

کانی‌شناسی و بررسی میانبارهای سیال در کانسار چندفلزی طلا دار شوی، شمال غرب بانه

محمد عبدالله پور^۱، مهرداد بهزادی*^۱، حسین‌علی تاج‌الدین^۲

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۲- دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

(دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۲/۳، نسخه نهایی: ۱۴۰۴/۵/۱)

چکیده: کانسار چندفلزی طلا دار شوی در شمال غرب پهنه سنندج- سیرجان و در ۷ کیلومتری شمال غرب بانه واقع است. کانی‌سازی طلا و فلزهای همراه در کانسار شوی، در برش‌ها و رگه‌های سیلیسی- سولفیدی و در آخر در رگه‌های سیلیسی- کربناتی ثانویه رخ داده است. کانسنگ از کانی‌های فلزی اولیه تتراهدریت، گالن، اسفالریت، طلا و پیریت و کانی‌های ثانویه اسمیت‌زونیت، همی‌مورفیت، سروزیت، مالاکیت و آزوریت تشکیل شده است. بر پایه ریزدماسنجی بر میانبارهای دوفازی غنی از مایع در بلورهای کوارتز و اسفالریت، بیانگر میانگین دمای همگن شدگی سیال‌های کانه ساز ۲۱۰ تا ۳۸۰ درجه سانتی‌گراد و شوری ۱/۵ تا ۱۵/۴ درصد وزنی معادل نمک طعام است. بر اساس بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی، کانی‌سازی و میانبارهای سیال، کانسار شوی بیشترین شباهت را با کانسارهای طلای کوهزایی نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: طلای کوهزایی؛ پهنه دگرگونه سنندج- سیرجان؛ میانبارهای سیال؛ شوی.

مقدمه

شمال غرب بانه (استان کردستان) و در شمال غرب پهنه سنندج- سیرجان و در چارگوش ۱:۲۵۰۰۰۰ زمین‌شناسی مهاباد [۱۲] و ورقه یکصد هزارم زمین‌شناسی آلتوت [۱۳] قرار دارد. فعالیت‌های اکتشافی در این منطقه که در سال‌های ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۲ توسط شرکت آتی صنعت انجام گردیده شامل تهیه نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰ حفر ترانشه و گمانه‌های مغزه‌گیری است. در این پژوهش، ویژگی‌های کانی‌شناسی، دگرشکلی، دگرسانی، میانبارهای سیال و ایزوتوپ‌های پایدار گوگرد و اکسیژن در کانسار شوی بررسی شده است.

روش بررسی

این پژوهش شامل دو بخش صحرایی و آزمایشگاهی است. بخش صحرایی شامل تهیه نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰ و در گستره تقریبی ۳ کیلومتر مربع و بررسی پهنه‌های کانی‌سازی (بررسی دگرشکلی، دگرسانی، ساخت، بافت و

پهنه دگرگونی سنندج- سیرجان، به‌عنوان بخشی از کمربند کوهزایی آلپ- هیمالیا، محیط مناسبی برای رخداد ذخایر طلاست. حضور مجموعه کانسارها و رخدادهای طلای مونه [۱] و چاه باغ [۲] در مرکز این پهنه، رخداد طلای زرتشت [۳] در جنوب شرق و کانه‌زایی‌های طلای منطقه سقز- سردشت [۴] در شمال غرب این پهنه، تأییدی بر این باور است. بر اساس بررسی‌های پیشین، موقعیت کانی‌سازی طلا در کانسار طلای قلقله [۵]، کرویان [۶]، خراپه- زینون جیان [۷]، شوی [۸]، کسنزان [۹] و قبغلوچه [۱۰] توسط پهنه‌های برشی کنترل گردیده و ویژگی‌های زمین‌شناسی و کانی‌سازی آن‌ها، با مشخصه‌های شناخته شده برای کانسارهای طلای کوهزایی، به‌ویژه در کمربندهای فانروزوئیک، بیشترین همخوانی را نشان می‌دهند [۱۱]. کانسار چندفلزی طلا دار شوی، در ۷ کیلومتری

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۲۴۴۰۷۴۸۴، پست الکترونیکی: m_behzadi@sbu.ac.ir

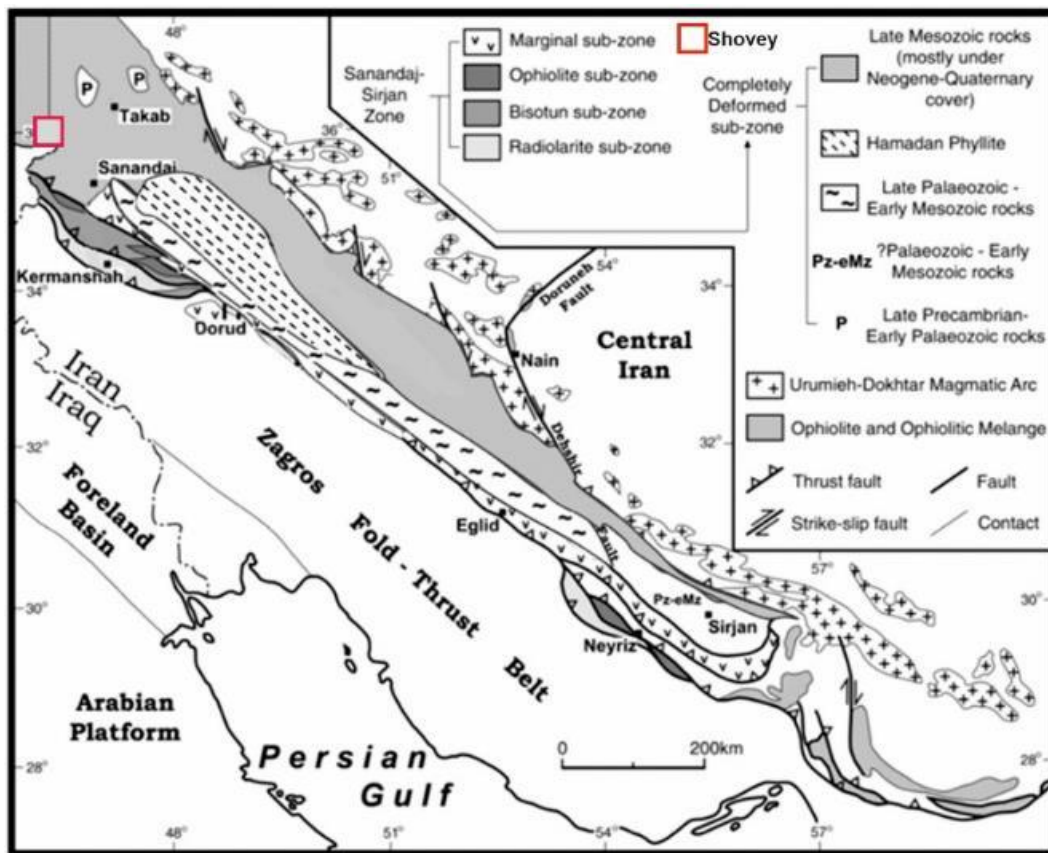


ذوب آخرین قطعه یخ (Tm-ice) با استفاده از رابطه ارائه شده در مرجع [۱۴] و مقایسه با نتایج مرجع [۱۵] محاسبه شد.

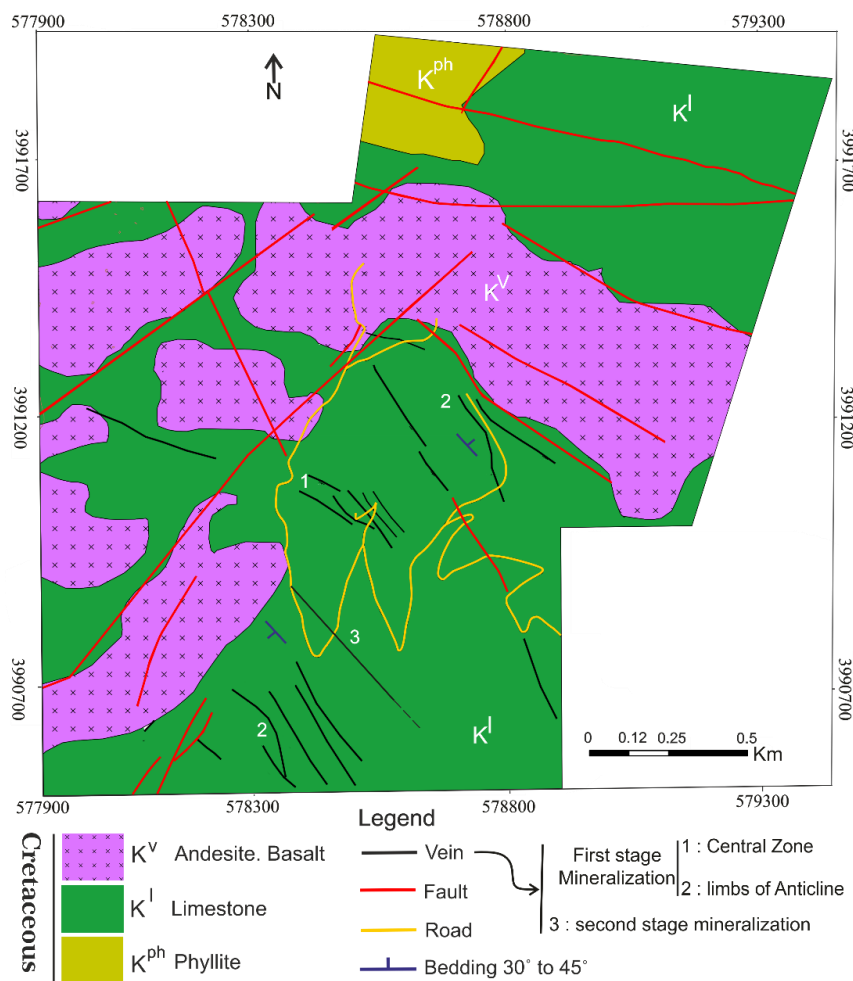
زمین‌شناسی منطقه کانسار

گستره کانه‌زایی شوی در شمال غرب پهنه سنندج-سیرجان واقع است (شکل ۱) و جزئی از زیر پهنه با دگرشکلی پیچیده (به شدت دگرشکل و دگرگون شده) و کمان آتشفشانی سنقر-بانه قلمداد می‌شود. از ویژگی‌های کمان آتشفشانی سنقر-بانه سنگ‌های آتشفشانی بازالتی و آندزیتی بازالتی به همراه ساختارهای عمومی پهنه سنندج-سیرجان چون چین‌خوردگی و گسلش هستند [۱۶]. براساس بررسی‌های صحرایی، واحدهای سنگی رخنمون یافته در منطقه مورد بررسی شامل یک توالی از سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی دربردارنده گدازه، سنگ آهک و فیلیت با سن کوتاه است که در رخساره شیست سبز دگرگون شده‌اند. به‌طور خلاصه، زمین‌شناسی واحدهای سنگی در منطقه شوی از قدیم به جدید در ادامه بیان می‌شود (شکل ۲).

کانی‌شناسی کانسنگ‌ها) می‌شود. در این مرحله، ۴۰ نمونه سنگی از مغزه‌ها و ترانسه‌ها برداشت و به آزمایشگاه‌ها ارسال شد. در بخش آزمایشگاهی، پس از بررسی‌های مقدماتی، از میان نمونه‌های برداشت‌شده، ۱۰ مقطع نازک، ۱۵ مقطع صیقلی، ۵ مقطع نازک-صیقلی و ۴ مقطع دو بر صیقلی تهیه و از نظر سنگ‌شناسی، کانه‌نگاری، ساخت، بافت و میانبرهای سیال بررسی شدند. میانبرهای سیال برای ۳ نمونه کوارتزی و یک نمونه کوارتز-اسفالریت از کانسنگ‌های طلادار در آزمایشگاه میانبرهای سیال دانشگاه تربیت‌مدرس به کمک صفحه مدل THMS600 با گرم‌کننده و منجمدکننده مدل لینکهام (Linkam) و میکروسکوپ لایکا با عدسی شیئی ۵۰x بررسی شدند. گستره دمایی دستگاه ۱۹۶- تا ۶۰۰+ درجه سانتی‌گراد است. واسنجی دستگاه در گرمایش با دقت ۰C ± ۰٫۶ با نیترات پتاسیم (KNO₃) در دمای ۳۳۵ درجه سانتی-گراد و در انجماد با دقت ۰C ± ۰٫۲ با سیال C₄H₃CH₃ با نقطه ذوب ۹۵- درجه سانتی‌گراد انجام گرفت. مقدار شوری بر حسب معادل درصد وزنی نمک طعام (wt. % NaCl) و بر پایه دمای



شکل ۱ موقعیت منطقه مورد بررسی (مربع قرمز)، در شمال غرب پهنه سنندج سیرجان [۱۷].



شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰ گستره کانسار چندفلزی طلا دار شوی.

قلیایی همراه با کانی‌های فرعی آمفیبول و پیروکسن در یک زمینه ریزسنگی تا شیشه‌ای (باز تبلور یافته) تشکیل شده‌اند (شکل ۳ ب).

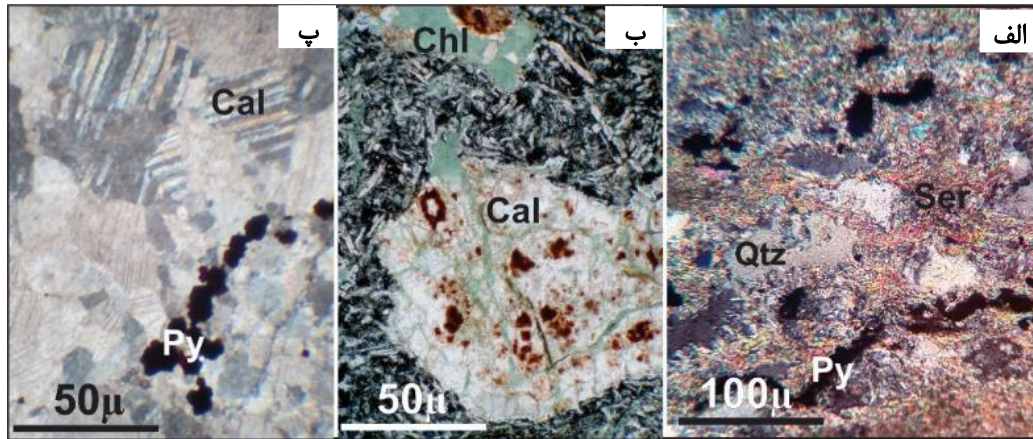
سنگ‌های آهکی (واحد K^L): این واحد، که با رنگ خاکستری تیره، گسترش قابل توجهی در منطقه دارد، از سنگ آهک‌های بلوری (مرمر) متوسط تا ضخیم‌لایه تشکیل گردیده و در اثر فازهای کوهزایی در مقیاس‌های مختلف دچار چین و شکست-های فراوان شده است (شکل ۳ پ). برپایه سنگواره‌های شناسایی شده در آهک‌های برونزد یافته در خارج از منطقه مورد بررسی و عدسی‌های آهکی موجود در میان فیلیت‌ها، سن آبتین- آلبین برای این دو واحد پیشنهاد شده است [۱۸]. سنگ‌های آتشفشانی منطقه مورد بررسی نیز ارتباط میان‌لایه-ای با واحدهای شیل، ماسه‌سنگ و آهک‌های کرتاسه از خود نشان داده‌اند [۱۶]. دگرگونی ناحیه‌ای در این بخش از پهنه سندانج- سیرجان از نوع پس‌رونده و در حد رخساره شیست

فیلیت (واحد K^{ph}): این واحد با رنگ خاکستری تا سیاه گسترش قابل توجهی در بخش جنوبی منطقه مورد بررسی دارد. در مقیاس میکروسکوپی، این فیلیت‌ها بیشتر از کانی‌های کوارتز، فلدسپات، موسکویت-سریسیت، کلریت و آلی تشکیل شده‌اند و ظاهری متورق و جلائی براق و درخشان دارند. در لابه‌لای این واحد، عدسی‌های سیلیسی دگرگون‌زاد با ضخامت چند میلی‌متر تا ۲۰ سانتیمتر موازی با برگوارگی دگرگونی حضور دارند که طی دگرشکلی‌ها چین‌خورده و حالت بودین‌شدگی به خود گرفته‌اند (شکل ۳ الف).

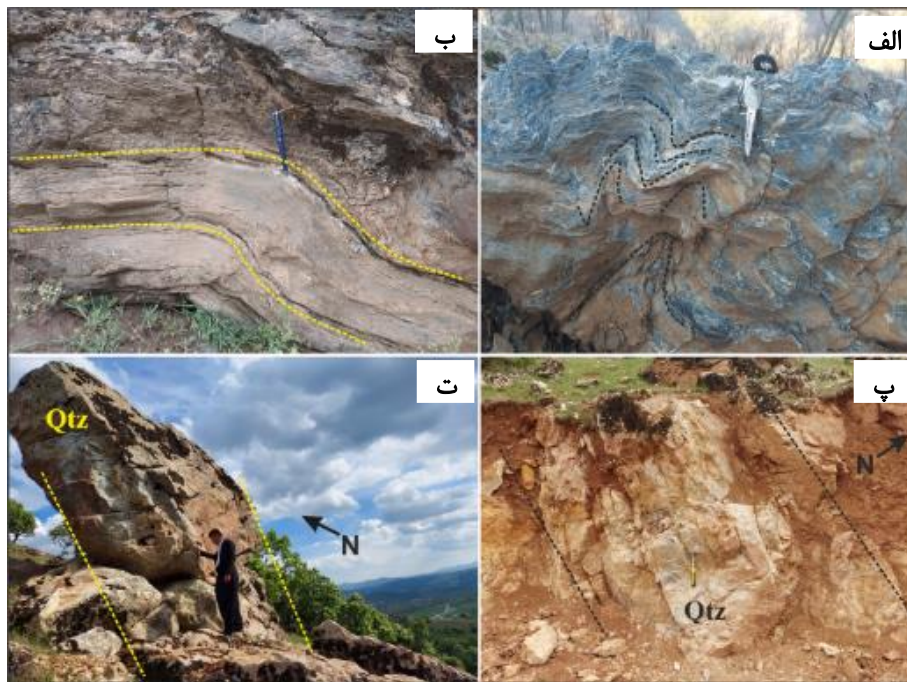
سنگ‌های آتشفشانی (واحد K^V): این واحد به‌طور عمده شامل گدازه‌های آتشفشانی سبز تا خاکستری با ترکیب آندزیت و آندزیت‌بازالت و دارای ساخت‌های حفره‌دار و گاه بالشی است و حفره‌های آن‌ها با کانی‌های ثانویه از جمله کلسیت و کلریت پرشده‌اند. نمونه‌های بررسی شده از این گدازه‌ها بافت پورفیری تا اینترسرتال دارند و از درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز و فلدسپار

چین‌های باز و ایستاده هستند که در بسیاری از نقاط، چین‌های یال موازی مرحله اول را دوباره چین داده‌اند (شکل‌های ۴ الف و ب). در منطقه شوی، دو نوع گسل عادی و معکوس شناسایی شدند. گسل‌های عادی با راستای موازی با سطح محوری طاق‌دیس شوی (چین‌های نسل دوم) ارتباط مستقیمی را با کانه‌زایی از خود نشان داده‌اند (شکل‌های ۴ پ و ت).

سبز بوده است [۱۹]. بر اساس شواهد ساختاری در شمال غرب ایران، دو زمان برخورد بین صفحه عربستان و صفحه ایران، طی بسته‌شدن اقیانوس تتیس جوان، قابل اثبات بوده و دو مرحله از دگرشکلی شامل چین‌ها و گسل‌ها در منطقه شوی تعیین گردیده است [۲۰]. چین‌های نسل اول به صورت زاویه بسته در سنگ‌های آهکی شکل گرفته‌اند و چین‌های نسل دوم به صورت



شکل ۳ تصاویر میکروسکوپی از واحدهای سنگی رخنمون یافته در گستره مورد بررسی: الف) فیلیت (Kph): کانی‌های کوارتز (Qtz) و پیریت (Py) در زمینه سربستی (Ser)، ب) سنگ‌های آتشفشانی (Kv): حفره‌های پر شده از کلسیت (Cal) و کلریت (Chl) در زمینه ریزسنگی پ) سنگ‌های آهکی (Kl): کانی‌های پیریت (Py) در زمینه بلورهای کلسیت (Cal).

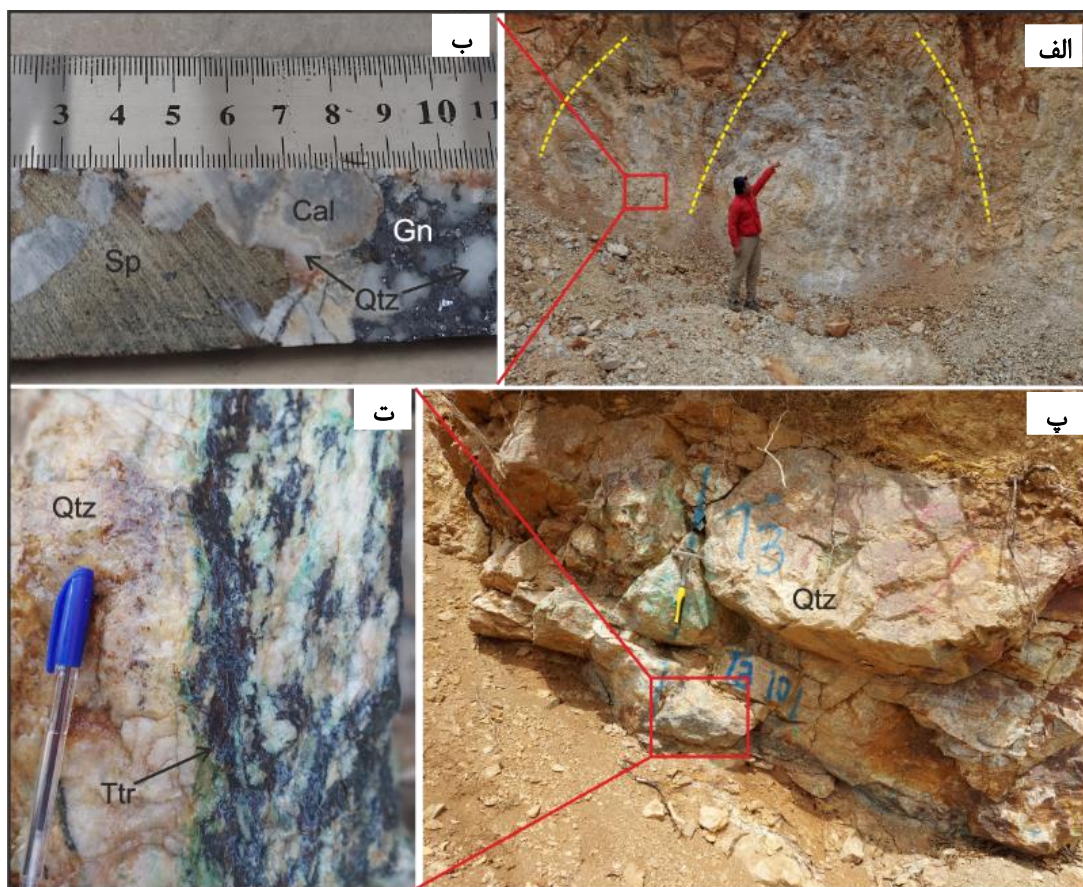


شکل ۴ مولفه‌های ساختاری تشکیل شده در واحدهای آهکی منطقه شوی: الف) چین خوردگی نسل اول با زاویه بسته، ب) چین خوردگی نسل دوم با زاویه باز و ایستاده، پ و ت) رگه‌های سیلیسی کانه‌دار تزریق شده منطبق بر گسل‌های عادی موازی با محور طاق‌دیس شوی (چین‌های نسل دوم) به ترتیب در یال‌های شمالی و جنوبی، (Qtz: کوارتز)

کانه‌زایی

بر اساس بررسی صحرایی و نتایج تجزیه زمین‌شیمیایی، کانی‌سازی فلزهای پایه (سرب، روی و مس) و طلای منطقه شوی در ساختارهای شکننا-شکل‌پذیر رخ داده در طاقدیس شوی و طی سه مرحله تشکیل شده‌اند که در ادامه توصیف می‌شوند: ۱- مرحله نخست کانی‌سازی هم‌زمان با تشکیل طاقدیس شوی رخ داده است. در این مرحله، در اثر عملکرد نیروهای فشارشی، سنگ لایه‌های میانی طاقدیس کاملاً زمین ساخته شده و سپس سیال‌های کانه‌ساز به درون فضای شکستگی‌ها نفوذ کرده و به‌صورت رگه و رگچه‌های کوارتز-سولفیدی نهشته شده‌اند (شکل‌های ۵ الف و ب). کانی‌سازی فلزی در این مرحله به‌صورت کانی‌های گالن و اسفالریت بوده و به‌صورت پرش‌های گرمایی با ساخت و بافت‌های شکافه‌پرکن درون چینه‌های آهکی کرتاسه تشکیل شده است. مرحله دوم کانی‌سازی به‌صورت رگه و رگچه‌های کوارتز-سولفیدی در یال‌های شمالی و

جنوبی طاقدیس شوی دیده می‌شود. این رگه و رگچه‌ها در اثر نیروهای کششی طی تشکیل طاقدیس در لایه‌های خارجی و نیروهای پساشارشی-کششی تشکیل شده‌اند. راستای غالب رگه‌های سیلیسی کانه‌دار موازی با راستای سطح محوری طاقدیس و هم‌راستا با ساختارهای اصلی منطقه و کوهزاد زاگرس (شمال غربی-جنوب شرقی) است (شکل‌های ۵ پ و ت). مرحله سوم کانی‌سازی به‌صورت رخداد رگه‌های سیلیسی-کربناتی (تانویه) روی و سرب‌دار در یال جنوبی طاقدیس شوی بروز دارد. این نوع از رگه‌ها در ادامه فعالیت فاز کششی و به‌صورت گسل‌های عادی عمیق با شیب‌های ۶۰ تا ۸۵ درجه در یال جنوبی طاقدیس تشکیل شده‌اند که همه روندهای کانه‌دار مراحل پیشین را قطع کرده‌اند و کانه‌زایی تانویه روی به‌صورت کانی‌های همی‌مورفیت و اسمیت‌زونیت و به مقدار کمتر سروزیت رخ داده است (شکل ۶).



شکل ۵ تصاویر برش‌ها و رگه‌های سیلیسی-سولفیدی در واحدهای آهکی: الف و ب) کانی‌سازی گالن (Gn) و اسفالریت (Sp) همراه با کانی‌سازی طلا با ساخت پرشی در پهنه مرکزی طاقدیس شوی، پ و ت) رگه سیلیسی در بردارنده کانی‌سازی تتراهدردیت (Ttr، با رنگ سیاه) همراه با طلا با ساخت و بافت‌های رگه-رگچه‌ای در یال شمالی طاقدیس شوی. (Cal: کلسیت، Qtz: کوارتز).

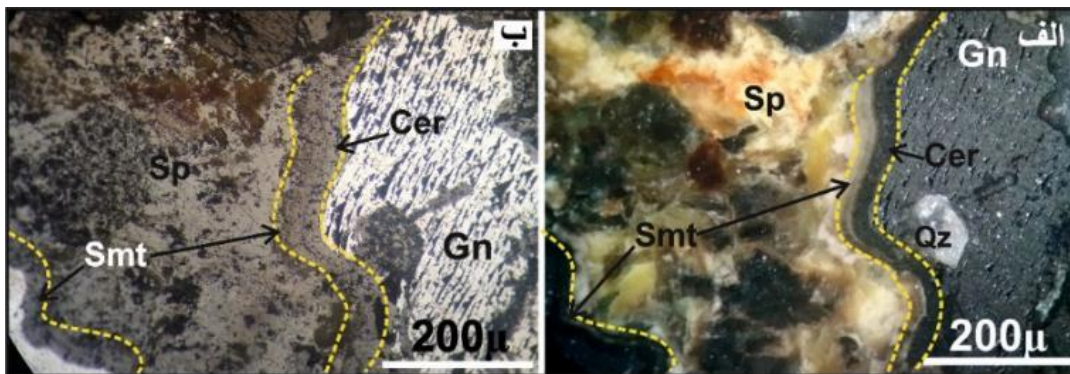


شکل ۶ کانی‌سازی ثانویه به صورت کانی‌های همی‌مورفیت، اسمیت زونیت و سروزیت انباشته در درز و شکستگی‌های تأخیری شده‌است.

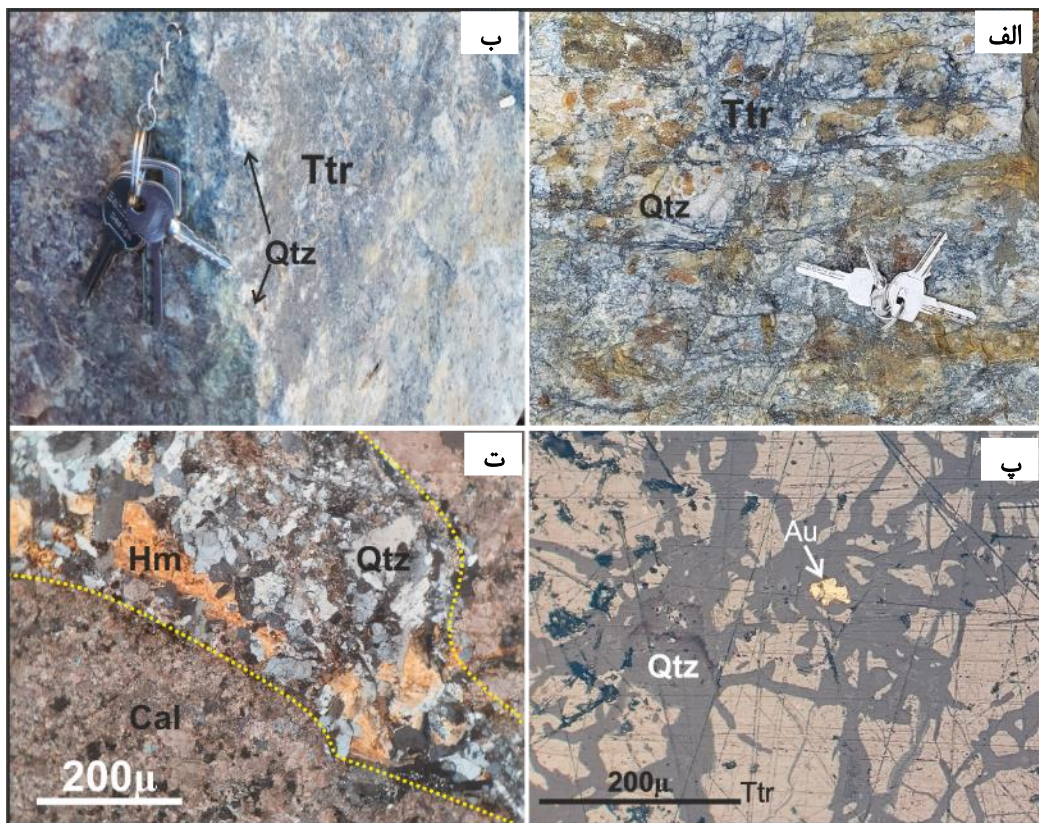
کانی‌شناسی

ساخت غالب در کانسنگ رگه- رگچه‌ای است و کانسنگ از کانی‌های هم‌رشد کوارتز، تتراهدریت (شکل‌های ۸ الف و ب)، کالکوپیریت و طلا (در اندازه‌های ۵ تا ۳۵ میکرون؛ شکل ۸ پ) تشکیل شده است. مالاکیت و آزوریت از دیگر کانی‌های قابل‌مشاهده در کانسنگ هستند که در اثر عملکرد فرایند دگرسانی برونزاد تشکیل شده‌اند. کانسنگ‌های تشکیل شده در مرحله درونزاد، اغلب با رگه و رگچه‌های تأخیری انباشته از کوارتز و کانی‌های ثانویه (همی‌مورفیت، اسمیت‌زونیت و سروزیت) که فرآورده فرایندهای دگرسانی و اکسایش کانی‌های سولفیدی هستند، قطع شده‌اند (شکل‌های ۶ و ۸ ت).

منطقه‌بندی و هم‌برزادی کانی‌شناسی در کانسار شوی بر پایه تفاوت‌های ساختاری و بافتی موجود در بدنه طاقدیس شوی، تمایز واضحی را از خود نشان داده است که در ادامه شرح داده می‌شود. در پهنه مرکزی، ساخت غالب در کانسنگ‌ها برشی و رگه- رگچه‌ای بوده و کانسنگ از کانی‌های هم‌رشد کوارتز، گالن، اسفالریت و ذره‌های طلا (در اندازه‌های ۵ تا ۲۵ میکرون) تشکیل شده است. اسمیت‌زونیت و سروزیت همراه با کانسنگ هستند که در اثر عملکرد فرایند دگرسانی برونزاد در لبه کانی- های سولفیدی و یا درون درزه شکستگی‌ها با فاصله از کانسنگ اولیه تشکیل شده‌اند (شکل‌های ۶ و ۷). در یال‌های طاقدیس،



شکل ۷ (الف) تصویر میکروسکوپی با نور بازتابی قطبیده متقاطع (Xpl) از نمونه کانسنگی در پهنه کانی‌سازی مرکزی، (ب) همان تصویر "الف" از رخداد کانه‌های اولیه اسفالریت (Sp) و گالن (Gn) در همراهی با کوارتز (Qz) و کانی‌های ثانویه اسمیت‌زونیت (Smt) و سروزیت (Cer) در بازتابی قطبیده صفحه‌ای (pp1).



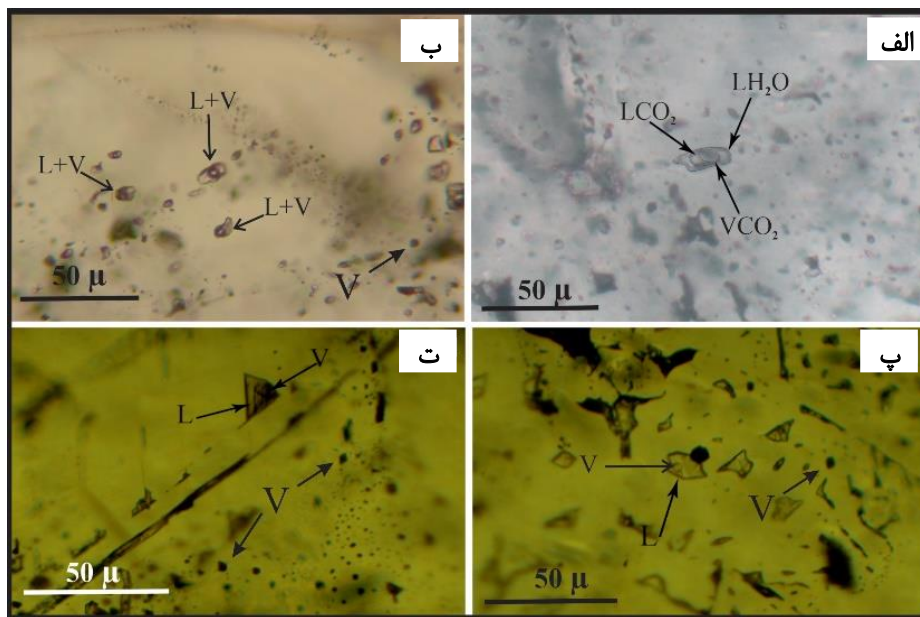
شکل ۸ (الف) رخداد تتراهدريت با ساخت و بافت رگه و رگچه‌ای در واحد آهکی سیلیسی‌شده، (ب) تصویر نمونه دستی از کانی تتراهدريت با بافت توده‌ای، (پ) تصویر میکروسکوپی (نور بازتابی، PPL) از رخداد طلا و تتراهدريت، (ت) تصویر میکروسکوپی (نور عبوری XPL) از رگچه‌های کوارتز-کربناتی همراه با درشت‌بلورهای همی‌مورفیت (Cal: کلسیت، Hm: همی‌مورفیت و Qtz: کوارتز، Au: طلا، Ttr: تتراهدريت).

دارای میانبارهای مناسب بودند، بررسی شدند. از نظر شکل ظاهری و با توجه به پارامترهای مرجع [۲۱]، میان‌بارهای سیال در نمونه‌های مورد بررسی را می‌توان به‌ترتیب فراوانی به شکل-های نامنظم، کروی و کشیده تقسیم کرد. میان‌بارهای سیال در انواع دو فاز غنی از مایع (LV)، دو فاز غنی از گاز (VL)، دو فاز دارای مایع CO₂ به‌همراه حباب گاز (L+L(CO₂)+V)، تک فاز مایع (L) و تک فاز بخار (V) دیده شدند (شکل ۹ و جدول ۱). همچنین هیچ شواهدی از حضور فاز نوزاد (S) در میان‌بارها دیده نشد. در این پژوهش، تنها میان‌بارهای سیال دو فاز غنی از مایع (LV) و دو فاز غنی از مایع CO₂ به‌همراه حباب گاز (L+L(CO₂)+V) از نظر اولیه و درشت‌تر بودن بررسی شدند. در میان‌بارهای سیال دو فاز غنی از مایع، فاز مایع ۶۰ تا ۹۰ درصد و فاز بخار ۱۰ تا ۴۰ درصد حجم کل سیال را تشکیل داده است، ولی در میان‌بارهای دوفازی غنی از گاز، فاز بخار گاه تا ۷۰ درصد از حجم میانبار را شامل می‌شود.

کانسنگ‌های دارای کانی‌های سولفیدی و سولفوسالتی (گالن، اسفالریت، و تتراهدريت) که در پهنه مرکزی و یال‌های طاق‌دیس تشکیل شده‌اند، اغلب در همراهی با رگه و رگچه‌های کوارتزی و دگرسانی‌های سیلیسی پیرامون آن‌ها شکل گرفته‌اند، درحالی‌که کانی‌های کربناتی که ناشی از هوازگی و اکسایش کانی‌های سولفیدی سرب و روی هستند و در درز و شکستگی‌های تأخیری انباشته شده‌اند، در پهنه مرکزی و یال شمالی طاق‌دیس گسترش کمتری دارند (شکل‌های ۴، ۵ و ۶).

بررسی میانبارهای سیال

به‌منظور شناسایی ماهیت فیزیکوشیمیایی سیال کانه ساز و بررسی روند تغییرهای شیمیایی و گرمایی آن‌ها طی تشکیل کانسار شوی، از رگه‌های کوارتزی کانه‌دار در بخش‌های مختلف کانسار، تعداد ۴ نمونه انتخاب و از آن‌ها مقاطع دوبر صیقل تهیه شد. میان‌بارهای سیال برای کانی‌های کوارتز (۳ نمونه) و اسفالریت (یک نمونه) که از نظر روابط بافتی در هم‌رشدی و هم‌زمان با دیگر کانه‌های فلزی (از جمله طلا) تشکیل شده و



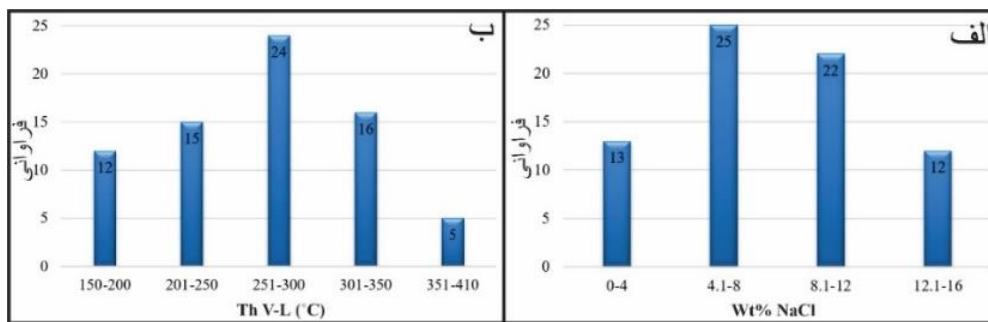
شکل ۹ تصاویر میکروسکوپی از میان‌بارهای سیال در دمای اتاق و نور عبوری با نیکول‌های متقاطع (XPL): الف و ب) میان‌بار سه فازی در بردارنده $LH_2O+LCO_2+VCO_2$ و میان‌بارهای دوفازی غنی از مایع (L+V) در کوارتزهای کانه‌دار، پ و ت) هم‌زیستی میان‌بارهای دوفازی غنی از مایع (L+V) و غنی از بخار (V) در کانی اسفالریت.

جدول ۱ خلاصه داده‌های ریزدماسنجی میان‌بارهای سیال اولیه در نمونه‌های کوارتز و اسفالریت کانسار شوی.

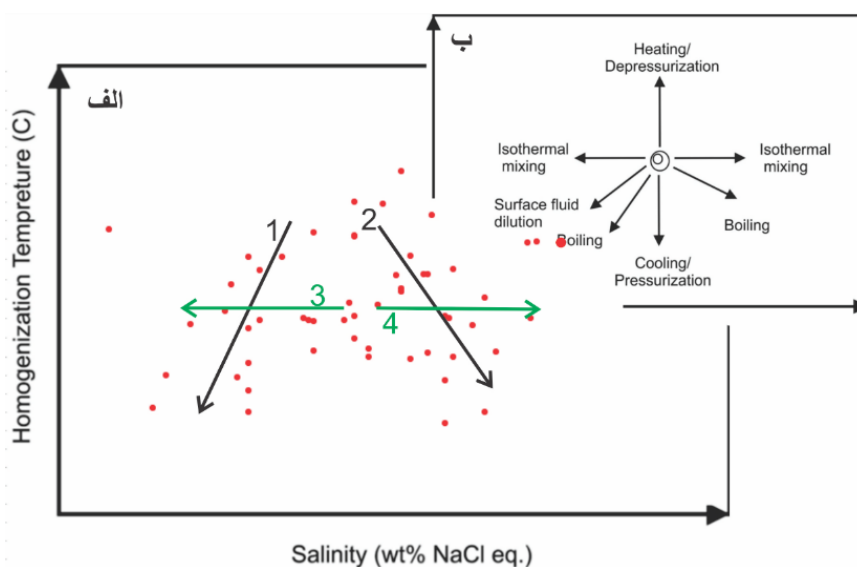
شوری	دمای همگن شدن	دمای ذوب CO_2	دمای ذوب کلاتریت	دمای ذوب یخ	فاز میان‌بار	کانی میزبان	
۱۰٫۶	۲۵۰	-	-	-۷٫۵	L+V	Q	یال‌های طاقدیس شوی
-	۲۸۵	-۵۲٫۵	۸٫۲	-	L1+L+V	Q	
۱۰٫۳۷	۲۹۸	-	-	-۷٫۱	L+V	Q-Sph	زون مرکزی برشی طاقدیس شوی
۸٫۸	۱۶۸	-	-	-۵٫۸	L+V	Q	رگه‌های سیلیسی-کربناته (ثانویه)

این نوع از میان‌بارها اغلب با شکل‌های نامنظم و کم‌تر کشیده و کروی در کوارتز میزبان پراکنده هستند. تعداد ۷۲ میان‌بار سیال در اندازه‌های ۸ تا ۳۰ میکرون از نوع دوفازی (L+V)، در اسفالریت‌ها و کوارتزهای کانسنگی مورد بررسی قرار دارند (شکل‌های ۱۰ و ۱۱). نخستین نقطه ذوب یخ یا همگدازی (Te) در میان‌بارهای سیال نام برده در گستره ۲۱- تا ۳۰- درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شده است. همگن شدن از حال-های دوفازی مایع-گاز به حالت تک فازی مایع، در گستره ۱۶۵ تا ۴۱۰ درجه سانتی‌گراد در کانی کوارتز و ۲۶۰ تا ۳۸۰ درجه سانتی‌گراد در کانی اسفالریت رخ داده است. نقطه ذوب آخرین قطعه یخ (Tm_{ice}) در گستره ۱٫۶- تا ۱٫۴- درجه سانتی‌گراد ثبت شد که معادل شوری ۲٫۴ تا ۱۶٫۵ (با میانگین ۸٫۵) معادل درصد وزنی NaCl هستند (جدول ۱). در این پژوهش، تعداد ۴ میان‌بار سیال CO_2 دار با اندازه‌های ۲۰ تا ۳۵ میکرون که در کوارتزها حضور داشتند، نیز بررسی شدند. این میان‌بارها، با شکل نامنظم و از نوع دو فازی مایع غیرقابل امتزاج به همراه حباب گاز (L+L(CO_2)+V) هستند. نقطه ذوب (Tm_{CO_2}) در این نوع از میان‌بارها، در گستره ۵۰٫۰- تا ۵۵٫۰- درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شده است. نقطه ذوب Tm_{Clath} در گستره ۵ تا ۱۰ درجه سانتی‌گراد است. دمای همگن شدگی همه فازها به فاز یکنواخت‌گازی در از ۲۱۰ تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد متغیر است. نمودار فراوانی شوری و دمای همگن-شدگی برای میان‌بارهای سیال اولیه غنی از مایع (نوع L+V) برای کانسار شوی در شکل ۱۰ نشان داده شده است.

این نوع از میان‌بارها اغلب با شکل‌های نامنظم و کم‌تر کشیده و کروی در کوارتز میزبان پراکنده هستند. تعداد ۷۲ میان‌بار سیال در اندازه‌های ۸ تا ۳۰ میکرون از نوع دوفازی (L+V)، در اسفالریت‌ها و کوارتزهای کانسنگی مورد بررسی قرار دارند (شکل‌های ۱۰ و ۱۱). نخستین نقطه ذوب یخ یا همگدازی (Te) در میان‌بارهای سیال نام برده در گستره ۲۱- تا ۳۰- درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شده است. همگن شدن از حال-های دوفازی مایع-گاز به حالت تک فازی مایع، در گستره ۱۶۵ تا ۴۱۰ درجه سانتی‌گراد در کانی کوارتز و ۲۶۰ تا ۳۸۰ درجه سانتی‌گراد در کانی اسفالریت رخ داده است. نقطه ذوب آخرین قطعه یخ (Tm_{ice}) در گستره ۱٫۶- تا ۱٫۴- درجه سانتی‌گراد ثبت شد که معادل شوری ۲٫۴ تا ۱۶٫۵ (با میانگین ۸٫۵) معادل درصد وزنی NaCl هستند (جدول ۱). در این پژوهش، تعداد ۴ میان‌بار سیال CO_2 دار با اندازه‌های ۲۰ تا ۳۵ میکرون که در کوارتزها حضور داشتند، نیز بررسی شدند. این میان‌بارها، با شکل نامنظم و از نوع دو فازی مایع غیرقابل امتزاج به همراه حباب گاز (L+L(CO_2)+V) هستند. نقطه ذوب (Tm_{CO_2}) در این نوع از میان‌بارها، در گستره ۵۰٫۰- تا ۵۵٫۰- درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شده است. نقطه ذوب Tm_{Clath} در گستره ۵ تا ۱۰ درجه سانتی‌گراد است. دمای همگن شدگی همه فازها به فاز یکنواخت‌گازی در از ۲۱۰ تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد متغیر است. نمودار فراوانی شوری و دمای همگن-شدگی برای میان‌بارهای سیال اولیه غنی از مایع (نوع L+V) برای کانسار شوی در شکل ۱۰ نشان داده شده است.



شکل ۱۰ الف) نمودار مقادیر شوری در گروه میانبارهای سیال دوفازی (L+V)، ب) نمودار فراوانی دمای همگن‌شدگی در گروه میانبارهای سیال دوفازی (L+V). نمودارها بر اساس مجموعه داده‌های نمونه‌های کوارتز و اسفالریت رسم شده‌اند.



شکل ۱۱ الف) نمودار دوتایی دمای همگن‌شدگی نسبت به شوری برای میانبارهای سیال در کانسار شوی. روندهای ۱ و ۲ فرآیند جوشش و روندهای ۳ و ۴ آمیختگی و رقیق‌شدگی طی تحول سیال گرمایی را نشان می‌دهند. ب) روندهای معمول میانبارهای سیال ناشی از فرآیندهای مختلف تحول سیال در فضای شوری-دمای همگن‌شدگی [۲۳].

فرآیندهای رقیق‌شدگی و آمیختگی سازگار باشد [۲۳]. سیال رقیق‌کننده می‌تواند آب‌های با خاستگاه جوی بوده باشد که در محل نهشت کانسنگ‌های طلا، با سیال‌های کانه‌دار دگرگون‌زاد غنی از CO_2 آمیخته شده و موجب رقیق‌شدگی و نهشت سیال‌های کانه‌دار شده است.

برآورد میانگین چگالی سیال، فشار و عمق تشکیل کانه‌زایی در کانسار شوی

میانگین چگالی سیال، فشار و عمق تشکیل رگه‌ها و برش‌های کانه‌دار با نرم‌افزار AqSo_NaCl [۲۴] و روش مرجع [۲۵] برآورد شدند. با استفاده از مقدار فشار و رابطه زیر می‌توان عمق تقریبی کانی‌سازی را محاسبه نمود (جدول ۲):

$$P=H\rho g \quad (1)$$

نخستین نقطه ذوب یخ یا همگدازی (Te) در برخی سیال‌ها تا ۳۰- درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شده است که نشان می‌دهد که سیال کانه‌ساز فقط به صورت یک شوراب NaCl نبوده، بلکه ممکن است افزون بر کلرید سدیم دارای نمک‌های دیگری از جمله منیزیم، پتاسیم، کلسیم، آهن و منگنز نیز باشد [۲۲]. داده‌های میانبارهای سیال در منطقه کانسار شوی نشان‌دهنده سیال‌هایی با شوری پایین و دمای متوسط هستند و در گستره کانسارهای طلای کوهزایی قرار می‌گیرند. در شکل ۱۱ و بر اساس نمودار تغییرهای دمای همگن‌شدگی نسبت به شوری، روند تحول سیال کانه‌ساز در کانسار شوی آورده شده است. این نمودار فرآیند جوشش و آمیختگی یک سیال گرمایی با دمای متوسط و شوری پایین-متوسط را با سیال هم‌دمای دیگر با شوری پایین‌تر را نشان می‌دهد که می‌تواند با ترکیبی از

جدول ۲ مقادیر چگالی (ρ)، فشار (P) و عمق (D) کانه‌زایی محاسبه شده بر پایه دمای همگن‌شدگی و دمای ذوب آخرین تکه یخ با نرم افزار AqSo_NaCl و رابطه شماره (۱).

عمق (km)	فشار (bar)	چگالی سیال کانه ساز (g/cm^3)	دمای همگن شدن ($^{\circ}C$)	
۲	۵۴	۰٫۸۹	۲۶۰	یال های طاق‌دیس شوی
۳٫۵	۹۳	۰٫۸۴	۲۹۸	زون مرکزی برشی طاق‌دیس شوی
< ۳٫۵	۱۰	۰٫۹۷	۱۶۴	رگه های سیلیسی - کربناته (ثانویه)

واقع است. شواهد ساختاری در مورد چین‌خوردگی در محل طاق‌دیس شوی مشخص می‌کند که در اثر عملکرد نیروهای فشارشی سنگ، لایه‌های میانی چین‌ها کاملاً زمین ساخته شده اند (تشکیل برش‌های سیلیسی - سولفیدی؛ شکل‌های ۵ الف و ب) و در همین حال گسستگی کششی در منطقه لولایی چین-ها و موازی با آن‌ها (حضور رگه‌ها) همراه با گسل‌های عادی ایجاد گردیده است (شکل‌های ۵ پ و ت). با بالا آمدگی واحد-های دربرگیرنده کانه‌زایی اولیه و اثر آب جوی، کانه‌زایی ثانویه و بروز ناز در راستای چند گسل پرشیب قطع‌کننده رگه‌های سیلیسی - سولفیدی رخ داده است (شکل ۶). براین اساس، مهم‌ترین عامل ساختاری شکل‌گیری کانسار شوی باتوجه‌به عمق شکل‌گیری، دگرشکلی شکننا در نظر گرفته می‌شود که کنترل‌کننده کانه‌زایی در طاق‌دیس شوی است. باتوجه‌به همراهی قابل‌ملاحظه سیال‌های دوفازی غنی از مایع و تک‌فازی غنی از گاز به‌عنوان نشانه جوشش [۲۳]، به نظر می‌رسد که فرایند جدایش فازی عامل اصلی ته‌نشست ماده معدنی بوده و براساس شکل ۱۱ آمیختگی هم‌دمای سیال‌ها نیز نقش مهمی در تشکیل رگه‌ها و برش‌های کانه‌دار داشته است. پدیده‌های آمیختگی دو سیال و جدایش فازی فرایندهای اصلی برای ته‌نشینی مؤثر کانه از سیال طلا‌دار در کانسارهای طلای کوهزایی هستند [۲۸]. باتوجه‌به شواهدی چون محیط زمین‌پویای فرورانشی و برخورد قاره‌ای، قرارگیری در پهنه دگرگونی-ماگمایی سنندج-سیرجان، ماهیت سنگ میزبان، درجه دگرگونی سنگ، میزبان وجود کنترل‌کننده‌های ساختاری به‌ویژه دگرشکلی شکننا، عمق تشکیل، ماهیت سیال کانه‌دار فلزهای همراه، طلا همبرزادی، کانه‌ها، نتایج بررسی میان-بارهای سیال، ترکیب سیال‌های کانه‌دار، دما، فشار و عمق کانه‌زایی و چگالی سیال کانی‌ساز، به نظر می‌رسد که کانه‌زایی طلا و فلزهای همراه در کانسار شوی، بیشترین شباهت را با

که در آن، P فشار بر حسب بار، H عمق بر حسب کیلومتر، ρ چگالی مواد بالایی که برای سنگ‌های قاره‌ای 2.7 gr/cm^3 در نظر گرفته می‌شود و g شتاب گرانشی و با 9.8 m/s^2 برابر است. بر اساس اندازه‌گیری‌های انجام شده، کمترین میانگین دما و فشار (۱۶۴ درجه سانتیگراد و ۱۰ بار) مربوط به کانی‌سازی ثانویه بوده و برپایه آن عمق تشکیل این رگه‌ها کمتر از ۰٫۵ کیلومتر برآورد شده است. بیشترین میانگین دما و فشار (۲۹۸ درجه سانتی‌گراد و ۹۳ بار) برای برش‌های پهنه مرکزی محاسبه شده که عمق کانی‌سازی ۳٫۵ کیلومتر برای این پهنه برآورد شده است (جدول ۲).

ماهیت و خاستگاه سیال‌های کانه‌ساز

میانبارهای سیال در کانسار شوی دارای مقادیر قابل‌توجهی CO_2 هستند. میانگین دمای ذوب میانبارهای کانسار شوی $52.5^{\circ}C$ - و بیشتر از $56.6^{\circ}C$ - است، سیال در صورتی که شامل CO_2 خالص باشد در دمای $56.6^{\circ}C$ - منجمد می‌شود و ممکن است دماهای ذوب بالاتر به دلیل حضور گازهای دیگر چون CH_4 و N_2 باشد [۲۶]. از این رو باتوجه‌به دمای ذوب CO_2 به احتمال بسیار مقادیری CH_4 نیز در میانبارهای سیال حضور دارد. میانگین دمای همگن‌شدگی $298^{\circ}C$ و حضور گسترده فازهای سولفیدی و سولفوسالتی نشان دهنده محیط تشکیل احیایی است و در چنین محیطی، کمپلکس‌های بی‌سولفیدی چون HS^- و H_2S^- نسبت به کمپلکس‌های کلریدی غالب بوده و مسئول انتقال مواد معدنی از خاستگاه به محل کانه‌زایی هستند [۲۷].

برداشت

کانسار شوی در ارتباط با یک مجموعه رسوبی - آتشفشانی با سن کرتاسه در بخش شمال غرب پهنه دگرگونی-ماگمایی سنندج-سیرجان و در زیر پهنه "با دگرشکلی پیچیده" [۱۷]

Northwest Iran”, Journal of Geochemical Exploration, 184 (2018) pp.82-96.

[8] Abdollapour M., Niroomand Sh., Tajeddin H.A., “Geology, mineralization and fluid inclusions study in the Shovey orogenic gold deposit, northwest of Baneh, northwest of Sanandaj-Sirjan zon (in Persian)”, Journal of Advanced Applied Geology, Volume 7, Number, 6 (2017) pp. 66-78.

[9] Niroomand Sh., Tajeddin H.A., Haghiri-Qazvini S., “Geology and gold mineralization in the west of Kasnazan, south of Saqqez, Kurdistan province (in Persian)”, Journal of Advanced Applied Geology. Volume 14, Number 55 (2020A) Pages 81 to 94.

[10] Niroomand Sh., Nemati M., Tajeddin H.A., “Geology and mineralization and fluid inclusions study in the Southern Qabaqlujeh deposit, South Saqqez (Kurdistan) (in Persian)” Journal of Advanced Applied Geology. Volume 10, Number 4 (2020B) Pages 655 to 668.

[11] Tajeddin H.A., “Gold mineralization controls in metamorphosed rocks of Saqqez-Sardasht region (in Persian)”, North of Sanandaj- Sirjan, PhD thesis, Tarbiat Modares University (2011).

[12] Eftekhari-Nezhad J., “The Mahabad Quadrangle map (scale 1:250,000)”, Geological Survey and Mineral Exploration of Iran. Tehran (1973).

[13] Omrani J., Khabaznia A.R., “Geological map 1:100000 Alut sheets”, Iran Geological Survey.

[14] Hall D.L., Sterner S.M., Bodnar R.J., “Freezing point depression of NaCl-KCl-H₂O solutions”, Econ. Geol. 83 (1988) 197- 202.

[15] Sterner S.M., Hall D.L., Bodnar R.J., “Synthetic fluid inclusions. V. Solubility of the system NaCl-KCl-H₂O under vapour-saturated conditions”, Geochimica et Cosmochimica Acta 52 (1988) 989-1005.

[16] Azizi H., Moinevaziri H., “Review of the tectonic setting of Cretaceous to Quaternary volcanism in northwestern Iran”, Journal of Geodynamics 47 (2009) 167- 179.

[17] Mohajjel M., Fergusson C. L., Sahandi M. R., “Cretaceous-Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj-Sirjan zone, western Iran”, J. Asian Earth Sci., 21: 397-412.

[18] Babakhani A., Hariri A., Furjandi F., “Geological map 1:100000 Saqqez sheets”, Iran Geological Survey (2003).

[19] Mohajjel M., “Structure and tectonic evolution of Paleozoic-Mesozoic rocks, Sanandaj-

ذخایر طلای کوهزایی نوع پهنه سطحی دارد [۲۹].

قدردانی

نویسندگان از مسئولان آزمایشگاه دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی برای تهیه مقاطع میکروسکوپی و آماده‌سازی نمونه‌های زمین‌شیمیایی و آزمایشگاه دانشکده علوم دانشگاه تربیت‌مدرس برای انجام بررسی‌های سنگ نگاری و ریزدماسنجی میانبارهای سیال کمال قدردانی را دارند و از مدیریت شرکت آتی صنعت به دلیل در اختیار قرار دادن مغزه‌های حفاری سپاسگزاری می‌کنند.

مراجع

[1] Abdollahi M.J., Karimpour M.H., Ali K., “Stable Isotopes (O, H and S) in the Muteh Gold (in Persian), Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy., Volume 17, Issue 1 (3-16) (2008). <http://ijcm.ir/article-1-593-fa.html>

[2] Kouhestani H., Rashidnejad-Omran N., Rastad E., Mohajjel M., Goldfarb R.J., Ghaderi M., “Orogenic gold mineralization at the Chah Bagh deposit, Muteh gold district”, Iran. Journal of Asian Earth Sciences, 91: 89-106. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2014.04.027>.

[3] Aliyari F., “Mineralogy, geochemistry and gold mineralization fabric in Qolqole shear zones, southwest of Saqqez (in Persian)”, Master's thesis, Faculty of Basic Sciences, Tarbiat Modras University (2006).

[4] Tajeddin H.A., Rastad E., Yaghoupour A., Maghfouri S., Peter J. M., Goldfarb R., Mohajjel M., “The Barika gold-bearing Kuroko-type volcanogenic massive sulfide (VMS) deposit, Sanandaj-Sirjan zone, Iran”, Ore Geology Reviews.

[5] Heidari S.M., Moosavi Makooi S.A., Mirzakhani M., Rasoli F., Ghaderi M., Abadi A.R., “A review of tectono-magmatic evolution and gold metallogeny in the inner parts of Zagros orogeny: A tectonic model for the major gold deposits”, western Iran. Eurasian Mining 25 (2016) 3-20.

[6] Heydari S.M., “Mineralogy, geochemistry and gold mineralization fabric in the Ductile shear zone of Kroyan region south-west Saqqez, Kurdistan province (in Persian)”, Master's thesis, Tarbiat-Modares University (2004).

[7] Asadi S., Niroomand S., Moore F., “Fluid inclusion and stable isotope geochemistry of the orogenic-type Zinvinjian Cu-Pb-Zn-Au deposit in the Sanandaj-Sirjan metamorphic belt,

- pore fluid calculation*”, *Comput. Geosci.* 115 (2018) 122–133.
- [25] Touret J., Dietvorst P., “*Fluid inclusions in high-grade anatectic metamorphites*”, *J Geol Soc London* 140:635-649.
- [26] Goldfarb R.J., Groves D.I., “*Orogenic gold: common or evolving fluid and metal sources through time*”, *Lithos* 233 (2015) 2–26.
- [27] Seward T.M., “*the hydrothermal geochemistry of gold. Foster, R. P. (ed.)*”, 1993, *Gold Metallogeny and exploration*. Blackie and Son, Glasgow.
- [28] Chi G., Dube B., Williamson K., Williams-Jones A.E., “*Formation of the Campbell-Red Lake gold deposit by H₂O-poor, CO₂-dominated fluids*”, *Mineralium Deposita*, v. 40, p. 726-741. 2006.
- [29] Goldfarb R.J., Baker T., Dube B., Groves D.I., Hart C.J.R., Gosselin P., “*Distribution, character and genesis of gold deposits in metamorphic terranes*”, *Econ Geol*, 100th Anniv Vol, p 407–450.
- Sirjan zone, Western Iran*”, PhD thesis, Uni. of Wollongong, Australia (1997).
- [20] Eliaszadeh R., Mohjjel M., Biralvand M., “*Structure of Zagros collision zone in north western Iran (in Persian)*”, *Iran Geological Quarterly*, 4th year, 16th issue, pages 25-36 (2011).
- [21] Shepherd, “*a Partical Guide to inclusions Fluid studies*”, Blackie, Chapman and Hall. N, York (1985).
- [22] Valenza K., Moritz R., Mouttaqi A., Fontignie D., Sharp Z., “*Vein and karst barite deposits in the western Jebilet of Morocco: fluid inclusion and isotope (S, O, Sr) evidence for regional fluid mixing related to central Atlantic Rifting*”, *Economic Geology* 95(3) (2000) 587- 606.
- [23] Wilkinson J.J., “*Fluid inclusion in hydrothermal ore deposits*”, *Lithos*, 55 (2001) 229-272.
- [24] Bakker R.J., “*AqSo_NaCl: computer program to calculate p-T-V-x properties in the H₂O-NaCl fluid system applied to fluid inclusion research and*