

# عوامل کنترل کننده، مراحل تکوین و مدل تشکیل کانسار طلای چاه‌باغ، منطقه معدنی

## موته

حسین کوهستانی<sup>۱،\*</sup>، ابراهیم راستاد<sup>۱\*</sup>، نعمت‌اله رشیدنژاد عمران<sup>۱</sup> و محمد محجل<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم زمین، تهران، ایران

<sup>۲</sup> دانشگاه زنجان، دانشکده علوم، گروه زمین‌شناسی، زنجان، ایران

### چکیده

کانسار چاه‌باغ در منطقه معدنی طلای موته، در بخش مرکزی پهنه سندانج- سیرجان واقع شده است. سنگ میزبان کانه‌زایی در چاه‌باغ، شیبست‌های فلسیک و متاریولیت‌های به شدت دگرشکل شده می‌باشد که به صورت بین‌لایه‌ای با واحدهای کلریت-اکتینولیت شیبست قرار گرفته‌اند. بر اساس مطالعات ساختاری، سنگ‌های منطقه سه نوع دگرشکلی از  $D_1$  تا  $D_3$  را پشت سر گذاشته‌اند. پهنه بُرشی امتدادلغز راست‌گرد با روند غالب شمال باختری ( $290^\circ-280^\circ$ ) موجود در منطقه، طی رخدادهای شکل‌پذیر مرحله  $D_2$  ایجاد شده است. کانه‌زایی درون پهنه‌های بُرشی شکل‌پذیر و شکنا رخ داده است. کانه‌زایی تیپ شکل‌پذیر به صورت مجموعه‌ای از رگه‌ها و عدسی‌های کوارتزی حاوی سولفیدهای طلا دار هم‌روند با برگواریگی میلوئیتی است. کانه‌زایی تیپ شکنا شامل رگه‌های کوارتزی غنی از سولفیدهای طلا دار قطع‌کننده برگواریگی میلوئیتی است که در امتداد گسل‌های نرمال با روند شمال باختری رخ داده‌اند. کوارتز، فلدسپات، سریسیت، اپیدوت و تورمالین مهم‌ترین کانی‌های دگرسانی می‌باشند در حالیکه کانه‌ها در بخش‌های طلا دار شامل پیریت، کالکوپیریت، آرسنوپیریت و نقره آزاد می‌باشد. اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن، کانولینیت، آزوریت، مالاکیت، دیژنیت و کولیت در حین فرآیندهای سوپرژن تشکیل شده‌اند. طلا به صورت دانه‌های آزاد درون گانگ سیلیسی و یا حاشیه سولفیدهای دگرسان شده حضور ندارد و تنها به صورت غیرقابل رؤیت و درگیر درون شبکه کانی‌های سولفیدی قابل اندازه‌گیری است. عوامل کنترل‌کننده تمرکز کانه‌زایی در کانسار چاه‌باغ شامل دگرشکلی، دگرسانی، سیالات دگرگونی و ماهیت سنگ میزبان است. توده‌های گرانیتی ارتباط ژنتیکی با کانه‌زایی ندارند. بر پایه مطالعات زمین‌شناسی و ساختاری (آنالیزهای ریزبافتی و پتروفاوریک)، چهار مرحله غنی‌شدگی طلا در کانسار چاه‌باغ رخ داده است: ۱- تمرکزهای بالای طلا در پیریت‌های دیاژنتیک رسوبی طی زمان دونین یا قبل از آن درون واحدهای آتشفشانی- رسوبی. ۲- دگرشکلی ( $D_1-D_2$ ) و دگرگونی (درجه متوسط تا بالا) واحدهای غنی از طلای پالئوزونیک طی فاز اصلی کوتاه‌شدگی پوسته‌ای در رژیم ترافشارشی ژوراسیک پایانی- ترشیری آغازین. به عنوان بخشی از این رخداد، پهنه بُرشی چاه‌باغ تشکیل و مواد فرار دگرگونی سبب توسعه سیالات کانه‌ساز و تشکیل کانه‌زایی‌های اولیه طلا درون پهنه‌های بُرشی شکل‌پذیر شده است. ۳- تغییر دگرشکلی شکل‌پذیر به شکنا طی بالا آمدگی ناحیه‌ای ائوسن و بیرون‌زدگی سنگ‌های دگرگونی و رخداد کانه‌زایی طلا با میزبان گسل‌های نرمال. این ساختار کششی سبب جایگیری توده‌های گرانیتی و توسعه جریان سیالات دگرگونی و پیرو آن، ته‌نشست طلا درون گسل‌های نرمال در نزدیکی ساختارهای شکل‌پذیر اولیه شده است. ۴- رخداد فرآیندهای سوپرژن و آزاد شدن طلا از کانی‌های سولفیدی اولیه. این نتایج بیان‌گر مدل کوهزایی برای کانسار طلای چاه‌باغ بوده و قابل انطباق با مدل دگرشکلی ترافشارشی راست‌گرد ارائه شده برای پهنه سندانج- سیرجان می‌باشد.

**کلیدواژه‌ها:** طلای کوهزایی، پهنه‌های بُرشی شکل‌پذیر و شکنا، مدل تشکیل، چاه‌باغ، موته، سندانج- سیرجان

E-mail: rastad@modares.ac.ir

\*نویسنده مسئول: ابراهیم راستاد

### ۱- مقدمه

منطقه معدنی طلای موته در ۶۰ کیلومتری جنوب باختری دلیجان، اولین معدن فعال طلا در کشور می‌باشد. مجموعه ۱۰ کانسار شناخته شده در این منطقه معدنی دارای عیار متوسط ۴ گرم در تن و ذخیره‌ای نزدیک به ۱/۲ میلیون تن طلا می‌باشند (Farhangi, 1991). اگرچه این کانسارها دارای ویژگی‌های ساختاری و کانه‌زایی مشابهی هستند اما برخی تفاوت‌های محلی در نوع کنترل-کننده‌های ساختاری و میزان تمرکز و توزیع فلزی در آن‌ها دیده می‌شود (جدول ۱). تمامی کانسارها، به‌جز چاه‌باغ، در بخش شمال خاوری منطقه قرار دارند (شکل ۱). در این بخش، سنگ‌ها در حد رخساره شیبست سبز دگرگون شده و توسط نفوذی‌های گرانیتی قطع شده‌اند (رشیدنژاد عمران، ۱۳۸۱؛ Rashidnejad Omran et al., 2002). سنگ میزبان این کانسارها شیبست فلسیک و متاریولیت است. کانه‌زایی در این کانسارها به صورت رگه‌های کوارتزی درون شکستگی‌های کششی گسل‌های نرمال رخ داده است (حسنی و محجل، ۱۳۷۸؛ رشیدنژاد عمران، ۱۳۸۱؛ 1996، 1995؛ Moritz and Ghazban, 2006 et al.). بر همین اساس، حسنی و محجل (۱۳۷۸) تشکیل این کانسارها را مرتبط با تکتونیک کششی همزمان با جایگیری ماگماتیسیم گرانیتی در نظر گرفته‌اند. ارتباط فضایی کانه‌زایی‌ها با برخی از نفوذی‌های گرانیتی نیز پارامتری است که از آن به عنوان ارتباط ژنتیکی یاد شده است (خویی، ۱۳۶۶؛ Thiele et al., 1968؛ Samani, 1988). علاوه بر این، منشأ سیالات دگرگونی (Paidar-Saravi, 1989؛ Abdollahi et al., 2009) و یا اختلاط سیالات دگرگونی و آب-

منطقه معدنی طلای موته در ۶۰ کیلومتری جنوب باختری دلیجان، اولین معدن فعال طلا در کشور می‌باشد. مجموعه ۱۰ کانسار شناخته شده در این منطقه معدنی دارای عیار متوسط ۴ گرم در تن و ذخیره‌ای نزدیک به ۱/۲ میلیون تن طلا می‌باشند (Farhangi, 1991). اگرچه این کانسارها دارای ویژگی‌های ساختاری و کانه‌زایی مشابهی هستند اما برخی تفاوت‌های محلی در نوع کنترل-کننده‌های ساختاری و میزان تمرکز و توزیع فلزی در آن‌ها دیده می‌شود (جدول ۱). تمامی کانسارها، به‌جز چاه‌باغ، در بخش شمال خاوری منطقه قرار دارند (شکل ۱). در این بخش، سنگ‌ها در حد رخساره شیبست سبز دگرگون شده و توسط نفوذی‌های گرانیتی قطع شده‌اند (رشیدنژاد عمران، ۱۳۸۱؛

کانی‌های دگرگونی (کوارتز، فلدسپات، بیوتیت و مسکویت) به موازات ساختمان میلوئیتی کشیده شده‌اند، دگرگونی رخساره شیست‌سبز با رخداد بُرشی شکل‌پذیر همزمان بوده است (صدیق، ۱۳۷۸؛ کوهستانی، ۱۳۸۳). کوهستانی (۱۳۸۳) بر پایه شدت تبلور دوباره و اندازه کانی‌ها و نسبت میزان زمینه به پورفیروکلاست، بخش‌های کانه‌دار پهنه بُرشی شکل‌پذیر چاه‌باغ را به سه ساختمان پروتومیلونیت، میلوئیت و اولترامیلونیتی تفکیک کرده است. بخش پرعیار کانه‌زایی طلا در واحدهای میلوئیتی و اولترامیلونیتی رخ داده است (کوهستانی، ۱۳۸۳؛ کوهستانی و همکاران، ۱۳۸۵). دگرشکلی مرحله سوم (D<sub>3</sub>) به صورت مجموعه‌ای از گسله‌های معکوس، مورب‌لغز، نرمال و درزه‌شدگی در منطقه چاه‌باغ رخ داده است که در این بین، گسلش نرمال با روند عمومی شمال باختری - جنوب خاوری و شیب مایل به سوی شمال خاوری با کانه‌زایی طلا همراه می‌باشد (کوهستانی، ۱۳۸۳؛ کوهستانی و همکاران، ۱۳۸۵).

کانه‌زایی در کانسار چاه‌باغ درون پهنه‌های بُرشی شکل‌پذیر و شکنا رخ داده است (کوهستانی، ۱۳۸۳؛ کوهستانی و همکاران، ۱۳۸۵). سنگ میزبان کانه‌زایی در هر دو پهنه، سنگ‌های به شدت دگرسان شده و دگرریخته شیست‌های فلسیک و متاریولیتی است که به صورت میان‌لایه با واحدهای کلریت - اکتینولیت شیست قرار گرفته‌اند. کانه‌زایی تیپ شکل‌پذیر در منطقه‌ای به درازای ۱ کیلومتر و پهنای ۶۰ متر رخ داده است. این نوع کانه‌زایی شامل مجموعه‌ای از رگه‌ها و عدسی‌های کوارتزی غنی از سولفید طلا دارد می‌باشد که به صورت هم‌روند با برگرورگی میلوئیتی قرار گرفته‌اند (شکل ۳- الف). برخی از عدسی‌های کانه‌دار تا حدود ۱۰۰ متر درازا و ۳ تا ۵ متر پهنای دارند. عیار طلا در تیپ شکل‌پذیر تا ۱۳/۳ گرم در تن اندازه‌گیری شده است (کوهستانی، ۱۳۸۳). کانه‌زایی تیپ شکنا به صورت رگه‌های کوارتزی - سولفیدی طلا دار قطع‌کننده برگرورگی می‌باشد (شکل ۳- ب) که درون مجموعه‌ای از گسل‌های نرمال با روند N40W و شیب به سوی شمال خاوری رخ داده‌اند. بخش‌های طلا دار این پهنه اغلب برشی، دانه‌ای و تبلور یافته بوده و نسبت به پهنه‌های فاقد کانه‌زایی مجاور که برشی نشده و درشت بلور هستند، تیره‌تر می‌باشند. مهم‌ترین پهنه کانه‌دار شکنا حدود ۱۰۰ متر درازا و ۵ متر پهنای داشته و میزان طلا در آن تا ۱/۴۸ گرم در تن اندازه‌گیری شده است (کوهستانی، ۱۳۸۳). دگرسانی گرمایی در کانسار چاه‌باغ شامل سرسیستی، اپیدوتی، تورمالینی، سیلیسی و سولفیدی است (کوهستانی، ۱۳۸۳؛ کوهستانی و همکاران، ۱۳۸۵). در این بین، دگرسانی‌های سرسیستی و اپیدوتی گسترش فراوانی در سرتاسر مناطق کانه‌زایی دارند در حالی که دگرسانی تورمالینی تنها در واحد گرانیت میلوئیتی دیده می‌شود. دگرسانی‌های سیلیسی و سولفیدی بیشترین گسترش را در بخش‌های داخلی پهنه‌های بُرشی و کانه‌زایی داشته و منطبق بر بخش‌های پرعیار هستند.

براساس مطالعات قبلی (کوهستانی و همکاران، ۱۳۸۵؛ Kouhestani et al., 2008) سولفیدهای طلا دار در کانسار چاه‌باغ شامل پیریت (نزدیک به ۹۰ درصد)، کالکوپیریت و آرسنوپیریت است که بیشتر به صورت دانه پراکنده و رگچه‌ای و بعضاً به موازات برگرورگی در سنگ‌های میزبان دگرریخته (میلوئیتی و اولترامیلونیتی) رخ داده‌اند. کوهستانی (۱۳۸۳) دو مرحله کانه‌زایی را برای کانسار چاه‌باغ مشخص کرده است که با سولفیدهای (پیریت، کالکوپیریت و آرسنوپیریت) درشت بلور خودشکل تا نیمه خودشکل نسل اول شروع و به سولفیدهای ریز بلور بی‌شکل (پیریت و کالکوپیریت) نسل دوم ختم می‌شود.

های جوی در زمان جای‌گیری توده‌های گرانیتی (Moritz and Ghazban, 1995, 1996) نیز برای تشکیل این کانسارها مطرح شده است.

کانسار چاه‌باغ در دره‌ای موسوم به کال‌شور و به فاصله ۲۵ کیلومتری باختر - جنوب باختری کارخانه استحصال طلا قرار دارد (شکل ۱). از نظر موقعیت ساختاری، کانسار چاه‌باغ با کانسارهای طلای شمال موه که مرتبط با تکنونیک کششی هستند، تفاوت دارد. براساس کوهستانی (۱۳۸۳) و کوهستانی و همکاران (۱۳۸۵) یک پهنه بُرشی شکل‌پذیر با مؤلفه امتدادلغز راست‌گرد و روند عمومی شمال باختری، عامل کنترل‌کننده اصلی کانه‌زایی در کانسار چاه‌باغ می‌باشد. در مطالعات انجام شده قبلی (کوهستانی و همکاران، ۱۳۸۲؛ a, ۱۳۸۳b؛ ۱۳۸۴؛ ۱۳۸۵؛ ۱۳۸۵؛ Kouhestani et al., 2008)، زمین‌شناسی، کانه‌زایی، دگرشکلی، دگرسانی و ژئوشیمی کانسار چاه‌باغ مورد بحث قرار گرفته است. در این مقاله، عوامل کنترل‌کننده و مراحل تکوین کانه‌زایی در این کانسار مورد بررسی قرار گرفته و مدل تشکیل آن ارائه گردیده است.

## ۲- ویژگی‌های زمین‌شناسی و کانه‌زایی کانسار چاه‌باغ

واحدهای سنگی در محدوده کانسار چاه‌باغ شامل توالی سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشانی - رسوبی دگرگون شده در حد رخساره شیست‌سبز و شیست‌سبز بالایی - آمفیبولیت پایینی می‌باشد که به دونین و حتی قدیمی‌تر نسبت داده شده‌اند (رشیدنژاد عمران، ۱۳۸۱). این واحدها شامل کلریت - اکتینولیت شیست، شیست فلسیک، متاریولیت و متاریولیت میلوئیتی می‌باشد (شکل ۲). سیل‌ها و دایک‌های متابازیتی به طور مکرر این واحدها را مورد هجوم قرار داده‌اند. توده گرانیت میلوئیتی درشت بلور که در خاور دره کال‌شور رخنمون دارد (شکل ۲)، تنها توده نفوذی موجود در ناحیه چاه‌باغ است. این توده با وسعتی حدود ۸-۹ کیلومتر مربع، درون پهنه بُرشی شکل‌پذیر رخنمون داشته و ساختمان‌های میلوئیتی به خوبی در آن توسعه یافته است (کوهستانی، ۱۳۸۳). کوارتز، پلاژیوکلاز سدیک و کم و بیش بیوتیت، کانی‌های اصلی این گرانیت را تشکیل می‌دهند. سن جای‌گزینی این توده براساس سن گرانیت‌های شمال موه (Rashidnejad Omran et al., 2002) به کراتاسه پایانی نسبت داده شده است (کوهستانی، ۱۳۸۳).

توالی‌های سنگی فوق تحت تأثیر فازهای متعدد و شدید دگرریختی (D<sub>1</sub>-D<sub>3</sub>)، نظم و ترتیب اولیه خود را از دست داده‌اند (صدیق، ۱۳۷۸؛ حسنی و همکاران، ۱۳۸۱؛ کوهستانی، ۱۳۸۳؛ کوهستانی و همکاران، ۱۳۸۵). دگرشکلی مرحله دوم (D<sub>2</sub>)، مهم‌ترین دگرشکلی رخ داده در منطقه می‌باشد که سبب تشکیل پهنه بُرشی شکل‌پذیر راست‌گرد چاه‌باغ با روند ساختاری WNW (۲۹۰°-۲۸۰°) به درازای ۳ و پهنای ۲ کیلومتر شده است. ساختارها و ساختمان‌های متفاوتی در پهنه بُرشی شکل‌پذیر ایجاد شده است. از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به برگرورگی میلوئیتی (در مقیاس‌های مختلف)، خطواره کششی نافذ، چین‌های F<sub>2</sub>، جدایش کانی‌های تیره و روشن و ... اشاره کرد (کوهستانی، ۱۳۸۳). ساختمان میلوئیتی به وسیله برگرورگی غالب با روند شمال باختری و شیب حدود ۸۰-۶۰° به سمت شمال خاوری و گاهی به صورت تقریباً قائم، مشخص شده و به موازات برگرورگی S<sub>2</sub> می‌باشد. خطواره‌های کششی، نوارهای متشکل از کانی‌های تخت و طویل شده کوارتز و فلدسپات آلکانل می‌باشند که با امتداد ساختمان‌های میلوئیتی، موازی تا نیمه‌موازی هستند. از آنجایی که

آرسنوپریت، به طور ضعیف توسط محلول‌های غنی از سیلیس تحت تأثیر قرار گرفته و هم‌زمان با گسترش دگرسانی سیلیسی و سولفیدی سنگ دیواره، فقط اندکی بعد از اینکه زمینه کوارتزی اولیه تحت بُرش و دگرشکلی شدید قرار گرفت، به طور نسبی غنی می‌شوند (Khalil et al., 2003). با افزایش شدت دگرشکلی و ساختارهای حاصل از بُرش، شدت سیلیسی و سولفیدی شدن افزایش و به تبعیت از آن، کانه‌زایی نیز پرعیارتر می‌شود. وجود دو نسل سولفید و حضور طلای غیر قابل رؤیت در آن‌ها نشان می‌دهد که کانه‌زایی طلا در دو فاز رخ داده است. هر دو فاز کانه‌زایی در واحدهای دگرشکل شده رخ داده و معمولاً عیارهای بالای طلا در آن‌ها منطبق بر بخش‌های داخلی پهنه‌های دگرشکلی است. مرحله نخست شامل رگه‌های کوارتزی سولفیدداری است که به طور کامل هم‌روند با برگوارگی میلوئیتی گسترش یافته‌اند. کوارتزها و سولفیدهای این مرحله تحت تأثیر تنش، تغییر شکل نشان داده و شکستگی‌های آن‌ها توسط کوارتزها و سولفیدهای نسل بعدی پر شده است. طی این مرحله از دگرشکلی شکل‌پذیر، کوارتزهای اولیه برشی شده و به کوارتزهای میکرو کریستالینی تبدیل می‌شوند که به عنوان میزبان کانه‌زایی در مراحل بعدی عمل می‌کنند. دومین مرحله از ته‌نشینی سولفیدها به صورت رگه و رگچه‌های با امتداد عمود بر روند برگوارگی میلوئیتی است. این رگه-رگچه‌ها که توسط کوارتز و سولفیدهای ریز و بی‌شکل پر شده‌اند، کوارتزهای نسل اول و همچنین کانی‌های اولیه تشکیل‌دهنده سنگ را قطع می‌کنند. در این فاز، مکانیسم شکستگی، پرشدگی و ترمیم آن هم‌زمان با تغییر شکل صورت می‌گیرد. شکستگی‌های ترمیم شده‌ای که به کمک جهت‌یافتگی میان‌بارهای سیال ثانویه مشخص می‌شوند، شاهدهی بر عملکرد هم‌زمان با تغییر شکل این مکانیسم در واحدهای کانه‌دار هستند (Zhou and Wang, 1999). با افزایش شدت فشار و تنش در پهنه‌های کانه‌دار، ریزشکستگی‌ها به بیشترین حد گسترش رسیده و در نتیجه سیالات کانه‌دار بیشتری وارد فضاهای خالی می‌شوند. این عمل با مکانیسم پرشدگی شکستگی‌ها و ته‌نشینی سیالات کانه‌دار حاوی سیلیس و سولفید (Ramsay, 1980)، مطابقت دارد. لذا می‌توان چنین نتیجه گرفت که در کانسار چاه‌باغ، دگرشکلی به عنوان عامل اصلی غنی‌شدگی طلا عمل کرده است به طوری که واحدهای میلوئیتی و اولترامیلونیتی بیشترین عیار طلا را دارا هستند. این کنترل که به شدت تحت تأثیر دگرشکلی پیش‌رونده و سیال تحت فشار درون پوسته است (Sibson et al., 1988; Robert, 1990; Cox et al., 1991) تنها در طول یک دوره زمانی محدود از تاریخچه کلی بُرش و هجوم سیال (Hogdson, 1993; Brown and Bruhm, 1996) رخ می‌دهد. این دوره معمولاً مرحله پایانی بُرش یا زمان اوج دگرشکلی است (Brathwaite and Pirajno, 1993).

### ۳-۱-۲- دگرسانی

بررسی‌های صحرایی و میکروسکوپی انجام شده در پهنه‌های بُرشی کانسار چاه‌باغ، نشان‌دهنده ارتباط مکانی و زمانی دگرسانی گرمایی با دگرشکلی و کانه‌زایی است. از نظر مکانی، این انطباق توسط قرارگیری دگرسانی‌های شدید سیلیسی و سولفیدی در بخش‌های داخلی پهنه‌های بُرشی که متحمل دگرشکلی در حد میلوئیت و اولترامیلونیت شده و عیارهای بالایی از طلا دارند، مشخص می‌گردد. از نظر زمانی نیز دگرسانی گرمایی با دگرشکلی و کانه‌زایی ارتباط دارد. به این صورت که بخش‌های به شدت دگرسان شده پرعیار، هم‌روند با

کانه‌زایی طلا با هر دو نسل سولفیدها رخ داده است. نتایج مطالعات میکروسکوپی و میکروسکوپ الکترونی نمونه‌های پرعیار نشان می‌دهد که طلا به صورت آزاد درون کوارتز و یا حاشیه سولفیدهای دگرسان شده وجود ندارد. اما نتایج آنالیزهای کمی الکترون میکروپروب، بیان‌گر حضور طلا به صورت درگیر و غیرقابل رؤیت درون شبکه کانی‌های سولفیدی است (Kouhestani et al., 2008). براساس این مطالعات، میزان طلا در پیریت‌های درشت بلور نسل اول تا ۰/۰۷ درصد وزنی، پیریت‌های ریز بلور نسل دوم تا ۰/۲۴ درصد وزنی، کالکوپیریت‌های درشت بلور نسل اول تا ۰/۲۱ درصد وزنی و در کالکوپیریت-های ریز بلور نسل دوم تا ۰/۴۶ درصد وزنی می‌رسد. نقره به صورت درگیر در شبکه کانی‌های سولفیدی (بیشترین میزان در کالکوپیریت‌های درشت بلور نسل اول تا ۰/۲ درصد وزنی و کالکوپیریت‌های ریز بلور نسل دوم تا ۰/۱۱ درصد وزنی) و به شکل آزاد درون کوارتز (تا ابعاد ۵ میکرون) حضور دارد (Kouhestani et al., 2008). کوارتز مهم‌ترین کانی باطله در کانسار چاه‌باغ محسوب می‌شود که به صورت رگه‌های لامینه‌مانند و عدسی‌های موازی با برگوارگی و یا رگه‌های قطع‌کننده برگوارگی در سنگ‌های به شدت دگرریخته کانه‌دار دیده می‌شود. بر پایه مطالعات میکروسکوپی نمونه‌های دگرسان شده سه نوع کوارتز در کانسار چاه‌باغ قابل تشخیص است (کوهستانی و همکاران، ۱۳۸۵؛ Kouhestani et al., 2008): ۱- کوارتزهای قبل از دگرشکلی، ۲- کوارتزهای مرحله اول دگرسانی گرمایی و ۳- کوارتزهای گرمایی همراه با سولفید (مرحله تأخیری). تنها کوارتزهای گرمایی مرحله تأخیری با کانه‌زایی طلا همراه بوده و دو نوع دیگر فاقد کانه‌زایی هستند. توالی پاراژنتیک کانی‌ها در کانسار طلای چاه‌باغ با توجه به ارتباط دگرشکلی، دگرسانی و کانه‌زایی در شکل (۴) نشان داده شده است.

### ۳- بحث

#### ۳-۱- عوامل کنترل کننده کانه‌زایی در کانسار چاه‌باغ

عوامل کنترل کننده کانه‌زایی در کانسار چاه‌باغ به شرح زیر است:

#### ۳-۱-۱- دگرشکلی

ویژگی مهم کانسار چاه‌باغ، رخداد کانه‌زایی در واحدهای سنگی دگرریخته می‌باشد. رخداد اصلی کانه‌زایی توسط ساختارهای شکل‌پذیر کنترل می‌شود به طوری که روند کانه‌زایی در مقیاس‌های مختلف از روند پهنه‌های بُرشی تبعیت کرده و مقیاس و اندازه کانسار متناسب با پهنه‌های به شدت دگرشکل شده میلوئیتی و اولترامیلونیتی است. تبعیت کانه‌زایی از روند و شیب پهنه‌های بُرشی به نیروهای فشارشی و چرخش آن در زمان تشکیل پهنه‌های بُرشی مرتبط است که به عنوان نیروی حرکت‌دهنده و حمل‌کننده، سبب مهاجرت سیالات کانه‌دار در مسیرهای قابل مهاجرت شده و با تغییر شرایط موجود، کانه‌زایی رخ داده است (Teagle et al., 1990; Udubasa et al., 1991; Craw et al., 1999; Anderson et al., 2001). در واقع پهنه بُرشی مانند یک مجرا برای تراوش محلول‌های غنی از سیلیس و ته‌نشینی طلا عمل می‌کند (Guha et al., 1983; Zhang et al., 2003). این محلول‌ها در سنگ دیواره، سبب جانیشینی سولفیدهای طلا‌دار به صورت دانه پراکنده می‌شوند. شدت جانیشینی بستگی به ترکیب کانی‌شناسی سنگ دیواره دارد. اغلب کانی‌های پایدار مانند پیریت و

حمل می‌کنند ( Foster, 1993; Zhou and Wang, 1999; Evans and Wilton, 2000). سیالات مزبور، در سطوح بالاتر به عنوان عامل دگرسانی پهنه‌های بُرشی عمل کرده و در حالی که این پهنه‌ها اوج دگرگونی (و تا حدی بعد از اوج دگرگونی) خود را سپری می‌کنند (Stuwe, 1998)، سبب ته‌نشینی طلا در بخش‌های داخلی آن‌ها می‌شوند. در خلال حادثه بالآمدگی کمپلکس‌های سنگی منطقه هم‌زمان یا کمی بعد از دگرشکلی مرحله سوم، این سیالات (سیالات آزاد شده طی دگرگونی پیش‌رونده) در اختلاط با آب‌های جوی گرم شده (Moritz and Ghazban, 1995, 1996) و سبب دگرگونی پسروده، دگرسانی و کانه‌زایی در امتداد گسل‌های کششی نرمال شده‌اند (کوهستانی، ۱۳۸۳؛ کوهستانی و همکاران، ۱۳۸۵) به طوری که جایگزینی پهنه‌های کانه‌دار هم‌زمان با دگرگونی پسروده و مدت‌ها پس از اوج دگرگونی واحدهای سنگی میزبان رخ داده است. (Stuwe et al., 1993) نشان دادند که بین دگرگونی سنگ میزبان و جایگزینی پهنه‌ها یک وقفه زمانی چندین ده میلیون ساله وجود دارد. به اعتقاد ایشان سطوح مختلف پوسته، دگرگونی را در زمان‌های متفاوتی تحمل می‌کنند. بنابراین سیال آزاد شده طی دگرگونی پیش‌رونده در سطوح عمیق می‌تواند در زمان دگرگونی پسروده سطوح کم‌عمق تر سبب دگرسانی و جایگزینی پهنه‌های کانه‌دار گردد. بنابراین با توجه به هم‌زمانی دگرسانی و کانه‌زایی با دگرگونی محدوده‌های میزبان کانسارها (McCuaig and Kerrich, 1998)، می‌توان اظهار داشت که سیالات دگرگونی در کانه‌زایی طلا در کانسار چاه‌باغ نقش عمده داشته‌اند به طوری که این واکنش‌ها سبب حمل و ته‌نشینی طلا در واحدهای سنگی با شدت دگرشکلی و دگرسانی بالا و در نتیجه کانه‌زایی شده‌اند.

### ۳-۱-۴- ماهیت سنگ میزبان

در کانسار چاه‌باغ سنگ‌های میزبان از طریق کنترل نفوذپذیری، تعیین نوع دگرسانی، کنترل میزان گوگرد و طلای قابل شستشو و ته‌نشست طلا در کانه‌زایی نقش دارند (کوهستانی، ۱۳۸۳). نفوذپذیری توسط کانی‌شناسی سنگ میزبان کنترل می‌شود. به این صورت که نوع کانی‌های تشکیل دهنده، ابعاد آن‌ها و رفتار متفاوت آن‌ها در برابر استرس حاصل از دگرشکلی، سبب ان‌ایزوتروپی و در نتیجه گسترش نفوذپذیری سنگ می‌شود. دگرسانی سنگ دیواره با تشکیل کانی‌های جدیدی که بر نفوذپذیری و پاسخ به استرس سنگ‌های دیواره اثر دارند، به این امر کمک می‌کند (McCuaig and Kerrich, 1998). کانی‌های فیلسیلیکاته مانند کلریت، بیوتیت و مسکوویت (مربوط به سنگ اولیه و یا تشکیل شده توسط هیدرولیز طی فرآیندهای دگرسانی) سبب کاهش قابلیت سنگ دیواره برای دگرشکلی و تولید ان‌ایزوتروپی ضعیف می‌شود. این امر باعث چین‌خوردگی و دگرشکلی سنگ‌های شیت‌سبز در کانسار چاه‌باغ شده است. در نتیجه این استرس‌ها، سنگ‌ها دوباره متبلور شده‌اند و کانی‌های آن‌ها نسبت به هم جابجایی ندارند. لذا این سنگ‌ها نفوذپذیری کمتری را در پهنه‌های بُرشی از خود نشان داده و از نظر کانه‌زایی فقیر هستند. در مقابل، حضور کانی‌های بی‌آب با ساختار منشوری مانند کوارتز و فلدسپات سبب افزایش قابلیت سنگ‌های دیواره برای دگرشکلی و ساختمان‌های ان‌ایزوتروپی می‌شود. این حالت با رسانایی هیدرولیکی کمتر سنگ‌های دیواره همراه است. لذا هنگامی که فشار سیال بر فشار لیتوستاتیک غلبه می‌کند، سبب گسترش ریزشکستگی‌ها

پهنه‌های بُرشی و منطبق بر بخش‌های داخلی آن‌ها بوده و ساختمان میلونیتی و دگرشکلی کوارتزهای مرحله اول گرمایی و دانه‌های سولفیدی نسل اول که در پاسخ به دگرشکلی‌های مرحله بعدی رخ می‌دهد، توسط کوارتزها و سولفیدهای مرحله دوم گرمایی به طور هم‌زمان پر شده است. این امر بیان‌گر هم‌زمانی دگرسانی گرمایی و کانه‌زایی با دگرشکلی است (Zhou and Wang, 1999). ارتباط مثبت بین دگرشکلی، دگرسانی و کانه‌زایی در شکل (۵) نشان داده شده است. به طوری که مشاهده می‌شود عیارهای بالای طلا با بخش‌های داخلی پهنه‌های بُرشی که بیشترین شدت دگرسانی سیسیسی-سولفیدی و دگرشکلی میلونیتی-اولترامیلونیتی را دارند، انطباق کامل دارد. در حالی که دگرسانی‌های سریستی و اپیدوتی گسترده‌تر بوده و بیشتر در بخش‌های با شدت دگرشکلی کمتر رخ داده‌اند. این دگرسانی‌ها تنها با تغییرات شیمیایی سنگ دیواره همراه بوده و میزان طلای آن‌ها در حد زمینه است. لذا ته‌نشست طلا بخشی از دگرسانی سنگ دیواره محسوب شده و به طور مستقیم به دگرسانی سولفیدی مرتبط است (Lobato et al., 1998). از این‌رو، کانه‌زایی طلا در کانسار چاه‌باغ به فرآیند دگرسانی گرمایی مرتبط بوده و در پهنه‌های بُرشی، در اثر نفوذ حجم قابل توجهی از سیالات کانه‌ساز رخ داده است. این سیالات در مناطق کششی پهنه‌های بُرشی (مانند ساختمان‌های C و S در بخش شکل‌پذیر و گسل‌های کششی نرمال در بخش شکنا) که فشار سیال کاهش می‌یابد سبب ته‌نشینی کانه‌ها و کانه‌زایی طلا می‌شوند (Sibson, 1986).

### ۳-۱-۳- دگرگونی

با توجه به کانی‌های تشکیل دهنده سنگ‌های منطقه چاه‌باغ که به طور عمده شامل کوارتز، فلدسپات، کانی‌های ورقه‌ای (بیوتیت، سریست و مسکوویت) و هورنبلند است، رخدادهای دگرگونی و دگرشکلی و دگرسانی مرتبط با آن‌ها را می‌توان در دو مرحله تفکیک کرد (کوهستانی، ۱۳۸۳): ۱- دگرگونی پیش‌رونده تا رخساره شیت‌سبز بالایی- آمفیبولیت پایینی (حضور بیوتیت قهوه‌ای و هورنبلند) و ۲- دگرگونی پسروده تا رخساره شیت‌سبز میانی- شیت‌سبز پایینی (حضور کلریت، سریست و مسکوویت). نتایج مطالعات ژئوشیمیایی یک پتانسیل اولیه از طلا در حد آتومالی (۱۴۸/۶-۴/۳ میلی‌گرم در تن (Paidar-Saravi, 1989) و ۲۰۰-۳ میلی‌گرم در تن (رشیدنژاد عمران، ۱۳۸۱) را در مجموعه سنگ‌های منطقه نشان می‌دهد که می‌توان آن را به مرحله تشکیل ریفت و فرآیندهای آتشفشانی- برون‌دمی حاصل از آن مرتبط دانست (رشیدنژاد عمران، ۱۳۸۱). کانه‌زایی مزبور در خلال حوادث دگرگونی و دگرریختی سنگ‌های میزبان، پویایی، تمرکز و آرایش دوباره‌ای می‌یابد. دگرگونی پیش‌رونده از طریق تجزیه کانی‌های آب‌دار و سیالات بین‌منفذی و دانه‌ای که به شرایط تشکیل اولیه آن‌ها مربوط است (Foster, 1993) سبب تولید و آزادسازی سیالات دگرگونی با خصوصیات مانند شوری پایین و غنی از گوگرد، بخار آب و دی‌اکسید کربن در شرایط فشار سیالی لیتوستاتیک می‌شود (Phillips and Powell, 1993; Phillips, 1993; Christie and Brathwaite, 2003). این سیالات در مسیر گرا دیان فشاری موجود در نواحی دگرگونی و هم‌زمان از طریق پهنه‌های بُرشی (نوع شکل‌پذیر) که عامل مهمی در ایجاد و افزایش نفوذپذیری هستند، به سمت بالا حرکت کرده و در مسیر خود طلا را از واحدهای آتشفشانی- رسوبی مسیر شسته و به شکل کمپلکس‌های بی‌سولفیدی

حدواسط، یک ارتباط متداول درون کمربندهای کوهزایی فانروزویک بوده و نشان‌دهنده رخداد هم‌زمان تولید سیالات طلا دار (کانه‌زایی) و توده‌های نفوذی در یک رخداد زمین‌شناسی بزرگ مقیاس می‌باشد. (Stuwe, 1998) این ارتباط را به هم‌زمانی پیشرفت دگرگونی با ذوب بخشی پوسته بالایی نسبت می‌دهد اما (Bierlein et al., 2004) تولید این نفوذی‌های پس از تکتونیک را به کوتاه‌شدگی و ضخیم‌شدگی پوسته حین درهم‌آمیختگی محدوده‌های میزبان که منجر به توسعه ذوب گسترده در پوسته پایینی می‌گردد، نسبت داده‌اند. با وجود عدم ارتباط ژنتیکی بین توده‌های گرانیتی و کانه‌زایی طلا، جایگزینی توده‌های مزبور احتمالاً به عنوان یک موتور حرارتی برای حرکت سیالات از بخش‌های عمیق‌تر عمل می‌کند (Woodward, 1993). موتور حرارتی مورد نظر توسط مهاجرت رو به بالای مذاب‌های گرانیتی که حرارت را از پوسته میانی به پوسته بالایی منتقل می‌کند، صورت می‌گیرد (Davis et al., 2002). این فرآیند همچنین سبب حرکت رو به بالای سیالات دگرگونی به دام افتاده در فضا‌های منفذی و سیالات کانه‌دار از طریق پهنه‌های بُرشی و جایگزینی رگه‌های کوارتزی طلا دار می‌شود (Miller et al., 1994).

با توجه به روند عمومی گسترش، جهت‌یافتگی کانی‌های تشکیل‌دهنده، هم‌روند بودن با واحدهای سنگی منطقه و روند پهنه بُرشی، دگرشکلی میلوئیتی و همچنین عدم آثار حرارتی به صورت دگرگونی مجاورتی و تشکیل هاله دگرگونی، گرانیت میلوئیتی منطقه از نوع گرانیت‌های کالکوالکان مناطق برخوردی است (Groves et al., 1998). بنابراین براساس: ۱- ارتباط‌های ساختاری مشاهده شده در منطقه که نشان‌دهنده وقوع توده‌های نفوذی پس از فاز اصلی تکتونیک (فاز دوم) و در برخی موارد هم‌زمان با آخرین مراحل این فاز می‌باشد، ۲- وجود رگه‌های کوارتزی متعدد در این توده که فاقد کانه‌سازی هستند و ۳- عدم فعالیت معدن‌کاری قدیمی و مدرن در توده گرانیت میلوئیتی منطقه، گرانیت مزبور با کانه‌زایی طلا ارتباط ژنتیکی ندارد. لذا حضور این گرانیت در پهنه بُرشی منطقه تنها شاهدهی بر وجود حوادث حرارتی بالا در حین دگرشکلی شکل‌پذیر و تشکیل ساختمان میلوئیتی می‌باشد که به عنوان موتور حرارتی برای حرکت سیالات کانه‌دار عمل کرده است. به عقیده Moritz and Ghazban (1995, 1996) توده‌های گرانیتی موجود در منطقه موته در خلال حوادث دگرریختی منطقه به عنوان ناپیوستگی‌های لیتولوژیکی عمل کرده و در حاشیه آن‌ها، نقاط ضعف ساختاری برای چرخه سیالات کانه‌ساز فراهم آمده است. (Paidar-Saravi (1989 نیز نقش توده‌های گرانیتی را پویایی دوباره عناصر کانه‌ساز معرفی کرده است.

در سنگ میزبان می‌شود که خود باعث نفوذپذیری بیشتر و در نتیجه تراوش سیال و دگرسانی گرمایی بیشتر می‌گردد. از آنجایی که آن‌ایزوتروپی بین سنگ-های بیشتر متراکم و کمتر متراکم، نقش اصلی را در تعیین محل پهنه‌های بُرشی دارد (Coelho and Silva, 1998) و افزایش آن سبب افزایش نفوذپذیری و در نتیجه تراوش بیشتر سیالات گرمایی و دگرشکلی، دگرسانی و کانه‌زایی بیشتر می‌شود (McCuaig and Kerrich, 1998)، لذا واحدهای شیستی فلسیک و متاریولیتی منطقه به دلیل قرارگیری در بخش‌های داخلی پهنه‌های بُرشی، بیشترین میزان عیار طلا را به خود اختصاص می‌دهند. واحدهای متاریولیتی از این نظر نسبت به واحدهای شیستی فلسیک برتری دارند.

ترکیب سیالات کانه‌ساز به شدت توسط سنگ‌های دیواره کنترل می‌شود (Barnicoat et al., 1991). ترکیب کانی‌شناسی سنگ میزبان نیز نقش مهمی در نوع دگرسانی و کانه‌زایی ایفا می‌کند (Dewolfe, 1995). علاوه بر این، زمانی که سیالات کانه‌ساز به سنگ‌های غنی از سولفید دسترسی دارند، حضور یا عدم حضور سنگ منشأ ویژه (مانند توده‌های نفوذی) جهت تأمین گوگرد و طلا ضروری نیست (Goldfarb et al., 2001). تمامی مجموعه‌های سنگی موجود در منطقه حاوی مقدار فراوانی پیریت هم‌زمان با تشکیل سنگ می‌باشند (کوهستانی، ۱۳۸۳). این پیریت‌ها که به طور بالقوه غنی از طلا هستند (Paidar-Saravi, 1989؛ رشیدنژادعمران، ۱۳۸۱) به دلیل قرارگیری در مسیر مهاجرت سیال (پهنه‌های بُرشی) سبب غنی‌شدگی سیالات گرمایی از گوگرد و طلا می‌شوند. وجود توالی سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی دگرگونه (شیست فلسیک و متاریولیت) و سنگ‌های با خصوصیات اقیانوسی اولیه (شیست‌های سبز)، نشان‌دهنده نقش مهم توالی‌های سنگی در توسعه منبع سیال و فرآیند تشکیل کانسار است (Bierlein et al., 2004). در پهنه‌های کانه‌دار، کمپلکس‌های بی‌سولفیدی طلا دار زمانی ناپایدار می‌شوند که شرایط محلی سبب کاهش هیدروسولفیدها (HS) در سیال شود (Leonardos et al., 1991). کاهش هیدروسولفیدها در اثر کاهش فشار سیال بعد از ایجاد شکستگی‌های هیدرولیکی (نفوذپذیری) و یا فرآیندهای سولفیدی شدن کانی‌های آهن‌دار (ترکیب کانی‌شناسی) و یا رخداد هم‌زمان هر دو فرآیند، صورت می‌گیرد (Kishida et al., 1991). حضور کانی‌های آهن‌دار مانند بیوتیت در متاریولیت‌ها و شیست‌های فلسیک منطقه سبب غنی‌شدگی این سنگ‌ها از طلا از طریق واکنش‌های سولفیدی شده است. در کانسار چاه‌باغ، سنگ‌های میزبان از طریق فرآیندهای فوق سبب ته‌نشینی طلا و غنی‌شدگی آن در بخش‌های داخلی پهنه‌های بُرشی شده‌اند.

### ۳-۱-۵- توده‌های نفوذی

براساس شکل (۲)، تنها توده نفوذی موجود در محدوده کانسار چاه‌باغ، توده گرانیتی خاور دره کال‌شور است که درون پهنه بُرشی شکل‌پذیر رخنمون یافته است. این توده گرانیتی، هم‌زمان با پهنه بُرشی شکل‌پذیر در واحدهای دگرشکل شده نفوذ کرده و به شدت میلوئیتی شده است (کوهستانی، ۱۳۸۳). به طور معمول، در محدوده‌های دگرگونی میزبان کانسارهای طلا، ارتباط زمانی و فضایی نزدیکی بین توده‌های گرانیتی و کانه‌زایی طلا دیده می‌شود. به اعتقاد (Goldfarb et al., 1991, 1998) و (Davis et al., 2002) ارتباط این توده‌ها با کانه‌زایی ژنتیکی نیست و هر دو مورد توسط ساختار کنترل شده‌اند (Stuwe, 1986). به عقیده آن‌ها، ارتباط کانه‌زایی طلا با توده‌های نفوذی فلسیک تا

### ۳-۲- مراحل تکوین کانه‌زایی در کانسار چاه‌باغ

تاکنون محققین زیادی منطقه معدنی طلای موته را از نظر زمین‌شناسی، سنگ-شناسی، ساختار و کانه‌زایی مطالعه کرده و تفسیرهای ژنتیکی مختلفی برای کانه‌زایی طلا در این منطقه ارائه داده‌اند. (Thiele et al. (1968 و Samani (1988) یک ارتباط ژنتیکی بین کانسارهای طلا و توده‌های گرانیتی (منسوب به پرکامبرین) در نظر گرفته‌اند در حالی که (Paidar-Saravi (1989 اعتقاد دارد که کانسارهای طلا منشأ سیالات دگرگونی دارند. (Moritz and Ghazban (1995, 1996) نشان دادند که کانسارهای طلا در منطقه موته در امتداد گسل‌های نرمال با روند شمال باختری با شیب شمال خاوری که ساختمان‌های شکل‌پذیر سنگ-



صورت هم‌زمان با دیاژنز و در پیریت‌های رسوبی چینه‌سان- چینه‌کران، دانه - پراکنده و عدسی شکل رخ داده است.

مرحله دوم غنی‌شدگی طلا در کانسار چاه‌باغ به صورت دگرگونی پیش‌رونده و دگرشکلی ( $D_1-D_2$ ) متعاقب آن رخ داده است. با فرورانش صفحات آفریقا- عربی و اوراسیا در زمان ژوراسیک پایانی- کرتاسه آغازین، توالی‌های آتشفشانی- رسوبی منطقه دگرشکل شده ( $D_1$ ) و دگرگونی ناحیه‌ای نوع باروین (رشیدنژاد عمران، ۱۳۸۱) را متحمل شده‌اند. این رخداد سبب توسعه نوارهای کانایی، تبلور دوباره پورفیروکلاست‌ها و لایه‌بندی ترکیبی (برگوارگی  $S_1$ ) در سنگ‌های منطقه شده است. در مراحل بعدی فرورانش (کرتاسه پایانی- ترشیری آغازین)، توالی سنگی منطقه دچار دگرشکلی پیش‌رونده ( $D_2$ ) و دگرگونی درجه متوسط تا بالا (رخساره‌های شیت‌سبز بالایی- آمفیولیت پایینی) شده است. به عنوان بخشی از این رخداد، یک پهنه بُرشی شکل‌پذیر با مؤلفه امتدادلغز راست‌گرد به صورت دگرشکلی‌های پروتومیلونیت، میلونیت و اولترامیلونیت در منطقه تشکیل شده است. سیالات دگرگونی دارای شوری پایین (میزان پایین سولفید فلزات پایه، کوهستانی، ۱۳۸۳) و غنی از گوگرد، بخار آب و دی‌اکسید کربن (LOI بالا، کوهستانی، ۱۳۸۳) از طریق ساختارهای شکل‌پذیر به سمت بالا مهاجرت کرده‌اند. این سیالات در مسیر خود طلا را از ساختمان پیریت‌های رسوبی دیاژنتیک موجود در توالی آتشفشانی- رسوبی آزاد ساخته و به صورت رگه‌ها و عدسی‌های سیلیسی غنی از سولفید طلا دار هم‌روند با  $S_2$  در پهنه بُرشی شکل‌پذیر چاه‌باغ رسوب داده‌اند. این عمل سبب افزایش عیار طلا در پهنه‌های میلونیتی و اولترامیلونیتی شده است. این رخداد مبین وجود ارتباط مستقیم بین دگرگونی سنگ‌های میزبان پهنه‌های بُرشی و کانه‌زایی است که به وسیله Paidar-Saravi (1989) و Abdollahi et al. (2009) پیشنهاد شده است. تشکیل گرانیت و ریولیت میلونیتی ناحیه چاه‌باغ به مرحله اخیر دگرشکلی شکل‌پذیر، نسبت داده شده است (کوهستانی، ۱۳۸۳). این واحدها در حین فاز اصلی تکنونیک منطقه ( $D_2$ ) و هم‌زمان با آخرین مراحل این دگرشکلی در زمان کرتاسه پایانی- ترشیری آغازین جایگزین شده و به موازات برگوارگی میلونیتی ( $S_2$ ) قرار گرفته‌اند. هرچند آنالیز بخش‌های دگرسان شده سنگ‌های آذرین بعضاً عیارهای پایینی از طلا ( $100 \leq$  میلی گرم در تن، کوهستانی، ۱۳۸۳) را در نمونه‌های حاوی پیریت‌های ریز بلور و بی‌شکل نشان داده است، اما به دلیل عدم وجود هاله‌های دگرگونی مجاورتی و رگه‌های کوارتزی کانه‌دار در آن‌ها، کانه‌زایی اصلی طلا در کانسار چاه‌باغ با توده‌های نفوذی دگرشکل شده ارتباط ژنتیکی ندارد (کوهستانی، ۱۳۸۳).

مرحله سوم ته‌نشست طلا - دومین رخداد اقتصادی طلا- در کانسار چاه- باغ با رخدادهای بُرشی شکنا هم‌زمان بوده و با تکنونیک کششی، جایگیری توده‌های گرانیتی و ادامه هجوم حجم بالای سیالات دگرگونی مرتبط است. این مرحله بخشی از بالآمدگی ناحیه‌ای ائوسن و برونزد سنگ‌های دگرگونی منطقه بوده (Moritz et al., 2006) و به صورت هم‌زمان و یا اندکی بعد از دگرشکلی مرحله سوم ( $D_3$ ) رخ داده است. با بالآمدگی منطقه، دگرشکلی از شکل‌پذیر (۷۱ میلیون سال) به شکل‌پذیر- شکنا (۵۵/۷ میلیون سال) و شکنا (۳۸/۵ میلیون سال) (رشیدنژاد عمران، ۱۳۸۱؛ Moritz et al., 2006) تبدیل و گسل‌های نرمال تا امتدادلغز، ریزشکستگی‌ها، ریزرگه‌ها و رگچه‌ها تشکیل شده

های میزبان خود را قطع کرده‌اند، قرار دارند. این محققین ته‌نشست طلا را به اختلاط یک سیال شور ناحیه‌ای و یک سیال رقیق‌تر، احتمالاً با منشأ جوی، نسبت می‌دهند. در الگوی آن‌ها، کانسارهای طلای موه از نوع کانسارهای طلای کوهزایی عمق کم (اپی‌زونال) می‌باشد. مطالعات ساختاری و مدل تکنونیک ارائه شده توسط حسنی و محجل (۱۳۷۸) نشان داد که کانه‌زایی طلا هم‌زمان با رخدادهای بُرشی شکنا رخ داده و در ارتباط با تکنونیک کششی است. به اعتقاد آن‌ها، این رخدادها با جایگیری توده‌های گرانیتی در منطقه موه هم‌زمان بوده است. رشیدنژاد عمران (۱۳۸۱)، منشأ طلا را به فعالیت‌های برون-دمی مرتبط با توف‌های ریولیتی پالئوزونیک نسبت داده و معتقد است که این طلای اولیه با رخدادهای متعدد دگرگونی و دگرشکلی تحرک دوباره یافته و سپس با بالآمدگی‌های کششی زمان ترشیری در رگه‌های سیلیسی- سولفیدی پهنه‌های شکنا ته‌نشست شده است. ایشان رگه‌های طلا دار موه را با کانسارهای طلای رگه‌ای پرکامربین در سیستم‌های بُرشی کمربندهای گریستون مشابه دانسته است. مطالعات (Moritz et al., 2006) نشان داد که کانه‌زایی طلا در منطقه موه سن ۵۵/۷ تا ۳۸/۵ میلیون سال داشته و بسیار جوان‌تر از فرضیه‌های قبلی است. به عقیده آن‌ها، ته‌نشست طلا در موه هم‌زمان تا بعد از آخرین مراحل تکنونیک شکنا ائوسن که مرتبط با بالآمدگی و برونزد سنگ‌های دگرگونی است، ارتباط دارد. آن‌ها عامل این پدیده را به فعالیت‌های ماگمایی پهنه سنندج- سیرجان و یا ماگماتیسیم ترشیری ارومیه- دختر نسبت می‌دهند. این محققین ساختارهای شکل‌پذیر و شکنا میزبان کانه‌زایی طلا در موه را در ارتباط با یک رخداد پیوسته کششی در زمان کرتاسه- ترشیری آغازین تفسیر می‌کنند که با دگرشکلی‌های شکل‌پذیر آغاز و به طور آهسته به دگرشکلی‌های شکنا تبدیل شده است. این محققین مدل‌های پیشین را رد نموده و یک مدل مرتبط با توده نفوذی را برای کانسارهای طلای موه پیشنهاد می‌کنند. (Abdollahi et al., 2009) بر پایه مطالعات ایزوتوپی پایدار (اکسیژن، هیدروژن و گوگرد) یک منشأ دگرگونی برای سیالات کانه‌ساز و کانه‌زایی طلا (مدل کوهزایی) در منطقه پیشنهاد کرده‌اند. هرچند داده‌های آن‌ها نشان می‌دهد که سنگ‌های دگرگونی مهم‌ترین منشأ برای سیالات کانه‌ساز است، اما آن‌ها مدل-های چرخش عمیق آب‌های جوی و سیالات کانه‌ساز مرتبط با توده‌های نفوذی را مردود نمی‌دانند.

به نظر می‌رسد به دلیل نقش فرآیندهای مختلف زمین‌شناسی در منطقه و حضور سه مرحله دگرشکلی، هیچ یک از مدل‌های قبلی ارائه شده به درستی ویژگی‌های کانسارهای طلای موه را توضیح نمی‌دهند. با توجه به داده‌های ارائه شده در تحقیق حاضر مانند پهنه‌های ساختاری کنترل‌کننده کانه‌زایی، دگرسانی و محدود بودن کانه‌زایی به پهنه‌های استرین بالای شکل‌پذیر و شکنا، می‌توان موقعیت کانسار طلای چاه‌باغ را توضیح داد. بر این اساس، مراحل زیر می‌تواند برای چگونگی تکوین و تمرکز کانه‌زایی طلا در کانسار چاه‌باغ پیشنهاد گردد:

نخستین مرحله کانه‌زایی در منطقه، با تشکیل توالی‌های ضخیم آتشفشانی- رسوبی هم‌زمان است. در مقیاس ناحیه‌ای، محیط تشکیل این توالی-ها یک محیط ریفت درون قاره‌ای نافرجام از نوع اولاکوژن در زمان دونین و یا قبل از آن می‌باشد (رشیدنژاد عمران، ۱۳۸۱). کانه‌زایی طلا در این مرحله به

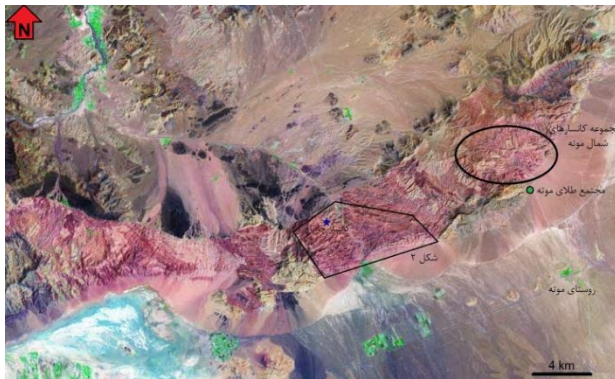
کانسار چاهباغ به طور ویژه توسط پهنه بُرشی شکل پذیر کنترل می‌شود. این پهنه بُرشی در فاز اصلی کوتاه‌شدگی پوسته‌ای در رژیم‌های فشارشی و یا ترافشارشی (Groves et al., 2003; Goldfarb et al., 2005) تشکیل شده و سپس به وسیله ساختمان‌های کُشی مربوط به مرحله برونزد سنگ‌های دگرگونی رونقش شده است. محققین زیادی (مانند، Phillips and Myers, 1988; Colvine et al., 1988; Barley and Groves, 1992; Groves, 1993; Wyman et al., 1999) به این خصوصیات در کانسارهای طلای کوهزایی اشاره کرده‌اند. از این رو، می‌توان مدل نوع کوهزایی را برای کانسار طلای چاهباغ و دیگر کانسارهای طلای موته ارائه داد. مدل مرتبط با توده نفوذی (Moritz et al., 2006) برای این کانسارها مناسب نیست. مدل کوهزایی مشابه با مدل ارائه شده برای دیگر کانسارهای طلای موجود در پهنه سندج- سیرجان (مانند کرویان (حیدری، ۱۳۸۳؛ حیدری و همکاران، ۱۳۸۴)، قلقله (علی‌یاری، ۱۳۸۵؛ Aliyari et al., 2007, 2009)، قیغلوچه (نصرت‌پور، ۱۳۸۷) و زرتشت (راستگوی مقدم، ۱۳۸۴؛ راستگوی مقدم و همکاران، ۱۳۸۷؛ علی‌یاری و همکاران، ۱۳۸۸؛ Rashidnejad Omran et al., 2008)) است. این مدل انطباق خوبی با مدل دگرشکلی ترافشارشی راست‌گرد ارائه شده برای پهنه سندج- سیرجان (Mohajjel and Fergusson, 2000; Mohajjel et al., 2003; Sarkarinejad et al., 2008) دارد. مدل تشکیل کانسار چاهباغ به صورت شماتیک در شکل (۷) نشان داده شده است.

است. بالاآمدگی بیشتر منطقه با توسعه دگرشکلی شکنا و گسترش گسل‌های کُشی نرمال میزبان کانه‌زایی با روند شمال باختری با شیب شمال خاوری همراه می‌باشد. این گسل‌ها، ساختارهای بُرشی شکل پذیر هم‌روند با برگواری را قطع کرده‌اند. این فرآیند نتیجه کُشی پوسته‌ای ائوسن در مراحل پایانی برونزد مجموعه سنگ‌های دگرگونی بوده (Moritz et al., 2006) و با جایگیری توده‌های گرانیتی هم‌زمان حادث شده است (حسینی و محجل، ۱۳۷۸). Moritz et al. (2006) نشان دادند که توده‌های گرانودیوریتی ائوسن که در بخش باختری مجموعه دگرگونی منطقه موته جایگزین شده‌اند با تشکیل کانسارهای طلای شمال موته هم‌زمان هستند. هرچند رخدادهای ماگمایی هم‌زمان، نشان‌دهنده ارتباط زمانی بین کانه‌زایی طلا و ماگماتیسیم ترشیری در یک مقیاس ناحیه‌ای است، اما جایگیری هم‌زمان با کانه‌زایی توده‌های گرانیتی، یک رخداد متداول در بسیاری از کوهزادهای حاوی کانسارهای طلاست و دلیلی بر وجود ارتباط ژنتیکی بین آن‌ها نیست (Stüwe, 1986, 1998; Stüwe et al., 1993). رخدادهای محلی توده‌های گابرویی، دیوریتی و گرانودیوریتی ترشیری در دیگر نقاط پهنه سندج- سیرجان نیز گزارش شده است (Thiele et al., 1987; Leterrier, 1985; Braud, 1987). این توده‌ها با فعالیت‌های ماگمایی ترشیری در پهنه ارومیه- دختر هم‌زمان هستند (Tillman et al., 1981). آخرین مراحل بالاآمدگی ناحیه‌ای منطقه با توسعه گسترده گسل‌های امتدادلغز راست-گرد در مقیاس‌های مختلف همراه است و باعث جابجایی ساختارهای کانه‌زایی شده است.

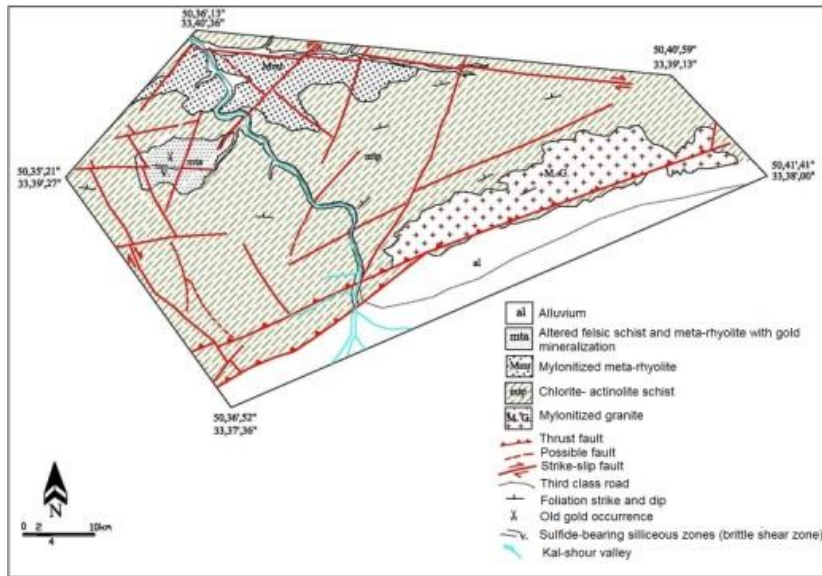
مرحله چهارم تکامل کانه‌زایی طلا در کانسار چاهباغ و دیگر کانسارهای منطقه موته رخداد فرآیندهای سوپرژن می‌باشد که هر دو کانه‌زایی شکل پذیر و شکنا را تحت تأثیر قرار داده است و باعث تبدیل پیریت‌های طلا دار به هیدروکسیدهای آهن (لیمونیت و گوتیت) شده است. این فرآیندها سبب آزاد شدن طلا از شبکه پیریت در بسیاری از کانسارهای منطقه معدنی موته شده است. فرآیندهای سوپرژن سبب تغییر رنگ واحدهای دگرشکل و دگرسان - شده کانه‌دار شده و راهنمای اکتشافی خوبی برای رخدادهای طلا دار می‌باشد. شکل (۶) مراحل تکوین کانه‌زایی در کانسار چاهباغ را به صورت شماتیک نشان می‌دهد.

#### ۴- نتیجه‌گیری

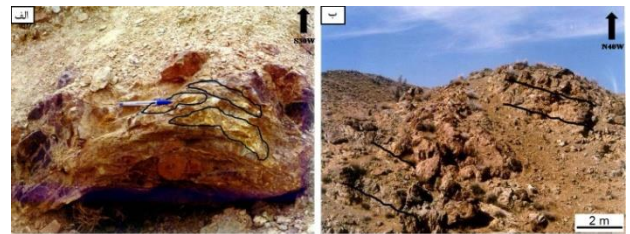
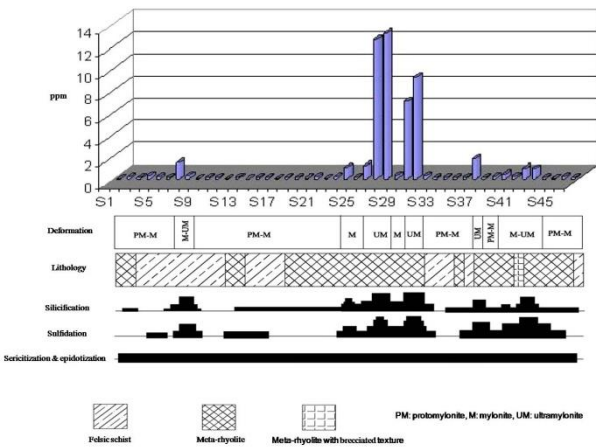
کانه‌زایی طلا در کانسار چاهباغ در مقیاس‌های مختلف توسط فاکتورهای ساختاری مربوط به دگرشکلی‌های مرحله دوم ( $D_2$ ) و سوم ( $D_3$ ) کنترل شده است. لذا می‌توان رخداد کانه‌زایی طلا در این کانسار را یک فرآیند هم‌زمان با ساختمان‌های شکل پذیر در نظر گرفت (کوهستانی، ۱۳۸۳) که به تدریج به رخدادهای شکنا تغییر یافته است (Moritz et al., 2006). کانه‌زایی اصلی در



شکل ۱- تصویر ماهواره لندست از منطقه معدنی موته و موقعیت مجموعه کانسارهای شمال موته و کانسار چاهباغ (محل ستاره در شکل ۲) بر روی آن

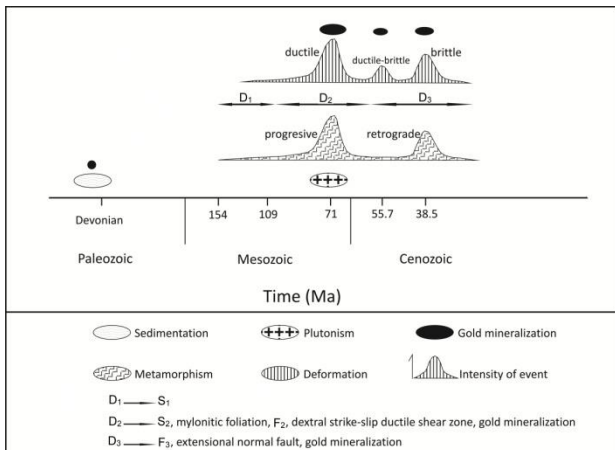


شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی منطقه چاه‌باغ و موقعیت کانسار چاه‌باغ بر روی آن (با اندکی تغییر از کوهستانی، ۱۳۸۳ و Kouhestani et al., 2008)



شکل ۳- الف- عدسی‌های سیلیسی غنی از سولفیدهای طلا دار بخش شکل‌پذیر در واحدهای به شدت دگرریخته (اولترامیلونیتی) متاریولیتی. عدسی‌ها به موازات بر گوارگی میلونیته می‌باشند. ب- رگه اصلی سیلیسی- سولفیدی طلا دار بخش شکنای کانسار چاه- باغ که بر گوارگی سنگ‌های میزبان را قطع کرده است. بر گوارگی با خطوط نشان داده شده است.

شکل ۵- شکل شماتیک نشان‌دهنده ارتباط بین تغییرات عیار طلا، شدت دگرشکلی، نوع دگرسانی و محتوای سولفیدهای سنگ میزبان در کانسار چاه‌باغ (کوهستانی و همکاران، ۱۳۸۵ و Kouhestani et al., 2008). به عیارهای بالای طلا که منطبق بر پهنه‌های سیلیسی غنی از سولفید میلونیته و اولترامیلونیته است، توجه نمایید.

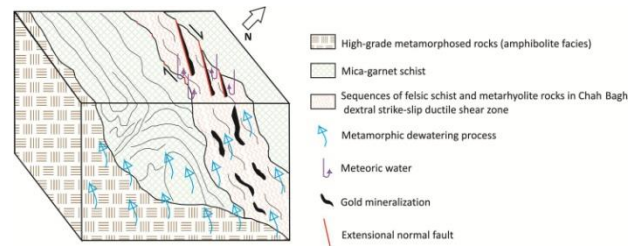


شکل ۶- دیاگرام شماتیک نشان‌دهنده زمان رسوب‌گذاری، دگرشکلی، دگرگونی، توده‌های نفوذی و کانه‌زایی در کانسار چاه‌باغ (با تغییر از کوهستانی، ۱۳۸۳). داده‌های سنی از رشیدنژاد عمران (۱۳۸۱) و (Moritz et al. (2006)

Minerals	Pre-deformation	Hydrothermal		Weathering
		Stage I	Stage II	
			First Phase	Second Phase
Pyrite	Type I			
	Type II			
Arsenopyrite				
Chalcopyrite	Type I			
	Type II			
Covellite				
Digenite				
Gold				
Silver				
Fe-Oxides				
Malachite & Azurite				
Quartz	Type I			
	Type II			
	Type III			
Feldspar				
Phyllosilicates				
Epidote				
Clay Minerals				

شکل ۴- توالی پاراژنتیک و فراوانی نسبی کانه‌های معدنی و باطله در کانسار چاه‌باغ (کوهستانی، ۱۳۸۳).





شکل ۷- دیاگرام شماتیک نشان دهنده مدل ژنتیکی کانسار چاه باغ (با تغییر از کوهستانی،

۱۳۸۳)

جدول ۱- ویژگی‌های اصلی کانسارهای طلا در منطقه معدنی موته (اقتباس از شرکت طلای ایران، ۱۳۷۵؛ رشیدنژاد عمران، ۱۳۸۱؛ کوهستانی، ۱۳۸۳).

کانسار	سنگ میزبان	روندهای کانه-زایی	کانی شناسی	دگرسانی	تناژ (تن)	عیار (مجموعه در تن)
چاه خاتون	سنگ‌های آتشفشانی فلسیک و آتشفشانی-رسوبی دگرگونه و دگرشکل شده	N35W/60NE	پیریت و کالکوپیریت	سیلیسی، سولفیدی، سریستی و کربناتی	۱۸۰۰۰۰	۲/۸۵
دره اشکی	شیست‌های سبز با میان‌لایه‌های شستی فلسیک	N-S تا N55W، N15W	پیریت و کالکوپیریت	سیلیسی و سولفیدی	۲۸۱۰۷	۷/۲۲
چشمه گوهر	کلریت-اکتیولیت شست و شست فلسیک	N-S/N	پیریت، کالکوپیریت، الکتروم و بیسموت آزاد	سیلیسی، سولفیدی و سریستی	۹۱۴۶	۳/۶۶
سه کلوب	شیست فلسیک	N30W تا N-S	پیریت	سیلیسی، سولفیدی و سریستی	۱۵۶۶	۲/۰۵
تنگه زر	سنگ‌های آتشفشانی دگرگونه فلسیک و مافیک	N35W	پیریت، کالکوپیریت، تنانتیت و اسفالریت	سیلیسی، سولفیدی و کربناتی	۲۷۲۴۱	۴/۵
چاه علومه	شیست فلسیک	NW	پیریت	سیلیسی، سولفیدی و سریستی	۲۴۶۹۸	۲/۲۲
سنجده	گندهای متاریولیتی و شست‌های فلسیک کوه سیاه	N40W/30NE	پیریت	سیلیسی، سولفیدی و سریستی	۱۷۵۷۰۰۰	۲/۵۸
قروم قروم	متاریولیت	N-S تا NW/NE، NNW/SSE	پیریت و کالکوپیریت	سیلیسی و سولفیدی	۶۹۴۹۵	۲/۶۳
چشمه دستار	متاریولیت و شست‌های فلسیک دگرشکل شده	N70W، N10W	پیریت	سیلیسی، سولفیدی و کربناتی	---	---
چاه باغ	متاریولیت و شست‌های فلسیک به شدت دگرشکل شده	شکل پذیر: N40-50W/N60-80E شکنا: N40W/NE	پیریت، کالکوپیریت، آرسنوپیریت و نقره آزاد	سیلیسی، سولفیدی، سریستی، اپیدوتی و تورمالینی	۲۸۷۰۹	۱/۹۱

## کتابنگاری

حسینی، ح، معجل، م، ۱۳۷۸، تحلیل ساختاری و مدل تکتونیکی معدن طلای موته و ارتباط کانی سازی با آن. هجدهمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

حسینی، ح، معجل، م، صدیق، م، ۱۳۸۱، تحلیل ساختاری سنگ‌های دگرگونه منطقه موته (خاور گلپایگان) و ارتباط آن با کانی سازی طلا. امیرکبیر، شماره ۵۰، ص ۲۳۳-۲۲۵. حیدری، م، ۱۳۸۳، کانی شناسی، ژئوشیمی و فابریک کانه‌زایی طلا در پهنه برشی خمیری منطقه کرویان (جنوب غرب سقز، استان کردستان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس.

حیدری، م، راستاد، ا، معجل، م، شمس، م، ۱۳۸۴، کانه‌زایی طلا در پهنه برشی کرویان (جنوب غرب سقز، استان کردستان). فصلنامه علوم زمین، شماره ۵۸، ص ۳۷-۱۸. خوبی، ن، ۱۳۶۶، ارتباط کانی شناسی طلای موته با گرانیت‌های مجاور آن. ششمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور. راستگوی مقدم، غ، ۱۳۸۴، زمین شناسی، کانی شناسی، ژئوشیمی و فابریک کانه‌زایی طلا در کانسار زرتشت، پهنه سنج-سیرجان (جنوب غرب سبزواران). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس.

- راستادگی مقدم، غ.ر، راستاد، ا. رشیدنژاد عمران، ن، محجل، م، ۱۳۸۷، کانه‌زایی طلا در پهنه‌های برشی شکل‌پذیر- شکنا و شکنا منطقه معدنی زرترشت، پهنه سنندج- سیرجان، جنوب - باختر سیزواران. فصلنامه علوم زمین، شماره ۶۸، ص ۱۲۹-۱۰۸.
- رشیدنژاد عمران، ن، ۱۳۸۱، پترولوژی و ژئوشیمی سنگ‌های متاولکانو- سدیمتری و پلوتونیک منطقه موه (جنوب دلیجان) با نگرشی ویژه به خاستگاه و کانی‌سازی طلا. رساله دکتری، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، ۴۰۴ ص.
- شرکت طلای ایران، ۱۳۷۵، گزارش نهایی بررسی و ارزیابی اطلاعات اکتشافی موجود در معادن طلای موه.
- صدیق، م، ۱۳۷۸، تحلیل ساختاری سنگ‌های دگرگونه در ناحیه موه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، ۹۳ ص.
- علی‌باری، ف، ۱۳۸۵، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و فابریک کانه‌زایی طلا در پهنه‌های برشی شکل‌پذیر و شکنا قلقله، جنوب‌غرب سقر. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس. ۲۴۳ ص.
- علی‌باری، ف، راستاد، ا، محجل، م، گلدفارب، ر.ج، ۱۳۸۸، کانسار طلای زرترشت: کانه‌زایی کوهزایی یا مرتبط با توده نفوذی؟ شواهد بافتی و ایزوتوپی گوگرد. بیست و هفتمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- کوهستانی، ح، ۱۳۸۳، زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و فابریک کانه‌زایی طلا در پهنه‌های برشی ناحیه چاه‌باغ در منطقه معدنی موه (جنوب‌غرب دلیجان، استان اصفهان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس. ۲۲۲ ص.
- کوهستانی، ح، راستاد، ا، رشیدنژاد عمران، ن، ۱۳۸۲، کانه‌زایی طلا در پهنه‌های برشی خمیری و شکنا ناحیه چاه‌باغ، منطقه معدنی موه (جنوب‌باختری دلیجان، اصفهان). بیست و دومین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- کوهستانی، ح، راستاد، ا، رشیدنژاد عمران، ن، محجل، م، ۱۳۸۳a، دگرشکلی، دگرسانی و نقش آن‌ها در کانه‌زایی طلا در پهنه‌های برشی کانسار چاه‌باغ. بیست و سومین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- کوهستانی، ح، رشیدنژاد عمران، ن، راستاد، ا، ۱۳۸۳b، تحولات ژئوشیمیایی عناصر اصلی و فرعی و ارتباط آن‌ها با کانه‌زایی طلا در پهنه‌های برشی کانسار چاه‌باغ. بیست و سومین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- کوهستانی، ح، راستاد، ا، رشیدنژاد عمران، ن، ۱۳۸۴، طلای غیرقابل رؤیت در کانی‌های سولفیدی کانسار چاه‌باغ، منطقه معدنی موه. بیست و چهارمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- کوهستانی، ح، راستاد، ا، رشیدنژاد عمران، ن، محجل، م، ۱۳۸۵، کانه‌زایی طلا در پهنه‌های برشی شکل‌پذیر و شکنا کانسار چاه‌باغ، منطقه معدنی موه، پهنه سنندج- سیرجان. فصلنامه علوم زمین، شماره ۶۰، ص ۱۶۵-۱۴۲.
- نصرت‌پور، ه، ۱۳۸۷، مطالعه کانه‌زایی طلا در پهنه برشی قیجوجه، منطقه کرویان (جنوب‌غرب سقر، کردستان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.

## References

- Abdollahi, M.J., Karimpour, M.H., Kheradmand, A., Zarasvandi, A.R., 2009, Stable isotopes (O, H, and S) in the Muteh gold deposit, Golpaygan area, Iran. *Natural Resources Research*, 18: 137-151.
- Aliyari, F., Rastad, E., Zengqian, H., 2007, Orogenic gold mineralization in the Qolqoleh deposit, northwestern Iran. *Resource Geology*, 57: 269-282.
- Aliyari, F., Rastad, E., Mohajjel, M., Arehart, G.B., 2009, Geology and geochemistry of D-O-C isotope systematics of the Qolqoleh gold deposit, Northwestern Iran: Implications for ore genesis. *Ore Geology Reviews*, 36: 306-314.
- Anderson, S.D., Beaumont-Smith, C.J., 2001, Structural analysis of the Pool lake-Boiley lake area, Lynn lake greenstone belt. *Monitaba Geological Survey*, pp. 76-75.
- Barley, M.E., Groves, D.I., 1992, Supercontinent cycles and the distribution of metal deposits through time. *Geology*, 20: 291-294.
- Barnicoat, A.C., Fare, R.J., Groves, D.I., McNaughton, N.G, 1991, Synmetamorphic lode-gold deposits in high-grade Archean setting. *Geology*, 19: 921-924.
- Bierlein, F.P., Christie, A.B., Smith, P.K., 2004, A comparison of orogenic gold mineralisation in central Victoria (Aus.), Western South Island (N.Z.) and Nova Scotia (Can.): implication for variation in the endowment of Paleozoic metamorphic terrains. *Ore Geology Reviews*, 25: 125-168.
- Brathwaite, R.L., Pirajno, F., 1993, Metallogenic map of New Zealand. In: Bierlein, F.P., Christie, A.B., Smith, P.K., 2004, A comparison of orogenic gold mineralisation in central Victoria (Aus.), Western South Island (N.Z.) and Nova Scotia (Can.): implication for variation in the endowment of Paleozoic metamorphic terrains. *Ore Geology Reviews*, 25: 125-168.
- Braud, J., 1987, La suture du Zagros au niveau de Kermanshah (Kurdistan iranien): Reconstitution paléogéographique, évolution géodynamique, magmatique et structural. Unpublished PhD thesis, Université de Paris-Sud, 489 pp.
- Brown, S.R., Bruhm, R.L., 1996, Formation of voids and veins during faulting: *Journal of Structural Geology*, 18: 657-671.
- Christie, A.B., Brathwaite, R.L., 2003, Hydrothermal alteration in metasedimentary rock hosted orogenic gold deposits, Reefton goldfield, south island, New Zealand. *Mineralium Deposita*, 38: 87-107.
- Coelho, C.E.S., Sillva, F.H.F., 1998, The structural control of the gold deposits of the Fazenda Maria Preta gold district at Rio Itapicuru greenstone belt, northeastern Brazil. *Revista Brasileira de Geociencias*, 28: 367-376.
- Colvine, A.C., Fyon, J.A., Heather, K.B., Marmont, S., Smith, P.M., Troop, D.G., 1988, Archean lode gold deposits in Ontario. *Miscellaneous Paper 139, Ontario Geological Survey*, 136 pp.
- Cox, S.F., Wall, V.J., Etheridge, M.A., Potter, T.F., 1991, Deformational and metamorphic processes in the formation of mesothermal vein hosted gold deposits-examples from the Lachlan fold belt in central Victoria, Australia. *Ore Geology Reviews*, 6: 391-423.
- Craw, D., Windle S.J., Angus, P.V., 1999, Gold mineralization without quartz veins in a ductile-brittle shear zone, Macraes Mine, Otago Schist, New Zealand. *Mineralium Deposita*, 34: 382-394.
- Davis, B.K., Bell, C.C., Lindsay, M, Henderson, R.B., 2002, A single late orogenic Permian episode of gold mineralization in the Hodgkinson province, North Queensland, Australia. *Economic Geology*, 97: 311-323.

- Dewolfe, J.C., 1995, Structure geology of shear hosted gold deposits in the Beardmore-Greraldton greenstone belt, Superior province Ontario. Mining and Exploration Research Centre, Department of Earth Sciences, Laurentian University.
- Evans, D.T.W., Wilton, D.H. C., 2000, The Midas Pond gold prospect, Victoria Lake group, central Newfoundland: a mesothermal quartz vein system with epithermal characteristics. *Exploration and Mining Geology*, 1: 65-79.
- Farhangi, A., 1991, Gold prospecting in Muteh region, Esfahan, Iran. In: Ladeira, E.A. (ed.) *Brazil Gold'91*. Balkema, Rotterdam, pp. 801-805.
- Foster, R.P., 1993, *Gold Metallogeny and exploration*. Blackie and Son, Glasgow, 432 pp.
- Goldfarb, R.J., Snee, L.W., Miller, L.D., Newberry, R.J., 1991, Rapid dewatering of the crust deduced from ages of mesothermal gold deposits. *Nature*, 354: 296-298.
- Goldfarb, R.J., Phillips, G.N., Nokleberg, W.J., 1998, Tectonic setting of synorogenic gold deposits of the Pacific Rim. *Ore Geology Reviews*, 13: 185-218.
- Goldfarb, R.J., Groves, D.I., Gardoll, S., 2001, Orogenic gold and geologic time: a global synthesis. *Ore Geology Reviews*, 18: 1-75.
- Goldfarb, R.J., Baker, T., Dubé, B., Groves, D.I., Hart, C.J.R., Gosselin, P., 2005, Distribution, character, and genesis of gold deposits in metamorphic terranes. *Economic Geology*, 100<sup>th</sup> anniversary volume, pp. 407-450.
- Groves, D.I., 1993, The crustal continuum model for late-Archean lode gold deposits of the Yilgarn Block, Western Australia. *Mineralium Deposita*, 28: 366-374.
- Groves, D.I., Goldfarb, R.J., Gebre-Mariam, M., Hagemann, S.G., Robert, F., 1998, Orogenic gold deposits: a proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types. *Ore Geology Reviews*, 13: 7-27.
- Groves, D.I., Goldfarb, R.J., Robert, F., Hart, C.J.R., 2003, Gold deposits in metamorphic belts: overview of current understanding, outstanding problems, future research and exploration significance. *Economic Geology*, 98: 1-29.
- Guha, J., Archambault, G., Leroy, J., 1983, A correlation between the evolution of mineralization fluids and the geomechanical development of a shear zone as illustrated by the Henderson 2 Mine, Quebec. *Economic Geology*, 78: 1605-1618.
- Hogsdon, C.G., 1993, Mesothermal lode-gold deposits. In: Kirkham R.V., Sinclair W.D., Thorpe R.I., Duke L.M. (eds.) *Mineral deposit modeling*. Geology Association Canadian Special Paper, 40: 635-678.
- Khalil, K. I., Helba, H.A., Mucke, A., 2003, Genesis of the gold mineralization at the Dungash gold mine area, eastern Desert, Egypt: a mineralogical-microchemical study. *Journal of African Earth Science*, 37: 111-122.
- Kishida, A., Sena, F.O., Dasilva, F.C.A., 1991, Rio Itapicuru greenstone belt: geology and mineralization. In: Ladeira, E.A. (ed.) *Brazil Gold'91*. Balkema, Rotterdam, pp. 49-61.
- Kouhestani, H., Rastad, E., Rashidnejad Omran, N., 2008, Auriferous sulfides from the Chah-Bagh gold occurrence, Muteh mining district. *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran*, 19: 125-136.
- Leonardos, O.H., Jost, H., Oliveira, C.G., 1991, Gold deposits and shear zone relationships in the Precambrian of Brazil. In: Ladeira, E.A. (ed.) *Brazil Gold'91*. Balkema, Rotterdam, pp. 167-169.
- Leterrier, J., 1985, Mineralogical, geochemical and isotopic evolution of two Miocene mafic intrusions from the Zagros (Iran). *Lithos*, 18: 311-329.
- Lobato, L.M., Viera, F.W.D.R., Rebeiro-Rodrigues, L.C., Pereira, L.M.M., Menezes, M.G.D., Junqueira, P.A., Pereira, S.L.M., 1998, Styles of hydrothermal alteration and gold mineralizations associated with the Nova Lima group of the Quadrilatero Ferrifero: part 1, description of selected gold deposits. *Revista Brasileira de Geociencias*, 28: 339-354.
- McCuaig, T.C., Kerrich, R., 1998, P-T-t-deformation-fluid characteristics of lode gold deposits: evidence from alteration systematic. *Ore Geology Reviews*, 12: 381-453.
- Miller, L.D., Goldfarb, R.J., Gehrels, G.E., Snee, L.W., 1994, Genetic links among fluid cycling, vein formation, regional deformation and plutonism in the Juneau gold belt, southeastern Alaska. *Geology*, 22: 203-206.
- Mohajjel M., Fergusson, C.L., 2000, Dextral transpression in Late Cretaceous continental collision, Sanandaj-Sirjan zone, western Iran. *Journal of Structural Geology*, 22: 1125-1139.
- Mohajjel, M., Fergusson, C.L., Sahandi, M.R., 2003, Cretaceous-Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj-Sirjan zone, western Iran. *Journal of Asian Earth Science*, 21: 397-412.
- Moritz, R., Ghazban, F., 1995, Gold mineralisation in the Precambrian basement of the Zagros Belt, Esfahan Province, Iran. *Mineral Deposits*, Pašava, Křibek and Žak (eds.), pp. 161-164.
- Moritz, R., Ghazban, F., 1996, Geological and fluid inclusion studies in the Muteh gold area, Sanandaj-Sirjan zone, Esfahan Province, Iran. *Schweiz Mineral Petrogr Mitt*, 76: 85-89.
- Moritz, R., Ghazban, F., Singer, B.S., 2006, 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: 1497-1524.
- Paidar-Saravi, H., 1989, Petrographisch-lagerstättenkundliche Untersuchungen an goldführenden Gesteinen im Muteh-Gebiet im Westen vom Zentraliran. *Heidelberger Geowissenschaftliche Abhandlungen* 33, 174 p.
- Phillips, G.N., 1993, Metamorphic fluids and gold. *Mineralogical Magazine*, 57: 365-374.
- Phillips, G.N., Myers, R.E., 1989, The Witwatersrand gold fields: part II: An origin for Witwatersrand gold during metamorphism and associated alteration. *Economic Geology*, 6: 598-608.
- Phillips, G.N., Powell, R., 1993, Link between gold provinces. *Economic Geology*, 88: 1084-1098.
- Ramsay, J. G., 1980, Crack-seal mechanism of rock deformation. *Nature*, 284: 135-139.
- Rashidnejad Omran, N., Emami, M.H., Sabzehei, M., Rastad, E., Bellon, H., Pique, A., 2002, Lithostratigraphie et histoire paleozoique a paleocene des complexes metamorphiques de la region de Muteh, zone de Sanandaj-Sirjan (Iran meridional). *C.R. Geoscience*, 334: 1185-1191.
- Rashidnejad Omran, N., Rastgoo Moghadam, R., Aliyari, F., Rastad, E., Mohajjel M., 2008, Orogenic Gold Mineralization in the Zartorosht Deposit, Southern Sanandaj-Sirjan zone, southeast of Iran. 33<sup>rd</sup> International Geological Conference, Oslo, Norway.
- Robert, F., 1990, Structural setting and control of gold bearing quartz veins of the Val-d'Or area, southeastern Abitibi subprovince. *University of Western Australia Short Course Notes*, 24: 167-210.
- Samani, B.A., 1988, Metallogeny of the Precambrian in Iran. *Precambrian Research*, 39: 85-106.
- Sarkarinejad, K., Faghih, A., Grasmann, B., 2008, Transpressional deformations within the Sanandaj-Sirjan metamorphic belt (Zagros Mountains, Iran). *Journal of Structural Geology*, 30: 818-826.

- Sibson, R.H., 1986, Earthquakes and lineament infrastructure. *Philosophical Transaction of the Royal Society of London A3*, 17: 63-79.
- Sibson, R.H., Robert, F., Poulsen, K.H., 1988, High-angle reverse faults, fluid-pressure cycling and mesothermal gold-quartz deposits. *Geology*, 6: 551-555.
- Stuwe, K., 1986, Structural evolution of the Port Wells gold mining district, Prince William Sound, south central Alaska: implication for the origin of the gold lodes. *Mineralium Deposita*, 21: 288-295.
- Stuwe, K., 1998, Tectonic constraints on the timing relationships of metamorphism, fluid production and gold-bearing quartz vein emplacement. *Ore Geology Reviews*, 13: 219-228.
- Stuwe, K., Will, T.M., Zhou, S., 1993, On the timing relationship between fluid production and metamorphism in metamorphic piles: some implication for the origin of post metamorphic gold mineralisation. *Earth and Planetary Science Letters*, 114: 417-430.
- Teagle, D.A.H., Norris, R.J., Craw, D., 1990, Structural controls on gold bearing quartz mineralisation in a duplex thrust system, Hyde-Macraes shear zone, Otago schist, New Zealand. *Economic Geology*, 85: 1711-1719.
- Thiele, O., Alavi, M., Assefi, R., Hushmandzadeh, A., Seyed-Emami, K., Zahedi, M., 1968, Golpaygan quadrangle map. Scale 1:250000 with explanatory text. Geological Survey of Iran, Geology quadrangle E7, 24 pp.
- Tillman, J.E., Poosti, A., Rossello, S., Eckert, A., 1981, Structural evolution of Sanandaj-Sirjan Ranges near Esfahan, Iran. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 65: 674-687.
- Udubasa, G., Hartopanu, P., Hartopanu, I., Serbanescu, A., 1991, Gold in metamorphic rocks of south Carpatian, Romania. In: Ladeira, E.A. (ed.) *Brazil Gold'91*. Balkema, Rotterdam, pp. 191-195.
- Woodward, L.A., 1993, Structural control of lode gold deposits in the Pony mining district, Tobacco Root Mountains, Montana. *Economic Geology*, 88: 1850-1861.
- Wyman, D.A., Kerrich, R., Groves, D.I., 1999, Lode gold deposits and Archean mantle plume-island arc interaction, Abitibi Sub-province, Canada. *Journal of Geology*, 107: 715-725.
- Zhang, L., Shen, Y., Ji, J., 2003, Characteristics and genesis of Kanggur gold deposit in the eastern Tianshan mountains, NW China: evidence from geology, isotope distribution and chronology. *Ore Geology Reviews*, 23: 71-90.
- Zhou, Y., Wang, Z., 1999, Altered ductile shear zone host type of gold deposits from south China: a case study. *Journal of Geosciences of China*, 1: 23-38.