

معرفی کانسار موته به عنوان سامانه طلای مرتبط با توده‌های نفوذی

بهزاد مهرابی،* ابراهیم طالع فاضل، مجید قاسمی سیانی: دانشگاه تربیت معلم تهران
مریم شهابی‌فر: مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی 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. کانزایی طلا مرتبط با دگرسانی‌های گرمایی شدید در راستای پهنه‌های برشی شکل‌پذیر، با مجموعه دگرسانی رخساره شیبست سبز شامل کوارتز + سریسیت + کلریت + آلیت و دگرسانی سولفیدی و سیلیسی شدن نزدیک به منطقه کاندار صورت گرفته است. کانی‌شناسی کانه شامل، پیریت، کالکوپریت، سولفید مس- بیسموت (امپلکتیت)، آرسنوپریت، پیروتیت، بیسموت، طلا و مقادیر اندکی گالن و اسفالریت است. رخداد طلای طبیعی در رگه‌های کوارتز، به صورت ادخال در پیریت و کالکوپریت‌های نسل دوم و بافت پرکننده شکستگی‌ها در درون و اطراف پیریت‌های داندرشت 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 CO₂)، آبگین- کربنیک و سیالات آبگین در مناطق معدنی چامخاتون و سنجد است. بر این اساس، سیالات کربنیک با دمای همگن شدن CO₂ (Th_{CO2}) ۱۲/۶ تا ۲۷/۳°C، سیالات آبگین- 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 طلا دار و ۲) شوری ۱۶/۴ تا ۲۸/۲ درصد و دمای همگن شدن نهایی ۱۴۷/۴ تا ۲۴۵/۶°C، متعلق به رگه‌های عقیم کوارتز هستند. در حالی که اغلب خصوصیات ذکر شده پیشین در ارتباط با ژنز کانسار موته، مشابه با ذخایر طلای کوهزایی (مزوترمال) است، ویژگی‌هایی از قبیل، ارتباط ژنتیکی بین تحولات تکتونیکی گوشته با پوسته بالایی طی تاریخچه تکتونوماگمایی پهنه سنندج- سیرجان به همراه 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 کانسازی طلا در منطقه موته، مشابه با سامانه کانزایی مرتبط با توده‌های نفوذی احیایی است.

مقدمه

معدن طلای موته در شمال شرقی گلپایگان، واقع در بخش مرکزی کمر بند نفوذی- دگرگونی پهنه سنندج- سیرجان متشکل از دو کمپلکس دگرگونه غربی و شرقی است که قسمت عمده‌ای از رگه اصلی کوارتز طلا دار در کمپلکس

واژه‌های کلیدی: کانی‌سازی طلا، موته، پهنه برشی، طلای مرتبط با توده نفوذی، سیالات درگیر

دریافت ۸۹/۶/۶

پذیرش ۹۰/۱۱/۱۲

fazel_tale@yahoo.com

* نویسنده مسئول

دگرگونی شرقی در شمال روستای موته تشکیل شده است (شکل ۱). 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 طلا دار، شامل دو زون اصلی چامخاتون و سنجده به‌صورت معادن فعال-رو باز و هشت رخداد کانزایی کوچک‌تر است (شکل ۲). میزان ذخیره کلی کانسار حدود ۱/۷۹ میلیون تن با عیار ۲/۸ گرم در تن طلا در منطقه معدنی چامخاتون و ۱/۷۶ میلیون تن کانسنگ با عیار ۲/۵ گرم در تن طلا در منطقه معدنی سنجده تخمین زده شده است [۱]، [۲]. کانزایی طلا در منطقه عمدتاً همراه با رگه‌های کوارتز طی تغییر شکل ناحیه‌ای منطبق بر زون‌های میلونیته 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، میزان ذخایر طلا با تیپ مشابه از قبیل قیغلوچه، کرویان، قولقوله و زرت‌رشت هستند [۳]، [۴]. پژوهش‌های تیله و همکاران [۵] و سامانی [۶]، حاکی از کانزایی طلا در منطقه در ارتباط با فعالیت‌های گرمایی منشأ گرفته از نفوذی‌های گرانیتیویدی پرکامبرین است. رشیدنژاد و همکاران [۷]، مدل ژنتیکی چشمه‌های آب‌گرم متصاعدی پالئوزوئیک را برای کانسازي در موته مؤثر دانسته و پژوهش‌های موریتز و همکاران [۱]، در منطقه چاه باغ، حاکی از کانزایی طلا در ارتباط با پهنه‌های برشی شکل پنیر- شکنا است که منجر به قطع سنگ بستر دگرگونه شده است. موریتز و همکاران [۱]، کانزایی در منطقه موته را ناشی از تحولات ماگمایی، فعالیت‌های کششی و متعاقباً بالا آمدن پوسته شکننده طی ائوسن دانسته و نقش توده‌های نفوذی در کانزایی طلا را محتمل دانسته است.

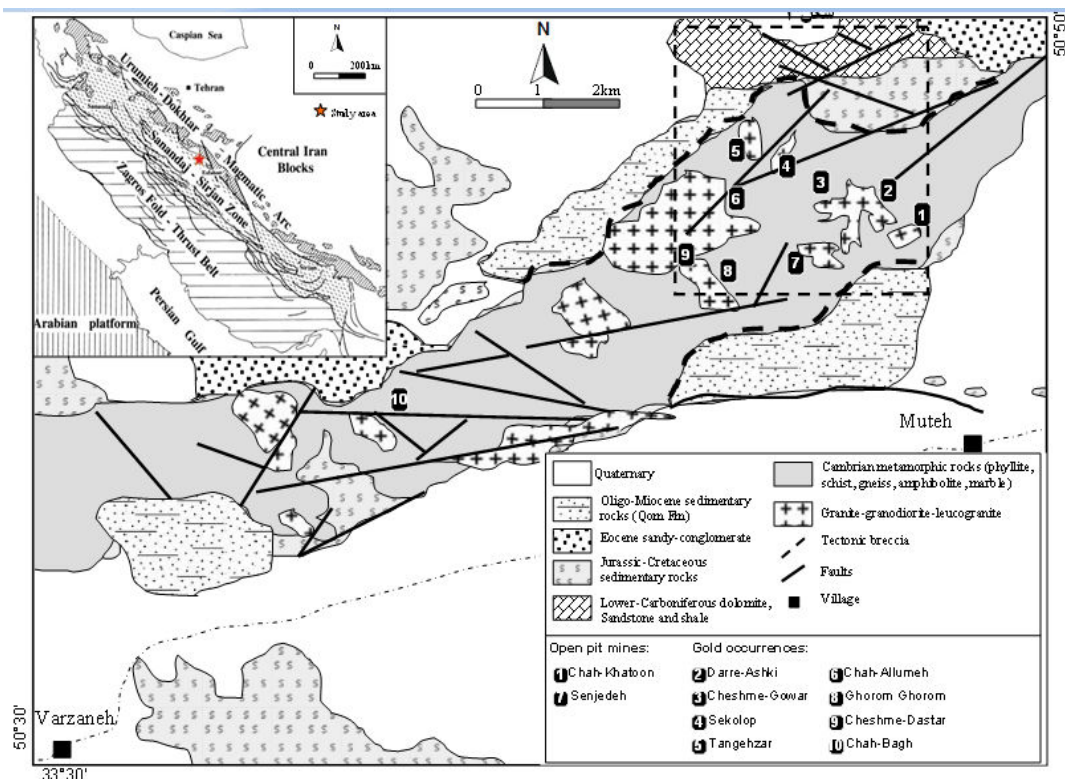
پژوهش حاضر بر مبنای اطلاعات زمین‌شناسی کانسار، شیمی کانه‌ها و سیالات درگیر استوار بوده و استفاده از این داده‌های نوین برای تعیین منشأ سیال کانه‌دار، ارتباط مکانی و زمانی میان ماگماتیسم و کانزایی و مقایسه کانسار با خصوصیات رگه‌های کوارتز طلا دار نوع کوهزایی و نوع مرتبط با توده‌های نفوذی در ایالت‌های کانزایی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

زمین‌شناسی منطقه

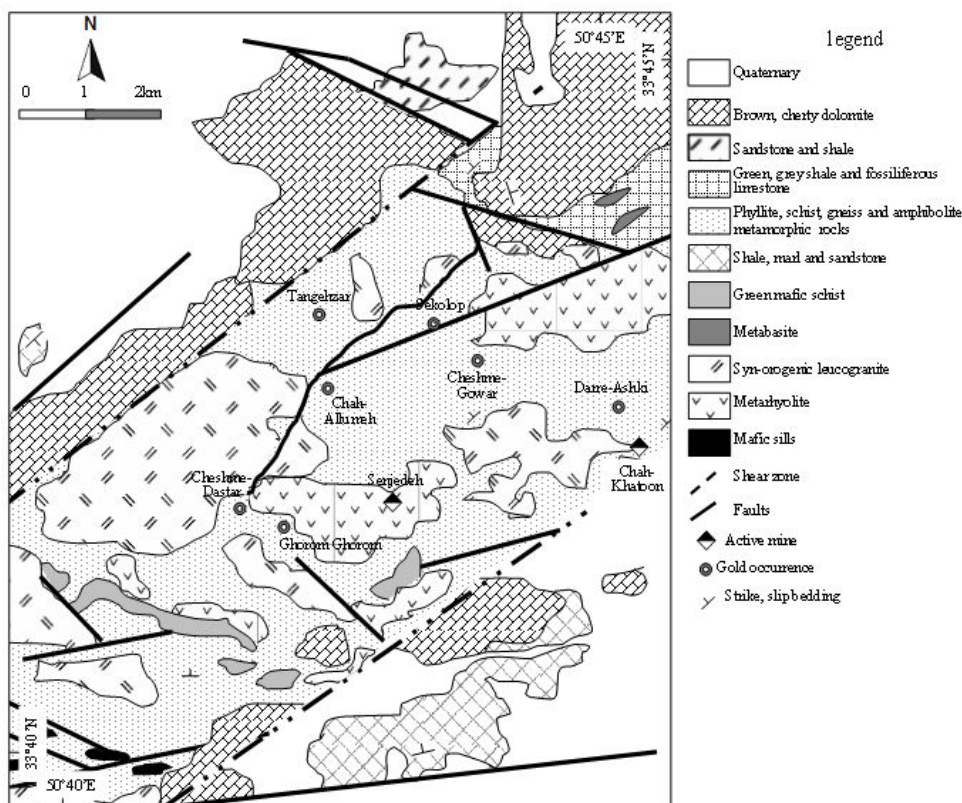
مجموعه سنگ بستر غرب ایران متشکل از سنگ‌های دگرگونی پالئوزوئیک تا ترشیری، افیولیت ملانژهای مزوزوئیک، سنگ‌های دگرگونه-رسوبی و توده‌های نفوذی متعدد است که غالباً به‌وسیله مجموعه‌های نفوذی گرانودیوریت و گرانیت (به‌عنوان مثال، باتولیت الوند و کمپلکس گرانیتی بروجرد) قطع شده و زیرمجموعه سنگ‌های آتشفشانی کالک‌آلکان-آلکان قرار گرفته‌اند [۹].

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

آلبیت شیست، و سنگ‌های آنرین لوکوگرانیت، متاولکانیک ریولیت، توف‌اندزینی و لاوا است (شکل ۲). این سنگ‌ها بسته به موقعیت قرارگیری نسبت به مناطق کانسازای واقع در پهنه برشی، دارای درجه دگرگونی متفاوتی هستند. سنگ‌های دگرگونه- رسوبی به رنگ 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 جنوب غرب منطقه معدنی، سیل‌های دگرگون شده درشت تا متوسط بلور حاوی برگوارگی از جنس متاگابرو در سنگ‌های گرانیتی و دگرگونه- رسوبی منطقه نفوذ کرده‌اند. توده‌های گرانیتی شامل طیفی از سنگ‌های مونزوگرانیت آلکان، گرانودیوریت، تونالیت و سنگ‌های نفوذی سینیت است که به وسیله دایک‌های مافیک، میکروگرانیت، رگه‌های آپلینی و سنگ‌های نفوذی پگماتیتی قطع شده‌اند. این واحدهای گرانیتی شامل کانی‌های کوارتز، بیوتیت، میکروکلین، الیگولاز، موسکوویت و کانی‌های فرعی زیرکن و اسفن هستند که در مجاورت پهنه‌برشی کانی‌سازی شده متحمل دگرسانی‌های سیلیسی، سولفیدی (به‌طور عمده شامل پیریتی شدن) و به میزان کمتر سربستی شدن و کائولینیتی شدن، شده‌اند.



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



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

زمین‌شناسی ساختمانی

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

رخداد رگه‌های کوارتز

کانهزایی در موته به طور 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

گرانودیوریت رخ داده است. با توجه به پژوهش‌ها، دست کم دو تیپ رگه کوارتز طلا دار با راستای مختلف با عنوان رگه‌های نوع ۱ و ۲، نسبت به توالی زمانی تشکیل، در منطقه 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 مجموعه وقایع دگرشکلی، فابریک‌های مرتبط با کانه‌زایی، رخداد‌های دگرگونی و فعالیت‌های ماگماتیسم در پهنه سنندج- سیرجان (SSZ) بر مبنای [۱۰]، [۱۱]

ماگماتیسم	دگرگونی	فابریک مرتبط	دگرشکلی
	دگرگونی قهقرایی (M_3) با ظهور کانی‌های کلریت- اکتینولیت به همراه رخساره شیمت سبز	پهنه‌های برشی شکل‌پذیر (با راستای شمال غرب-جنوب شرق) و شکنا (با راستای شمال شرق-جنوب غرب) به طور محلی همراه با فابریک‌های C-S، ساختارهای میکاماهی و سایه فشار کیلواژ کنگره‌های S_3 با راستای شمال غرب-جنوب شرق و فابریک کینگ باند به همراه صفحه محوری F_3	دگرشکلی نوع سوم (D_3) ایجاد پهنه برشی شکنا تا شکنا- شکل‌پذیر ناشی از بالا آمدگی پهنه SSZ در آغاز ترشیری 
جای‌گیری توده‌های نفوذی گرانیتوئیدی در منطقه ناشی از فعالیت‌های کوه‌زایی کرتاسه پایانی-پالئوسن	دگرگونی مجاورتی (M_2) ناشی از جای‌گیری توده‌های نفوذی و تشکیل فنوکریست‌های گارنت- استارولیت- هورنبلند تحت شرایط رخساره آمفیبولیت	گسل‌های عادی چپ‌گرد با راستای شمال غرب-جنوب شرق به همراه پهنه برشی چپ‌گرد بیوتیت‌های کشیده شده همراه با پورفیر و کلاستیک‌های پلاژیوکلاز تشکیل بر گواره نافذاسلیتی (S_2) با راستای شمال غرب-جنوب شرق همراه با تشکیل چین‌های نامتقارن (F_2)	دگرشکلی نوع دوم (D_2) تشکیل پهنه‌های برشی در راستای شمال غرب- جنوب شرق در نتیجه برخورد مایل صفحه عربی- آفریقا با بخش جنوب غربی زون SSZ 
	دگرگونی دیناموترمال (M_1) مرتبط با تحولات کوه‌زایی مزوزوئیک با حضور مجموعه کانی‌های کلریت- گارنت- فلدسپار پتاسیم ± مگنتیت در سنگ‌های رسوبی- دگرگونی پلیتی	تشکیل چین‌های بزرگ مقیاس (F_1) و شیب‌توزیته صفحه‌های شکل (S_1) تفکیک باندهای کانی‌های تیره و روشن در سنگ‌ها گسل‌های تراستی بزرگ مقیاس ناشی از فرورانش، که منجر به جابه‌جایی و رخنمون سنگ‌های بستر دگرگونه در شمال شرقی حاشیه قاره‌ای نئوتیس شده	دگرشکلی نوع اول (D_1) تحولات دگرگونی و تکتونیکی پهنه SSZ طی ژوراسیک پایانی- کرتاسه آغازین 

۱) رگه‌های کوارتز نوع ۱ شامل مجموعه کانی‌های پیریت، کالکوپیریت، سولفید مس- بیسموت، پبروتیت، آرسنوپیریت، الکتروم و مارکاسیت همراه با کانی‌های سیلیکاته آلیت، فلدسپار پتاسیم و کوارتز راستای پهنه برشی با مؤلفه چپگرد-عادی و امتداد N25-35W در مناطق معدنی چامخاتون و سنجده تشکیل شده است. طبق مطالعات کوهستانی [۸]، رگه‌های کوارتز کانهدار در محدوده معدنی چامباغ متشکل از پیریت، کالکوپیریت، آرسنوپیریت مس‌دار، دیژنیت، اکسید آهن، مالاکیت و آزوریت است که در راستای پهنه برشی شکل‌پذیر با مؤلفه چپگرد- معکوس و راستای NW شکل گرفته است (شکل ۳ الف). همچنین مجموعه کانی‌های کلسیت، پیریت، سربیسیت، کائولینیت و موسکویت در سنگ‌های برشی و خرد شده همراه با رگه‌های کوارتز طلادار در منطقه فراوان هستند. این نوع رگه‌ها در منطقه از کوارتزهای دانهرشت شیرین‌رنگ تا شفاف با بافت‌های شانه‌ای و شعله‌ای به همراه پیروکلاست‌های فلدسپار پتاسیم تشکیل شده‌اند [۱۲]. متاریولیت‌ها و سنگ‌های سیلیسی حاوی کانی‌های سولفیدی مهم‌ترین سنگ میزبان رگه‌های نوع ۱ در منطقه هستند.

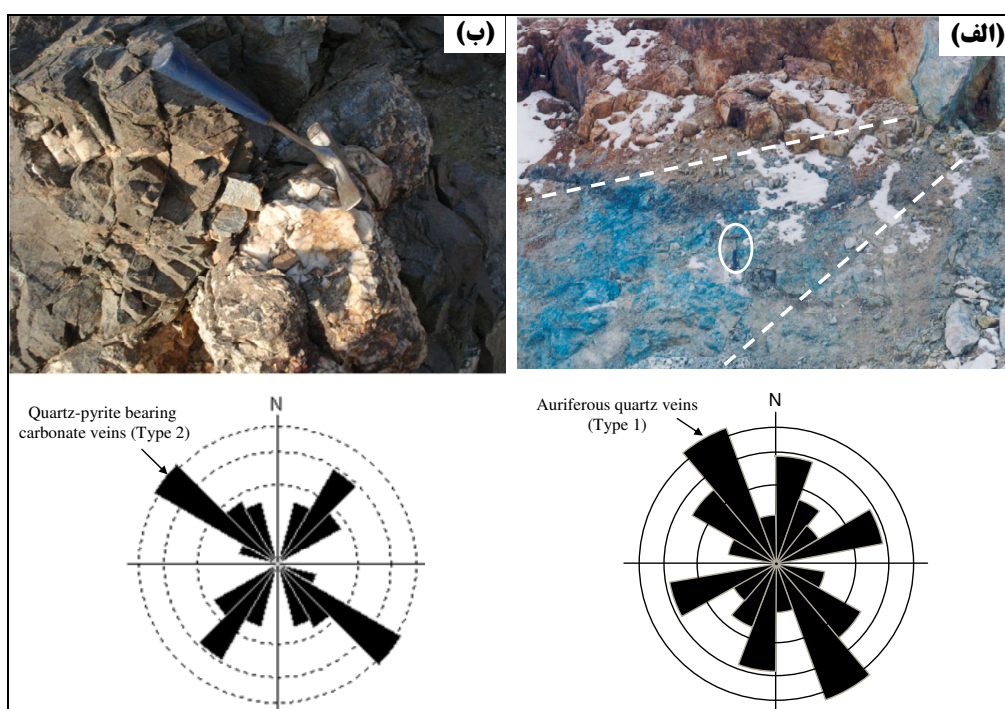
۲) رگه‌های کوارتز-پیریت- کربنات نوع ۲ همراه با سنگ‌های سیلیسی و به‌شدت دگرسان در محدوده معدنی چامخاتون رخ داده است که در سطح با آغستگی‌های قرمز تا سرخ رنگ اکسید آهن-منگنز آبدار مشخص می‌شود. رگه مذکور با راستای N40-50W و شیب مخالف، به‌طور عمده متشکل از کوارتز، کربنات، پیریت و مسکویت‌های گرمایی هستند (شکل ۳ ب). بافت رگه به‌صورت پرکننده فضای خالی است که بلورهای خودشکل تا نیمه شکل‌دار کوارتز در آن 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 آغستگی‌های اکسید آهن ثانویه است.

کانه‌زایی و دگرسانی

در نگاهی کلی، عناصر کنترل‌کننده کانی‌سازی در منطقه 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 میولونیتی 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. بیشینه مقدار 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 منطقه موته دست کم دو نسل کانی‌سازی یکی در کرتاسه پایانی- پالئوسن (۵۶ تا ۶۸ میلیون سال) [۷] و دیگری براساس سن‌سنجی $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ (موریتز و همکاران [۱])، ائوسن (۳۸/۵ تا ۵۵/۷ میلیون سال) تشخیص داده شده است. کانی‌سازی طلا همراه با دگرسانی گرمایی دست‌کم به دو صورت زیر رخ داده است:

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 شیبست‌های دگرگون شده.

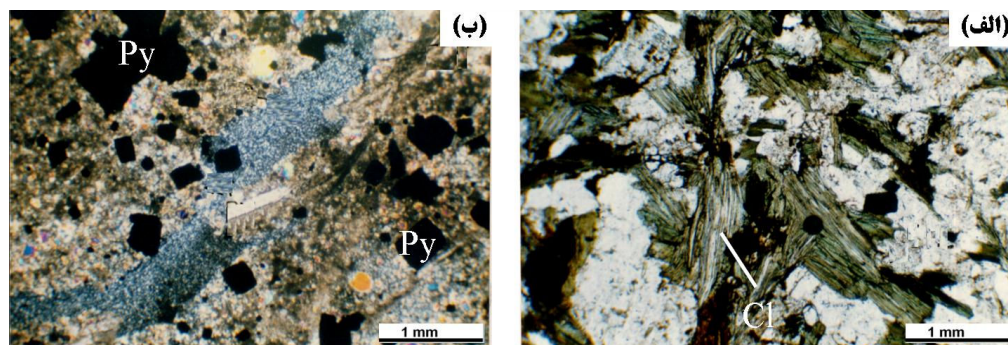
۲. کانی‌سازی همراه با مقادیر فراوان رگه و رگچه‌های کوارتز-سولفیدی تشکیل‌شده در راستای سامانه پهنه‌های برشی شکل‌پذیر-شکنا. پیریت و کالکوپیریت به عنوان کانی‌های غالب در منطقه مهم‌ترین فازهای حامل کانی‌سازی طلا نیز محسوب می‌شوند. علاوه بر آن کانی‌های مارکاسیت، بیسموت، سولفید مس-بیسموت، آرسنوپیریت و پیروتیت 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 شیبست هستند (جدول ۱).



شکل ۳. نمایی از تصاویر صحرایی از دو تیپ رگه کوارتز طلادار در منطقه، شامل الف) رگه کانه‌دار نوع ۱ با راستای $N25-35W$ در امتداد پهنه برشی اصلی معدن سنجد که در نتیجه فعالیت‌های سوپرژن به صورت آغستگی‌های سطحی مالاکیت، کولین و اکسید آهن دیده می‌شود و ب) نمایی از رگه کوارتز-پیریت-کربنات نوع ۲ با راستای $N40-50W$ در سنگ میزبان سیلیسی با بافت پرکننده فضای خالی در محدوده معدنی چاهخاتون

دگرسانی‌های منطقه، شامل دگرسانی سیلیسی، 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 به سمت مرکز کانی‌زایی، شدت دگرسانی افزایش می‌یابد. کانی‌شناسی دگرسانی‌ها، بافت‌های جانشینی و تشکیل فابریک دگرگونی حاکی از یک مجموعه دگرگونی دما پایین است که به سمت کانی‌سازی، زون‌بندی مشخصی را نشان می‌دهد، چنان‌که سیلیسی

شدن و سولفیدی شدن در مجاورت پهنه‌های برشی و کانه‌زایی، کلریتی شدن در مناطق دور از کانی‌سازی و سنگ میزبان و بین این دو (منطقه حد واسط) دگرسانی‌های سریسیتی شدن و کربناتی شدن رایج است. مقادیر بالای طلا در زون دگرسانی سیلیسی همراه با سنگ‌های متاریولیتی میلوئیتی شده و سنگ‌های کوارتز-کلریت-بیوتیت شیبست 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 زمینه کوارتز و فلدسپار پتاسیم، و ب) سولفیدی شدن با حضور پیریت (Py) در زمینه کانی‌های کربناته از رگه‌کوارتز-کربناته نوع ۲

کانی‌شناسی و توالی پاراژنتیک

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

کانی‌های سولفیدی به صورت 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. موناژیت (حاوی عناصر کمیاب La و Ce)، آنکریت، روتیل، زیرکن، مارکاسیت، بیسموت و طلای آزاد نیز به مقدار کم در رگه‌ها تشخیص داده شدند. بررسی‌ها حاکی از رخداد سه نسل کوارتز شامل، کوارتز نسل اول (Qz1) در شیبست‌های اولترامیلونیتی و میلوئیتی واقع در پهنه‌های برشی به صورت پورفیروکلاست بیضوی همراه با پیریت نسل اول، کوارتز نسل دوم (Qz2) به صورت رگچه‌های کوارتز-سولفیدی و ریزدانه همراه با پیریت نسل دوم در شیبست‌های میلوئیتی کربناته و کوارتز نسل سوم (Qz3) در فاز نهایی کانه‌زایی در رگه‌های کوارتز-سولفید همراه با پیریت نسل اول و دوم است (شکل ۵ الف).

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

Host rock Sample No.	Qz-Chl-Bi Schist		Granite		Meta-rhyolite			Amphibolite
	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 (مرحله اول)، کانی‌سازی اصلی (مرحله دوم) و سوپرژن (مرحله سوم) است، که به ترتیب شامل این مراحل است:

۱. مرحله اول کانی‌سازی (stage I) با حضور کانی‌های اپاک و سیلیکاته پلاژیوکلاز، کوارتز، موسکویت، پیریت نسل اول، و مقادیر ناچیزی اسفالریت، گالن و پیروتیت.

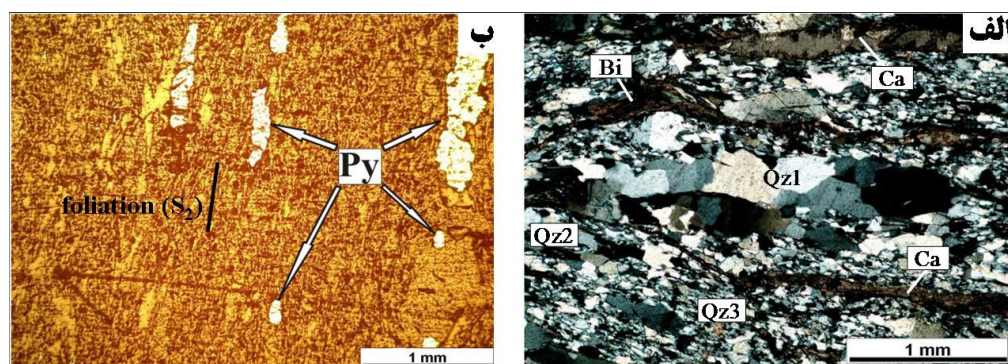
۲. مرحله دوم کانی‌سازی (stage II) که خود متشکل از دو زیر مرحله شامل، الف) زیرمرحله پیش‌غنی شده^۱ متشکل از پیریت و کالکوپیریت نسل اول و مقادیر جزئی کانی‌های موناژیت، بلورهای خوششکل کوارتز و کلسیت به صورت افشان- رگچه‌ای در رگه کوارتز- کربنات نوع ۲؛ و ب) زیرمرحله غنی‌شده^۲ متشکل از پیریت و کالکوپیریت طلادار نسل دوم، سولفید مس- بیسموت، آرسنوپیریت و مقادیر ناچیزی کانی‌های تلوریم‌دار و طلای آزاد است. این مجموعه به‌طور رایج به همراه کانی‌های باطله فلدسپار پتاسیم، آلبیت و کوارتز متشکل‌های اصلی رگه کوارتز- سولفیدی نوع ۱ هستند.

۳. کانی‌سازی مرحله سوم (stage III) با مجموعه کانی‌های فاز سوپرژن در منطقه شناخته می‌شود که غالباً با بافت پراکنده در سنگ میزبان دگرسان شده مشاهده می‌شود و به‌طور عمده شامل مارکاسیت، همتیت، کائولینیت، کالکانتیت، ژپیس 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



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

کانه‌های سولفیدی و طلا

پیریت، کالکوپیریت، آرسنوپیریت، سولفید مس-بیسموت، دیژنیت و کولین کانه‌های سولفیدی رایج در کانسار موته هستند که به‌صورت دانه‌پر اکنده، 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 فاز اصلی همراه کانزایی طلا است. پیریت عمدتاً در دو نسل (۱) پیریت‌های نیمه خودشکل تا بی‌شکل دانه متوسط تا ریز (بیش از ۱۰۰ میکرون) در سنگ‌های گرانیتی یا رگه‌های کوارتز ناشی از دگرگونی به‌صورت قطع‌کننده برگوارگی و حاوی مقادیر اندکی طلا به‌صورت محلول جامد و (۲) پیریت‌های خودشکل تا نیمه خودشکل (بیش از ۱ میلی‌متر) که همزمان با دگرشکلی و همروند با برگوارگی میلونیته تشکیل شده و دارای نسبت بالای Au/Ag (بیش از ۳/۴) هستند (شکل ۵ ب و جدول ۳).

کالکوپیریت

پس از پیریت، کالکوپیریت به‌عنوان مهم‌ترین کانۀ سولفیدی در منطقه، در دو نسل شامل، (۱) کالکوپیریت‌های دانه‌ریز، بی‌شکل با بافت پراکنده (بیش از ۱۵۰ میکرون) و فراوانی بیش از ۱٪ که به‌صورت هم‌رشد با پیریت‌های دانه‌ریز تشکیل شده است و (۲) کالکوپیریت‌های دانه‌درشت (بیش از ۵ میلی‌متر) به‌صورت نیمه خودشکل تا بی‌شکل، به‌صورت هم‌رشدی با پیریت‌های نسل اول در گانگ سیلیسی (شکل ۷).

سولفید مس-بیسموت (امپلکتیت)

سولفید مس-بیسموت با نام کانی‌شناسی امپلکتیت^۱ و فرمول شیمیایی $CuBiS_2$ ، پس از پیریت و کالکوپیریت از جمله کانۀ‌های سولفیدی در رگه نوع ۱ کوارتز-سولفیدی است که همراه با پیریت، کالکوپیریت، پیروتیت، فلدسپار

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

دیژنیت و کولین

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

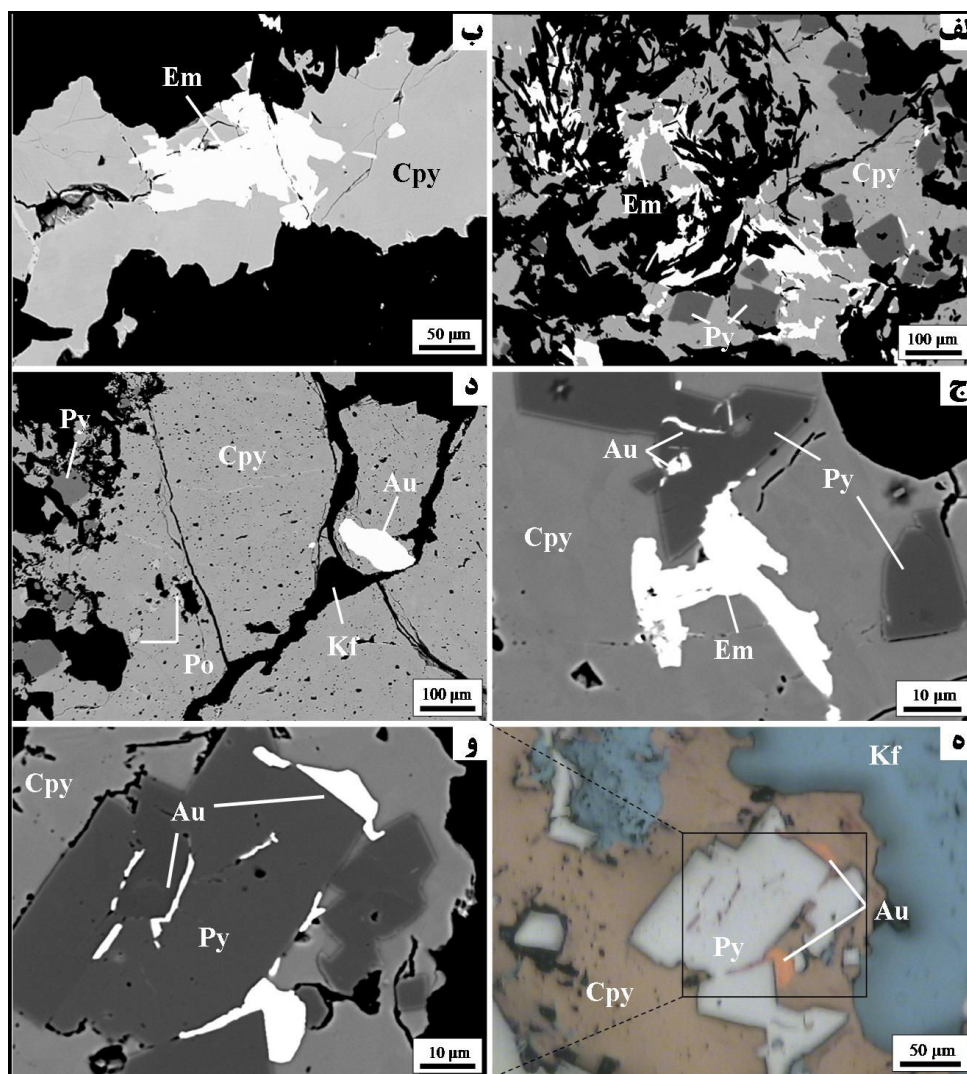
	Stage 1	Stage 2		Supergene
		sub-stage 1	sub-stage 2	
Gangue minerals				
quartz	██████████	██████████	██████████	
albite			██████████	
k-feldspar			██████████	
calcite		██████████		
phylosilicate	██████████			
Ore minerals				
pyrite	██████████	██████████	██████████	
chalcocite		██████████	██████████	
emphalite			██████████	
arsenopyrite			██████████	
monazite		██████████		
sphalerite	██████████			
galena	██████████			
pyrrhotite		██████████		
marcasite	██████████			
chalcantite				██████████
digenite				██████████
covellite				██████████
Fe-Mn oxide				██████████
native gold			██████████	
electrum			██████████	
Alterations				
silicification			██████████	
sulfidation		██████████	██████████	
carbonatization				██████████
chloritization				██████████
sericitization	██████████			
Textures				
open-space filling	██████████	██████████	██████████	
disseminated		██████████	██████████	██████████
euhedral, comb quartz		██████████	██████████	
flamboyant quartz			██████████	

شکل ۶. توالی پاراژنتیک کانی‌ها، دگرسانی و بافت ماده معدنی در کانسار مونه

طلا

بر مبنای بررسی‌های میکروسکوپی و تجزیه‌های میکروسکوپ الکترونی (SEM) و الکترون مایکروپروپ (EPMA) کانی‌سازی طلا در منطقه به دو صورت شامل (۱) ادخال‌های گرد شده در پیریت‌های پراکنده و جانیشینی در شکستگی‌های پیریت و کالکوپیریت‌های درشت‌دانه (شکل ۷) و (۲) به شکل ذرات طلای آزاد (به‌طور متوسط بین ۱۰ تا ۱۰۰ میکرون) پراکنده در زمینه کانی‌های پیریت- کالکوپیریت- آلپیت و فلدسپار پتاسیم دیده می‌شود (شکل ۷).

۱. Emphalite



شکل ۷. تصاویر BSE از کانه‌های سولفیدی رایج در کانسار موته، شامل الف) کانی‌سازی پیریت خودشکل (Py) به همراه فاز تأخیری کانه‌های سولفیدی امپلکتیت (Em) و کالکوپیریت (Cpy)، ب) هم‌شدی کالکوپیریت و امپلکتیت با یکدیگر، ج) کانی‌سازی طلا (Au) در شکستگی‌های ریز پیریت خودشکل به همراه امپلکتیت، در زمینه کالکوپیریت، د) کانی‌سازی طلا به صورت آزاد در زمینه کالکوپیریت طلادار نسل دوم (Cpy II) به همراه پیروتیت (Po)، پیریت ریزدانه نسل اول (Py I) و فلدسپار پتاسیم (Kf) به صورت پرکننده شکستگی‌ها، ه) تصویر میکروسکوپی از پیریت خودشکل، کانی‌سازی طلا و زمینه کالکوپیریت و باطله فلدسپار پتاسیم، و) تصویر قبل با بزرگنمایی بالا از کانی‌سازی طلا به صورت پرکننده شکستگی‌ها و گرد در اطراف دانه پیریت خودشکل نسل دوم (Py II)

شیمی کانه‌ها

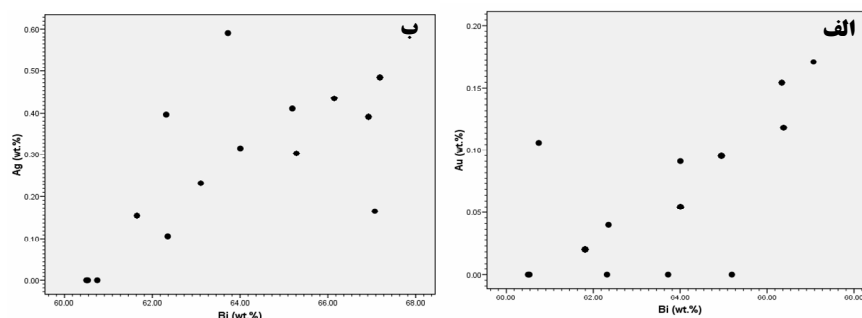
مطالعه ترکیب شیمی کانه‌ها طی مراحل پاراژنتیکی مختلف با دستگاه الکترون میکروپروب مدل CAMECASX100 در مرکز تحقیقات و فرآوری مواد معدنی ایران (IMPRC) با ولتاژ ۲۰ kv و جریان ۲۰ nA انجام گرفته است. براساس مطالعات EPMA عناصر Zn، Au، As، Ag، Cu، Te، Hg، La، Ce از

مهمترین عناصر کمیاب ثبت شده در ترکیب کانی‌های بررسی شده و Au عنصر رایج در پیریت است. همچنین به منظور تشخیص منطقه بندی در بلورهای پیریت، نقاطی از مرکز و حاشیه پیریت‌ها به صورت نقطه‌ای اندازه‌گیری شد. بر اساس تجزیه‌های نقطه‌ای انجام شده، پیریت نسل دوم (Py II) همراه با کالکوپیریت، سولفید مس- بیسموت، پیروتیت و آرسنوپیریت حاوی ۰/۰۳ تا ۰/۳۱ Wt.% طلا و ۰/۰۰ تا ۰/۲۶ Wt.% آرسنیک در ترکیب است. همچنین، مطالعات حاکی از مقادیر بالای عناصر طلا (بیش از ۰/۳۰ Wt.%)، آرسنیک (بیش از ۰/۱۲ Wt.%) و جیوه (بیش از ۰/۱۵ Wt.%) 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 ۱۹/۶ Wt.% به دست آمده که این میزان تمرکز مس، موجب تشکیل کانی دگرسان کالکانتیت در اطراف کانه مذکور شده است. علاوه بر آن، تجزیه نقطه‌ای بر روی کانه سولفیدی مس- بیسموت حاکی از وجود طلا به میزان ۰/۰۱ تا ۰/۱۷ Wt.% 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 تجزیه نسل‌های مختلف طلا، حاکی از وجود ترکیب شیمیایی یکسان در آن‌ها و حضور مقادیر نقره به میزان ۰/۱۷ Wt.% است. میانگین نسبت Au/Ag در کانه‌ها حدود ۸/۵ Wt.% 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 تجزیه 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

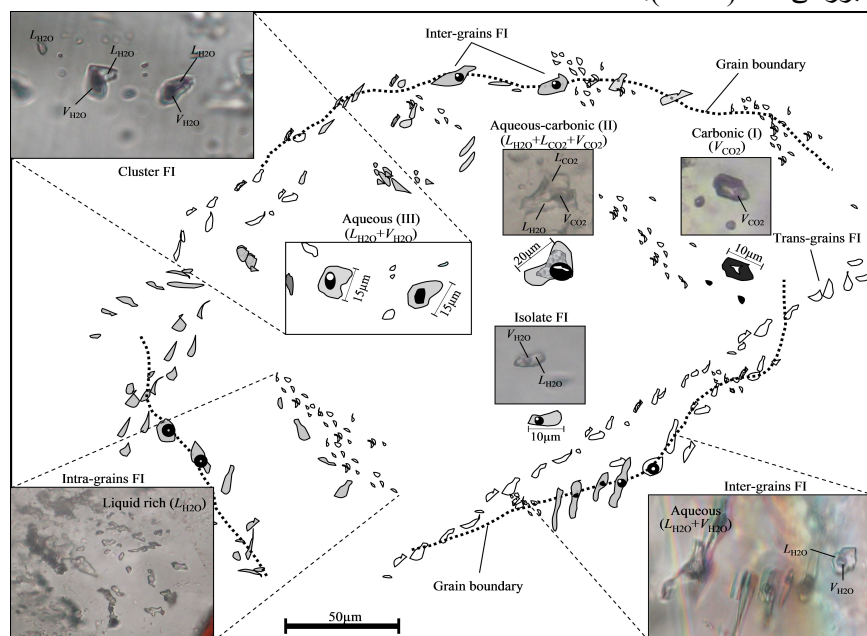
سیالات درگیر

بررسی‌های سیالات درگیر بر روی نمونه‌های هر دو نوع رگه کوارتزی (نوع ۱ و ۲) واقع در بخش‌های مختلف پهنه‌های برشی طلا دار و عقیم در معادن سنجد و چامختون، با استفاده از سکوی گرمایش- سرمایش لینکام مدل

THM600، واحد کنترل‌کننده حرارتی TMS-93 و میکروسکوپ تحقیقاتی Ziess در آزمایشگاه سیالات درگیر دانشگاه تربیت معلم تهران با بهره‌گیری از استانداردهای شپرد 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 به ترتیب با استفاده از رابطه‌های استفاده شده به وسیله بوندنر [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 قطع‌کننده مرزدانه (trans-grain) (فراوانی بیش از ۵۰٪) تشخیص داده شدند [۱۷]، [۱۸]، [۱۹]، [۲۰] که در این میان به غیر از سیالات درگیر قطع‌کننده مرزدانه و تشکیل‌شده در مرزدانه که اغلب جزء سیالات ثانویه و ثانویه کاذب محسوب می‌شوند، باقی سیالات بررسی شدند (شکل ۹).



شکل ۹. شمایی کلی از نحوه 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 سرمایه‌ش- گرمایش سیالات، منجر به تشخیص دست کم سه دسته سیال درگیر براساس ترکیب شامل، سیالات کربنیک (غنی از CO₂)، سیالات آبگین-کربنیک (H₂O-CO₂) و سیالات آبگین (NaCl±CH₄) و سیالات آبگین (H₂O-NaCl±CaCl₂) شده است. داده‌های به‌دست‌آمده از بررسی‌های میکروترمومتری شامل، دمای همگن‌شدن نهایی (Th_{total})، دمای نوب CO₂ (Tm_{CO2})، دمای همگن‌شدن CO₂ (Th_{CO2})، دمای نوب کلاتریت (Tm_{clath})، دمای نوب نهایی یخ (Tm_{ice}) بر حسب درجه سانتی‌گراد و شوری

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

۱. سیالات کربنیک غنی از CO₂

با فراوانی حدود ۳۵٪، اشکال تخم‌مرغی، کروی و بی‌شکل و اندازه 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 H₂O-CO₂ همراه بوده و به دو صورت اولیه و ثانویه کاذب شامل سیالات منفرد، درون‌دانه و قطع‌کننده دانه در رگه‌ها دیده می‌شود. میانگین دمای همگن شدن CO₂ به فازمایع بین ۱۲/۶ تا ۲۷/۳°C با چگالی ۰/۷۱ تا ۰/۸۲ gr/cm³ و دمای ذوب نهایی CO₂ یا T_{mCO2} 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 CH₄ یا N₂ در این سیالات قابل استنباط است. [۲۱].

۲. سیالات آبگین-کربنیک (H₂O-CO₂-NaCl±CH₄)

با فراوانی ۲۰ تا ۳۰٪، با اشکال نامنظم و کریستال منفی، اندازه 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 CO₂ (T_{mCO2}) بین ۵۶/۹- تا ۵۸/۳°C- و دمای ذوب فاز هیدرات گازی کلاتریت (T_{mclath}) 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 CO₂ (Th_{CO2}) به مایع (Th_{v→l})، در دمای ۱۰/۴ تا ۲۳/۴°C صورت گرفت، که به‌ترتیب معادل چگالی‌حجمی ۰/۷۲ تا ۰/۸۴ gr/cm³ گاز CO₂ است. در نهایت دمای همگن شدن نهایی (Th_{total})، در این سیالات بین ۱۴۵/۶ تا ۳۰۴/۲°C به‌دست‌آمد. لازم به ذکر است فراوانی این دسته از سیالات ارتباط مستقیمی با سنگ‌های سیلیسی میزبان طلا در مناطق معدنی چاه‌خاتون و سنجده دارد [۱۲].

۳. سیالات آبگین

با بیش‌ترین فراوانی (حدود ۴۵٪)، به اشکال استوانه‌ای، کشیده و کریستال منفی، اندازه 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 CO₂-H₂O و غنی از CO₂، به‌صورت مجتمع، منفرد، مرزدانه یا قطع‌کننده دانه‌ای و عمدتاً اولیه در متن کانی میزبان ظاهر شده و دارای نسبت بالای بخار به مایع (V/L) در مقایسه با سیالات ثانویه غنی از فاز مایع (L) هستند (شکل ۹). دمای ذوب نهایی یخ (T_{mice})، 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 (۲) بین ۱۲/۵- تا ۲۶/۷°C- (بیش‌ترین

فراوانی ۲۱- تا ۲۲°C-) و شوری ۱۶/۴ تا ۲۸/۲ درصد معادل نمک (Wt.% NaCl) در رگه‌های کوارتز عقیم به‌دست آمد. دمای همگن‌شدن نهایی به فاز مایع (Th_{v-1}) نیز در دو محدوده ۲۱۲/۲ تا ۲۹۷/۶°C، برای سیالات مرزدانه تا قطع‌کننده دانه‌های رگه کوارتز- سولفیدی طلا دار و ۱۴۷/۴ تا ۲۴۵/۶°C، برای سیالات درون‌دانه و مرزدانه‌های 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 درجه سانتی‌گراد (°C)، (L) همگن‌شدن به فاز مایع و n تعداد سیالات

مورد اندازه‌گیری هستند

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

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 یک کمپلکس مهم در شرایط pH نزدیک به خنثی تا اسیدی ضعیف در محلول‌های سولفیدی احیایی دما پایین رایج است [۲۲]، [۲۴]، [۲۵]، در حالی که ترکیبات $AuHS^0$ 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 شیبست 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 کانساز در این نوع ذخایر است [۲۰]، [۲۶]، [۲۷]. با توجه به حضور فلدسپار پتاسیم، آلبيت و سربیسیت به‌عنوان باطله در

رگه‌های طلا دار منطقه، می‌توان چنین استنباط کرد که pH سیال بین ۶ تا ۷ متغیر است [۲۸]، [۲۹]. همچنین عدم تشکیل کانی‌های اکسیدی درجه بالا و حضور ترکیبات تلوریوم و بیسموت‌دار، همراه پیریت، کالکوپیریت و آرسنوپیریت حاکی از ترکیب احیایی سیال گرمایی کانساز در موته است. علاوه بر آن در کانسار موته، به دلیل همراهی پاراژنتیکی طلا با کانه‌های پیریت و کالکوپیریت، شوری متوسط تا پایین سیال‌کانساز، مجموعه دگرسانی سربیسیت- کربنات و مقادیر ناچیز کانی‌های سولفیدی گالن و اسفالریت، نقش کمپلکس‌های بی‌سولفیدی $\text{Au}(\text{HS})_2^-$ در انتقال طلا را پررنگتر می‌کند. تغییرات pH سیال منجر به تشکیل دگرسانی‌کاتولینیت- سربیسیت همراه با افزایش مقادیر یون H^+ به سیال در حال چرخش می‌شود، در حالی که تنشینی کانی‌های کربناته موجب حذف CO_2 از ترکیب سیال کانساز 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 $\log f_{\text{O}_2}$ و کاهش $\log f_{\text{S}_2}$ می‌شود که این تغییرات باعث تنشینی 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 طلا دار، می‌توان گفت کاهش میزان $\log f_{\text{S}_2}$ از عوامل مؤثر در نهشت طلای منطقه است.

مقایسه 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 کانسازایی با وقایع تکتونیکی، دگرگونی و ماگمایی است [۳۲]. امروزه، ذخایر طلای مرتبط با سطوح متفاوت پوسته، با توجه به ارتباط بین کانسازایی و محیط تکتونیکی به‌طور کلی به ذخایر نوع اپی‌ترمال، مرتبط با توده‌های نفوذی یا هاله‌های حرارتی 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 ذکر شده منطبق نباشند.

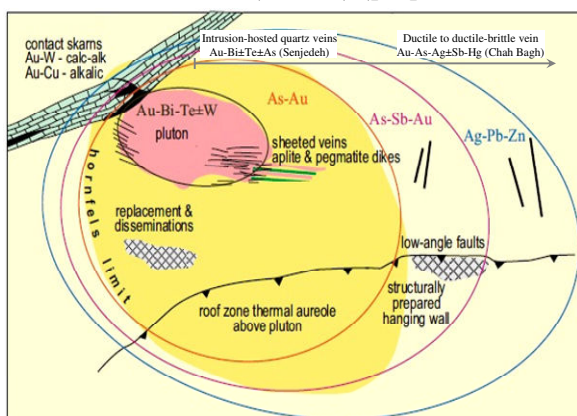
کانسازایی طلا در موته، ویژگی‌هایی مشابه ذخایر نوع کوهزایی دارد که به‌طور عمده شامل، (۱) وجود سنگ‌های در برگیرنده متاپلیتی، (۲) رخداد مجموعه کانیایی نوع سولفید پایین (آرسنوپیریت و پیریت)، (۳) دگرسانی سربیسیت- کربنات و (۴) سیال کانساز نوع آبگین- کربنیک با شوری پایین است.

همچنین خصوصیات ارائه‌شده در این پژوهش، مشابه با ذخایر مرتبط با توده‌های نفوذی شامل، (۱) نفوذی‌های ساب‌آلکان، متالومین با ترکیب حدواسط تا اسیدی واقع در سری ایلمنیتی و مگنتیتی، (۲) حضور سیالات گرمایی کربن‌دار، (۳) همبستگی زیاد طلا با مجموعه عناصر Bi, As, Te و/یا Sb همراه با تمرکز ضعیف Pb و Zn، (۴) محتوای سولفیدی پایین (کمتر از ۵ درصد حجمی) به‌همراه مجموعه کانیایی احیایی متشکل از سولفید مس- بیسموت،

بیسمو تینیت، آرسنوپیریت، پیروتیت، پیریت و مقادیر ناچیز مگنتیت و هماتیت، ۵) همراهی زمانی و مکانی با ماگماتیسیم منطقه [۱]، [۵]، [۶]، [۷].

بر اساس 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 مجموعه سولفیدی احیایی، کانی‌های گانگ، عناصر همراه، وجود سیال CO₂ دار با شوری پایین، کانزایی رگه‌ای مرتبط با دگرگونی، همراهی زمانی و مکانی با گرانیوتیوها و کنترل‌کننده‌های ساختاری محلی اشاره کرد. اما در حالی که ذخایر طلای کوهزایی در واحدهای تکتونیکی فشارشی و کوتاشدگی پوسته واقع در پهنه‌های برشی با مؤلفه ساختاری معکوس تشکیل می‌شوند، در مقابل ذخایر مرتبط با توده‌های نفوذی احیایی متعلق به موقعیت‌های ساختاری کششی طی بالآمدگی/آبزدایی مجموعه‌های دگرگونی سنگ میزبان و کانزایی در سامانه‌های گسلی عادی هستند که در منطقه معدنی موته مشاهده می‌شوند [۱]، [۳۴]، [۳۸].

همچنین بر اساس 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 بر اساس کانی‌شناسی، دگرسانی و توزیع عناصر، تا حدودی در کانسار موته قابل تشخیص است. چنان‌که سامانی [۶] ذخایر طلای مرتبط با توده‌های نفوذی را بر مبنای فاصله با توده، به دودسته ذخایر نزدیک (pluton-proximal) و دور از توده (pluton-distal) تقسیم‌بندی کرده است. ذخایر نزدیک به توده یا میزبان در نفوذی‌های منطقه، غالباً به صورت ورقه‌ای و کمتر رگچه‌ای-استواکورت در سنگ میزبان و مجاورت توده نفوذی با فاصله 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 توده نفوذی و محدوده خارجی هاله دگرگونی به صورت رگه‌های کانهدار کوارتز-سولفیدی با ماهیت اپی‌ترمال تا مزوترمال و در کنترل گسل‌های عمیق منطقه، همراه مجموعه Au-As-Sb±Hg و رگه‌های غنی از Ag±Au قابل مشاهده است (برای مثال ذخایر Donlin Creek در آلاسکا [۴۰] و Tintina Gold Province در ایالات متحده [۴۱]) (شکل ۱۰).



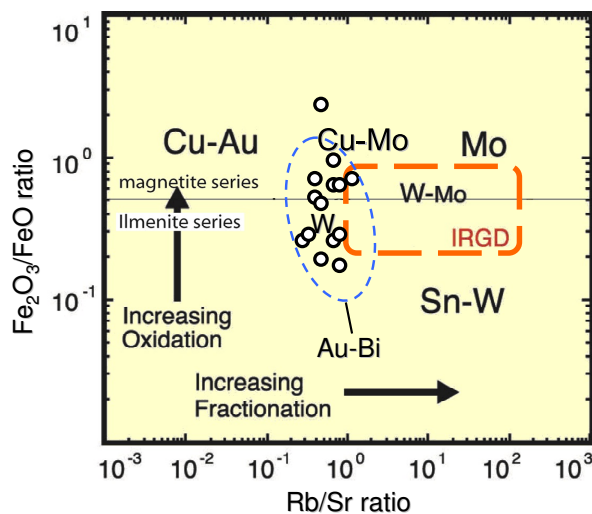
شکل ۱۰. مدل منطقه‌بندی عناصر کانه‌ساز در ذخایر مرتبط با توده‌های نفوذی در ایالت طلای تین تینا (Tintina) نسبت به توده‌های نفوذی شامل، توزیع فضایی عناصر، شکل کانی‌سازی و ساختمان‌های مرتبط با کانی‌سازی [۴۱] به همراه نمایش موقعیت کانسارهای سنجده و چاه باغ در آن

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

آزاد، الکتروم، مجموعه سولفوسالت‌ها و سولفیدهای سازگار با محیط‌های احيایی، همراه دگرسانی فلدسپاتیک با فراوانی آلبیت و فلدسپار پتاسیم و مجموعه $Au - Bi \pm Te \pm As$ است که در تشابه با ذخایر نزدیک به توده یا میزبان در توده نفوذی است. علاوه بر آن، در رخداد طلای چاباغ که در فاصله‌ای دورتر از دیگر رخداد‌های کانی‌سازی در موته قرار گرفته است، فقدان مجموعه $Au - Bi \pm Te$ و حضور عناصر $Au - As - Ag \pm Sb$ ، به همراه آرسنوپیریت مس‌دار، پیریت‌های آرسنیک‌دار و نقره طبیعی در پهنه‌های برشی شکل پذیر - شکنا [۳۹]، حاکی از رخداد کانی‌سازی در رخداد طلای چاباغ در فواصل دورتر از نفوذی‌های مرتبط با کانی‌زایی، کمابیش مشابه با مدل‌هایی است که لنگ و بیکر [۳۳] و هارت و گلفارب [۳۷] ارائه کرده‌اند (شکل ۱۰).

به عقیده مورفی [۴۲] و مارش و همکاران [۴۳]، نفوذی‌های مرتبط با کانی‌زایی طلا ماهیت آلکان، متآلومینوس، کالک‌آلکان و پرآلومینوس داشته و احتمالاً بعد از یک کشیدگی ناشی از حرکات گسل‌های تراس در پوسته قدیمی نفوذ کرده‌اند. سنگ‌های آذرین منطقه موته، با ماهیت کالک آلکان در نمودار تغییرات غلظت عناصر کم‌مذاب بر اساس جای‌گاه تکنونیک، در موقعیت گرانیتهای قوس آتشفشانی (VAG) و ناشی از فرورانش حاشیه فعال قاره‌ای قرار می‌گیرد [۴۴]. نسبت Fe_2O_3/FeO به دست آمده در نمونه‌های گرانیتهی منطقه 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 گرانیتهی 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 ذخایر طلا- بیسموت مطابقت دارند

(شکل ۱۱).



شکل ۱۱. نمودار مقایسه نسبت درجه اکسیداسیون به تفریق در ذخایر مرتبط با توده‌های نفوذی [۴۵]، [۴۶] که در آن نتایج داده‌های توده‌های گرانیتهی منطقه موته (با علامت دایره) در محدوده گرانیتهای مستعد کانی‌زایی Au-Bi قرار می‌گیرند

با توجه به ارتباط زایشی میان سرگذشت تکنومگمایی گوشته لیئوسفری و پوسته بالای طی تاریخچه تحولات پهنه سندنج- سیرجان (SSZ) در ترشیری به همراه بالاآمدگی توده‌های نفوذی ناشی از فعالیت‌های ساختاری کششی طی مراحل پایانی کوهزایی زاگرس و نیز شواهدی همچون زمین‌شناسی کانسار، مجموعه دگرسانی، شیمی کانی‌ها و سیالات درگیر، و با توجه به نظر گروز و همکاران [۳۴] و گلفارب و همکاران [۳۸]، کانسار موته می‌تواند تناسب

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

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

نوع کانسار / خصوصیات	کوهزایی (مزوترمال)	مرتبط با توده‌های نفوذی	کانسار موته
موقعیت تکتونیکی	حاشیه قاره‌ای، رژیم‌های تکتونیکی فشاری همراه با کوتاشدگی پوسته	حاشیه قاره‌ای، رژیم‌های پست‌قوسی کششی همراه با نفوذی‌های مناطق باز شونده	حاشیه قاره‌ای، موقعیت ساختاری کششی طی بالامدگی/بازدایی 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 عادی	گسل‌های عادی با مؤلفه چپگرد و پهنه‌های برشی شکل‌پذیر- شکنا با مؤلفه ساختاری عادی
سنگ‌های آثرین همراه	سنگ‌های فلسیک، دایک‌های لامپروفیری و باتولیت‌ها	پلوتون‌های گرانیتوئیدی احیایی-متالومین تا کمی پرآلومین نوع I، ریولیت	سنگ‌های گرانیتوئیدی متالومینوس احیایی و متاریولیت
شکل‌کنی سازی	رگهای، برشی و پراکنده	رگهای، ورقه‌ای تا صفحه‌ای، جانشینی و برشی	رگهای، شکاف‌پرکن و پراکنده
سنگ میزبان	سنگ‌های مافیک تا الترامافیک، توده‌های نفوذی اسیدی و گری واک‌ها	نفوذی‌های اسیدی تا حدواسط با مقادیر پایین FeO و فقیر از مگنتیت و ریولیت‌ها	سنگ‌های مافیک تا الترامافیک، بیوتیت، آمفیبولیت و لوکوگرانیت
کانه‌ها	طلای آزاد، پیریت ± آرسنوپیریت، استینیت، کتروم، گالن، اسفالریت و کالکوپیریت	بیسموت، پیروتیت، بیسموتینیت، آرسنوپیریت، شلیت، تلور و بیسموت و کالکوپیریت	پیریت، کالکوپیریت، سولفید مس- بیسموت (امپلکتیت)، آرسنوپیریت، پیروتیت، بیسموت و طلای آزاد
عناصر همراه	Au-Ag-As-Sb±Te±W	Au-Bi-Te-W±Ag±Sb±As±Pb±Zn	Au-Bi-Te±Ag±As±Sb±Pb±Zn
ژئوشیمی توده 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 ₂ S و میزان CO ₂ تا ۵mol%	شوری پایین (۲ تا ۶ درصد)، سیالات غنی 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 ۱۰ mol%)، آبگین کربنیک (N ₂ و CH ₄)
نسبت Au/Ag	1-10 gr/ton	<10 gr/ton	8.5 gr/ton
دگرسانی مرتبط	کربناتی شدن، سربستی شدن، سولفیدی شدن و آرژیلیک	دگرسانی پتاسیک (فلدسپار پتاسیم)، سدیک (آلیت)، سربستی شدن و گرایزن	دگرسانی سیلیسی، پتاسیک (فلدسپار پتاسیم)، سدیک (آلیت)، سربستی شدن، کلریتی شدن و کربناتی شدن
منشا 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 توده نفوذی	دارای منطقه‌بندی افقی عناصر نسبت به توده نفوذی

نتیجه‌گیری

کانسار طلای موته با سنگ میزبان متاریولیت، بیوتیت-پلاژیوکلاز گنیس و کوارتز- سربست شیبست ماهیت خردشده، برشی و میلوئیتی تا اولترامیلونیتی دارد که کانه‌سازی به وسیله پهنه‌های برشی شکل‌پذیر- شکنا و مجموعه نفوذی منطقه کنترل می‌شود. مشابه بسیاری از ذخایر طلای جهان، پهنه‌های برشی مجرای هدایت سیال طلا دار و واحدهای ساختاری (به ویژه محل برخورد گسل‌ها و پهنه برشی) مکان مناسب برای ته نشست طلا و عناصر همراه هستند. در کانسار موته، کانه‌زایی طلا مرتبط با دگرسانی‌های گرمابی سیلیسی تحت کنترل پهنه برشی (مشابه رخساره شیبست سبز- زیررخساره آمفیبولیت) است و متشکل از مجموعه سربست + آلیت + فلدسپار پتاسیم + کلریت + کربنات + کوارتز + بیوتیت) است. اضافه بر آن، دگرسانی رایج در سنگ میزبان و رگه‌ها، شامل دگرسانی پتاسیک (فلدسپار پتاسیم)، سدیک (آلیت)، سربستی، کلریتی، کربناتی و به مقدار کم، کائولینیتی شدن است. در منطقه بررسی شده دو دسته رگه طلا دار قابل تفکیک با محتوای کانی‌شناسی، بافت، ساخت و پدیده‌های ساختاری قابل تمیز است که رگه کوارتز- سولفیدی نوع ۱، در یک سامانه گسلی عادی با مؤلفه چپگرد و راستای N25-35W و رگه کوارتز-پیریت- کربنات نوع ۲، در سنگ‌های میلوئیتی و اولترامیلونیتی به شدت تغییر شکل یافته با راستای N40-50W رخ داده

است. در مجموع، حضور سنگ‌های گرانیتی با ماهیت متآلومین و ساب‌آکالن، حضور آلبیت و فلدسپار پتاسیم همراه با کانه‌سازی، محتوای سولفیدی پایین کانه‌ها، رخداد مجموعه $Au-Bi \pm Te \pm As$ معرف شرایط احیایی، حضور سیالات گرمابی کربنیک و ارتباط ژنتیکی میان سرگذشت تکتونوماگمایی پهنه سندانج- سیرجان با رخداد ماگماتیسیم کوهزایی زاگرس در منطقه، احتمالاً نشانه‌هایی از کانه‌سازی طلا، مشابه با سامانه کانه‌زایی مرتبط با توده‌های نفوذی احیایی در منطقه 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 نگرشکلی و نگرسانی در کانی‌سازی طلا در پهنه‌برشی کانسار چاباغ، 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 قابریک‌های کانی‌سازی طلا در پهنه برشی چاباغ در منطقه معدنی موته (جنوب غرب دلیجان، اصفهان)، پایان‌نامه کارشناسی 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.

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 کانسار و عقیق، 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 CO₂ clathrate hydrate + CO₂ liquid + CO₂ 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 H₂S 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.

25. G. Palāyanova, "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.

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 منطقه موته و نقش کنترل کننده‌های ساختمانی در این 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.