

منشأ سیال کانه‌ساز و عوامل مؤثر در ته‌نشست طلا در کانسار داشکسن (شمال خاور قروه): شواهد ساختاری، ریزدماسنجی و ایزوتوپ‌های پایدار O-H

محمد مرادی^۱، زهرا اعلمی نیا^{۲(۳)}، ابراهیم طالع فاضل^۲ و رضا علیپور^۳
۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران
۲. استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران
۳. استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۴/۱۶

تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۸/۳۰

چکیده

خطواره ماگمایی قروه-تکاب، در میان پهنه‌های ارومیه-دختر و سهندج-سیرجان، مهم‌ترین معادن طلا مانند داشکسن و زرشوران را در بردارد. کانسار داشکسن در استان کردستان قرار گرفته است و یکی از بزرگ‌ترین کانسارهای طلا در سطح خاورمیانه است. داسیت پورفیری و برش عمدتاً میزبان طلا هستند. برخلاف مطالعات تفصیلی گذشته، هنوز در ارتباط با ژنز داشکسن اختلاف نظر وجود دارد. در اینجا منشأ و تکامل سیالات کانسارساز را به کمک بررسی‌های میانبار سیال و ایزوتوپ‌های پایدار نشان می‌دهیم. در داشکسن، برش و کانه‌زایی توسط گسل‌های پرشیب با روند شمال شمال‌خاور-جنوب‌جنوب‌باختر تحمیل شده است. و منطقه معدنی داشکسن در یک پهنه برشی حاصل از عملکرد دو گسل راستگرد قرار گرفته است. نواحی دگرسانی در سطح، فیلیک، سیلیسی، تورمالینی، آرزلیک و کمتر پروپلیتیک هستند. کانی‌های سولفیدی عبارتند از پیریت، مارکازیت، آرسنوپیریت، استیینیت، کالکوپیریت و کمتر بورنیت، اسفالریت، گالن همراه با کوارتز، تورمالین، سربیسیت، کلسیت و کلسدون. نتایج اندازه‌گیری میکروترموتری یک بازه‌ای از درجات همگن‌شدگی بین ۱۸۳ تا ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد با شوری ۱۵/۹۷ تا ۱۷/۰۶ درصد را نشان می‌دهد. ترکیب ایزوتوپ اکسیژن کوارتز و تورمالین به ترتیب در محدوده ۶/۶ تا ۹/۹ و ۸/۵ تا ۱۲/۳ پرمیل و مقدار دوتریم فلوید کوارتز و تورمالین بترتیب بین ۵۱- تا ۸۱- و ۹۳- تا ۱۱۱- پرمیل می‌باشد. در ادغام با مطالعات گذشته، همه این اطلاعات یک مهاجرت از یک سامانه طلای پورفیری (مرحله ۱) با منشأ ماگمایی را به گرمایی کم-سولفید (مرحله ۳) پیشنهاد می‌کنند. مرحله ۲ در طول ریزش و فوران دهانه آتشفشان رخ داده است.

واژه‌های کلیدی: گسل، میانبار سیال، ایزوتوپ‌های O-H، داشکسن.

مقدمه

قلمداد کرده‌اند، درحالی‌که برخی دیگر از محققین، امکان رخداد سامانه طلای پورفیری کم‌عمق را پیشنهاد داده و رگه و برش‌های گرمایی را مرتبط با سامانه گرمایی کم-سولفید در نظر گرفته‌اند (Richards et al., 2006). از طرفی در بررسی‌های صورت گرفته، توجه کمتری به بررسی نقش کنترل‌کننده‌های ساختاری شده است. در این پژوهش سعی شده علاوه بر مطالعه وضعیت ساختاری، برای نخستین بار، به‌منظور بررسی ماهیت کانی‌سازی و منشأ سیال کانسارساز طلا، به ژئوشیمی ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن-هیدروژن در کانسار طلای داشکسن پرداخته شود.

روش مطالعه

پس از انجام مطالعات اولیه و بررسی کارهای گذشته، به‌منظور بررسی دگرسانی، کانه‌نگاری و تعیین روابط هم‌یافتی کانی‌ها، نمونه‌برداری با تعداد بالغ بر ۲۰۰ نمونه از منطقه معدنی در طی هشت بازدید (طی سال‌های ۹۵ و ۹۶) انجام گرفته است. پس از مطالعه نمونه‌های دستی تعداد ۲۰ مقطع نازک، ۴۰ مقطع نازک-صیقلی و ۱۰ بلوک صیقلی تهیه و به کمک میکروسکوپ دو منظوره Olympus مدل BX60F5 مطالعه شدند. سپس بر پایه برداشت‌های صحرائی و مطالعات میکروسکوپی تعداد زیادی نمونه از انواع رگچه‌های کوارتز از مراحل مختلف دگرسانی انتخاب گردید. پس از بررسی‌های پتروگرافی، از میان آن‌ها چهار مقطع دوبرصیقل مناسب از رگه‌های کوارتز-سریسیت، کوارتز-تورمالین، کوارتز-استیبیت و کوارتز-پیریت به‌منظور اندازه‌گیری میانبارهای سیال انتخاب شد. سپس ویفرها با استفاده از دستگاه مطالعه سیالات درگیر از نوع Linkam مدل THM600 دارای کنترل‌کننده حرارتی TMS92 و سردکننده LNP در آزمایشگاه سیالات درگیر دانشگاه اصفهان مورد بررسی قرار گرفتند. دقت و صحت دستگاه به‌ترتیب در محدوده دمایی ۱۷۰- تا ۶۰۰+ درجه سانتی‌گراد و ۱/۰± درجه سانتی‌گراد می‌باشد. برای تکمیل داده‌ها و بررسی منشأ رگچه‌های کوارتز، چهار نمونه از کوارتز و سه نمونه از تورمالین، به‌منظور تعیین ترکیب ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن و هیدروژن، به‌ترتیب به دانشگاه‌های کیپ‌تاون (Cape Town)، آفریقای جنوبی و کورنل (Cornell،

کانسار طلای داشکسن معروف به طلای ساریگونای در مرز مشترک دو پهنه ساختاری ارومیه-دختر و سنج-سیرجان و در انتهای جنوب‌خاوری خطواره ماگمایی داشکسن-تکاب (لومارکانسار، ۱۳۷۲) یا قروه-تکاب (معین‌وزیری، ۱۳۷۵) قرار دارد (شکل ۱-الف). این خطواره میزبان ذخایر شناخته شده‌ی جهانی کانسار طلای داشکسن در کردستان (با ذخیره ۱۲۰ میلیون تن و عیار متوسط ۲ گرم بر تن (Kouhestani et al., 2012) و کانسار طلای زرشوران در شمال تکاب (با ذخیره ۲/۵ میلیون تن و عیار متوسط ۱۰ گرم بر تن، (Samimi, 1992) است که هم‌اکنون در حال استخراج هستند. می‌توان گفت، دوره میوسن زمان کلیدی مناسبی برای شکل‌گیری ذخایر طلای داشکسن، زرشوران (Asadi et al., 1999)، قلقله، میوه‌رود، آق‌دره (Daliran et al., 2002) و عربشاه (حیدری و همکاران، ۱۳۹۶) در ایران شناخته می‌شود.

معدن طلای داشکسن در جنوب‌خاور کردستان و در ۴۲ کیلومتری شمال‌خاور شهرستان قروه جای دارد. فعالیت‌های اکتشافی منطقه معدنی داشکسن از سال ۱۳۷۹ به‌نام شرکت CESCO و با همکاری شرکت اکتشافی Rio-Tinto شروع شد. بررسی‌های انجام شده، منجر به شناسایی و کشف پهنه طلادار به وسعت ۴۰۰×۱۳۰۰ متر بر روی ارتفاعات ساریگونای و ناهنجاری کوچک‌تر با وسعت ۴۵۰×۱۵۰ متر در دامنه شمال‌باختری آق‌داغ شد (Wilkinson, 2005a). در حال حاضر تا عمق بیش از ۴۵ متر از کوه ساری‌گونای برداشت و استخراج شده است. همراه با فعالیت‌های اکتشافی و استخراجی ناحیه، مطالعات متعددی از سوی زمین‌شناسان (کیمیاقلم، ۱۳۶۴؛ اکبرپور، ۱۳۷۰؛ عبدی، ۱۳۷۵ و معانی‌جو و همکاران، ۱۳۹۳) بر روی چگونگی تشکیل فعالیت‌های آتشفشانی و کانی‌سازی در منطقه انجام گرفته است و علیرغم بررسی‌های گسترده بر روی این کانسار، هنوز ژنز آن بحث برانگیز است. راستاد و همکاران (۱۳۷۹) با بررسی کانی‌شناسی در نواحی دگرسانی و کانی‌سازی، سامانه گرمایی اسید-سولفات (سولفید-زیاد) را مسئول کانی‌سازی طلا در داشکسن

داسیت پورفیری و برش را نشان می‌دهد (شکل ۲-الف) که به پتروگرافی آن‌ها پرداخته می‌شود. همچنین تعداد نادری دایک آندزیتی با ضخامت‌های متغیر (۱۰ تا ۹۰ سانتی‌متر) در منطقه رخنمون دارند.

آندزیت پورفیری

این واحد با سن میوسن و در صحرا با رنگ تیره و اغلب در جنوب‌باختر معدن داشکسن رخنمون دارد (شکل ۲-ب). سنگ‌های این واحد اغلب غیر دگرسان بوده هرچند به صورت محلی دگرسانی پروپلیتیک ضعیفی نشان می‌دهند. بافت پورفیری دارد و از کانی‌های سازنده پلاژیوکلاز، هورنبلند سبز، بیوتیت و کمتر کلینوپیروکسن، کوارتز و آلکالی فلدسپار همراه با کانی‌های کمیاب آپاتیت، روتیل و زیرکن تشکیل شده است (شکل ۲-ب).

داسیت/ریوداسیت پورفیری

واحد نیمه‌عمیق داسیت تا ریوداسیت پورفیری عمده مساحت پیشکار استخراجی معدن داشکسن را در برمی‌گیرد (شکل ۲-الف). این واحد درجات متغیری از دگرسانی فیلیک نشان می‌دهد و در بخش مرکزی، میزبان بخشی از کانی‌سازی طلا است. بافت آن پورفیری و کانی‌های آن پلاژیوکلاز، سانیدین، کوارتز، بیوتیت و آمفیبول است (شکل ۲-ب).

برش

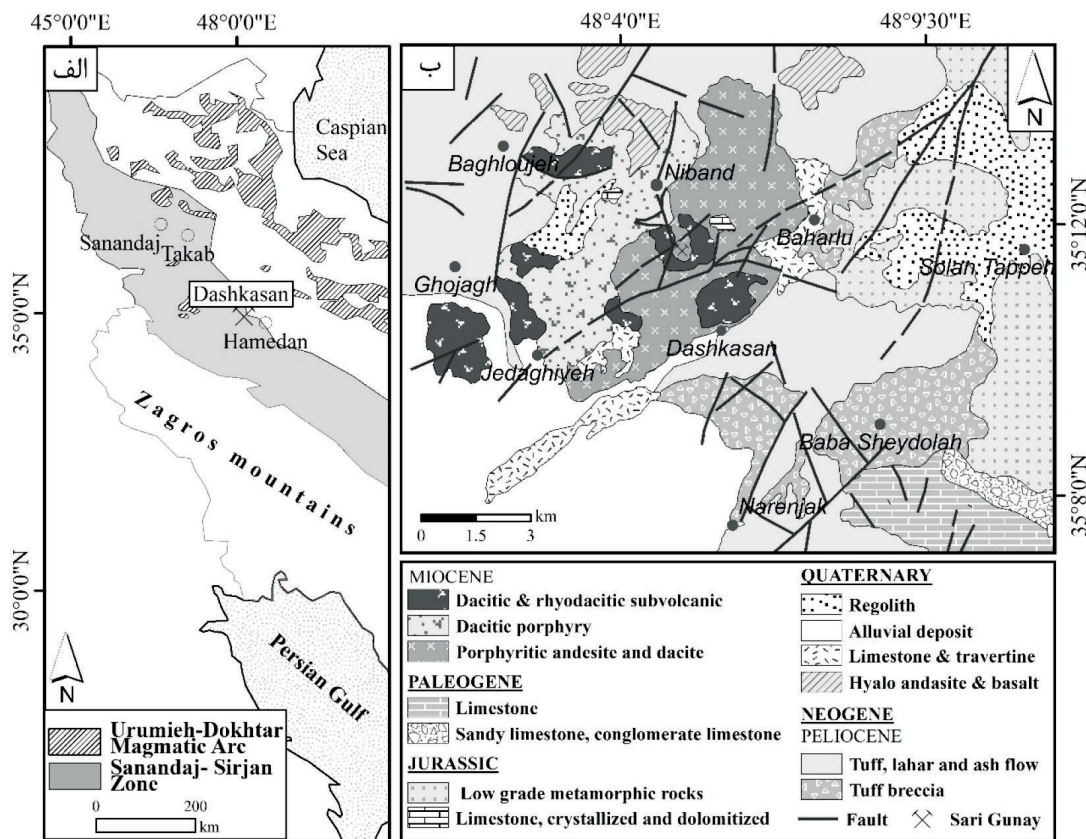
وسعت خوبی در منطقه داشکسن دارد و بیشترین تمرکز آن در بخش خاوری پیشکار استخراجی دیده می‌شود. بر اساس مشاهدات صحرائی، از نظر زمانی، برش‌ها نسبت به واحدهای پورفیری، جوان‌تر هستند و به دو شکل حلقوی (دیاترم) و رگه‌ای دیده می‌شوند. رخنمون برش دیاترم در مقایسه با برش‌های رگه‌ای بسیار وسیع‌تر می‌باشد. برش‌های منطقه معدنی از نظر جنس زمینه، به دو دسته برش داسیت و تورمالین تقسیم‌بندی می‌شوند که به ترتیب با رنگ‌های روشن و تیره در روی زمین دیده می‌شوند (شکل ۳).

برش داسیتی به شکل حلقوی در منطقه ظاهر شده است و گسترش سطحی آن به بیش از ۲ کیلومتر می‌رسد و رخنمون سطحی آن از مرکز به اطراف پیشکار افزایش می‌یابد. در سطح پیشکار، از کلاست‌های گرد تا نیمه‌گرد شده

آمریکا) ارسال شد. اندازه‌گیری ایزوتوپ اکسیژن به روش (Clayton and Mayenda, 1963) و ایزوتوپ هیدروژن به روش (Kyser and Kerrich, 1991) انجام شده است. همچنین تعداد چهار نمونه از سنگ دیواره از افق‌های ارتفاعی مختلف کانسار (شامل ۲۱۹۵، ۲۱۹۰، ۲۱۸۵ و ۲۱۸۰ متری) برای شناسایی فازهای کانیایی رسی از پهنه دگرسانی آرژیلیک انتخاب و توسط پراش اشعه ایکس (XRD) در دانشگاه بوعلی سینا همدان تجزیه شد.

زمین‌شناسی

معدن طلای داشکسن با گسترش تقریبی ۵ هکتار در نزدیکی روستای نی‌بند قرار دارد (شکل ۱-ب). قدیمی‌ترین سنگ‌های گستره داشکسن مربوط به مجموعه دگرگون شده ژوراسیک است که از اسلیت، فیلیت و کوارتزیت در خاور منطقه پوشیده شده است. این دگرگونی ضعیف قبل از تشکیل طلای داشکسن رخ داده و کانسار را تحت تاثیر قرار نداده است. به استناد برگه زمین‌شناسی کوهین (خان‌نظر و همکاران، ۱۳۹۴) (شکل ۱-ب)، واحدهای سنگی آتش‌فشانی-نیمه‌نفوذی در مرکز و خاور و آهک‌های متعلق به نهشته‌های پالئوژن با سن میوسن زیرین (راستاد و همکاران، ۱۳۷۹) در جنوب‌خاور منطقه به صورت دگرشیب بر روی آهک‌ها و شیست‌های ژوراسیک قرار گرفته‌اند. طلای داشکسن در میان مجموعه‌های حلقوی شکل (استراتوولکان) از سنگ‌های آتشفشانی و نیمه‌نفوذی اسیدی با سن ۱۱ تا ۱۱/۷ میلیون سال (Richards et al., 2006) قرار گرفته است (شکل ۱-ب). به نظر می‌رسد دیواره خاوری کراتر تخم‌مرغی شکل ساری‌گونای به دلایلی همچون زلزله یا انفجار مهیب، تخریب و رها شده و در نتیجه آن قطعات گرد تا نیمه‌گرد شده تا اندازه یک متر در یک زمینه‌ای از داسیت پودر شده قرار گرفته‌اند و برش را شکل داده‌اند و در یک روند مشخص به سوی دریا به حرکت درآمده‌اند. در ادامه، فعالیت آتشفشانی میوسن در این ناحیه با لاهارها (کنگومرای ولکانوکلاستیک)، بمب‌ها و نهشته‌های خاکستر میوسن در حاشیه یک دریای کم‌ژرفا به پایان رسیده است (Richards et al., 2006). مشاهدات صحرائی همراه با مطالعات آزمایشگاهی انجام گرفته در بخش پیشکار استخراجی، سه واحد اصلی آندزیت پورفیری،

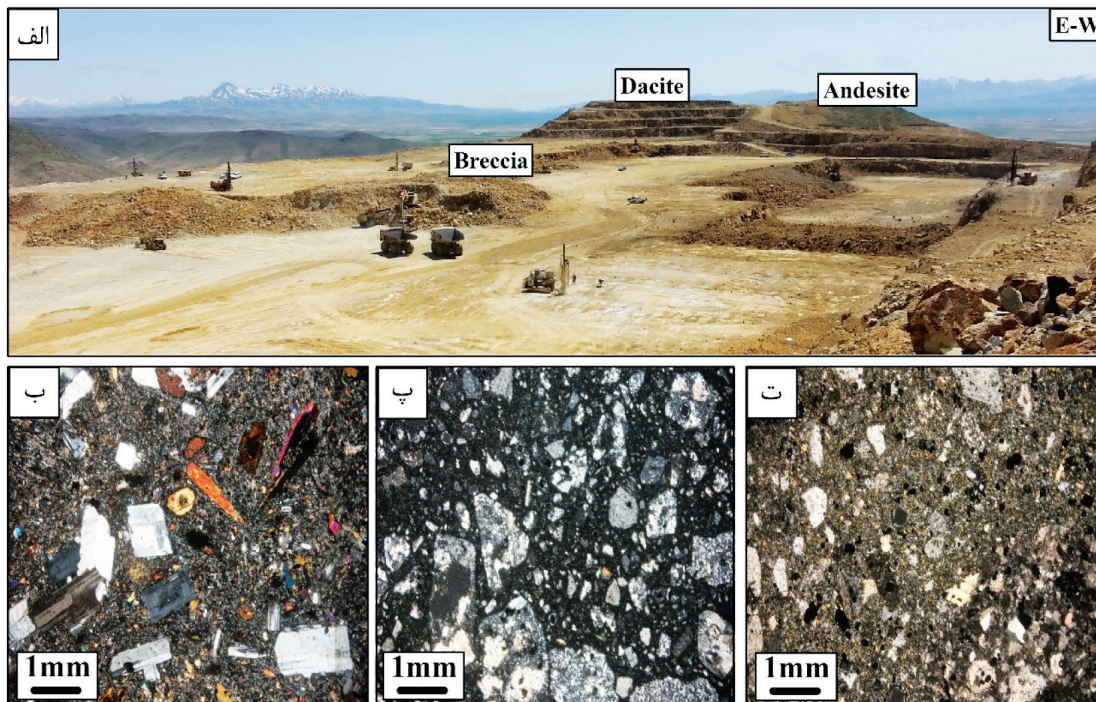


شکل ۱. الف) موقعیت جغرافیایی معدن طلای داشکسن در نقشه ساختاری ایران (Mohajjel et al., 2003)، موقعیت معدن داشکسن بین کمان ماگمایی ارومیه-دختر و پهنه سنندج-سیرجان نشان داده شده است، ب) معدن داشکسن بر روی نقشه ساده شده برگرفته از برگه زمین‌شناسی کوهین (خان‌نظر و همکاران، ۱۳۹۴)

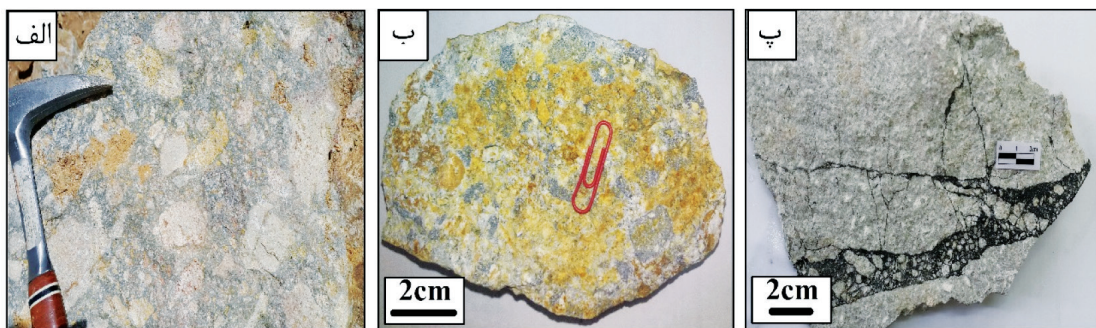
و در برخی قسمت‌ها جریان یافتگی دارند. در بررسی‌های گمانه‌ها، دیواره برش با شیب تند و به شکل مخروطی به سمت عمق پیش می‌رود. این برش آتشفشانی از نوع دیاترم است و در اثر برخورد ماگما با آب زیرزمینی در اعماق کم ظاهر می‌شود. این برخورد (Lorenz, 1973; Martin et al., 2007) سبب فوران، انفجار گاز، اتساع شدید بخار آب حرارت دیده و در نهایت سقوط و ریزش سنگ‌های بالایی دیواره در مسیر خروجی می‌شود. درصد حجمی قطعات به زمینه در سطح زمین ۵۰ درصد می‌باشد. در بررسی اجمالی از برخی گمانه‌های حفاری، اندازه کلاست‌های موجود در هر این نوع برش به طرف عمق کاهش چشمگیری نشان می‌دهند به طوری که در بعضی جاها نمی‌توان به راحتی کلاست‌ها را مشاهده کرد.

(شکل ۲-ت) با اندازه‌های متغیر (اغلب ۵/۰ تا ۲۰ سانتی‌متر) تشکیل شده است. در برش‌های داسیتی مشاهده شده در پیشکار، جنس قطعات داسیت‌پورفیری (شکل ۳-الف) و در برخی قسمت‌ها آندزیت‌پورفیری می‌باشد که گاهی همراه با تورمالین هستند (شکل ۳-ب)، درحالی که زمینه از کانی‌های آذرین دانه‌ریز کوارتز و فلدسپار (شبه توف) و به طور محلی بیوتیت ساخته شده‌اند، همچنین گزارش‌هایی از حضور قطعات آندزیت، شیسست و سیلتستون در اعماق بیشتر در گمانه‌ها وجود دارد. در مطالعات گذشته از گمانه‌ها، بر اساس ترکیب قطعات موجود، این برش‌ها (به ترتیب از سطح تا عمق) به سه دسته تقسیم شده‌اند (Wilkinson, 2005b) که عبارتند از برش با قطعات آذرین، برش با قطعات آذرین-دگرگونی و برش با قطعات دگرگونی پی‌سنگ. به عبارتی این قطعات برش‌ها از ریزش و سقوط سنگ‌ها به وجود آمده‌اند

برش تورمالینی به صورت رگه‌ای با راستای شمال‌خاور- جنوب‌باختر دیده می‌شود. در برش تورمالین قطعات از جنس سنگ دیواره بوده و به شکل زاویه‌دار تا نیمه‌زاویه‌دار با اندازه‌های متغیر (کمتر از ۰/۳ تا ۱۲ سانتی‌متر) در زمینه‌ای از کانی‌های گرمابی تورمالین و کوارتز (شکل ۳-پ) قرار دارد. کوارتز به صورت دانه‌ریز تا دانه‌متوسط می‌باشد. گاهی زمینه برش تورمالین جهت‌یافتگی نشان می‌دهند و نسبت زمینه به قطعات بیش از ۵۰ درصد می‌باشد.



شکل ۲. الف) عکس صحرایی از واحدهای زمین‌شناسی پیشکار استخراجی طلای داشکسن، آندزیت با رنگ تیره‌تر در چپ تصویر در کنار واحدهای داسیت پورفیری و برش دیده می‌شود. نمایش تصاویر میکروسکوپی واحدهای طلای داشکسن به کمک نور متقاطع (XPL)، (ب) آندزیت پورفیری، (پ) داسیت پورفیری دگرسان شده، (ت) برش داسیتی

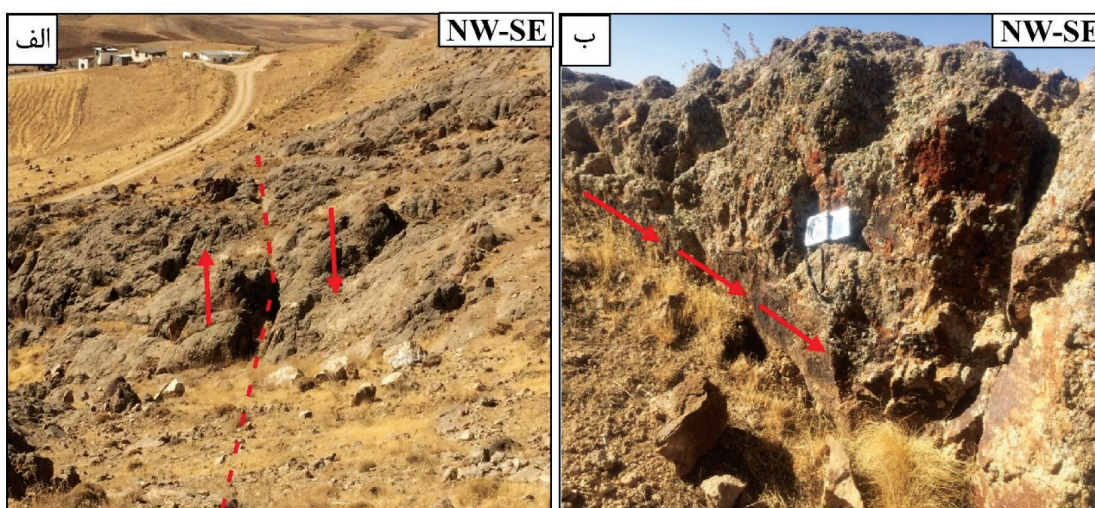


شکل ۳. نمونه‌های دستی از انواع برش‌های شناسایی شده در کانسار طلای داشکسن. شامل الف) برش داسیتی دگرسان شده با قطعات نیمه‌زاویه‌دار داسیت در زمینه کوارتز و فلدسپار، (ب) برش با قطعات آندزیت همراه با تورمالین که در زمینه داسیت دانه‌ریز قرار دارند، (پ) برش رگه‌ای تورمالینی، زمینه تیره‌رنگ مربوط به کانی‌های تورمالین و کوارتز است که فضای میان قطعات خرد شده داسیت را پر کرده است

زمین‌شناسی ساختمانی

در منطقه طلای داشکسن گسل‌ها بیشتر روند شمالی-جنوبی و شمال‌خاوری-جنوب‌باختری داشته و به‌صورت پهنه‌های گسلی موازی دیده می‌شوند. با توجه به پوشیده شدن منطقه به‌وسیله نهشته‌های کواترنری، شناسایی ساختارهای گسلی در مطالعات صحرایی بیشتر معطوف به ترانشه‌ها، معدود رخنمون‌های سنگی و شواهد مورفولوژیکی بوده است. در رخنمون‌هایی از داسیت پورفیری در محدوده کانسار، صفحات گسلی با شیب زیاد باعث دگرشکلی شده

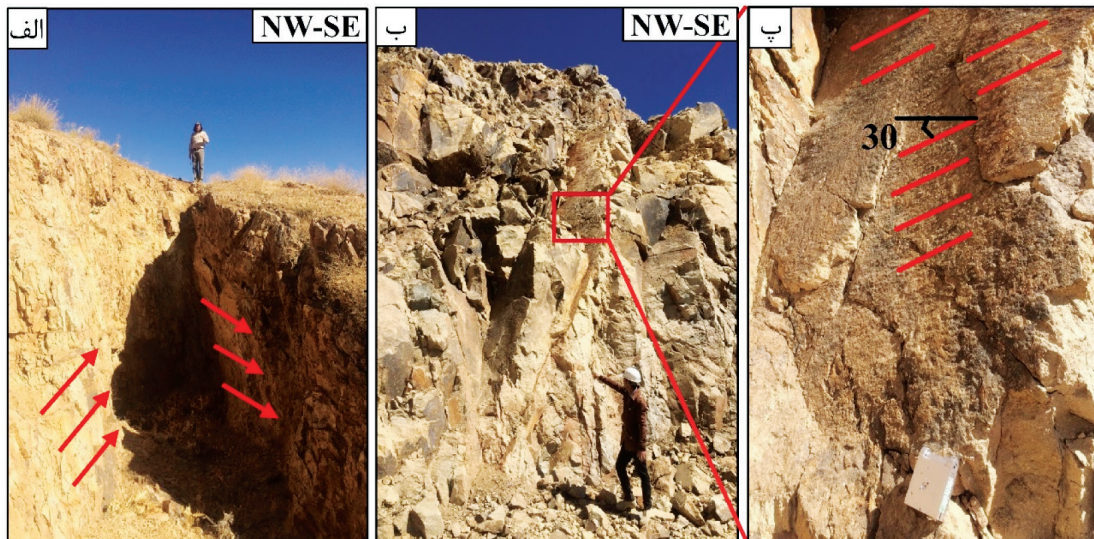
است (شکل ۴). مشخصات هندسی این صفحات گسلی با استفاده از روش شیب و جهت شیب مقادیر $270/80$ (شکل ۴-الف) و $295/70$ (شکل ۴-ب) را نشان می‌دهد. مقادیر شیب این گسل‌ها زیاد بوده و بین 70 تا 80 درجه تغییر می‌کند و همچنین روند این گسل‌ها شمال‌خاوری-جنوب‌باختری تا شمالی-جنوبی می‌باشد. خطواره‌های لغزشی روی این صفحات گسلی حرکت امتداد لغز راستگرد را نشان می‌دهد (شکل ۴).



شکل ۴. رخنمون صفحات گسلی واقع در منطقه معدنی طلای داشکسن. الف) صفحه گسلی با مشخصات $270/80$ ، ب) صفحه گسلی با مشخصات $295/70$ با حرکت امتداد لغز راستگرد

می‌دهند. در یک رخنمون از این مقاطع یک صفحه گسلی با مشخصات $295/75$ قابل مشاهده است (شکل ۵-ب) که واحدهای داسیتی را بریده و باعث دگرشکلی شده است. خطواره‌های لغزشی روی این صفحه گسلی و ریک بردار لغزش صفحه گسلی که حدود 30 درجه است نشان‌دهنده حرکت راستالغز گسل است و همچنین عوارض روی این صفحه گسلی نشان‌دهنده حرکت راستگرد با مولفه نرمال این گسل راستالغز است (شکل ۵-پ). بر اساس مطالعات این پژوهش، کنترل‌کننده‌های ساختاری کانی‌سازی طلا عمدتاً گسل‌های پرشیب هستند که به نظر می‌رسد زون‌های تغذیه‌کننده عمیقی برای سیالات کانسار ساز طلا در منطقه باشند.

در محدوده طلای داشکسن علاوه بر معدود رخنمون‌های سنگی که صفحات گسلی در آنها برداشت گردید، ترانشه‌ی و مقاطع جدید سنگی حین برداشت مواد معدنی نیز اطلاعات ارزشمندی از صفحات گسلی و نحوه حرکت آنها به دست می‌دهد. در امتداد یکی از ترانشه‌های حفاری شده صفحه گسلی با مشخصات $310/85$ راستگرد قابل مشاهده است. این گسل پرشیب و نزدیک به قائم دارای حرکت امتداد لغز راستگرد است که هم فرادیواره و هم فرودیواره گسل در یک رخنمون قابل مشاهده است (شکل ۵-الف). در واقع پهنه خرد شده گسلی حین حفاری برداشت شده و دو دیواره گسلی باقیمانده است. در منطقه مورد مطالعه علاوه بر ترانشه‌ها، در بخش‌های فعال معدن نیز، مقاطع جدید مشخصات هندسی و کینماتیکی صفحات گسلی را به‌وضوح نشان



شکل ۵. رخنمون‌هایی از صفحات گسلی در معدن داشکسن. الف) صفحه گسلی با مشخصات ۳۱۰/۸۵ در امتداد ترانشه حرکت راستالغز راستگرد را نشان می‌دهد، ب و پ) دورنمایی از دیواره معدن. صفحه گسلی با مشخصات ۲۹۵/۷۵ و ریک بردار لغزش ۳۰ درجه که حرکت امتدادلغز راستگرد با مولفه نرمال را نشان می‌دهد

دگرسانی سنگ میزبان

ضعیف در شمال منطقه رخنمون دارد. این دگرسانی از کانی‌های سریسیت، کوارتز، پیریت، آلبیت، کلسیت، تورمالین و رس ساخته شده است. سریسیت در اثر تجزیه پلاژیوکلازها به مقدار ۵ تا ۴۵ درصد در زمینه و یا از تخریب درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز، هورنبلند و بیوتیت به وجود آمده است و فراوان‌ترین کانی دگرسان در ناحیه معدنی داشکسن می‌باشد. سریسیت به سه صورت ریزبلور در زمینه (فنجیت با ابعاد ۲۰ تا ۳۰ میکرون)، درشت‌بلور (۱ تا ۱/۵ میلی‌متر) و شعاعی (۲ تا ۳ میلی‌متر) حضور دارد. گاهی سریسیت‌ها به کلریت تجزیه شده‌اند. کانی کوارتز اغلب در زمینه (با اندازه ۰/۵ تا ۲ میلی‌متر، شکل ۶-الف) و یا به صورت رگچه حضور دارد. پیریت به شکل‌های پراکنده (با دو اندازه بلور ۰/۶ و ۲/۲ میلی‌متر)، اسفنجی، دودکائرون و رگچه‌ای دیده می‌شود. گاهی تجزیه درشت بلورهای فلدسپار به کربنات و رس و تجزیه کانی‌های فرومنیزین به بلورهای دانه‌ریز تورمالین در زمینه سنگ فیلیکی شده به چشم می‌خورد.

دگرسانی سیلیسی با راستای شمال‌خاور-جنوب‌باختر، با درجات متنوعی و گسترش محدود در مرکز پیشکار اکتشافی به صورت رگه‌ای، برشی، شکافه‌پرکن و پراکنده برونزد دارد و ارتباط نزدیک با دگرسانی تورمالینی دارد.

دگرسانی با روند تقریبی شمال‌خاوری-جنوب‌باختری گستره کانسار طلای داشکسن را تحت تاثیر قرار داده و از تنوع خوبی برخوردار است. مطالعات این پژوهش دگرسانی‌های فیلیک، سیلیسی، تورمالینی، آرژیلیک، کمتر پروپلیتیک و شستشوی اسیدی حاصل از فرآیند برونزاد را شناسایی کرده است (شکل ۶). دگرسانی‌های سیلیسی و تورمالینی همراه با عیارهای طلا دیده می‌شوند و دیواره این دو دگرسانی بر معبر خروجی برش داسیتی تطابق دارد. دگرسانی پتاسیک در سطح زمین مشاهده نگردید در حالی که در گمانه‌های با عمق بیش از ۳۰۰ متر، رخنمون‌های اندکی از رگه‌های کوارتز، سولفید و مگنتیت همراه با پتاسیم فلدسپار (آدولاریا) گزارش شده است (Richards et al., 2006).

دگرسانی فیلیک با رنگ آجری روشن، اولین و فراگیرترین دگرسانی (شکل ۲-الف) در منطقه داشکسن می‌باشد. گسترش آن در حد صدها متر می‌رسد و به دو شکل همراه با تورمالین و فاقد تورمالین دیده می‌شود. دگرسانی فیلیک همراه با تورمالین با شدت بیشتر، در مرکز و خاور منطقه معدنی و در واحدهای داسیت و برش داسیتی گسترش زیادی دارد در حالی که دگرسانی فیلیک فاقد تورمالین به صورت

هیدروکسیدهای آهن در دگرسانی آرژیلیک نشان می‌دهد. همراهی زئولیت‌های شاخص لامونیت و هیولاندیت با سایر رس‌ها، اغلب در سیستم‌های ژئوترمال دما بالا دیده می‌شود (Okrugin et al., 2015). در سطح آثار ژاروسیت به صورت رگچه‌های حنایی رنگ و یا به صورت پراکنده در آرژیلیک قابل مشاهده می‌باشد که به اکسید شدن پیریت‌ها در این دگرسانی اشاره دارد.

دگرسانی پروپلیتیک ضعیف در جنوب‌باختر با حضور کانی‌های کلریت و اپیدوت با گسترش کمی مشاهده می‌شود. وجود رخنمون‌های بسیار اندک پروپلیتیک از ویژگی‌های کانسار داشکسن می‌باشد. بخشی از فنوکریست‌های بیوتیت و پلاژیوکلاز در سنگ آندزیت به ترتیب به کلریت، اپیدوت و کمی کلسیت و کوارتز تجزیه شده‌اند (شکل ۶-ج).

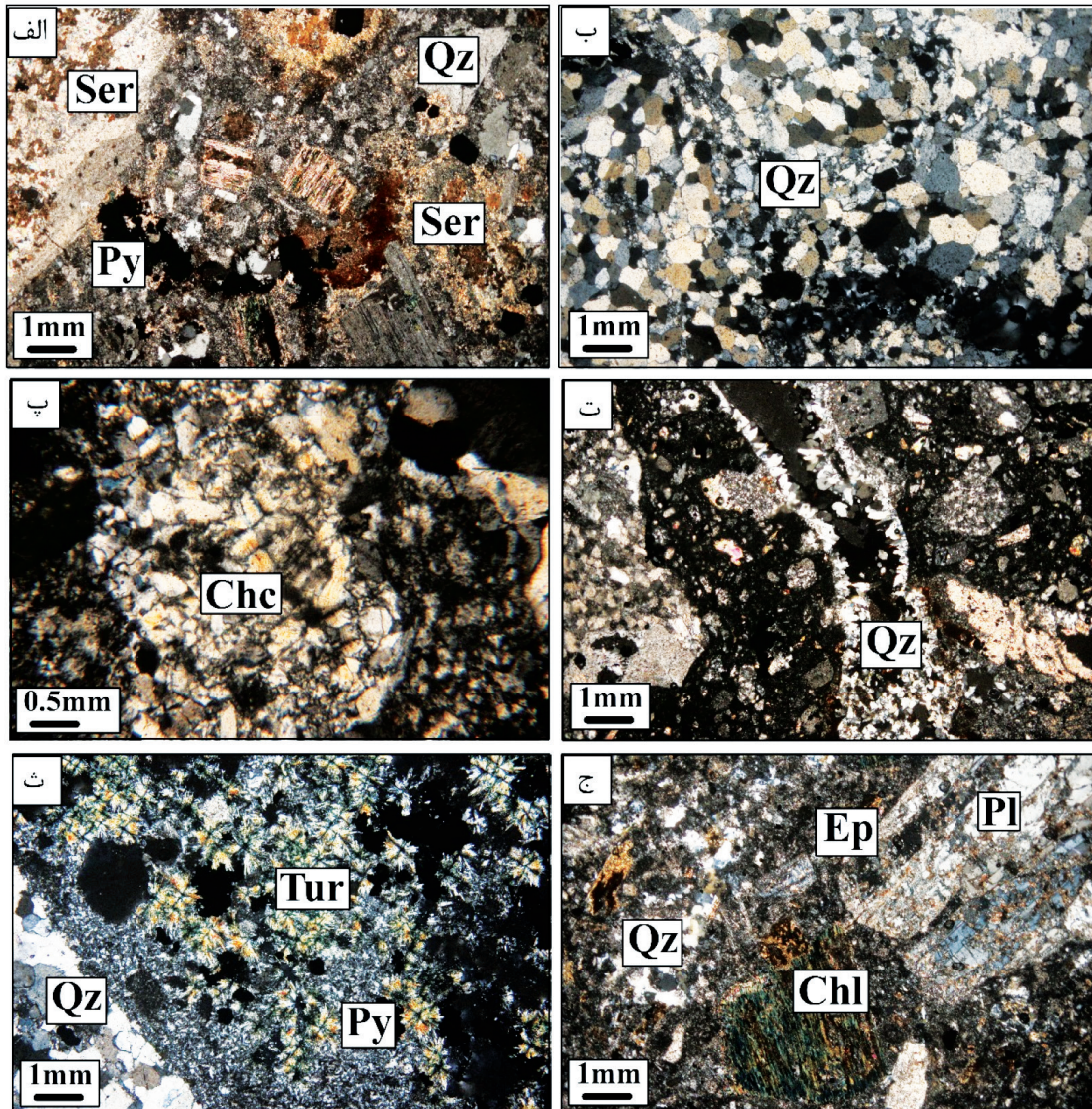
کانه‌زایی

ناحیه طلادار داشکسن با ابعاد طولی ۱۲۰۰ متر در پهنا ۳۵۰ متر در راستای شمال‌خاور-جنوب‌باختر (N33E) دیده می‌شود و در سنگ میزبان‌های برش و داسیت پورفیری رخ داده است. ضخامت ناحیه پرعیار طلا در سطح به ۲۵۰ متر می‌رسد و عمدتاً از کانی‌های سولفیدی استیبینیت (گاهی تا ۶۰ درصد حجمی رگه، شکل ۷-الف)، رآلگار و اورپیمنت (۱۰ درصد حجمی رگه)، پیریت (۵ تا ۲۰ درصد حجمی سنگ (شکل‌های ۷-ب و پ)، مارکازیت (۲-۱ درصد)، گالن (۵ درصد)، آرسنوپیریت (۴-۱ درصد)، کالکوپیریت (۲-۱ درصد)، اسفالریت، بورنیت (کمتر از ۰/۵ درصد) تشکیل شده است. کانی‌سازی سولفیدی به لحاظ بافتی از نوع رگه، رگچه، استوکورک (شکل ۷-ب)، دانه‌پراکنده (شکل ۷-پ)، دوده‌ای (شکل ۷-ت)، شکافه‌پرکن (شکل ۷-ث) و جانشین‌ریخ داده است. پیریت فراوان‌ترین کانی سولفیدی در منطقه معدنی داشکسن می‌باشد و به اشکال اسفنجی (ابعاد ۰/۵ تا ۳ میلی‌متر، شکل ۷-ج)، خودشکل (۰/۳ تا ۲ میلی‌متر شکل ۷-چ)، بی‌شکل در رگچه‌ها (ضخامت ۰/۱ تا ۰/۳ میلی‌متر شکل ۷-ح)، جانشین‌ریخ با کانی‌های بیوتیت و سرپیسیت، دوده‌ای خاکستری (sooty pyrite) (شکل ۷-ت) و نیز تجمعات دانه‌ریز پیریت (شکل ۷-خ) دیده می‌شود.

از کانی‌های مهم آن کوارتز (شکل ۶-ب)، کمتر کلسدونی (شکل ۶-پ)، پیریت و آلکالی فلدسپار می‌باشد. کوارتز اغلب به صورت‌های دانه‌درشت، دانه‌ریز و کمتر کریپتوکریستالین به صورت لکه‌ای، رگه-رگچه و کمتر شانهای (شکل ۶-ت) دیده می‌شود.

دگرسانی تورمالینی با گسترش محدود و عمدتاً در مرکز و جنوب‌خاور منطقه و با رنگ تیره در رگه‌های برش تورمالین (شکل ۳-پ)، و همچنین در زمینه داسیت پورفیری و برش داسیتی دیده می‌شود. گاهی این دگرسانی به دلیل میزبانی طلا اهمیت پیدا می‌کند. کانی‌های سازنده آن تورمالین، کوارتز حفره‌دار و پیریت می‌باشد. تورمالین به صورت‌های درشت‌بلور (۳/۵ میلی‌متر)، متوسط بلور (۲ میلی‌متر) و شعاعی و خورشیدی شکل (از ۰/۵ تا ۱/۵ میلی‌متر) در زمینه سنگ و در رگه-رگچه تشکیل شده است. دانه‌های تورمالین رنگ‌های سبز کم‌رنگ تا زرد کم‌رنگ، و زرد تا قهوه‌ای نشان می‌دهند. تجمعات شعاعی همراه با رگچه‌های کوارتز بوده (شکل ۶-ث) و جانشین‌ریخ کانی هورنبلند و مافیک توسط تورمالین در زمینه دیده می‌شود. تورمالین‌های زمینه در خاور منطقه دیده می‌شود درحالی‌که تورمالین‌های رگچه‌ای در جنوب‌خاور پهله پرعیار طلا رخنمون دارند.

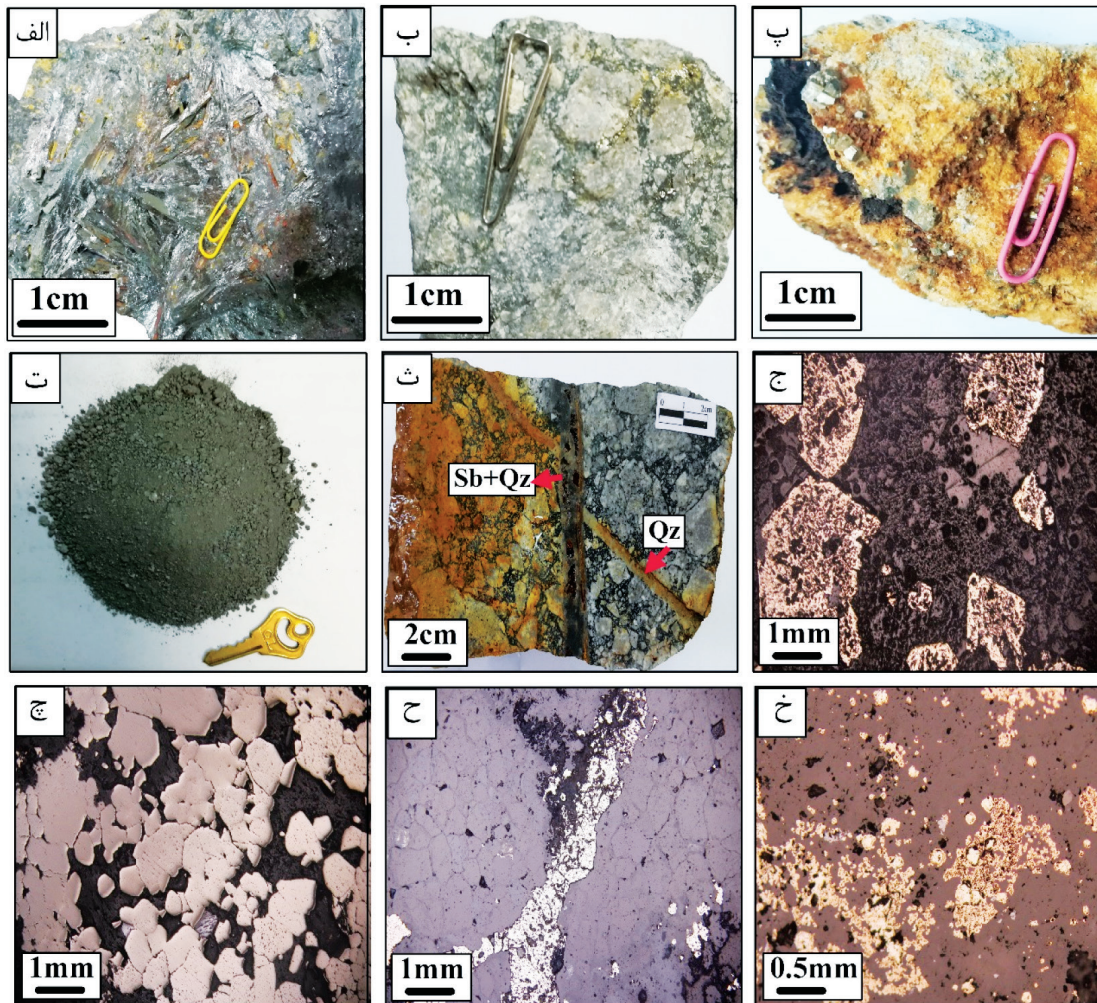
دگرسانی آرژیلیک به صورت رخنمون‌های متعدد و پراکنده در منطقه و در افق‌های سطحی برونزد خوبی دارد و تفکیک آن از دگرسانی حاصل از هوازدگی دشوار می‌باشد. در نمونه‌برداری سطحی که در گذشته انجام گرفته بود به حضور کانی‌های آلونیت و کائولینیت در زون آرژیلیک اشاره شده است (راستاد و همکاران، ۱۳۷۹)، درحالی‌که در منطقه معدنی داشکسن، دگرسانی حاصل از هوازدگی که در اثر اکسید شدن پیریت‌ها در پهله فیلیک شکل گرفته است، به صورت محلی تا عمق تقریبی ۳۰۰ متر (Richards et al., 2006) گسترش دارد. به‌منظور شناسایی کانی‌ها، چهار نمونه از افق‌های مختلف از پیشکار (شکل ۲-الف) برداشت گردید. نتایج طیف پراش اشعه ایکس (XRD) حضور فازهای کانیایی کائولینیت، آلبیت دما بالا، کوارتز، هیدروبیوتیت، مسکویت و زئولیت (لامونیت و هیولاندیت) همراه با ژاروسیت، لیمونیت و



شکل ۶. تصاویر میکروسکوپی از نواحی دگرسانی داشکسن (XPL). الف) دگرسانی فیلیک با حضور فراوان سربیسیت بر روی فلدسپار، کوارتز و پیریت اسفنجی در زمینه به‌آسانی قابل شناسایی است، ب) دگرسانی سیلیسی همراه با بلورهای کوارتز با اندازه‌های مختلف، پ) کلسدونی به‌صورت تاخیری بر روی بلورهای کوارتز نهشته شده است، ت) کوارتز با بافت شانه‌ای دگرسانی فیلیک را قطع می‌کند، ث) دگرسانی تورمالینی با تورمالین‌های متوسط بلور و کوارتز حفره‌دار همراه شده است، ج) دگرسانی پروپلیتیک ضعیف که با کلریت و اپیدوت همراه شده است (Chl= chlorite, Chc= chalcedony, Ep= epidote, Pl= plagioclase, Ser= sericite, Tur= tourmaline, Qz= quartz)

در زمینه سنگ مشاهده می‌شوند و مطالعات پروب انجام گرفته نشان می‌دهد فاقد کانی‌سازی طلا هستند (مرادی، ۱۳۹۷) (شکل ۶-الف). پیریت‌های خودشکل به‌صورت پراکنده در دو مرحله زمانی حضور دارند، در مراحل ابتدایی‌تر همراه با کالکوپیریت، گالن، تورمالین و کوارتزهای دانه‌درشت تا دانه‌متوسط حفره‌دار (شکل ۶-ث) و در مراحل نهایی همراه با استیبینیت (شکل ۷-الف)، اورپیمنت، الگار و کوارتزهای دانه‌درشت شانه‌ای دیده می‌شود. عمده کانی‌سازی استیبینیت

در مطالعات گذشته از داشکسن، تجمعات دانه‌ریز پیریت به پیریت‌های فرامبوئیدال (راستاد و همکاران، ۱۳۷۹) و یا دوده‌ای (Richards et al., 2006) منسوب شده است. طلا عمدتاً به‌صورت محلول جامد با تجمع‌های پیریت، پیریت‌های دوده‌ای، پیریت‌های خودشکل سالم و نیز به‌صورت آزاد وجود دارد. پیریت‌های اسفنجی قدیمی‌ترین نسل پیریت بوده و ادخال‌هایی از کالکوپیریت و کوولیت دارند و به‌صورت دانه‌پراکنده در زمینه‌ای از سربیسیت و کوارتز دانه‌ریز تا متوسط



شکل ۷. نمونه‌های دستی و تصاویر میکروسکوپی کانی‌سازی داشکسن. الف) بلورهای کشیده استیبینیت همراه با دانه‌های پراکنده اورپیمنت و رآلگار، ب) رگچه‌های استوکورک پیریت که در زمینه برش داسیتی مشاهده می‌شود، پ) پیریت‌های دانه‌درشت پراکنده (اندازه دانه‌ها به ۹ میلی‌متر می‌رسد)، ت) پیریت دوده‌ای، ث) رگه استیبینیت (به‌صورت عمودی) رگه مایل کوارتز را در زمینه برش داسیتی قطع کرده است، ج) پیریت‌های اسفنجی، چ) پیریت‌های خودشکل سالم، ح) رگچه پیریت در میزان داسیت پورفیری، خ) تجمع‌های دانه‌ریز پیریت. (Sb= stibnite, Qz= quartz)

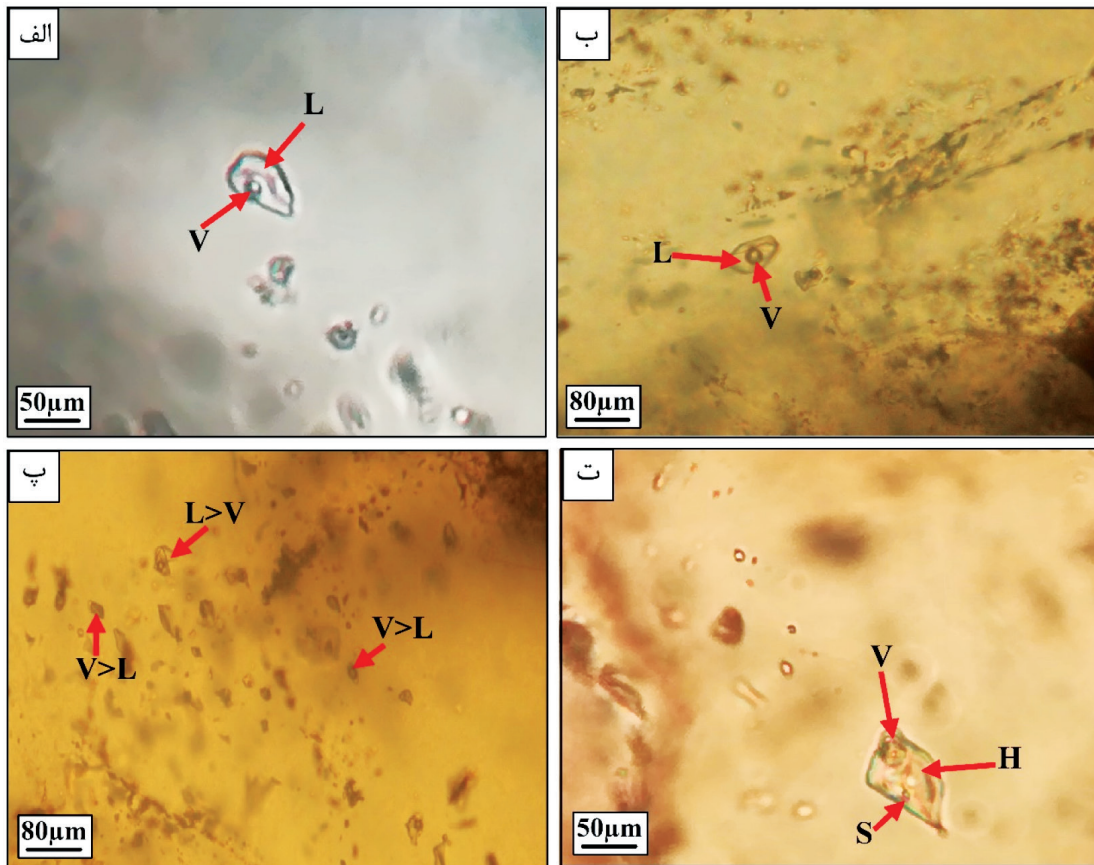
نشان از حضور دو نوع میانبار سیال اولیه و ثانویه دارد که در این پژوهش میانبارهای اولیه اندازه‌گیری شدند. میانبارها به‌صورت پراکنده و گاهی تجمعی دیده می‌شوند و اندازه آنها متوسط تا درشت (۵ تا ۷۰ میکرون) می‌باشد (شکل ۸). میانبارهای مشاهده شده به شکل‌های چندضلعی، سه‌گوش، بیضی، کشیده، میله‌ای، نامنظم و بی‌شکل و از نوع دوفازی و کمتر سه‌فازی و بندرت تک فازی هستند، هرچند بندرت میانبار با شکل منفی بلور در کوارتزهای همراه با تورمالین نیز دیده می‌شود. آن‌ها در دمای اتاق در گروه‌های زیر رده‌بندی می‌شوند: ۱) دوفازی‌های آبگین غنی از مایع ($L > V$) که ۵

و گالن در خاور (منطقه آق‌داغ) گسترش یافته‌اند. کانی‌های باطله اصلی همراه پیریت شامل سرسیت (۳۰-۸۰ درصد)، کوارتز (۲۰-۳۰ درصد)، کمتر کلسدونی، کربنات و تورمالین (۳۰-۱۰ درصد) می‌باشند.

میانبارهای سیال

به‌منظور بررسی میانبارهای سیال، مقاطع دوبرصیقل از انواع مختلف کوارتز در رگچه‌های کوارتز-پیریت خودشکل، کوارتز-تورمالین، کوارتز-پیریت دانه‌ریز و کوارتز-استیبینیت مورد مطالعه قرار گرفتند (جدول ۱). مطالعات پتروگرافی

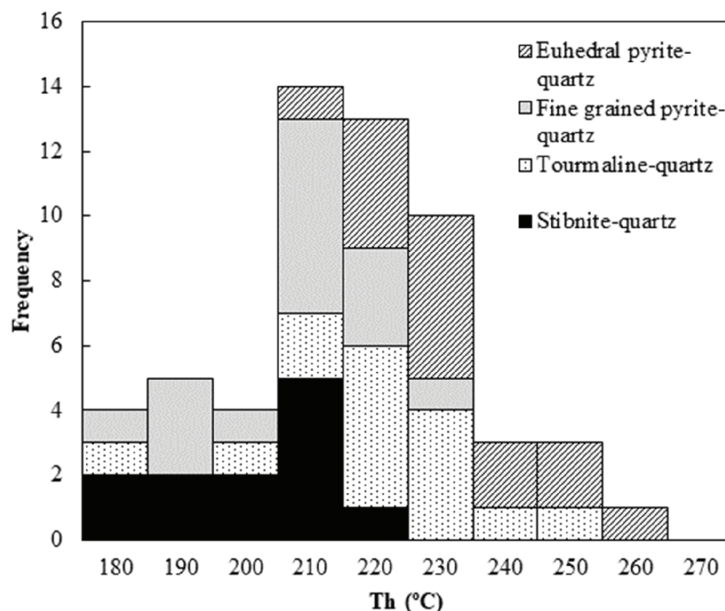
درصد حجمی آن از گاز پر شده است و فراوان‌ترین نوع مشاهده شده هستند (شکل ۸-الف). (۲) دوفازی‌های آبگین غنی از مایع ($L > V$) که ۲۰ درصد حجمی آن از گاز پر شده است (شکل ۸-ب). (۳) دو فازی‌های غنی از گاز ($L < V$)، (شکل ۸-پ). (۴) به‌ندرت سه فازی‌های هالیت‌دار همراه با حباب گاز ($L+S+V$) که به علت تعداد خیلی اندک از اندازه‌گیری آنها صرف نظر شد. (۵) بندرت سه فازی‌های هالیت‌دار همراه با کانی دختر و حباب گاز ($L+S+V$) (شکل ۸-ت).



شکل ۸. تصاویر میکروسکوپی از میانبارهای سیال با شکل و اندازه‌های متنوع از کانسار طلای داشکسن. همه تصویرها در محیط اتاق عکس‌برداری شده‌اند. الف) میانبار غنی از مایع (۵ درصد از گاز پر شده است) در رگه کوارتز استیبنیت، ب) میانبار دوفازی غنی از مایع (۲۰٪ از گاز پر شده است) از کانی کوارتز در رگه کوارتز پیریت دانه‌ریز، پ) میانبارهای نوع ۱، ۲ و ۳ در کنار هم در رگه کوارتز تورمالین، ت) میانبار نوع ۵ شامل هالیت (H)، گاز (V) و کانی نوزاد (S) در رگه کوارتز پیریت خودشکل همراه با میانبار نوع ۱

جدول ۱. خلاصه داده‌های مطالعات ریز دماسنجی میانبارهای سیال دوفازی کوارتز در کانسار طلای داشکسن (Te): دمای ذوب اولین تکه یخ، Tm ice: دمای ذوب آخرین تکه یخ، TH: دمای همگن‌شدن و Salinity: میزان شوری)

Type of vein	Te (°C)		Tm ice (°C)		Th (°C)		Salinity (wt% NaCl eq.)
	n	Rang	n	Rang	n	Rang	
Quartz-euhedral pyrite	۱۵	-۱۲ to -۱۳/۲	۱۵	-۵۲/۲ to -۵۳/۵	۱۵	۲۱۹ to ۲۶۰	۱۵/۹۵ to ۱۷/۰۶
Quartz-tourmaline	۱۵	-۱۲ to -۱۲/۹	۱۲	-۵۲/۶ to -۵۳/۶	۱۵	۱۸۹ to ۲۵۰	۱۵/۹۵ to ۱۶/۷۹
Quartz-fine grained pyrite	۱۵	-۱۳/۲ to -۱۴/۲	۱۵	-۵۵ to -۵۵/۷	۱۵	۱۸۷ to ۲۳۷	۱۷/۰۶ to ۱۷/۹۴
Quartz-stibnite	۱۲	-۱۲/۳ to -۱۳/۲	۱۲	-۵۲/۶ to -۵۳/۷	۱۲	۱۸۳ to ۲۲۶	۱۶/۲۴ to ۱۷/۰۶



شکل ۹. نمودارهای فراوانی دمای همگن‌شدگی میانبارهای سیال در نمونه‌های کوارتز از مراحل مختلف کانی‌سازی در کانسار طلای داشکسن

تورمالین ۰/۹۴ تا ۱/۰ g/cm^3 ، کوارتز-پیریت دانه‌ریز ۰/۹۶ تا ۱/۰۱ g/cm^3 و کوارتز-استینیت ۰/۹۷ تا ۱/۰۱۵ g/cm^3 می‌باشد. کاهش دمای همگن شدن میانبارهای موجود در کوارتز طی توالی حضور کانی‌های سریسیت، تورمالین، پیریت و استینیت با کاهش چگالی همراه بوده است و یک روند خطی نشان می‌دهد (شکل ۱۰). به عبارتی پدیده افزایش چگالی با کاهش دما می‌تواند تحت تاثیر پدیده جوشش سبب تشکیل سیالی با چگالی بالاتر شود. در نمودار دما در مقابل شوری میان بارها روند خطی (Shepherd et al., 1985) به سمت کاهش دما نشان می‌دهند که می‌توانند به سرد شدن سیال در بازه زمانی کوتاه اشاره داشته باشند (شکل ۱۱).

ایزوتوپ‌های اکسیژن و هیدروژن

مطالعات ایزوتوپ پایدار اطلاعاتی از منشأ، شیمی محلول، انتقال و محل ذخیره سیالات کانسار ساز و حتی دمای تشکیل کانی‌سازی را نشان می‌دهد (Hoefs, 2015). در این رابطه ایزوتوپ‌های اکسیژن و هیدروژن نمایشگرهای مهمی از ویژگی و تکامل سیال کانه‌ساز می‌باشند (Chen et al., 2009; Taylor, 1971). نمونه‌هایی از کوارتز همراه پیریت‌های اسفنجی/خودشکل و تورمالین مرتبط با کانی‌سازی طلای داشکسن به‌منظور بررسی منشأ

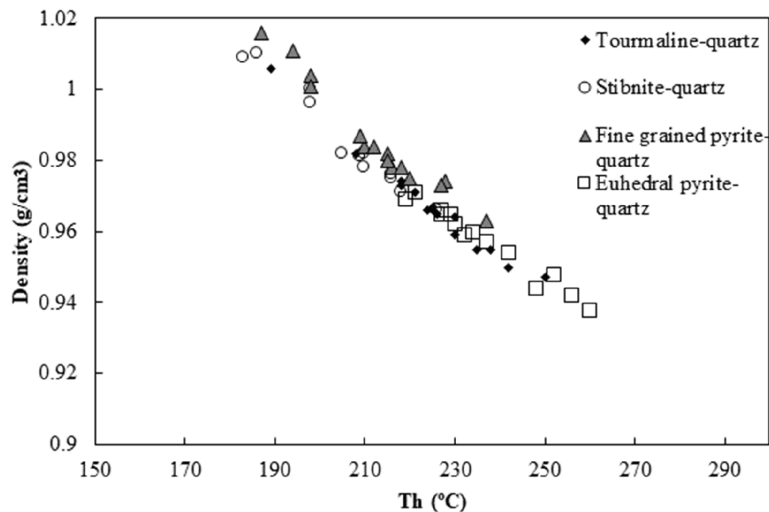
کوارتز-پیریت خودشکل: میانبارها به صورت دوفازی آبگین نوع ۲ و سه‌فازی نوع ۴ و ۵ هستند. بالاترین دمای همگن شدن (TH) در این نوع کوارتز اندازه‌گیری شده است (شکل‌های ۹ و ۱۰).

کوارتز-تورمالین: میانبارهای اولیه و ثانویه به‌وفور در آن وجود دارد و اندازه آن‌ها ۲۰ تا ۷۰ میکرون متغیر می‌باشد. در آن میانبارهای دوفازی نوع ۱، ۲ و ۳ به‌طور هم‌زمان با سه‌فازی نوع ۴ دیده می‌شود. در میانبار دوفازی نوع ۱ بندرت کانی نوزاد قابل مشاهده هست.

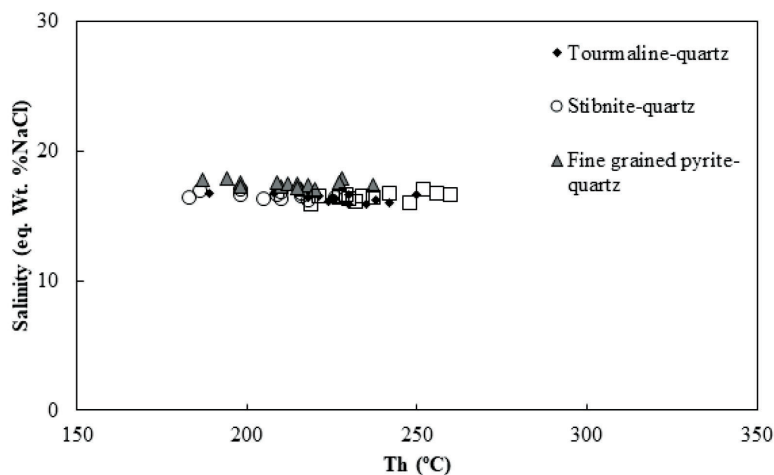
کوارتز-استینیت: عمدتاً میانبارهای دوفازی نوع ۱ و ۲ و بندرت نوع ۳ در آن دیده می‌شود که پس از همگن شدن به فاز مایع تبدیل می‌شوند و اندازه ۵ تا ۵۰ میکرون متغیر می‌باشند. کمترین دمای همگن شدن و چگالی در این میانبارها اندازه‌گیری شده است (شکل‌های ۹ و ۱۰).

کوارتز-پیریت دانه‌ریز: برعکس میانبارهای ثانویه، میانبارهای اولیه به‌وفور در آن مشاهده می‌گردد. از لحاظ شکل ظاهری درشت (۵ تا ۶۰ میکرون) و اغلب دوفازی آبگین از نوع ۱ و ۲ هستند.

چگالی میانبارهای دوفازی موجود در کوارتز به کمک نرم‌افزار Flincor محاسبه گردید. چگالی محاسبه شده در کوارتز-پیریت خودشکل ۰/۹۳ تا ۰/۹۷ g/cm^3 ، در کوارتز-



شکل ۱۰. نمودار دمای همگن شدگی در مقابل چگالی میانبارهای دو فازی اندازه‌گیری شده در کانسار طلای داشکسن



شکل ۱۱. نمودار شوری در مقابل دمای همگن شدگی میانبارهای سیال، از مراحل مختلف کانی‌سازی در کانسار طلای داشکسن

درحالی‌که مقادیر ایزوتوپ اکسیژن برای میانبارهای تورمالین بین ۸/۵ تا ۱۲/۳ پرمیل با میانگین ۱۰/۷ پرمیل می‌باشد (شکل ۱۲). به عبارتی مقدار ایزوتوپ اکسیژن از کوارتز به سمت تورمالین افزایش اندکی دارد.

به‌منظور مقایسه، میانگین مقادیر ایزوتوپ اکسیژن کانسارهای طلای اپی‌ترمال ترکیه در نوع عمیق (کانسار Ulu Dere) و در نوع سطحی (کانسار Kara) به ترتیب ۷/۵ و ۲ پرمیل می‌باشد (Yilmaz et al., 2010) که می‌تواند شاخصی برای اکتشاف طلا نیز در نظر گرفته شود. مقادیر اندازه‌گیری شده ایزوتوپ هیدروژن (δD_{H_2O}) میانبارهای سیال استخراج شده از کوارتز در منطقه داشکسن بین

ایزوتوپی سیال انتخاب گردیدند. اندازه‌گیری ایزوتوپ‌ها در جدول ۲ آمده است و مقادیر ایزوتوپی اکسیژن کانی کوارتز بر مبنای (Kotzer et al., 1993) در دمای میانگین ۲۳۵ درجه سانتی‌گراد به‌دست‌آمده از مطالعات ریزدماسنجی این پژوهش، با معادله زیر

$$10^3 \ln \alpha_{\text{Quartz/Water}} = D(10^6)/T^2 + E(10^3)/T + F \quad (\text{Kotzer et al., 1993})$$

تصحیح شده است. مقادیر E، D، و F به ترتیب ۱/۰۰۰، ۰/۰۰۰ و ۰/۳۹۰ می‌باشد. مقادیر اندازه‌گیری شده ایزوتوپ اکسیژن ($\delta^{18}O_{H_2O}$) میانبارهای موجود در کانی کوارتز بین ۶/۶ تا ۹/۳ پرمیل با میانگین ۷/۸۵ پرمیل می‌باشد

بحث

کمپلکس‌های انتقال‌دهنده و ته‌نشست طلا

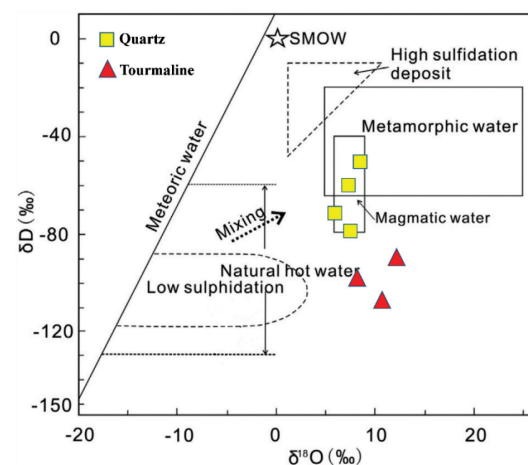
طبق بررسی‌ها، کمپلکس‌های بی‌سولفیدی (سیال کاهنده) و کلریدی (سیال اکسیدی) مهم‌ترین مکانیسم‌های انتقال‌دهنده طلا در سامانه‌های گرمایی هستند (Hayashi؛ Shenberger and Barnes, 1989؛ Benning and Seward, 1991؛ and Ohmoto, 1996؛ Pal'yanova, 2008). بر این اساس، کمپلکس بی‌سولفیدی انتقال‌دهنده طلا در سامانه گرمایی با شوری پایین، $\log fO_2$ پایین و pH متغیر، حمل می‌شود. ترکیب بی‌سولفیدی $Au(HS)_2^-$ به‌عنوان یک کمپلکس مهم در شرایط pH نزدیک به خنثی تا اسیدی ضعیف در محلول‌های سولفیدی احیایی دما پایین است (Shenberger and Barnes, 1989؛ Benning and Seward, 1996). درحالی‌که ترکیبات $AuHSO_4^-$ و $HAu(HS)_2^-$ در شرایط pH قلیایی پایدارترند (Benning and Seward, 1996). کمپلکس کلریدی $AuCl_2^-$ نیز در شرایط اسیدی، شوری و دمای بالا و سیال فقیر از H_2S ($\log fO_2$ نسبتاً بالا) غالب است (Pal'yanova, 2008).

کانسار طلای داشکسن مشابه بسیاری از رخدادهای طلای رگه‌ای گرمایی، از لحاظ شرایط دما و فشار، در ارتباط با توده‌های نیمه‌عمیق تا خروجی پهنه ماگمایی داشکسن-تکاب تشکیل شده است. شوری پایین تا متوسط، وجود سیالات آبدین (مقادیر ناچیز کربنیک)، pH خنثی تا قلیایی ضعیف و محتوای احیایی کانی‌ها (استینیت، سولفید آرسنیک، پیریت و آرسنوپیریت)، از خصوصیات بارز سیال کانه‌ساز در این نوع ذخایر است (Burruss, 1981؛ Mikucki, 1998؛ and Ridley, 1993؛ Mikucki, 1998). با توجه به وجود تورمالین، کائولینیت و سریسیت به‌عنوان باطله‌های اصلی همراه کانسنگ طلا در منطقه، می‌توان چنین استنباط کرد که pH سیال بین ۵ تا ۶ متغیر است (Yoo, 2000؛ Yoo et al., 2010). با توجه به عدم رخداد کانی‌های اکسیدی نظیر همتایت و عدم حضور ترکیبات تلوریوم و بیسموت‌دار، حاکی از ترکیب احیایی سیال گرمایی کانه‌ساز در منطقه داشکسن است. علاوه بر آن، در کانسار داشکسن، به دلیل

۵۱- تا ۸۱- پرمیل با میانگین ۶۷- پرمیل و از تورمالین بین ۹۳- تا ۱۱۱- پرمیل با میانگین ۱۰۳- پرمیل اندازه‌گیری شدند. در نمودار تغییرات دلتای اکسیژن در مقابل هیدروژن، نمونه‌های کوارتز-پیریت در پنجره ماگمایی و تورمالین در واکنش با آب‌های جوی قرار می‌گیرند، هرچند دو نمونه از میانبارهای کوارتز در لبه پنجره ماگمایی دیده می‌شود (شکل ۱۲). بدین ترتیب کوارتز-پیریت اسفنجی در دگرسانی فلیک، منشأ ماگمایی و نمونه‌های کوارتز-پیریت خودشکل در لبه پنجره (شکل ۱۲) قرار گرفته‌اند و حضور اندکی آب جوی همراه با آب ماگمایی نشان می‌دهند. بر روی نمودار، نقاط ایزوتوپی قرار گرفته از کوارتز و تورمالین یک روند نزولی نشان می‌دهند (شکل ۱۲) که به‌طور کلی می‌تواند به اختلاط با آب‌های جوی اشاره کند.

جدول ۲. ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن و هیدروژن کوارتز در کانسار طلای داشکسن. *مقادیر اکسیژن تصحیح شده است

Sample no.	Minerals	* $\delta^{18}O_{\text{mineral}}$	$\delta^{18}O_{\text{fluid}}$	δD_{fluid}
DK-Qz01	quartz	13.54	9.3	-51
DK-Qz02	quartz	12.0	7.7	-63
DK-Qz03	quartz	11.26	6.6	-73
DK-Qz04	quartz	12.14	7.8	-81
DK-BR11	tourmaline	15.41	8.5	-102
DK-BR21	tourmaline	18.26	11.3	-111
DK-BR22	tourmaline	19.21	12.3	-93



شکل ۱۲. مقادیر ایزوتوپ اکسیژن در مقابل هیدروژن سیالات کانسارساز در کانسار طلای داشکسن. پنجره‌های ایزوتوپی مربوط به محدوده‌های ماگمایی، دگرگونی و SMOW می‌باشد. موقعیت کانسارهای طلا از نوع سولفید پایین و بالا در نمودار اضافه شده است (با تغییراتی از Hedenquist and Lowenstern, 1994)

است (بهارفیزی و همکاران، ۱۳۹۴). در محدوده کانسار طلای داشکسن گسل‌ها کنترل‌کننده‌های ساختاری مهمی هستند که بیشتر از نوع گسل‌های با روند شمال‌خاوری-جنوب‌باختری تا شمالی-جنوبی با شیب زیاد هستند. این روند با روند رگه‌های کوارتز-تورمالین هماهنگی دارد. همچنین روند به‌دست‌آمده مشابه روندهای مطالعه شده در سایر کانسارهای طلای ناحیه تکاب می‌باشد (بهارفیزی و همکاران، ۱۳۹۴). مشخصات هندسی و جنیشی این صفحات گسلی نشان‌دهنده حرکت امتدادلغز راستگرد همراه با مولفه کششی بوده که گویای حاکم بودن حرکات برشی راستگرد در محدوده کانسار طلای داشکسن است.

جایگیری سنگ‌های آذرین در پهنه ماگمایی داشکسن-تکاب در دو چرخه رخ داده است. چرخه اول از سنگ‌های اسیدی آلکان و ساب‌آلکان (پتاسیم بالا) نئوزن (میوسن) تشکیل شده است که غالباً به‌صورت گنبد تظاهر دارند درحالی‌که چرخه دوم مربوط به آتشفشانی‌های مافیک کواترنری (پلیوستوسن) است که به‌صورت تحت اشباع و بیشتر پتاسیک نمود پیدا کرده‌اند (Richards et al., 2006). کانسارهای بزرگ طلای دنیا در کلرادو، چین و نیومکزیکو با سنگ‌های آلکان همراه شده‌اند و مطالعه روی سیال‌های هیدروترمالی این نوع کانسارها، ارتباط ژنتیکی آنها را با توده‌های نفوذی تایید کرده است (Lottermoser, 2014; Hou, 1990). مهم‌ترین عامل در شکل‌گیری ذخایر اقتصادی طلا، جایگیری نزدیک سطح ماگماهای آلکان آبدار، تا حدودی اکسیدی و غنی از عناصر هالوژن (F و Cl) است (Kelley and Ludington, 2002). کانسار طلای داشکسن در مجموعه آتشفشانی-نیمه‌نفوذی (استراتولکان) اسیدی/حدواسط آلکان تا ساب‌آلکان با سن میوسن میانی مشاهده می‌شود. حضور فازهای آبدار مانند بیوتیت و هورنبلند در سنگ‌های آذرین داشکسن، شاهدهی برای محتوای بالای آب قابل حل در ماگما و فاز دارای Fe^{+3} مانند مگنتیت، اکسیداسیون بالا را نشان می‌دهد. مجموعه سنگی کانسار طلای داشکسن، توسط دو نوع برش حلقوی و رگه‌ای قطع شده است. برش حلقوی از نوع مار-دیاترم و برش رگه‌ای از نوع گرمایی می‌باشد. رژیم تکتونیکی کششی

همراهی پارازنتیکی طلا با کانه‌های پیریت و استینیت، شوری متوسط تا پایین سیال کانه‌دار، مجموعه دگرسانی سریسیت-آرژلیک و مقادیر ناچیز کانی‌های سولفیدی گالن و اسفالریت، نقش کمپلکس‌های بی‌سولفیدی $Au(HS)_2^-$ در انتقال طلا را قوی‌تر می‌نماید. تغییرات pH سیال منجر به تشکیل دگرسانی کائولینیت-سریسیت همراه با افزایش مقادیر یون H^+ به سیال گرمایی در حال چرخش شده، درحالی‌که ته‌نشینی کانی‌های کربناته ناشی از حذف CO_2 از ترکیب سیال کانه‌ساز می‌شود (Buchholz et al., 1998). مطالعات نشان می‌دهد رخداد جوشش ناشی از تغییرات فشار در راستای پهنه‌های برشی شکنا (وجود کانسنگ برشی حاوی طلا و تورمالین) و فرآیند سولفیدی شدن (مانند تشکیل هاله پیریتی) در سنگ دیواره، به‌طور معمول منجر به افزایش میزان pH و $logfO_2$ و کاهش $logfS_2$ می‌شود. این تغییرات موجب ته‌نشینی طلا در رگه‌های کوارتزی و هاله‌های دگرسانی سنگ دیواره (زون شسته شده) می‌گردد.

شرایط ژئودینامیک تشکیل ذخیره

تعیین ارتباط زمانی و مکانی کانه‌زایی با وقایع زمین‌ساختاری، دگرگونی و ماگمایی در یک ذخیره نقش موثری در دستیابی به خاستگاه و شرایط تشکیل کانسار خواهد داشت (Yang et al., 2003). ذخایر طلا با توجه به محیط تشکیل و رخداد در سطوح متفاوت پوسته به ذخایر نوع اپی‌ترمال (عمق کمتر از ۲ کیلومتر)، مزوترمال (عمق ۲ تا ۳ کیلومتر)، مرتبط با توده‌های نفوذی، هاله‌های حرارتی و نوع کوهزایی (عمق بیش از ۳ کیلومتر)، تقسیم می‌شوند (Lang and Baker, 2001; Wall, 2005; Groves et al., 2005). از نگاه ساختاری، پهنه داشکسن-تکاب طی فازهای کوهزایی میوسن میانی تاکنون از سمت جنوب‌باختری تحت تاثیر تنش‌هایی با روند شمال‌خاوری قرار گرفته و بنابراین کنترل‌کننده‌های ساختاری نقش مهمی در جایگیری سنگ‌های آذرین داشته‌اند. در مجموع دو دسته گسل راستالغز در شمال باختر ایران چیرگی دارند که عبارتند از گسل‌های راستگرد با روند شمال‌باختری-جنوب‌خاوری و گسل‌های چپگرد با روندهای شمال‌خاوری-جنوب‌باختری. سوی تنش در محل برخورد این گسل‌ها سبب ایجاد شرایط کشش و یا فشارش در این ناحیه شده

منشأ سیال کانه‌ساز

دستیابی به ترکیب و منشأ سیال کانه‌ساز نقش مهمی در تعیین خصوصیات ژنتیکی کانسار خواهد داشت؛ که بر این مبنای، خصوصیات میکروترموتری میانبارهای سیال و ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن-هیدروژن در ترکیب کانی‌های باطله همراه کانه‌سازی از بهترین شواهد برای دستیابی به این موضوع هستند. دمای اندازه‌گیری شده از میانبارهای سیال کوارتز در محدوده‌ی دمایی ۱۸۳ تا ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد، قرار دارند. همراهی میانبارهای غنی از بخار (نوع ۳) با غنی از مایع (نوع ۱) به صورت یک اجتماع میانباری هم‌زمان (Fluid Inclusion Assemblage)، و افزایش چگالی هم‌زمان با کاهش دمای سیال می‌تواند اهمیت نقش جوشش در تهنشست طلا را نشان دهد. علیرغم دمای نسبتاً پایین رگه‌های کوارتز، شوری نسبتاً بالای میانبارهای سیال منطقه داشکسن (۱۵ تا ۱۷ درصد وزنی نمک طعام) می‌تواند به اختلاط با آب‌های جوی ارتباط داشته باشد. بر پایه مطالعات ایزوتوپی انجام گرفته در محدوده‌ی دمایی بالا، مقادیر بالای ایزوتوپ اکسیژن (Cooke et al., 2011) کوارتز و تورمالین (۶/۶ تا ۱۲/۳ پرمیل) به حضور سیالات ماگمایی اشاره دارد. نتایج نسبت ایزوتوپی هیدروژن در کوارتز، منشأ ماگمایی سیال کانسار ساز را نشان می‌دهد درحالی‌که کاهش مشخص دوتریم در تورمالین و فاصله آن از خط شیب‌دار آب جوی، به بازبودن احتمالی سیستم ماگمایی مربوط است که می‌تواند ناشی از عملکرد آب‌های جوی با میزان دوتریم پایین باشد. به عبارتی می‌تواند به اختلاط کم سیال ماگمایی با آب‌های زیرزمینی اشاره کند که البته با نتایج ریزدماسنجی نیز سازگاری دارد.

نتیجه‌گیری

در منطقه طلای داشکسن، شکل‌گیری حلقوی برش دیاترم بعد از نفوذ توده‌های نیمه‌عمیق آلکان میوسن میانی، به نظر می‌رسد در ارتباط با ریزش یکی از دیواره‌های دهانه اصلی صورت گرفته است و حاصل انفجار در یک سامانه باز می‌باشد به طوری‌که با باز شدن شکافی با راستای شمال‌خاور-جنوب‌باختر، سیالات ماگما با آب‌های زیرزمینی برخورد و

در منطقه داشکسن سبب جایگیری برش دیاترم پس از تشکیل توده‌های پورفیری نیمه‌عمیق در منطقه داشکسن شده است و معبر مناسب برای جایگیری‌های بعدی رگه‌های کانه‌ساز را در منطقه فراهم نموده است. دیاترم‌ها اغلب در سیستم‌های پورفیری و گرمابی متوسط-سولفید دیده می‌شود و به شکل منافذ و شکاف‌های آتشفشانی هستند که با گسترش وسیعی و به صورت انفجاری از واکنش بین آب و ماگما شکل می‌گیرند (Sillitoe and Hedenquist, 2003; Davies et al., 2008; Sillitoe, 2010). با توجه به نقشه زمین‌شناسی و مورفولوژی منطقه داشکسن، به نظر می‌رسد یک طرف دیواره دهانه اصلی آتشفشانی به دلایلی همچون زلزله یا انفجار مهیب فرو ریخته شده که در کارهای قبلی به آن اشاره نشده است. این واژگونی سبب ایجاد برش دیاترم شده است که تا اعماق در گمانه‌ها گزارش شده است و سبب دگرسان شدن زمینه برش شده است. دگرسانی در منطقه انواع گوناگونی دارد و شامل فیلیک، سیلیسی، تورمالینی، آرژیلیک و کمتر پروپلیتیک می‌باشد. دگرسانی فیلیک که با وسعت زیادی در منطقه داشکسن رخنمون دارد کمتر از یک میلیون سال بعد از سنگ میزبان، شکل گرفته است (Richards et al., 2006). الگوی توزیع دگرسانی فیلیک در منطقه داشکسن، شباهت زیادی با کانسارهای پورفیری دارد (Simmons et al., 2005; Giggenbach, 1992)، درحالی‌که ژئولیت‌های شاخص سیستم‌های ژئوترمال دما بالا، در پهنه آرژیلیک آن حضور دارند. وسعت اندک پروپلیتیک از دیگر ویژگی‌های دگرسانی در این منطقه می‌باشد. مطالعات مرحله اصلی کانی‌سازی نشان می‌دهد این کانسار همانند کانسارهای گرمابی کم-سولفید از سولفیدهای فلزات پایه تا حدودی تهی شده است، درحالی‌که گاهی تا ۲۰ درصد حجمی سنگ از پیریت تشکیل شده است (شکل ۷-پ). وجود بافت‌های استوک‌ورک، دانه‌پراکنده در زمینه هر دو سنگ برشی و توده‌ی نیمه‌نفوذی داسیت‌پورفیری و حضور کوارتز حفره‌دار شباهت زیادی با کانسارهای پورفیری و گرمابی سولفید-زیاد دارد، درحالی‌که بافت‌های رگه، رگچه، شکافه پرکن و کوارتز شانه‌ای در کانسارهای گرمابی کم-سولفید مشاهده می‌شود.

سپاسگزاری

این پژوهش بخشی از پایان نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول می باشد که با استفاده از اعتبارات پژوهشی دانشگاه اصفهان انجام شده است که از معاونت پژوهشی دانشگاه اصفهان تقدردانی می شود. از شرکت معدنی زرکوه تهران به ویژه آقایان مهندس رضایی و خداویسی به خاطر فراهم نمودن دسترسی به محدوده معدنی طلای داشکسن صمیمانه سپاسگزاری می شود.

منابع

- اکبریور، م. ر.، ۱۳۷۰. نگرشی بر مطالعات زمین شناسی و معدنی در کانسار آنتیموان داشکسن و بهارلو ناحیه قره، گزارش داخلی اداره کل معادن و فلزات کردستان، ۷۳.
- بهار فیروزی، خ.، خاکزاد، ا.، نظری، ح. و امامی، م.، ۱۳۹۴. نقش ساختارهای تراکشی در جایگیری پهنه های سیلیسی طلا دار در جنوب باختر سیلان، شمال باختر ایران، علوم زمین، ۹۶، ۱۲۹-۱۴۰.
- خان نظر، ن. ه.، جلالی، ا.، سعیدی، ع.، هلمی، ف.، مهتات، ت.، بهره، م.، قائمی، ج.، ظهرا، ی. و هدادان، م.، ۱۳۹۴. نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کوهین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران.
- راستاد، ا.، نیرومند، ش. ا.، امامی، م. ه. و رشید نژاد عمران، ن. ا.، ۱۳۷۹. خاستگاه کانسار آنتیموان، آرسنیک و طلا در مجموعه ولکانوپلوتونیک داشکسن (خاور قره، استان کردستان)، علوم زمین، ۳۷-۳۸، ۲۳-۲۴.
- کیمیا قلم، ج.، ۱۳۶۴. گزارش اکتشافات ژئوفیزیکی معدن آنتیموان داشکسن-قره، سازمان زمین شناسی.
- لومار کانسار، ۱۳۷۲. بررسی زمین شناسی و تلفیق آن با اطلاعات اکتشافی ژئوفیزیکی و حفاری برای ارزیابی کانی سازی در کانسار آنتیموان داشکسن و بهارلو، ۲۴.
- مرادی، م.، ۱۳۹۷. بررسی کانی شناسی و توزیع ژئوشیمیایی طلا در کانسنگ های سولفیدی و اکسیدی کانسار داشکسن، شرق قره، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه اصفهان، ۱۴۰.
- معانی جو، م.، پوپنده، ن.، سپاهی گرو، ع. ا. و دادفر، ث.، ۱۳۹۳. نقشه برداری مناطق دگرسانی معدن طلای اپی ترمال داشکسن (ساری گونای). علوم زمین،

سیالات فراتوماگمایی^۱ به سطح زمین فوران می کنند. این انفجار سبب سقوط سنگ های بالایی دیواره می شود و برش دیاترم مونومیکت و پلی میکت با قطعات آذرین، آذرین- دگرگونی و دگرگونی را از سطح به طرف عمق می سازد. هم زمان با سرد شدن، در مرحله دوم کانی سازی، سیالات اسیدی و داغ ماگمایی در وسعت زیادی دگرسانی فیلیک را در زمینه برش همراه با پیریت های خود شکل، شکل داده اند. این در حالی است که قطعات برش قبلا دگرسان شده بودند و پیریت های اسفنجی در مرحله اول کانی سازی شکل گرفته بودند. این سیالات ماگمایی با آمیختگی بیشتری با آب های جوی سیالات گرمایی سازنده دگرسانی سیلیسی و تورمالینی را در نزدیکی معبر خروجی سیالات به وجود آورده اند که عیارهای بالای طلا را در تجمعات پیریت های دانه ریز در مرحله سوم کانی سازی، نشان می دهند. به عبارتی همه شواهد موجود در مطالعه حاضر، نشان دهنده این روند تغییر و تحول سیال با منشا ماگمایی به سوی گرمایی می باشد. به طور کلی سه مرحله تکاملی برای کانه سازی در منطقه داشکسن پیشنهاد می شود: کانه سازی در این ناحیه با یک سیستم طلای پورفیری در میان مجموعه سنگ های آلکالن تا ساب آلکالن شروع می شود. شواهد ایزوتوپی اکسیژن- هیدروژن تایید می کنند سیالات کانسار ساز یک منشا کاملاً ماگمایی داشته اند. مرحله میانی یا انتقالی از سامانه پورفیری به گرمایی کم-سولفید، با زمینه دگرسان شده برش، قابل تشخیص است. کوارتزهای این مرحله در نمودار ایزوتوپی در لبه پنجره ماگمایی قرار گرفته اند و تنها ورود مقدار محدودی آب جوی را در سامانه گرمایی نشان می دهند. با برداشته شدن فشار از روی سیستم، شرایط گرمایی در مرحله پایانی بوجود می آید. دما و شوری پایین میانبارهای سیال، همراه با شواهد ایزوتوپی، رقیق شدگی با آب جوی را در مرحله سوم نشان می دهد. از طرفی شرایط جوشش^۲ با تغییرات چگالی نسبت به دما به خوبی در مطالعات میانبارهای سیال این مرحله آشکار است.

1. Phreatomagmatic

2. Boiling

- magmatic-hydrothermal fluids and ore-forming processes in epithermal and porphyry deposits of the Baguio district. *Philippines Economic Geology*, 106, 1399-1424.
- Daliran, F., Hofstra, A., Walther, J., and Stuben, D., 2002. Agdarreh and Zarshuran SRHGD deposits, Takab region, NW-Iran [abs.]: *Geological Society of America Abstracts with Programs*, 34, 141.
 - Davies, A.G.S., Cooke, D.R., Gemmell, J.B. and Simpson, K.A., 2008. Diatreme breccias at the Kelian gold mine, Kalimantan, Indonesia: precursors to epithermal gold mineralization. *Economic Geology*, 103, 689-716.
 - Giggenbach, W.F., 1992. Magma degassing and mineral deposition in hydrothermal systems along convergent plate boundaries. *Economic Geology*, 87, 1927-1944.
 - Groves, D.I., Condie, K.C., Goldfarb, R.J., Hronsky J.M.A. and Vielreicher, R.M., 2005. Secular changes in global tectonic processes and their influence on the temporal distribution of gold-bearing mineral deposits. *Economic Geology*, 100, 203-224.
 - Hayashi, K. and Ohmoto, H., 1991. Solubility of gold in NaCl-and H₂S bearing aqueous solutions at 250-350°C. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 55, 2111-2126.
 - Hedenquist, J.W. and Lowenstern, J.B., 1994. The role of magmas in the formation of hydrothermal ore deposits. *Nature*, 370, 490-519.
 - Hedenquist, J.W., Arribas, A., Jr. and Gonzalez-Urein, E., 2000. Exploration for epithermal gold deposits. *Reviews in Economic Geology*, 13, 45-77.
 - Hou, W.R., Nie, F.J., Zhang, C.G., Xu, B., Li, W., Zhao, G.M. and Meng, J.J., 2014. ۹۵-۱۰۴.
 - معین‌وزیری، ح.، ۱۳۷۵. دیباچه‌ای بر ماگماتیسم ایران، دانشگاه تربیت‌معلم، ۴۴۰.
 - حیدری، س. م.، قادری، م. و کوهستانی، ح.، ۱۳۹۶. کانه زایی طلای اپی ترمال با میزبان رسوبی عربشاه، جنوب خاور تکاب، علوم زمین، ۱۰۵، ۲۸۲-۲۶۵.
 - عبدی، ق. ع.، ۱۳۷۵. بررسی پترولوژیکی سنگ‌های آتشفشانی شمال شرق قروه (کردستان)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه شهید بهشتی، ۱۹۸.
 - Asadi, H.H., Voncken, J.H.L. and Hale, M., 1999. Invisible gold at Zarshuran, Iran. *Economic Geology*, 94, 1367-1374.
 - Benning, L.G. and Seward, T.M., 1996. Hydrosulphide complexing of Au (I) in hydrothermal solutions from 150-400°C and 500-1500 bars. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 60, 1849-1871.
 - Burruss, R.C., 1981. Analysis of phase equilibria in C-O-H-S fluid inclusions. *Mineralogical Association of Canada, Short Course Handbook*, 6, 39-74.
 - Buchholz, P., Herzig, P., Friedrich, G. and Frei, R., 1998. Granite-hosted gold mineralisation in the Midlands greenstone belt: a new type of low-grade large scale gold deposit in Zimbabwe. *Mineralium Deposita*, 33, 437-460.
 - Chen, vY.J., Pirajno, F., Li, N., Guo, D.S. and Lai, Y., 2009. Isotope systematics and fluid inclusion studies of the Qiyugou breccia pipe-hosted gold deposit, Qinling Orogen, Henan province, China: Implications for ore genesis. *Ore Geology Reviews*, 35, 245-261.
 - Clayton, R.N. and Mayeda, T.K., 1963. The use of bromine pentafluoride in the extraction of oxygen from oxides and silicates for isotopic analysis. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 27, 43-52.
 - Cooke, D.R., Deyell, C.L., Waters, P.J., Gonzales, R.I. and Zaw, K., 2011. Evidence for

- Study on the geological characteristics and metallogeny of the Hadamengou gold deposit in Inner Mongolia. *Acta Geol. Sin.* 88, 1549-1661 (in Chinese with English abstract).
- Kelley, D. K. and Ludington, S., 2002. Cripple Creek and other alkaline-related gold deposits in the southern Rocky Mountains, USA: influence of regional tectonics. *Mineralium Deposita* 37, 38-60.
 - Hoefs, J., 2015. *Stable Isotope Geochemistry*, seventh edition, Springer International Publishing, Switzerland, 286.
 - Kotzer, T.G., Kyser, T.K., King, R.W. and Kerrich, R., 1993. An empirical oxygen-and hydrogen-isotope geothermometer for quartz-tourmaline and tourmaline-water. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 57, 3421-3426.
 - Kouhestani, H., Ghaderi, m., Zaw, K., Meffer, S. and Hashem Emami, M., 2012. Geological setting and timing of the Chah Zard breccia-hosted epithermal gold-silver deposit in the Tethyan belt of Iran. *Mineralium Deposite*, 47, 425-440.
 - Kyser, T.K. and Kerrich, R., 1991. Stable isotope geochemistry: A Tribute to Samuel Epstein, 409-422.
 - Lang, J.R. and Baker, T., 2001. Intrusion-related gold systems: the present level of understanding. *Mineralium Deposita*, 36, 477-489.
 - Lorenz, V., 1973. On the formation of maars: *Bulletin of Volcanology*, 37, 183-204.
 - Martin, U., Németh, K., Lorenz, V. and White, J.D.L., 2007. Introduction: Maar-diatreme volcanism: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 159, 1-3.
 - Lottermoser, B.G., 1990. Rare earth element and heavy-metal behaviour associated with the epithermal gold deposit on Lihir Island, Papua New Guinea. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 40, 269-289.
 - Mikucki, E.J., 1998. Hydrothermal transport and depositional processes in Archaean lode-gold systems: a review. *Ore Geology Reviews*, 13, 307-321.
 - Mikucki, E.J. and Ridley, J.R., 1993. The hydrothermal fluid of Archean lode-gold deposits at different metamorphic grades: compositional constraints from ore and wall rock alteration assemblages. *Mineralium Deposita*, 28, 469-481.
 - Mohajjel, M., Fergusson, C.L. and Sahanadi, M.R., 2003. Cretaceous-Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj-Sirjan zone, western Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 21, 397-412.
 - Okrugin, V.M., Andreeva, E.D., Kim, A.U., Moskaleva, S.V., Okrugina, A.M., Filosofova, T.M., Yablokova, D.A. and Kudaveva, S.S., 2015. Zeolites of the modern and paleo-hydrothermal systems on Kamchatka. *Proceedings World Geothermal Congress, Melbourne, Australia*, 19, 25.
 - Pal'yanova, G., 2008. Physicochemical modeling of the coupled behavior of gold and silver in hydrothermal processes: gold fineness, Au/Ag ratios and their possible implications. *Chemical Geology*, 255, 399-413.
 - Richards, J.P., Wilkinson, D. and Ullrich, T., 2006. Geology of the Sari Gunay Epithermal Deposit. *Economic Geology*, 101, 1455-1496.
 - Samimi, M., 1992. Reconnaissance and preliminary exploration in the Zarshuran area. *Kavoshgran Engineering Consultant, Tehran*, 47. (in Persian).
 - Shepherd, T.J., Rankin, A.H. and Alder-

- ton, D.H., 1985. A Practical Guide to Fluid Inclusion Studies. Blackie and Son Press, London, 239.
- Shenberger, D.M. and Barnes, H.L., 1989. Solubility of gold in aqueous sulphide solutions from 150 to 350°C. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 53, 269-278.
 - Sillitoe, R.H., 2010. Porphyry copper systems. *Economic Geology*, 105, 3-41.
 - Sillitoe, R.H. and Hedenquist, J.W., 2003. Linkages between Volcanotectonic Settings, Ore-Fluid Compositions, and Epithermal Precious Metal Deposits. *Economic Geology*, Special Publication, 10, 315-343.
 - Simmons, S.F., White, N.C. and John, D.A., 2005. Geological Characteristics of Epithermal Precious and Base Metal Deposits. *Economic Geology*, 100, 485-522.
 - Taylor, H.P., 1971. Oxygen isotope evidence for large-scale interaction between meteoric ground waters and Tertiary granodiorite intrusions, western Cascade Range, Oregon. *Journal of Geophysical Research*, 76, 7855-7874.
 - Wall, V.J., 2005. TAG: thermal aureole (pluton-related) gold systems. *Australian Institute of Geoscientists. Quarterly Newsletter*, 79, 1-7.
 - Wilkinson, D., 2005a. Geology and mineralization of the Sari Gunay gold deposit, Kord-istan province Iran. Open-File Report Rio-Tinto Mining and Exploration Ltd.
 - Wilkinson, D., 2005b. Report for Zar Kuh mining Company. 87 P. (Unpublished).
 - Yang, J., Wu, F. and S.A. Wilde, 2003. A review of the geodynamic setting of large-scale late Mesozoic gold mineralization in the North China Craton: an association with lithospheric thinning. *Ore Geology Reviews*, 23, 125-152.
 - Yilmaz, H., Oyman, T., Sonmez, F.N., Arehart, G.B. and Billor, Z., 2010. Intermediate sulfidation epithermal gold-base metal deposits in Tertiary subaerial volcanic rocks, Sahinli/Tespah Dere (Lapseki/ Western Turkey). *Ore Geology Reviews*, 37, 236-258.
 - Yoo, B.C., 2000. Mineralogy and geochemical study of some mesothermal gold-silver-bearing vein deposits in the Yugu-Kwangchun mine district, Republic of Korea. PhD thesis, Chungnam National University, p. 230.
 - Yoo, B.C., Lee, K.H. and White, C.N., 2010. Mineralogical, fluid inclusion, and stable isotope constraints on mechanisms of ore deposition at the Samgwang mine (Republic of Korea)- a mesothermal, vein-hosted gold-silver deposit. *Mineralium Deposita* published online, 45, 161-187.