

## معرفی کانسارموت 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 موت به در غرب ایران واقع در بخش مرکزی پهنه سندانج- سیرجان (SSZ)، مرتبط با رگه‌های کوارتز، کوارتز- سولفیدی، عیسی‌ها و رگچه‌های قطع کننده سنگ بستر نئوپروتروزوئیک است که غالباً در امتداد پهنه‌های برشی با راستای NW-SE تشکیل شده است. کانیزایی طلا مرتبط با دگرسانی‌های گرمایی شدید در راستای پهنه‌های برشی شکل‌پذیر، با مجموعه دگرسانی رخساره شیبست سبز شامل کوارتز + سریسیست + کلریت + آلپیت و دگرسانی سولفیدی و سیلیسی شدن نزدیک به منطقه کاندار 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، به صورت 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  $\text{CO}_2$ )، آبگین- کربنیک و سیالات آبگین در مناطق معدنی چامخاتون و سنجده است. بر این اساس، سیالات کربنیک با دمای همگن شدن  $\text{CO}_2$  ( $Th_{\text{CO}_2}$ )  $12/6^\circ\text{C}$  تا  $27/3^\circ\text{C}$ ، سیالات آبگین- کربنیک با شوری  $2/3$  تا  $12/5$  درصد و دمای همگن شدن نهایی برابر  $145/6^\circ\text{C}$  تا  $304/2^\circ\text{C}$  و سیالات آبگین، متشکل از دو دسته، (۱) شوری  $2/1$  تا  $15/2$  درصد و دمای همگن شدن نهایی  $212/2^\circ\text{C}$  تا  $297/6^\circ\text{C}$  در رگه کوارتز- سولفیدی طلا دار و (۲) شوری  $16/4$  تا  $28/2$  درصد و دمای همگن شدن نهایی  $147/4^\circ\text{C}$  تا  $245/6^\circ\text{C}$ ، متعلق به رگه‌های عقیم کوارتز هستند. در حالی که اغلب خصوصیات ذکر شده پیشین در ارتباط با ژنز کانسار موت، مشابه با ذخایر طلای کوهزایی (مزوترمال) است، ویژگی‌هایی از قبیل، ارتباط ژنتیکی بین تحولات تکتونیکی گوشته با پوسته بالایی طی تاریخچه تکتونوماگمایی پهنه سندانج- 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 کانسازای طلا در منطقه موت، مشابه با سامانه کانیزایی مرتبط با توده‌های نفوذی احیایی است.

### مقدمه

معدن طلای موت در شمال شرقی گلپایگان، واقع در بخش مرکزی کمربند نفوذی- دگرگونی پهنه سندانج- 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، موت، پهنه برشی، طلای مرتبط با توده نفوذی، سیالات درگیر

پذیرش ۹۰/۱۱/۱۲

دریافت ۸۹/۶/۶

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 به صورت 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 میلونیتی واقع در سنگ‌های دگرگونی و سنگ‌های آتشفشانی دگرگون‌شده از قبیل گنیس و شیست شکل گرفته است. به طور 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 قیغلوچه، کرویان، قولقوله و زرت‌رشت هستند [۳]، [۴]. پژوهش‌های تیل و همکاران [۵] و سامانی [۶]، حاکی از کان‌زایی طلا در منطقه در ارتباط با فعالیت‌های گرمایی منشأ گرفته از نفوذی‌های گرانیتوئیدی پرکامبرین است. رشیدنژاد و همکاران [۷]، مدل ژنتیکی چشمه‌های آبگرم متصاعدی پالئوزوئیک را برای کان‌سازی 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 ائوس دانسته و نقش توده‌های نفوذی در کان‌زایی طلا را محتمل دانسته است.

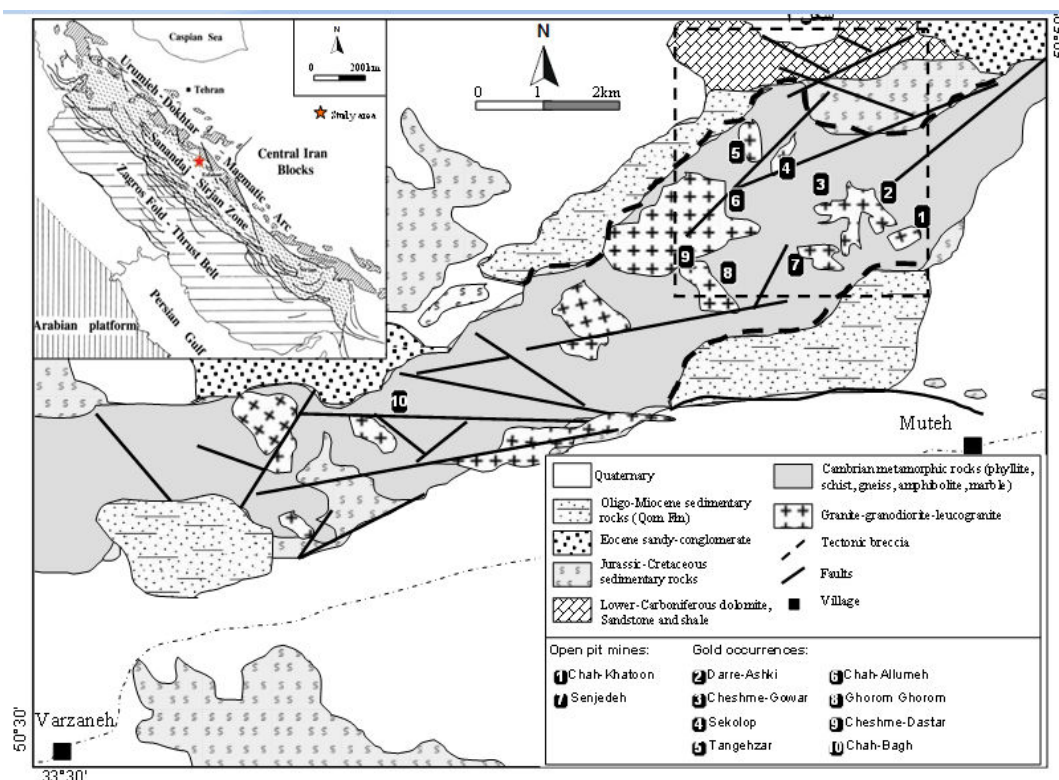
پژوهش حاضر بر مبنای اطلاعات زمین‌شناسی کانسار، شیمی کانه‌ها و سیالات درگیر استوار بوده و استفاده از این داده‌های نوین برای تعیین منشأ سیال کانه‌دار، ارتباط مکانی و زمانی میان ماگماتیسم و کان‌زایی و مقایسه کانسار با خصوصیات رگه‌های کوارتز طلا دار نوع کوهزایی و نوع مرتبط با توده‌های نفوذی در ایالت‌های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

### زمین‌شناسی منطقه

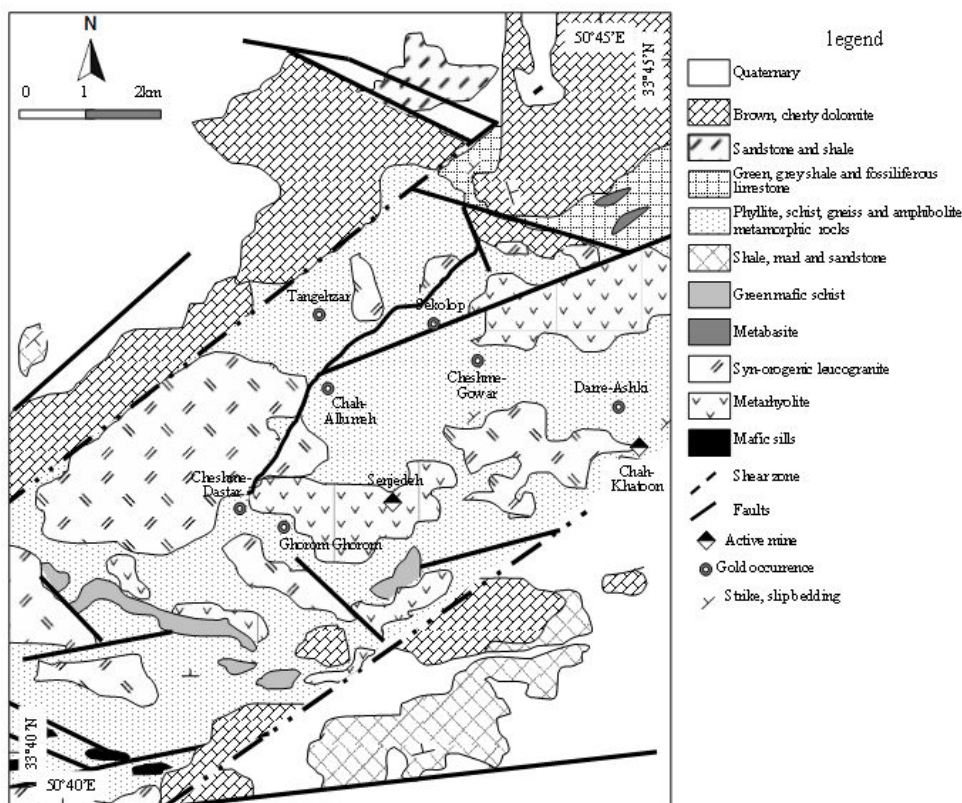
مجموعه سنگ بستر غرب ایران متشکل از سنگ‌های دگرگونی پالئوزوئیک تاترشیری، افیولیت ملانژهای مزوزوئیک، سنگ‌های دگرگونه رسوبی و توده‌های نفوذی متعدد است که غالباً به وسیله مجموعه‌های نفوذی گرانودیوریت و گرانیت (به عنوان مثال، باتولیت الوند و کمپلکس گرانیتی بروجرد) قطع شده و زیرمجموعه سنگ‌های آتشفشانی کالک‌آلکان-آلکان 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 سنگ های آذرین لوکوگرانیت، متاولکانیک ریولیت، توف آندزیتی و لاوا است (شکل ۲). این سنگ ها بسته به موقعیت قرارگیری نسبت به مناطق کانسازای واقع در پهنه برشی، دارای درجه دگرگونی متفاوتی هستند. سنگ های دگرگونه رسوبی به رنگ قهوه ای مایل به زرد همراه با ساخت های خطوارگی و برگوارگی دارای کانی شناسی کوارتز + بیوتیت + موسکوویت + فلدسپار + آلبیت + هورنبلند + کلریت + اپیدوت است که باند های غنی از کلریت، بیوتیت و کوارتز در میان آن ها نفوذ کرده اند. در جنوب و جنوب غرب منطقه معدنی، سیل های دگرگون شده درشت تا متوسط بلور حاوی برگوارگی از جنس متاگابرو در سنگ های گرانیتی و دگرگونه رسوبی منطقه نفوذ کرده اند. توده های گرانیتی شامل طیفی از سنگ های مونزوگرانیت آلکان، گرانودیوریت، تونالیت و سنگ های نفوذی سینیت است که به وسیله دایک های مافیک، میکروگرانیت، رگه های آپلینی و سنگ های نفوذی پگماتیتی قطع شده اند. این واحدهای گرانیتی شامل کانی های کوارتز، بیوتیت، میکروکلین، الیگولاز، موسکوویت و کانی های فرعی زیرکن و اسفن هستند که در مجاورت پهنه برشی کانی سازی شده متحمل دگرسانی های سیلیسی، سولفیدی (به طور عمده شامل پیریتی شدن) و به میزان کمتر سرپسیتی شدن و کانولینیتی شدن، شده اند.



شکل ۱. موقعیت منطقه معدنی موته در پهنه ساختاری سنج-سیرجان و نقشه زمین شناسی ساده شده 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

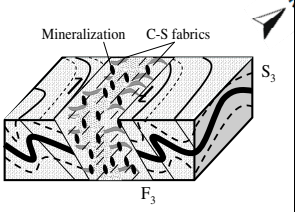
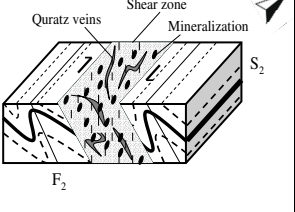
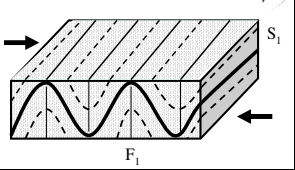
منطقه معدنی موته به عنوان بخشی از پهنه تکتونیکی- دگرگونی سندانج- سیرجان همانند سایر بخش‌های این پهنه دارای تاریخچه دگرشکلی چند مرحله‌ای شامل رخدادهای چین‌خوردگی، گسلش، دگرشکلی و دگرگونی است (شکل ۲). پژوهش‌های ساختاری انجام شده، نشان‌دهنده تأثیر فازهای متعدد و شدید دگرشکلی است، به‌طوری که توالی‌های سنگی 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 شکنا 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).

### رخدادهای 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

گرانودیوریت رخ داده است. با توجه به پژوهش‌ها، دست کم دو تیپ رگه کوارتز طلادار 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 سنج-سیرجان (SSZ) بر مبنای [۱۰]، [۱۱]

| ماگماتیسم                                                                                     | دگرگونی                                                                                                                                                        | فابریک مرتبط                                                                                                                                                                                                                                                 | دگرشکلی                                                                                                                                                                                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                               | دگرگونی قهقرایی ( $M_3$ ) با ظهور کانی‌های کلریت-اکتینولیت به همراه رخساره شیست 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 کنگره‌ای $S_3$ با راستای شمال غرب-جنوب شرق و فابریک کینگ باند به همراه صفحه محوری $F_3$ | <b>دگرشکلی نوع سوم (<math>D_3</math>)</b><br>ایجاد پهنه برشی شکنا تا شکنا-شکل‌پذیر ناشی از بالا آمدگی پهنه SSZ در آغاز ترشیری<br>                                |
| جای‌گیری توده‌های نفوذی گرانئوئیدی 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 برگواره نافذاسلیتی ( $S_2$ ) با راستای شمال غرب-جنوب شرق همراه با تشکیل چین‌های نامتقارن ( $F_2$ )             | <b>دگرشکلی نوع دوم (<math>D_2</math>)</b><br>تشکیل پهنه‌های برشی در راستای شمال غرب-جنوب شرق در نتیجه برخورد مایل صفحه عربی-آفریقا با بخش جنوب غربی زون SSZ<br> |
|                                                                                               | دگرگونی دیناموترمال ( $M_1$ ) مرتبط با تحولات کوه‌زایی مزوزوئیک با حضور مجموعه کانی‌های کلریت-گارنت-فلدسپار پتاسیم $\pm$ مگنتیت در سنگ‌های رسوبی-دگرگونه پلیتی | تشکیل چین‌های بزرگ مقیاس ( $F_1$ ) و شیستوزیته صفحه‌ای 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 نئوتتیس شده       | <b>دگرشکلی نوع اول (<math>D_1</math>)</b><br>تحولات دگرگونی و تکتونیکی پهنه SSZ طی ژوراسیک پایانی-کرتاسه آغازین<br>                                             |

(۱) رگه های کوارتز نوع ۱ شامل مجموعه کانی های پیریت، کالکوپیریت، سولفید مس- بیسموت، پیرویت، آرسنوپیریت، الکتروم و مارکاسیت همراه با کانی های 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]، رگه های کوارتز کانهدار در محدوده معدنی چامباغ متشکل از پیریت، کالکوپیریت، آرسنوپیریت مسدار، دیژنیت، اکسید آهن، مالاکیت و آزوریت است که در راستای پهنه برشی شکل پذیر با مؤلفه چپگرد- معکوس و راستای NW شکل گرفته است (شکل ۳ الف). همچنین مجموعه کانی های کلسیت، پیریت، سربیسیت، کائولینیت و موسکویت در سنگ های برشی و خرد شده همراه با رگه های کوارتز طلادار در منطقه فراوان هستند. این نوع رگه ها در منطقه از کوارتزهای دانه رشت شیرین رنگ تا شفاف با بافت های شانهای و شعله ای به همراه پیروکلاست های فلدسپار پتاسیم تشکیل شده اند [۱۲]. متاریولیت ها و سنگ های سیلیسی حاوی کانی های سولفیدی مهم ترین سنگ میزبان رگه های نوع ۱ در منطقه هستند.

(۲) رگه های کوارتز پیریت- کربنات نوع ۲ همراه با سنگ های سیلیسی و به شدت دگرسان در محدوده معدنی چامخاتون رخ داده است که در سطح با آغستگی های قرمز تا سرخ رنگ اکسید آهن-منگنز آبدار مشخص می شود. رگه مذکور با راستای N40-50W و شیب مخالف، به طور عمده متشکل از کوارتز، کربنات، پیریت و مسکویت های گرمایی هستند (شکل ۳ ب). بافت رگه به صورت پرکننده فضای خالی است که بلورهای خودشکل تا نیمه شکل دار کوارتز در آن با بافت شانهای دیده می شوند. کانی سازی در مراحل پایانی، شامل رگه های پرکننده شکستگی ها متشکل از رگه و رگچه های کوارتز و کلسیت با مقادیری پیریت، مالاکیت و آغستگی های اکسید آهن ثانویه است.

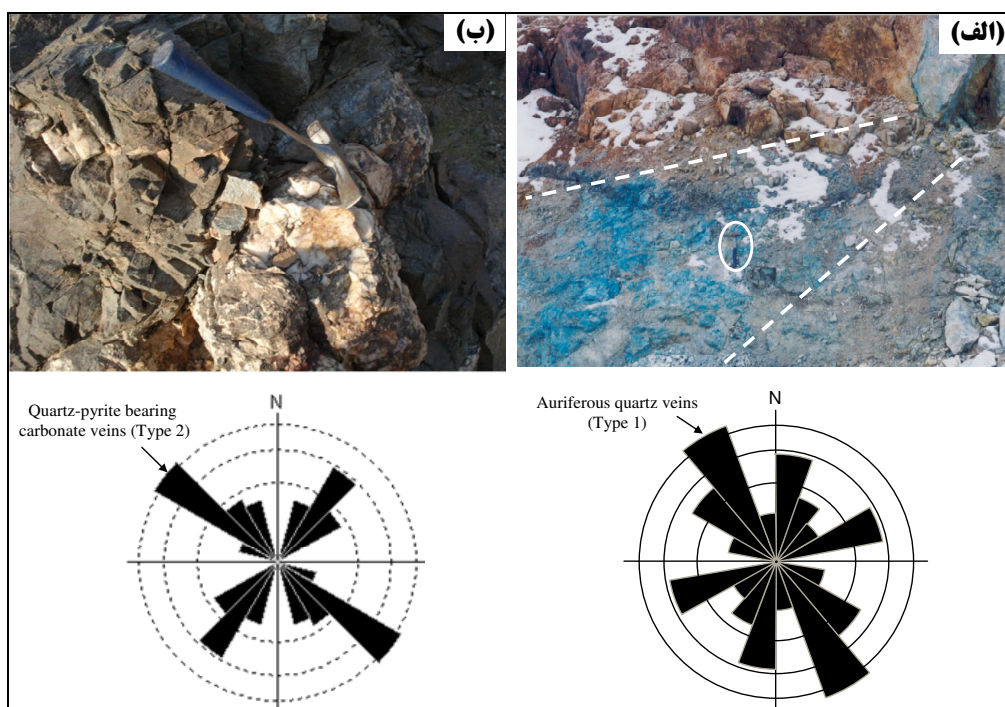
### کانه زایی و دگرسانی

در نگاهی کلی، عناصر کنترل کننده کانی سازی در منطقه موته شامل، عوامل ساختاری (گسل ها و شکستگی ها)، دگرسانی و دگرشکلی ها (پهنه های برشی شکل پذیر-شکنا) هستند. مشاهدات صحرایی حاکی از رخداد کانی سازی رگه ای و رگچه ای سولفیدی طلادار در پهنه های برشی میلونیته و زون های 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 کانی سازی 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. کانی سازی طلا همراه با دگرسانی گرمایی دست کم 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.

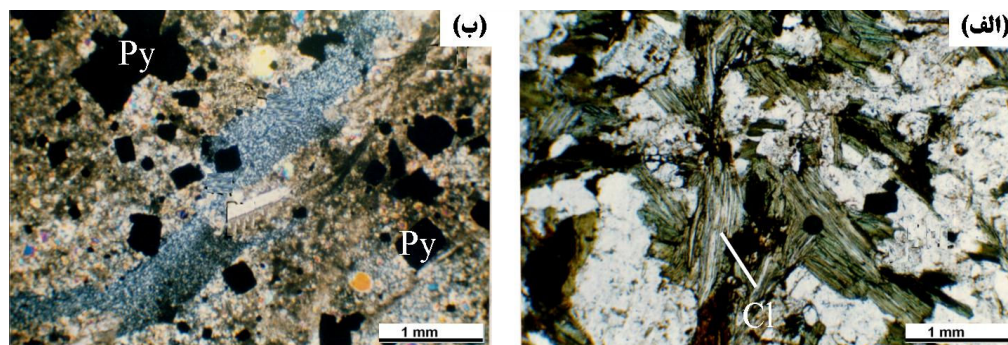
۲. کانی‌سازی همراه با مقادیر فراوان رگه و رگچه‌های کوارتز - سولفیدی تشکیل‌شده در راستای سامانه پهنه‌های برشی شکل‌پذیر - شکنا. پیریت و کالکوپیریت به عنوان کانی‌های غالب در منطقه مهم‌ترین فازهای حامل کانی‌سازی طلا نیز محسوب می‌شوند. علاوه بر آن کانی‌های مارکاسیت، بیسموت، سولفید مس - بیسموت، آرسنوپیریت 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 سنجده که در نتیجه فعالیت‌های سوپرژن به صورت آغستگی‌های سطحی مالاکیت، کوولین 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 کانهای، 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 شست 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 (هیپوژن) و ثانویه (سوپرژن) تشکیل شده‌اند. ضخامت رگه‌ها در منطقه بررسی شده بین ۵/۰ تا ۲ متر و محدود به توالی سنگ‌های کلریت، سریسیت، موسکوویت شست و کوارتز-کلریت-آلیت-سریسیت شست است. از لحاظ ترکیب رگه‌های کوارتز-سولفید طلا دار عمدتاً از دانه‌های درشت تا متوسط کوارتز همراه با رگچه‌های کوارتز-کربناته 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 کان‌دار را تشکیل می‌دهند. مونازیت (حاوی عناصر کمیاب La و Ce)، آنکرایت، 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 شست‌های اولترامیلونیتی و میلوئیتی واقع در پهنه‌های برشی به صورت پورفایروکلاست بیضوی همراه با پیریت نسل اول، کوارتز نسل دوم (Qz2) به صورت رگچه‌های کوارتز-سولفیدی و ریزدانه همراه با پیریت نسل دوم در شست‌های میلوئیتی کربناته و کوارتز نسل سوم (Qz3) در فاز نهایی کان‌زایی در رگه‌های کوارتز-سولفید همراه با پیریت نسل اول و دوم است (شکل ۵الف).



جدول ۲. تغییرات عیار عناصر مختلف در سنگ میزبان های اصلی کانی سازی کانسار موته (داده ها 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 کانی سازی (مرحله اول)، کانی سازی اصلی (مرحله دوم) و سوپرژن (مرحله سوم) است، که به ترتیب شامل این مراحل است:

۱. مرحله اول کانی سازی (stage I) با حضور کانی های اپاک و سیلیکاته پلاژیوکلاز، کوارتز، موسکوویت، پیریت نسل اول، و مقادیر ناچیزی اسفالریت، گالن و بیروتیت.

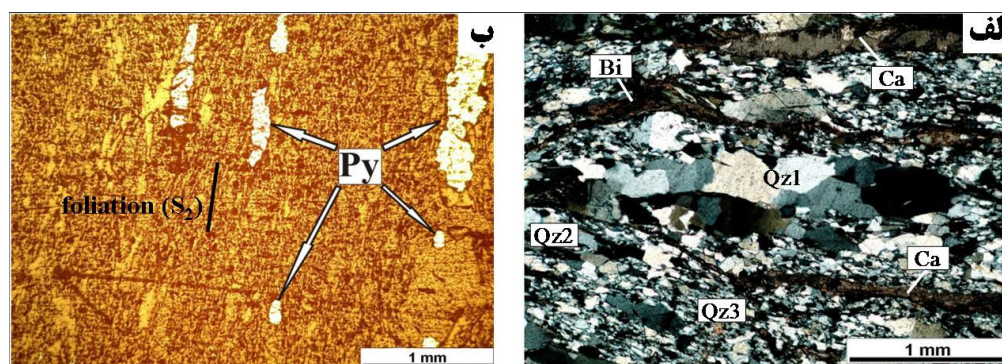
۲. مرحله دوم کانی سازی (stage II) که خود متشکل از دو زیر مرحله شامل، الف) زیر مرحله پیش غنی شده<sup>۱</sup> متشکل از پیریت و کالکوپیریت نسل اول و مقادیر جزئی کانی های موناژیت، بلورهای خوش شکل کوارتز و کلسیت به صورت افشان- رگچه ای در رگه کوارتز- کربنات نوع ۲؛ و ب) زیر مرحله غنی شده<sup>۲</sup> متشکل از پیریت و کالکوپیریت طلا دار نسل دوم، سولفید مس- بیسموت، آرسنوپیریت و مقادیر ناچیزی کانی های تلوریم دار و طلای آزاد است. این مجموعه به طور رایج به همراه کانی های باطله فلدسپار پتاسیم، آلپیت و کوارتز متشکل های اصلی رگه کوارتز- سولفیدی نوع ۱ هستند.

۳. کانی سازی مرحله سوم (stage III) با مجموعه کانی های فاز سوپرژن در منطقه شناخته می شود که غالباً با بافت پراکنده در سنگ میزبان دگرسان شده مشاهده می شود و به طور عمده شامل مارکاسیت، همتیت، کانولینیت، 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) کانی سازی کوارتز (Qz) در سه نسل همراه با رگچه های کلسیت (Ca) و بیوتیت های صفحه ای (Bi) در رگه کوارتز- پیریت- کربناته نوع ۲ و ب) پیریت های خود شکل تا نیمه خود شکل (Py) همزمان با دگرشکلی و همروند با برگوارگی میلوئیتی  $S_2$  و دارای مقادیر بالای طلا

### کانه های سولفیدی و طلا

پیریت، کالکوپیریت، آرسنوپیریت، سولفید مس- بیسموت، دیژنیت و کولین کانهای سولفیدی رایج در کانسار موته هستند که به صورت دانه پراکنده، رگچه ای و بندرت جهت یافته در سنگ میزبان دگرشکل شده مشاهده می شوند. ویژگی های کلی کانی های نامبرده بدین شرح است:

#### پیریت

پیریت بیش از ۵۰ درصد کانی های سولفیدی را تشکیل می دهد و فاز اصلی همراه کانهای طلا است. پیریت عمدتاً در دو نسل (۱) پیریت های نیمه خود شکل تا بی شکل دانه متوسط تا ریز (بیش از ۱۰۰ میکرون) در سنگ های گرانیتی یا رگه های کوارتز ناشی از دگرگونی به صورت قطع کننده برگوارگی و حاوی مقادیر اندکی طلا به صورت محلول جامد و (۲) پیریت های خود شکل تا نیمه خود شکل (بیش از ۱ میلی متر) که همزمان با دگرشکلی و همروند با برگوارگی میلوئیتی تشکیل شده و دارای نسبت بالای Au/Ag (بیش از ۳/۴) هستند (شکل ۵ ب و جدول ۳).

#### کالکوپیریت

پس از پیریت، کالکوپیریت به عنوان مهم ترین کان سولفیدی در منطقه، در دو نسل شامل، (۱) کالکوپیریت های دانه ریز، بی شکل با بافت پراکنده (بیش از ۱۵۰ میکرون) و فراوانی بیش از ۱٪ که به صورت هم رشد با پیریت های دانه ریز تشکیل شده است و (۲) کالکوپیریت های دانه رشت (بیش از ۵ میلی متر) به صورت نیمه خود شکل تا بی شکل، به صورت هم رشدی با پیریت های نسل اول در گانگ سیلیسی (شکل ۷).

#### سولفید مس- بیسموت (امپلکتیت)

سولفید مس- بیسموت با نام کانی شناسی امپلکتیت<sup>۱</sup> و فرمول شیمیایی  $CuBiS_2$ ، پس از پیریت و کالکوپیریت از جمله کانهای سولفیدی در رگه نوع ۱ کوارتز- سولفیدی است که همراه با پیریت، کالکوپیریت، پروتیت، فلدسپار

پتاسیم و آلbite دیده می شود و برای نخستین بار در این منطقه گزارش می شود. امپلکتیت به صورت دانه های درشت بی شکل تا نیمه خود شکل (بیش از ۱ میلی متر) و در مواردی به صورت همروند با برگوارگی طی تبلور مجدد به چشم می خورد که در زیر میکروسکوپ با نور معمولی به رنگ سفید کدر تا خاکستری با جلای فلزی دیده می شود (شکل ۷).

### دیژنیت و کوولین

این کانی ها حاصل فعالیت های سوپرژن در منطقه و دگرسانی کانی های مس دار مانند کالکوپیریت و تا حدودی امپلکتیت هستند و به طور عمده در زون های سطحی، حاشیه ها و شکستگی های کانی های هیپوژن مس دار جانشین شده اند.

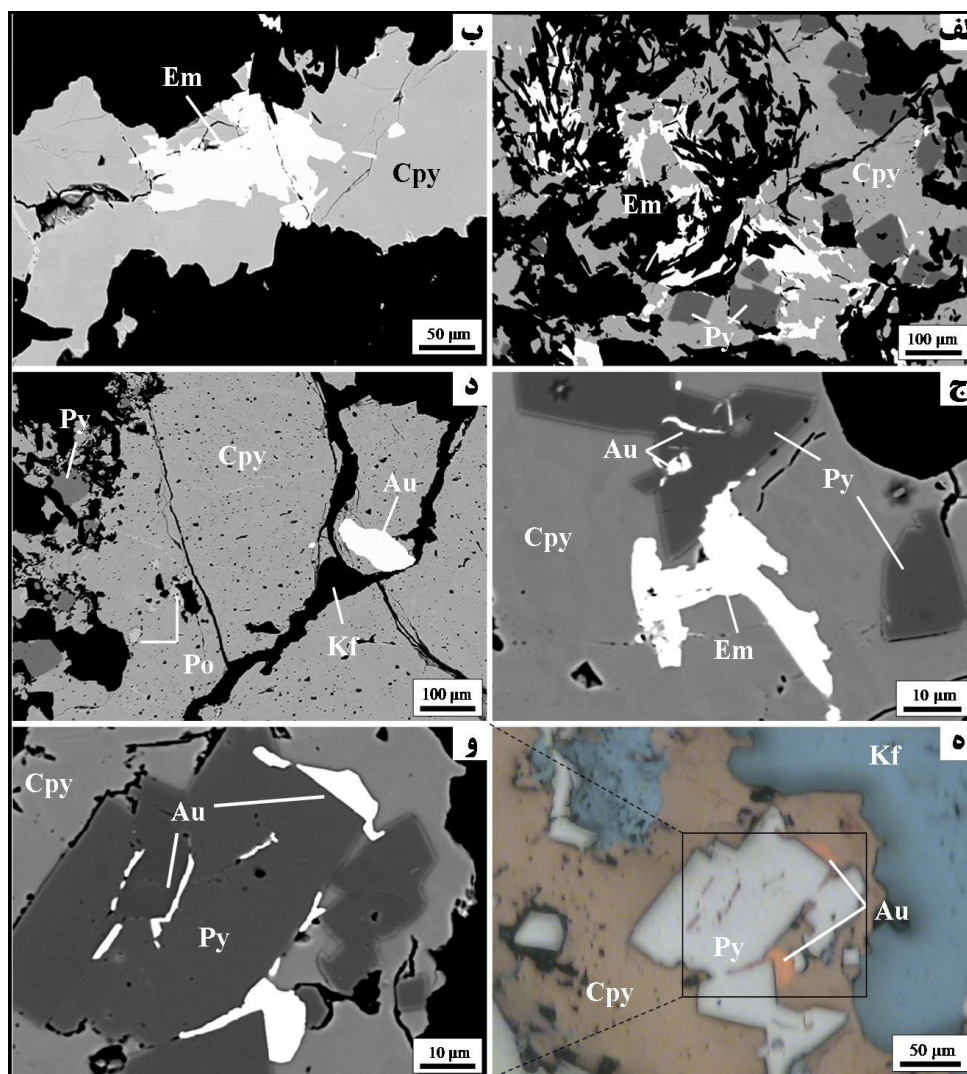
|                        | Stage 1    | Stage 2     |             | Supergene  |
|------------------------|------------|-------------|-------------|------------|
|                        |            | sub-stage 1 | sub-stage 2 |            |
| <b>Gangue minerals</b> |            |             |    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

شکل ۶. توالی پاراژنتیک کانی ها، دگرسانی و بافت ماده معدنی در کانسار موته

### طلا

بر مبنای بررسی های میکروسکوپی و تجزیه های میکروسکوپ الکترونی (SEM) و الکترون مایکروپروب (EPMA) کانی سازی طلا در منطقه به دو صورت شامل ۱) ادخال های گرد شده در پیریت های پراکنده و جانشینی در شکستگی های پیریت و کالکوپیریت های درشت دانه (شکل ۷) و ۲) به شکل ذرات طلای آزاد (به طور متوسط بین ۱۰ تا ۱۰۰ میکرون) پراکنده در زمینه کانی های پیریت- کالکوپیریت- آلbite و فلدسپار پتاسیم دیده می شود (شکل ۷).

۱. Emphectite



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) هم‌رشدی کالکوپیریت و امپلکتیت با یکدیگر، ج) کانی‌سازی طلا (Au) در شکستگی‌های ریز پیریت خودشکل به همراه امپلکتیت، د) زمینه کالکوپیریت، 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

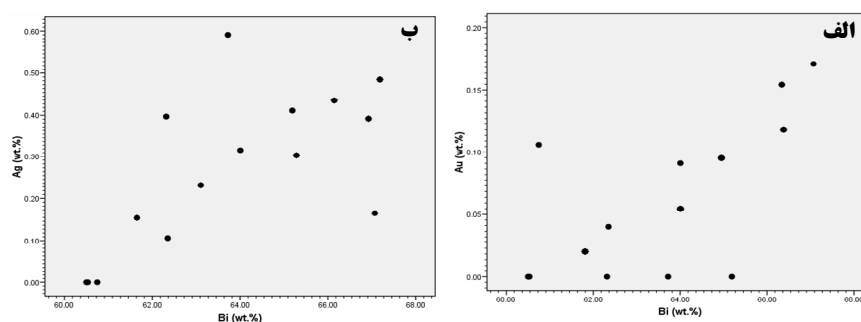
مطالعه ترکیب شیمی کانه‌ها طی مراحل پاراژنتیکی مختلف با دستگاه الکترون مایکروپروب مدل CAMECASX100 در مرکز تحقیقات و فرآوری مواد معدنی ایران (IMPRC) با ولتاژ ۲۰ kv و جریان ۲۰ nA انجام گرفته است. براساس مطالعات EPMA عناصر Zn، Au، As، Ag، Cu، Te، Hg، La، Ce از

مهمترین عناصر کمیاب ثبت شده در ترکیب کانی های بررسی شده و Au عنصر رایج در پیریت است. همچنین به منظور تشخیص منطقه بندی در بلورهای پیریت، نقاطی از مرکز و حاشیه پیریت ها بصورت نقطه ای اندازه گیری شد. براساس تجزیه های نقطه ای 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 کالکوپیریت های 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 نقطه ای 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 نسل های مختلف طلا، حاکی از وجود ترکیب شیمیایی یگسان در آن ها و حضور مقادیر نقره به میزان ۰/۱۷ Wt.% است. میانگین نسبت Au/Ag در کانه ها حدود ۸/۵ Wt.% و میزان سرب و روی در آن ها بسیار ناچیز است. خلاصه ای از نتایج شیمی کانه ها در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳. میانگین نتایج تجزیه نقطه ای الکترون میکروپروب از نسل های مختلف پیریت (Py)، کالکوپیریت (Cpy) و فاز سولفیدی مس- بیسموت، در کانسار موته (داده ها 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 شده اند.



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

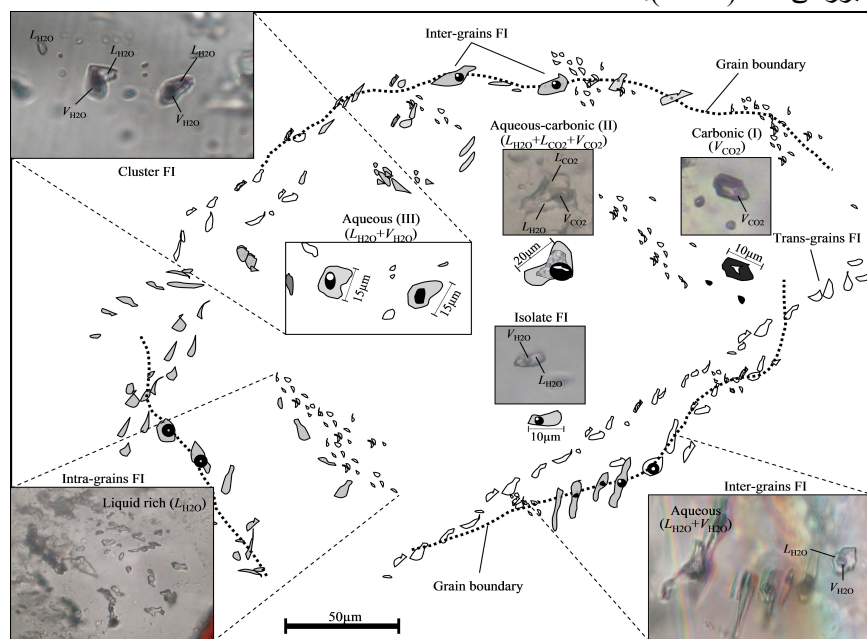
## سیالات درگیر

بررسی های سیالات درگیر بر روی نمونه های هر دو نوع رگه کوارتزی (نوع ۱ و ۲) واقع در بخش های مختلف پهنه های برشی طلا دار و عقیم در معادن سنجده و چامختون، با استفاده از سکوی گرمایش- سرمایش لینکام مدل

THM600، واحد کنترل کننده حرارتی TMS-93 و میکروسکوپ تحقیقاتی Ziess در آزمایشگاه سیالات درگیر دانشگاه تربیت معلم تهران با بهره گیری از استانداردهای شفرد و همکاران [۱۳] انجام شد. رسم ایزوگرها و تعیین حجم مولی سیال نیز با استفاده از نرم افزار FLINCOR [۱۴]، انجام گرفت. همچنین شوری سیالات درگیر نوع آبگین و سیالات آبگین-کربن دار حاوی فاز کلاتریت نیز به ترتیب با استفاده از رابطه های استفاده شده به وسیله بودنار [۱۵] و دایموند [۱۶] به دست آمد.

### پتروگرافی و میکروترمومتری

بر مبنای مشاهدات پتروگرافی، سیالات درگیر شامل انواع مجزا (isolate) و مجتمع (cluster) (فراوانی کم تر از ۳۰٪)، درون دانه ای (intra-grain) (فراوانی حدود ۲۰٪)، مرزدانه ای (inter-grain) و قطع کننده مرزدانه (trans-grain) (فراوانی بیش از ۵۰٪) تشخیص داده شدند [۱۷]، [۱۸]، [۱۹]، [۲۰] که در این میان به غیر از سیالات درگیر قطع کننده مرزدانه و تشکیل شده در مرزدانه که اغلب جزء سیالات ثانویه و ثانویه کاذب محسوب می شوند، باقی سیالات بررسی شدند (شکل ۹).



شکل ۹. شمایی کلی از نحوه پراکندگی، اندازه و محتوای سیالات درگیر مشاهده شده، شامل سیالات منفرد (Isolate)، مجتمع (Cluster)، درون دانه (Intra-grain)، مرزدانه (Inter-grain) و قطع کننده دانه (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 (غنی از  $\text{CO}_2$ )، سیالات آبگین-کربنیک ( $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ )،  $\text{NaCl}\pm\text{CH}_4$  و سیالات آبگین ( $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}\pm\text{CaCl}_2$ ) شده است. داده های به دست آمده از بررسی های میکروترمومتری شامل، دمای همگن شدن نهایی ( $T_{h\text{total}}$ )، دمای ذوب  $\text{CO}_2$  ( $T_{m\text{CO}_2}$ )، دمای همگن شدن  $\text{CO}_2$  ( $T_{h\text{CO}_2}$ )، دمای ذوب کلاتریت ( $T_{m\text{clath}}$ )، دمای ذوب نهایی یخ ( $T_{m\text{ice}}$ ) بر حسب درجه سانتی گراد و شوری



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

### ۱. سیالات کربنیک غنی از CO<sub>2</sub>

با فراوانی حدود ۳۵٪، اشکال تخم مرغی، کروی و بی شکل و اندازه بین ۴ تا ۱۵ میکرون، شامل دو نوع غنی از گاز (V<sub>CO2</sub>) و دوفازی (L<sub>CO2</sub>+V<sub>CO2</sub>) هستند. این سیالات به طور موردی با سیالات درگیر دو فازی H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> همراه بوده و به دو صورت اولیه و ثانویه کاذب شامل سیالات منفرد، درون دانه و قطع کننده دانه در رگه ها دیده می شود. میانگین دمای همگن شدن CO<sub>2</sub> به فاز مایع بین ۱۲/۶ تا ۲۷/۳°C با چگالی ۰/۷۱ تا ۰/۸۲ gr/cm<sup>3</sup> و دمای ذوب نهایی CO<sub>2</sub> یا T<sub>mCO2</sub> بین ۵۶/۷- تا ۵۸/۶°C به دست آمد که با توجه به کمتر بودن این دما از مقدار ۵۶/۶°C (triple point)، وجود گازهای CH<sub>4</sub> یا N<sub>2</sub> در این سیالات قابل استنباط است [۲۱].

### ۲. سیالات آبگین-کربنیک (H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>-NaCl±CH<sub>4</sub>)

با فراوانی ۲۰ تا ۳۰٪، با اشکال نامنظم و کریستال منفی، اندازه بین ۵ تا ۳۰ میکرون، درجه پرشدگی بین ۰/۳ تا ۰/۸ (در دمای ۲۵°C)، به صورت دوفازی (L<sub>H2O</sub>+L<sub>CO2</sub>) و سه فازی (L<sub>H2O</sub>+L<sub>CO2</sub>+V<sub>CO2</sub>) در دمای اتاق مشاهده شدند. در این سیالات، دمای ذوب نهایی CO<sub>2</sub> (T<sub>mCO2</sub>) بین ۵۶/۹- تا ۵۸/۳°C و دمای ذوب فاز هیدرات گازی کلاتریت (T<sub>mclath</sub>) 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) به دست آمد. همچنین دمای همگن شدن فاز گازی CO<sub>2</sub> (Th<sub>CO2</sub>) به مایع (Th<sub>v→l</sub>)، در دمای ۱۰/۴ تا ۲۳/۴°C صورت گرفت، که به ترتیب معادل چگالی حجمی ۰/۷۲ تا ۰/۸۴ gr/cm<sup>3</sup> گاز CO<sub>2</sub> است. در نهایت دمای همگن شدن نهایی (Th<sub>total</sub>)، در این سیالات بین ۱۴۵/۶ تا ۳۰۴/۲°C به دست آمد. لازم به ذکر است فراوانی این دسته از سیالات ارتباط مستقیمی با سنگ های سیلیسی میزبان طلا در مناطق معدنی چاه خاتون و سنجده دارد [۱۲].

### ۳. سیالات آبگین

با بیشترین فراوانی (حدود ۴۵٪)، به اشکال استوانه ای، کشیده و کریستال منفی، اندازه بین ۱۵ تا ۳۵ میکرون و به طور معمول دوفازی (L<sub>H2O</sub>+V<sub>H2O</sub>) در دمای اتاق مشاهده شدند. این سیالات به طور موردی همراه سیالات درگیر ثانویه دوفازی CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O و غنی از CO<sub>2</sub>، به صورت مجتمع، منفرد، مرزدانه یا قطع کننده دانه ای 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<sub>mice</sub>)، در این سیالات در دو محدوده 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-سولفیدی طلا دار و ۲) بین ۱۲/۵- تا ۲۶/۷°C- (بیشترین

فراوانی ۲۱- تا  $22^{\circ}\text{C}$ - و شوری ۱۶/۴ تا ۲۸/۲ درصد معادل نمک (Wt.% NaCl) در رگه های کوارتز عقیم به دست آمد. دمای همگن شدن نهایی به فاز مایع ( $Th_{v-1}$ ) نیز در دو محدوده ۲۱۲/۲ تا  $297/6^{\circ}\text{C}$ ، برای سیالات مرزدانه تا قطع کننده دانه های رگه کوارتز- سولفیدی طلا دار و ۱۴۷/۴ تا  $245/6^{\circ}\text{C}$ ، برای سیالات درون دانه و مرزدانه های رگه عقیم کوارتزی به دست آمدند. خلاصه ای از نتایج داده های میکروترمومتری سیالات درگیر کانسار موته در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴. نتایج داده های میکروترمومتری سیالات درگیر کانسار موته، شامل سیالات کربنیک (نوع ۱)، آبگین- کربنیک (نوع ۲) و آبگین (نوع ۳). دماهای به دست آمده برحسب درجه سانتیگراد ( $^{\circ}\text{C}$ )، ( $L$ ) همگن شدن به فاز مایع و  $n$  تعداد سیالات

مورد اندازه گیری هستند

| سیالات آبگین نوع ۲<br>$n=16$  | سیالات آبگین نوع ۱<br>$n=21$  | سیالات آبگین-کربنیک<br>$n=42$ | سیالات کربنیک<br>$n=30$    | انواع<br>خصوصیات                                |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------|
| 0.3 to 0.75<br>(0.52)         | 0.2 to 0.7<br>(0.45)          | 0.3 to 0.8<br>(0.85)          | 0.5 to 0.7<br>(0.6)        | درجه پشدگی<br>(میانگین)                         |
| -----                         | -----                         | -56.9 to -58.3<br>(-57.6)     | -56.7 to -58.6<br>(-57.6)  | دمای ذوب نهایی $\text{CO}_2$<br>(میانگین)       |
| -----                         | -----                         | 10.4 to 23.4 (L)<br>(16.9)    | 12.6 to 27.3 (L)<br>(17.4) | دمای همگن شدن نهایی $\text{CO}_2$<br>(میانگین)  |
| -----                         | -----                         | 2.5 to 8.8<br>(5.6)           | -----                      | دمای ذوب کلاتریت<br>(میانگین)                   |
| -12.5 to -26.7<br>(-19.6)     | -1.2 to -11.3<br>(-6.25)      | -----                         | -----                      | دمای ذوب نهایی یخ<br>(میانگین)                  |
| 147.4 to 245.6 (L)<br>(196.5) | 212.2 to 297.6 (L)<br>(254.9) | 145.6 to 304.2 (L)<br>(224.9) | -----                      | دمای همگن شدن نهایی<br>(میانگین)                |
| -----                         | -----                         | 0.72 to 0.84                  | 0.71 to 0.82               | چگالی حجمی $\text{CO}_2$<br>( $\text{g/cm}^3$ ) |
| 16.4 to 28.2                  | 2.1 to 15.2                   | 2.3 to 12.5                   | -----                      | شوری (wt.% NaCl)                                |

## بحث

### حمل و ته نشست طلا

در سیالات گرمابی، طلا اغلب با کمپلکس های بی سولفیدی (سیال کاهنده) و کلریدی (سیال اکسیژن دار) حمل می شود [۲۲]، [۲۳]، [۲۴]، [۲۵]. همچنین طبق پژوهش های تجربی بنینگ و سیوارد [۲۴]، طلا در شوری پایین،  $\log f\text{O}_2$  پایین و pH متغیر، با کمپلکس بی سولفیدی حمل می شود. ترکیب بی سولفیدی  $\text{Au}(\text{HS})_2^-$  به عنوان یک کمپلکس مهم در شرایط pH نزدیک به خنثی تا اسیدی ضعیف در محلول های سولفیدی احیایی دما پایین رایج است [۲۲]، [۲۴]، [۲۵]، در حالی که ترکیبات  $\text{AuHS}^0$  و  $\text{HAu}(\text{HS})_2^-$  در شرایط pH قلیایی پدیدارترند. کمپلکس کلریدی  $\text{AuCl}_2$  نیز در شرایط اسیدی، شوری و دمای بالا و سیال فقیر از  $\text{H}_2\text{S}^-$  ( $\log f\text{O}_2$  نسبتاً بالا) غالب است [۲۴]، [۲۵].

کانسار طلای موته مشابه بسیاری از رخدادهای طلای کوارتز رگه های پهنه های برشی، از لحاظ شرایط دما و فشار، منطبق با رخساره شیبست سبز- زیر رخساره آمفیبولیت است. شوری پایین تا متوسط، وجود سیالات آبگین- کربنیک، pH خنثی تا قلیایی ضعیف و محتوای احیایی کانی ها، از خصوصیات بارز سیال کانه ساز در این نوع ذخایر است [۲۰]، [۲۶]، [۲۷]. با توجه به حضور فلدسپار پتاسیم، آل بیت و سریسیت به عنوان باطله در

رگه های طلا دار منطقه، می توان چنین استنباط کرد که pH سیال بین ۶ تا ۷ متغیر است [۲۸]، [۲۹]. همچنین عدم تشکیل کانی های اکسیدی درجه بالا و حضور ترکیبات تلوریوم و بیسموت دار، همراه پیریت، کالکوپیریت و آرسنوپیریت حاکی از ترکیب احیایی سیال گرمابی کانساز در موته است. علاوه بر آن در کانسار موته، به دلیل همراهی پاراژنتیکی طلا با کانه های پیریت و کالکوپیریت، شوری متوسط تا پایین سیال کانساز، مجموعه دگرسانی سریسیت- کربنات و مقادیر ناچیز کانی های سولفیدی گالن و اسفالریت، نقش کمپلکس های بی سولفیدی  $\text{Au}(\text{HS})_2^-$  در انتقال طلا را پررنگتر می کند. تغییرات pH سیال منجر به تشکیل دگرسانی کائولینیت- سریسیت همراه با افزایش مقادیر یون  $\text{H}^+$  به سیال در حال چرخش می شود، در حالی که تنشینی کانی های کربناته موجب حذف  $\text{CO}_2$  از ترکیب سیال کانساز می شود [۳۰]. براساس پژوهش های زوهیر [۲۰] و باورز [۳۱] جوشش  $\text{CO}_2$  ناشی از تغییرات فشار در راستای پهنه های برشی و فرآیند سولفیدی شدن (مانند تشکیل پیریت) در سنگ دیواره، به طور معمول موجب افزایش میزان pH و  $\log/\text{O}_2$  و کاهش  $\log/\text{S}_2$  می شود که این تغییرات باعث تنشینی طلا در رگه های کوارتزی و هاله های دگرسانی سنگ دیواره (زون شسته شده) می گردد. در کانسار موته، با توجه به رخداد طلا در پهنه های برشی شسته و به شدت دگرسان شده سنگ دیواره و رگه های کوارتز طلا دار، می توان گفت کاهش میزان  $\log/\text{S}_2$  از عوامل مؤثر در نهشت طلای منطقه است.

### مقایسه کانسار موته با کانسارهای طلای نوع کوهزایی و مرتبط با توده های نفوذی

بنیادی ترین مفهوم در درک صحیح از ژنز ذخایر معدنی، تعیین ارتباط زمانی و مکانی کانزایی با وقایع تکتونیکی، دگرگونی و ماگمایی است [۳۲]. امروزه، ذخایر طلای مرتبط با سطوح متفاوت پوسته، با توجه به ارتباط بین کانزایی و محیط تکتونیکی به طور کلی به ذخایر نوع اپی ترمال، مرتبط با توده های نفوذی یا هاله های حرارتی و کوهزایی تقسیم می شوند [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 آن که این ذخایر معمولاً دارای ارتباط فضایی (مکانی و زمانی) با توده های نفوذی هستند، ممکن است ارتباط ژنتیکی مستقیم با نفوذی های منطقه وجود نداشته باشد و دقیقاً با اصطلاح ذکر شده منطبق نباشند.

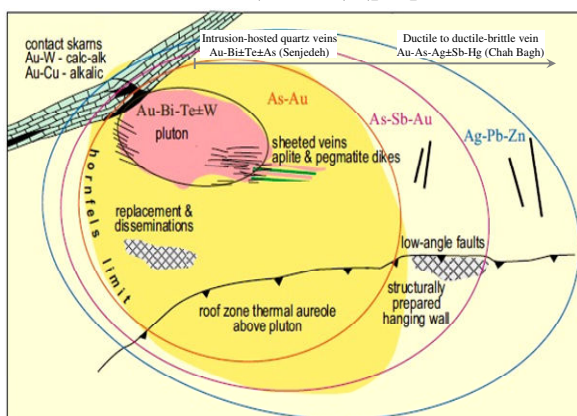
کانزایی طلا در موته، ویژگی هایی مشابه ذخایر نوع کوهزایی دارد که به طور عمده شامل، (۱) وجود سنگ های در برگیرنده متاپلیتی، (۲) رخداد مجموعه کانیایی نوع سولفید پایین (آرسنوپیریت و پیریت)، (۳) دگرسانی سریسیت- کربنات و (۴) سیال کانساز نوع آبگین- کربنیک با شوری پایین است.

همچنین خصوصیات ارائه شده در این پژوهش، مشابه با ذخایر مرتبط با توده های نفوذی شامل، (۱) نفوذی های ساب آکالن، متالومین با ترکیب حدواسط تا اسیدی واقع در سری ایلمنیتی و مگنتیتی، (۲) حضور سیالات گرمابی کربن دار، (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) به همراه 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 گلفارب [۳۷] 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  $\text{CO}_2$  دار با شوری پایین، کانهزایی رگه‌ای مرتبط با دگرگونی، همراهی زمانی و مکانی با گرانیتهای 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/آبزایی مجموعه‌های دگرگونی سنگ میزبان و کانهزایی 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 گلفارب [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 رگه‌ای-استوئورک در سنگ میزبان و مجاورت توده نفوذی با فاصله کمی از آن، همراه با مجموعه  $\text{Au-Bi-Te} \pm \text{As} \pm \text{Mo} \pm \text{W}$  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  $\text{Au-As-Sb} \pm \text{Hg}$  و رگه‌های غنی از  $\text{Ag} \pm \text{Au}$  قابل مشاهده است (برای مثال ذخایر Donlin Creek در آلاسکا [۴۰] و Tintina Gold Province در ایالات متحده [۴۱]) (شکل ۱۰).

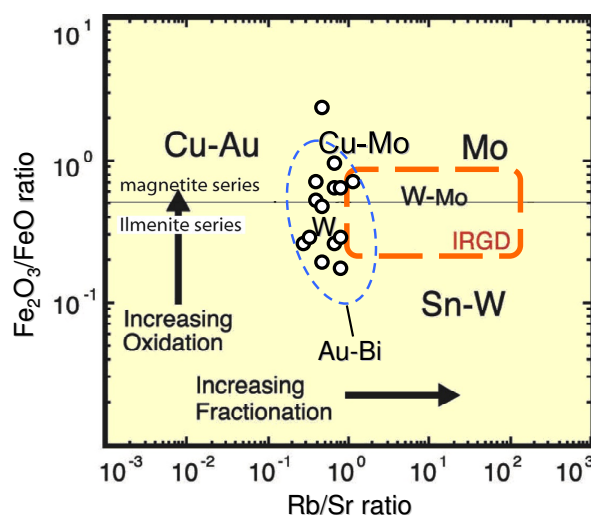


شکل ۱۰. مدل منطقه‌بندی عناصر کانه‌ساز در ذخایر مرتبط با توده‌های نفوذی در ایالت طلای تین تینا (Tintina) نسبت به توده نفوذی شامل، توزیع فضایی عناصر، شکل کانی‌سازی و ساختمان‌های مرتبط با کانی‌سازی [۴۱] به همراه نمایش موقعیت کانسارهای سنجد و چاه باغ در آن

مطالعات حاصل از این پژوهش، حاکی از آن است که مناطق معدنی چامخاتون، سنجد و چشمه گوهر 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 آلبيت 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 چامباغ 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 آرسنیف‌دار و نقره 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 گلفارب [۳۷] ارائه کرده‌اند (شکل ۱۰).

به عقیده مورفی [۴۲] و مارش و همکاران [۴۳]، نفوذی‌های مرتبط با کانی‌زایی طلا ماهیت آلکالن، متآلومینوس، کالک‌آلکالن 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 آلکالن در نمودار تغییرات غلظت عناصر کمیاب بر اساس جایگاه تکنونیک، در موقعیت گرانیتهای قوس‌آتش‌فشانی (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 تقریق 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 تقریق 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 تکنونوماگمایی گوشته لیئوسفری و پوسته بالایی طی تاریخچه تحولات پهنه سندانج- سیرجان (SSZ) در ترشیری به همراه بالآآمدگی 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 گرووز و همکاران [۳۴] و گلفارب و همکاران [۳۸]، کانسار موته می‌تواند تناسب

بیش‌تری با رده‌بندی ذخایر طلای همراه با گرانیته‌ها 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<br>خصوصیات | کوهزایی (مزوترمال)                                                                                     | مرتبط با توده‌های نفوذی                                                                                                   | کانسار موته                                                                                                                           |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| موقعیت تکتونیکی       | حاشیه قاره‌ای، رژیم‌های تکتونیکی فشارشی همراه با کوتاشدگی پوسته                                        | حاشیه قاره‌ای، رژیم‌های پشت‌قوسی کششی همراه با نفوذی‌های مناطق باز شونده                                                  | حاشیه قاره‌ای، موقعیت ساختاری کششی طی بالامندی/ایزدایی 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 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 پرالومین نوع I، ریولیت                                                      | سنگ‌های گرانیتوئیدی متالومینوس احیایی و متاریولیت                                                                                     |
| شکل‌کشی‌سازی          | رگمای، برشی و پراکنده                                                                                  | رگمای، ورقه‌ای تا صفحه‌ای، جانشینی و برشی                                                                                 | رگمای، شکاف‌پرکن و پراکنده                                                                                                            |
| سنگ میزبان            | سنگ‌های مافیک تا آلترامافیک، توده‌های نفوذی اسیدی و گری واک‌ها                                         | نفوذی‌های اسیدی تا حدواسط با مقادیر پایین FeO و فقیر از مگنتیت و ریولیت‌ها                                                | متاریولیت، کوارتز- کلریت- بیوتیت شیبست، آمفیبولیت و لوکوگرانیت                                                                        |
| کانه‌ها               | طلای آزاد، پیریت ± آرسنوپیریت، استینیت، الکتروم، 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 $\pm \text{H}_2\text{S}$ و میزان $\text{CO}_2$ تا ۵mol% | شوری پایین (۲ تا ۶ درصد)، سیالات غنی از $\text{CO}_2$ (۵ تا ۱۴ mol%) و آبگین کربنیک همراه با $\text{CH}_4$ و $\text{N}_2$ | شوری پایین تا متوسط (۲ تا ۱۵ درصد)، سیالات غنی از $\text{CO}_2$ (۵ تا ۱۰ mol%)، آبگین کربنیک ( $\text{CH}_4$ و $\text{N}_2$ ) و آبگین |
| نسبت Au/Ag            | 1-10 gr/ton                                                                                            | <10 gr/ton                                                                                                                | 8.5 gr/ton                                                                                                                            |
| دگرسانی مرتبط         | کربناتی شدن، سربیسیتی شدن، سولفیدی شدن و آرزلیک                                                        | دگرسانی پتاسیک (فلدسپار پتاسیم)، سدیک (آلیت)، سربیسیتی شدن و گرایزن                                                       | دگرسانی سیلیسی، پتاسیک (فلدسپار پتاسیم)، سدیک (آلیت)، سربیسیتی 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- سربیسیت شیبست ماهیت خردشده، برشی و میلونیتی تا اولترامیلونیتی دارد که کانه‌سازی به‌وسیله 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 (به‌ویژه محل برخورد گسل‌ها و پهنه برشی) مکان مناسب برای ته‌نشست طلا و عناصر همراه هستند. در کانسار موته، کانه‌زایی طلا مرتبط با دگرسانی‌های گرمابی سیلیسی تحت کنترل پهنه برشی (مشابه رخساره شیبست سبز- زیر رخساره آمفیبولیت) است و متشکل از مجموعه سربیسیت + 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)، سربیسیتیک، 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 میلونیتی و اولترامیلونیتی به‌شدت تغییر شکل یافته با راستای N40-50W رخ داده



است. در مجموع، حضور سنگ‌های گرانیتی با ماهیت متآلومین و ساب‌آلکان، حضور آلیت و فلدسپاریتاسیم همراه با کانه‌سازی، محتوای سولفیدی پایین کانه‌ها، رخداد مجموعه  $\text{Au-Bi} \pm \text{Te} \pm \text{As}$  معرف شرایط احيایی، حضور سیالات گرمایی 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 احيایی 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.
3. ح. کوهستانی، ا. راستاد، ن. رشیدنژاد و م. محجل، نقش نگرشکلی و دگرسانی 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.
8. ح. کوهستانی، زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و فابریک‌های کانی‌سازی طلا در پهنه برشی چاباغ در منطقه معدنی موته (جنوب غرب دلیجان، اصفهان)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس تهران (۱۳۸۴) ۲۲۲.
9. 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 رگه های کانسار و عقیق، پایان نامه 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<sub>2</sub> clathrate hydrate + CO<sub>2</sub> liquid + CO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub>S 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. Palöyanova, "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 100<sup>th</sup> 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 کننده های ساختمانی در این توزیع، پایان نامه 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.