

# کانه زایی طلا در پهنه‌های برشی شکل پذیر-شکنا و شکناى منطقه معدنى زرتروشت، پهنه سندانج-سیرجان، جنوب باختر سبزاوران

نوشته: غلامرضا راستگوی مقدم\*، ابراهیم راستاد\*، نعمت الله رشیدنزاد عمران\* و محمد محجل\*

\*بخش زمین شناسی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

## Gold Mineralization in Ductile – Brittle and Brittle Shear Zones, Zartorosht Deposits, Sanandaj-Sirjan Zone, Southwest of Sabzevaran

By: Gh. R. Rastgoo Moghaddam\*, E. Rastad \*, N. Rashid Nejad Omran\* & M. Mohajel\*

\*Department of Geology, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran

تاریخ دریافت: ۱۳۸۴/۱۱/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۶/۰۳/۰۱

### چکیده

کانسار طلای زرتروشت در بخش جنوب خاوری پهنه سندانج-سیرجان قرار دارد. واحدهای سنگی رخنمون یافته در منطقه که در حد رخساره شیست سبز متوسط تا پایین دگرگون شده‌اند، شامل مجموعه‌ای از سنگ‌های آتشفشانی دگرگون شده با ترکیب مافیک تا حدواسط، واحدهای آتشفشانی-رسوبی دگرگون شده و متابازیت هستند که دایک‌های نفوذی بازی تا اسیدی در آنها نفوذ کرده‌اند. سن این واحدها به پالئوزویک پسین نسبت داده شده است. توالی‌های سنگی، تحت تأثیر فازهای متعدد و شدید دگرشکلی، نظم اولیه خود را از دست داده و فابریک‌های جدیدی را نشان می‌دهند. نوع و شدت دگرشکلی یکسان نبوده، بلکه انواع دگرشکلی‌ها به صورت پهنه‌های برشی گذر از شکل پذیر به شکنا تا شکنا در منطقه مشاهده می‌شوند.

کانه‌زایی طلا در پهنه‌های برشی گذر از شکل پذیر به شکنا و شکنا روی داده است. کان‌زایی طلا در پهنه‌های گذر از شکل پذیر به شکنا، دارای ژئومتری عدسی شکل و در جهت شیب و امتداد برگوارگی است. نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی نمونه‌های بخش‌های سیلیسی شده این پهنه‌ها، میزان طلا را بین ۰/۵ تا ۷/۹۵ گرم در تن نشان داده است. دگرشکلی در این پهنه‌ها به صورت فابریک میلیونیتی اولیه در حاشیه و بخش میانی پهنه، و فابریک شکنا در مرکز پهنه است. در پهنه‌های برشی تیپ شکنا، بیشترین تمرکز طلا، در امتداد گسله‌های عادی با روند N۷۰W تا E-W و شیب به سمت جنوب است. این تیپ کان‌زایی شامل رگه‌ها و نوارهای سیلیسی-سولفیدی طلا دار بوده و به صورت ناپیوسته در گستره‌ای به طول بیش از ۱/۵ کیلومتر مشاهده می‌شود. نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی نمونه‌هایی از پهنه سیلیسی-سولفیدی، میزان طلا را تا ۱۷/۲ گرم در تن و در مواردی تا ۳۵/۷ گرم در تن نشان داده است. واحدهای سنگی دربرگیرنده کان‌زایی در پهنه‌های برشی، تحت تأثیر دگرسانی قرار گرفته‌اند. شدت و نوع دگرسانی در واحدهای مختلف، متفاوت است. از مهم‌ترین دگرسانی‌ها، دگرسانی کلریتی، اپیدوتی، سریسیتی، کربناتی، آرژیلی، سیلیسی و سولفیدی هستند. دگرسانی سیلیسی-سولفیدی، بیشترین گسترش را در بخش داخلی پهنه‌های برشی داشته و منطبق بر پهنه‌های طلا دار است. بررسی‌های انجام شده نشان دهنده ارتباط مکانی و زمانی دگرسانی با دگرشکلی است. از نظر مکانی، این ارتباط توسط انطباق پهنه‌بندی دگرسانی و دگرشکلی مشخص می‌شود. از سوی دیگر، فضاهای خالی که در طی دگرشکلی شکل پذیر و فرایند میلیونیتی شدن هم‌روند با برگوارگی به وجود آمده‌اند و نیز ریزشکستگی‌های موجود در پورفیروکلاست‌ها که در حین جریان کاتاکلاستیکی بلورها ایجاد شده‌اند، هر دو توسط کوارتز و پیریت مرحله گرمایی به طور هم‌زمان پر شده‌اند که این خود بیانگر همبستگی زمانی دگرسانی و دگرشکلی است. نکته جالب این‌که، تغییرات عیار طلا با دگرشکلی و دگرسانی ارتباط نزدیک دارد. این ارتباط توسط نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی نمونه‌های برداشت شده از تراشه‌ها و تونل‌ها که هم‌روند و یا عمود بر برگوارگی واحدهای سنگی حفر شده‌اند، مشخص می‌شود، به طوری که عیارهای بالای طلا به بخش‌های سیلیسی و سولفیدی به شدت دگرشکل (میلونیتی و اولتراکاتاکلاستی) و پهنه‌های سیلیسی-سولفیدی طلا داری که در بخش داخلی پهنه‌های دگرسانی قرار گرفته‌اند، تعلق دارند.

کانی‌شناسی ماده معدنی تقریباً ساده بوده و شامل پیریت و پیریت آرسنیک‌دار و مقادیر بسیار ناچیزی گالن و اسفالریت است. بر اساس مطالعات میکروسکوپی، طلا به صورت آزاد و الکتروم وجود دارد. همچنین، تجزیه میکروپروب الکترونی و میکروسکوپ الکترونی، نشان دهنده حضور طلا در شبکه کان‌زایی سولفیدی است. بر



اساس این مطالعات، طلا با فاز پیریت و پیریت آرسنیک دار مشاهده می شود. همچنین این مطالعه ها بیانگر حضور نقره در شبکه سولفیدها و درون باطله سیلیسی است. مطالعات انجام شده در مقیاس های مختلف، عوامل کنترل کننده تمرکز کانه زایی در کانسار زرترشت را پهنه های برشی (شکل پذیر- شکنا و شکنا) و دگرسانی (سیلیسی و سولفیدی) نشان می دهد. مقایسه ویژگی های اصلی کانسار زرترشت با کانسارهای طلای تپ کوهزایی حاکی از آن است که کانسار زرترشت از نظر ویژگی های زمین شناسی و کانه زایی، بیشترین شباهت را با این تپ از کانسارها دارد.

**کلید واژه ها:** کانه زایی طلا، پهنه برشی شکل پذیر- شکنا و شکنا، فابریک میلونیت و کاتاکلاسیت، دگرسانی سیلیسی- سولفیدی، زرترشت، سبزواران.

## Abstract

Zartorosht gold deposit is located in southeastern part of the Sanandaj-Sirjan zone. Rock units exposed in the area include mafic to intermediate volcanic series, metamorphosed volcano-sedimentary rocks and meta-basites intruded by basic to felsic dikes. These late Paleozoic units have been metamorphosed under lower to medium green-schist facies. Due to several phases of intense deformation, rock sequence indicates new fabrics. The intensity and types of deformation are not the same in the area, so that rock units illustrate ductile-brittle to brittle shear zones.

Gold mineralization occurs in ductile-brittle and brittle shear zones. In ductile-brittle shear zones, gold mineralization occurs parallel to the foliation with lenticular geometry along the strike and dip of the foliation. Analysis of samples from silicified parts of this zone indicates 0.5 to 7.95 ppm Au. In these zones, deformation fabrics can be observed as primary mylonitization in marginal and middle parts, and brittle fabrics in central parts. Gold mineralization in brittle type shear zones has occurred mainly along N70W to E-W and southern dipping normal faults. This type of mineralization includes gold-bearing veins and siliceous-sulfidic bands and can be followed in a 1.5 km long zone. Au grade in samples from siliceous-sulfidic zone is 17.2 ppm and sometimes it reaches up to 35.7 ppm. Mineralized rock units in shear zones indicate different types of alteration including chloritization, epidotization, sericitization, carbonatization, argilization, silicification and sulfidization. Siliceous-sulfidic alteration corresponds to ore-bearing zones within the shear zones.

Studies suggested temporal and spatial relation between alteration and deformation. Spatial relation is explained by overlapping alteration and deformation zones. Foliation parallel open spaces (generated during ductile deformation and mineralization processes) and also micro-fractures in porphyroclasts (generated during grain cataclastic flow) have been filled with hydrothermal - stage quartz and pyrite indicating temporal correlation of alteration and deformation. Au grade changes have close relation with deformation and alteration intensity. This relation has been distinguished by analysis of samples taken from trenches and tunnels perpendicular or parallel to general foliation of rock units. High gold content is related to intensely deformed (mylonitic and ultracataclasite) siliceous and sulfidic parts and Au-bearing siliceous-sulfidic parts coinciding with the inner parts of alteration zones.

Ore-mineral assemblages in the area are relatively simple including pyrite, arsenian-pyrite, rarely galena and sphalerite. Based on microscopic studies, Au occurs as free grains and electrum. Also electron-microprobe and electron-microscope analysis indicate that at least some of Au grains are in sulfide minerals lattice. According to these studies, gold has been observed with both pyrite and arsenian-pyrite phases. Ag has also been detected in sulfide minerals lattice and siliceous gangue.

Controlling parameters for mineral concentration in Zartorosht deposit are shear zones (ductile-brittle and brittle) and alteration

(silicification and sulfidization). Based on the comparison of Zartorosht main characteristics with orogenic gold deposits, Zartorosht has the most similarities with orogenic gold mineralization; therefore, it is considered to be of this type.

**Keywords:** Gold mineralization, Ductile-brittle and brittle shear zone, Mylonitic and cataclasite fabric, Siliceous-sulfide alteration, Zartorosht, Sabzevaran.

## مقدمه

کانسارهای طلا که در حین فرایندهای کوهزایی تشکیل می شوند، گستره وسیعی در فانروزویک دارند (Bierlein & Crowe, 2000; Goldfarb et al., 2001). این گونه کانسارها، که کانسارهای طلای کوهزایی نامیده شده اند (Groves et al., 1998)، نوع اقتصادی و بسیار مهم کانه‌زایی طلا در کمربندهای دگرگونی هستند (Groves et al., 2003) که بخش قابل توجهی از تولید جهانی را به خود اختصاص داده اند (Foster, 1993).

در ایران، پهنه‌های کراتونی آرکنن و به طبع طلای تپ کوهزایی آن نیز گزارش نشده است و در سرزمین‌های فانروزویک نیز فقط کانسارهای طلای موته در بخش مرکزی (رشیدنژاد عمران، ۱۳۸۱؛ کوهستانی، ۱۳۸۳)، طرقله مشهد (باباخانی و کوزه کنانی، ۱۳۸۲)، زرتشت کرمان در منتهی‌الیه جنوب خاوری (راستگوی مقدم و همکاران، ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳)، ناحیه آلوت، باینجوب و تیزتیز (حسینی پاک، ۱۳۷۸، ۱۳۷۷) و کرویان در بخش شمال باختری (محجل و شمسا، ۱۳۸۰؛ حیدری، ۱۳۸۳)، در استان کردستان، از تپ طلای کوهزایی گزارش شده است (شکل ۱-الف).

منطقه معدنی طلای زرتشت، در ۷۰ کیلومتری جنوب باختر سزواریان و ۱۳ کیلومتری شمال فاریاب، از بخش‌های شهرستان کهنوج، واقع است (شکل ۱-ب). آثار و شواهد معدنکاری قدیمی در گستره وسیعی از منطقه کوهستانی زرتشت، میان دو آبادی زهمکان و پاسفید، به فراوانی دیده می‌شود (شکل ۳). وجود این آثار معدنکاری قدیمی موسوم به کارهای شدادی، به همراه ابزارها و شواهد برجای مانده از فعالیت‌های معدنی قدیمی مانند پتک، سندان و دستاس سنگی اولیه، همگی گویای پیشینه کهن معدنکاری طلا در این منطقه باستانی است. مؤمن‌زاده (۲۰۰۲)، پیشینه این یافته‌ها را حتی به هزاره سوم پیش از میلاد منتسب کرده است.

سبزه‌ای، نعمت و مؤمن‌زاده (۱۳۷۲) از منطقه زرتشت بازدید کرده و کانی‌سازی طلا در این محدوده را به صورت بروندمی (اگزالاتیو) همزمان با فعالیت آتشفشانی بازی و از تپ چینه‌سان-چینه کران دانسته‌اند. پیرهادی و بلوریان (۱۳۷۵)، در گزارش برنامه‌های اکتشافی شرکت توسعه علوم زمین، نفوذ توده‌های ماگمایی جوان و آزاد شدن سیال‌های گرمایی ماگمایی را

موجب کانی‌سازی طلا در این محدوده دانسته و تمرکز طلا را احتمالاً در زون‌های برشی و شکستگی‌ها دانسته‌اند.

مطالعات انجام شده در این مقاله، بیانگر وجود پهنه‌های برشی طلا دار از نوع گذر از شکل‌پذیر به شکنا و نوع شکنا در مجموعه دگرگونی کانسار زرتشت و ارتباط و انطباق عیارهای بالای طلا با شدت دگرشکلی و دگرسانی در این پهنه‌ها است. با توجه به گسترش این مجموعه دگرگونی در منطقه و همچنین نواحی دیگر پهنه سنندج-سیرجان و حتی دیگر پهنه‌های مشابه در ایران، بنظر می‌رسد استفاده از ویژگی‌های معرفی شده در این تحقیق، برای پهنه‌های برشی طلا دار کانسار زرتشت بتواند به عنوان الگو برای شناسایی و اکتشاف این تپ از کانه‌زایی طلا مؤثر و نتیجه بخش باشد.

## ۲-زمین‌شناسی

مطالعات سنگ‌شناسی و چینه‌شناسی در منطقه زرتشت بیانگر گستره وسیعی از واحدهای آتشفشانی و آتشفشانی-رسوبی بازی تا حدواسط دگرگون شده و به شدت دگرشکل با سن دونین بالایی-کربنیفر زیرین (سبزه ای و همکاران، ۱۳۷۳) است که توده‌های بازی و اسیدی (دایک و سیل) در آنها نفوذ کرده‌اند (شکل ۳). بررسی‌های انجام شده (محجل و همکاران، ۱۳۸۱)، نشان‌دهنده حضور چند مرحله دگرشکلی پیچیده است. محیط اولیه تشکیل کانسار زرتشت، حوضه کافت درون قاره‌ای بوده (سبزه‌ای، ۱۳۷۳)، که محیط مناسبی را برای فعالیت آتشفشانی زیردریایی و رسوبگذاری مجموعه‌های آتشفشانی-رسوبی فراهم کرده است. وجود مقادیر زیادی واحدهای آتشفشانی مافیک و حدواسط، توف و آذرآواری‌های وابسته و سنگ‌های رسوبی دگرگون شده در توالی آتشفشانی-رسوبی منطقه زرتشت، گویای وجود یک حوضه کافتی است (Petre & Scot, 1999).

عمده ترین واحدهای سنگی رخنمون یافته در محدوده معدنی زرتشت شامل مجموعه‌های زیر است:

- **شیست سبز آتشفشانی (آمفیبول شیست):** این واحد با رنگ رخنمون سبز، گستره وسیعی از محدوده مورد مطالعه را در بر دارد (شکل ۲). پاراژنز عمومی این واحد شامل اکتینولیت، کلریت، آلبیت، فلدسپار قلیایی، کوارتز،



اسپیدرز و سهرگل را شکل داده اند (شکل ۲). ولی در محدوده طلادار، واحدهای کربناتی دگرگونی و کالک شیست، به صورت میان لایه، با ستبرای به ندرت چند متری برونزد دارند.

- **سنگ های نفوذی:** در منطقه زرتشت (بخصوص محدوده طلادار)، تزریق مکرر دایک ها و توده های کوچک گابرو دیوریت، دایک های دیاباز و گاهی دایک های با ترکیب اسیدی تر، مجموعه واحدهای دگرگونی را متأثر کرده است (شکل ۳). روند عمومی این سنگ ها، به طور عمده N-S تا NW-SE و ستبرای آنها بین ۱ تا ۳ متر است. البته ستبرای دایک ها در برخی رخنمون ها، به ۱۲ متر نیز می رسد.

### ۳- ساختار و دگرشکلی

بر اساس بررسی های ساختاری انجام شده در منطقه، روندهای عمده ساختاری در چهار گروه قابل تقسیم است (شکل ۳): الف) روندهای تقریباً خاوری-باختری (E-W تا NV۰W) دو گونه سامانه گسلی با ساز و کار متفاوت را در خود جای داده اند. یک سامانه، گسل های رانده و معکوس اصلی است که در نقشه زمین شناسی ساختاری منطقه به خوبی قابل شناسایی می باشند. این ساختار، باعث راندگی واحدهای سنگی منطقه به سوی جنوب-جنوب باختر شده است. سامانه دیگر، گسلش عادی (کششی) است که در یک مقیاس محلی عمل کرده و باعث تشکیل پهنه های برشی شکنا شده است. پهنه های طلادار اصلی (شکل ۳- شماره های ۱، ۲ و ۳) در امتداد همین روند جای گرفته اند. این گسلش عادی، ساز و کار مجزایی از دگرشکلی های قبلی دارد و در واقع، برگوارگی و دیگر ساختارهای زمین ساختی را قطع کرده است. روندهای تقریباً شمالی-جنوبی (N-S تا N۲۰W) که روند عمومی دایک های دیابازی تا اسیدی منطقه نیز هست. عملکرد گسل های عادی و ایجاد شکستگی های کششی، عمود بر روند راندگی های اصلی (E-W)، سبب تزریق ماگما به داخل این ساختارهای خطی شده است. ج) روند شمال باختری-جنوب خاوری که روند برگوارگی غالب در امتداد سطح محوری چین های خوابیده است. البته به دلیل شدت دگرشکلی در منطقه، روند برگوارگی متغیر است. پهنه های برشی با عملکرد راندگی (Reversed) در این ساختار شکل گرفته اند. پهنه های دگرسانی و کانه زایی تیپ هم روند با برگوارگی در این پهنه ها رخ نموده اند. د) روند شمال-خاوری-جنوب باختری که بر روی نقشه ۱/۲۵۰۰۰ زمین شناسی-معدنی و تصویر ماهواره ای منطقه مشخص است و بسیاری از خط واره های ساختاری و شکستگی های اصلی در امتداد این روند قرار گرفته اند. روند این گسل ها از N۲۵E تا N۵۰E متغیر بوده و شیب آنها نیز از قائم تا حدود ۵۰ درجه به سمت SE برداشت شده است.

ایدوت-کلینوزویست، کلسیت، اسفن و کانی های کدر است. این مجموعه، در زمینه ریزبلوری از آلیت، کوارتز، ایدوت، کلریت، کانی های رسی و کدر قرار گرفته اند. بیوتیت، آپاتیت، لوکوکسن، اکسید و هیدروکسیدهای آهن و گاه پیریت، کم و بیش، در این واحد وجود دارند. از مشخصه های بارز این واحد، دگرشکلی شدید و توسعه برگوارگی، چین ها و ایجاد رخ موج وارگی (Crenulation)، تبلور دوباره دینامیکی، فابریک C/S برشی و شکل گیری ساختارهای عدسی وار-پورفیروبلاست و همچنین دگرشکلی شکنا است.

- **متابازیت:** این واحد با رنگ رخنمون سبز تیره تا سیاه، در تناوب با شیست های آتشفشانی و با گستره محدود برونزد دارد. در جنوب گسل اصلی طلادار منطقه (پهنه برشی تونل بزرگ-کسیدون) و در دره ای موسوم به گلی سیاه، بیشترین رخنمون این واحد مشاهده می شود. ترکیب این واحد، به طور عمده هورنبلند-پیروکسن گابرویی است. این واحد، برگوارگی بارزی ندارد و تنها میلونیتی شدن ضعیف و لغزش پورفیرهای درشت آمفیبول و پیروکسن سبب نوعی جهت یافتگی خفیف در این سنگ ها شده است. البته واحد متابازیتی که درون پهنه برشی قرار دارد، به دلیل عملکرد تنش برشی شدید، دارای جهت یافتگی بیشتری است.

- **شیست سبز آذرآواری (توف مافیک و توفیت رسی-آهکی):** این واحدها، متناوب با شیست آتشفشانی و متابازیت، در ستبرای کمتر از ۱ متر تا چندین متر حضور دارند. تنوع ترکیب اولیه سنگ شناسی-کانی شناسی، از ویژگی شاخص این واحدها است به گونه ای که ترکیب این سنگ ها، گاهی سرشت آتشفشانی دارد و گاه به سوی رسوبی (پلیتی، آرژیلی، ماسه ای و کربناتی) تمایل دارد.

- **کوارتز-مسکوویت شیست:** این واحد در محدوده معدنی، رخنمون محدودی دارد. در حالیکه، در مناطق شمالی و خارج از محدوده کانی سازی طلا، به فراوانی برونزد یافته است (شکل ۳). این واحدها با رنگ رخنمون خاکستری تا نقره ای، در ستبراهای کمتر از یک متر تا چند متر، به صورت میان لایه، در میان واحدهای آتشفشانی-رسوبی دگرگونی دیده می شوند. وجود کانی های میکایی مانند موسکوویت و سریسیست، سبب برگوارگی کاملاً مشخص در این واحدها گردیده و همین امر، باعث عدم مقاومت آنها در برابر هوازدگی شده است. تغییرات ترکیب اولیه این سنگ ها، بسته به ژرفای رسوبگذاری، از ماسه سنگ ناخالص تا رسوبات رسی ناهمگن متغیر است. در نتیجه دگرگونی و دگرشکلی، تناوبی از نوارهای کوارتز-فلدسپاتی و نوارهای میکایی-رسی تشکیل شده اند.

- **کالک شیست-متاکربنات:** مرمر ستبر لایه (چند صد متر ستبر) در جنوب و باختر منطقه معدنی، بلندی های اصلی منطقه از جمله کوه های پاسفید،

واحد دگرشکل شده و سنگ دربرگیرنده دگرشکل نشده، یک زون انتقالی است که از بخش داخلی پهنه، با کاهش شدت دگرشکلی شکنا متمایز می شود (Passchier & Trouw, 1996). در این بخش حاشیه ای، فابریک عمومی دگرشکلی به صورت پروتوکاتاکلاسیت است. پروتوکاتاکلاسیت، بر اثر خرد شدگی مکانیکی و جریان خفیف کاتاکلاستیکی، در یک پهنه برشی شکل-گرفته و به طور عمده از پروتولیت های کمتر دگرشکل شده تشکیل شده است. این نوع فابریک، در بخش بیرونی پهنه شکناهای زرتشت گسترش به نسبت زیادی دارد.

**کاتاکلاسیت (Cataclasite):** کاتاکلاسیت، سنگی است مرکب از قطعات سنگ/کانی که بر اثر خرد شدن مکانیکی، بدون پدیده ذوب تشکیل می شود (Passchier & Trouw, 1996). این واحد در پهنه شکناهای زرتشت بیشترین گسترش را دارد. در این واحد، نسبت پورفیروکلاست به زمینه تقریباً برابر است که نشانه شدت دگرشکلی بیشتری نسبت به واحد پروتوکاتاکلاسیت است. سازوکار اصلی در تشکیل کاتاکلاسیت، جریان کاتاکلاستیکی بین بلوری و درون بلوری، لغزش مرز بلوری و انحلال بر اثر فشار است (Evans, 1990).

**اولتراکاتاکلاسیت (Ultracataclasite):** اولتراکاتاکلاسیت، بر اثر خرد شدگی بسیار شدید، در داخلی ترین بخش یک پهنه برشی شکنا، شکل می گیرد. این بخش در پهنه شکناهای زرتشت، دارای پهنای کم (کمتر از ۰/۵ متر) است و به دلیل ویژگی های بافتی خاص و عدم وجود یا وجود مقادیر ناچیزی از پورفیروکلاست های درشت بلور، در مقیاس رخنمون و همچنین زیر میکروسکوب به آسانی قابل تشخیص است. از ویژگی های مهم این واحد، درزه-شکستگی و رگه های تزریقی (injection veins) فراوان است که بدون هیچ نظم خاصی سازنده های خرد شده و کاتاکلاسیت را احاطه کرده اند (شکل ۵). اولتراکاتاکلاسیت، از نظر بافتی بسیار شبیه به کاتاکلاسیت است، با این تفاوت که به دلیل شدت افزون تر دگرشکلی، ریزش دگرشکلی پورفیروکلاست ها گسترش بیشتری یافته است.

در بسیاری از پهنه های برشی، به علت تحرکات مکرر و یا مستمر، چندین فاز دگرشکلی در امتداد یک گسل مشاهده می شود (Passchier et al., 1990; Nguyen et al., 1998). فابریک های موجود در پهنه های برشی شکناهای زرتشت، حداقل دو مرحله دگرشکلی را نشان می دهند که طی فعالیت های متناوب گسل اصلی، رونقش شده اند. در بیشتر موارد، فابریک های دگرشکلی رژیم شکل پذیر، به دلیل قرارگیری در شرایط سطحی-مانند حرکت بلوک سنگی دگرشکل شده، به سمت بالا در طی حرکت معکوس گسل و یا بالازدگی ناحیه ای-توسط فابریک های خاص محیط شکنا پوشیده می شوند. در زرتشت نیز عملکرد پهنه برشی در

دگرشکلی در مجموعه سنگی منطقه به دو گونه پهنه برشی با ساز و کار متمایز و شدت دگرشکلی متفاوت، عمل کرده است که شامل پهنه های برشی شکنا (Brittle shear zones) و پهنه های برشی گذر از شکل پذیر به شکنا (Ductile-brittle shear zones) است. به دلیل اهمیت بیشتر پهنه های شکنا در تمرکز اقتصادی طلا، این ساختارها با تفصیل بیشتری مورد بررسی قرار می گیرند:

### ۳-۱- پهنه های برشی شکنا در زرتشت

گسل ها، بارزترین ساختار در منطقه زرتشت هستند. در این محدوده گسل های با ساز و کار کششی (گسلش عادی) بیشتر نمود یافته اند. این گسل ها، در سه روند اصلی قابل برداشت هستند که مهم ترین آنها، از دیدگاه کانه زایی، روند عمومی E-W تا NV۰W است (شکل ۴). پهنه برشی شکناهای اصلی منطقه، با روند فوق به طول بیش از ۱/۵ کیلومتر و به صورت ناپیوسته قابل پی گیری است. این ساختار، دیگر روندهای ساختاری قبلی را قطع کرده است.

در یک پهنه برشی شکنا، در نتیجه شکستگی مکانیکی اجزای سنگ در ژرفای کم، محصولات بافتی متنوعی پدید می آید که به دگرشکلی شکنا (Brittle deformation) موسوم است. جریان یافتن کاتاکلاستیکی، به صورت لغزش و چرخش قطعات خرد شده سنگی، از مشخصه های بارز پهنه های برشی شکنا است (Passchier & Trouw, 1996). در محدوده مورد مطالعه، تحرک شدید گسل عادی، موجب خرد شدگی شدید سنگ ها در مرز حرکتی بلوک های مجاور و شکل گیری فابریک های کاتاکلاستیکی-برشی متنوع و ایجاد درزه-شکستگی شده است.

بر اساس یک اصل کلی، درجه دگرشکلی در یک پهنه برشی، از حاشیه به طرف مرکز پهنه افزایش شدید نشان می دهد (Sibson & Scott, 1998; Zhou & Wang, 1999). هر چند در پهنه برشی زرتشت این حالت به وضوح مشاهده نمی شود، اما شدت دگرشکلی، کم و بیش، از خارج به سمت داخل، در راستای عمود بر پهنه برشی افزایش می یابد. وجود دو نوع دانه بندی (پورفیروکلاست و زمینه ریزبلور)، از مشخصه های واحدهای دگرشکل شده منطقه در مقیاس میکروسکوپی است که بیانگر دگرشکلی متفاوت در سراسر پهنه برشی است. بر این اساس، هر چه تفاوت اندازه بین پورفیروکلاست و زمینه کمتر گردد، شدت دگرشکلی بیشتر می شود. بنابراین، انواع دگرشکلی در پهنه برشی زرتشت را می توان به صورت پروتوکاتاکلاسیت، کاتاکلاسیت و اولتراکاتاکلاسیت از هم تفکیک کرد:

**پروتوکاتاکلاسیت (Protocataclasite):** در یک پهنه شکنا، مرز بین





گویای نوعی از دگرشکلی شکل پذیر-شکنا است. تشکیل درزه-شکستگی کششی، که به صورت زاویه دار نسبت به سوی برش قرار می گیرند، از دیگر ساختارهای موجود در این پهنه ها است. انواع فابریک های موجود در پهنه برشی گذر از شکل پذیر به شکناى زرتشت را می توان به صورت زیر از هم تفکیک کرد:

**میلونیت-پروتومیلونیت:** میلونیت، فابریک دگرشکلی در شرایط شکل پذیر است که با برگوارگی صفحه ای، خط واره کششی/کانیایی و نشانه هایی از آهنگ کرنش بالا مانند روبان شدگی کوارتز مشخص می شود (Hanmer & Passchier, 1991). در پهنه های هم روند با برگوارگی منطقه زرتشت، فابریک میلونیتی خفیف، به صورت زون های باریک چند سانتی متر تا ۲ متر، در میان واحدهای دگرگونی و چین خورده گسترش دارند. در این پهنه ها، برگوارگی میلونیتی شکل گرفته در طی تشکیل پهنه های برشی، با برگوارگی غالب ایجاد شده در واحدهای دگرگونی هم امتداد است.

در این بخش از پهنه ها، میزان پورفیروکلاست نسبت به زمینه، بیش از ۵۰ درصد و به ندرت بین ۳۰ تا ۵۰ درصد است که به نظر (Sibson, 1977)، شدت دگرشکلی پایین و فابریک پروتومیلونیت تا میلونیت را نشان می دهد. دگرشکلی شکل پذیر، موجب شکل گیری فابریک ها و ریزساختارهای متنوع شده است. از آن جمله، می توان به ساختارهای سیگموییدی و شکل گیری پورفیروکلاست های پوششی، خمش دوقلویی در بلورهای فلدسپار، توسعه نوارهای برشی و ... اشاره کرد.

**اولتراکاتاکلاسیست-کاتاکلاسیست:** این واحد در بخش درونی پهنه های برشی هم روند با برگوارگی منطقه زرتشت، با پهنای ۰/۵ تا ۱ متر گسترش یافته است. بالآآمدگی منطقه زرتشت و قرارگیری در شرایط نزدیک به سطح، سبب حرکت دوباره در سطوح ضعف، بویژه بخش داخلی پهنه های برشی شده است. نتیجه آن، شکل گیری فابریک های شکنا در این پهنه ها است. این پهنه ها بسیار باریک بوده و به همین دلیل، مرز میان اولتراکاتاکلاسیست و کاتاکلاسیست به سادگی تمیز داده نمی شود.

مطالعه پتروفابریکی کوارتز و پلاژیوکلاز، در نمونه های پهنه های هم روند با برگوارگی زرتشت، درجات بالاتر دگرشکلی را نسبت به پهنه های برشی شکناى منطقه نشان می دهد که با شرایط محیط گذر از شکل پذیر به شکنا مطابقت دارد.

#### ۴- دگرسانی

بررسی های انجام گرفته نشان می دهد که تقریباً تمامی واحدهای دگرگونی منطقه در پهنه های برشی هم روند با برگوارگی و پهنه های شکنا تحت تأثیر دگرسانی قرار گرفته اند. ولی نوع و شدت دگرسانی به طور کامل متفاوت است. از مهم ترین دگرسانی ها می توان به دگرسانی کلریتی-اپیدوتی،

شرایط ژرف پوسته و تحت رژیم شکل پذیر، موجب رفتار پلاستیک سنگ ها شده و در این شرایط، فابریک میلونیتی فراگیر، جهت یافتگی اجزای سنگ، ساختار سیگموییدی، فابریک های C/S، روبان شدگی و ریز شدن بلورهای کوارتز رخ نموده اند. پس از آن، حرکت معکوس گسل، موجب بالا آمدن این سنگ ها شده و در مراحل پایانی تکامل پهنه برشی، گسلش عادی باعث ظهور دگرشکلی رژیم شکنا شده اند. وجود قطعه های اولترامیلونیت اولیه، که توسط کوارتز خرد شده و کاتاکلاستیکی محصور شده اند، می تواند گویای این پدیده باشد.

#### ۳-۲- پهنه های برشی گذر از شکل پذیر به شکناى زرتشت

در محدوده زرتشت، پهنه های برشی باریک با سازوکار راندگی، به پهنای ۱ تا ۳ متر و طول کمتر از ۲۰۰ متر، گسترش جالب توجه داشته و نوع حرکت معکوس مورب را (بلوک جنوب باختری روی شمال خاوری لغزیده است) نشان می دهند. مشخصات برگوارگی درون این پهنه ها به طور عمده ۲۰/۱۹۰ است و خط وارگی به سمت SW میل دارد. این پهنه ها با دگرشکلی مرحله اول و تکوین چین های خوابیده همزمان بوده (محجل و همکاران، ۱۳۸۱) و در واقع، در یال همین چین ها به صورت مورب لغز عمل کرده اند (شکل ۶). پهنه های فوق، از دیدگاه تمرکز اقتصادی طلا نسبت به پهنه های شکنا اهمیت کمتری دارند. در واقع، این پهنه های برشی هم روند با برگوارگی را می توان به عنوان یک کنترل کننده کانه زایی اولیه، برای کانی سازی اصلی طلا، در پهنه های برشی شکنا در نظر گرفت (Kishida et al., 1991). برگواره خفیف میلونیتی (شکل ۷)، در بخش بیرونی پهنه، از جهت یافتگی ترجیحی کانی های سنگ درونگیر، از جمله آمفیبول، پیروکسن، پلاژیوکلاز، کلریت و اپیدوت تشکیل شده است. در حالی که برگوارگی، در بخش درونی پهنه، مرهون کانی های فلیسیک بخصوص کوارتز و آلپیت است. در مطالعه میکروسکوپی و پتروفابریکی نمونه های این پهنه ها، فابریک های رژیم شکل پذیر مانند تبلور دوباره دینامیکی (Dynamic recrystallisation)، تبلور دوباره مهاجرت مرز دانه ای در بلور کوارتز (Grain boundary migration recrystallisation)، تشکیل دوقلوی (ماکل) مکانیکی و پدیده ایجاد شکنج (Kinking) در آلپیت، تغییر در زاویه و نوع سامانه رخ بلورهای کلسیت و دولومیت تبلور دوباره یافته، خرد شدن (subgraining) کوارتز (شکل ۸)، دور زدن بلورهای میکایی پیرامون پورفیروکلاست ها و ... مشاهده می شود. در این پهنه ها علاوه بر فابریک های شکل پذیر فوق، فابریک های یک رژیم شکنا نیز دیده می شود که مبین عملکرد دوباره این پهنه ها در طی بالا آمدگی منطقه است. وجود فابریک های شکنا، همراه با فابریک های ضعیف دگرشکلی شکل پذیر،

است که توسط شکستگی های اصلی موجود در پهنه های برشی، کنترل می شود (Zhang et al., 2003). در منطقه زرترشت، دگرسانی سیلیسی مهم ترین دگرسانی گرمابی همراه طلا است که بیشترین شدت آن در داخلی ترین بخش پهنه های برشی مشاهده می شود. در پهنه های شکنا، بخش به شدت سیلیسی، با ستبرای حدود ۰/۵ تا ۲ متر، به صورت برونزد سخت و برجسته دیده می شود که هم روند با امتداد پهنه برشی (N۷۰W) شکل گرفته است. ژئومتری این بخش، اغلب نواری تا عدسی های نامنظم است. به دلیل همراهی سولفیدها با دگرسانی سیلیسی و هوازدگی آنها، رخنمون این بخش اغلب با رنگ ظاهری زرد-خاکستری تا قهوه ای مشخص می شود. در پهنه های شکنا، زون سیلیسی، گسترش و پهنای بیشتری نسبت به پهنه های برشی هم روند با برگوارگی دارد. بافت بخش سیلیسی، بویژه در پهنه های شکنا، به شدت خرد شده و کاتاکلاستیکی و به طور معمول با پیریت همراه است. در پهنه های گذر از شکل پذیر به شکنا، بخش به شدت سیلیسی، با ستبرای ۰/۵ تا ۱/۵ متر و به صورت عدسی های ناپیوسته، هم خواب با برگوارگی غالب سنگ دربرگیرنده و در امتداد پهنه برشی (با صفحه های برش) تشکیل شده است (شکل ۹). این عدسی ها در جهت شیب صفحه های برش تا ژرفای محدودی وجود داشته و بسته شده اند. کارهای معدنی قدیمی بر روی همین بخش ها انجام گرفته، به طوری که با بسته شدن عدسی های سیلیسی-سولفیدی، معدنکاری نیز متوقف شده است.

بخشی از دگرسانی سیلیسی منطقه، به صورت سیلیسی شدن بخش هایی از سنگ دیواره است. این نوع دگرسانی یا به صورت جانشینی سنگ دیواره توسط سیلیس به همراه سولفید است که در اثر اکسید شدن سولفید به رنگ سرخ و زرد دیده می شود و یا این که در اثر پرشدگی درزه ها و شکستگی هایی است که روند خاصی نداشته و به سنگ بافت شبکه ای داده است.

### دگرسانی سولفیدی

دگرسانی سولفیدی، در هر دو تیپ پهنه های برشی طلا دار منطقه، بخشی از پهنه دگرسانی و منطبق بر بیشترین شدت دگرسانی سیلیسی و بالاترین عیارهای طلا است. دگرسانی شدید سولفیدی، به صورت دانه پراکنده، در بخش درونی پهنه دگرسانی حضور دارد. بخش سولفیدی، در بررسی های صحرایی، با رنگ ظاهری زرد تا قهوه ای-سرخ، حاصل از هوازدگی سولفیدها و تبدیل شدن به اکسید و هیدروکسید آهن (لیمونیت، هماتیت، گوتیت، لپیدوکروسیت) مشخص می شود. در بخش بیرونی پهنه دگرسانی نیز سولفیدها، در میان درزه-شکستگی ها، یا به صورت دانه پراکنده در زمینه سنگ مشاهده می شوند.

مطالعات میکروسکوپی نشان داده است که تقریباً در تمامی نمونه های بخش

سریستی، آرژیلی، کربناتی، سیلیسی و سولفیدی اشاره کرد. دگرسانی گرمابی طلا دار، منطبق بر پهنه های برشی و در زون های باریک رخ داده است. پهنای این زون ها، از ۳ تا ۳۰ متر متغیر بوده و اغلب به فرم عدسی شکل تا نواری مشاهده می شوند. هاله دگرسانی، در پهنه های برشی گذر از شکل پذیر به شکنا و پهنه های برشی شکناهای زرترشت تقریباً مشابه است. با این تفاوت که در پهنه های برشی شکنا، شدت و گسترش بیشتری نسبت به پهنه های برشی گذر از شکل پذیر به شکنا دارد.

دگرسانی های کلریتی-اپیدوتی و سریستی، به طور عمده در تمامی واحدهای سنگی و در بخش بیرونی پهنه های برشی گسترش دارند، لذا از توضیح آنها خودداری کرده و تنها به دگرسانی های کربناتی-آرژیلی (در بخش میانی پهنه ها) و سیلیسی-سولفیدی (در بخش داخلی پهنه ها)، که در ارتباط با کانه زایی طلا هستند، اشاره خواهد شد.

### دگرسانی آرژیلی

در هاله دگرسانی طلا دار پیرامون پهنه های برشی زرترشت، دگرسانی آرژیلی گسترش محدودی دارد. اما همبستگی مثبتی میان دگرسانی کربناتی با دگرسانی آرژیلی، در بخش میانی پهنه های دگرسانی منطقه قابل تشخیص است. تجزیه نمونه های مختلف به روش XRD و مطالعات میکروسکوپی، نشان داده است که کانی های رسی موجود در پهنه ها به طور عمده شامل موتوموریلونیت، تالک، سودایت (کانی غنی از Mg و Al از گروه کلریت)، کلینوکلر و بندرت اپلیت، جیسموندیت و زینوالدیت است که اغلب به همراه آنکریت و گوتیت مشاهده می شوند.

### دگرسانی کربناتی

در پهنه های دگرسانی طلا دار زرترشت، دگرسانی کربناتی گسترش بسیار قابل توجهی دارد. کلسیت، عمومی ترین کانی کربناتی است و در بیشتر نمونه ها، به همراه دگرسانی سیلیسی مشاهده می شود. به دلیل آهنگ بالای هسته زایی و تبلور کربنات ها، انتشار کانی های کربناته درون پهنه دگرسانی تصادفی است (Rimstidt, 1997). به همین دلیل، نمی توان در یک پهنه دگرسانی، محدوده مشخصی را به عنوان زون کربناتی معین کرد. کانی کلسیت، در بیشتر نمونه ها، بویژه نمونه های بخش میانی پهنه دگرسانی، دومین یا سومین جزو سازنده سنگ پس از کوارتز یا کوارتز+آلیپت است. دولومیت و آنکریت در مقادیر به مراتب کمتر آشکار شده اند.

### دگرسانی سیلیسی

سیلیسی شدن، عمومی ترین دگرسانی گرمابی در نهشته های طلای کوهزایی

## ۶- کانه زایی

نام زرتشت یا زردرشت به معنای خرد کردن و آسیاب ذرات زر (طلا)، از پیشینه معدنکاری طلا در این منطقه حکایت دارد. در محدوده مورد مطالعه، آثار کانی سازی طلا و معدنکاری قدیمی، به طور عمده در دو محدوده متمرکز است (شکل ۳). محدوده اصلی یا منطقه معدنی زرتشت که در باختر ارتفاعات مرمری اسپیدرز قرار دارد و محدوده معدنی دودران که در باختر ارتفاعات اسپیدرز و جنوب آبادی زهمکان واقع شده است. آثار معدنکاری قدیمی، به دو صورت، یکی حفريات بزرگ و ژرف قطع کننده بر گوارگی و در جهت گسله های عادی و دیگری، کنده کاری های عدسی شکل هم امتداد با یکدیگر، در جهت شیب صفحات بر گوارگی و با ابعاد کوچک (به طور عمده ۱ متر پهنا و ۲ متر درازا) دیده می شوند. تمام حفريات و کنده کاری های قدیمی، در امتداد عدسی ها و رگه های سیلیسی سولفید دار (چه هم امتداد و چه قطع کننده بر گوارگی) انجام گرفته و تنها به بخش بسیار پرعیار پهنه های دگرسانی محدود شده است. این شواهد، همگی حاکی از فعالیت های گسترده معدنی، طی گذشته های بسیار دور، در این منطقه باستانی است.

## تیپ های کانه زایی طلا

کانه زایی طلا، در کانسار زرتشت با توجه به بررسی های صحرائی و آزمایشگاهی و موقعیت زمین شناختی و ساختاری، به دو تیپ قابل تفکیک است: الف- کانه زایی تیپ گذر از شکل پذیر به شکنا: در طی فرایندهای دگرگونی و دگر شکلی، بویژه تشکیل چین های خوابیده، پهنه های برشی- لغزشی (Shear-slice zones) فعال می شوند. این امر سبب تشکیل مناطق برشی و فابریک های خاص آن می شود. این پهنه های برشی به طور عمده هم خواب با بر گوارگی غالب و به موازات سطح محوری چین خوابیده واقع می شوند (Goscombe & Trouw, 1999) (شکل ۶-ب). در منطقه زرتشت، دسته ای از پهنه های کانه دار، تحت تأثیر این گونه گسل های برشی- لغزشی (Shear-slice faults) تشکیل شده اند. این نوع از کانی سازی، با توجه به درجه دگر شکلی و ژئومتری آن نسبت به سنگ میزبان، با عنوان پهنه های برشی گذر از شکل پذیر به شکنا یا پهنه های برشی هم روند با بر گوارگی نامیده شده است. گرچه، ممکن است که این پهنه های دگرسانی تا چند متر پهنا داشته باشند، اما بخش سیلیسی- برشی شده و غنی از طلا، به طور معمول بین چند دسی متر تا ۲ متر ستبراً دارد. شواهد صحرائی و نمونه برداری از برخی پهنه های دگرسانی، نشان داده است که رویداد مذکور، به صورت یک سامانه موازی، ولی با شدت و ضعف، در چند تراز حادث شده و موجب گردیده که در بخش هایی از زون دگرسانی، مقدار طلا به چند گرم در تن برسد. معدنکاری قدیمی طلا در این پهنه ها، در بخشی که عیار طلا بالا بوده،

سولفیدی، پیریت، کانی سولفیدی اصلی (بیش از ۹۸ درصد فاز سولفیدی) است و گالن، اسفالریت و کلکوپیریت، تنها به صورت فرعی و پراکنده حضور دارند.

## ۵- ارتباط زمانی- مکانی دگرسانی و دگر شکلی

در بررسی چگونگی تشکیل کانسارهای طلا، فهم ارتباط زمانی و مکانی فرایندهای زمین شناختی مؤثر در شکل گیری این کانسارها بسیار با اهمیت است (Foster et al., 1998). به طور کلی، کانی سازی طلای کوهزایی، توسط پهنه برشی که با دگرسانی گرمایی شدید همراه است، کنترل می شود (Zhang et al., 2003). در واقع، دگرسانی گرمایی از نظر زمانی و مکانی با توسعه پهنه های برشی ارتباط ویژه ای دارد. بررسی های میدانی و میکروسکوپی در کانسار زرتشت، مبین ارتباط مکانی و زمانی دگرسانی گرمایی با درجات دگر شکلی پهنه های برشی است (راستگوی مقدم و همکاران، ۱۳۸۳). از نظر مکانی، این ارتباط به واسطه انطباق پهنه بندی دگرسانی با دگر شکلی به خوبی نمایان می شود. در بخش داخلی پهنه ها، شدیدترین درجه دگر شکلی (کاتاکلاسیت- اولتراکاتاکلاسیت) با بیشترین حجم فعالیت سیال های گرمایی منطبق است. بنابراین، شدت بالای دگرسانی های سیلیسی و سولفیدی، در بخش داخلی پهنه برشی، نشانگر بیشترین فعالیت دگرسانی گرمایی در این بخش است. در حالی که در بخش بیرونی پهنه، دگرسانی های سرسیستی، کلریتی و اپیدوتی گسترش یافته اند. این تغییرها، هم روند با کاهش حجمی سیال گرمایی و در نتیجه تحول ضعیف شیمیایی سنگ دیواره پدید می آید.

از نظر زمانی نیز، در پهنه های طلا دار زرتشت، ارتباط آشکاری میان دگرسانی گرمایی و دگر شکلی مشاهده می شود. در طی دگر شکلی پهنه های برشی منطقه، جریان کاتاکلاستیکی، لغزش دانه ها و خردشدگی آنها، فضاهای خالی مناسب و کم فشاری را برای مهاجرت و ته نشست سیال گرمایی ایجاد نموده است. این فضاهای خالی به موازات صفحه های برش شکل گرفته و درون این فضاها، محصولات اصلی دگرسانی گرمایی (کوارتز و پیریت) جای گرفته اند. از سوی دیگر، توسعه ریزشکستگی در پورفیروکلاست ها، طی خرد شدگی مکانیکی، و پرشدن آنها توسط محصولات دگرسانی (به شکل ۱۳-ب مراجعه شود)، گویای همزمانی نهشت محصولات دگرسانی گرمایی با دگر شکلی است (Zhou & Wang, 1999).

با توجه به شواهد فوق، به نظر می رسد که در پهنه های برشی منطقه زرتشت، فرایندهای دگرسانی گرمایی تحت کنترل دگر شکلی است. به عبارت دیگر، می توان گفت که در پهنه های دگر شکل شده طلا دار، انطباق زمانی و مکانی مثبتی میان دگر شکلی و دگرسانی گرمایی دیده می شود.



خاوری محدوده های مورد اشاره تشخیص داد. حجم عمده حفاری ها و کندو کاوهای قدیمی، در امتداد همین ساختار گسلی انجام شده است. این پهنه ها را می توان، براساس نوع و شدت دگرسانی، از بیرون به سمت داخل، به ترتیب به سه زیرپهنه تقسیم کرد: (۱) پهنه دگرسانی سریستی-کلریتی - اپیدوتی (زون بیرونی)، (۲) پهنه دگرسانی کربناتی-سیلیسی (زون میانی)، (۳) پهنه دگرسانی به شدت سیلیسی-سولفیدی طلا دار (زون داخلی). دگرسانی سیلیسی-سولفیدی، در بخش درونی پهنه ها، شدیدتر است. این بخش با بافت برشی-کاتاکلاستیکی مشخص، رگه-رگچه های سیلیسی-سولفیدی فراوان و رنگ ظاهری زرد-قهوه ای تا سرخ (حاصل دگرسانی سولفیدها) در مقیاس رخنمون به خوبی قابل تشخیص است. نتایج حاصل از تجزیه نمونه های این بخش از پهنه های شکنا در محدوده های مختلف، بیشترین مقادیر طلائی کانسار (۲/۲ تا ۳۵/۷ گرم در تن) را نشان داده است. به طوری که عیار طلا در بخش به شدت سیلیسی-سولفیدی پهنه برشی تونل بزرگ تا ۱۶/۱ گرم در تن، در پهنه کسیدون تا ۱۷/۲ گرم در تن، در پهنه خاور تونل بزرگ تا ۱۳/۷ گرم در تن و در پهنه دهنه خرسی (در محدوده دودران) تا ۳۵/۷ گرم در تن می رسد. در عین حال، در بخش بیرونی این پهنه ها که شدت دگرشکلی و دگرسانی کاهش می یابد، عیار طلا نیز کاهش چشمگیری را نشان می دهد (برای مثال پهنه خاور تونل بزرگ، شکل ۱۰-الف). این امر بیانگر ارتباط قوی میان عیارهای بالای طلا با بخش به شدت دگرشکل (تا حد اولتراکاتاکلاسیک) و دگرسان شده (سیلیسی-سولفیدی)، در این پهنه ها است.

#### ۷- کانی شناسی

مطالعات میکروسکوپی و نتایج تجزیه دستگاهی نمونه ها نشانگر کانی شناسی به نسبت ساده در پهنه های برشی کانه دار منطقه است. پاراژنز کانی ها در پهنه های دگرسان شده کانه دار به صورت زیر است:

#### ۷-۱- کانی ها

کوارتز، مهم ترین کانی سنگ ساز کانسار طلائی زرتشت است. مطالعات میکروسکوپی، سه نوع کوارتز را تفکیک کرده است که به ترتیب شامل کوارتز پیش از دگرشکلی، کوارتز مرحله اول گرمایی و کوارتز گرمایی تأخیری است. کوارتز پیش از دگرشکلی (نسل اول)، حاصل دگرسانی نبوده، بلکه پیش از دگرشکلی و دگرسانی در سنگ وجود داشته است. این نسل از کوارتز با ابعاد تا ۲ میلی متر، در زیر میکروسکوپ با ظاهری کثیف، خاموشی موجی و تبلور دوباره (شکل ۸) شناخته می شود. کوارتز مرحله اول گرمایی (نسل دوم)، ظاهری روشن و شفاف دارد (شکل ۱۱) و در رگچه ها و پیرامون کوارتز پیش از دگرشکلی، دیده می شود. این کوارتزها، به طور معمول توسط

به صورت دخمه هایی در جهت شیب بر گوارگی انجام شده است (شکل ۹). در منطقه زرتشت، پهنه های برشی متعددی، هم روند با بر گوارگی دیده می شوند که اغلب آنها در جنوب و جنوب خاور پهنه های شکناهای اصلی منطقه قرار دارند. این پهنه ها، از نمای دور، به صورت نوار باریک کمانی شکل، با زون دگرسانی کم وسعت، به پهنای ۲ تا ۷ متر و گسترش طولی بیش از ۱۰۰ متر، در لابه لای واحدهای شیست مشاهده می شوند. در مقیاس رخنمون، هم روندی بر گوارگی واحدهای شیست سبز و بر گواره میلونیتی موجود در این پهنه ها به خوبی قابل تشخیص است (شکل ۹).

نمونه برداری از بخش های مختلف این پهنه ها گویای افزایش عیارهای طلا، در بخش کاتاکلاستیکی به شدت سیلیسی-سولفیدی است (شکل ۱۰-ب و جدول پیوست ۱). کانسنگ طلا دار، به شکل عدسی های سیلیسی-سولفیدی با بافت کاتاکلاستیکی-برشی و حاوی کوارتز ریزبلور خاکستری-آبی فراوان و پورفیر و کلاست های کوارتز است که به صورت موازی با بر گواره واحدهای دگرگونی قرار گرفته اند. بخش پرعیار، تنها به ۰/۵ تا ۱ متر درونی پهنه مختص بوده و عیار طلا در آنها از ۰/۵ گرم در تن (در پهنه پایینی طلا دار خاور بن نخود، شکل ۹-ب) تا ۷/۹۵ گرم در تن (پهنه بالایی طلا دار در خاور بن نخود، شکل ۹-الف) تغییر می یابد. در دیگر محدوده ها مانند منطقه ای موسوم به دره کلکاشک (شکل ۳) و شمال آن، پهنه های متعددی از این دست دیده می شوند که نمونه برداری از بخش به شدت سیلیسی-سولفیدی یکی از این پهنه ها، عیار طلا تا ۶/۶۵ گرم در تن (برای پهنای ۵ متر) را نشان داده است. مقادیر طلا در بخش های بیرونی این پهنه های دگرسانی، چندان قابل توجه نیست (شکل ۱۰-ب).

ب- کانه زایی تیپ شکنا: در منطقه زرتشت، بیشترین تمرکز کانه زایی طلا، درون پهنه های برشی شکنا و در امتداد گسل های عادی رخ داده است. این پهنه های برشی، به شکل رگه سیلیسی سولفید دار با حاشیه دگرسانی محدود، روند غالب بر گوارگی واحد شیست سبز میزبان را قطع کرده اند (شکل ۴). این پدیده، بیانگر تشکیل پهنه های شکنا، پس از دگرشکلی ناحیه ای و ایجاد بر گوارگی غالب است. بر این اساس، می توان رگه های طلا دار فوق را به مراحل دگرشکلی و بالآمدگی جوان تر منتسب کرد.

بررسی های میدانی و مطالعات انجام گرفته، مؤید وجود پهنه های برشی شکناهای کانه دار در گستره ای به طول بیش از ۱/۵ کیلومتر، به طور ناپیوسته و با ابعاد مختلف، در راستای یک گسل عادی، با روند تقریباً خاوری-باختری است که تا نزدیکی بلندی های اسپیدرز (در باختر منطقه) قابل پی گیری است. در این امتداد، پهنه های برشی طلا دار اصلی تونل بزرگ، کسیدون و خاور تونل بزرگ، با ابعاد قابل توجه مشاهده می شوند (شکل ۳). البته، برونزدهای کوچک تری از این پهنه های گسلی طلا دار را می توان در ادامه باختری و

شده است.

این نسل از پیریت، هم‌زمان با تغییر شکل تشکیل شده، به‌طوری که تحت تأثیر تنش‌های اعمالی، در پیرامون آنها و در جهت عمود بر راستای بیشترین محور تنش، کوارتز فیبری ریزبلور و همچنین کلریت به‌صورت سایه‌واتنشی و پدیده Strain fringes (شکل ۱۲)، تشکیل شده‌اند. این نسل پیریت، اغلب دارای سطحی مجوف و حاوی میان‌بارهایی از کوارتز و کلریت بوده و به‌طور بخشی یا کامل از حاشیه و محل شکستگی‌های درون بلوری اکسیده شده است. حضور پیریت و پیریت آرسنیک دار درشت بلور از اغلب کانسارهای طلای دارای پارائز سولفیدی مشابه با زرتشت گزارش شده است (Christie and Brathwaite, 2003; Haeberlin et al., 2002; Belkibir et al., 2004; Hinchey et al., 2003). تحقیقات صورت گرفته نشان داده است که در کانسارهای طلای تپ کوهزایی، میزان طلا در شبکه سولفیدهای درشت بلور، برخلاف سولفیدهای ریزبلور، بسیار پایین است و یا حضور ندارد. نتایج تجزیه انجام گرفته بر روی نمونه‌های سولفیدی زرتشت نیز عدم وجود طلا در شبکه پیریت درشت بلور را (برخلاف سولفیدهای ریزبلور) نشان داده است (جدول‌های پیوست ۲-۱ و ۲-۷). میزان As در پیریت درشت بلور پهنه‌های تپ هم‌روند با برگوارگی، حدود  $0.15\% \text{wt}$  و در تپ شکنا حدود  $0.26\% \text{wt}$  است (جدول‌های پیوست ۲-۱ و ۲-۷).

ب- پیریت و پیریت آرسنیک دار نسل دوم گرمایی، به‌صورت بلورهای خودشکل تا تقریباً بی‌شکل و ریزبلور است که ابعاد آنها اغلب کمتر از ۳۰ میکرون بوده و به‌ندرت از ۱۰۰ میکرون فراتر می‌رود. این سولفیدها، بیشتر به‌صورت دانه پراکنده (شکل ۱۳-الف) و رگچه‌های بسیار باریک (شکل ۱۳-ب)، به حالت هم‌رشد با کوارتزهای نسل سوم یافت می‌شوند. نتایج تجزیه مایکروپروب الکترونی نشان داد که همانند پیریت نسل اول، آرسنیک فراوان‌ترین عنصر فرعی این کانی است. با این تفاوت که پیریت ریزبلور در هر دو تپ کانه‌زایی، نسبت به پیریت درشت بلور نسل اول، آرسنیک بیشتری دارد و حتی در یک بلور پیریت ریزبلور تپ شکنا، میزان آرسنیک به  $1.33\% \text{wt}$  نیز می‌رسد (جدول ۲-۴). اندازه بلوری این نسل از پیریت، تابعی از فضای است که امکان رشد بلوری را برای آنها میسر کرده است. همین امر باعث شده که در بعضی از شکستگی‌ها، که فضای کافی برای رشد پیریت‌ها مهیا بوده، بیشتر رشد نموده و خودشکل شده‌اند. نبود نشانه‌های دگرشکلی در این پیریت‌ها نشانگر عدم تأثیر دگرشکلی تأخیری‌تر، پس از نهشت این کانی‌ها است که در واقع می‌تواند گویای آخرین فاز گرمایی باشد.

#### - گالن

گالن، به‌صورت دانه پراکنده و نیمه شکل دار تا بی‌شکل، با ابعاد کمتر از ۱۰۰ میکرون (شکل ۱۴)، در مقادیر ناچیز همراه با پیریت ریزبلور و اسفالریت،

رگچه‌ها و شکستگی‌های تأخیری، به‌طور عمده سیلیسی و سولفیددار، قطع می‌شوند که دلیلی بر تشکیل آنها پیش از کوارتزهای مرحله تأخیری گرمایی است. فابریک‌های دگرشکلی، بویژه خاموشی موجی، در این نسل از کوارتز نیز به چشم می‌خورد که نسبت به کوارتز نسل اول گسترش کمتری دارد. این کوارتزها در شرایط تبلور دوباره دینامیکی، از طریق مهاجرت مرز دانه و چرخش خرددانه‌ها (subgrain) تشکیل می‌شوند (Kolb et al., 2003). کوارتزهای گرمایی تأخیری (کوارتز نسل سوم) همراه با سولفید با ابعاد بسیار ریزبلور (کمتر از ۲۰۰ میکرون، شکل ۱۲)، در مراحل نهایی فعالیت گرمایی تشکیل شده و در اطراف کوارتزهای قبل از دگرشکلی و کوارتزهای مرحله اول گرمایی (شکل ۱۱-الف) و داخل ریزشکستگی آنها قرار دارند. زمینه کانسنگ طلا دار، در هر دو نوع پهنه برشی کانسار زرتشت، از همین کوارتزهای ریزبلور خاکستری-آبی به‌همراه کرنات‌ها (به‌طور عمده کلسیت) و سولفیدها (پیریت، پیریت آرسنیک دار، گالن و اسفالریت) تشکیل شده است.

#### ۲-۷- کانی‌های سولفیدی

مجموعه کانی‌های سولفیدی شامل پیریت، پیریت آرسنیک دار، گاهی گالن، اسفالریت و به‌ندرت کلکوپیریت، کوولیت و دیژنیت است. این کانی‌ها به‌صورت دانه پراکنده و به‌ندرت برای یافته مشاهده می‌شوند.

#### - پیریت و پیریت آرسنیک دار

پیریت، فراوان‌ترین کانه سولفیدی موجود در پهنه‌های دگرسان شده و کانه‌دار زرتشت است و بیش از ۹۵ درصد سولفیدها را تشکیل می‌دهد. نتایج تجزیه مایکروپروب الکترونی پیریت منطقه زرتشت (جدول پیوست ۲) نشان داده است که برخی از بلورهای پیریت (بویژه پیریت ریزبلور) حاوی میزان زیادی آرسنیک (تا  $1.33\% \text{wt}$ ) هستند (جدول پیوست ۲-۴) که می‌توان به آنها عنوان پیریت آرسنیک دار اطلاق کرد. بر اساس مطالعه‌های انجام شده در مقیاس میکروسکوپ نوری و الکترونی و بر مبنای روابط بافتی، می‌توان پیریت موجود در واحدهای دگرسان‌شده را به دو نسل تفکیک کرد: الف- پیریت و پیریت آرسنیک دار نسل اول گرمایی که به‌صورت بلورهای درشت و خودشکل (شکل ۱۱-الف) و در ابعاد چند صد میکرون تا ۲ میلی‌متر، در هر دو تپ پهنه‌های برشی منطقه مشاهده می‌شوند. این نوع پیریت، در پهنه‌های هم‌روند با برگوارگی، به شکل دانه پراکنده در زمینه سنگ-رگه- رگچه‌ای و یا پیریت کشیده و تغییرشکل یافته در روند برگواره میلیونیتی حضور دارد. در پهنه‌های شکنا نیز پیریت نسل اول گرمایی، به‌صورت دانه پراکنده و یا در شکستگی‌ها متمرکز شده است. در این پهنه‌ها، پیریت درشت بلور نسل اول تحت تأثیر دگرشکلی، به دلیل ویژگی شکنندگی و سختی بالا (Evans, 1993)، اغلب خرد و شکسته شده و توسط سیمانی از کوارتز، کلسیت، آنکریت و سولفید ریزبلور نسل دوم گرمایی دربرگرفته

### ۷-۳-نقره

نقره، به صورت آلیاژ با طلا (الکتروم) در زمینه ای از کوارتز ریزبلور نسل سوم و همچنین در گیر در شبکه کانه های سولفیدی از جمله گالن، پیریت (هر دو نسل) و به طور فرعی اسفالریت حضور دارد. مقادیر نقره در الکتروم به حدی است که طیف EDS این کانی، طیف بسیار مشخص نقره را نمایان می سازد. میزان نقره درون الکتروم، در پهنه های تیب گذر از شکل پذیر به شکنا (هم روند با بر گوارگی) تا  $9/43\% \text{wt}$  (جدول پیوست ۲-۲) و این میزان در پهنه های تیب شکنا تا حدود  $20/5\% \text{wt}$  می رسد (جدول پیوست ۲-۵). این مطلب، با عیارهای به دست آمده در مطالعه های تجزیه شیمیایی کانسنگ ها، که نشانگر مقادیر بالاتر نقره در بخش پرعیار پهنه های برشی شکنا است، به طور کامل تطابق دارد. نقره، در تمامی فازهای سولفیدی، کم و بیش موجود است. بیشترین میزان آن مربوط به کانی گالن (هر دو تیب کانه زایی) و پس از آن اسفالریت (در دو تیب کانه زایی)، پیریت ریزبلور تیب شکنا، پیریت ریزبلور تیب هم روند با بر گوارگی و سپس پیریت درشت بلور تیب شکنا است. به طوری که کانی گالن تا  $0/15\% \text{wt}$  و اسفالریت آهن دار تا  $0/08\% \text{wt}$  نقره در شبکه خود دارند. میزان نقره در بلور پیریت ریزدانه تا  $0/07\% \text{wt}$  می رسد و پیریت درشت بلور به طور عمده فاقد نقره است و تنها در یک تجزیه از پیریت های درشت بلور تیب شکنا (جدول پیوست ۲-۷)، میزان بسیار پایینی از نقره به دست آمده است. در مطالعات کانه نگاری و تجزیه -میکروپروب الکترونی، نقره به صورت عنصر آزاد و خالص آشکار نشده است.

### ۷-۴-طلا

بر پایه مطالعات کانه نگاری، میکروسکوپ الکترونی و میکروپروب الکترونی، طلا در کانسار زرتشت به دو صورت قابل شناسایی است:  
الف- طلای آزاد در زمینه ای از کوارتز ریزبلور: طلای آزاد، با ابعاد کمتر از  $100$  میکرون به صورت دانه پراکنده و بی شکل، در زمینه ای از کوارتز ریزبلور خاکستری-آبی (کوارتز نسل سوم) مشاهده شده است (شکل ۱۵). بررسی طیف EDS ذرات طلا نشان داده که این ذرات ریز به طور عمده آلیاژی از عناصر طلا و نقره، به صورت الکتروم است. تجزیه نقطه ای این الکتروم نشان داد که مقادیر نقره بین  $8/5\% \text{wt}$  تا  $20/5\% \text{wt}$  و میزان طلا بین  $79\% \text{wt}$  تا  $91\% \text{wt}$  متغیر است (جدول های پیوست ۲-۲، ۲-۳ و ۲-۵). بیشترین عیار طلا، در ذرات الکتروم، مربوط به بخش پرعیار پهنه های تیب هم روند با بر گوارگی است. عناصری مانند  $\text{As}$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{Hg}$ ,  $\text{Sb}$ ,  $\text{Ta}$  در مقادیر ناچیز، در تجزیه این نمونه ها آشکار شده است. در این میان، آرسنیک و جیوه فراوان ترین عناصر موجود در الکتروم را تشکیل می دهند.  
ب- طلا در شبکه سولفیدها: تجزیه سولفیدها، به روش میکروپروب الکترونی،

در زمینه ای از کوارتز ریزبلور نسل سوم مشاهده می شود. حضور گالن ریزبلور، به صورت بی شکل، با توجه به درجه خودشکلی بالای این کانی، می تواند نشان دهنده تأخیری بودن و تشکیل آن به صورت پرکننده فضاهای خالی در زمینه سنگ باشد. در بسیاری از کانسارهای طلای تیب کوهزایی، گالن به صورت یک کانه سولفیدی فرعی در مجموعه پارائزنی همراه طلا گزارش شده است (Haeberlin et al., 2002). نتایج تجزیه بلورهای گالن به روش میکروپروب الکترونی، مقادیر ناچیزی از عناصر  $\text{Ag}$ ,  $\text{Sb}$ ,  $\text{Co}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{W}$  و  $\text{Hg}$ ,  $\text{Ta}$  و مقادیر بسیار پایینی از  $\text{Cu}$  را نشان داده است (جدول های پیوست ۲-۱ و ۲-۷). در میان این عناصر، نقره بیشترین تمرکز را در گالن دارد. میزان نقره در این کانی به  $0/15\% \text{wt}$  (جدول پیوست ۲-۷) نیز می رسد. بقیه عناصر نامبرده، میزان حضور بسیار پایین و در حد هزارم و صدم درصد دارند. در هیچ یک از تجزیه های نقطه ای کانی گالن، طلا آشکار نشده است.

### - اسفالریت

اسفالریت، در کانسار زرتشت، به طور کامل بی شکل، دانه ریز و با ابعاد کمتر از  $100$  میکرون به همراه دیگر سولفیدهای ریزبلور (گالن و پیریت)، در زمینه کوارتز ریزبلور نسل سوم قرار گرفته است (شکل ۱۴). این حالت بیانگر تشکیل همزمان این سولفیدها در مراحل پایانی فاز گرمایی طلا دار است. نکته قابل توجه در بررسی طیف EDS این نمونه ها، حضور طیف مشخصی از آهن است. در اسفالریت طبیعی، جانشینی بسیار شدیدی میان عناصر روی و آهن و جانشینی محدودی با کادمیم اتفاق می افتد (Klein & Hurlbut, 1985). گاه این جانشینی تا حدی پیش می رود که آهن به میزان  $50\% \text{mol}$  جایگزین روی می شود. تجزیه نقطه ای اسفالریت های کانسار زرتشت (جدول های پیوست ۲-۱ و ۲-۶) نشان داد که میزان آهن در این کانی بین  $7/3\% \text{wt}$  تا  $7/5\% \text{wt}$  متغیر است که گویای جانشینی به نسبت شدید آهن در شبکه بلوری اسفالریت هاست. نتایج تجزیه نقطه ای اسفالریت، بیانگر حضور مقادیر ناچیزی از عناصر  $\text{Ag}$ ,  $\text{As}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Ta}$  در شبکه بلوری این کانی است. نقره، فراوان ترین عنصر فرعی این کانی است.

### - کلکوپیریت

در نمونه های میکروسکوپی مطالعه شده، بویژه تیب هم روند با بر گوارگی منطقه، کلکوپیریت در مقادیر بسیار ناچیز و به ندرت همراه با کوارتز ریزبلور و دیگر فازهای سولفیدی دیده می شود. در بررسی های میکروسکوپی، این کانی با حجم ناچیز، به صورت بلورهای ریز و خودشکل با ابعاد کمتر از  $100$  میکرون، که از حاشیه به کولیت و دیژنیت دگرسان شده اند، دیده شده است.

### - کولیت و دیژنیت

کولیت و دیژنیت حاصل دگرسانی کانه های سولفیدی مس دار مانند کلکوپیریت بوده، در طول حاشیه ها و شکستگی های آنها جانشین شده اند.

دگرشکلی و دگرسانی تشکیل شده‌اند. به همین دلیل، جانیشینی و ته نشست طلا به‌عنوان بخشی از حادثه دگرسانی گرمایی (مرحله تأخیری گرمایی)، از نوع سیلیسی-سولفیدی محسوب شده است. لذا، بر اساس مطالعه‌های انجام شده در مقیاس صحرایی، نمونه دستی، میکروسکوپی و همچنین نتایج تجزیه میکروپروب الکترونی و میکروسکوب الکترونی، توالی پارازنتیک کانی‌ها و کانه‌های کانسار طلای زرتشت با توجه به ارتباط دگرشکلی، دگرسانی و کانه‌زایی در سه مرحله پیش از دگرشکلی (Pre-deformation)، گرمایی و هوازدگی رسم و در شکل ۱۶ ارائه شده است.

ارتباط نسبی میان کانه‌زایی طلا، دگرسانی و دگرشکلی برای کانسارهای طلای کوهزایی در کمربندهای دگرگونی، پذیرفته شده است (Colvine et al., 1988; Phillips & Myers, 1989; Barley & Wyman et al., 1999; Groves, 1992; Groves, 1993). با توجه به بررسی‌ها و شواهد صحرایی، مطالعه‌های میکروسکوپی و آزمایشگاهی، همچنین نتایج تجزیه نمونه‌ها، می‌توان میان تغییرات تمرکز طلا در بخش‌های مختلف پهنه‌های برشی منطقه، با شدت دگرشکلی و نوع و حجم دگرسانی ارتباط نزدیکی را تشخیص داد. در پهنه‌های تپ گذر از شکل‌پذیر به شکنا، بیشترین تمرکز طلا (تا ۷/۹۵ گرم در تن)، هم‌امتداد با برگوارگی میلیونی، در راستای برش صورت گرفته است. در پهنه‌های برشی شکنا نیز بیشترین تمرکز طلا (تا ۳۵/۷ گرم در تن)، در امتداد گسل کششی عادی با روند NW تا E-W رخ داده است. از سوی دیگر، افزایش مقادیر طلای کانسنگ، به‌طور مستقیم به درجه توسعه، اندازه و شدت تغییرشکل پهنه برشی وابسته است (Cox & Ruming, 2004). این مطلب از مطالعه نمونه‌های برداشت شده از نیمرخ عمود بر راستای پهنه برشی شکناى خاور تونل بزرگ (شکل ۳، شماره ۲) و پهنه برشی گذر از شکل‌پذیر به شکناى تونل انجیر (شکل ۳، شماره ۴) به‌خوبی مشخص می‌شود (شکل ۱۰ و جدول پیوست ۱). ارتباط میان تغییرات عیار طلا با شدت دگرشکلی و نوع دگرسانی در پهنه‌های برشی شکنا (شکل ۱۰-الف) و پهنه‌های برشی شکل‌پذیر-شکنا (شکل ۱۰-ب) به خوبی نشان داده شده است. این شواهد، بیانگر ارتباط فضایی و زمانی کانه‌زایی با دگرشکلی است.

دگرسانی شدید در پهنه‌های برشی، دلالت بر حرکت سیال‌ها، همزمان با رویداد دگرشکلی در این پهنه‌ها دارد (Worku, 1996). کانه‌زایی طلا نیز نتیجه مستقیم دگرسانی گرمایی شدید، درون شکستگی‌های زمین‌ساختی اصلی است (Kishida et al., 1991). همچنین، نوع دگرسانی و کانه‌زایی همراه آن، خود توسط دگرشکلی و ویژگی‌های سیال، در طی فرایندهای کوهزایی، کنترل می‌شود (Wyman & Kerrich, 1988; Barley & Wyman, 1990; et al., 1989). این ارتباط که برای

نشان داده است که طلا، علاوه بر پیدایش به شکل طلای آزاد و آلیاژ طلا-نقره (الکتروم)، به‌صورت میان‌بار در شبکه بلوری پیریت‌ها نیز وجود دارد (جدول‌های پیوست ۲-۴ و ۲-۶). لذا، پیریت ریزبلور (نسل دوم گرمایی)، حمل‌کننده اصلی طلا در کانسار زرتشت است. بخش عمده‌ای از طلای موجود در کانسار زرتشت به‌صورت ذرات ریز در مجاورت پیریت‌های اکسیده و خردشده قرار گرفته‌اند که می‌تواند بیانگر آزاد شدن آنها از شبکه بلوری پیریت‌ها در طی فرایندهای سوپرژن باشد. همراهی پیریت (و پیریت اکسیده) با طلای آزاد، در اغلب موارد، همچنین حضور پیریت ریزبلور به‌صورت میان‌بار درون ذرات طلا، که به وسیله میکروسکوب الکترونی و طیف‌سنجی EDS تشخیص داده شده (شکل ۱۵-ج) و حضور ذرات ریز طلا به‌صورت میان‌بار در شبکه پیریت ریزبلور (شکل ۱۵-ب)، همگی نشان دهنده تشکیل طلا همزمان با پیریت ریزبلور است.

در نمونه‌های زرتشت، طلا بیشتر در شبکه بلوری پیریت آرسنیک‌دار ریزبلور تشکیل شده است. بیشترین میزان طلا (تا ۰/۰۸ wt%) در شبکه بلوری این پیریت‌ها مشخص شده است (جدول پیوست ۲-۴). مقادیر طلا، هم‌روند با افزایش میزان آرسنیک در شبکه پیریت‌ها افزایش می‌یابد. از سوی دیگر، میزان طلای موجود در واحدهای پرعیار، رابطه مستقیمی با میزان فراوانی سولفیدهای ریزبلور دارد. به‌طوری‌که، عیار طلا در نمونه‌های غنی از پیریت ریزبلور پهنه‌های شکنا، برابر با ۱۷/۲ گرم در تن و نمونه‌های غنی از پیریت ریزبلور پهنه‌های گذر از شکل‌پذیر به شکنا، برابر با ۷/۹۵ گرم در تن به‌دست آمده است. میزان عیار طلا، در نمونه‌هایی که حاوی حجم بیشتری از پیریت درشت بلور بوده و درصد پیریت ریزبلور در آنها ناچیز است، حداکثر به ۱ گرم در تن می‌رسد.

## ۸- نتیجه‌گیری

کانه‌زایی در کانسار زرتشت در طی دو مرحله گرمایی صورت گرفته است: مرحله نخست: این مرحله از کانه‌زایی شامل کوارتز متوسط بلور و پیریت (± آرسنیک، نقره) درشت بلور است. در این مرحله، سولفیدزایی نسل اول بدون حضور ملموس طلا روی داده است؛ البته نقره و دیگر عناصر همراه طلا، در مقادیر پایین، در شبکه سولفیدها حضور دارند (جدول‌های پیوست ۲-۱ و ۲-۷). مرحله دوم: این مرحله، با دگرسانی سولفیدی گسترده (نسل دوم گرمایی) و دگرسانی سیلیسی (کوارتز نسل سوم) مشخص می‌شود. کانه‌زایی شامل طلای آزاد و الکتروم (طلا و نقره)، کوارتز، پیریت (± طلا و آرسنیک)، گالن (± نقره)، اسفالریت (± نقره) و کلکوپیریت است. کوارتز در این مرحله ریزبلور و سولفیدها بسیار ریزبلور هستند. این مرحله، فاز اصلی کانه‌زایی طلا در کانسار زرتشت بوده و طی آن واحدهای پرعیار در بخش داخلی پهنه‌های



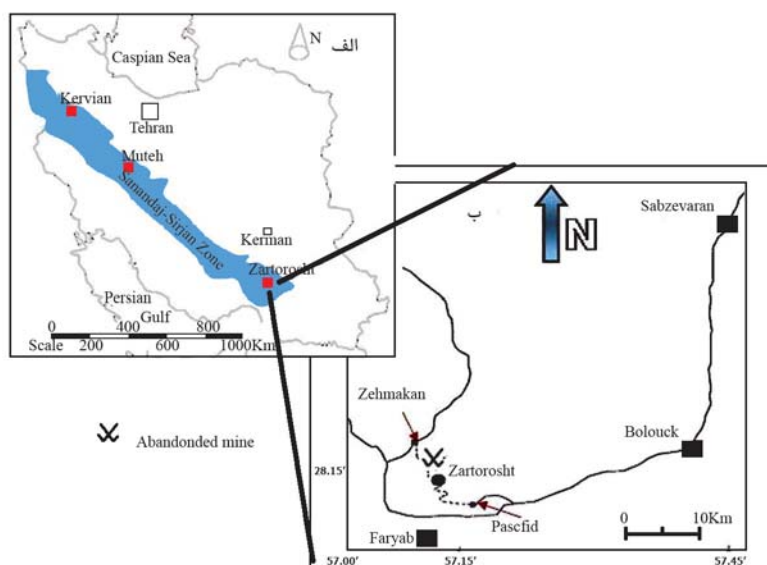
طلای کوهزایی (Groves et al.,1998, 2003;Kerrich et al.,2000) بیانگر بیشترین شباهت کانسار زرتشت با کانسارهای این تیپ است.

### سپاسگزاری

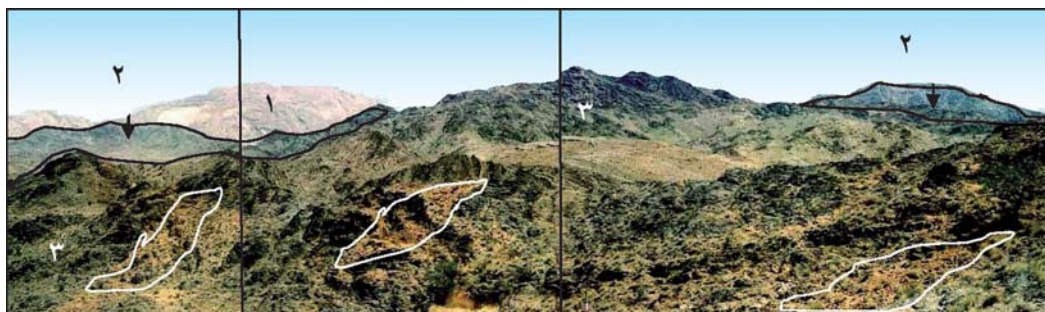
بدین وسیله بر خود لازم می‌دانیم تا از حوزه معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس که ما را در انجام این تحقیق یاری رساندند، همچنین مسئولان و کارکنان محترم شرکت توسعه علوم زمین که در فراهم آوردن امکانات تجزیه آزمایشگاهی یاری رسانمان بوده‌اند و مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران که امکان تجزیه طلا و سولفیدها را به روش میکروپروب الکترونی فراهم نموده‌اند، تشکر و قدردانی نماییم.

بیشتر کانسارهای طلای کوهزایی گزارش شده (Groves et al.,1995; Kerrich, 1999)، با عیارهای بالای طلا، در بخش‌های سیلیسی و سولفیدی پهنه‌های برشی منطقه زرتشت، مطابقت دارد (شکل ۱۰).

ویژگی اصلی بخش اولترااکاتا کلاسیتی پهنه‌های طلا دار زرتشت، فراوانی مجموعه‌های سولفیدی بسیار ریزبلور (در حد چند میکرون) است که توسط کوارتزهای ریزبلور دربرگرفته شده‌اند. نتایج تجزیه این سولفیدها به روش میکروپروب الکترونی، وجود مقادیر بالایی از طلا در این نمونه‌ها را به اثبات رسانده است (جدول پیوست ۲-۴ و ۲-۶). این واقعیت، ارتباط آشکار میان کانه زایی طلا را با شدت دگرشکلی و نوع و شدت دگرسانی به خوبی نشان می‌دهد. مقایسه ویژگی‌های ساختاری، نوع سنگ میزبان، دگرسانی‌ها، پاراژنز و مشخصات کانه‌سازی کانسار زرتشت با کانسارهای

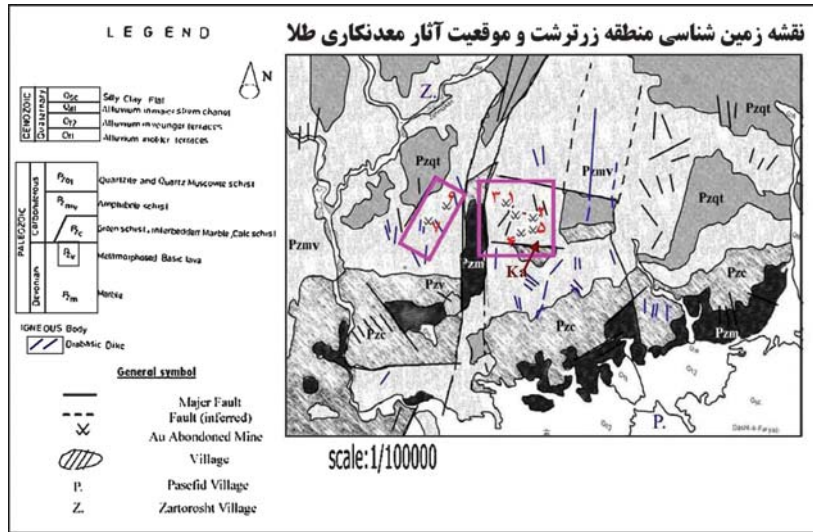


شکل ۱- الف) موقعیت کانسارهای طلای زرتشت، موته و کرویان در پهنه سنندج- سیرجان. ب) موقعیت جغرافیایی محدوده معدنی زرتشت بین دو روستای پاسفید و زهمکان در جنوب باختر سبزواران



شکل ۲- نمای عمومی از رخنمون واحدهای سنگی منطقه معدنی زرتشت: ۱- مرمر و شیست (بخش سفید- خاکستری عقب تصویر)، ۲- توالی واحدهای رسوبی- آتشفشانی دگرگونی (بخش خاکستری- سبز روشن در میانه تصویر)، ۳- واحدهای آتشفشانی مافیک دگرگونی، به‌طور عمده آمفیبول شیست (تیره رنگ و دارای ریخت‌شناسی سخت، بخش عمده تصویر). محدوده‌های مشخص شده (درون خطوط سفیدرنگ)، پهنه‌های دگرسانی- کانه زایی می‌باشند که در واحد آتشفشانی دگرگونی (شماره ۳) قرار دارند (دید به سمت باختر).





شکل ۳- نقشه زمین شناسی زرتروست بر مبنای نقشه ساختاری منطقه (شفیعی، ۱۳۸۴، در دست تهیه). موقعیت دو محدوده طلا دار زرتروست (محدوده مربع) و دودران (محدوده مستطیل) و آثار معدنکاری قدیمی، در مرکز نقشه، مشخص است. موقعیت آثار معدنکاری طلا دار منطقه عبارتند از: ۱- پهنه برشی شکناى تونل بزرگ ۲- پهنه برشی شکناى خاور تونل بزرگ ۳- پهنه برشی شکناى کسیدون ۴- پهنه هم‌روند با بر گوار گى تونل انجیر ۵- پهنه های هم‌روند با بر گوار گى موسوم به خاور بن نخود (دو افق هم‌روند) ۶- پهنه برشی شکناى دهنه خرسی ۷- پهنه برشی شکناى دهنه دودران. پهنه دگرسانی طلا دار کلکاشک (Ka) در جنوب این محدوده ها مشخص شده است.

### جدول پیوست ۱

توضیح: نتایج تجزیه شیمیایی طلای نمونه های سنگی برداشت شده از نیمرخ عمود بر راستای پهنه برشی شکناى خاور تونل بزرگ (ردیف ۱ تا ۱۷) و پهنه برشی گذر از شکل پذیر به شکناى تونل انجیر (ردیف ۱۸ تا ۳۲) و ویژگی های آنها. لازم به ذکر است که چگونگی تغییرات عیار طلا (ارائه شده در جدول پیوست) و ارتباط آن با دگرشکلی و دگرسانی، در شکل ۱۰ ارائه شده است.

ردیف	شماره نمونه	موقعیت و مشخصات نمونه	پهنای نمونه برداری (m)	طلا (ppm)
۱	Z-222	پهنه خاور تونل بزرگ- کمر یا بین با دگرسانی کلریتی، ایدئوتی، کربناتی متوسط، سربیتی متوسط (برگواره اولیه)	۵	۰/۱۲
۲	Z-223	پهنه خاور تونل بزرگ- زون کلریتی، سربیتی، کربناتی و سیلیسی ضعیف (برگواره اولیه)	۰/۴	۰/۱۱
۳	Z-224	پهنه خاور تونل بزرگ- زون سربیتی- کربناتی شدید، آرزلی متوسط، سیلیسی- سولفیدی ضعیف (پروتو کالکلاست با آثاری از برگواره اولیه)	۱	۰/۱۸
۴	Z-221	پهنه خاور تونل بزرگ- زون کربناتی- سربیتی شدید، آرزلی متوسط، سیلیسی- سولفیدی ضعیف (پروتو کالکلاست)	۰/۴	۰/۲
۵	Z-226	پهنه خاور تونل بزرگ- زون سربیتی، آرزلی شدید، سیلیسی- کربناتی متوسط، سولفیدی ضعیف (پروتو کالکلاست)	۱	۰/۳
۶	Z-227	پهنه خاور تونل بزرگ- زون سیلیسی- سولفیدی متوسط، آرزلی شدید (پروتو کالکلاست)	۰/۵	۰/۲۱
۷	Z-228	پهنه خاور تونل بزرگ- زون سیلیسی- سولفیدی شدید، کربناتی متوسط، آرزلی ضعیف (کالکلاست)	۰/۳	۳/۸۸
۸	Z-124	پهنه خاور تونل بزرگ- زون سیلیسی- سولفیدی شدید، کربناتی متوسط (کالکلاست)	۴	۲/۷
۹	Z-229	پهنه خاور تونل بزرگ- زون سیلیسی- سولفیدی شدید، کربناتی سربیتی (کالکلاست)	۰/۵	۲/۲۸
۱۰	Z-230	پهنه خاور تونل بزرگ- زون کربناتی شدید، آرزلی متوسط، سیلیسی- سولفیدی ضعیف (پروتو کالکلاست)	۰/۷	۰/۴۸
۱۱	Z-231	پهنه خاور تونل بزرگ- زون سیلیسی- سولفیدی- کربناتی- سربیتی متوسط (پروتو کالکلاست تا کالکلاست)	۵	۱/۹۴
۱۲	Z-125	پهنه خاور تونل بزرگ- زون سیلیسی- سولفیدی بسیار شدید، کربناتی ضعیف (کالکلاست)	۴	۵/۷
۱۳	Z-232	پهنه خاور تونل بزرگ- زون سیلیسی- سولفیدی متوسط، کربناتی شدید (پروتو کالکلاست)	۱/۵	۰/۴۴
۱۴	Z-126	پهنه خاور تونل بزرگ- زون گسلی سیلیسی- سولفیدی شدید، کربناتی متوسط (کالکلاست)	۱	۲/۲
۱۵	Z-114	پهنه خاور تونل بزرگ- زون گسلی به شدت سیلیسی- سولفیدی (اولتر اکالکلاست تا کالکلاست)	۱	۱۳/۷
۱۶	Z-123	پهنه خاور تونل بزرگ (دره)- زون سیلیسی- سولفیدی بسیار شدید، کربناتی سربیتی متوسط (کالکلاست)	۴	۵/۱۶
۱۷	Z-111	پهنه خاور تونل بزرگ- کمر بالا یا با دگرسانی کلریتی، ایدئوتی، سربیتی، کربناتی، سیلیسی ضعیف (پروتو کالکلاست)	۵	۰/۰۴
۱۸	Z-175	پهنه تونل انجیر (تپ همروند)- کمر بالا یا با دگرسانی کلریتی، ایدئوتی، سربیتی ضعیف (برگواره اولیه)	۵	۰/۰۲
۱۹	Z-214	پهنه تونل انجیر- زون کربناتی- سربیتی، سیلیسی- سولفیدی ضعیف (پروتو کالکلاست)	۲	۰/۱۲
۲۰	Z-113	پهنه تونل انجیر- زون کربناتی- سربیتی شدید، سیلیسی- سولفیدی متوسط (پروتو کالکلاست تا میولیت)	۳	۰/۱۵
۲۱	Z-213	پهنه تونل انجیر- زون سیلیسی- سولفیدی متوسط، کربناتی شدید، سربیتی متوسط (میولیت)	۰/۵	۰/۱۴
۲۲	Z-201	پهنه تونل انجیر- زون سیلیسی- سولفیدی شدید، کربناتی متوسط (کالکلاست)	۰/۵	۴/۲۱
۲۳	Z-133	پهنه تونل انجیر- زون سیلیسی- سولفیدی شدید، کربناتی ضعیف (کالکلاست)	۰/۷	۴/۸
۲۴	Z-211	پهنه تونل انجیر- زون کربناتی شدید، سیلیسی- سولفیدی متوسط (کالکلاست تا پروتو کالکلاست)	۰/۴	۰/۵
۲۵	Z-210	پهنه تونل انجیر- زون سیلیسی- سولفیدی- کربناتی متوسط، آرزلی شدید، سربیتی ضعیف (کالکلاست)	۰/۳	۰/۹۶
۲۶	Z-209	پهنه تونل انجیر- زون سیلیسی- کربناتی متوسط، سولفیدی ضعیف، آرزلی شدید (پروتو کالکلاست تا کالکلاست)	۰/۴	۰/۷۸
۲۷	Z-208	پهنه تونل انجیر- زون سیلیسی- سولفیدی شدید، آرزلی متوسط (کالکلاست)	۰/۴	۱/۳۶
۲۸	Z-206	پهنه تونل انجیر- زون آرزلی، سربیتی، سیلیسی- سولفیدی ضعیف (میولیت)	۰/۴	۰/۴
۲۹	Z-205	پهنه تونل انجیر- زون آرزلی شدید، سیلیسی- کربناتی متوسط، سولفیدی ضعیف (میولیت تا پروتو کالکلاست)	۰/۲	۰/۴۸
۳۰	Z-204	پهنه تونل انجیر- زون سیلیسی- سولفیدی شدید، کربناتی- سربیتی متوسط، سولفیدی ضعیف (پروتو کالکلاست)	۰/۱۵	۰/۱
۳۱	Z-202	پهنه تونل انجیر- زون سیلیسی- سولفیدی شدید، سربیتی- کلریتی متوسط (کالکلاست)	۱	۴/۲
۳۲	Z-203	پهنه تونل انجیر- کمر یا بین با دگرسانی کربناتی، سربیتی، کلریتی، آرزلی (پروتو کالکلاست)	۰/۲	۰/۱۶

جدول های پیوست ۲- نتایج تجزیه شیمیایی برخی نمونه های طلا و سولفید به روش میکروپروب الکترونی. (نمونه Zt-102 از بخش پرعیار به شدت سیلیسی-سولفیدی در پهنه شکل پذیر-شکناى کلکاشک و نمونه های Zt-108 و Zt-130 از پهنه سیلیسی-سولفیدی پرعیار پهنه برشی شکناى کسیدون انتخاب شده است).

Column Conditions : 20keV 20nA

DataSet/Point	S	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Ag	Sb	W	Au	Hg	Pb	Ta	Total	X	Y	Z
1 / 1 .	13.67616	0.10996	0.0038	0	0	0.00759	0	0	0.02612	0.02178	0	0.10911	86.3797	0	100.3342	-7392	-33863	572
2 / 1 .	13.58001	0.12657	0	0	0	0.03668	0	0.00529	0.05599	0	0	0	84.59906	0.02439	98.42799	-7396	-33869	572
3 / 1 .	53.67066	46.95672	0	0	0.01492	0	0.15495	0	0	0	0	0	0	0	100.7973	-5911	-32265	567
4 / 1 .	33.77368	7.35904	0	0	0.04929	56.03576	0.00078	0.03802	0	0	0	0	0	0.11293	99.36949	-5001	-33150	567

۱-۲- نمونه Zt-102: نمونه سولفیدی پرعیار (۶/۶۵ ppm) از پهنه برشی تیب شکل پذیر-شکنا: ۱- گالن ۲- گالن ۳- مرکز پیریت درشت بلور ۴- اسفالریت آهن دار

Signal(s) Used: As Ka, Ag La, Au Ma, Hg La

Column Conditions : 15keV 12nA

Beam Size : 0 μm

DataSet/Point	As	Ag	Au	Hg	Total	X	Y	Z
1 / 1 .	0.4401	8.51918	92.1882	0	100.9475	-9543	-35053	573
2 / 1 .	0	8.96649	89.35628	0.64088	98.96365	-9394	-35534	573
3 / 1 .	0.26573	8.3809	89.87985	0.73544	99.26192	-9169	-34806	573

Signal(s) Used: As Ka, Ag La, Au Ma, Hg La

Column Conditions : 15keV 15nA

Beam Size : 0 μm

DataSet/Point	As	Ag	Au	Hg	Total	X	Y	Z
1 / 1 .	0	9.42604	92.24203	0	101.6681	-9380	-34882	573

۳-۲- نمونه Zt-102: ۱ و ۲ و ۳- ذرات طلای آزاد به ابعاد ۶۵ میکرون

۲-۲- نمونه Zt-102: ذره طلای آزاد به ابعاد ۹۰ میکرون

(شماره ۱)، ۳۰ میکرون (شماره ۲) و ۵۵ میکرون.

Signal(s) Used: S Ka, Fe Ka, Cu Ka, Zn Ka, As La, Ag La, Sb La, Au Ma, Hg Ma, Pb Ma

Column Conditions : 30keV 20nA

Beam Size : 2 μm

DataSet/Point	S	Fe	Cu	Zn	As	Ag	Sb	Au	Hg	Pb	Total	X	Y	Z
1 / 1 .	52.72912	46.73904	0	0.01163	1.32872	0	0	0.08214	0	0	100.8085	-9380	-28744	555

۴-۲- نمونه Zt-108: نمونه سولفیدی پرعیار (۱۷/۲ ppm) از پهنه برشی شکناى کسیدون: ۱- پیریت ریزبلور

Signal(s) Used: As Ka, Ag La, Au Ma, Hg La

Column Conditions : 15keV 12nA

Beam Size : 0 μm

DataSet/Point	As	Ag	Au	Hg	Total	X	Y	Z
1 / 1 .	0	16.58824	82.80432	0	99.39256	12235	34366	403
2 / 1 .	0	20.49393	79.32932	0	99.82325	12222	34373	403

۵-۲- نمونه Zt-130: نمونه سولفیدی پرعیار (۱۶/۱ ppm) از پهنه شکناى کسیدون: دو ذره ریز الکتروم طلا-نقره

Signal(s) Used: S Ka, Fe Ka, Cu Ka, Zn Ka, As La, Ag La, Sb La, Au La, Hg La, Pb Ma

Column Conditions : 20keV 30nA

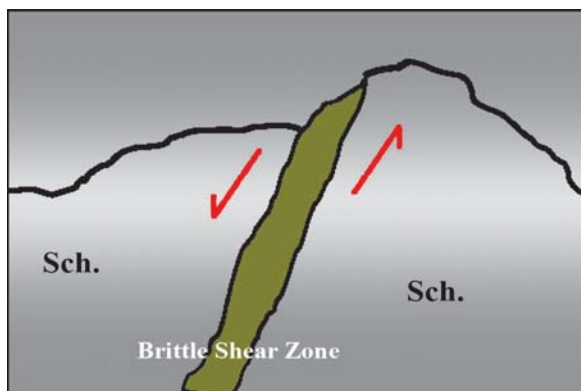
Beam Size : 0 μm

DataSet/Point	S	Fe	Cu	Zn	As	Ag	Sb	Au	Hg	Pb	Total	X	Y	Z
1 / 1 .	52.64799	46.75481	0.02852	0.0649	1.02264	0.02267	0	0.06126	0.11492	0	100.71772	-9401	-28735	550
2 / 1 .	53.48706	46.43673	0	0.02635	0.44763	0	0	0.06646	0	0	99.46423	2225	-38854	559
3 / 1 .	32.17932	7.52005	0.22028	57.9337	0.03041	0	0	0	0	0	98.88377	1386	-38654	559

۶-۲- نمونه Zt-108: شماره های ۱ و ۲- پیریت ریز دانه، ۳- اسفالریت آهن دار

DataSet/Point	S	Fe	Cu	Zn	As	Ag	Sb	Au	Hg	Pb	Total	X	Y	Z
1 / 1 .	13.62082	0.04827	0.01433	0.03268	0	0.14458	0.04371	0	0	86.04541	99.9498	2026	21491	279
2 / 1 .	52.88457	46.18946	0	0.00213	0.26051	0.00888	0	0	0	0	99.34556	-9590	30818	206

۷-۲- نمونه Zt-108: ۱- گالن ۲- پیریت درشت بلور

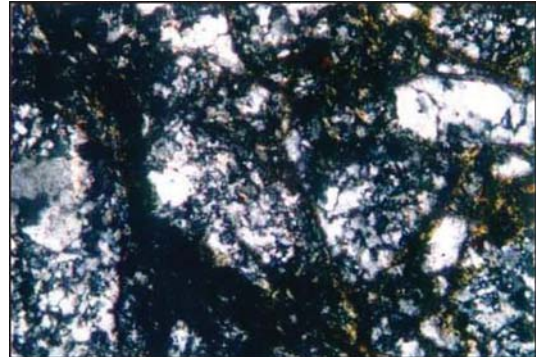
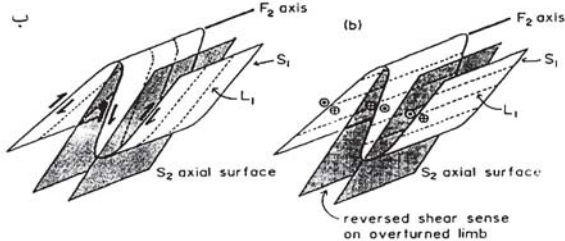


ب



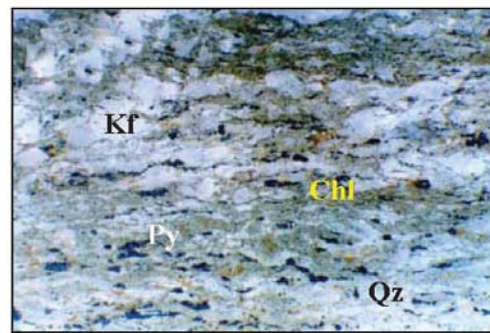
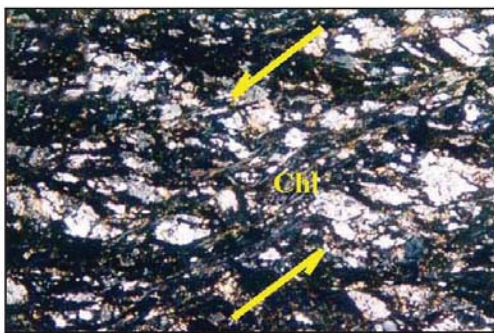
الف

شکل ۴- الف) گسل عادی در پهنه طلا دار تیب شکنا در تونل بزرگ (دید به سمت باختر). شکل ب، حرکت بلوک های سنگی را (در شکل الف) که گویای یک گسل عادی است، نشان می دهد. (Sch: شیست های سبز آتشفشانی)

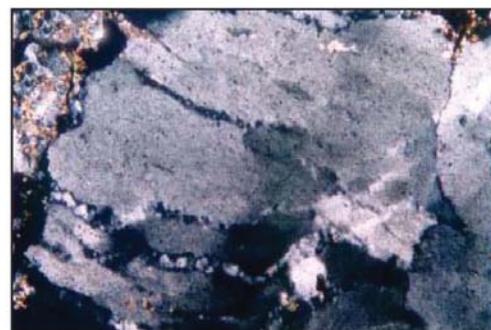
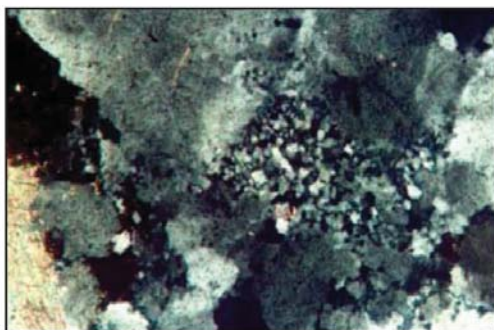


شکل ۶- الف) نمای عمومی از چین های خوابیده بزرگ مقیاس (دید به سمت جنوب). ب) نحوه شکل گیری پهنه های برشی با عملکرد راندگی در یال های چین خوابیده و به موازات سطح محوری چین (Goscombe & Trouw, 1999).

شکل ۵- اولتراکاتا کلاسیک. خرد شدگی شدید کوارتزهای اولیه در پهنه های برشی شکنا که توسط رگچه های تزریقی حاوی سیلیس، سریسیت، کربنات های آهن (آنکریت) و سولفید مورد هجوم قرار گرفته اند. بقایای پورفیرو کلاست کوارتز در این تصویر مشاهده می شود. بزرگنمایی، 10/0.25x

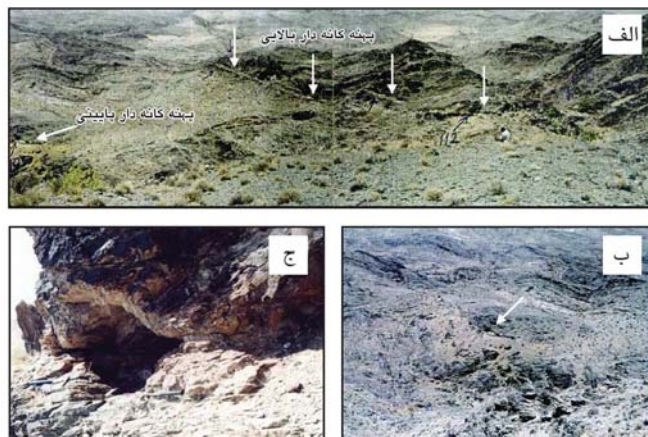


شکل ۷- الف) فابریک ضعیف میلونیتی در پهنه های برشی هم روند با برگوارگی (تصویر میکروسکوپی، ۶ برابر اندازه طبیعی). ب) برگواره میلونیتی. پورفیرو کلاست های پلاژیو کلاز سریستی شده، ساختار سیگموییدی نشان می دهند. کلریت های آبی به موازات صفحات C، کشیدگی یافته و رشد کرده اند. نور پلاریزه متقاطع، (فلدسپار: Kf، پیریت: Py، کوارتز: Qz، کلریت: Chl). 6.3/0.0.20x.

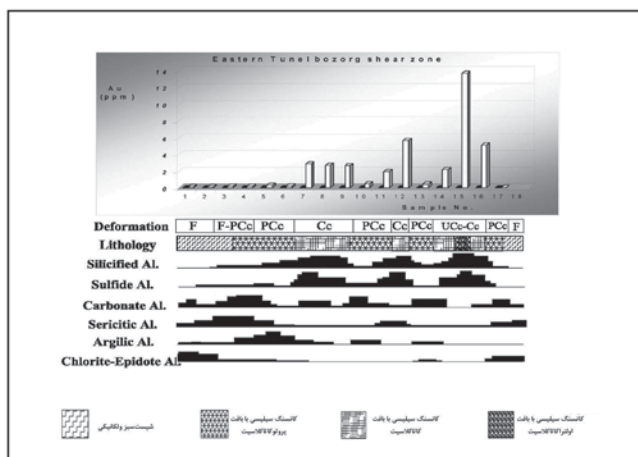
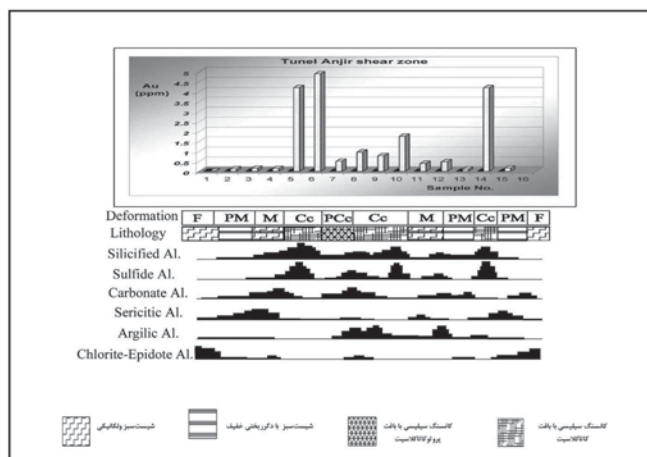


شکل ۸- الف) خاموشی موجی و توسعه دیواره های ریزدانه در پورفیرو کلاست کوارتز. نور پلاریزه متقاطع، 10/0.25x. ب) پورفیرو کلاست اولیه کوارتز به رنگ خاکستری تیره که از حاشیه و مرکز به کوارتزهای ریزدانه تبدیل شده است. این ساختارها، در پهنه های برشی گذر از شکل پذیر به شکنا مشاهده می شوند. نور پلاریزه متقاطع، 10/0.25x



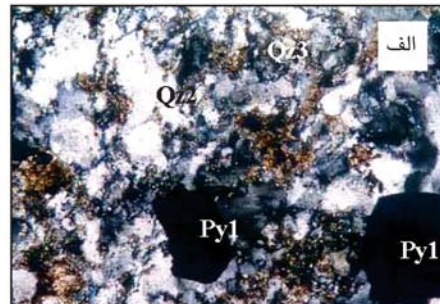
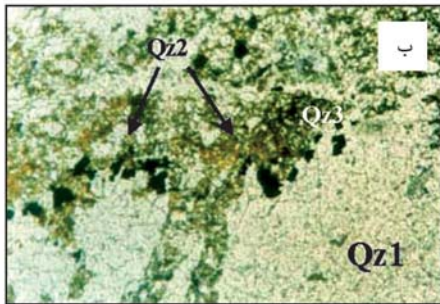


شکل ۹- پهنه های برشی هم‌روند با بر گوارگی. الف) دو افق کاننه‌زایی شده که به موازات یکدیگر و با مشخصات ۲۰/۱۹۰ قرار گرفته اند. ب) افق پایینی با پهنه دگرسانی زرد رنگ و ریخت‌شناسی نرم قابل تشخیص است. فلش‌های سفید، محل پهنه‌های کاننه‌دار و معدنکاری قدیمی آنها را نشان می‌دهد. ج) یکی از کنده‌کاری‌های قدیمی از نمای نزدیک تر (به هم‌روندی کنده کاری معدنکاری قدیمی با بر گوارگی توجه شود).



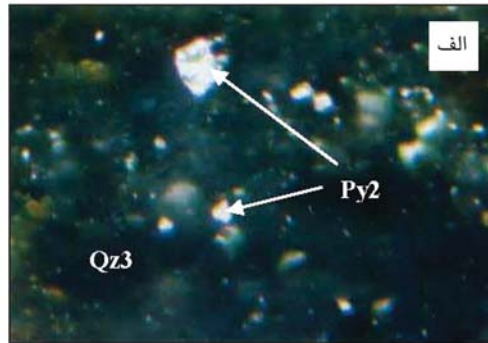
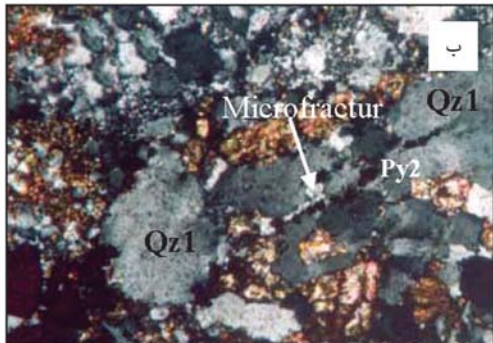
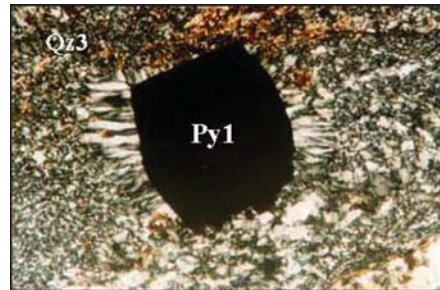
شکل ۱۰- الف) نمایی از ارتباط میان تغییرات عیار طلا با شدت دگرشکلی، نوع و حجم دگرسانی و سنگ‌شناسی سنگ درونگیر، بر اساس نمونه‌های برداشت‌شده از نیمرخ عمود بر راستای پهنه برشی شکناى خاور تونل بزرگ. پهنای نمونه برداری ۳۷ متر و نمونه‌برداری (شماره‌های ۱ تا ۱۷) به ترتیب از کمر پایین تا کمر بالای پهنه صورت گرفته است. شماره‌های ۱ تا ۶ در نمودار بالا (ردیف ۱ تا ۶، جدول پیوست ۱)، از سنگ درونگیر (کمر پایین پهنه) تا واحدهای کمی دگرسان و دارای شدت دگرشکلی پایین می‌باشند که عیارهای طلای پایینی را نشان می‌دهند. بیشترین عیارهای طلا (شماره‌های ۷ تا ۱۶ نمودار فوق، ردیف ۷ تا ۱۶ در جدول پیوست ۱) به‌طور کامل بر بخش‌های به‌شدت دگرشکل شده (اولتراکاتاکلاسیست تا کاتاکلاسیست) و دگرسانی سیلیسی-سولفیدی منطبق است. شماره ۱۷ (ردیف ۱۷، جدول پیوست ۱)، سنگ دگرسان نشده کمر بالای پهنه طلا دار است (F: بر گوارگی اولیه، PCc: پروتو کاتاکلاسیست، Cc: کاتاکلاسیست، UCc: اولتراکاتاکلاسیست).

شکل ۱۰- ب) نمایی از ارتباط میان تغییرات عیار طلا با شدت دگرشکلی، نوع و حجم دگرسانی و سنگ‌شناسی سنگ درونگیر، بر اساس نمونه‌های برداشت‌شده از یک نیمرخ عمود بر راستای پهنه برشی گذر از شکل پذیر به شکناى تونل انجیر. پهنای نمونه‌برداری ۱۵ متر و نمونه‌برداری (شماره‌های ۱ تا ۱۵)، به ترتیب از کمر بالا تا کمر پایین پهنه صورت گرفته است. شماره‌های ۱ تا ۴ در نمودار بالا (ردیف ۱ تا ۴، جدول پیوست ۱)، از سنگ درونگیر (کمر بالای پهنه) تا بخش‌های کمی دگرسان و دارای شدت دگرشکلی پایین است که عیارهای طلای پایینی را نشان می‌دهند. بیشترین عیارهای طلا (شماره‌های ۵ تا ۱۰ نمودار فوق، ردیف ۲۲ تا ۲۷ در جدول پیوست ۱)، بر بخش‌های دگرشکل دارای دگرشکلی شکنا (کاتاکلاسیست) و دگرسانی سیلیسی-سولفیدی شدید منطبق است. شماره‌های ۱۱ تا ۱۳ (ردیف‌های ۲۸ تا ۳۰ جدول پیوست ۱) دارای دگرشکلی خفیف شکل پذیر و عیارهای پایین طلا می‌باشد. شماره ۱۵ در نمودار فوق (ردیف ۳۲، جدول پیوست ۱) سنگ دگرسان نشده کمر پایین پهنه طلا دار می‌باشد (F: بر گوارگی اولیه، PM: پروتومیلونیت، M: میلونیت، PCc: پروتو کاتاکلاسیست، Cc: کاتاکلاسیست).

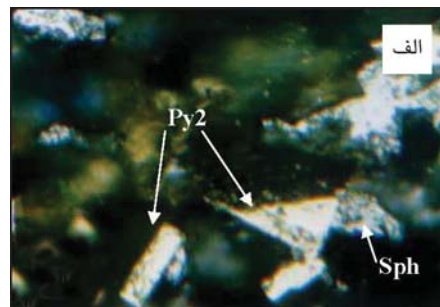
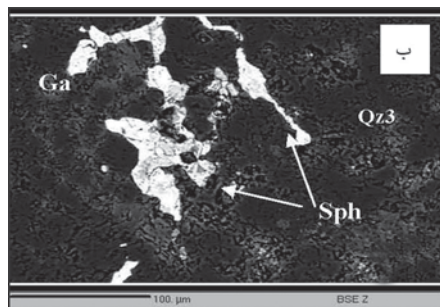


شکل ۱۱- ارتباط بافتی میان پیریت مرحله اول گرمایی و کوارتز دربرگیرنده آنها. الف) پیریت خودشکل مرحله اول گرمایی (Py<sub>1</sub>) به صورت دانه پراکنده، در زمینه ای از کوارتز متوسط بلور و شفاف (Qz<sub>2</sub>) و کوارتز ریزبلور (Qz<sub>3</sub>)، نور پلاریزه متقاطع، 6.3/0.20x. ب) تشکیل پیریت مرحله اول گرمایی در مرز کوارتز قبل از دگرشکلی (Qz<sub>1</sub>) و کوارتز نسل دوم (Qz<sub>2</sub>). نور پلاریزه ساده، 2.5/0.08x.

شکل ۱۲- کوارتز رشته‌ای، به صورت فابریک Strain fringes در پیرامون یک پیریت نسل اول و در جهت بیشترین کشش تشکیل شده است. کوارتز مرحله تأخیری گرمایی با ابعاد بسیار ریزبلور در زمینه سنگ دیده می‌شود. (نور پلاریزه متقاطع، 6.3/0.20x)

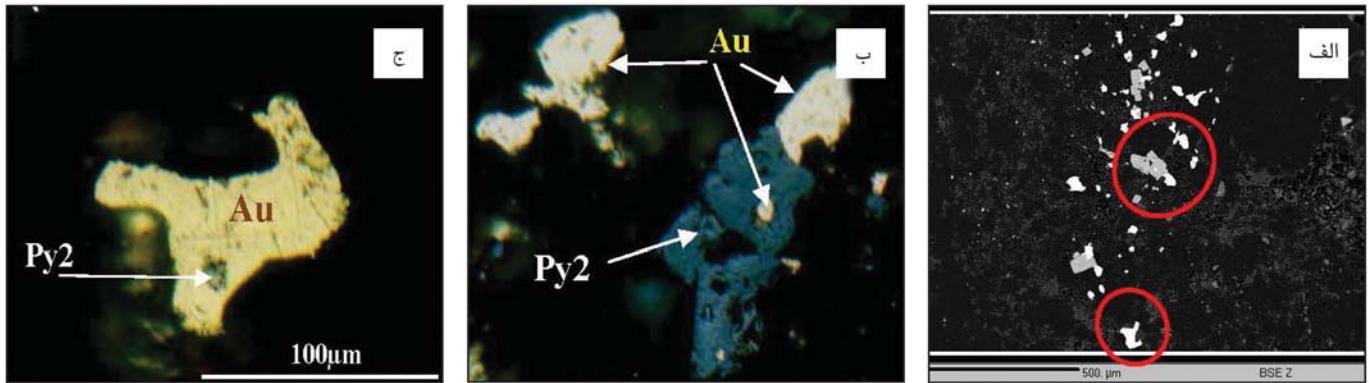


شکل ۱۳- الف) پیریت ریزبلور (Py<sub>2</sub>) با بافت دانه پراکنده در زمینه کوارتز ریزبلور نسل سوم (Qz<sub>3</sub>)، نور بازتابی بدون تجزیه کننده (آنالیزور)، 20x/0.40 Oil؛ ب) ریزشکستگی های ایجاد شده در پورفیروکلاست کوارتز (Qz<sub>1</sub>) که توسط پیریت ریز بلور و خودشکل (Py<sub>2</sub>) پر شده‌اند، نور پلاریزه متقاطع، 10/0.25x.



شکل ۱۴- مجموعه بلورهای ریز و بی شکل اسفالریت (Sph)، به همراه پیریت ریزبلور و نیمه شکل دار و گالن نیمه شکل دار. این بافت، بیانگر تشکیل همزمان این مجموعه سولفیدی ریزبلور است. الف) نور بازتابی، 20x/0.40 Oil، ب) تصویر BSE از اسفالریت و گالن در زمینه کوارتز.





شکل ۱۵- الف) تصویر BSE از مجموعه ذرات طلا (ذرات ریز فراوان به رنگ سفید) در مجاورت با پیریت اکسیده (به رنگ خاکستری). محدوده‌های گرد سرخ رنگ، موقعیت تصاویر ب و ج را نشان می‌دهد. ب) مجموعه ذرات طلا به همراه پیریت ریزبلوری که به طور کامل اکسیده شده‌اند. ذرات ریز طلا به صورت میانبار در شبکه پیریت قابل تشخیص‌اند، نور بازتابی بدون تجزیه کننده، 20x/0.40 Oil. ج) طلای آزاد به ابعاد ۹۰ میکرون و پیریت ریزبلور به صورت میانبار در آن.

Minerals		Pre-deformation	Hydrothermal		Weathering
			Stage I	Stage II	
Pyrite	Type I		—————		
	Type II			—————	
Galena				—————	
Sphalerite				—————	
Chalcopyrite				-----	
Covellite					-----
Digenite					-----
Gold			.....	—————	
Silver			-----	-----	
Fe-Oxides					—————
Malachite & Azurite					-----
Quartz	Type I	—————			
	Type II		—————		
	Type III			—————	
Feldspar		—————			
Carbonate		—————			-----
Phyllosilicates		—————	-----		—————
Epidote		—————	-----	—————	
Clay Minerals					—————
Textures	Disseminated	.....	—————	—————	
	Banded		—————	.....	—————
	Vein & Veinlet Type			—————	—————

شکل ۱۶- توالی پاراژنتیک کانی‌ها و کانه‌ها و بافت ماده معدنی در کانسار طلای زرترشت.



## کتابنگاری

- حیدری، س. م.، ۱۳۸۳، کانی شناسی، ژئوشیمی و فابریک کانه‌زایی طلا در پهنه برشی خمیری منطقه کرویان (جنوب باختر سقز، استان کردستان). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس.
- حیدری، س. م.، راستاد، محجل، م.، نیان، ۱۳۸۱-رخداد کانه‌زایی طلا در پهنه برشی دگرسان کرویان. بیست و یکمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور. راستگوی مقدم، غ. ر.، راستاد، ا.، رشیدنژاد عمران، ن.، محجل، م.، ۱۳۸۳- دگرشکلی، دگرسانی و ارتباط آن با کانه زایی طلا در پهنه های برشی منطقه معدنی زرترشت (جنوب باختر سبزواران). بیست و سومین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- راستگوی مقدم، غ. ر.، رشیدنژاد عمران، ن.، راستاد، ا.، برنا، ب.، ۱۳۸۲- کانه‌زایی طلا در پهنه های برشی منطقه معدنی زرترشت در زون سنندج-سیرجان (جنوب باختر سبزواران). بیست و دومین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- رشیدنژاد عمران، ن.، ۱۳۸۱- پترولوژی و ژئوشیمی سنگ های متاولکانو-سدیمتری و پلوتونیک منطقه موته (جنوب دلیجان) با نگرشی ویژه به خاستگاه و کانی سازی طلا. رساله دکتری، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، ۴۰۴ ص.
- سبزه ای، م.، مؤمن زاده، م.، نعمت، ل.، ۱۳۷۳- گزارش مقدماتی درباره کانی سازی طلای زرترشت (جنوب باختر سبزواران). سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، شرکت توسعه علوم زمین، گزارش داخلی.
- کوهستانی، ح.، ۱۳۸۳، زمین شناسی، کانی شناسی، ژئوشیمی و فابریک کانه‌زایی طلا در پهنه-های برشی ناحیه چاه باغ در منطقه معدنی موته (جنوب باختر دلیجان، استان اصفهان). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه تربیت مدرس، ۲۲۲ ص.
- محجل، م.، رشیدنژاد عمران، ن.، برنا، ب.، ۱۳۸۱- گزارش بازدید و بررسی اجمالی منطقه معدنی طلای زرترشت (جنوب باختر سبزواران). سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، شرکت توسعه علوم زمین، گزارش داخلی.

## References

- Barley, M. E., Eisenlohr, B. N., Groves, D. I., Perring, C. S., Vearncombe, J. R., 1989- Late Archean convergent margin tectonics and gold mineralization: A new look at the Norseman-Wiluna belt, Western Australia. *Geology*, 17: 826-829.
- Barley, M. E., Groves, D. I., 1992- Supercontinent cycles and the distribution of metal deposits through time. *Geology*, 20: 291-294
- Belkabit, A., Hubert, C. and Hoy, L. D., 2004- Gold emplacement and hydrothermal alteration in metabasic rocks at the Mouska Mine, Bousquet district, Abitibi, Quebec, Canada. *The Can. Minr.*, 42: 1079-1096.
- Bierlein, F. P., Crowe, D. E., 2000- Phanerozoic Orogenic lode gold deposits. *Rev. Econ. Geol.*, 13: 103-139.
- Christie, A. B., Brathwaite, R. L., 2003- Hydrothermal alteration in metasedimentary rock hosted orogenic gold deposits, Reefton goldfield, south island, New Zealand. *Min. Dep.*, 38: 87-107.
- 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 Geol. Surv.*, 136 p.
- Cox, S. F., Ruming, K., 2004- The St Ives mesothermal gold system, Western Australia-a case of golden aftershocks. *J. Struc. Geol.*, 26: 1109-1125.
- Evans, J.P., 1990- Textures, deformation mechanisms and the role of fluids in the cataclastic deformation of granite rocks, *Spec. Publ., Geol. Soc. Lond*, 54: 29-39.
- Evans, A. M., 1993- Ore geology and industrial minerals. Blackwell, Sci. Pub. 389 p.
- Foster, R. P. (ed.), 1993- Gold Metallogeny and exploration. Blackie and Son, Glasgow, 432 pp.
- Foster, D. A., Gray, D. R., Kwak, T. A. P., Bucher, M., 1998- Chronology and Orogenic framework of turbidite hosted gold deposits in the Western Lachlan Fold Belt, Victoria: 40Ar/39Ar results. *Ore Geol. Rev.*, 13: 229-250.



- Goldfarb, R. J., Groves, D. I., Gardoll, S., 2001- Orogenic gold and geologic time: a global synthesis. *Ore Geol. Rev.* 18: 1-75.
- Groves, D. I., 1993- The crustal continuum model for late-Archean lode gold deposits of the Yilgarn Block, Western Australia. *Min. Dep.*, 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 Geol. Rev.*, 13: 7-27
- Groves, D. I., Goldfarb, R. J., Robert, F., Hart, C. Jr., 2003- Gold deposits in metamorphic belts: overview of current understanding, outstanding problems, future research and exploration significance. *Econ. Geol.*, 98: 1-29.
- Groves, D. I., Ridley, J. R., Bloem, E. M. J., Gebre-Mariam, M., Hagemann, S. G., Hronsky, J. M. A., Knight, J. T., McNaughton, N. J., Ojala, J., Vielreicher, R. M., McCuaig, T. C., Holyland, P. W., 1995- Lode gold deposits of the Yilgarn Block: products of late Archean crustal scale overpressured hydrothermal systems In: Coward, M. P., Rics, A. C. (ed.) *Early Precambrian processes. Special Publication, 95. Geol. Soc. of London, London*, pp. 155-172.
- Haerberlin, Y., Moritz, R., Fontbote, L., 2002- Paleozoic Orogenic gold deposits in eastern Central Andes and its foreland, South America. *Ore Geol. Rev.*, 22: 41-59.
- Hanmer, S., Passchier, C. W., 1991- Shear sense indicators: a review. *Geol. Surv. Can. Pap.*, 90: 1-71.
- Hinchey, J. G., Wilton, D. H. C. and Tubrett, M. N., 2003- ALAM-ICP-MS study of the distribution of gold in Arsenopyrite from the Lodestar prospect, *The Can. Minr.*, 41(2): 353-364.
- Kerrick, R., 1999- Nature's gold factory. *Science*, 284: 2101-2102.
- Kerrick, R., Goldfarb, R. J., Groves, D. I., Garwin, 2000- The geodynamic of world-class gold deposits: characteristics, space-time distribution and origins. In: Hagemann, S. G., Brown, P.E., (ed.), *Gold in 2000, Rev. in Econ. Geol.*, 13: 501-551.
- Kerrick, R., Wyman, D. A., 1990- The trace element systematizes of igneous rocks in mineral exploration: an overview. *Geol. Assoc. Can., Geol. Short Course Notes 12*, pp. 1-50.
- 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.
- Klein, C., Hurlbut, C. S., 1985- *Manual of mineralogy*, 21st edition, Wiley, New York.
- Kolb, J., Kisters, A. F. M., Meyer, F. M., Siemes, H., 2003- Polyphase deformation of mylonites from the Renco gold mine (Zimbabwe): identified by crystallographic preferred orientation of quartz. *J. Struc. Geol.*, 25: 253-262.
- Momenzadeh, M., 2002- Mining archaeology in Iran I: An ancient gold mining site of Zartorosht (SW-Jiroft, SE-Iran), *Metalla (Bochum)*, 9: 47-53.
- Nuguyen, P. T., Cox, S. F., Harris, L. B., Powell, C. M., 1998- Fault-valve behaviour in optimally oriented shear zones: an example at the Revenge gold mine, Kambalda, Western Australia. *J. Struc. Geol.*, 20: 1625-1640.
- Passchier, C. W., Hoek, J. D., Bekendam, R. F., de Boorder, H., 1990- Ductile reactivation of Proterozoic brittle fault rocks: an example from the Vestfold Hills. *East Antarctica Prec. Res.*, 47: 3-16.
- Passchier, C. W., Trouw, R. A. J., 1996- *Micro-tectonics: Springer-Verlag New York, Berlin Heidelberg Editions*, 289 p.
- Phillips, G. N., Myers, R. E., 1989- The Witwatersrand gold fields: part II: An origin for Witwatersrand gold during metamorphism and associated alteration. *Econ. Geol. Mono.*, 6: 598-608.
- Rimstidt, J.D., 1997- Gangue mineral transport and deposition, In Barnes H.L. (Ed.), *Geochemistry of hydrothermal ore*



- deposits, John Wiley & Sons, p. 487-516.
- Sibson, R. H., 1977- Fault rocks and fault mechanisms. Geol. Soc. London, 133: 191-213.
- Sibson, R. H., Scott, J., 1998- Stress/fault controls on the containment and release of overpressured fluids: Examples from gold-quartz vein systems in Juneau, Alaska, Victoria, Australia and Otago, New Zealand. Ore Geol. Rev., 13: 293-306.
- Worku, H., 1996- Structural control and metamorphic setting of the shear zone-related Au vein mineralization of the Adola Belt (southern Ethiopia) and its tectono-genetic development. J. African. Earth Sci., 23: 383-409.
- Wyman, D., Kerrich, R., 1988- Alkaline magmatism, major structures and gold deposits: implications for greenstone belt gold Metallogeny. Econ. Geol., 83: 451-458.
- Wyman, D. A., Kerrich, R., Groves, D. I., 1999- Lode gold deposits and Archean mantle plume-island arc interaction, Abitibi Sub-province, Canada. J. 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 Geol. Rev., 23: 71-90.
- Zhou, Y., Wang, Z., 1999- Altered ductile shear zone host type of gold deposits from south China: a case study. J. Geoscience. of China, 1: 23-38.