نشریه علوم دانشگاه تربیت معلم جلد ۱۰، شماره ۲
تاریخ چاپ: تابستان ۱۳۹۱

معرفی کانسارموته به‌عنوان سامانه طلای مرتبط با توده‌های نفوذی

بهزاد مهرابی، *ابراهیم طالع فاضل، مجید قاسمی سیانی: دانشگاه تربیت معلم تهران
مریم شهابی‌فر: مرکز تحقیقات فرآوری موادمعدنی ایران

چکیده

کانسار طلای موته در غرب ایران واقع در بخش مرکزی پهنه سنندج- سیرجان (SSZ)، مرتبط با رگه‌های کوارتز، کوارتز- سولفیدی، عدسی‌ها و رگچه‌های قطع کننده سنگ بستر نئوپروتروزوئیک است که غالباً در امتداد پهنه‌های برشی با راستای NW-SE تشکیل شده است. کانه‌زایی طلا مرتبط با دگرسانی‌های گرمابی شدید در راستای پهنه‌های برشی شکل‌پذیر، با مجموعه دگرسانی رخساره شیست سبز شامل کوارتز + سریسیت + کلریت + آلبیت و دگرسانی سولفیدی و سیلیسی شدن نزدیک به منطقهٔ کانه‌دار صورت گرفته است. کانی‌شناسی کانه شامل، پیریت، کالکوپیریت، سولفید مس- بیسموت (امپلکتیت)، آرسنوپیریت، پیروتیت، بیسموت، طلا و مقادیر اندکی گالن و اسفالریت است. رخداد طلای طبیعی در رگه‌های کوارتز، به‌صورت ادخال در پیریت و کالکوپیریت‌های نسل دوم و بافت پرکننده شکستگی‌ها در درون و اطراف پیریت‌های دانه‌درشت خودشکل و نیمه خودشکل صورت گرفته است. مطالعات سیالات درگیر در رگه‌های کوارتز، شامل سه نوع اصلی از سیالات C-O-H؛ متشکل از نوع کربنیک (غنی از CO_2)، آبگین- کربنیک و سیالات‌آبگین در مناطق معدنی چامخاتون و سنجده است. بر این اساس، سیالات‌کربنیک با دمای همگن شدن CO_2 (Th_{CO2}) ۱۲/۶ تا ۲۷/۳°C، سیالات‌آبگین- کربنیک با شوری ۲/۳ تا ۱۲/۵ درصد و دمای همگن شدن نهایی برابر ۱۴۵/۶ تا ۳۰۴/۲°C و سیالات آبگین، متشکل از دودسته، ۱) شوری ۲/۱ تا ۱۵/۲ درصد و دمای همگن شدن نهایی ۲۱۲/۲ تا ۲۹۷/۶°C در رگه کوارتز- سولفیدی طلادار و ۲) شوری ۱۶/۴ تا ۲۸/۲ درصد و دمای همگن شدن نهایی ۱۴۷/۴ تا ۲۴۵/۶°C، متعلق به رگه‌های عقیم کوارتزهستند. در حالی که اغلب خصوصیات ذکر شدهٔ پیشین در ارتباط با ژنز کانسار موته، مشابه با ذخایر طلای کوهزایی (مزوترمال) است، ویژگی‌هایی از قبیل، ارتباط ژنتیکی بین تحولات تکتونیکی گوشته با پوستهٔ بالایی طی تاریخچهٔ تکتونوماگمایی پهنهٔ سنندج- سیرجان به‌همراه واحدهای ساختاری کششی و نفوذی‌های محلی و شواهد زمین‌شناسی کانه‌ها، دگرسانی، شیمی کانی‌ها، زوناسیون عنصری و سیالات درگیر ارائه شده در این پژوهش، احتمالاً نشانه‌هایی از کانه‌سازی طلا در منطقهٔ موته، مشابه با سامانه کانه‌زایی مرتبط با توده‌های نفوذی احیایی است.

مقدمه

معدن طلای موته در شمال‌شرقی گلپایگان، واقع در بخش مرکزی کمربند نفوذی- دگرگونی پهنهٔ سنندج- سیرجان متشکل از دو کمپلکس دگرگونـهٔ غربـی و شرقـی است که قسمت عمده‌ای از رگـهٔ اصلی کوارتـز طلادار در کمپلکس

واژه‌های کلیدی: کانی‌سازی طلا، موته، پهنه برشی، طلای مرتبط با توده نفوذی، سیالات درگیر
دریافت ۸۹/۶/۶ پذیرش ۹۰/۱۱/۱۲
*نویسنده مسئول fazel_tale@yahoo.com

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

دگرگونی شرقی در شمال روستای موته تشکیل شده است (شکل۱). نخستین اکتشافات در منطقه، در سال‌های ۱۹۵۵ تا ۱۹۶۶ و اکتشافات تفصیلی طی سال‌های ۱۹۸۰ تا ۱۹۸۵ با انجام پژوهش‌های زمین‌شناسی، ژئوشیمی، ژئوفیزیک و حفاری انجام گرفته است [۱]. در حال حاضر کانسار طلای موته متشکل از ۱۰ زون طلادار، شامل دو زون اصلی چاه‌خاتون و سنجده به‌صورت معادن فعال-روباز و هشت رخداد کانه‌زایی کوچك‌تر است (شکل ۲). میزان ذخیرهٔ کلی کانسار حدود ۱/۷۹ میلیون تن با عیار ۲/۸ گرم در تن طلا در منطقهٔ معدنی چاه‌خاتون و ۱/۷۶ میلیون تن کان‌سنگ با عیار ۲/۵ گرم در تن طلا در منطقهٔ معدنی سنجده تخمین زده شده است [۱]، [۲]. کانه‌زایی طلا در منطقهٔ عمدتاً همراه با رگه‌های کوارتز طی تغییرشکل ناحیه‌ای منطبق برزون‌های میلونیتی واقع در سنگ‌های دگرگونی و سنگ‌های آتشفشانی دگرگون‌شده از قبیل گنیس و شیست شکل گرفته است. به‌طور مشابه در زون سنندج- سیرجان (SSZ) سنگ‌های دارای برگوارگی و گسل‌خورده در کمربند دگرگونی شیست سبز- آمفیبولیت، میزبان ذخایر طلا با تیپ مشابه از قبیل قبغلوجه، کرویان، قولقوله و زرترشت هستند [۳]، [۴]. پژوهش‌های تیله و همکاران [۵] و سامانی [۶]، حاکی از کانه‌زایی طلا در منطقه در ارتباط با فعالیت‌های گرمابی منشأ گرفته از نفوذی‌های گرانیتوئیدی پرکامبرین است. رشیدنژاد و همکاران [۷]، مدل ژنتیکی چشمه‌های آب‌گرم متصاعدی پالئوزوئیك را برای کانه‌سازی در موته مؤثر دانسته و پژوهش‌های موریتز و همکاران [۱]، در منطقهٔ چاه باغ، حاکی از کانه‌زایی طلا درارتباط با پهنه‌های برشی شکل پذیر- شکنا است که منجر به قطع سنگ بستر دگرگونه شده است. موریتز و همکاران [۱]، کانه‌زایی در منطقهٔ موته را ناشی از تحولات ماگمایی، فعالیت‌های کششی و متعاقباً بالا آمدن پوستهٔ شکننده طی ائوسن دانسته و نقش توده‌های نفوذی در کانه‌زایی طلا را محتمل دانسته است.

پژوهش حاضر برمبنای اطلاعات زمین‌شناسی کانسار، شیمی کانه‌ها و سیالات درگیر استوار بوده و استفاده از این داده‌های نوین برای تعیین منشأ سیال کانه‌دار، ارتباط مکانی و زمانی میان ماگماتیسم و کانه‌زایی و مقایسهٔ کانسار با خصوصیات رگه‌های کوارتز طلادار نوع کوهزایی و نوع مرتبط با توده‌های نفوذی در ایالت‌های کانه‌زایی طلای پرکامبرین به کار گرفته شده است.

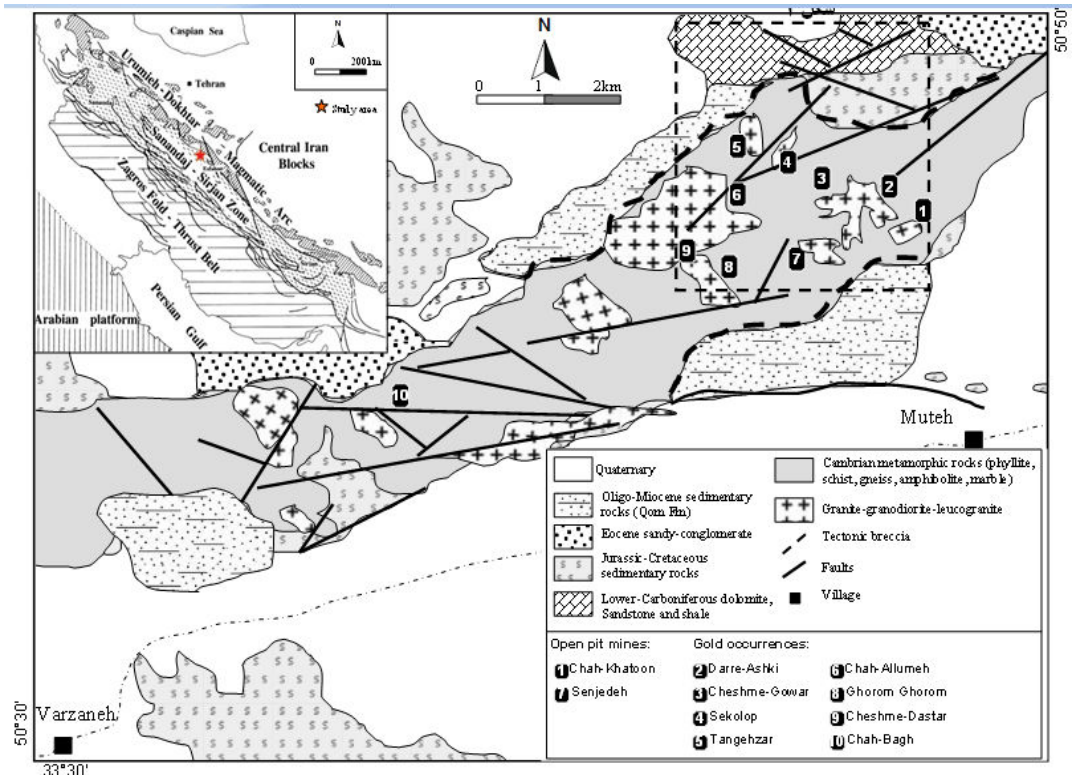
زمین‌شناسی منطقه

مجموعه سنگ بسترغرب ایران متشکل ازسنگ‌های‌دگرگونی پالئوزوئیك تا ترشیری، افیولیت ملانژ های مزوزوئیك، سنگ‌های دگرگونه-رسوبی و توده‌های نفوذی متعدد است که غالباً به‌وسیله مجموعه‌های نفوذی گرانودیوریت و گرانیت (به‌عنوان مثال، باتولیت الوند و کمپلکس گرانیتی بروجرد) قطع شده و زیرمجموعهٔ سنگ‌های آتشفشانی کالك‌آلکالن-آلکالن قرار گرفته‌اند [۹].

ناحیهٔ معدنی موته متشکل از سنگ‌های دگرگونی مرمر، گنیس، آمفیبولیت، کوارتزیت، سنگ‌های دگرگونه- رسوبی پلیتیک شامل، میکاشیست، کوارتز- بیوتیت- سریسیت شیست، کوارتز- کلریت- بیوتیت شیست و کوارتز- کلریت-

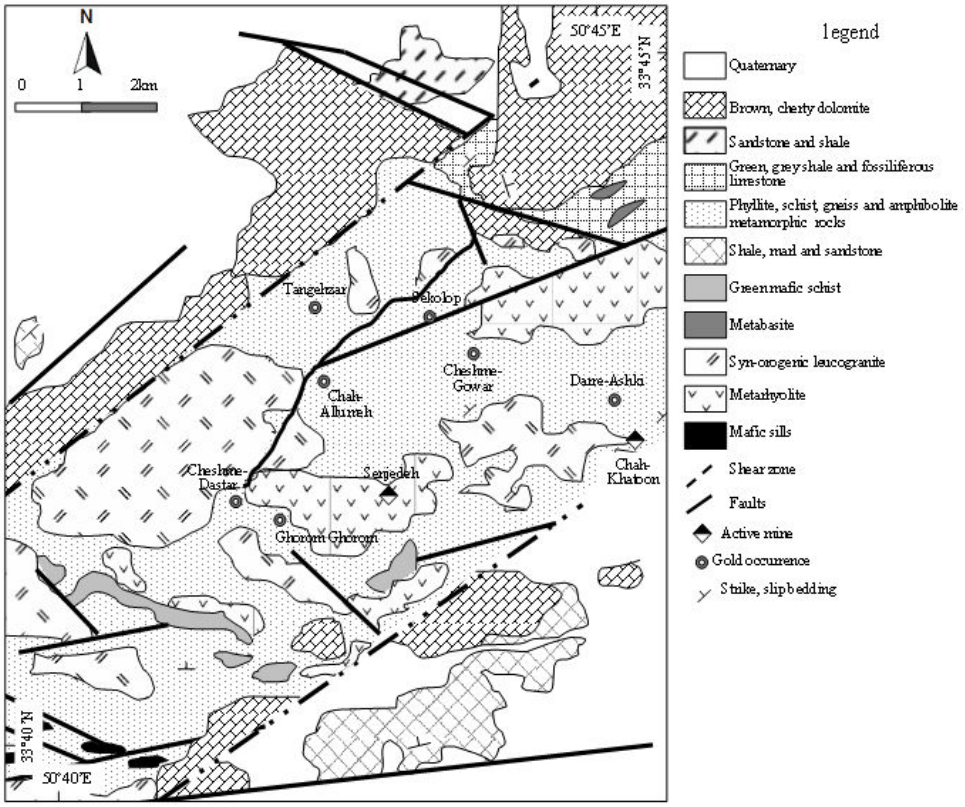
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

آلبیت شیست، و سنگ‌های‌آذرین لوکوگرانیت، متاولکانیك ریولیت، توف‌آندزیتی و لاوا است (شکل ۲). این سنگ‌ها بسته به موقعیت قرارگیری نسبت به مناطق کانه‌سازی واقع در پهنهٔ برشی، دارای درجهٔ دگرگونی متفاوتی هستند. سنگ‌های دگرگونهٔ- رسوبی به‌رنگ قهوه‌ای مایل به زرد همراه با ساخت‌های خطوارگی و برگوارگی دارای کانی‌شناسی کوارتز + بیوتیت + موسکوویت + فلدسپار + آلبیت + هورنبلند + کلریت + اپیدوت است که باندهای غنی از کلریت، بیوتیت و کوارتز در میان آن‌ها نفوذ کرده‌اند. در جنوب و جنوب‌غرب منطقهٔ معدنی، سیل‌های دگرگون شده درشت تا متوسط بلور حاوی برگوارگی ازجنس متاگابرو در سنگ‌های گرانیتی و دگرگونه- رسوبی منطقه نفوذ کرده‌اند. توده‌های‌گرانیتی شامل طیفی از سنگ‌های مونزوگرانیت آلکالن، گرانودیوریت، تونالیت و سنگ‌های نفوذی سینیت است که به‌وسیلهٔ دایك‌های مافیك، میکروگرانیت، رگه‌های آپلیتی و سنگ‌های نفوذی پگماتیتی قطع شده‌اند. این واحدهای گرانیتی شامل کانی‌های کوارتز، بیوتیت، میکروکلین، الیگوکلاز، موسکوویت و کانی‌های فرعی زیرکن و اسفن هستند که در مجاورت پهنه‌برشی کانی‌سازی شده متحمل دگرسانی‌های سیلیسی، سولفیدی (به‌طورعمده شامل پیریتی شدن) و به میزان کم‌تر سریسیتی شدن و کائولینیتی شدن، شده‌اند.



شکل ۱. موقعیت منطقهٔ معدنی موته در پهنهٔ ساختاری سنندج-سیرجان و نقشهٔ زمین‌شناسی ساده‌شده منطقه (با تغییرات از [۵]، [۷])

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]



شکل ۲. نقشهٔ زمین‌شناسی ساده‌شده منطقهٔ معدنی موته و نمایش موقعیت معادن و رخدادهای مختلف طلا در آن (با تغییرات از [۸])

زمین‌شناسی ساختمانی

منطقهٔ معدنی موته به‌عنوان بخشی از پهنهٔ تکتونیکی- دگرگونی سنندج- سیرجان همانند سایر بخش‌های این پهنه دارای تاریخچهٔ دگرشکلی چند مرحله‌ای شامل رخدادهای چین‌خوردگی، گسلش، دگرشکلی و دگرگونی است (شکل ۲). پژوهش‌های ساختاری انجام شده، نشان‌دهندهٔ تأثیر فازهای متعدد و شدید دگرشکلی است، به‌طوری که توالی‌های سنگی رخنمون یافته در منطقه تحت تأثیر این فازها نظم اولیهٔ خود را از دست داده و واحدهای سنگی مختلف با ساختارها و فابریک‌های متفاوت را به‌وجود آورده است. نوع و شدت دگرشکلی ایجاد شده، یکسان نبوده و انواع دگرشکلی‌های شکل‌پذیر تا شکنا به‌همراه واحدهای سنگی کم‌تر دگرشکل شده تا واحدهای سنگی به شدت دگرشکل شده در منطقه قابل مشاهده است. آثار این دگرشکلی‌ها به‌صورت میلونیتی شدن، برگوارگی، خطواره کششی نافذ، فابریک‌های C-S، ساختارهای سایهٔ فشار و میکاماهی در سنگ‌ها ظاهر شده است (جدول ۱ و شکل ۳).

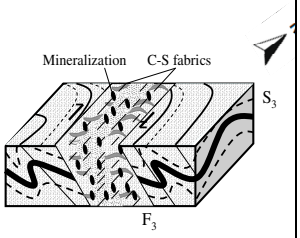
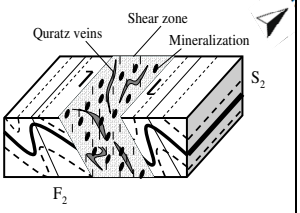
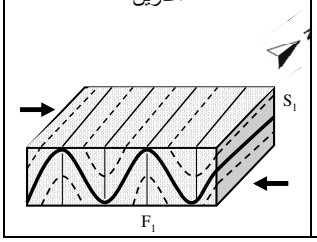
رخداد رگه‌های کوارتز

کانه‌زایی در موته به‌طور مشخص توسط نسل‌های مختلف رگه‌ها و عدسی‌های کوارتز کانه‌دار، و در راستای پهنه‌های برشی خرد و پودر شده در سنگ میزبان دگرگونی یا در محل تماس بین این سنگ‌ها و سنگ‌های

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

گرانودیوریت رخ داده است. با توجه به پژوهش‌ها، دست کم دو تیپ رگه کوارتز طلادار با راستای مختلف باعنوان رگه‌های نوع ۱ و ۲، نسبت به توالی زمانی تشکیل، در منطقهٔ قابل تشخیص است که سنگ‌های گرانودیوریت و دگرگونی میزبان را قطع کرده‌اند. رگه‌های مذکور همراه با کانی‌سازی پیریت و کالکوپیریت محدود به سنگ‌های متاریولیتی پهنه‌های برشی و توده‌های گرانیتی دگرسان شده مجاور هستند. خصوصیات رگه‌های مذکور بدین شرح است:

جدول ۱. خلاصه‌ای از مجموعهٔ وقایع دگرشکلی، فابریک‌های مرتبط با کانه‌زایی، رخدادهای دگرگونی و فعالیت‌های ماگماتیسم در پهنهٔ سنندج- سیرجان (SSZ) برمبنای [۱۰]، [۱۱]

ماگماتیسم	دگرگونی	فابریک مرتبط	دگرشکلی
	دگرگونی قهقرایی (M_3) با ظهور کانی‌های کلریت- اکتینولیت به‌همراه رخسارهٔ شیست سبز	پهنه‌های‌برشی شکل‌پذیر (با راستای شمال غرب-جنوب‌شرق) و شکنا (با راستای شمال‌شرق-جنوب‌غرب) به‌طور محلی همراه با فابریک‌های C-S، ساختارهای میکاماهی و سایه فشار کیلواژ کنگره‌ای S_3 با راستای شمال غرب-جنوب شرق و فابریک کینگ باند به همراه صفحهٔ محوری F_3	**دگرشکلی نوع سوم (D_3)** ایجاد پهنهٔ برشی شکنا تا شکنا- شکل‌پذیر ناشی از بالاآمدگی پهنهٔ SSZ در آغاز ترشیری 
جای‌گیری توده‌های نفوذی گرانیتوئیدی در منطقهٔ ناشی از فعالیت‌های کوهزایی کرتاسه پایانی-پالئوسن	دگرگونی مجاورتی (M_2) ناشی از جای‌گیری توده‌های نفوذی و تشکیل فنوکریست‌های گارنت- استارولیت- هورنبلند تحت شرایط رخسارهٔ آمفیبولیت	گسل‌های عادی چپ‌گرد با راستای شمال غرب-جنوب‌شرق به‌همراه پهنهٔ برشی چپ‌گرد بیوتیت‌های کشیده شده همراه با پورفیروکلاستیک‌های پلاژیوکلاز تشکیل برگواره نافذاسلیتی (S_2) با راستای شمال غرب-جنوب‌شرق همراه با تشکیل چین‌های نامتقارن (F_2)	**دگرشکلی نوع دوم (D_2)** تشکیل پهنه‌برشی درراستای شمال غرب- جنوب‌شرق در نتیجهٔ برخورد مایل صفحه عربی- آفریقا با بخش جنوب‌غربی زون SSZ 
	دگرگونی دیناموترمال (M_1) مرتبط با تحولات کوهزایی مزوزوئیک با حضور مجموعهٔ کانی‌های کلریت- گارنت–فلدسپارپتاسیم ± مگنتیت در سنگ‌های رسوبی- دگرگونهٔ پلیتی	تشکیل چین‌های بزرگ مقیاس (F_1) و شیستوزیته صفحه‌ای شکل (S_1) تفکیک باندهای کانی‌های تیره و روشن در سنگ‌ها گسل‌های‌تراستی بزرگ مقیاس ناشی از فرورانش، که منجربه جابه‌جایی و رخنمون سنگ‌های بستر دگرگونه در شمال‌شرقی حاشیهٔ قاره‌ای نئوتتیس شده	**دگرشکلی نوع اول (D_1)** تحولات دگرگونی و تکتونیکی پهنهٔ SSZ طی ژوراسیک پایانی- کرتاسه آغازین 

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

۱) رگه‌های کوارتزنوع ۱ شامل مجموعه کانی‌های پیریت، کالکوپیریت، سولفید مس- بیسموت، پیروتیت، آرسنوپیریت، الکتروم و مارکاسیت همراه با کانی‌های سیلیکاته آلبیت، فلدسپارپتاسیم و کوارتز راستای پهنهٔ برشی با مؤلفهٔ چپ‌گرد-عادی و امتداد N25-35W در مناطق معدنی چاه‌خاتون و سنجده تشکیل شده است. طبق مطالعات کوهستانی [۸]، رگه‌های کوارتز کانه‌دار در محدودهٔ معدنی چاه‌باغ متشکل از پیریت، کالکوپیریت، آرسنوپیریت مس‌دار، دیژنیت، اکسید آهن، مالاکیت و آزوریت است که در راستای پهنهٔ برشی شکل‌پذیر با مؤلفهٔ چپ‌گرد- معکوس و راستای NW شکل گرفته است (شکل ۳ الف). همچنین مجموعهٔ کانی‌های کلسیت، پیریت، سریسیت، کائولینیت و موسکوویت در سنگ‌های برشی و خرد شده همراه با رگه‌های کوارتز طلادار در منطقه فراوان هستند. این نوع رگه‌ها در منطقه از کوارتزهای دانه‌درشت شیری‌رنگ تا شفاف با بافت‌های شانه‌ای و شعله‌ای به‌همراه پیروکلاست‌های فلدسپار پتاسیم تشکیل شده‌اند [۱۲]. متاریولیت‌ها و سنگ‌های سیلیسی حاوی کانی‌های سولفیدی مهم‌ترین سنگ میزبان رگه‌های نوع ۱ در منطقه هستند.

۲) رگه‌های کوارتز-پیریت- کربنات نوع ۲ همراه با سنگ‌های سیلیسی و به‌شدت دگرسان در محدودهٔ معدنی چاه‌خاتون رخ داده است که در سطح با آغشتگی‌های قرمز تا سرخ رنگ اکسید آهن-منگنز آبدار مشخص می‌شود. رگه مذکور با راستای N40-50W و شیب مخالف، به‌طورعمده متشکل از کوارتز، کربنات، پیریت و مسکوویت‌های گرمابی هستند (شکل ۳ب). بافت رگه به‌صورت پرکنندهٔ فضای خالی است که بلورهای خودشکل تا نیمه شکل‌دار کوارتز درآن با بافت شانه‌ای دیده می‌شوند. کانی‌سازی در مراحل پایانی، شامل رگه‌های پرکننده شکستگی‌ها متشکل از رگه و رگچه‌های کوارتز و کلسیت با مقادیری پیریت، مالاکیت و آغشتگی‌های اکسید آهن ثانویه است.

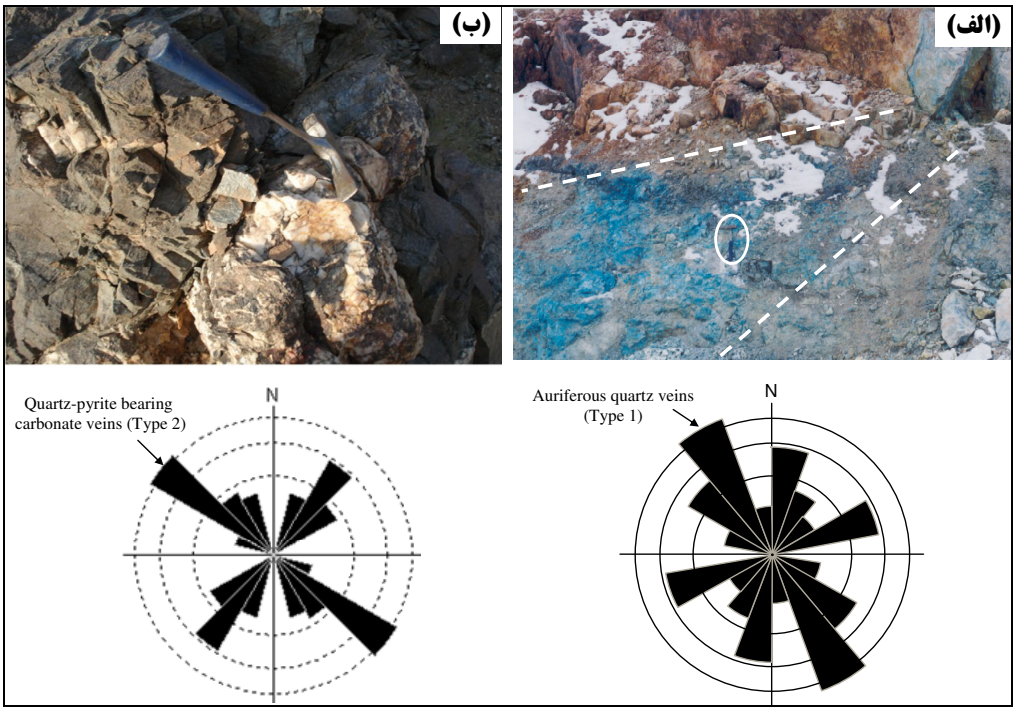
کانه‌زایی و دگرسانی

در نگاهی کلی، عناصر کنترل‌کنندهٔ کانی‌سازی در منطقهٔ موته شامل، عوامل ساختاری (گسل‌ها و شکستگی‌ها)، دگرسانی و دگرشکلی‌ها (پهنه‌های برشی شکل پذیر-شکنا) هستند. مشاهدات صحرایی حاکی از رخداد کانی‌سازی رگه‌ای و رگچه‌ای سولفیدی طلادار در پهنه‌های برشی میلونیتی و زون‌های گسلی چپ‌گرد در سنگ میزبان متاولکانیک فلسیک تا مافیک است که عمدتاً در راستای NW-SE و شیب ملایم تا تند به سوی NE تشکیل شده است. بیشینهٔ‌مقدار طلای ثبت شده در کانسنگ عدسی شکل کوارتز طلادار حدود ۲/۵۸ گرم در تن است که دارای ۲ تا ۳ کیلومتر طول و ۲۰۰ تا ۴۰۰ متر پهنا با راستای NW-SE (شیب N30-60E) است [۱۲]. در منطقهٔ موته دست کم دو نسل کانی‌سازی یکی در کرتاسه پایانی- پالئوسن (۵۶ تا ۶۸ میلیون سال) [۷] و دیگری براساس سن‌سنجی $^{40}Ar/^{39}Ar$ (موریتز و همکاران [۱])، ائوسن (۳۸/۵ تا ۵۵/۷ میلیون سال) تشخیص داده شده است. کانی‌سازی طلا همراه با دگرسانی گرمابی دست‌کم به دوصورت زیر رخ داده است:

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

۱. کانی‌سازی همراه با مقادیر بالای کانی‌های سولفیدی (بیش از ۵۰ درصد حجمی) شامل پیریت‌های خودشکل تا نیمه شکل‌دار، کالکوپیریت و آرسنوپیریت در سنگ میزبان متاریولیت‌های شسته شده و انواع مختلفی از شیست‌های دگرگون شده.

۲. کانی‌سازی همراه با مقادیر فراوان رگه و رگچه‌های کوارتز- سولفیدی تشکیل‌شده درراستای سامانه پهنه‌های برشی شکل‌پذیر- شکنا. پیریت و کالکوپیریت به‌عنوان کانی‌های غالب در منطقه مهم‌ترین فازهای حامل کانی‌سازی طلا نیز محسوب می‌شوند. علاوه برآن کانی‌های مارکاسیت، بیسموت، سولفید مس- بیسموت، آرسنوپیریت و پیروتیت از کانی‌های فرعی منطقه هستند. براساس پژوهش‌های ساختاری انجام گرفته، مناطق کانی‌سازی منطبق با دگرشکلی‌های S_2 و D_2 و محدود به سنگ‌های متاولکانیک شدیداً دگرسان و سنگ‌های دگرگونی کوارتز- کلریت- سریسیت شیست هستند (جدول ۱).

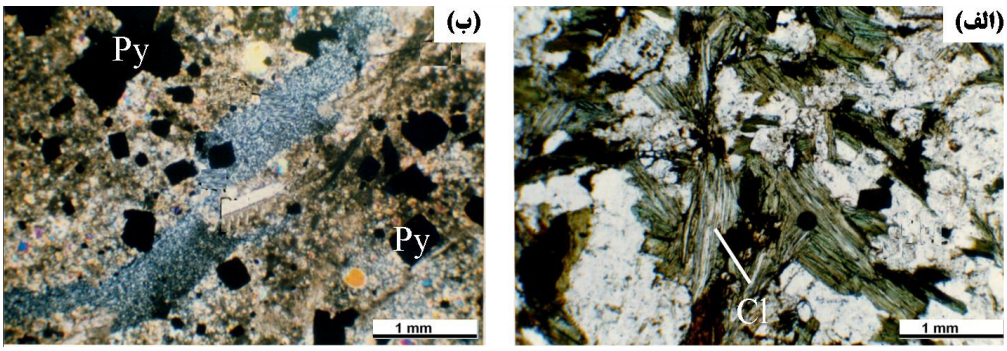


شکل ۳. نمایی از تصاویر صحرایی از دو تیپ رگه کوارتز طلادار در منطقه، شامل الف) رگهٔ کانه‌دار نوع ۱ با راستای N25-35W در امتداد پهنهٔ برشی اصلی معدن سنجده که در نتیجهٔ فعالیت‌های سوپرژن به‌صورت آغشتگی‌های سطحی مالاکیت، کوولین و اکسید آهن دیده می‌شود و ب) نمایی از رگهٔ کوارتز- پیریت- کربنات نوع ۲ با راستای N40-50W در سنگ میزبان سیلیسی با بافت پرکنندهٔ فضای خالی در محدودهٔ معدنی چاه‌خاتون

دگرسانی‌های منطقه، شامل دگرسانی‌سیلیسی، پتاسیک (فلدسپار پتاسیم)، سدیک (آلبیت)، سولفیدی، سریسیتی، کربناتی و به میزان کمتر کلریتی‌شدن هستند که عمدتاً در راستای پهنه‌های برشی و گسل‌ها شکل گرفته‌اند که به‌سمت مرکز کانی‌زایی، شدت دگرسانی افزایش می‌یابد. کانی‌شناسی دگرسانی‌ها، بافت‌های جانشینی و تشکیل فابریك دگرگونی حاکی از یك مجموعه دگرگونی دما پایین است که به‌سمت کانی‌سازی، زون‌بندی مشخصی را نشان می‌دهد، چنان‌که سیلیسی

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

شدن و سولفیدی شدن در مجاورت پهنه‌های برشی و کانه‌زایی، کلریتی شدن در مناطق دور از کانی‌سازی و سنگ میزبان و بین این دو (منطقهٔ حد واسط) دگرسانی‌های سریسیتی شدن و کربناتی شدن رایج است. مقادیر بالای طلا در زون دگرسانی سیلیسی همراه با سنگ‌های متاریولیتی میلونیتی شده و سنگ‌های کوارتز- کلریت- بیوتیت شیست و در رگه و رگچه‌های سولفیدی سیلیسی شده واقع در بخش‌های داخلی زون دگرسانی مشاهده می‌شود (شکل ۴ و جدول ۲).



شکل ۴. تصاویر میکروسکوپی از دگرسانی‌های رایج در منطقه شامل، الف) دگرسانی کلریتی با حضور کلریت‌های (Cl) تیغه‌ای شکل در زمینهٔ کوارتز و فلدسپار پتاسیم، و ب) سولفیدی‌شدن با حضورپیریت (Py) در زمینهٔ کانی‌های کربناته از رگه‌کوارتز- کربناته نوع ۲

کانی‌شناسی و توالی‌پاراژنتیک

کانی‌شناسی در موته شامل مجموعه‌ای از انواع سولفیدی، اکسیدی، سیلیکاته و کربناته است که به‌صورت اولیه (هیپوژن) و ثانویه (سوپرژن) تشکیل شده‌اند. ضخامت رگه‌ها در منطقهٔ بررسی شده بین ۰/۵ تا ۲ متر و محدود به توالی سنگ‌های کلریت، سریسیت، موسکوویت شیست و کوارتز- کلریت- آلبیت- سریسیت شیست است. از لحاظ ترکیب رگه‌های کوارتز-سولفید طلادار عمدتاً از دانه‌های درشت تا متوسط کوارتز همراه با رگچه‌های کوارتز- کربنات است.

کانی‌های سولفیدی به‌صورت دانه‌درشت تا ریز بین دانه‌های کوارتز قرار گرفته و شامل پیریت، کالکوپیریت، سولفید مس- بیسموت، آرسنوپیریت، پیروتیت، گالن و اسفالریت است که ۱۰ تا ۱۵%حجمی رگه‌های کانه‌دار را تشکیل می‌دهند. مونازیت (حاوی عناصرکمیاب La و Ce)، آنکریت، روتیل، زیرکن، مارکاسیت، بیسموت و طلای‌آزاد نیز به‌مقدار کم در رگه‌ها تشخیص داده شدند. بررسی‌ها حاکی از رخداد سه نسل کوارتز شامل، کوارتز نسل اول (Qz1) در شیست‌های اولترامیلونیتی و میلونیتی واقع در پهنه‌های برشی به‌صورت پورفیروکلاست بیضوی همراه با پیریت نسل اول، کوارتز نسل دوم (Qz2) به‌صورت رگچه‌های کوارتز-سولفیدی و ریزدانه همراه با پیریت نسل دوم در شیست‌های میلونیتی کربناته و کوارتز نسل سوم (Qz3) در فاز نهایی کانه‌زایی در رگه‌های کوارتز- سولفید همراه با پیریت نسل اول و دوم است (شکل ۵الف).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

جدول ۲. تغییرات عیارعناصرمختلف در سنگ میزبان‌های اصلی کانی‌سازی کانسار موته (داده‌ها برحسب ppm)

Host rock	Qz-Chl-Bi Schist		Granite		Meta-rhyolite			Amphibolite
Sample No.	M-70	M-279	M-25	M-206	M-368	M-317	M-148	M-316
Au	1.12	1.27	1.16	3.87	3.71	4.11	6.60	3.38
Pb	10.90	276	9.20	7.40	20.9	16.60	52.60	13.90
Ba	93.0	294	564	859	238	446	247	354
Hg	0.03	0.07	0.07	0.03	0.03	0.19	0.06	0.06
Ag	0.22	0.60	0.06	0.65	0.1	0.08	2.41	0.66
As	10.90	212	3.10	4.30	109	23.40	93.10	14.40
Bi	8.70	0.10	0.076	0.50	0.10	0.20	2.60	1.70
Cu	19.60	71.60	14.90	12.4	148	42.02	153	59.20
Mo	1.50	13.40	3.60	5.10	40.2	17.10	53.20	162.10
Sb	0.30	1.10	0.22	0.30	2.5	1.60	0.70	0.50
Sn	1.40	1.40	3.20	3.0	2.3	2.90	2.70	1.60
W	1.20	2.10	2.20	2.0	6.7	14.80	2.80	1.60
Te	8.0	0.50	0.15	0.80	0.15	0.30	8.70	2.30
Zn	9.50	345	9.10	13.2	96.2	62.20	124	81.20
Cd	0.07	0.50	0.07	0.07	0.2	0.20	0.40	0.70
Tl	0.07	0.10	0.20	0.20	0.2	0.60	0.40	0.40
Mn	149	130	83	75	94	368	142	24.50
Ti	1520	842	905	689	1080	2750	2900	1310
Fe	21600	26600	11500	18000	75	39000	54800	92400
S	130	890	37.50	120	210	110	470	340
P	427	273	84	159	446	231	871	163
K	5600	11400	25700	22800	9990	18900	19000	8230
Al	37800	24400	78600	61300	64300	77800	67400	23400
Ca	3060	1730	2710	5580	5570	12300	3870	17600
Mg	7850	2220	948	619	2170	8650	10600	2720
Na	18000	4850	37000	38900	38200	37100	29600	8570

مطالعات میکروسکوپی حاکی از مراحل پیش از کانی‌سازی (مرحلهٔ اول)، کانی‌سازی اصلی (مرحلهٔ دوم) و سوپرژن (مرحلهٔ سوم) است، که به‌ترتیب شامل این مراحل است:

۱. مرحلهٔ اول کانی‌سازی (stage I) با حضور کانی‌های اپاك و سیلیکاته پلاژیوکلاز، کوارتز، موسکوویت، پیریت نسل اول، و مقادیر ناچیزی اسفالریت، گالن و پیروتیت.

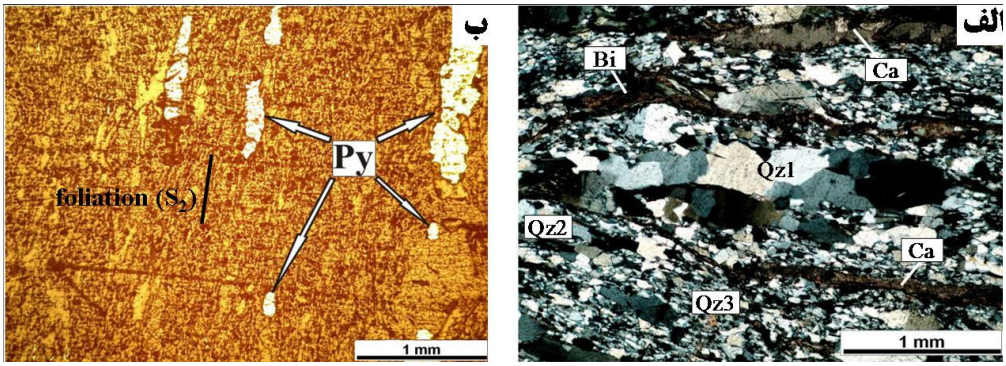
۲. مرحلهٔ دوم کانی‌سازی (stage II) که خود متشکل از دو زیر مرحله شامل، الف) زیرمرحلهٔ پیش‌غنی شده[۱] متشکل از پیریت و کالکوپیریت نسل اول و مقادیرجزئی کانی‌های مونازیت، بلورهای خودشکل کوارتز و کلسیت به‌صورت افشان- رگچه‌ای در رگه کوارتز- کربنات نوع ۲؛ و ب) زیرمرحلهٔ غنی‌شده[۲] متشکل از پیریت و کالکوپیریت طلادار نسل دوم، سولفید مس- بیسموت، آرسنوپیریت و مقادیر ناچیزی کانی‌های تلوریم‌دار و طلای آزاد است. این مجموعه به‌طور رایج به‌همراه کانی‌های باطله فلدسپار پتاسیم، آلبیت و کوارتز متشکل‌های اصلی رگه کوارتز- سولفیدی نوع ۱ هستند.

۳. کانی‌سازی مرحلهٔ سوم (stage III) با مجموعهٔ کانی‌های فاز سوپرژن در منطقه شناخته می‌شود که غالباً با بافت پراکنده در سنگ میزبان دگرسان شده مشاهده می‌شود و به‌طورعمده شامل مارکاسیت، هماتیت، کائولینیت، کالکانتیت، ژیپس و هیدرواکسیدهای آهن است.

توالی پاراژنتیکی کانسار موته در شکل ۶ نمایش داده شده است.

۱. Pre Bonanza sub-stage I ۲. Bonanza sub-stage II

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]



شکل ۵. تصاویر میکروسکوپی شامل، الف) کانی‌سازی کوارتز (Qz) در سه نسل همراه با رگچه‌های کلسیت (Ca) و بیوتیت‌های صفحه‌ای (Bi) در رگهٔ کوارتز- پیریت- کربناته نوع ۲ و ب) پیریت‌های خودشکل تا نیمه خودشکل (Py) همزمان با دگرشکلی و همروند با برگوارگی میلونیتی S_2 و دارای مقادیر بالای طلا

کانه‌های‌سولفیدی و طلا

پیریت، کالکوپیریت، آرسنوپیریت، سولفید مس- بیسموت، دیژنیت و کوولین کانه‌های‌سولفیدی رایج در کانسار موته هستند که به‌صورت دانه‌پراکنده، رگچه‌ای و بندرت جهت یافته در سنگ میزبان دگرشکل شده مشاهده می‌شوند. ویژگی‌های کلی کانی‌های نامبرده بدین شرح است:

پیریت

پیریت بیش از ۵۰ درصد کانی‌های سولفیدی را تشکیل می‌دهد و فازاصلی همراه کانه‌زایی طلا است. پیریت عمدتاً در دو نسل ۱) پیریت‌های نیمه خودشکل تا بی‌شکل دانه متوسط تا ریز (بیش از ۱۰۰میکرون) در سنگ‌های گرانیتی یا رگه‌های کوارتز ناشی از دگرگونی به‌صورت قطع کنندهٔ برگوارگی و حاوی مقادیراندکی طلا به‌صورت محلول‌جامد و ۲) پیریت‌های خودشکل تا نیمه‌خودشکل (بیش از۱میلی‌متر) که همزمان با دگرشکلی و همروند با برگوارگی میلونیتی تشکیل شده و دارای نسبت بالای Au/Ag (بیش از ۳/۴) هستند (شکل ۵ ب و جدول ۳).

کالکوپیریت

پس‌از پیریت، کالکوپیریت به‌عنوان مهمترین کانهٔ سولفیدی در منطقه، در دو نسل شامل، ۱) کالکوپیریت‌های دانه‌ریز، بی‌شکل با بافت پراکنده (بیش از۱۵۰میکرون) و فراوانی بیش از ۱% که به‌صورت همرشد با پیریت‌های دانه‌ریز تشکیل شده است و ۲) کالکوپیریت‌های دانه‌درشت (بیش از۵ میلی‌متر) به‌صورت نیمه‌خودشکل تا بی‌شکل، به‌صورت همرشدی با پیریت‌های نسل اول در گانگ سیلیسی (شکل ۷).

سولفید مس- بیسموت (امپلکتیت)

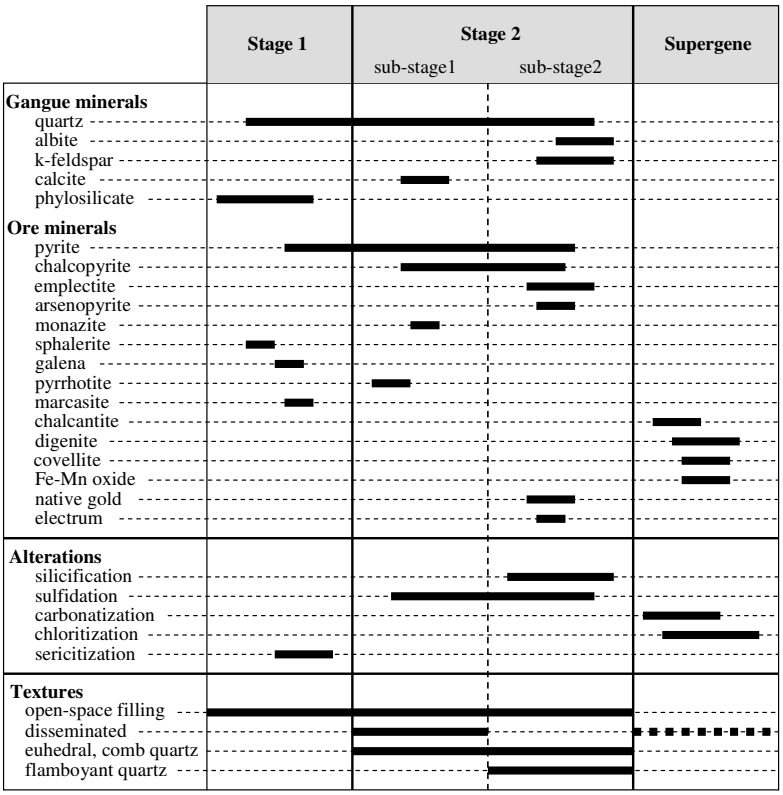
سولفید مس- بیسموت با نام کانی‌شناسی امپلکتیت[1] و فرمول شیمیایی $CuBiS_2$، پس‌از پیریت و کالکوپیریت از جمله کانه‌های سولفیدی در رگهٔ نوع ۱ کوارتز- سولفیدی است که همراه با پیریت، کالکوپیریت، پیروتیت، فلدسپار

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

پتاسیم و آلبیت دیده می‌شود و برای نخستین بار در این منطقه گزارش می‌شود. امپلکتیت به‌صورت دانه‌های درشت بی‌شکل تا نیمه‌خودشکل (بیش از ۱ میلی‌متر) و در مواردی به‌صورت همروند با برگوارگی طی تبلور مجدد به‌چشم می‌خورد که در زیر میکرسوسکوپ با نور معمولی به رنگ سفید کدر تا خاکستری با جلای فلزی دیده می‌شود (شکل ۷).

دیژنیت و کوولین

این کانی‌ها حاصل فعالیت‌های سوپرژن در منطقه و دگرسانی کانی‌های مس‌دار مانند کالکوپیریت و تا حدودی امپلکتیت هستند و به‌طورعمده در زون‌های سطحی، حاشیه‌ها و شکستگی‌های کانی‌های هیپوژن مس‌دار جانشین شده‌اند.



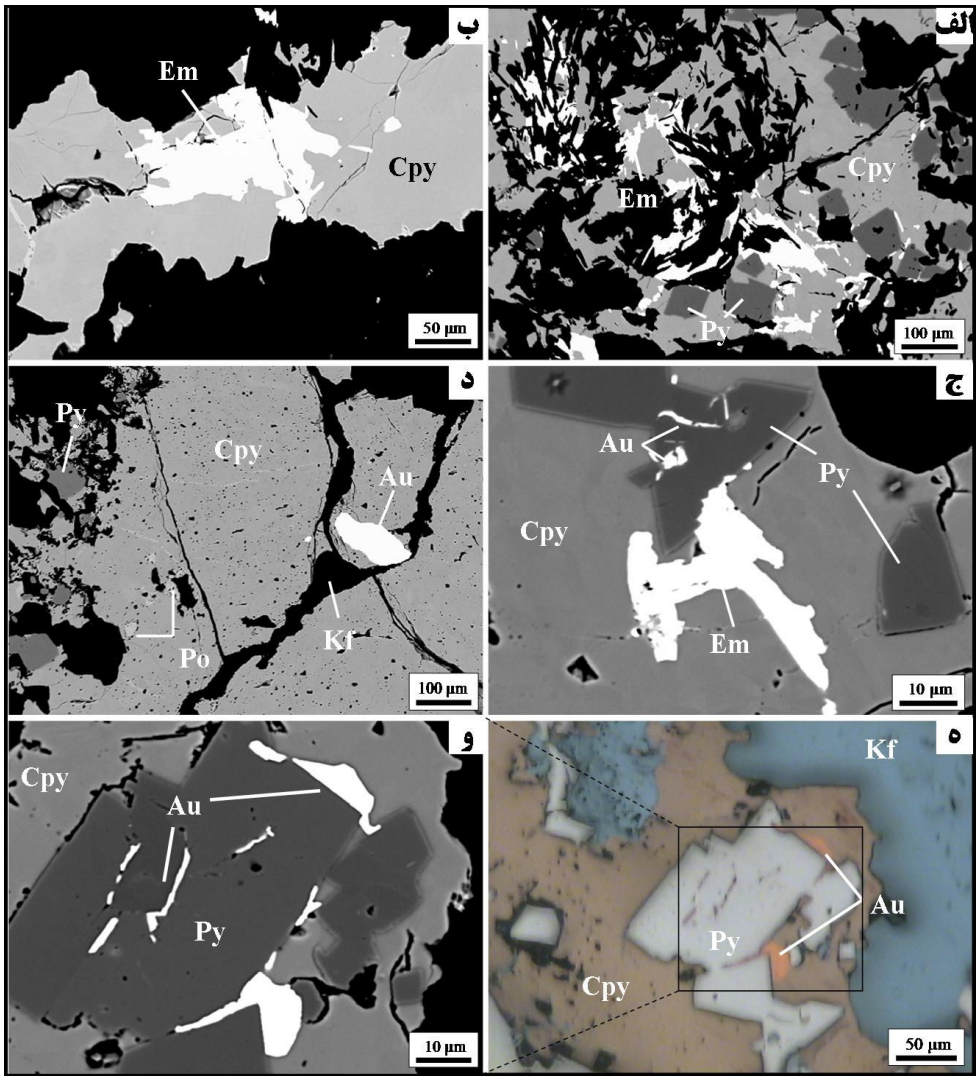
شکل ۶. توالی‌پاراژنتیک کانی‌ها، دگرسانی و بافت مادهٔ معدنی در کانسارموته

طلا

برمبنای بررسی‌های میکروسکوپی و تجزیه‌های میکروسکوپ الکترونی (SEM) و الکترون مایکروپروب (EPMA) کانی‌سازی طلا در منطقه به دوصورت شامل ۱) ادخال‌های گردشده در پیریت‌های پراکنده و جانشینی در شکستگی‌های پیریت و کالکوپیریت‌های درشت‌دانه (شکل ۷) و ۲) به‌شکل ذرات طلای آزاد (به‌طورمتوسط بین ۱۰ تا ۱۰۰ میکرون) پراکنده در زمینهٔ کانی‌های پیریت- کالکوپیریت- آلبیت و فلدسپار پتاسیم دیده می‌شود (شکل ۷).

۱. Emplectite

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]



شکل ۷. تصاویر BSE از کانه‌های‌سولفیدی رایج در کانسار موته، شامل الف) کانی‌سازی پیریت خودشکل (Py) به‌همراه فاز تأخیری کانه‌های‌سولفیدی امپلکتیت (Em) و کالکوپیریت (Cpy)، ب) همرشدی کالکوپیریت و امپلکتیت با یک‌دیگر، ج) کانی‌سازی طلا (Au) در شکستگی‌های ریز پیریت خودشکل به‌همراه امپلکتیت، در زمینهٔ کالکوپیریت، د) کانی‌سازی‌طلا به‌صورت آزاد در زمینهٔ کالکوپیریت طلادار نسل دوم (Cpy II) به‌همراه پیروتیت (Po)، پیریت ریزدانه نسل اول (Py I) و فلدسپار پتاسیم (Kf) به‌صورت پرکننده شکستگی‌ها، ه) تصویرمیکروسکوپی از پیریت خودشکل، کانی‌سازی طلا و زمینهٔ کالکوپیریت و باطله فلدسپارپتاسیم، و) تصویر قبل با بزرگ‌نمایی بالا از کانی‌سازی طلا به‌صورت پرکننده شکستگی‌ها و گرد در اطراف دانه پیریت خودشکل نسل دوم (Py II)

شیمی کانه‌ها

مطالعهٔ ترکیب شیمی‌کانه‌ها طی مراحل پاراژنتیکی مختلف با دستگاه الکترون مایکروپروب مدل CAMECASX100 در مرکز تحقیقات و فرآوری مواد معدنی ایران (IMPRC) با ولتاژ ۲۰ kv و جریان nA ۲۰ انجام گرفته است. براساس مطالعات EPMA عناصر Au, As, Ag, Cu, Te, Hg, La, Ce و Zn از

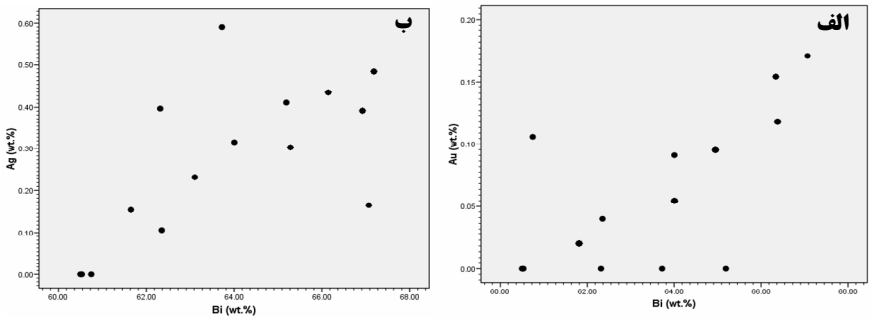
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

مهم‌ترین عناصر کمیاب ثبت‌شده در ترکیب کانی‌های بررسی شده و Au عنصر رایج در پیریت است. همچنین به‌منظور تشخیص منطقه‌بندی در بلورهای پیریت، نقاطی از مرکز و حاشیه پیریت‌ها به‌صورت نقطه‌ای اندازه‌گیری شد. براساس تجزیه‌های نقطه‌ای انجام‌شده، پیریت نسل دوم (Py II) همراه با کالکوپیریت، سولفید مس- بیسموت، پیروتیت و آرسنوپیریت حاوی ۰/۰۳ تا Wt.% ۰/۳۱ طلا و ۰/۰۰ تا Wt.% ۰/۲۶ آرسنیك در ترکیب است. همچنین، مطالعات حاکی از مقادیر بالای عناصر طلا (بیش از Wt.% ۰/۳۰)، آرسنیك (بیش از Wt.% ۰/۱۲) و جیوه (بیش از Wt.% ۰/۱۵) و طیفی از عناصر As, Ag, Hg و Te در ترکیب کالکوپیریت‌های منطقه است (جدول ۳). تغییرات مس در کانه سولفیدی مس- بیسموت بین ۱۲/۲ تا Wt.% ۱۹/۶ به‌دست آمده که این میزان تمرکزمس، موجب تشکیل کانی دگرسان کالکانتیت در اطراف کانهٔ مذکور شده است. علاوه برآن، تجزیهٔ نقطه‌ای بر روی کانه سولفیدی مس- بیسموت حاکی از وجود طلا به‌میزان ۰/۰۱تا Wt.% ۰/۱۷ همراه با عناصر Ag, Au, Zn و Te در مقادیر مختلف است که همبستگی مثبتی میان زوج عناصر Au-Bi و Ag-Bi برقرار است (شکل ۸). همچنین تجزیهٔ نسل‌های مختلف طلا، حاکی از وجود ترکیب شیمیایی یکسان در آن‌ها و حضور مقادیر نقره به میزان Wt.% ۰/۱۷ است. میانگین نسبت Au/Ag در کانه‌ها حدود Wt.% ۸/۵ و میزان سرب و روی در آن‌ها بسیار ناچیز است. خلاصه‌ای از نتایج شیمی کانه‌ها در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳. میانگین نتایج تجزیهٔ نقطه‌ای الکترون مایکروپروب از نسل‌های مختلف پیریت (Py)، کالکوپیریت (Cpy) و فاز سولفیدی مس- بیسموت، در کانسار موته (داده‌ها بر حسب Wt.%)

	Fe	S	Cu	Zn	As	Ag	Te	Au	Hg	Bi	Au/Ag
Py1 (13)	47.69	52.68	0.09	0.02	0.08	0.07	0.07	0.04	0.03	------	0.57
Py2 (18)	47.58	52.34	0.06	0.02	0.13	0.05	0.02	0.17	0.05	------	3.4
Cpy1 (14)	30.50	34.74	33.91	0.02	0.07	0.04	0.03	0.22	0.09	------	5.5
Cpy2 (15)	30.47	34.30	34.12	0.01	0.06	0.04	0.04	0.07	0.03	------	1.75
Cu-Bi Sulfide (9)	1.17	19.48	15.90	0.08	0.00	0.30	0.09	0.09	0.05	63.78	0.27

توجه: اعداد ذکر شده در پرانتز تعداد بلورهای تجزیه شده‌اند.



شکل ۸. همبستگی Scatter-plot میان زوج عناصر Au-Bi (الف) و Ag-Bi (ب) در کانه سولفیدی مس- بیسموت

سیالات درگیر

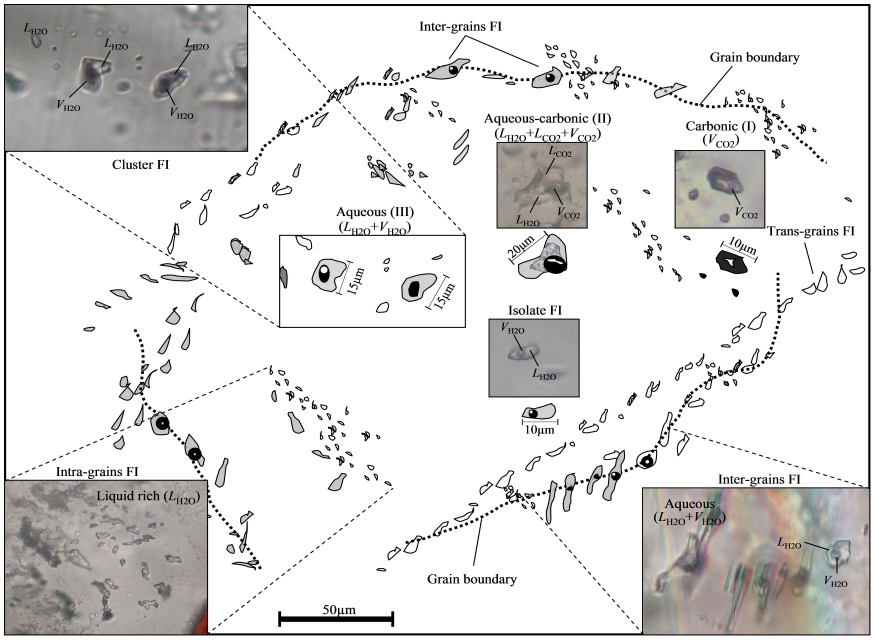
بررسی‌های سیالات درگیر بر روی نمونه‌های هر دو نوع رگهٔ کوارتزی (نوع ۱ و ۲) واقع در بخش‌های مختلف پهنه‌های برشی طلادار و عقیم در معادن سنجده و چاه‌خاتون، با استفاده از سکوی گرمایش- سرمایش لینکام مدل

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

THM600، واحد کنترل‌کنندهٔ حرارتی TMS-93 و میکروسکوپ تحقیقاتی Ziess در آزمایشگاه سیالات درگیر دانشگاه تربیت معلم تهران با بهره‌گیری از استانداردهای شفرد و همکاران [۱۳] انجام شد. رسم ایزوکرها و تعیین حجم مولی سیال نیز با استفاده از نرم‌افزار FLINCOR [۱۴]، انجام گرفت. همچنین شوری سیالات درگیر نوع آبگین و سیالات آبگین- کربن‌دار حاوی فاز کلاتریت نیز به‌ترتیب با استفاده از رابطه‌های استفاده شده به‌وسیلهٔ بودنار [۱۵] و دایموند [۱۶] به‌دست آمد.

پتروگرافی و میکروترمومتری

بر مبنای مشاهدات پتروگرافی، سیالات درگیر شامل انواع مجزا (isolate) و مجتمع (cluster) (فراوانی کم‌تر از ۳۰٪)، درون‌دانه‌ای (intra-grain) (فراوانی حدود ۲۰٪)، مرزدانه‌ای (inter-grain) و قطع‌کنندهٔ مرزدانه (trans-grain) (فراوانی بیش از ۵۰٪) تشخیص داده شدند [۱۷]، [۱۸]، [۱۹]، [۲۰] که در این میان به غیراز سیالات درگیر قطع کننده مرزدانه و تشکیل‌شده در مرزدانه که اغلب جزء سیالات ثانویه و ثانویهٔ کاذب محسوب می‌شوند، باقی سیالات بررسی شدند (شکل ۹).



شکل ۹. شمایی کلی از نحوهٔ پراکندگی، اندازه و محتوای سیالات درگیر مشاهده‌شده، شامل سیالات منفرد (Isolate)، مجتمع (Cluster)، درون‌دانه (Intra-grain)، مرزدانه (Inter-grain) و قطع‌کننده‌دانه (Trans-grain)

مجموعه شواهد پتروگرافی و میکروترمومتری حاصل از سرمایش- گرمایش سیالات، منجر به تشخیص دست کم سه دسته سیال درگیر براساس ترکیب شامل، سیالات کربنیک (غنی‌از CO_2)، سیالات آبگین- کربنیک (H_2O-CO_2-$NaCl\pm CH_4$) و سیالات آبگین (H_2O-$NaCl\pm CaCl_2$) شده است. داده‌های به‌دست‌آمده از بررسی‌های میکروترمومتری شامل، دمای همگن‌شدن نهایی (Th_{total})، دمای ذوب CO_2 (Tm_{CO2})، دمای همگن‌شدن CO_2 (Th_{CO2})، دمای ذوب کلاتریت (Tm_{clath})، دمای ذوب نهایی یخ (Tm_{ice}) بر حسب درجهٔ سانتی‌گراد و شوری

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

(Salinity) برحسب درصد معادل نمک (Wt.% NaCl) است که در جدول ۴ خلاصه شده است. ویژگی‌های سیالات نامبرده بدین شرح است:

۱. سیالات کربنیک غنی‌از CO_2

با فراوانی حدود ۳۵٪، اشکال تخم‌مرغی، کروی و بی‌شکل و اندازهٔ بین ۴ تا ۱۵ میکرون، شامل دو نوع غنی از گاز (V_{CO2}) و دوفازی (L_{CO2}+V_{CO2}) هستند. این سیالات به‌طورموردی با سیالات درگیر دو فازی H_2O-CO_2 همراه بوده و به دو صورت اولیه و ثانویهٔ کاذب شامل سیالات منفرد، درون‌دانه و قطع کنندهٔ دانه در رگه‌ها دیده می‌شود. میانگین دمای همگن شدن CO_2 به فازمایع بین ۱۲/۶ تا ۲۷/۳°C با چگالی ۰/۷۱ تا ۰/۸۲ gr/cm^3 و دمای ذوب نهایی CO_2 یا Tm_{CO2} بین ۵۶/۷- تا ۵۸/۶°C- به‌دست آمد که با توجه به کم‌تر بودن این دما از مقدار ۵۶/۶°C- (triple point)، وجود گازهای CH_4 یا N_2 در این سیالات قابل استنباط است [۲۱].

۲. سیالات‌آبگین-کربنیک (H_2O-CO_2-NaCl±CH_4)

با فراوانی ۲۰ تا ۳۰٪، با اشکال نامنظم و کریستال منفی، اندازهٔ بین ۵ تا ۳۰ میکرون، درجهٔ پرشدگی بین ۰/۳ تا ۰/۸ (در دمای ۲۵°C)، به‌صورت دوفازی (L_{H2O}+L_{CO2}) و سه‌فازی (L_{H2O}+L_{CO2}+V_{CO2}) دردمای اتاق مشاهده شدند. در این سیالات، دمای ذوب نهایی CO_2 (Tm_{CO2}) بین ۵۶/۹- تا ۵۸/۳°C- و دمای ذوب فاز هیدرات گازی کلاتریت (Tm_{clath}) بین ۲/۵ تا ۸/۸°C به ثبت رسید که براساس این دما، شوری محاسبه شده بین ۲/۳ تا ۱۲/۵ درصد معادل نمک (Wt.% NaCl) به‌دست آمد. همچنین دمای همگن‌شدن فاز گازی CO_2 (Th_{CO2}) به مایع ($Th_{v\rightarrow l}$)، در دمای ۱۰/۴ تا ۲۳/۴°C صورت گرفت، که به‌ترتیب معادل چگالی‌حجمی ۰/۷۲ تا ۰/۸۴gr/cm^3 گاز CO_2 است. در نهایت دمای همگن شدن نهایی (Th_{total})، در این سیالات بین ۱۴۵/۶ تا ۳۰۴/۲°C به‌دست‌آمد. لازم به ذکراست فراوانی این دسته از سیالات ارتباط مستقیمی با سنگ‌های سیلیسی میزبان طلا در مناطق معدنی چاه‌خاتون و سنجده دارد [۱۲].

۳. سیالات‌آبگین

با بیش‌ترین فراوانی (حدود ۴۵٪)، به اشکال استوانه‌ای، کشیده و کریستال منفی، اندازهٔ بین ۱۵ تا ۳۵ میکرون و به‌طورمعمول دوفازی (L_{H2O}+V_{H2O}) در دمای اتاق مشاهده شدند. این سیالات به‌طورموردی همراه سیالات درگیر ثانویه دوفازی CO_2-H_2O و غنی از CO_2، به‌صورت مجتمع، منفرد، مرزدانه یا قطع‌کنندهٔ دانه‌ای و عمدتاً اولیه در متن کانی میزبان ظاهر شده و دارای نسبت بالای بخار به مایع (V/L) در مقایسه با سیالات ثانویهٔ غنی از فاز مایع (L) هستند (شکل ۹). دمای ذوب نهایی یخ (Tm_{ice})، در این سیالات در دو محدودهٔ دمایی شامل، ۱) بین ۱/۲- تا ۱۱/۳°C- (بیش‌ترین فراوانی ۴- تا ۶°C-) و شوری ۲/۱ تا ۱۵/۲ درصد معادل نمک (Wt.% NaCl) برای رگه کوارتز-سولفیدی‌طلادار و ۲) بین ۱۲/۵- تا ۲۶/۷°C- (بیش‌ترین

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

فراوانی ۲۱- تا ۲۲°C-) و شوری ۱۶/۴ تا ۲۸/۲ درصد معادل نمک (Wt.% NaCl) در رگه‌های کوارتزعقیم به‌دست آمد. دمای همگن‌شدن نهایی به فاز مایع ($Th_{v\rightarrow l}$) نیز در دو محدودهٔ ۲۱۲/۲ تا ۲۹۷/۶°C، برای سیالات مرزدانه تا قطع‌کنندهٔ دانه‌ای رگه کوارتز- سولفیدی طلادار و۱۴۷/۴ تا ۲۴۵/۶°C، برای سیالات درون‌دانه و مرزدانه‌ای رگه عقیم کوارتزی به‌دست آمدند. خلاصه‌ای از نتایج داده‌های میکروترمومتری سیالات درگیر کانسار موته در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴. نتایج داده‌های میکروترمومتری سیالات درگیر کانسار موته، شامل سیالات کربنیک (نوع ۱)، آبگین- کربنیک (نوع ۲) و آبگین (نوع ۳). دماهای به‌دست‌آمده برحسب درجهٔ سانتی‌گراد (°C)، (*L*) همگن‌شدن به فاز مایع و n تعداد سیالات مورد اندازه‌گیری هستند

انواع / خصوصیات	سیالات‌کربنیک *n*=30	سیالات‌آبگین-کربنیک *n*=42	سیالات‌آبگین نوع ۱ *n*=21	سیالات‌آبگین نوع ۲ *n*=16
درجه پرشدگی (میانگین)	0.5 to 0.7 (0.6)	0.3 to 0.8 (0.85)	0.2 to 0.7 (0.45)	0.3 to 0.75 (0.52)
دمای ذوب‌نهایی CO_2 (میانگین)	-56.7 to -58.6 (-57.6)	-56.9 to -58.3 (-57.6)	---------	---------
دمای همگن‌شدن نهایی CO_2 (میانگین)	12.6 to 27.3 (*L*) (17.4)	10.4 to 23.4 (*L*) (16.9)	---------	---------
دمای ذوب‌کلاتریت (میانگین)	---------	2.5 to 8.8 (5.6)	---------	--------
دمای ذوب‌نهایی یخ (میانگین)	---------	---------	-1.2 to -11.3 (-6.25)	-12.5 to -26.7 (-19.6)
دمای همگن‌شدن نهایی (میانگین)	---------	145.6 to 304.2 (*L*) (224.9)	212.2 to 297.6 (*L*) (254.9)	147.4 to 245.6 (*L*) (196.5)
چگالی‌حجمی CO_2 (g/cm^3)	0.71 to 0.82	0.72 to 0.84	---------	---------
شوری (wt.% NaCl)	---------	2.3 to 12.5	2.1 to 15.2	16.4 to 28.2

بحث

حمل و ته‌نشست طلا

در سیالات گرمابی، طلا اغلب با کمپلکس‌های بی‌سولفیدی (سیال‌کاهنده) و کلریدی (سیال‌اکسیژن‌دار) حمل می‌شود [۲۲]، [۲۳]، [۲۴]، [۲۵]. همچنین طبق پژوهش‌های تجربی بنینگ و سیوارد [۲۴]، طلا در شوری پایین، $\log fO_2$ پایین و pH متغیر، با کمپلکس بی‌سولفیدی حمل می‌شود. ترکیب بی‌سولفیدی $Au(HS)_2^-$ به‌عنوان یك کمپلکس مهم در شرایط pH نزدیك به خنثی تا اسیدی ضعیف در محلول‌های سولفیدی احیایی دما پایین رایج است [۲۲]، [۲۴]، [۲۵]، در حالی که ترکیبات $AuHS^o$ و $HAu(HS)_2^-$ در شرایط pH قلیایی پایدارترند. کمپلکس کلریدی $AuCl_2$ نیز در شرایط اسیدی، شوری و دمای بالا و سیال فقیر از H_2S^- ($\log fO_2$ نسبتاً بالا) غالب است [۲۴]، [۲۵].

کانسار طلای موته مشابه بسیاری از رخدادهای طلای کوارتز رگه‌ای پهنه‌های برشی، از لحاظ شرایط دما و فشار، منطبق با رخساره شیست سبز- زیررخساره آمفیبولیت است. شوری پایین تا متوسط، وجود سیالات آبگین- کربنیک، pH خنثی تا قلیایی ضعیف و محتوای احیایی کانی‌ها، از خصوصیات بارز سیال کانه‌ساز در این نوع ذخایر است [۲۰]، [۲۶]، [۲۷]. با توجه به حضور فلدسپار پتاسیم، آلبیت و سریسیت به‌عنوان باطله در

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

رگه‌های طلادار منطقه، می‌توان چنین استنباط کرد که pH سیال بین ۶ تا ۷ متغیر است [۲۸]، [۲۹]. همچنین عدم تشکیل کانی‌های اکسیدی درجهٔ بالا و حضور ترکیبات تلوریوم و بیسموت‌دار، همراه پیریت، کالکوپیریت و آرسنوپیریت حاکی از ترکیب احیایی سیال گرمابی کانه‌ساز در موته است. علاوه بر آن در کانسار موته، به‌دلیل همراهی پاراژنتیکی طلا با کانه‌های پیریت و کالکوپیریت، شوری متوسط تا پایین سیال‌کانه‌دار، مجموعه دگرسانی سریسیت- کربنات و مقادیر ناچیز کانی‌های سولفیدی گالن و اسفالریت، نقش کمپلکس‌های بی‌سولفیدی $Au(HS)_2^-$ در انتقال طلا را پررنگ‌تر می‌کند. تغییرات pH سیال منجربه تشکیل دگرسانی‌کائولینیت- سریسیت همراه با افزایش مقادیر یون H^+ به سیال درحال چرخش می‌شود، در حالی که ته‌نشینی کانی‌های کربناته موجب حذف CO_2 از ترکیب سیال کانه‌ساز می‌شود [۳۰]. براساس پژوهش‌های زوهیر [۲۰] و باورز [۳۱] جوشش CO_2 ناشی از تغییرات فشار در راستای پهنه‌های برشی و فرآیند سولفیدی شدن (مانند تشکیل پیریت) در سنگ‌دیواره، به‌طور معمول موجب افزایش میزان pH و $\log fO_2$ و کاهش $\log fS_2$ می‌شود که این تغییرات باعث ته‌نشینی طلا در رگه‌های کوارتزی و هاله‌های دگرسانی سنگ‌دیواره (زون شسته شده) می‌گردد. در کانسار موته، با توجه به رخداد طلا در پهنه‌های برشی شسته و به‌شدت دگرسان شده سنگ دیواره و رگه‌های کوارتز طلادار، می‌توان گفت کاهش میزان $\log fS_2$ ازعوامل مؤثر در نهشت طلای منطقه است.

مقایسهٔ کانسار موته با کانسارهای طلای نوع کوهزایی و مرتبط با توده‌های نفوذی

بنیادی‌ترین مفهوم در درک صحیح از ژنز ذخایر معدنی، تعیین ارتباط زمانی و مکانی کانه‌زایی با وقایع تکتونیکی، دگرگونی و ماگمایی است [۳۲]. امروزه، ذخایر طلای مرتبط با سطوح متفاوت پوسته، با توجه به ارتباط بین کانه‌زایی و محیط تکتونیکی به‌طورکلی به ذخایر نوع اپی‌ترمال، مرتبط با توده‌های نفوذی یا هاله‌های‌حرارتی و کوهزایی تقسیم می‌شوند [۳۳]، [۳۴]، [۳۵]. براساس دیدگاه یو و همکاران [۲۹]، استفاده از اصطلاح "*intrusion-related*" برای توصیف ژنتیکی یک ذخیره (برای مثال [۳۳]،[۳۶])، مشکلات مفهومی دارد و با آن‌که این ذخایر معمولاً دارای ارتباط فضایی (مکانی و زمانی) با توده‌های نفوذی هستند، ممکن است ارتباط ژنتیکی مستقیم با نفوذی‌های منطقه وجود نداشته باشد و دقیقاً با اصطلاح ذکرشده منطبق نباشند.

کانه‌زایی طلا در موته، ویژگی‌هایی مشابه ذخایرنوع کوهزایی دارد که به‌طورعمده شامل،۱) وجود سنگ‌های در برگیرندهٔ متاپلیتی، ۲) رخداد مجموعهٔ کانیایی نوع سولفید پایین (آرسنوپیریت و پیریت)، ۳) دگرسانی سریسیت- کربنات و ۴) سیال کانه‌ساز نوع آبگین- کربنیک با شوری پایین است.

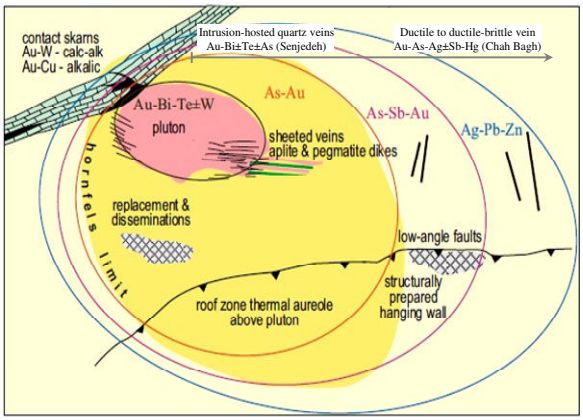
همچنین خصوصیات ارائه‌شده در این پژوهش، مشابه با ذخایرمرتبط با توده‌های نفوذی شامل، ۱) نفوذی‌های ساب‌آلکالن، متاآلومین با ترکیب حدواسط تا اسیدی واقع در سری ایلمنیتی و مگنتیتی، ۲) حضور سیالات گرمابی کربن‌دار، ۳) هم‌بستگی زیاد طلا با مجموعهٔ عناصر Bi, As, Te و/یا Sb همراه با تمرکزضعیف Pb و Zn، ۴) محتوای سولفیدی پایین (کم‌تراز ۵ درصد حجمی) به‌همراه مجموعهٔ کانیایی احیایی متشکل از سولفید مس- بیسموت،

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

بیسموتینیت، آرسنوپیریت، پیروتیت، پیریت و مقادیرناچیز مگنتیت و هماتیت، ۵) همراهی زمانی و مکانی با ماگماتیسم منطقه [۱]، [۵]، [۶]، [۷].

براساس دیدگاه هارت و گلدفارب [۳۷] و گلدفارب و همکاران [۳۸]، ذخایر کوهزایی و مرتبط با توده‌های نفوذی دارای ویژگی‌های مشترک زیادی هستند که از آن جمله می‌توان به کانی‌سازی مجموعهٔ سولفیدی احیایی، کانی‌های گانگ، عناصر همراه، وجود سیال CO_2دار با شوری پایین، کانه‌زایی رگه‌ای مرتبط با دگرگونی، همراهی زمانی و مکانی با گرانیتوئیدها و کنترل‌کننده‌های ساختاری محلی اشاره کرد. اما در حالی که ذخایر طلای کوهزایی در واحدهای تکتونیکی فشارشی و کوتاه‌شدگی پوسته واقع در پهنه‌های‌برشی با مؤلفهٔ ساختاری معکوس تشکیل می‌شوند، در مقابل ذخایر مرتبط با توده‌های نفوذی احیایی متعلق به موقعیت‌های ساختاری کششی طی بالاآمدگی/آب‌زدایی مجموعه‌های دگرگونی سنگ میزبان و کانه‌زایی در سامانه‌های گسلی‌عادی هستند که در منطقهٔ معدنی موته مشاهده می‌شوند [۱]، [۳۴]، [۳۸].

همچنین براساس پژوهش‌های لنگ و بیکر [۳۳]، تامپسون و همکاران [۳۶]، هارت و گلدفارب [۳۷]، مک‌کوی و همکاران [۳۹]، الگوی منطقه‌بندی در سامانه‌های مرتبط با توده‌های نفوذی براساس کانی‌شناسی، دگرسانی و توزیع عناصر، تا حدودی در کانسار موته قابل تشخیص است. چنان‌که سامانی [۶] ذخایر طلای مرتبط با توده‌های نفوذی را برمبنای فاصله با توده، به دودسته ذخایر نزدیك (pluton-proximal) و دور از توده (pluton-distal) تقسیم‌بندی کرده است. ذخایر نزدیك به توده یا میزبان در نفوذی‌های منطقه، غالباً به‌صورت ورقه‌ای و کم‌تر رگچه‌ای-استوك‌ورك در سنگ میزبان و مجاورت تودهٔ نفوذی با فاصلهٔ کمی از آن، همراه با مجموعه Au - Bi ± Te ± As ± Mo ± W دیده می‌شوند [۳۳]، [۳۷]. در حالی که، ذخایر طلای تشکیل شده با فاصله از تودهٔ نفوذی و محدودهٔ خارجی هالهٔ دگرگونی به‌صورت رگه‌های کانه‌دار کوارتز- سولفیدی با ماهیت اپی‌ترمال تا مزوترمال و در کنترل گسل‌های عمیق منطقه، همراه مجموعه Au-As-Sb±Hg و رگه‌های‌غنی‌از Ag±Au قابل مشاهده است (برای مثال ذخایر Donlin Creek در آلاسکا [۴۰] و Tintina Gold Province در ایالات متحده [۴۱]) (شکل ۱۰).



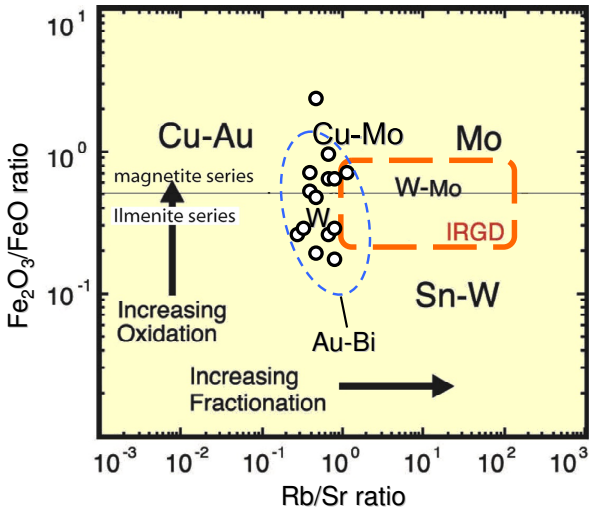
شکل ۱۰. مدل منطقه‌بندی عناصرکانه‌ساز در ذخایر مرتبط با توده‌های نفوذی در ایالت طلای تین تینا (Tintina) نسبت به توده‌نفوذی شامل، توزیع فضایی عناصر، شکل کانی‌سازی و ساختمان‌های‌مرتبط با کانی‌سازی [۴۱] به همراه نمایش موقعیت کانسارهای سنجده و چاه باغ در آن

مطالعات حاصل از این پژوهش، حاکی از آن است که مناطق معدنی چاه‌خاتون، سنجده و چشمه گوهر در مجموعه کانسار موته، دارای ترکیب کانی‌شناسی متشکل از تلوریم، کانی حاوی بیسموت (مانند امپلکتیت و بیسموتینیت)، طلای

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

آزاد، الکتروم، مجموعه سولفوسالت‌ها و سولفیدهای سازگار با محیط‌های‌احیایی، همراه دگرسانی فلدسپاتیك با فراوانی آلبیت و فلدسپار پتاسیم و مجموعه Au - B i± Te ± As است که در تشابه با ذخایر نزدیك به توده یا میزبان در تودهٔ نفوذی است. علاوه برآن، در رخداد طلای چامباغ که در فاصله‌ای دورتر از دیگر رخدادهای کانی‌سازی در موته قرار گرفته است، فقدان مجموعه Au - Bi ± Te و حضورعناصر Au - As - Ag ± Sb، به‌همراه آرسنوپیریت مس‌دار، پیریت‌های آرسنیك‌دار و نقرهٔ طبیعی در پهنه‌های برشی شکل پذیر- شکنا [۳۹]، حاکی از رخداد کانی‌سازی در رخداد طلای چامباغ در فواصل دورتر از نفوذی‌های مرتبط با کانی‌زایی، کمابیش مشابه با مدل‌هایی است که لنگ و بیکر [۳۳] و هارت و گلدفارب [۳۷] ارائه کرده‌اند (شکل ۱۰).

به‌عقیده مورفی [۴۲] و مارش و همکاران [۴۳]، نفوذی‌های مرتبط با کانی‌زایی طلا ماهیت آلکالن، متاآلومینوس، کالک‌آلکالن و پرآلومینوس داشته و احتمالاً بعد از یک کشیدگی ناشی از حرکات گسل‌های تراست در پوستهٔ قدیمی نفوذ کرده‌اند. سنگ‌های آذرین منطقهٔ موته، با ماهیت کالک آلکالن در نمودار تغییرات غلظت عناصر کمیاب براساس جای‌گاه تکتونیکی، در موقعیت گرانیت‌های قوس‌آتشفشانی (VAG) و ناشی از فرورانش حاشیهٔ فعال قاره‌ای قرار می‌گیرد [۴۴]. نسبت Fe_2O_3/FeO به‌دست آمده در نمونه‌های گرانیتی منطقهٔ موته از ۰/۵۰ تا ۳/۰ (با میانگین ۱/۷۰) متغیر است که حاکی از ماگمای سری مگنتیتی تا کمی ایلمنیتی است. نسبت‌های تفریق و اکسیداسیون نمونه‌های توده گرانیتوئیدی موته، در نمودار مارش و همکاران [۴۳] از ۰/۱۰ تا ۱/۳۰ (با میانگین ۰/۷۰) متغیر است. با توجه به پژوهش‌های بلوین [۴۵]، این نسبت‌ها عمدتاً با گرانیت‌های مولد ذخایرطلا- بیسموت مطابقت دارند (شکل ۱۱).



شکل ۱۱. نمودار مقایسهٔ نسبت درجهٔ اکسیداسیون به تفریق در ذخایر مرتبط با توده‌های نفوذی [۴۵]، [۴۶] که درآن نتایج داده‌های توده‌های گرانیتوئیدی منطقهٔ موته (با علامت دایره) در محدودهٔ گرانیت‌های مستعد کانی‌زایی Au-Bi قرارمی گیرند

با توجه به ارتباط زایشی میان سرگذشت تکتونوماگمایی گوشتهٔ لیتوسفری و پوستهٔ بالایی طی تاریخچهٔ تحولات پهنهٔ سنندج- سیرجان (SSZ) در ترشیری به‌همراه بالاآمدگی توده‌های نفوذی ناشی از فعالیت‌های ساختاری کششی طی مراحل پایانی‌کوهزایی زاگرس و نیز شواهدی همچون زمین‌شناسی کانسار، مجموعه دگرسانی، شیمی کانی‌ها و سیالات درگیر، و با توجه به نظر گرووز و همکاران [۳۴] و گلدفارب و همکاران [۳۸]، کانسارموته می‌تواند تناسب

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

بیش‌تری با رده‌بندی ذخایر طلای همراه با گرانیت‌ها نسبت به ذخایر طلای نوع کوهزایی (مزوترمال) داشته باشد (جدول ۵).

جدول ۵. مقایسهٔ کانسار طلای موته با ذخایرکوهزایی (مزوترمال) و مرتبط با توده‌های نفوذی [۳۳]، [۳۴]، [۳۷]، [۳۸]، [۴۱]، [۴۶]

نوع کانسار / خصوصیات	کوهزایی (مزوترمال)	مرتبط با توده‌های نفوذی	کانسارموته
موقعیت تکتونیکی	حاشیهٔ قاره‌ای، رژیم‌های تکتونیکی فشارشی همراه با کوتاه‌شدگی پوسته	حاشیهٔ قاره‌ای، رژیم‌های پشت‌قوسی کششی همراه با نفوذی‌های مناطق بازشونده	حاشیهٔ قاره‌ای، موقعیت ساختاری کششی طی بالاآمدگی/آبزدایی سنگ بستر دگرگونه
زمین‌شناسی ساختاری	گسل‌های معکوس، امتدادلغز یا شیب‌لغز، پهنه‌های برشی شکنا و شکل‌پذیر- شکنا	گسل‌های عادی، امتدادلغز همراه با پهنه‌های برشی شکل‌پذیر- شکنا	گسل‌های عادی با مؤلفهٔ چپگرد و پهنه‌های برشی شکل‌پذیر- شکنا با مؤلفهٔ ساختاری عادی
سنگ‌های آذرین همراه	سنگ‌های فلسیک، دایک‌های لامپروفیری و باتولیت‌ها	پلوتون‌های گرانیتوئیدی احیایی‌متاآلومین تا کمی پرآلومین نوع I، ریولیت	سنگ‌های گرانیتوئیدی متاآلومینوس احیایی و متاریولیت
شکل کانی‌سازی	رگه‌ای، برشی و پراکنده	رگه‌ای، ورقه‌ای تا صفحه‌ای، جانشینی و برشی	رگه‌ای، شکافه‌پرکن و پراکنده
سنگ میزبان	سنگ‌های مافیک تا الترامافیک، توده‌های‌نفوذی اسیدی و گری واک‌ها	نفوذی‌های اسیدی تا حدواسط با مقادیر پایین FeO و فقیراز مگنتیت و ریولیت‌ها	متاریولیت، کوارتز- کلریت- بیوتیت شیست، آمفیبولیت و لوکوگرانیت
کانه‌ها	طلای آزاد، پیریت ± آرسنوپیریت، استیبنیت، الکتروم، گالن، اسفالریت و کالکوپیریت	بیسموت، پیروتیت، بیسموتینیت، آرسنوپیریت، شیلیت، تلور و بیسموت و کالکوپیریت	پیریت، کالکوپیریت، سولفید مس- بیسموت (امپلکتیت)، آرسنوپیریت، پیروتیت، بیسموت و طلای آزاد
عناصرهمراه	Au-Ag-As-Sb±Te±W	Au-Bi-Te-W±Ag±Sb±As±Pb±Zn	Au-Bi-Te± Ag±As±Sb±Pb±Zn
ژئوشیمی تودهٔ نفوذی	Se, Li, Rb, Yb, Th	F, B, Cs, Ce, Y, La, REE	Cs, Ce, Y, La, REE
دمای (°C) تشکیل	150-300°C	200-400°C	245.6-404.2°C
ترکیب سیال کانه‌ساز	شوری پایین (۳ تا ۱۰ درصد)، سیالات آبگین کربنیک ± H_2S و میزان CO_2 تا ۵mol%	شوری پایین (۲ تا ۶ درصد)، سیالات‌غنی از CO_2 (۵ تا ۱۴ mol%) و آبگین کربنیک همراه با N_2 و CH_4	شوری پایین تا متوسط (۲ تا ۱۵ درصد)، سیالات غنی از CO_2 (۵ تا ۱۰mol%)، آبگین کربنیک (N_2 و CH_4) و آبگین
نسبت Au/Ag	1-10 gr/ton	<10 gr/ton	8.5 gr/ton
دگرسانی مرتبط	کربناتی شدن، سریسیتی شدن، سولفیدی شدن و آرژیلیک	دگرسانی پتاسیک (فلدسپارپتاسیم)، سدیک (آلبیت)، سریسیتی‌شدن و گرایزن	دگرسانی سیلیسی، پتاسیک (فلدسپار پتاسیم)، سدیک (آلبیت)، سریسیتی شدن، کلریتی شدن و کربناتی شدن
منشأ سیال کانه‌ساز	آب‌های جوی و دگرگونی	آب‌های جوی و ماگمایی	آب‌های جوی و ماگمایی [۴۶]
منطقه‌بندی کانسار	فاقد منطقه‌بندی مشخص	دارای منطقه‌بندی قائم و افقی عناصر نسبت به تودهٔ نفوذی	دارای منطقه‌بندی افقی عناصر نسبت به تودهٔ نفوذی

نتیجه‌گیری

کانسار طلای موته با سنگ میزبان متاریولیت، بیوتیت-پلاژیوکلاز گنیس و کوارتز- سریسیت شیست ماهیت خردشده، برشی و میلونیتی تا اولترامیلونیتی دارد که کانه‌سازی به‌وسیلهٔ پهنه‌های برشی شکل‌پذیر- شکنا و مجموعهٔ نفوذی منطقه کنترل می‌شود. مشابه بسیاری از ذخایر طلای جهان، پهنه‌های‌برشی مجرای هدایت سیال طلادار و واحدهای ساختاری (به‌ویژه محل برخورد گسل‌ها و پهنهٔ برشی) مکان مناسب برای ته نشست طلا و عناصرهمراه هستند. در کانسار موته، کانه‌زایی طلا مرتبط با دگرسانی‌های گرمابی سیلیسی تحت کنترل پهنهٔ برشی (مشابه رخساره شیست سبز- زیررخساره آمفیبولیت) است و متشکل از مجموعه سریسیت + آلبیت + فلدسپار پتاسیم + کلریت + کربنات + کوارتز+ بیوتیت) است. اضافه برآن، دگرسانی رایج در سنگ میزبان و رگه‌ها، شامل دگرسانی پتاسیک (فلدسپار پتاسیم)، سدیک (آلبیت)، سریسیتیک، کلریتی، کربناتی و به مقدار کم، کائولینیتی شدن است. در منطقهٔ بررسی شده دو دسته رگهٔ طلادار قابل تفکیك با محتوای کانی‌شناسی، بافت، ساخت و پدیده‌های ساختاری قابل تمیز است که رگهٔ کوارتز- سولفیدی نوع ۱، در یک سامانهٔ گسلی‌عادی با مؤلفهٔ چپ‌گرد و راستای N25-35W و رگهٔ کوارتز-پیریت- کربنات نوع ۲، در سنگ‌های میلونیتی و اولترامیلونیتی به‌شدت تغییر شکل یافته با راستای N40-50W رخ داده

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

است. در مجموع، حضور سنگ‌های گرانیتی با ماهیت متاآلومین و ساب‌آلکالن، حضور آلبیت و فلدسپارپتاسیم همراه با کانه‌سازی، محتوای سولفیدی پایین کانه‌ها، رخداد مجموعهٔ Au-Bi±Te±As معرف شرایط احیایی، حضور سیالات گرمابی کربنیک و ارتباط ژنتیکی میان سرگذشت تکتونوماگمایی پهنهٔ سنندج- سیرجان با رخداد ماگماتیسم کوهزایی زاگرس در منطقه، احتمالاً نشانه‌هایی از کانه‌سازی طلا، مشابه با سامانه کانه‌زایی مرتبط با توده‌های نفوذی احیایی در منطقهٔ موته است.

منابع

1. R. Moritz, F. Ghazban, B. S. Singer, "Eocene gold ore formation at Muteh, Sanandaj-Sirjan tectonic zone, western Iran: a result of late-stage extension and exhumation of metamorphic basement rocks within the Zagros orogen", Economic geology 101 (2006) 1497-1524.
2. A. Farhangi, "Gold prospecting in Muteh region, Esfahan", Iran, in Ladeira, E.A., ed., Brazil Gold '91: Rotterdam, Balkema, (1991) 801-804.

۳. ح. کوهستانی، ا. راستاد، ن. رشیدنژاد و م. محجل، *نقش دگرشکلی و دگرسانی در کانی‌سازی طلا در پهنه‌برشی کانسار چاه‌باغ*، بیست و سومین گردهمایی سازمان زمین‌شناسی ایران، تهران، (۱۳۸۴) ۵۰-۵۱.

4. F. Aliyari, E. Rastad, M. Mohajjel, G. B. Arehart, "Geology and geochemistry of D-O-C isotope systematics of the Qolqoleh gold deposit, Northwestern Iran: Implication for ore genesis", Ore Geology Review (2009) (article in press).
5. O. Thiele, M. Alavi, R. Assefi, A. Hushmand-zadeh, A. Seyed-Emami, M. Zahedi, "Explanatory text of the Golpaygan quadrangle map 1:250,000: Geological Survey of Iran", Geological Quadrangle E7 (1968) 24.
6. B. A. Samani, "Metallogeny of the Precambrian in Iran", Precambrian Research 39 (1988) 85-106.
7. N. Rachidnejad-Omran, M.H. Emami, M. Sabzehei, E. Rastad, H. Bellon, A. Piqué, "Lithostratigraphie et histoire paléozoïque à paléocène des complexes métamorphiques de la région de Muteh, zone de Sanandaj-Sirjan (Iran méridional)", Comptes rendus Geoscience 334 (2002) 1185-1191.

۸. ح. کوهستانی، زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، *ژئوشیمی و فابریک‌های کانی‌سازی طلا در پهنهٔ برشی چاه‌باغ درمنطقهٔ معدنی موته (جنوب‌غرب دلیجان، اصفهان)*، پایان‌نامه‌کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس تهران (۱۳۸۴) ۲۲۲.

۹. ع. آقا نباتی، زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی ایران (۱۳۸۳) ۵۸۶.

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

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

11. J. Golonka, "Plate tectonic evolution of the southern margin of Eurasia in the Mesozoic and Cenozoic", Tectonophysics 381 (2004) 235-273.

۱۲. ن. یوسفی نیا، *مطالعات سیالات درگیر کانسار طلای موته و تأثیر آن در تفکیک رگه‌های کانه‌دار و عقیم*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم تهران (۱۳۸۳) ۱۳۰.

13. T. J. Shepherd, A. H. Rankin and D. H. M. Alderton, "A Practical Guide to Fluid Inclusion Studies", Blackie and Son (1985) 239.

14. P. E. Brown, "FLINCOR: a microcomputer program for the reduction and investigation of fluid inclusion data", American Mineralogist 74 (1989) 1390-1393.

15. R .J. Bodnar, "Introduction to aqueous-electrolyte fluid inclusions", Mineralogical Association of Canada Short Course 32 (2003) 81-100.

16. L. W. Diamond, "Stability of CO_2 clathrate hydrate + CO_2 liquid + CO_2 vapour + aqueous KCl-NaCl solutions: Experimental determinations and application to salinity estimates of fluid inclusions", Geochimica et Cosmochimica Acta 56 (1992) 273-280.

17. G. Simmons, D. Richter, "Microcracks in rocks. In: Strens RGJ (ed) The physics and chemistry of minerals and rocks", Wiley, Toronto (1976) 105-137.

18. J. L. R. Touret, "Fluid inclusions in high grade metamorphic rocks. In: Hollister L", Crawford ML (eds) Short course in fluid inclusions: applications to petrology. Mineralogical Association of Canada, Calgary (1981) 182-208.

19. R. L. Kranz, "Microcracks in rocks: a review", Tectonophysics 100 (1-3), 449-480.

20. B. A. Zoheir, "Structural controls, temperature-pressure conditions and fluid evolution of orogenic gold mineralization at the Betam mine", south Eastern Desert, Egypt. Mineralium Deposita 43 (2008) 79-95.

21. R. C. Burruss, "Analysis of phase equilibria in C–O–H–S fluid inclusions", Mineralogical Association of Canada Short Course Handbook 6 (1981) 39–74.

22. D. M. Shenberger, H. L. Barnes, "Solubility of gold in aqueous sulphide solutions from 150 to 350°C", Geochim Cosmochim Acta 53 (1989) 269-278.

23. K. Hayashi, H. Ohmoto, "Solubility of gold in NaCl- and H_2S bearing aqueous solutions at 250-350°C", Geochim Cosmochim Acta 55 (1991) 2111-2126.

24. L. G. Benning, T. M. Seward, "Hydrosulphide complexing of Au (I) in hydrothermal solutions from 150–400°C and 500–1500 bars", Geochim Cosmochim Acta 60 (1996) 1849-1871.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

25. G. Pal□yanova, "Physicochemical modeling of the coupled behavior of gold and silver in hydrothermal processes: gold fineness", Au/Ag ratios and their possible implications, Chemical geology 255 (2008) 399-413.

26. E. J. Mikucki, J. R. Ridley, "The hydrothermal fluid of Archean lode-gold deposits at different metamorphic grades: compositional constraints from ore and wall rock alteration assemblages", Mineralium Deposita 28 (1993) 469-481.

27. E. J. Mikucki, "Hydrothermal transport and depositional processes in Archaean lode-gold systems: a review", Ore Geol Rev 13 (1998) 307-321.

28. B. C. Yoo, "Mineralogy and geochemical study of some mesothermal gold-silver-bearing vein deposits in the Yugu-Kwangchun mine district", Republic of Korea. PhD thesis, Chungnam National University (2000) 230.

29. B. C. Yoo, K. H. Lee, C. N. White, "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. P. Buchholz, P. Herzig, G. Friedrich, R. Frei, "Granite-hosted gold mineralisation in the Midlands greenstone belt: a new type of low-grade large scale gold deposit in Zimbabwe", Mineralium Deposita 33 (1998) 437-460.

31. T. S. Bowers, "The deposition of gold and other metals: pressure induced fluid immiscibility and associated stable isotope signatures", Geochim Cosmochim Acta 55 (1991) 2427-2434.

32. J. Yang, F. Wu, S. A. Wilde, "A review of the geodynamic setting of large-scale late Mesozoic gold mineralization in the North China Craton: an association with lithospheric thinning', Ore Geology Reviews 23 (2003) 125-152.

33. J. R. Lang, T. Baker, "Intrusion-related gold systems: the present level of understanding", Mineralium Deposita 36 (2001) 477-489.

34. D. I. Groves, K. C. Condie, R. J. Goldfarb, J. M. A. Hronsky, R. M. Vielreicher, "Secular changes in global tectonic processes and their influence on the temporal distribution of gold-bearing mineral deposits", Economic Geology 100 (2005) 203-224.

35. V. J. Wall, "TAG: thermal aureole (pluton-related) gold systems", Australian Institute of Geoscientists. Quarterly Newsletter 79 (2005) 1-7.

36. J. F. H. Thompson, R. H. Sillitoe, T. Baker, J. R. Lang, J. K. Mortensen, "Intrusion-related gold deposits associated with tungsten–tin provinces", Mineralium Deposita 34 (1999) 323-334.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

37. C. J. R. Hart and R. J. Goldfarb, "Distinguishing intrusion-related from orogenic gold systems", New Zealand Minerals Conference Proceedings, (2005) 125-133.

38. R. J. Goldfarb, T. Baker, B. Dube, D. I. Groves, C. J. R. Hart, P. Gosselin, "Distribution, character, and genesis of gold deposits in metamorphic terranes. In: Hedenquist JW", Thompson, J. F. H., Goldfarb, R. J., Richards, J. P., (eds), Economic Geology 100th Anniversary Volume (2005) 407-450.

39. D. McCoy, R. J. Newberry, P. Layer, J. J. Di Marchi, A. Bakke, S. Mas-terman, D. L. Minehane, "Plutonic-related gold deposits of Interior Alaska. In: Goldfarb", R. J., Miller, L. D., (eds) Mineral deposits of Alaska, Economic Geology 9 (1997) 191-241.

40. S. Ebert, L. Miller, S. Petsel, S. Dodd, P. Kowalczyk, "Geology, mineralization, and exploration at the Donlin Creek project", Southwestern Alaska. British Columbia and Yukon Chamber of Mines Spec 2 (2000) 99-114.

41. C. J. R. Hart, D. McCoy, R. J. Goldfarb, M. Smith, P. Roberts, R. Hulstein, A. A. Bakke, and T. K. Bundtzen, Geology, "exploration and discovery in the Tintina gold province, Alaska and Yukon: Society of Economic Geologists", Special Publication 9 (2002) 241-274.

42. D. C. Murphy, "Geology of the McQuesten River region, northern McQuesten and Mayo map areas, Yukon Territory: Exploration and Geological Services Division", Yukon Region, Indian and Northern Affairs Canada, Bulletin 6 (1997) 95.

43. E. E. Marsh, C. J. R. Hart, R. J. Goldfarb, T. L. Allen, "Geology and geochemistry of the Clear Creek Gold occurrences, Tombstone Gold belt", central Yukon Territory: Yukon Exploration and Geology 1998, Exploration and Geological Services Division, Yukon Region, Indian and Northern Affairs Canada (1998) 185-196.

۴۴. م. حاجی زاده، *توزیع فضایی طلا در منطقهٔ موته و نقش کنترل کننده‌های ساختمانی دراین توزیع*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم تهران (۱۳۸۸) ۱۱۰.

45. P. L. Blevin, "Redox and compositional parameters for interpreting the granitoid metallogeny of eastern Australia: implications for Gold-rich ore systems", Resource Geology 54 (2004) 241-252.

46. M. J. Abdollahi, M. H. Karimpour, A. Kheradmand, "O-H and S stable isotopes in the Muteh gold deposit, Golpaygan area", Isfahan, Iran. Geological Survey of Iran, Geology Symposium, 26rd, Tehran, Iran, (2007) 60-71.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]