319 | .543 | .506 | .546 | .453 | Shurab | |
| | 1.000 | .123 | .222 | .210 | .337 | .328 | .212 | Chupan | |
| 1.000 | .603 | .757 | .232 | .642 | .651 | .456 | .513 | Gale-chah | Sb |
| 1.000 | .402 | .678 | .342 | .754 | .713 | .567 | .518 | Shurab | |
| 1.000 | .287 | .336 | .709 | .597 | .752 | .654 | .526 | Chupan | |



شکل ۶. تصاویر صحرایی و نمونه دستی، شامل الف) ساخت برشی در رگه کوارتز-استینیت شوراب، ب) ساخت استوک‌ورک سطحی در چاه شماره ۲ اندیس معدنی چوپان و ج) رگه و رگه‌چه‌های استینیت در گمانه شماره ۶ (عمق ۳۰ متری) از منطقه چوپان

| Mineralization | Hypogene | | Supergene | |
|------------------------|---|------|-----------|------|
| | Early | Late | Early | Late |
| Ore minerals | | | | |
| Pyrite | [Horizontal bar spanning Early Hypogene to Early Supergene] | | | |
| Chalcopyrite | [Horizontal bar spanning Early Hypogene to Early Supergene] | | | |
| Bornite | [Horizontal bar spanning Early Hypogene to Early Supergene] | | | |
| Galena | [Horizontal bar spanning Early Hypogene to Early Supergene] | | | |
| Sphalerite | [Horizontal bar spanning Early Hypogene to Early Supergene] | | | |
| Stibnite | [Horizontal bar spanning Early Hypogene to Early Supergene] | | | |
| Chalcostibite | [Horizontal bar spanning Early Hypogene to Early Supergene] | | | |
| Tetrahedrite | [Horizontal bar spanning Early Hypogene to Early Supergene] | | | |
| Bournonite | [Horizontal bar spanning Early Hypogene to Early Supergene] | | | |
| Arsenopyrite | [Horizontal bar spanning Early Hypogene to Early Supergene] | | | |
| As bearing minerals | [Horizontal bar spanning Early Hypogene to Early Supergene] | | | |
| Stibiconite groups | [Horizontal bar spanning Early Hypogene to Early Supergene] | | | |
| Mn Oxides | [Horizontal bar spanning Early Hypogene to Early Supergene] | | | |
| Cerussite | [Horizontal bar spanning Early Hypogene to Early Supergene] | | | |
| Covellite | [Horizontal bar spanning Early Hypogene to Early Supergene] | | | |
| Malachite | [Horizontal bar spanning Early Hypogene to Early Supergene] | | | |
| Digenite | [Horizontal bar spanning Early Hypogene to Early Supergene] | | | |
| Hematite | [Horizontal bar spanning Early Hypogene to Early Supergene] | | | |
| Goethite | [Horizontal bar spanning Early Hypogene to Early Supergene] | | | |
| Gangue minerals | | | | |
| Quartz | [Horizontal bar spanning Early Hypogene to Early Supergene] | | | |
| Calcite | [Horizontal bar spanning Early Hypogene to Early Supergene] | | | |
| Siderite | [Horizontal bar spanning Early Hypogene to Early Supergene] | | | |
| Dolomite | [Horizontal bar spanning Early Hypogene to Early Supergene] | | | |
| Chlorite | [Horizontal bar spanning Early Hypogene to Early Supergene] | | | |
| Illite | [Horizontal bar spanning Early Hypogene to Early Supergene] | | | |
| Alterations | | | | |
| Silicification | [Horizontal bar spanning Early Hypogene to Early Supergene] | | | |
| Sericitization | [Horizontal bar spanning Early Hypogene to Early Supergene] | | | |
| Carbonatization | [Horizontal bar spanning Early Hypogene to Early Supergene] | | | |
| Argillization | [Horizontal bar spanning Early Hypogene to Early Supergene] | | | |
| Propylitization | [Horizontal bar spanning Early Hypogene to Early Supergene] | | | |
| Chloritization | [Horizontal bar spanning Early Hypogene to Early Supergene] | | | |
| Textures | | | | |
| Open-space filling | [Horizontal bar spanning Early Hypogene to Early Supergene] | | | |
| Disseminated | [Horizontal bar spanning Early Hypogene to Early Supergene] | | | |
| Veinlet | [Horizontal bar spanning Early Hypogene to Early Supergene] | | | |
| Stock-work | [Horizontal bar spanning Early Hypogene to Early Supergene] | | | |
| Brecciation | [Horizontal bar spanning Early Hypogene to Early Supergene] | | | |

شکل ۷. نمایش توالی پاراژنتیکی عمومی کان‌زایی‌های گله‌چاه، شوراب و چوپان طی دو مرحله کانی‌سازی هایپوژن (درون‌زاد) و سوپروژن (برون‌زاد)



شکل ۸. نمودار هم‌روندی عناصر آنتیموان (Sb)، آرسنیک (As)، نقره (Ag) و مولیبدن (Mo) در رگه‌های کانه‌ساز مناطق معدنی گله‌چاه (الف)، شوراب (ب) و اندیس معدنی چوپان (ج)

سیالات درگیر

مطالعات سیالات درگیر بر روی ۷ نمونه از رگه‌های کوارتز-کانه‌دار مناطق معدنی مورد مطالعه، با استفاده از سکوی گرمایش-سرمايش مدل لینکام THM600، واحد کنترل‌کننده حرارتی TMS-93 و میکروسکپ تحقیقاتی Ziess در آزمایشگاه سیالات درگیر دانشگاه تربیت معلم تهران با همکاری بخش مطالعات سیالات درگیر سازمان زمین‌شناسی کشور انجام شد. همچنین به منظور رسم ایزوگرهای PVTX از نرم افزار FLINCOR [۱۸] استفاده شد. از لحاظ پتروگرافی مطالعات بر روی سیالات درگیر اولیه (P) به‌شکل‌های استوانه‌ای، بیضوی و بی‌شکل با اندازه متوسط ۱۰ تا ۳۰ میکرون انجام شده که بر مبنای تقسیم بندیهای متداول [۱۹ و ۲۰]، شامل انواع مایع + بخار (L+V)، بخار + مایع (V+L)، بخار (V) و فاز مایع (L) هستند و فاز جامد مستقل مشاهده نشد. علاوه بر آن حجم زیادی از سیالات ثانویه (S) و ثانویه کاذب (PS) نیز در ابعاد زیر ۵ میکرون در نمونه‌ها تشخیص داده شد. مطالعه سیالات درگیر در رگه و رگچه‌های کوارتز-گالن-اسفالریت-کالکوپریت محدوده معدنی دوم (II) کانسار

گله‌چاه، حاکی از وجود سیالات درگیر دو فاز (L+V) و (V+L) به ابعاد تقریبی ۵ تا ۱۵ میکرون، دمای یکنواختی (Th_{total}) ۱۴۷ تا 236°C ، تغییرات شوری ۲/۸ تا ۹/۴ درصد معادل NaCl و دامنه عمق تشکیل ۱۸۰ تا ۳۴۰ متر است. میکروترمومتری سیالات درگیر در کانسار شوراب، نشان از تغییرات دما-شوری در دو محدوده، یکی کانه‌زایی رگه‌چهای و رگه‌های برشی کوارتز-استیبنیت (نمونه از عمق ۳۰ متری گمانه شماره ۱)، که در آن سیالات اندازه‌گیری شده دو فاز (L+V) و تک فاز (L) با اندازه متوسط ۱۵ میکرون، دارای دامنه دمای یکنواختی (Th_{total}) بین ۱۸۴ تا 245°C ، شوری ۴/۲ تا ۱۵/۳ درصد معادل NaCl و عمق ۴۰۰ تا ۶۰۰ متر بوده [۱۲ و ۱۷] و دیگری کانی‌سازی انتشاری و انتشاری-رگچه‌ای پلی‌متال کوارتز-استیبنیت ± گالن ± اسفالریت با سیالات دو فاز (V+L)، (L+V) و تک فاز (L)، اندازه متوسط ۱۰ میکرون، دمای یکنواختی (Th_{total}) بین ۲۸۵ تا 340°C ، شوری ۲/۸ تا ۱۳/۷ درصد معادل NaCl و دامنه عمق ۳۰۰ تا ۱۱۰۰ متر است [۱۶ و ۱۷]. همچنین مطالعه سیالات درگیر بر روی کانی‌سازی رگه‌چهای و استوکورک سیلیسی-سولفیدی

مشترک در کلیه رگه‌های سیلیسی- سولفیدی اصلی و فرعی منطقه چوپان، دامنه دمایی، شوری و عمق به دست آمده قابل تعمیم به سایر رگه‌ها است (جدول ۴).

کانسار چوپان، حاکی از وجود سیالات درگیر دو فاز (L+V) با اندازه بین ۵ تا ۳۵ میکرون، دمای یکنواختی (Th_{total}) بین ۱۴۰ تا ۲۲۰°C، شوری ۴/۱ تا ۱۲/۵ درصد معادل NaCl و عمق کمتر از ۶۰۰ متر است [۱۱]. با توجه به ویژگی‌های کانی‌شناسی، دگرسانی و سنگ‌میزبان

جدول ۴. مقایسه خصوصیات زمین‌شناسی، کان‌زایی، کانی‌شناسی و سیالات درگیر در مناطق معدنی گله‌چاه، شوراب و اندیس معدنی چوپان

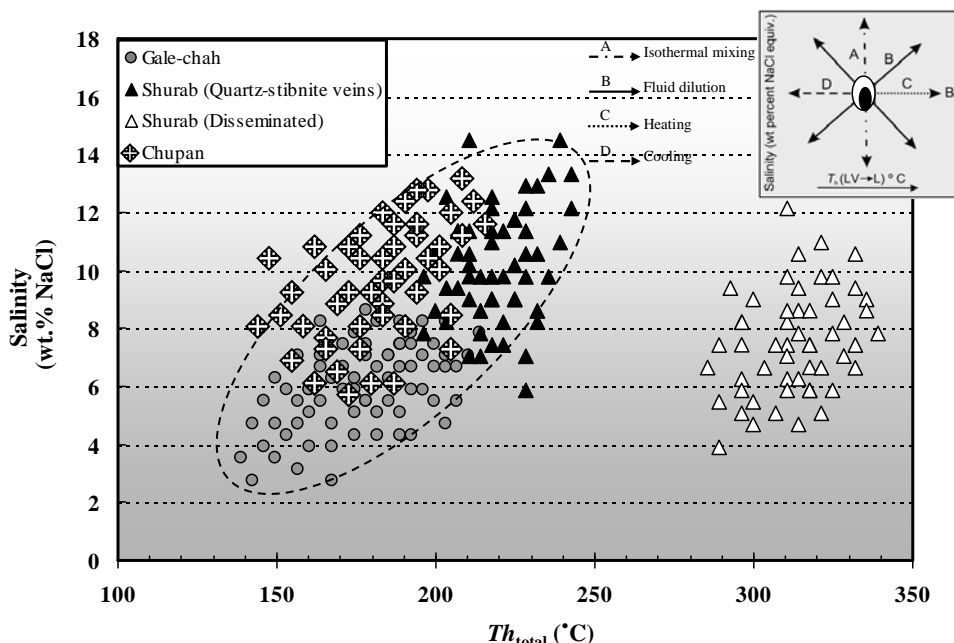
| مشخصات کانسار | کانسار گله‌چاه | کانسار شوراب | اندیس معدنی چوپان |
|---|---|---|---|
| ماده معدنی | Pb+Zn±Cu (I) Pb+Zn±Cu±Sb (II) | Pb+Zn+Cu+Sb | Pb+Zn+Sb±As±Ag |
| سنگ‌میزبان | کوارتزلاتیت تا کوارتزمونونیت پورفیری دگرسان‌شده | در مرز داسیت پورفیری و شیل و سیلتستون‌های ژوراسیک | کوارتزلاتیت پورفیری تا ریداسیت و داسیت‌های پورفیری |
| شکل کانی‌سازی | رگه‌ای و رگه‌چهای (در هر دو محدوده) | رگه‌چهای-رگه‌ای برشی، انتشاری و انتشاری-رگه‌چهای | رگه‌ای، رگه‌چهای-استوکورک (در سطح) و انتشاری-جانیشینی (در عمق) |
| ساخت و بافت کانی‌سازی | شکافه‌پرکن و انتشاری | شکافه‌پرکن، برشی، ساخت بان‌دی و ریتمیک | شکافه‌پرکن، جانیشینی و انتشاری |
| کانی‌شناسی کانسنگ و باطله‌ها | Ga+Sp+Py±Cpy±Bo±Tet±Bn±Cer±Mal±Cv±Dj | Ga+Sp+St+Py+Cpy±Asp±Tet-Tn±Cer±Mal±Cv | Ga+Sp+St+Py±As.m±Asp±Cpy±Mn.m±Hm±Sb.gm |
| دگرسانی مرتبط با کانی‌سازی | کربناتی‌شدن و سیلیسی‌شدن | سیلیسی‌شدن و سرسیستی‌شدن | سرسیستی‌شدن، کربناتی‌شدن و کلریتی‌شدن |
| همبستگی ژئوشیمی | Pb+Zn+Hg (0.8), Sb+Ag (0.7), Au+As+Sb (0.5) | Cu+Zn (0.8), Sb+Ag+Pb (0.7), Au+As+Hg (0.6) | |
| متوسط دما (°C)، شوری (wt% NaCl) و عمق (m) | $Th_{total} \approx 192^\circ C$ Salin ≈ 6.1 (wt% NaCl) Depth ≈ 270 m | Disseminated $Th_{total} \approx 315^\circ C$ Salin ≈ 8.5 (wt% NaCl) Depth ≈ 700 m Qz-St Veins $Th_{total} \approx 215^\circ C$ Salin ≈ 9.5 (wt% NaCl) Depth ≈ 500 m | $Th_{total} \approx 180^\circ C$ Salin ≈ 8.3 (wt% NaCl) Depth < 600 m |
| عیار متوسط [عو] | Pb (7.8%) Zn (1.4%) Cu (0.8%) Sb (1200ppm) Ag (50ppm) | Pb (22.5%) Zn (14.3%) Cu (1.4%) Sb (0.2%) Ag (50ppm) | Pb (11.5%) Zn (1.4%) Sb (0.4%) As (458ppm) Ag (66.1ppm) Au (0.6ppm) |

علامت اختصاری: Ga-گالن؛ Sp-اسفالریت؛ St-استیبینیت؛ Py-پیریت؛ Cpy-کالکوپیریت؛ Bo-بورنیت؛ Tet-تتراهدريت؛ Tn-تانتیت؛ Bn-بورنویت؛ Asp-آرسنوپیریت؛ Hm-هماتیت؛ Cer-سروزیت؛ Mal-مالاکیت؛ Cv-کولین؛ Dj-دیژنیت؛ Sid-سیدریت؛ Qz-کوارتز؛ Cc-کلسیت؛ C.m-کانی‌های رسی؛ As.m-کانی‌های آرسنیک‌دار؛ Mn.m-کانی‌های منگنزدار؛ Sb.gm-کانی‌های گروه استیبیکونیت؛ Dol-دولومیت؛ Chl-کلریت؛ Ill-ایلیت؛ Ser-سرسیست

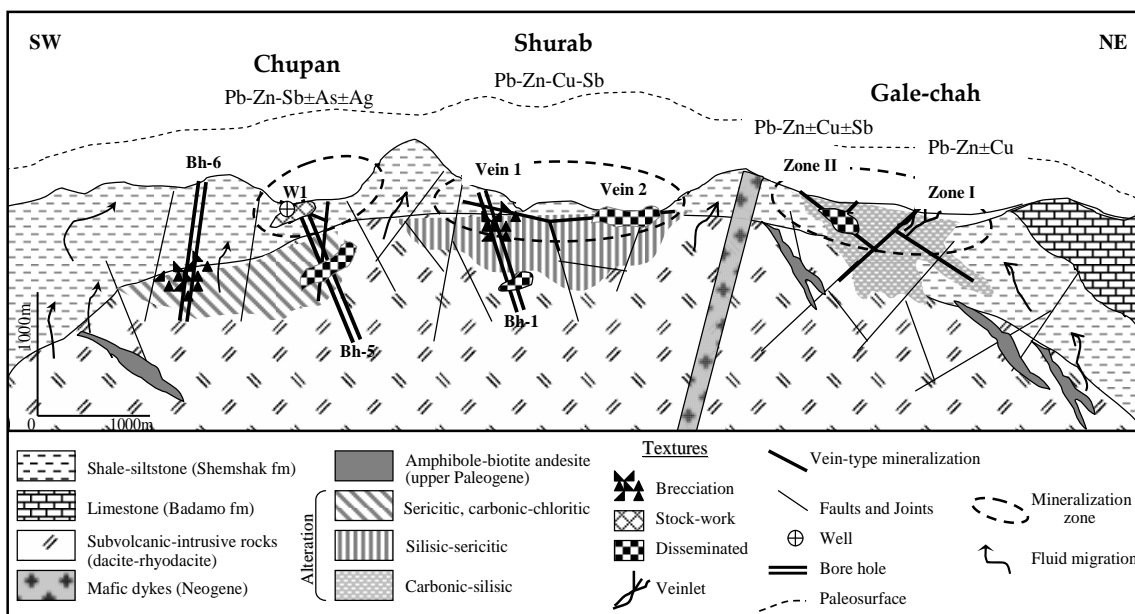
نتیجه‌گیری

بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی انجام‌شده در سه منطقه معدنی گله‌چاه، شوراب و چوپان، بیانگر از وجود ارتباط ژنتیکی میان کانه‌زایی‌های نوع رگه‌ای- رگه‌چهای، انتشاری، استوک‌ورک و برشی پلی‌متال سرب، روی، مس و آنتیموان با سنگهای آتشفشانی و توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق ائوسن‌بالایی- الیگوسن‌زیرین واقع در مجموعه ولکانوپلوتونیک شرق ایران است. شواهد و اطلاعات موجود از لحاظ ژئوشیمی عناصر کانه‌ساز و فرعی و ساخت و بافت کانی‌سازی، حاکی از رخداد کانه‌زایی سرب- روی (مس) رگه‌ای و رگه‌چهای در معدن گله‌چاه، کانه‌زایی سرب- روی، مس و آنتیموان، شامل دو نوع کانی‌سازی، یکی رگه‌چهای و رگه‌ای برشی محدود به مناطق گسلی و دیگری کانه‌زایی انتشاری و انتشاری- رگه‌چهای در معدن شوراب، و کانه‌زایی پلی‌متال سرب- روی، آنتیموان (آرسنیک و نقره) رگه‌ای، رگه‌چهای- استوک‌ورک سطحی (تا عمق ۳۰ متر) و انتشاری- جانشینی عمیق (عمق بیش از ۷۰ متر) در اندیس معدنی چوپان است (جدول ۴). تغییرات عنصری شامل مجموعه عناصر سرب+ روی± مس (محدوده I) و سرب+ روی± مس± آنتیموان (محدوده II) معدن گله‌چاه تا مجموعه عناصر سرب+ روی+ مس+ آنتیموان رگه‌های کوارتز- استیبینیت معدن شوراب و مجموعه عناصر سرب+ روی+ آنتیموان± آرسنیک± نقره در رگه و رگه‌چهای سیلیسی- سولفیدی کانه‌دار کانسار چوپان مشابه یک منطقه‌بندی عنصری است که انتظار می‌رود این توزیع عنصری سازگار با یک پهنه‌بندی دگرسانی در منطقه معدنی گله‌چاه- شوراب باشد، اما به دلیل پوشش ضخیم رسوبات آبرفتی و شورزارهای نمکی وسیع و نیز کمبود داده‌های حفاری در کل منطقه، تفکیک دقیق پهنه‌بندیهای دگرسانی در منطقه میسر نشد. با این وجود، با استناد به داده‌های موجود، حضور دگرسانیهای سرسیتی، کربناتی- کلریتی (مرتبط با کانی‌سازی)، آرژیلیک و پیریتی شدن (پراکنده در میزبان) در کانسار چوپان، مجموعه دگرسانی سیلیسی- سرسیتی (در رگه‌ها) و پروپیلیتیک، آرژیلیک (در سنگ میزبان) در معدن شوراب، و دگرسانیهای کربناتی- سیلیسی مرتبط با کانی‌سازی رگه‌ای در معدن گله‌چاه، حاکی از تغییر نوع و کاهش شدت

دگرسانی‌ها به سمت شمال منطقه و منطقه معدنی گله‌چاه است که به عقیده [۲۱ و ۲۲] ناشی از کاهش pH سیال گرمایی و کاهش تبادل آب-سنگ (water/rock interaction) است. علاوه بر آن، حضور مجموعه ایلیت- سرسیت (آدولاریا)، مقادیر بالای آرسنیک، پهنه ستبر کانی‌سازی سوپرژن (عمق بیش از ۳۰ متر) و نبود کانی‌سازی مس [۲۱ و ۲۳] در کانسار چوپان نیز مؤید این مطلب است. توزیع ژئوشیمیایی عناصر کانه‌ساز سرب- روی، مس، آنتیموان (آرسنیک و نقره) همراه با هاله‌های دگرسانی دربرگیرنده، نشان از تغییرات وسیع تبدلات آب-سنگ، با بالاترین مقدار در کانسار چوپان و کمترین مقدار در کانسار گله‌چاه است (برای مثال رجوع شود به [۲۴-۲۶]). مطالعات سیالات درگیر نیز تا حدی موید این منطقه‌بندی است، به طوری که کانه‌زایی مس انتشاری- رگه‌چهای کانسار شوراب و پلی‌متال انتشاری- جانشینی کانسار چوپان در دما، شوری و عمق بیشتری رخ داده و دمای همگن‌شدن نهایی (کمترین دمای تشکیل) بدست‌آمده از این مناطق به سمت کانه‌زایی‌های رگه- رگه‌چهای کانسار گله‌چاه کاهش می‌دهد (جدول ۴ و شکل ۹). بر اساس مطالعات [۲۷-۲۹] این کاهش به دلیل صعود سیالات گرمایی و آمیختگی احتمالی با آبهای کم‌دمای جوی است که مطالعات ژئوشیمی ایزوتوپی اکسیژن انجام‌شده بر روی رگه‌های کوارتز- استیبینیت کانسار شوراب این موضوع را تأیید می‌کند [۱۷ و ۱۰] (شکل ۹). سازگاری میان توزیع عناصر، تغییرات کانی‌شناسی، دگرسانی و دما و عمق تشکیل، احتمالاً گویای وجود یک مجموعه کانه‌زایی مشترک در محدوده مورد مطالعه است، به طوری که با افزایش فاصله نسبت به مرکز سیستم، دما، فشار، شوری، عمق کانی‌سازی و شدت دگرسانی در کانسار گله‌چاه به شکل رگه‌ای- رگه‌چهای کاهش یافته و به سمت کانه‌زایی‌های رگه‌ای- رگه‌چهای، انتشاری و استوک‌ورک کانسارهای شوراب و چوپان به خصوص در بخش کانی‌سازی انتشاری- جانشینی افزایش می‌یابد. تکامل مجموعه کانه‌زایی گرمایی- رگه‌ای محدود به معدنی گله‌چاه- شوراب به طور شماتیک در شکل (۱۰) نمایش داده شده است.



شکل ۹. نمودار دمای همگن‌شدن نهایی (Th_{total}) در مقابل شوری (بر حسب wt.% NaCl) که نشان‌دهنده دو محدوده دما-شوری یکی کانه‌زایی انتشاری پلی‌متال کانسار شوراب و دیگری مجموعه کانه‌زاییهای رگه‌ای-رگه‌چهای گله‌چاه، رگه‌های کوارتز-استینینیت شوراب و رگه سیلیسی-سولفیدی چوپان است. طبق نمودار، فرآیند اختلاط (mixing) و رقیق‌شدگی (dilution) توسط آبهای جوی دما و شوری پایین قابل تشخیص است.



شکل ۱۰. تصویر شماتیک از روند تکامل، منطقه‌بندی عناصر کانه‌ساز، توزیع دگرسانیه‌ها و بافتهای مختلف کانی‌سازی در مناطق معدنی گله‌چاه، شوراب و اندیس معدنی چوپان (برای توضیحات به متن مراجعه شود)

مراجع

- پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، (۱۳۸۷) ۱۲۸ ص.
- [۱۲] طالع فاضل ا.، "بررسی ژئوشیمی، سیالات درگیر و ژنر کانسار پلی‌متال شوراب (جنوب فردوس)"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم تهران، (۱۳۸۸) ۱۸۰ ص.
- [۱۳] درویش‌زاده ع.، "بررسی‌های ژئوشیمیایی آتشفشان‌های جوان ایران از دیدگاه تکتونیک صفحه‌ای"، مجموعه مقالات سمپوزیوم انجمن نفت ایران، (۱۳۵۴) ص ۳۶-۴۰.
- [14] Pearce J.A., and Can J.R., "Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace elements analysis". *Earth planet*, (1973) 290-300.
- [۱۵] لطفی م.، "نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۰۰۰۰ گله‌چاه-شوراب"، وزارت صنایع و معادن، طرح تحقیقات صنعتی-آموزش و اطلاع‌رسانی، شرکت کاوش کانسار (۱۳۸۵).
- [۱۶] نخبه‌الفقهایع. و بهزادی م.، و خاکزاد، ا.، و یزدی، م.، "ژئوشیمی، کانه‌زایی و ژنر کانسار آنتیموان چوپان واقع در خراسان جنوبی"، فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی، شماره ۱ (۱۳۸۸)، صفحه ۷۶-۸۶.
- [۱۷] مهرابی ب. و طالع فاضل ا.، "بررسی نقش اختلاط سیالات ماگمایی و جوی در کانه‌زایی کانسار پلی‌متال شوراب (جنوب فردوس) با استفاده از شواهد ژئوشیمی ایزوتوپی و میکروترموتری"، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، ۱۳۹۰ (در مرحله چاپ).
- [18] Brown P.E., "FLINCOR: a microcomputer program for the reduction and investigation of fluid inclusion data". *American Mineralogist*, 74 (1989) 1390-1393.
- [19] Roedder E., "Fluid inclusions. Reviews in Mineralogy", 12 (1984) 644.
- [20] Shepherd T.J., Rankin A.H., and Alderton D.H.M., "A Practical Guide to Fluid Inclusion Studies". Blackie and Son, (1985) 239.
- [21] Reed M.H., "Hydrothermal alteration and its relationship to ore fluid composition". In *Geochemistry of hydrothermal ore deposit*, Barnes, H.L., (1997) 570.
- [22] Wagner T., and Johum, J., "Fluid-interaction processes related to hydrothermal Vein-type mineralization in the Siegerland district, Germany: implications from inorganic and organic alteration
- [1] Lotfi M., "Geological and geochemical investigation on the volcanogenic Cu-Pb-Zn-Sb ore mineralization in the Shurab- Gale chah and North West of Khur". PHD thesis, University of Hamburg, (1982) 152.
- [2] Jung D., Keler G., Khorasani R., Marks K., Buman A., and Kuren P., "Petrogenesis of Tertiary magmatic activity in Northern Lut region (East Iran)", (1983) *Geol. Sur. Iran*.
- [3] Tarkian M., Lotfi M., and Baumann A., "Tectonic, magmatism and the formation of mineral deposits in the central Lut, Eastern Iran", Ministry of mines and metals, GSI, geodynamic project (geotraverse) in Iran, 51 (1983) 357-383.
- [4] Tarkian M., Lotfi M., and Baumann A., "Magmatic Copper and Lead Zinc ore deposits in the Central Lut, Eastern Iran". *N. Jb. Geol. Palaont. Abh.* 168 (2/3) (1984) 497-523.
- [5] Karimpour M.H., Zaw Kh., and Huston D.L., "S-C-O isotopes, fluid inclusion microthermometry, and the genesis of ore bearing fluids at Qaleh-Zari Fe-Oxide Cu-Au-Ag mine". *Iran. IRI. J. Sci*, 16 (2005) 153-168.
- [۶] شرکت کاوش کانسار، "گزارش بررسی کانه‌زایی هیدروترمالی ناحیه شوراب-قلعه‌چاه و تلفیق آنها با نتایج شیمیایی منطقه"، وزارت صنایع و معادن، طرح تحقیقات صنعتی-آموزش و اطلاع‌رسانی، (۱۳۸۵) ۲۷۸ ص.
- [۷] شرکت توسعه علوم‌زمین، "گزارش اکتشافات تفصیلی عملیات حفاری در مناطق معدنی شوراب، چوپان و سنده‌محمود، در مقیاس ۱/۱۰۰۰"، (۱۳۸۵) ۳۵۰ ص.
- [۸] نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ بشرویه، ۱۳۴۹، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- [۹] لطفی م.، "خلاصه‌ای بر مطالعه فاز متالوژنی پیرنه‌ای در رابطه با سنگ‌های ولکانیک، ساب‌ولکانیک بخش شمالی پهنه لوت مرکزی"، چهارمین گردهمایی علوم‌زمین، (۱۳۷۴).
- [۱۰] رحیمی ه.، "بررسی ژئوشیمیایی، دگرسانی و زمین‌شناسی اقتصادی کانسار آنتیموان شوراب (جنوب خراسان)"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم تهران، (۱۳۸۳) ۲۱۰ ص.
- [۱۱] نخبه‌الفقهای ع.، "ژئوشیمی، کانی‌شناسی و ژنر اندیس معدنی آنتیموان-طلای چوپان واقع در شوراب فردوس"،

- patterns". *Applied Geochemistry*, 17 (2002) 225-243.
- [23] Barnes H.L., "Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits", John Wiley (1997) 570.
- [24] White N.C., and Hedenquist J.W., "Epithermal environments and styles of mineralization: variations and their causes, and guidelines for exploration", in Hedenquist, J., White, N.C., and Siddeley, G. eds., *Epithermal Gold Mineralization of the Circum-Pacific, Geology, Geochemistry, Origin and Exploration, II. Journal of Geochemical Exploration*, 36 (1990) 445-474.
- [25] Fifiarek R.H., and Rye R.O., "Stable isotope geochemistry of the Pierina high-sulfidation Au-Ag deposit, Peru: influence of hydrodynamics on SO_2^{+4} H_2S sulfur isotopic exchange in magmatic-steam and steam-heated environments: Geochemistry of sulfate minerals in high and low temperature environments". *Chemical Geology*, 215 (2005) 253-279.
- [26] Taylor B.E., "Epithermal gold deposits", in Goodfellow, W.D., ed., *Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit-Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods: Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication 5* (2007) 113-139.
- [27] Hedenquist J.W., Izawa E., Arribas A.R., and White N.C., "Epithermal Gold Deposits: Styles, Characteristics, and Exploration". *Society of Resource Geology* 1 (1996) 70.
- [28] Heinrich C.A., Bierlein F.P., Foster D.A., Gray D.R., and Davidson G.J., "The physical and chemical evolution of low-salinity magmatic fluids at the porphyry to epithermal transition: a thermodynamic study". *Mineralium Deposita* 39 (2005) 864-889.
- [29] Yoo B.C., Lee K.H., and White C.N., "Mineralogical, fluid inclusion, and stable isotope constraints on mechanisms of ore deposition at the Samgwang mine (Republic of Korea)-a mesothermal, vein-hosted gold-silver deposit", *Mineralium Deposita*, (2009) published online.
- [30] Alavi M., "Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: New data and interpretations". *Tectonophysics*, 229 (1994) 211-238.