

کانه‌زایی طلای اپی‌ترمال با سنگ میزبان کربناتی کاوند، جنوب‌غرب زنجان

نادیا پرتاک^۱ و مسعود علی‌پوراصل^{۲*}

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه پترولوژی و زمین‌شناسی اقتصادی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود
۲. استادیار، گروه پترولوژی و زمین‌شناسی اقتصادی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۸/۰۶

تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۲/۰۷

چکیده

محدوده کاوند در جنوب‌غرب زنجان و در بخش سلطانیه از پهنه ایران مرکزی قرار دارد. توالی‌های سنگی پرکامبرین‌پسین-کامبرین‌پیشین سنگ میزبان کان‌زایی هستند، در این میان بخش عمده کان‌زایی با سنگ‌های دولومیتی سازند سلطانیه همراه است. کان‌زایی به شکل‌های انبوه‌های، رگه-رگچه‌ای و پرشدگی فضاهای خالی کارستی مشاهده می‌شود. دگرسانی‌های اکسید آهنی، کربناتی و سیلیسی در منطقه غالب است. هماتیت، اسپکیولاریت، طلا، کالکوپیریت، پیریت، کالکوسیت، مالاکیت، آزوریت، گوتیت و لیمونیت کانی‌های معدنی، درحالی‌که کوارتز، باریت، کلسیت و دولومیت کانی‌های باطله کان‌زایی را تشکیل می‌دهند. آهن و طلا عناصر مهم کانساز در این منطقه هستند. مقدار متوسط آهن و طلا در کان‌زایی کاوند به ترتیب ۱۵/۷ درصد (بیشینه ۲۸/۴ درصد) و ۱/۳ گرم در تن (بیشینه ۱۴/۶ گرم در تن) است. داده‌های زمین‌شیمیایی همبستگی مثبت بالایی را میان طلا با نقره، آرسنیک، آنتیموان، مس، روی، کادمیم، و باریت نشان می‌دهد. مطالعات میان‌بارهای سیال بر روی کوارتز از نمونه‌هایی با همیافتی کانی‌شناسی کوارتز+سولفید+طلا و اکسیدهای آهن+باریت+کوارتز+طلا متوسط درجه حرارت ۲۷۷/۸۴ درجه‌سانتی‌گراد و شوری ۳/۶۷ درصد وزنی معادل نمک طعام را ثابت می‌کند. کان‌زایی با احتمال در فشار کمتر از ۲۰۰ اتمسفر و عمق بیش از ۷۰۰ متری تشکیل شده است. تجزیه میکروپروبی چندعنصری دانه‌های طلا از رسوبات بستر آبراه‌های نشان می‌دهد که در ترکیب طلای کاوند مقادیر طلا و نقره غالب است. مقایسه ترکیب شیمیایی ذرات طلای کاوند با آنهایی از انواع مختلف کانسارهای طلا، منشأ اپی‌ترمالی آنها را ثابت می‌کند. کان‌زایی کاوند را می‌توان یک کانسار طلای اپی‌ترمال با سنگ میزبان کربناتی در نظر گرفت.

واژه‌های کلیدی: طلا، سنگ میزبان کربناتی، اپی‌ترمال، کاوند، زنجان.

مقدمه

جای دارد (شکل‌های ۱ و ۲). منطقه کاوند در محور زنجان-تکاب قرار دارد. در این محور معادن فعال طلا (معادن زرشوران، آق دره و توزلار)، روی-سرب (انگوران) و آهن (معادن حسین‌آباد و شاه بولاغی) وجود دارد که همگی با سیستم‌های گرمایی سنوزوئیک مرتبط هستند

کانه زایی کاوند در فاصله ۳۵ کیلومتری جنوب غرب شهرستان زنجان و در طول‌های جغرافیایی $48^{\circ} 03'$ تا $48^{\circ} 12'$ شرقی و عرض‌های $36^{\circ} 37'$ تا $36^{\circ} 40'$ شمالی

* نویسنده مرتبط: masoodalipour@shahroodut.ac.ir

زنجان (ناحیه سلطانیه) وجود دارد، که کانه‌زایی‌های آهن ارجین، باش‌کند، اینچه‌ی رهبری، علم‌کندی، و شاه‌بلاغ از آن‌جمله هستند، که سنگ‌های کربناتی، مرمرها و توف‌های ریولیتی میزبان آنها است. در طول زمان‌های سنوزوئیک سنگ‌های نفوذی با ترکیب مونوزودیوریت به داخل سنگ‌های کربناتی پرکامبرین-کامبرین سازند سلطانیه تزریق شده، و سبب کانه‌زایی در سنگ‌های دولومیتی میزبان شده‌اند. مگنتیت، اسپیکولاریت، پیریت، کالکوپیریت، گارنت، پیروکسن، فلوگوپیت، اپیدوت، ترمولیت، اکتینولیت، سرپانتین و تالک از کانه و کانی‌های اصلی آنها هستند. این نوع کانه‌زایی به‌صورت بافت‌های توده‌ای، رگه-رگچه‌ای، نواری، پرشدگی فضا‌های خالی، دندریتی، انتشاری، و برشی مشاهده می‌گردد (Nabatian et al., 2015).

چهارگوش ۱/۲۵۰۰۰۰ زنجان نخستین ورقه زمین‌شناسی بود که در فاصله سال‌های ۱۳۵۵ تا ۱۳۵۷ تحت پوشش اکتشافات زمین‌شیمیایی سیستماتیک قرار گرفت، ولی نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای تنها برای تعداد محدودی از عناصر مانند مس، سرب، روی، باریوم و آهن تجزیه گردید (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۵۷). در طرح بازنگری نقشه‌های ۱/۱۰۰۰۰۰ زمین‌شیمیایی، ورقه زنجان با برداشت نمونه‌های سیلت آبراهه‌ای و کانی سنگین مورد بررسی دوباره قرار گرفت، و ناهنجاری طلا برای نخستین بار در محدوده کاوند گزارش گردید. بر پایه داده‌های زمین‌شیمی سیلت آبراهه‌ای تعداد ۵ نمونه دارای عیار طلای بیش از ۲۰ میلی‌گرم در تن (مقدار بیشینه ۳۱۳ میلی‌گرم در تن) و ۷ نمونه کانی سنگین محتوی ذرات طلای آزاد (از ۲ تا ۸ ذره) بوده است (سازمان صنعت، معدن و تجارت استان زنجان، ۱۳۸۷). در پی‌جویی به روش اکتشافات زمین‌شیمیایی-کانی سنگین در مقیاس ۱/۲۵۰۰۰ در محدوده کاوند، تعداد ۲۰ نمونه سیلت آبراهه‌ای (۴ درصد کل نمونه‌ها) دارای مقدار طلای بیش از ۵۰۰ میلی‌گرم در تن و ۱۶ نمونه کانی سنگین (۱۱ درصد کل نمونه‌ها) محتوی ذرات طلای آزاد (از ۱ تا بیش از ۱۵۰ ذره) بوده است (سازمان صنعت، معدن و تجارت استان زنجان، ۱۳۸۷).

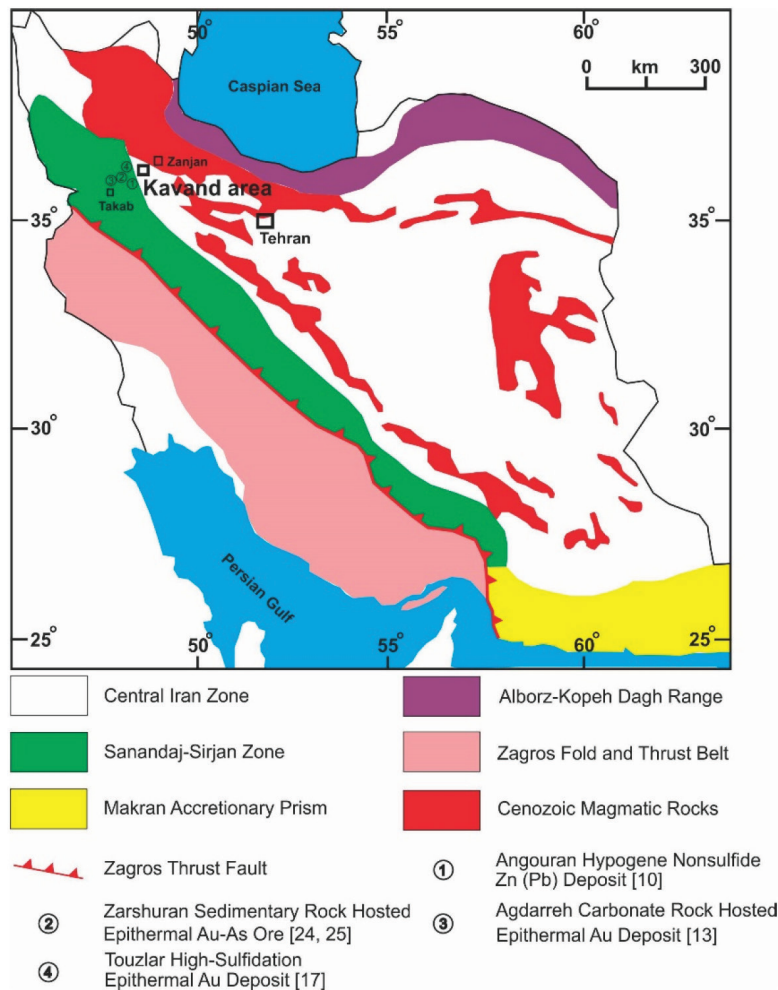
در این مقاله، شواهد زمین‌شناسی، کانی‌شناسی،

(Mehrabi et al., 2003; Boni et al., 2007; Daliran, 2008; Heidari et al., 2015). کانسارهای طلای زرشوران، آق دره و توزلار به ترتیب به‌وسیله سنگ‌های کربناتی پرکامبرین پسین-کامبرین پیشین، سنگ‌های کربناتی میوسن و سنگ‌های آذرآواری و گدازه‌ای با ترکیب آندزیت تا تراکیت میوسن زیرین میزبانی می‌شوند (Mehrabi et al., 2003; Daliran, 2008; Heidari et al., 2015). اگرچه این کانسارها دارای سنگ میزبان متفاوتی هستند ولی فرایند تشکیل آنها همسان است. کانسارهای طلای زرشوران و آق دره با کانسارهای کارلین مقایسه شده است (Mehrabi et al., 1999; Karimi, 1993; Asadi, 2002; Daliran et al., 2000)، و شاید به‌عنوان کانسارهای طلای پراکنده در سنگ میزبان رسوبی نیز در نظر گرفته شوند (Hofstra, 2002). کانسار طلای توزلار به‌عنوان کانه‌زایی طلای اپی‌ترمال با درجه سولفیداسیون بالا معرفی شده است (Heidari et al., 2015). منطقه کاوند از گذشته به لحاظ کانه‌زایی آهن مطرح بوده است، به‌طوری‌که در نقشه‌های زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ و ۱/۱۰۰۰۰۰ زنجان آثار معدنی آهن وجود دارد (باباخانی و صادقی، ۱۳۸۳؛ Stöcklin and Eftekharneshad, 1969)، هم‌اکنون نیز آهن از معادن حسین‌آباد و شاه بولاغی استخراج می‌شود.

نابتیان و همکاران (Nabatian et al., 2015) کانه‌زایی اکسید آهن در محور سلطانیه-مه‌آباد از پهنه ایران مرکزی را با سنگ‌های آتشفشانی پرکامبرین-کامبرین سلطانیه و پرکامبرین قره‌داش مرتبط می‌دانند، که به‌وسیله بخش بالایی سازند کهر و بخش پایینی سازند سلطانیه میزبانی می‌شود. کانه‌زایی‌های آهن و آهن-مگنز محور حلب-دندی، کاوند، بالستان، کوسه‌لر، کردره، قزل‌دره، دابانلو، چنگوری، خم‌دره، میرجان-قالیچه‌بلاغ، چهارطاق، آغ‌بلاغ مهم‌ترین آنها در ناحیه سلطانیه هستند. هماتیت، گوتیت، و \pm باریت کانه‌های اصلی در کانه‌زایی‌های بخش شمالی از قبیل کاوند، میرجان-قالیچه‌بلاغ و کوسه‌لر هستند، درحالی‌که در کانه‌زایی‌های بخش جنوبی ناحیه سلطانیه هماتیت و مگنتیت غالب است. علاوه بر این، تعدادی کانه‌زایی آهن نوع اسکارن و رگه‌ای گرمابی نیز در جنوب

آیا سازند سلطانیه در زیرپهنه سلطانیه و سایر مناطق کشور همواره با کانه‌زایی آهن و طلا همراه است، و کلید اکتشافی برای پی‌جویی این نوع کانه‌زایی است، یا اینکه به‌عنوان عامل چینه‌شناسی در کنار عوامل ماگمایی، گرمایی و تکتونیکی در تشکیل کانه‌زایی نوع کاوند نقش ایفا می‌نماید. از این‌رو، نتایجی که از تحقیق حاضر به دست می‌آید کمک شایانی برای انجام عملیات اکتشافی در مقیاس‌های محلی (کانسار) و ناحیه‌ای خواهد نمود.

سنگ‌نگاری، زمین‌شیمیایی، میانبارهای سیال و ریزکواالکترونی برای تشریح سیستم تشکیل مواد معدنی در منطقه فراهم شده است. مقطع چینه‌شناسی شاخص سازند سلطانیه از کوه‌های سلطانیه در جنوب زنجان گزارش شده است، و سازندهای زمین‌شناسی هم‌ارز سازند سلطانیه در دیگر ایالت‌های زمین‌ساختی ایران نیز گزارش شده است. در منطقه کاوند، این سازند سنگ درون‌گیر اصلی کانه‌زایی آهن و طلا است. سوال اساسی که مطرح می‌شود این است که



شکل ۱. موقعیت محدوده کاوند در نقشه پهنه‌های زمین‌ساختی ایران (بازنگری شده از Stöcklin, 1968)

روش مطالعه

معدنی، و سنگ‌های آذرین نفوذی نمونه‌برداری صورت گرفته است. تعداد ۸ مقطع نازک، ۸ مقطع صیقلی و ۱۳ مقطع نازک-صیقلی تهیه شده و مطالعات میکروسکوپی سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی و ساخت و بافت ماده معدنی

در انجام این پژوهش، برای بررسی‌های سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی و زمین‌شیمی ماده معدنی و سنگ میزبان، از رسوبات آبراه‌های، کانسنگ‌ها، سنگ میزبان مواد

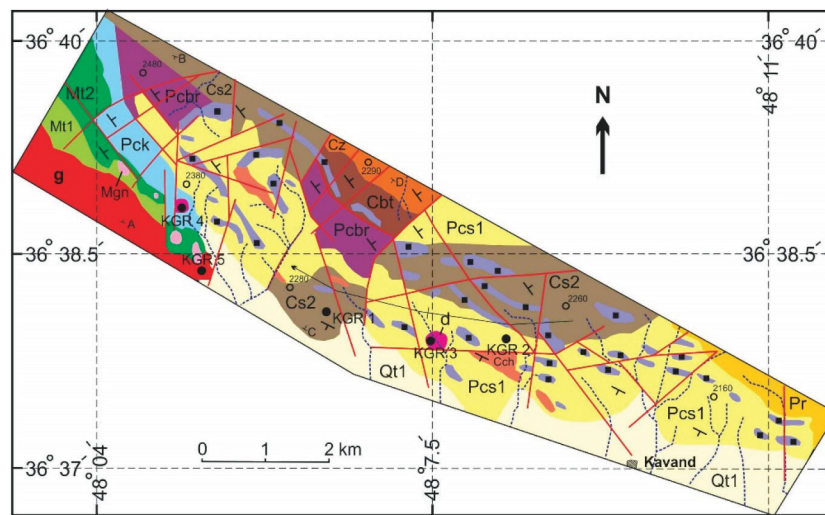
با دستگاه XRD ساخت کمپانی فیلیپس مدل PW1800 در آزمایشگاه کانساران بینالود در تهران بررسی شده است. برای اندازه‌گیری ریزدماسنجی میانبارهای سیال تعداد ۵ نمونه دوبرصیقلی از مراحل کانه‌زایی با همیافتی کانایی اکسیدهای آهن+باریت+کوارتز+طلا و کوارتز+سولفید+طلا تهیه شده است. مطالعه میانبارهای سیال بر روی کانی کوارتز با استفاده از دستگاه مدل THMS60 ساخت کمپانی لینکام کشور انگلستان در آزمایشگاه مرکز تحقیقات مواد معدنی ایمیدرو در کرج به تعداد ۳۱ نقطه انجام شده است. مطالعات حرارت‌سنجی با عملیات سرمایش و گرمایش بر روی میانبارهای سیال انجام می‌گیرد. حدود درجه حرارت مراحل سرمایش و گرمایش ۱۶۰- تا ۶۰۰+ درجه سانتی‌گراد با دقت ± 1 درجه سانتی‌گراد است. در این مطالعه انجماد نهایی میانبارهای سیال دوفازی غنی از مایع در محدوده دمایی ۹۰- تا ۱۰۰- درجه صورت گرفته است، سپس دما را بالا برده تا ذوب اولین نقطه یخ آشکار شود. این دما نشان‌دهنده املح موجود در نمونه است و به دمای اولین ذوب یخ یا دمای اوتکتیک (Te) معروف است. با ادامه گرمایش یخ بیشتری شروع به ذوب شدن می‌کند، و آخرین کریستال یخ در دمای موسوم به $T_{m(ice)}$ ذوب خواهد شد. شوری میانبارهای سیال غنی از مایع از درجه‌حرارت‌های اندازه‌گیری شده ذوب یخ با استفاده از معادله بودنار (Bodnar, 1983) محاسبه شده است. پس از ذوب آخرین کریستال یخ، میانبار تنها حاوی مایع و حباب‌گاز خواهد بود. با ادامه گرمایش این دو فاز با هم ادغام شده و به یک فاز تبدیل می‌شود و دمای هموزن شدن (T_H) به دست می‌آید. تعدادی از ذرات طلای آزاد از بخش تغلیظ یافته نمونه‌های رسوب آبراه‌ای با دستگاه EPMA مدل Cameca SX100 ساخت کشور فرانسه در آزمایشگاه مرکز تحقیقات مواد معدنی ایمیدرو در کرج تجزیه شده است. این اندازه‌گیری‌ها تحت شرایط ولتاژ ۲۵ keV برای فلزات و ۱۵ keV برای سیلیکات‌ها و اکسیدها، جریان بیم ۲۰ nA و قطر بیم ۵ μ انجام گرفته است، و مقدار حد حساسیت روش EPMA برای همه عناصر در این تحقیق ۱۰۰ گرم در تن بوده است.

روی آنها انجام گرفته است. تعداد ۵ نمونه از سنگ میزبان ماده معدنی (دولومیت) و سنگ‌های آذرین نفوذی برای مطالعات زمین‌شیمیایی برداشت شده است. نمونه‌ها از مکان‌هایی انتخاب شدند که سالم، غیردگرسان شده و عاری از رگه-رگچه بودند. دولومیت‌های منطقه ریزدانه و نسبتاً همگن بوده، و روش نمونه‌برداری از آنها قطعه‌ای بوده است، و برداشت یک قطعه سنگ، معرف تمام محیط نمونه‌برداری بوده است. سنگ‌های آذرین دارای بافت متوسط تا درشت‌دانه بوده، و نمونه‌برداری از آنها به روش لپیری-شیاری انجام شده است، بدین ترتیب که در هر ایستگاه تعدادی قطعه کوچک سنگ با مقطع عرضی ۳ تا ۴ سانتی‌متر مربع برداشت شده است. نمونه‌های سنگ به ترتیب مراحل خردایش و آسیاب را پشت‌سر گذاشته، و برای تعیین مقادیر غلظت اکسید عناصر اصلی به روش ذوب با XRF ساخت کمپانی فیلیپس مدل PW1480 در آزمایشگاه مرکز تحقیقات مواد معدنی ایمیدرو در کرج تجزیه شده‌اند. مقادیر غلظت عناصر اصلی و کمیاب نمونه‌های سنگ به روش انحلال در مخلوط چهاراسید با ICP-OES مدل Varian 735-ES در آزمایشگاه مرکز تحقیقات مواد معدنی ایمیدرو در کرج تجزیه شده‌اند. برای دستیابی به نمونه معرف از مناطق کانه‌زایی، تعداد ۲۹ نمونه کانسنگ به روش لپیری-شیاری از رگه‌های کانه‌زایی اکسیدهای آهن، اکسیدهای آهن+باریت+کوارتز+طلا و کوارتز+سولفید+طلا برداشت شده است. این نمونه‌ها به ترتیب مراحل خردایش و آسیاب را پشت‌سر گذاشته، و برای تعیین عیار عناصر اصلی و کمیاب به روش انحلال در مخلوط چهاراسید با ICP-OES مدل Varian 735-ES و عنصر طلا به روش قال‌گذاری با جذب اتمی مدل Perkin-Elmer 5300 در آزمایشگاه مطالعات مواد معدنی زرآما در تهران تجزیه شده است. در این تحقیق، برای ارزیابی میزان دقت تجزیه‌های شیمیایی از نمونه‌های تکرار استفاده شده است. بدین ترتیب که برای هر ۱۰ نمونه اصلی یک نمونه تکراری تجزیه شده است، و میزان خطای آنالیز برای عناصر مختلف در روش‌های دستگاهی مذکور کمتر از ۱۵ درصد برآورد شده است. برای مطالعه کانی‌شناسی مناطق دگرسانی ۱۸ نمونه سنگ و کانسنگ

زمین شناسی

نقشه زمین شناسی با مقیاس ۱/۵۰۰۰ از محدوده کانه زایی تهیه گردید (شکل ۲). برای این منظور نقشه توپوگرافی ۱/۵۰۰۰ و تصویر ماهواره‌ای منطقه به عنوان نقشه پایه بوده است. در این منطقه سازندهای زمین شناسی از قدیم به جدید شامل: فیلیت، کوارتزیت و میکاشیست (Mt1)، میکاشیست و گنیس (Mtgn)، شیل و ماسه سنگ اسلیتی نازک لایه سبز-خاکستری (Mt2)، توف ریولیتی، توف اسلیتی و افق‌های نازک دولومیتی سازند کهر (Pck) (شکل ۳-الف)، گرانیت دوران پرکامبرین (g) (شکل ۳-ب)، شیل و

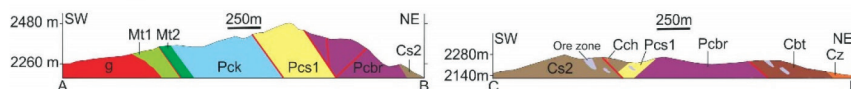
کانه زایی کاوند در زیرپهنه سلطانیه و در منتهی‌الیه بخش شمال غربی پهنه ایران مرکزی واقع شده است (شکل ۱). در تقسیم‌بندی ورقه‌های زمین شناسی، این منطقه در چهارگوش‌های زمین شناسی ۱/۲۵۰۰۰ و ۱/۱۰۰۰۰۰ زنجان جای گرفته است، و سازندهای زمین شناسی پرکامبرین پسین-کامبرین پیشین بخش عمده‌ای از منطقه را دربرمی‌گیرند (باباخانی و صادقی، ۱۳۸۳؛ Stöcklin and Eftekharnzhad, 1969). در چارچوب تحقیق حاضر،



LEGEND

Quaternary	Qt1	Qt1: Unconsolidated old terraces and gravel fans
Premian	Pr	Pr: Grey to cream medium bedded limestone and dolomitic limestone (Ruteh F.)
Cambrian	Cz	Cz: Colored micaceous shale and sandstone (Zaigun F.)
	Cbt	Cbt: Grey micaceous sandstone and shale in bottom and dolomite and limestone in top (Barut F.)
	Cs2	Cs2: Cream well bedded dolomite and limestone with banded chert (Upper part of Soltanieh F.)
Upper Precambrian	Cch	Cch: Grey to green argillic shale (Chapoghlu M.)
	Pcs1	Pcs1: White grey to cream massive limestone and dolomite (Lower part of Soltanieh F.)
	Pcbr	Pcbr: Red and purple micaceous sandstone and shale (Bayandor F.)
	Pck	Pck: Slaty shale, slaty tuff and rhyolitic tuff (Kahar F.)
	Mt2	Mt2: Slaty shale, metagraywacke and etc
	Mtgn	Mtgn: Gneiss
	Mt1	Mt1: Schist, phyllite, metasandstone and etc
INTRUSIVE ROCKS		
	d	d: Diorite and diorite-gabbro porphyritic dykes and subvolcanic bodies (Miocene ?)
	g	g: Doran argillic leucogranite (Upper Precambrian)

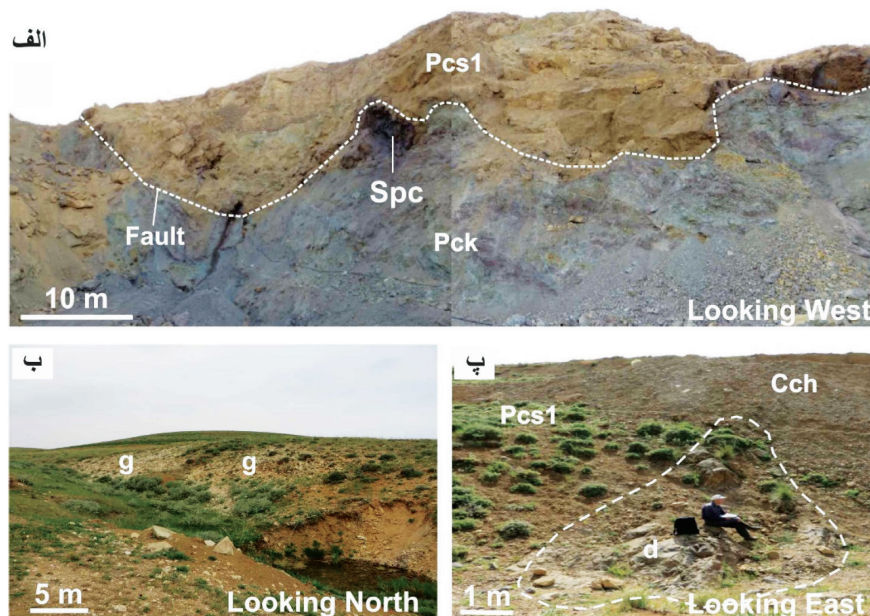
SYMBOLS



شکل ۲. نقشه زمین شناسی منطقه معدنی کاوند

پرکامبرین پسین-کامبرین پیشین (بایندور و سلطانیه) به‌طور ناپیوسته بر روی نهشته‌های سازند کهر و نیز نفوذ توده گرانیتی دوران به‌درون نهشته‌های سازند کهر، می‌تواند نمودی از فاز کوهزایی آسنٹیک در منطقه باشد (Stöcklin and Eftekhamezhad, 1969). نبود رخساره‌های سنگی مربوط به اردویسین پایانی تا پرمین آغازی در زیرپهنه سلطانیه و جایگیری نهشته‌های پرمین درود بر روی نهشته‌های پرکامبرین بالایی نشان‌دهنده وجود یک فاز فرسایشی قوی در این فاصله زمانی در زیرپهنه سلطانیه است که به‌احتمال زیاد پی آمد فاز کوهزایی کالدونین می‌باشد (باباخانی و صادقی، ۱۳۸۳؛ Stöcklin and Eftekhamezhad, 1969). به‌دلیل تحمل فازهای کوهزایی متعدد، در واحدهای سنگی منطقه گسل‌های امتدادلغز، عادی و چین‌خوردگی‌های زیادی ایجاد شده است. سه دسته گسلی با جهات امتداد NW-SE، NE-SW و E-W در منطقه ثبت شده است، ولی کانه‌زایی عموماً در امتداد ساختارهای تکتونیکی با روند NW-SE رخ داده است، و زاویه شیب گسل‌ها از ۵۰ تا ۷۵ درجه تغییر می‌کند (شکل ۲).

ماسه‌سنگ میکادار به‌رنگ قرمز و بنفش سازند بایندر (Cbr)، دولومیت، آهک دولومیتی و شیل سازند سلطانیه (PCs)، شیل، ماسه‌سنگ و دولومیت سازند باروت (Cbt)، شیل و ماسه‌سنگ میکادار صورتی سازند زایگون (Cz)، سنگ‌های آهکی پرمین سازند روت (Pr)، دایک و توده‌های کوچک نیمه ژرف دیوریتی و دیوریت-گابرو (d) به سن احتمالی میوسن می‌باشد (شکل ۳-پ). اگرچه کانه‌زایی آهن و طلا در همه سازندهای زمین‌شناسی پرکامبرین پسین-کامبرین پیشین مشاهده می‌شود، اما دولومیت‌های سلطانیه میزبان بخش عمده‌ای از کانه‌زایی در منطقه کاوند است، سازند سلطانیه دارای دو بخش کربناتی است که به‌وسیله عضو شیلی چپقلو از همدیگر جدا می‌شوند. بخش کربنات پایینی دارای ترکیب دولومیت آهکی و دولومیت توده‌ای برنگ سفیدخاکستری تا کرمی با گرهک‌های چرت (PCs1)، عضو شیل آرژیلیتی خاکستری تا سبز چپقلو (C_{ch}) و بخش کربنات بالایی دارای دولومیت کرم رنگ با لایه بندی خوب دارای نوارهای چرت (C₂) است (شکل ۲). از نگاه زمین‌ساختی، جایگیری نهشته‌های آواری-کربناته



شکل ۳. تصاویر صحرایی از سازندهای زمین‌شناسی و توده‌های نفوذی منطقه. الف) دولومیت‌های بخش پایینی سلطانیه (PCs1) با مرز گسلی بر روی توف‌های اسلیتی و ریولیتی سازند کهر (Pck) قرار گرفته است، و اسپکیولاریت (Spc) فضای‌های خالی دولومیت را پر کرده است (دید به سمت غرب)، ب) رخنمونی از گرانیت دوران که دگرسانی آرژیلیتی را متحمل شده (g)، و در سنگ‌های دگرگونه پرکامبرین بالایی و سازند کهر نفوذ کرده است (دید به سمت شمال)، پ) نفوذی دیوریت و دیوریت-گابرو در دولومیت‌های بخش پایینی سلطانیه و عضو شیلی چپقلو (Cch) (دید به سمت شرق).

کانه‌زایی و دگرسانی

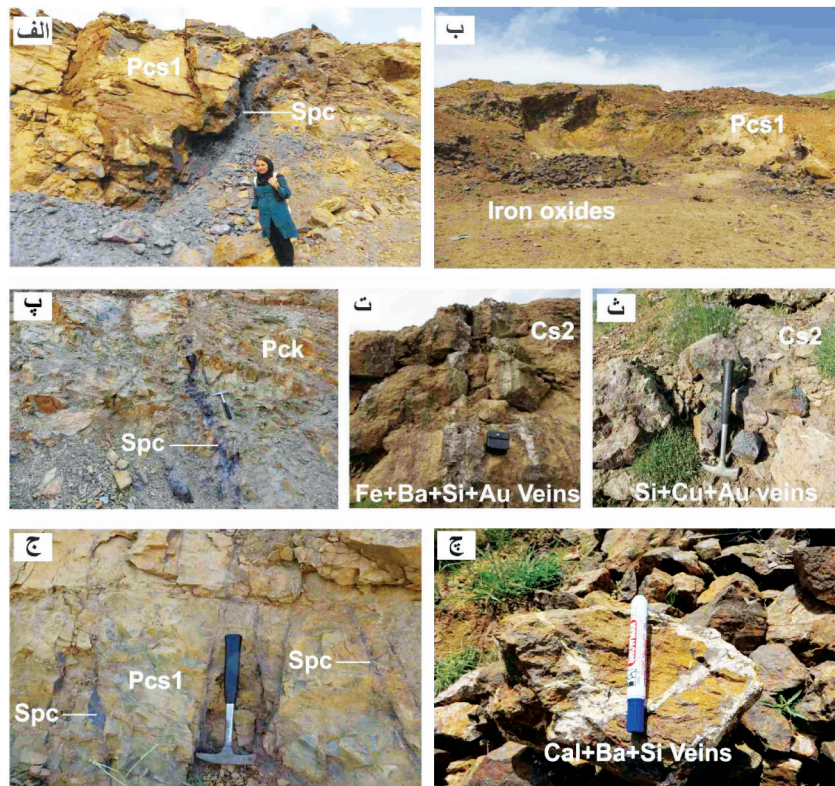
به‌صورت کانی‌های اسپیکولاریت و هماتیت مشاهده می‌شود، و بعضاً به‌وسیله‌ی کوارتز، باریت، دولومیت، کلسیت و سیدریت همراهی می‌گردد. در تشکیل این دگرسانی در منطقه کاوند سیالات گرمایی هیپوزن نقش داشته‌اند. به‌طوری‌که کانی‌های اسپیکولاریت و هماتیت عموماً توسط سیالات گرمایی هیپوزن تشکیل شده‌اند، درحالی‌که گوتیت، لیمونیت و بخشی از هماتیت‌ها محصول هوازدگی سوپرژن هستند (شکل ۴-الف، ب). کربناتی شدن متداول‌ترین دگرسانی در دمای پایین تا متوسط در سنگ‌های آهکی و دولومیتی است. این دگرسانی در منطقه کاوند با وجود رگه‌های دولومیت، کلسیت قابل مشاهده است و به‌وسیله‌ی باریت، کوارتز و به مقدار جزئی هماتیت و گوتیت همراه می‌باشد (شکل ۴-ج). سیلیسی شدن سنگ‌ها به روش‌های مختلفی رخ می‌دهد، از جمله؛ (۱) به‌علت انحلال و شستشوی کاتیون‌های موجود در سنگ دیواره، مقدار سیلیس افزایش می‌یابد، (۲) از طریق دیگر منابع، مانند افزوده شدن محلول‌های ماگمایی و گرمایی غنی از سیلیس به سنگ و (۳) همچنین در مواردی، به‌علت تبدیل کانی‌ها در طی دگرسانی، سیلیس حاصل می‌شود که این سیلیس در مجموعه پاراژنتیکی دگرسانی وارد می‌گردد. در منطقه کاوند سنگ درون‌گیر کانه‌زایی از نوع کربناتی می‌باشد، بنابراین سیلیسی شدن در این منطقه به احتمال خیلی زیاد به‌وسیله‌ی محلول‌های ماگمایی و گرمایی غنی از سیلیس رخ داده است و با کانه‌زایی مس، طلا و آهن همراه می‌باشد (شکل ۴-ت، ث).

سنگ‌نگاری و کانه‌نگاری

در این قسمت، دولومیت سازند سلطانیه و سنگ‌های آذرین نفوذی منطقه از منظر سنگ‌نگاری توصیف می‌گردد. بر پایه شواهد میکروسکوپی، سنگ‌های دولومیتی منطقه کاوند از نوع دولومیکرایت هستند. این سنگ‌ها دارای بلورهای ریز و بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار دولومیت با اندازه‌هایی در حدود ۵ تا ۱۶ میکرون می‌باشند. دولومیت‌های کاوند دارای گرهک و نوارهای چرت بوده، و شکستگی‌ها و فضاهای کارستی آنها به‌وسیله اکسیدهای آهن، سیلیس، باریت، کلسیت، و دولومیت پر شده است. گرانیب بزرگ‌ترین توده آذرین منطقه کاوند است. کوارتز، ارتوز، پلاژیوکلاز، آمفیبول و بیوتیت

کانه‌زایی در منطقه کاوند در سازندهای کهر، سلطانیه و باروت تشکیل یافته است. در این میان بخش عمده کانه‌زایی توسط دولومیت‌های سازند سلطانیه میزبانی می‌شود. بر اساس مشاهدات صحرایی و همیافتی‌های کانی‌شناسی، کانه‌زایی به بخش‌های اکسید آهن (عمدتاً اسپیکولاریت)، اکسیدهای آهن+باریت+کوارتز+طلا و کوارتز+سولفید+طلا تفکیک می‌شود. کانی‌سازی نوع اکسیدهای آهن به‌صورت رگه-رگچه‌ای، انبوه‌های و پرکنندگی فضاهای خالی در سنگ‌های میزبان دیده می‌شود، و رخنمون آن‌ها از چند سانتی‌متر تا چند متر تغییر می‌کند. کانی‌های تشکیل‌دهنده آن‌ها عمدتاً اسپیکولاریت و هماتیت است که به‌وسیله‌ی گوتیت و لیمونیت همراهی می‌شود (شکل ۴-الف، ب، پ و ج). کانی‌سازی اکسیدهای آهن+باریت+کوارتز+طلا عموماً با سنگ‌های دولومیت سازند سلطانیه میزبانی می‌شود و به‌صورت رگه-رگچه‌ای و پرکننده فضاهای خالی می‌باشد، و ابعاد رخنمون آن‌ها در منطقه کاوند از چند سانتی‌متر تا چند متر هم می‌رسد (شکل ۴-ت). کانی‌های موجود در آنها اکسیدهای آهن (هماتیت، گوتیت، لیمونیت و اسپیکولاریت)، باریت و کوارتز می‌باشد. در تجزیه‌های شیمیایی این پژوهش مقدار بیشینه طلا در نمونه‌های این نوع کانه‌زایی ۱۴/۶ گرم در تن اندازه‌گیری شده است. کانی‌سازی کوارتز+سولفید+طلا نیز عموماً توسط سنگ‌های دولومیت سازند سلطانیه میزبانی می‌شود و به‌صورت رگه‌ای و به ضخامت چند سانتی‌متر تا حدود ۲ متر مشاهده می‌شود (شکل ۴-ث). کانی‌های تشکیل‌دهنده آن‌ها کوارتز، سولفید (کالکوپیریت، پیریت، کالکوسیت و کوولیت)، مالاکیت، آزوریت، گوتیت و لیمونیت می‌باشد. در تجزیه‌های شیمیایی مقدار بیشینه طلا در نمونه‌های این نوع کانی‌سازی ۹/۸ گرم در تن اندازه‌گیری شده است.

در منطقه کاوند به دلیل گسترش سازندهای کربناتی، مناطق دگرسانی از گسترش زیادی برخوردار نیستند. باوجوداین، براساس شواهد صحرایی، میکروسکوپی و کانی‌شناسی به روش XRD دگرسانی‌های مرتبط با کانه‌زایی از نوع اکسید آهنی، کربناتی و سیلیسی هستند. دگرسانی اکسید آهنی فراگیرترین نوع دگرسانی در منطقه کاوند است و



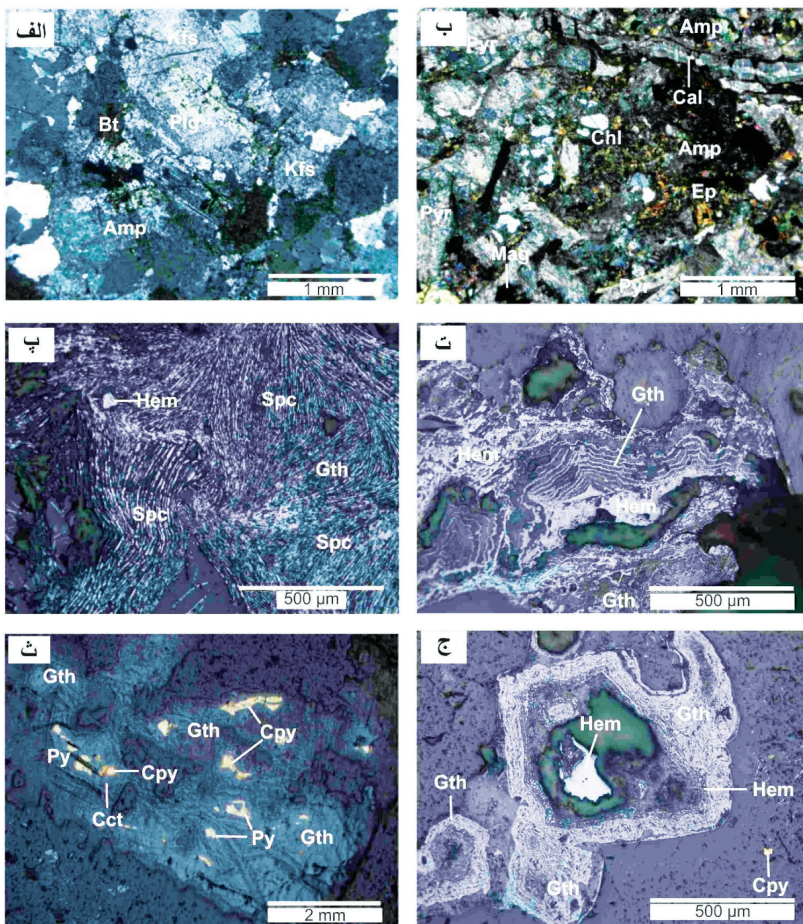
شکل ۴. تصاویر صحرایی از کان‌زایی و دگرسانی منطقه. الف) رگه-رگچه‌های اسپکیولاریت در دولومیت‌های بخش پایینی سلطانیه Pcs1 (دید به سمت شمال شرقی)، ب) انبوهه‌ای از هماتیت، گوتیت، اسپکیولاریت و لیمونیت (Iron-oxides) در دولومیت‌های بخش پایینی سلطانیه (نگاه به سمت شمال)، پ) رگه-رگچه‌های اسپکیولاریت در توف‌های اسلیتی و ریولیتی سازند کهر Pck (دید به سمت شمال غرب)، ت) رگه‌های موازی باریت، سیلیس و اکسیدهای آهن طلا دار در دولومیت‌های چرت‌دار بخش بالایی سلطانیه Cs2 (دید به سمت شرقی)، ث) رگه-رگچه‌های سیلیسی مس و طلا دار در دولومیت‌های چرت‌دار بخش بالایی سلطانیه (دید به سمت شرقی)، ج) رگه-رگچه‌های اسپکیولاریت در دولومیت‌های بخش پایینی سلطانیه (دید به سمت شمال)، چ) رگه‌های کلسیت، باریت و کوارتز در دولومیت‌های چرت‌دار بخش بالایی سلطانیه. Spc: Specularite ; Cal: Calcite. علائم اختصاری کانی‌ها از (Whitney and Evans, 2010)

در منطقه کاونند، مطالعات کانی‌شناسی منجر به شناسایی کانی‌های اکسیدی، سولفیدی، سیلیکاتی، کربناتی و سولفاتی شده‌است، که به صورت‌های اولیه (هیپوزن) و ثانویه (سوپرژن) تشکیل شده‌اند. اسپکیولاریت، هماتیت، کالکوپیریت و پیریت کانه‌های اصلی و اولیه، کالکوسیت، کوولیت، مالاکیت، آزوریت، گوتیت، لیمونیت و بخشی از هماتیت‌ها کانه‌های ثانویه هستند. کوارتز، باریت و کربنات‌ها (کلسیت، دولومیت و سیدریت) کانی‌های باطله کان‌زایی را تشکیل می‌دهند. اسپکیولاریت کانه اصلی کان‌زایی نوع اکسید آهن است، و به وسیله هماتیت، گوتیت، پیریت اکسید شده و لیمونیت همراهی می‌شود (شکل ۵-پ). در کان‌زایی‌های اکسیدهای آهن+باریت+کوارتز+طلا و کوارتز+سولفید+طلا نیز به مقدار جزئی اسپکیولاریت وجود

کانی‌های این سنگ را تشکیل می‌دهد، این گرانیته دارای بافت دانه متوسط تا درشت بلور است (شکل ۵-الف). این سنگ‌ها دگرسانی شدیدی را متحمل شده‌اند و گاهی برای کاتولن استخراج می‌شوند. کانی‌های رسی، سریسیت، کلریت و کوارتزهای ثانویه محصولات دگرسانی هستند. دیوریت و دیوریت-گابرو به صورت دایک و توده‌های نفوذی کوچک به ابعاد ۵ تا ۲۰ متر در سازند سلطانیه مشاهده می‌شود. این سنگ‌ها دارای سن احتمالی الیگومیوسن هستند (باباخانی و صادقی، ۱۳۸۳؛ Stöcklin and Eftekharneshad, 1969). پیروکسن، آمفیبول، و به ندرت پلاژیوکلاز، مگنتیت و پیریت کانی‌های آنها را تشکیل می‌دهند. آن‌ها تا حدودی بافت پورفیری دارند و دگرسانی ضعیفی به کلریت، اپیدوت و سریسیت نشان می‌دهند (شکل ۵-ب).

می‌شود (شکل ۵-ت). پیریت به صورت بلورهای شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار، با اندازه میکرون تا میلی‌متر در کانه‌زایی کاوند و به‌ویژه در رگه‌های کوارتز+سولفید+طلا وجود دارد. این کانی در اثر دگرسانی و هوازدگی به‌وسیله اکسید و هیدروکسیدهای آهن جانشین می‌شود (شکل ۵-ث، ج). کالکوسیت، کولیت، مالاکیت و آزوریت حاصل جانشینی کالکوپیریت هستند (شکل ۵-ث). گوتیت و لیمونیت در شرایط سطحی و در نتیجه جانشینی کانی‌های اکسیدی (هماتیت و اسپیکولاریت) و سولفیدی (کالکوپیریت و پیریت) شکل گرفته است (شکل ۵-پ، ت، ث و ج).

دارد. هماتیت به صورت اولیه تحت شرایط فوگاسیته بالای اکسیژن از سیالات غنی از آهن تشکیل می‌گردد، و همچنین به صورت ثانویه از دگرسانی و هوازدگی مگنتیت، پیریت و کانی‌های دیگر ناشی می‌شود. هر دو حالت هماتیت در کانه‌زایی کاوند وجود دارد و همراهی آن با اسپیکولاریت، گوتیت و لیمونیت عمومیت دارد (شکل ۵-پ، ت و ج). کالکوپیریت کانی مهم سولفیدی منطقه است، و تنها در رگه‌های کوارتز+سولفید+طلا مشاهده می‌شود. کالکوپیریت با پیریت همیافتی دارد و از حاشیه‌ها و امتداد شکستگی‌ها به کالکوسیت، کولیت، گوتیت، مالاکیت و آزوریت تبدیل



شکل ۵. تصاویر میکروسکوپی از سنگ‌ها و کانسنگ‌های منطقه کاوند. الف) گرانیت تیپ دوران که کانی‌های فلدسپار و کوارتز بافت دانه‌ای و درشت بلور تشکیل می‌دهند، ب) تصویری از دیوریت‌گابرو که پیروکسن و آمفیبول کانی‌های غالب سنگ هستند و به اپیدوت، کلریت و کلسیت دگرسانی نشان می‌دهند، پ) تصویری از اسپیکولاریت که به‌طور ضعیف به‌وسیله هماتیت و گوتیت در حال جانشینی است، ت) بافت کلوفرمی گوتیت و هماتیت که تحت شرایط سطحی سوپرژن تشکیل می‌شود، ث) تصویر از رگه کوارتز+سولفید+طلا که کالکوپیریت و پیریت در حال جانشینی به‌وسیله کالکوسیت و گوتیت است، ج) جانشینی پیریت به‌وسیله هماتیت و گوتیت در شرایط سوپرژن. mp: Amphibole; Bt: Biotite; Cal: Calcite; Cpy: Chalcopyrite; Cct: Chalcocite; Chl: Chlorite; Ep: Epidote; Gth: Goethite; Hem: Hematite; Kfs: K-feldspar; Spc: Specularite; Mag: Magnetite; Plg: Plagioclase; Py: Pyrite; Pyr: Pyroxene از (Whitney and Evans, 2010)

به‌ترتیب کوارتز، باریت، پیریت، کالکوپیریت و هماتیت، و در مرحله دو هیپوژن اسپکیولاریت، هماتیت، کوارتز و کلسیت تشکیل شده‌است. در مرحله سوپرژن کانی‌های کالکوسیت، کوولیت، هماتیت، گوتیت، لیمونیت، آزوریت، مالاکیت از جانشینی پیریت، کالکوپیریت و اکسیدهای آهن اولیه تحت فرآیند هوازدگی سطحی تشکیل شده‌اند. توالی پاراژنری کان‌زایی کاوند در جدول (۱) داده شده است.

در کان‌زایی کاوند، بافت‌های رگه-رگچه‌ای، انبوه‌های، پرکنندگی فضا‌های خالی و جانشینی عمومیت دارند و بیشتر کانی‌ها این بافت‌ها را دارا هستند. بافت‌های کلوفرمی و باقیمانده نیز به‌ترتیب در اکسیدهای آهن ثانویه (گوتیت و هماتیت) و سولفیدها (کالکوپیریت و پیریت) مشاهده می‌شود (شکل ۵-پ، ت، ث، و ج). بر اساس شواهد کان‌نگاری، تکوین کان‌زایی کاوند را می‌توان به دو مرحله هیپوژن و سوپرژن تقسیم نمود. در مرحله یک هیپوژن

جدول ۱. توالی پاراژنتیکی کان‌زایی در منطقه کاوند

کانی‌ها	کانی‌های سنگ میزبان	کانه‌زایی هیپوژن		کانه‌زایی سوپرژن
		مرحله ۱	مرحله ۲	
کلسیت	████████		████████	
دولومیت	████████		████████	
کوارتز		████████	████████	
باریت		████████	████████	
سیدریت			████████	
پیریت		████████	████████	
کالکوپیریت		████████	████████	
اسپکیولاریت		████████	████████	
هماتیت			████████	████████
کالکوسیت				████████
کوولیت				████████
گوتیت				████████
لیمونیت				████████
آزوریت				████████
مالاکیت				████████
رگه-رگچه‌ای		████████	████████	████████
انبوه‌های			████████	████████
پرکننده فضا‌های خالی		████████	████████	████████
جانشینی				████████
کلوفرمی				████████
باقیمانده				████████

زمین‌شیمی دولومیت و سنگ‌های آذرین

دولومیت‌های سلطانیه در منطقه کاوند دارای Sr و Na پایین بوده، و از این نظر با دولومیت رنسون (Renison) نئوپروتروزوئیک در ایالت تاسمانیای استرالیا (Rao, 1996) قابل مقایسه می‌باشد (شکل ۶-الف، ب). دولومیت‌های پرکامبرین از نوع دولومیت‌های آب سرد هستند (آدابی، ۱۳۹۰؛ Shukla, and Baker, 1988; Flood and Chivas, 1995).

مقادیر غلظت عناصر اصلی و کمیاب برای سنگ‌های دولومیت سلطانیه، گرانیت، دیوریت و دیوریت-گابرو در منطقه کاوند در جدول‌های (۲) و (۳) آورده شده است. تعداد ۲ نمونه از سنگ‌های دولومیتی سلطانیه که میزبان اصلی کان‌زایی هستند و ۳ نمونه از سنگ‌های گرانیت، گابرو دیوریت و فروگابرو برداشت شده است.

جدول ۲. مقادیر غلظت اکسید عناصر اصلی (برحسب درصد وزنی) در دولومیت سلطانیه و سنگ‌های آذرین منطقه کاوند به روش فلورسانس اشعه ایکس (XRF)

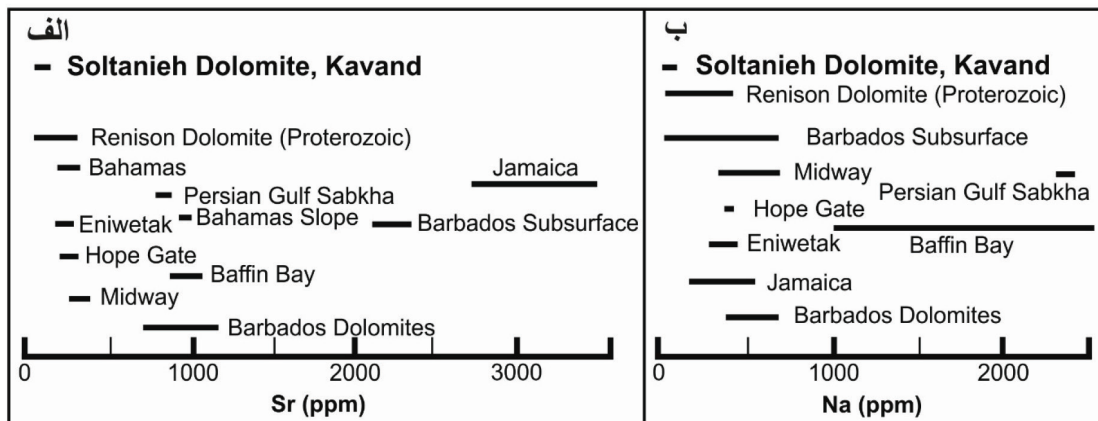
نمونه	جنس سنگ	X	Y	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	L.O.I.
KGR ۱	دولومیت	۲۴۴۶۰۵	۴۰۵۸۳۴۰	۲/۵۸	۱/۲۵	۳/۶۷	۶/۷۳	۴۰/۹۳	>۱/۱	>۱/۱	>۱/۱	>۱/۱	>۱/۱	۴۴/۸۵
KGR ۲	دولومیت	۲۳۸۶۶۳	۴۰۶۱۲۷۶	۱/۶۰	۰/۴۶	۲/۹۵	۹/۷۷	۳۹/۸۳	>۱/۱	>۱/۱	>۱/۱	>۱/۱	>۱/۱	۴۴/۹۹
KGR ۳	دیوریت	۲۳۸۰۷۶	۴۰۶۰۷۸۶	۵۶/۰۲	۱۴/۲۷	۱۳/۴۵	۶/۴۴	۱۱/۶۴	۲/۳۲	۰/۶۹	۱/۷۵	۰/۲۰	۰/۳۶	۱/۸۶
KGR ۴	دیوریت-گابرو	۲۴۴۴۱۲	۴۰۵۷۶۲۰	۴۳/۹۲	۱۱/۶۰	۱۹/۴۹	۳/۶۴	۸/۱۳	۲/۰۱	۲/۴۸	۳/۲۲	۰/۹۲	۰/۶۳	۳/۹۵
KGR ۵	گرانیت	۲۳۷۶۱۸	۴۰۵۰۲۹۹	۷۰/۴۹	۱۳/۱۱	۳/۳۶	>۱/۱	۲/۴۴	۳/۴۹	۴/۰۷	>۱/۱	>۱/۱	۰/۸۴	۲/۲۱

جدول ۳. مقادیر غلظت عناصر کمیاب (گرم در تن) در دولومیت سلطانیه و سنگ‌های آذرین منطقه کاوند به روش ICP-OES

نمونه	جنس سنگ	Ce	Co	Cr	Cu	La	Mo	Nd	Ni	Sc	Sr	V	Y	Zn	Zr
KGR ۱	دولومیت	۱۵	۶	۷/۵	۱۰	۱۵	۱/۵	۱۰	۷/۵	۵	۵۰	۱۰	۸	۱۲	۷/۵
KGR ۲	دولومیت	۱۵	۵	۱۰	۷/۵	۱۵	۱/۵	۸	۷/۵	۳/۸	۷۹	۱۱	۷	۲۲	۷/۵
KGR ۳	دیوریت	۵۵	۶۳	۳۷	۴۸	۵۹	۳/۳	۸۴	۲۳	۲۵	۲۹۹	۲۱۲	۴۳	۱۲۵	۱۳۸
KGR ۴	دیوریت-گابرو	۳۵	۵۴	۱۰۴	۱۵	۳۵	۳/۱	۲۲	۴۷	۳۷	۳۱۰	۲۳۳	۲۷	۱۶۱	۲۱
KGR ۵	گرانیت	۸۲	۱۰	۴۸	۱۲	۴۶	۳/۵	۶۵	۱۵	۷	۵۹	۱۷	۴۰	۶۷	۱۴۲

مقدار Na همانند Sr در دولومیت‌های استوئیشیومتری بسیار پایین است و در حدود ۱۳۵ گرم در تن می‌باشد، و مقدار به نسبت بالای این دو عنصر در دولومیت‌ها نشان‌دهنده حالت غیراستوئیشیومتریک (نقص شبکه‌ای) و احتمالاً شوری بالای سیال‌های دولومیت‌ساز است (Vahernkamp and Swart, 1990). سدیم در موارد بسیاری به‌عنوان شاخصی برای پی بردن به شوری قدیمه به کار گرفته می‌شود (Veizer, 1978; Land, 1985; Sass and Bein, 1988). از این رو می‌توان گفت که دولومیت‌های منطقه کاوند به دلیل مقدار پایین Sr و Na از نوع دولومیت‌های دیاژنزی، استوئیشیومتری و از آب‌های سرد با شوری پایین در زمان پرکامبرین بالایی-کامبرین پایینی نهشته شده‌اند.

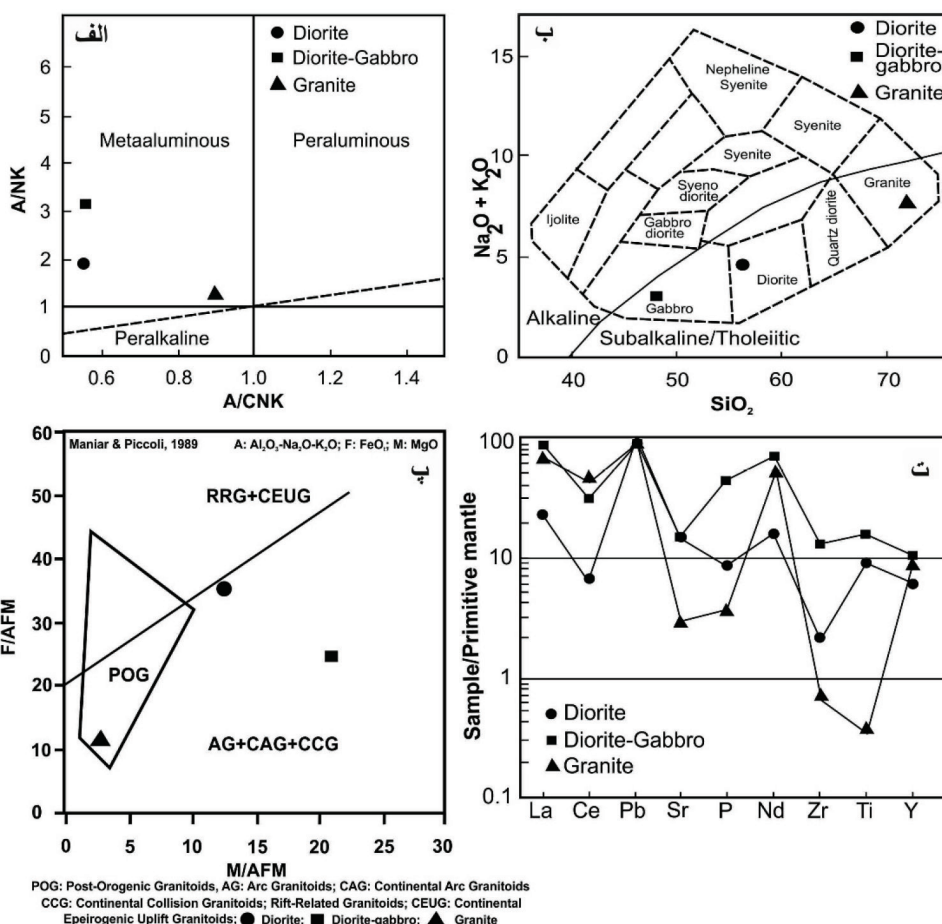
اصولاً تمرکز Sr در دولومیت‌ها تابع اندازه بلورها است و دولومیت‌های دیاژنزی درشت‌بلورتر در مقایسه با دولومیت‌های اولیه ریز بلور، مقدار کمتری Sr دارند (Shukla and Baker, 1988). از سوی دیگر مقدار Sr کانی اولیه‌ای که دولومیت جایگزین آن شده است، نیز بسیار اهمیت دارد (Veizer, 1978). به‌طور کلی دولومیت‌هایی که جایگزین کلسیت می‌شوند، نسبت به آنهایی که جانشین آراگونیت می‌شوند مقدار Sr کمتری دارند. علاوه بر این مقدار Sr در دولومیت‌ها با افزایش حالت استوئیشیومتری کاهش می‌یابد (Vahernkamp and Swart, 1990)، به‌گونه‌ای که دولومیت‌های استوئیشیومتری ۵۰ گرم در تن Sr دارند، درحالی‌که مقدار Sr دولومیت‌های غیر استوئیشیومتری (نقص شبکه‌ای) به ۲۵۳ گرم در تن می‌رسد (آدابی، ۱۳۹۰).



شکل ۶. مقایسه شیمی دولومیت‌های سلطانیه با دولومیت‌های پرکامبرین تا عهد حاضر (Rao, 1996). الف) Sr، ب) Na

که سنگ‌های دیوریت و گابرو الگوی زمین‌شیمیایی کاملاً مشابهی از عناصر کمیاب را نشان می‌دهند، درحالی‌که نمونه‌گرانیات از نظر Zr ، Ti و Sr تهی‌شدگی بیشتری دارد (شکل ۷-ت)، درحالی‌که عنصر Ti در دیوریت و گابرو غنی‌شدگی دارد. ناهنجاری مثبت Ti در دیوریت و گابرو بیان از تشکیل آن‌ها از یک ماگمای مافیکی غنی از Ti است، و ناهنجاری منفی Ti در گرانیتهای مشارکت پوسته قاره‌ای را در فرآیند تشکیل آنها نشان می‌دهد. غنی‌شدگی Pb و Nd و تهی‌شدگی Zr در سنگ‌های دیوریت و گابرو منطقه بیانگر یک جایگاه کمانی مرتبط با فرورانش می‌باشد (Irvine and Baragar, 1971; Gill, 1981; Wilson, 1989; Goss and Kay, 2009; Kovalenko et al., 2010).

در نمودار تغییرات نسبت‌های A/NK در برابر A/CNK (Maniar and Piccoli, 1989) نمونه‌های آذرین در قلمرو متآلومینوس واقع می‌شوند (شکل ۷-الف). سنگ‌های آذرین منطقه در نمودار Na_2O+K_2O در برابر SiO_2 (Cox et al., 1979) در محدوده‌های گرانیتهای دیوریت و گابرو قرار می‌گیرند (شکل ۷-ب)، که با نتایج مطالعات سنگ‌نگاری همخوانی دارند. در نمودار تمایز محیط تکتونیکی تشکیل گرانیتهای (Maniar and Piccoli, 1989)، گرانیتهای کاوند در محیط گرانیتهای پس از کوهزایی و سنگ‌های دیوریتی و گابروئی در محیط کمان‌های قاره‌ای واقع شده‌اند (شکل ۷-پ). الگوی تغییرات عناصر کمیاب به‌هنگار شده به‌گوشته اولیه نمونه‌های سنگ‌های آذرین نشانگر این است



شکل ۷. الف) نمودار تغییرات نسبت‌های A/NK در برابر A/CNK (Maniar and Piccoli, 1989) که نمونه‌های کاوند در قلمرو متآلومینوس واقع است، ب) نمودار Na_2O+K_2O در برابر SiO_2 (Cox et al., 1979) که نمونه‌های کاوند در محدوده‌های گرانیتهای دیوریت و گابرو قرار دارند، پ) نمودار تمایز محیط تکتونیکی گرانیتهای (Maniar and Piccoli, 1989) که گرانیتهای کاوند در محیط گرانیتهای پس از کوهزایی و سنگ‌های دیوریتی و گابروئی در محیط کمان‌های قاره‌ای واقع شده‌اند، ت) نمودار عناصر کمیاب به‌هنگار شده به‌گوشته اولیه (Sun and McDonough, 1989)، که غنی‌شدگی Pb و Nd و تهی‌شدگی Ce در تمامی سنگ‌های آذرین و تهی‌شدگی Sr و Ti در گرانیتهای مشهود است

درصد و ۱۲/۸۰ درصد است. در منطقه کاوند، از ۲۹ نمونه کانسنگ ۱۰ نمونه دارای مقدار طلای بیش از ۰/۵۰ گرم در تن، ۲۰ نمونه دارای مقدار آهن بیش از ۱۰ درصد و تنها ۳ نمونه دارای مس بیش از ۰/۵۰ درصد می باشد. اگرچه عیار مس در ۲ نمونه بالا است، اما به دلیل گسترش کم ارزش معدنی ندارند.

تحلیل آماری چندمتغیره داده‌های کانسنگ به روش تجزیه خوشه‌ای، هم‌یافتی زمین‌شیمیایی عناصر طلا، مس، آرسنیک، نقره، روی، کادمیم، آنتیموان و تا حدودی باریم و سرب را نشان می‌دهد (شکل ۸). چنین هم‌یافتی عنصری قرابت زیادی با عناصر معرف و ردیاب کانسارهای طلای اپی‌ترمال دارد (Robert et al., 2015). آهن از عناصر مهم در این منطقه است، ولی در نمودار خوشه‌ای در شاخه جدا از طلا و مس قرار گرفته است، دلیل این امر این است که کانه‌زایی غالب آهن در منطقه کاوند به صورت اسپیکولاریت است که در نتیجه فرایندهای آتشفشانی-رسوبی پرکامبرین بالایی به همراه بخش بالایی سازند کهر و دولومیت‌های سلطانیه نهشته شده است (Nabatian et al., 2015)، و این تیپ کانه‌زایی آهن ارتباطی با رخداد کانه‌زایی طلا در زمان سنوزوئیک ندارند (پرتاک، ۱۳۹۶).

تهی‌شدگی Sr در گرانیته به علت تفریق پلاژیوکلاز در طول تبلور ماگمایی است، ولی در گابرو غنی‌شدگی Sr به دلیل وجود پلاژیوکلاز کلسیم‌دار در ترکیب این سنگ‌ها است و Sr به دلیل اندازه و باریونی مشابه Ca در ترکیب پلاژیوکلازهای کلسیم‌دار سنگ‌های مافیک قرار می‌گیرد (Rollinson, 1993). ناهنجاری منفی Ce در سنگ‌های آذرین منطقه نشان می‌دهد که سنگ مادر ماگمای آنها طی دگرسانی Ce خود را از دست داده است، و ناهنجاری مثبت Pb نشان‌دهنده آلیش پوسته‌ای یا متاسوماتیسم گوشته‌ای می‌باشد (شکل ۷-ت).

زمین‌شیمی کانسنگ

مقدار عناصر برای ۲۹ نمونه کانسنگ از منطقه کاوند در جدول (۴) آورده شده است. تحلیل‌های ژئوشیمیایی داده‌ها ثابت می‌کند که مقادیر Au، Fe، Cu، Ba، Ag، As، Zn، Sb و Cd در مقایسه با سایر عناصر غنی‌شدگی قابل ملاحظه‌ای دارند، و مقادیر Au، Fe و Cu برخی از نمونه‌ها در حد کانسارسازی است. مقدار میانگین عیار Au، Fe و Cu به ترتیب ۱/۲۸ گرم در تن، ۱۵/۷۰ درصد و ۰/۶۰ درصد اندازه‌گیری شده است. مقدار بیشینه عیار Au، Fe و Cu به ترتیب ۱۴/۶۰ گرم در تن، ۲۸/۴۰

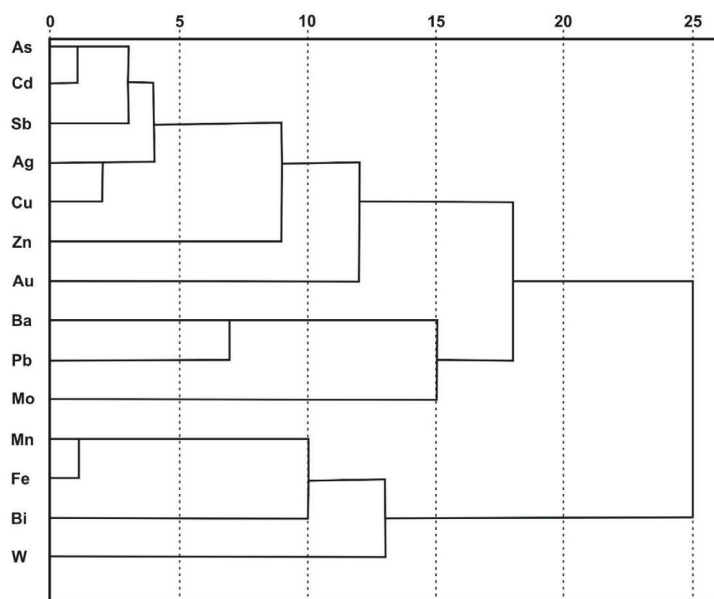
جدول ۴. مقدار عناصر در ۲۹ نمونه کانسنگ کاوند (طلا برحسب میلی‌گرم در تن و سایر عناصر گرم در تن)

Sample	KG ۰۱	KG ۰۲	KG ۰۳	KG ۰۴	KG ۰۵	KG ۰۶	KG ۰۷	KG ۰۸	KG ۰۹	KG ۱۰	KG ۱۱	KG ۱۲	KG ۱۳	KG ۱۴	KG ۱۵
Au	۳۱۲	۴۲۰	۹۸۴۴	۴۰۲	۲۱۹	۱۵۵	۲۳	۴۳	۱۲۱	۸۹	۳۶	۵۷۱	۲۵۴	۱۸۲۷	۱۴
Fe	۵۳۱۰	۶۳۶۹۳	۶۵۴۹۶	۴۲۶۷۶	۹۹۸۴۰	۲۴۱۸۶۱	۲۴۷۷۲۲۷	۲۸۳۸۶۴	۱۳۹۱۷۷	۱۷۶۹۸۴	۱۷۱۳۶۲	۵۳۲۴۴	۱۶۲۰۲۲	۱۵۶۰۸۷	۲۵۴۱۷۳
Ag	۲۹/۰	۴۲/۰	۱۸/۶	۳۴/۰	۳۴/۰	۶۴/۰	۵۹/۰	۳۴/۰	۴۸/۰	۴۱/۰	۳۹/۰	۳۶/۰	۸۴/۰	۴۲/۰	۳۰/۰
As	۸۰/۷	۷۰/۳۰	۱۴۸۶۲	۸۲	۴۰/۱۲	۴۰/۱۴	۷۰/۱۴	۲۰/۸	۵۰/۱۳۸	۵۰/۱۸	۶۰/۱۴	۶۰/۲۸	۶۰/۱۵۱	۹۰/۶۳	۷۰/۱۸
Ba	۷۳۱۳	۴۳۴	۲۰۷	۱۱۵۵	۲۸۲	۱۴۵۵	۱۳۱۳	۹۶	۴۵۵۰	۱۰۷	۱۴۷	۲۴۱	۷۰۸۷	۱۰۰	۲۶۴
Bi	۴۲/۰	۴۴/۰	۴۸/۰	۴۵/۰	۹۰/۱۵	۸۰/۹۲	۹۰	۳۰/۱۰۲	۵۰/۱۴	۲۰/۳۵	۹۰/۴۳	۴۷/۰	۲۰	۳۸	۵۰/۷۰
Cd	۴۵/۰	۵۴/۰	۲۴/۴۷	۳۵/۱	۲۸/۰	۲۹/۰	۲۷/۰	۳۱/۰	۱۱/۱	۳۰/۰	۳۰/۰	۳۰/۰	۸۶/۰	۵۳/۰	۲۸/۰
Cu	۲۳	۲۸	۱۲۸۳۱۴	۳۶۴	۳	۳۶	۳۲	۲	۹۰۵	۳	۲	۶	۴۶۵۸	۳۴۹	۴
Mn	۱۴۹	۱۱۴۱	۴۰۰	۲۶۶۳	۵۰۶۷	۲۷۸۵۳	۲۵۹۴۴	۶۳۳	۱۳۱۵۰	۱۱۴۴	۱۷۲۰	۲۰۷۱	۱۳۰۰	۶۰۶	۲۱۲
Mo	۸۰/۲	۶	۷۰/۲	۵۰/۵	۷۰/۲	۷۰/۸	۳۰/۶	۵۰/۱	۵۰/۵	۸۰/۰	۶۰/۳	۳	۴	۱۰	۲۰/۳
Pb	۲۰۸	۳۴	۴۷	۷۵	۲۷	۸۵	۹۵	۱۱۲	۴۸	۵۷	۵۵	۵	۷۲	۱۱۱	۹۶
Sb	۶۰/۱۱	۴۰/۱۵	۲۳۳۲	۲۹	۸۹/۰	۹۷/۰	۹۵/۰	۹۸/۰	۹۴	۰۸/۱	۹۴/۰	۰/۱	۰۳/۱	۱	۹۰/۰
W	۱۷/۱	۴۰/۸	۰۳/۱	۲۴/۱	۲۵	۲۴/۱	۱۴/۱	۳۹۵	۱۵/۱	۵۰/۶۱	۳۰/۳۶	۳۰/۱۱	۸۰/۲۱	۱۱	۵۳
Zn	۱۶	۴۳	۱۳۸۹	۱۰۷	۵۷	۱۲۶	۱۳۴	۱۳۹	۱۷۳	۱۳۹	۷۱	۲۸	۱۳۰	۱۱۷	۱۱۹

ادامه جدول ۴.

Sample	KG ۱۶	KG ۱۷	KG ۱۸	KG ۱۹	KG ۲۰	KG ۲۱	KG ۲۲	KG ۲۳	KG ۲۴	KG ۲۵	KG ۲۶	KG ۲۷	KG ۲۸	KG ۲۹
Au	۵۲	۱۰۳	۳۲۳	۶۰	۱۷۱۵	۴۵۸۹	۹۳۵	۱۴۶۷۴	۱۲	۱۰	۱۱	۴۳۷	۳۲	۲۰
Fe	۲۱۱۶۷۱	۹۸۵۹۳	۱۸۰۳۷۳	۲۹۸۸۸	۱۴۰۵۸۸	۲۱۸۶۳۵	۱۲۱۴۶۱	۱۷۴۴۰۹	۲۴۹۹۱۴	۲۸۴۷۳۴	۲۴۸۹۴۰	۴۷۷۰۸	۲۵۳۴۱۹	۱۲۹۸۶۱
Ag	۴۳/۰	۴۴/۰	۵۰/۰	۴۲/۰	۴۱/۲	۸۲/۰	۵۲/۰	۵۰/۰	۲۹/۰	۳۲/۰	۶۸/۰	۳۶/۰	۳۲/۰	۳۷/۰
As	۲۰/۹۱	۱۳۴	۱۱۹	۶۰/۹۵	۲۳۳	۱۷	۷۰/۷	۲۰/۱۱	۸۰/۸	۲۰/۷	۵۰/۱۹	۴۰/۱۰	۷۰/۱۷	۴۰/۱۵
Ba	۴۹۱۷	۴۰۱۳	۹۰۱۴	۲۵۸۵	۳۶۷۷	۱۱۲۰۴	۲۷۷۴	۱۰۱۹۲	۵۸	۱۳۱	۳۵۵۵	۷۴۸	۱۰۹	۲۲۱
Bi	۲۰/۴۹	۸۰/۱۸	۳۳	۴۳/۰	۸۰/۹	۱۰/۵۶	۱۱	۴۰/۲۴	۵۸	۱۰۹	۷۰/۸۹	۴۸/۰	۶۰/۸۱	۱۰/۲۵
Cd	۶۸/۰	۹۰/۰	۷۶/۰	۳۲/۰	۹۱/۰	۲۸/۰	۲۹/۰	۵۳/۰	۲۹/۰	۲۷/۰	۲۹/۰	۷۷/۰	۲۷/۰	۳۱/۰
Cu	۲۲۷	۵۷	۳۳	۲۳	۳۸۸۶۶	۶۰	۴	۸۶	۴	۳	۱۱۹	۴۵	۳	۴
Mn	۵۹۹۰	۸۶۰۸	۱۶۳۸۱	۱۸۵۲	۱۴۵۰	۳۰۵۵۸	۱۲۵۵۴	۹۲۳۸	۱۴۲	۱۷	۲۴۵۸۷	۵۸۷۳	۸۳۲	۴۴۲
Mo	۸۰/۵	۸۰/۱۳	۶۰/۶	۴۰/۲	۴۰/۶	۸۰/۰	۸۳/۰	۵۰/۱	۷۷/۰	۳۰/۱	۸۰/۹	۳۰/۶	۷۰/۳	۲۰/۳
Pb	۷۹	۳۷	۷۲	۱۶	۶۸	۹۲	۳۱	۵۰	۹۱	۱۰۹	۹۲	۶	۹۲	۴۴
Sb	۰۷/۱	۱۶	۴۰/۱۳	۱۰/۱۴	۲۰/۶	۱	۹۶/۰	۱۰/۱	۱	۹۱/۰	۹۰/۲۸	۱۲/۱	۹۳/۰	۰۳/۱
W	۱۹	۲۳/۱	۶	۲۸/۱	۹۰/۹	۴۰/۶	۲۳/۱	۲۰/۵۲	۱۲۸	۱۰/۳۳	۱۳/۱	۲۹/۱	۲۱۸	۷۰/۳۳
Zn	۱۳۱	۶۲	۱۰۵	۱۲	۳۱۱	۱۲۴	۵۱	۷۹	۱۰۵	۱۳۰	۱۴۹	۵۰	۱۱۸	۶۴

Dendrogram Using Average Linkage (Between Group)
Rescaled Distance Cluster Combine



شکل ۸. نمودار تجزیه خوشه‌ای داده‌های زمین‌شیمیایی کانسنگ که در آن هم‌یافتی عناصر Ag, Cu, As, Cd, Sb, Zn, Au, Ba, و Pb جالب توجه است

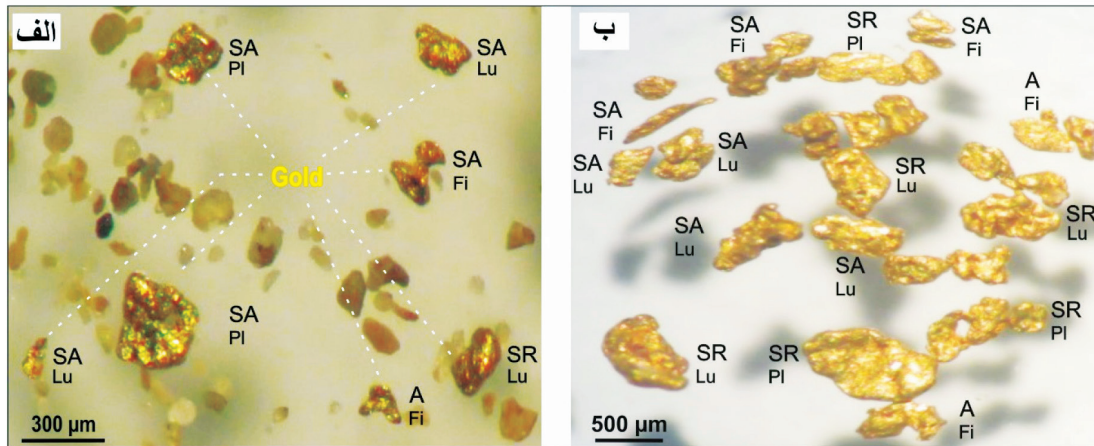
ترکیب شیمیایی طلا

کاوند ثابت می‌نماید (پرتاک، ۱۳۹۶). شاید با کثرت نمونه‌ها امکان رویت طلائی آزاد در کانسنگ‌های کاوند نیز میسر شود. در این تحقیق، مطالعه ترکیب شیمیایی بر روی دانه‌های طلا از بخش تغلیظ یافته دو نمونه رسوبات آبراهه‌ای از محدوده کاوند انجام شده است. در این دو نمونه تعداد ۷ و ۱۵۰ ذره طلا شمارش گردید. ذرات طلائی مشاهده شده دارای اشکال

اگرچه در برخی از نمونه‌های کانسنگ عیار طلا بالا است و به ۱۴/۶۰ گرم در تن می‌رسد، باوجود این در مقاطع صیقلی و نازک صیقلی طلائی قابل رویت مشاهده نگردید، و شیمی کانی‌ها به روش EPMA مقادیر بالای طلا را در کانه‌های هماتیت، پیریت‌های هماتیتی شده و گوتیت در کانه‌زایی

و اندازه آنها از حدود ۱۰۰ میکرون تا بیش از ۱ میلی متر تغییر می کند (شکل ۹-الف، ب).

لامپی (Lumpy)، فیلم (Film) و صفحه ای (Platy)، از نظر گردشگری زاویه دار (Angular)، نیمه زاویه دار (Sub-angular) و نیمه گرد شده (Sub-rounded) هستند،



شکل ۹. ذرات طلائی موجود در بخش تغلیظ یافته دو نمونه رسوب آبراهه ای در منطقه کاوند که دارای اشکال لامپی، فیلم و صفحه ای، از نظر گردشگری زاویه دار، نیمه زاویه دار و نیمه گرد شده و اندازه آنها از حدود ۱۰۰ میکرون تا بیش از ۱ میلی متر تغییر می کند. نمونه های رسوب در فاصله حدود ۳۰۰ متری، الف) ۱۵۰۰ متری، ب) از آبراهه پایین دست سنگ های منشأ طلا برداشت شده اند

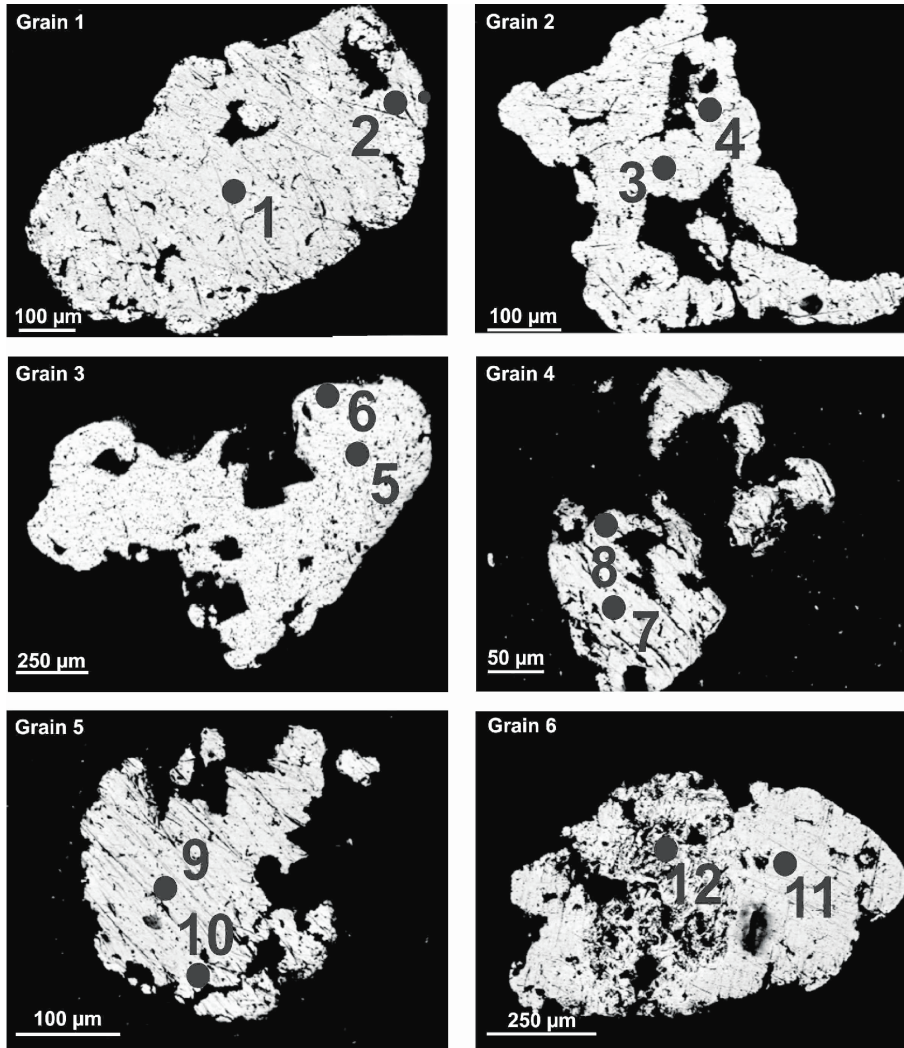
خصوص بیان می کند که ذرات طلائی کاوند از سنگ های واحدی مشتق شده، و از سنگ منشأ خود زیاد فاصله نگرفته اند. ترکیب شیمیایی ذرات طلائی منطقه کاوند با طلاهایی که از کانسارهای مختلف منشأ می گیرند، مورد مقایسه قرار گرفته است (Townley, 2003)، که مشابهت طلائی کاوند را با کانسارهای طلائی ایبی ترمال ثابت می نماید (جدول ۷). در نمودار سه گانه (Cu×100)-(Au-Ag×10) (Palacios and Herail, 2001; Townley, 2003) نمونه های طلائی کاوند در محدوده طلائی ایبی ترمال قرار می گیرد (شکل ۱۱-الف).

مطالعات میانبارهای سیال

در این پژوهش، مطالعه میانبارهای سیال بر روی کانی کوارتز از نمونه هایی با همیافتی کانی شناسی اکسیدهای آهن+باریت+کوارتز+طلا و کوارتز+ولفید+طلا انجام شده است. این مطالعات بر روی میانبارهای اولیه (P) با موقعیت منفرد (Isolate) و مجتمع (Cluster) در کوارتز بوده است (جدول ۸). مطالعات پتروگرافی میانبارها با بزرگنمایی های ۵۰۰ و ۸۰۰ انجام گرفته است. میانبارهای مشاهده شده غالباً به شکل های کشیده، بی شکل، چندوجهی و نامنظم با اندازه

نتایج تجزیه شیمیایی تعداد ۶ ذره طلا به روش EPMA در جدول (۵) و موقعیت نقاط میکروپروپ الکترونی بر روی هسته و حاشیه ذرات طلا در شکل (۱۰) آورده شده است. عناصر طلا، نقره و مس بخش عمده ترکیب ذرات طلائی کاوند را تشکیل می دهند. مقادیر کمینه، متوسط، بیشینه و انحراف معیار طلا، نقره و مس برای بخش های حاشیه ای و هسته ذرات طلا در جدول (۶) داده شده است. داده های زمین شیمی نشان می دهد مقادیر غلظت این عناصر در نقاط حاشیه و هسته ذرات طلا متغیر است (شکل ۱۱-ب). از آنجایی که قابلیت انحلال نقره بیشتر از طلا است، در طول فرایند هوازدگی و فرسایش نقره از حاشیه ای ذرات شسته شده و از مقدار آن کاسته می شود، از اینرو مقدار طلا در حاشیه ذرات بیشتر از هسته آنها است.

درجه خلوص ذرات طلا با استفاده از فرمول $(Au+Au/Ag) \times 1000$ محاسبه می شود، مقدار خلوص ذرات، فاصله ای حمل آنها را از سنگ های مادر نشان می دهد (Higgins, 2012). مقدار این شاخص برای ذرات طلائی کاوند از ۷۴۴ تا ۹۸۶ تغییر می کنند و بیانگر خلوص بالای ذرات طلائی کاوند است، اما تغییرپذیری کم شاخص درجه



شکل ۱۰. موقعیت نقاط ریزکاو الکترونی بر روی هسته و حاشیه ذرات طلا از بخش تغلیظ یافته رسوبات آبراهه‌ای منطقه کاوند

جدول ۵. نتایج تجزیه نقطه‌ای (برحسب درصد وزنی) تعداد ۶ دانه طلا از تغلیظ یافته‌های رسوبات آبراهه‌ای منطقه کاوند به روش ریزکاو الکترونی (WDS)

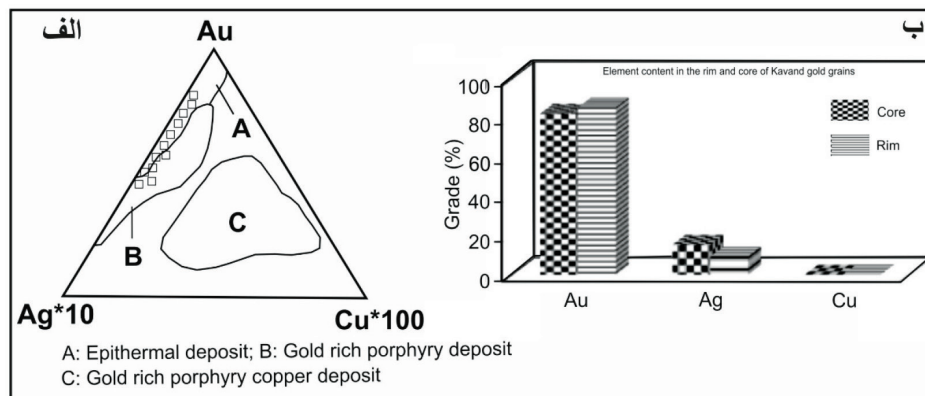
شماره دانه طلا	شماره نقطه	Fe	Mg	Ti	Mn	Ni	Al	Si	S	Co	Cu	Zn	Ba
Grain ۱	۱ هسته	۰/۰۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰۷	۰/۰۷	۰	۰/۰۱	۰	۰
	۲ حاشیه	۰	۰/۰۳	۰/۰۱	۰	۰	۰	۰/۰۶	۰/۰۶	۰	۰/۰۸	۰	۰/۰۲
Grain ۲	۳ هسته	۰	۰/۰۲	۰/۰۱	۰	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰	۰/۰۲	۰/۰۵	۰
	۴ حاشیه	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰۲	۰/۱۱	۰/۰۴	۰	۰/۰۱	۰/۰۵	۰
Grain ۳	۵ هسته	۰/۰۷	۰	۰	۰	۰	۰/۰۱	۱۳/۴۴	۰/۰۳	۰	۰/۰۶	۰	۰
	۶ حاشیه	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۱	۰	۰	۰/۰۴	۱۳/۴۱	۰/۰۷	۰	۰/۰۸	۰	۰
Grain ۴	۷ هسته	۰	۰	۰	۰/۰۱	۰	۰/۰۲	۰/۰۷	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۱	۰	۰
	۸ حاشیه	۰/۰۶	۰	۰	۰	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۱۸	۰/۰۵	۰	۰/۰۲	۰	۰/۰۲
Grain ۵	۹ هسته	۰	۰/۰۲	۰	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۲۹	۰/۱۲	۰	۰/۰۳	۰	۰/۰۱
	۱۰ حاشیه	۰/۰۲	۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰	۰	۰/۰۸	۰/۰۳	۰	۰/۰۲	۰/۰۶	۰
Grain ۶	۱۱ هسته	۰	۰/۰۳	۰	۰/۰۱	۰	۰/۰۷	۰/۰۴	۰/۰۳	۰	۰/۰۱	۰	۰
	۱۲ حاشیه	۰/۰۷	۰/۰۱	۰/۰۲	۰	۰	۰/۰۳	۰/۲۵	۰/۰۷	۰/۰۱	۰/۰۲	۰	۰

ادامه جدول ۵.

درجه خلوص	Total	Bi	Pb	Hg	Au	Te	Sb	Cd	Ag	Mo	As	شماره نقطه	شماره دانه طلا
۷۶۱	۱۰۰/۰۳	.	۰/۰۲	.	۷۶	۰/۰۴	.	.	۲۳/۸۲	.	.	۱ هسته	۱ Grain
۷۹۹	۹۹/۲۶	.	۰/۰۱	.	۷۸/۹۲	۰/۰۴	.	۰/۱۴	۱۹/۸۹	.	.	۲ حاشیه	
۸۵۳	۱۰۰/۶۴	.	.	.	۸۵/۶۴	۰/۰۳	.	.	۱۴/۷۳	.	.	۳ هسته	۲ Grain
۹۰۸	۹۸/۷۵	.	.	.	۸۹/۴۷	.	.	.	۹/۰۶	.	.	۴ حاشیه	
۹۷۶	۹۸/۱۴	.	.	.	۹۴/۱۷	.	.	۰/۰۵	۲/۲۹	۰/۰۱	۰/۰۱	۵ هسته	۳ Grain
۹۸۶	۹۳/۸۶	.	۰/۰۶	.	۷۸/۹۴	.	۰/۰۲	۰/۰۱	۱/۱۶	.	.	۶ حاشیه	
۹۵۳	۹۲/۰۸	.	.	.	۸۴/۲۱	.	.	۰/۰۴	۷/۶۶	۰/۰۲	.	۷ هسته	۴ Grain
۹۱۷	۹۴/۵۸	.	.	.	۸۹/۷۵	.	۰/۰۲	۰/۰۳	۴/۴۱	.	۰/۰۱	۸ حاشیه	
۹۰۸	۹۷/۳۶	.	.	.	۷۸/۸۳	.	۰/۰۳	۰/۰۹	۱۷/۸۵	۰/۰۴	.	۹ هسته	۵ Grain
۷۴۴	۹۹/۸۵	.	۰/۰۲	.	۸۷/۲۶	.	.	۰/۰۲	۱۲/۳۴	.	.	۱۰ حاشیه	
۸۱۵	۱۰۰/۱۸	.	.	۰/۱۳	۷۴/۱۳	۰/۰۵	.	۰/۰۸	۲۵/۵۵	۰/۰۶	.	۱۱ هسته	۶ Grain
۸۷۶	۹۹/۲۳	.	.	.	۸۷/۸	.	۰/۰۱	.	۸/۹۴	.	.	۱۲ حاشیه	

جدول ۶. مقادیر کمینه، بیشینه و میانگین طلا، نقره و مس در هسته و حاشیه دانه‌های طلا از آبرفت‌های کاوند

انحراف معیار	بیشینه	کمینه	میانگین	تعداد دانه طلا	عنصر
منطقه حاشیه					
۷/۴۰	۸۴/۲۱	۷۴/۱۳	۸۲/۱۶	۶	Au (%)
۹/۰۸	۲۵/۵۵	۲/۲۹	۱۵/۳۲	۶	Ag (%)
۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۲	۶	Cu (%)
منطقه هسته					
۵/۰۷	۸۹/۷۵	۷۸/۹۲	۸۵/۳۶	۶	Au (%)
۶/۵۱	۱۹/۸۹	۱/۱۶	۹/۳۰	۶	Ag (%)
۰/۰۴	۰/۱۰	۰/۰۲	۰/۰۵	۶	Cu (%)



شکل ۱۱. ترکیب شیمیایی ذرات طلای کاوند. الف) نمودار سه‌گانه Au-(Ag×10)-(Cu×100) نمونه‌های طلای منطقه کاوند در بخش طلای ای‌تریال قرار می‌گیرد (Townley, 2003; Palacios and Herail, 2001)، ب) نمودار ستونی توزیع طلا، نقره و مس در مرکز و حاشیه دانه‌های طلای کاوند

جدول ۷. مقایسه ترکیب شیمیایی دانه‌های طلای منطقه کاوند به روش ریزکاواکترونی (EPMA)، با دانه‌های طلاهایی که از کانسارهای مختلف منشأ می‌گیرند (Townley, 2003)

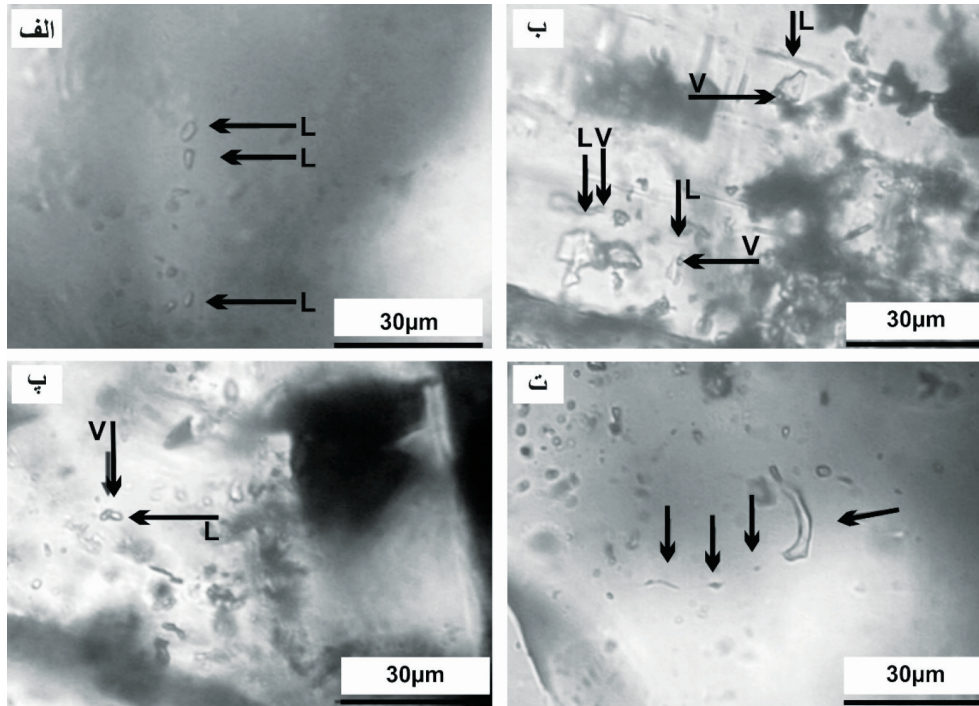
کانسار	طلای ای‌تریال	مس پورفیری	مس-طلای پورفیری	کانه‌زایی طلای کاوند
Cu	مقدار مس پایین (معمولاً کمتر از ۰/۱ درصد)	۰/۰ تا ۰/۲ درصد	۰/۳ تا ۰/۸ درصد	۰/۱ تا ۰/۱۱ درصد (متوسط ۰/۰۴ درصد)
Ag	مقدار نقره بالا (بیشتر از ۵ درصد)	مقدار نقره بالا (بیشتر از ۵ درصد)	مقدار نقره پایین (کمتر از ۵ درصد)	۱/۱۶ تا ۲۵/۵۵ درصد (متوسط ۱۲/۳۱ درصد)
Au	مقدار طلا بالا (بیشتر از ۷۰ درصد)	۱/۵ تا ۸ درصد	۱ تا ۶ درصد	۷۴/۱۳ تا ۹۴/۱۷ درصد (متوسط ۸۳/۷۶ درصد)

شدن، چگالی سیالات موثر در سیستم‌های کان‌زایی را می‌توان تعیین نمود (Bodnar, 1983). چگالی میان‌بارهای سیال کان‌زایی کاوند از لحاظ دما و شوری در دامنه ۰/۵ تا ۱ گرم بر سانتی مترمکعب قرار می‌گیرد (شکل ۱۳-ب). میزان فشار نیز برای سیالات درگیر منطقه کاوند کمتر از ۲۰۰ اتمسفر است. با توجه به نمودار تعیین تیپ کان‌زایی (Wilkinson, 2001)، داده‌های میان‌بارهای سیال منطقه کاوند در محدوده کانسارهای اپی‌ترمال قرار می‌گیرد (شکل ۱۳-پ)، و روند داده‌های میان‌بارهای سیال حکایت از سرد شدن عادی سیال و اختلاط سیال ماگمایی و جوی دارد (شکل ۱۳-الف). در نمودار عمق-دما و شوری میان‌بارهای سیال، نمونه‌های کاوند با میانگین درجه حرارت ۲۷۷/۸۴ درجه سانتی‌گراد و میانگین شوری ۳/۶۷ درصد وزنی معادل نمک طعام، عمق بیش از ۷۰۰ متری را نشان می‌دهد. نبود ساخت و بافت برشی در منطقه کاوند عدم رخداد جوشش را در طول تشکیل کان‌زایی نشان می‌دهد (شکل ۱۳-ب).

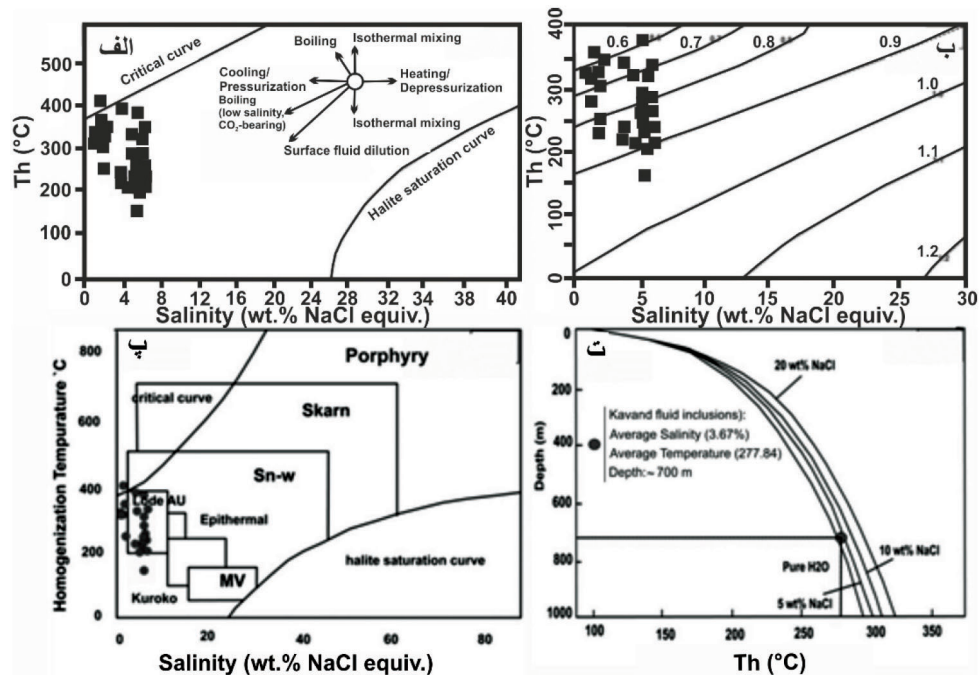
۴ تا ۱۸ میکرومتر که فراوان‌ترین آنها از ۵ تا ۸ میکرومتر مشاهده شده است. براساس مطالعات پتروگرافی، میان‌بارهای اولیه و ثانویه در نمونه مشاهده گردید که در عکس‌ها نیز به‌خوبی قابل تشخیص هستند. بر مبنای تقسیم‌بندی‌های شفرد و همکاران (Shepherd et al., 1985)، میان‌بارهای از نوع دو فاز مایع+بخار (L+V) و تک فازهای مایع (L) تشخیص داده شد، و هیچ‌گونه شاهدهی از حضور فاز نوزاد (S) یا CO₂ یا (LCO₂) مشاهده نشده است (شکل ۱۲). پدیده باریک‌شدگی نیز تشخیص داده شد که مورد مطالعه ریزدماسنجی قرار نگرفت (شکل ۱۲-ت). تغییرات دمای همگن شدن در میان‌بارهای دو فاز مایع و بخار در محدوده ۱۶۰ تا ۴۰۳ درجه سانتی‌گراد (میانگین ۲۷۷/۸۴ درجه سانتی‌گراد) به دست آمد. تغییرات دمای ذوب‌نهایی یخ (Tmice°C) بین ۰/۵- تا ۳/۵- درجه سانتی‌گراد برابر شوری ۰/۶۰ الی ۵/۸۶ درصد وزنی معادل نمک طعام به دست آمد. براساس نمودارهای ارائه شده بر پایه شوری و دمای همگن

جدول ۸. اندازه‌گیری‌های ریزدماسنجی میان‌بارهای سیال اولیه بر روی کوارت‌های هم‌زاد کان‌زایی منطقه کاوند

تعداد	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
نوع میان‌بار سیال	LV	LV	LV	LV	LV	LV	LV	LV	LV	LV	LV
اندازه (μm)	۷	۵	۱۲	۹	۷	۷	۵	۵	۴	۶	۸
Tm _{ice} (°C)	-۲/۵	-۲	-۱	-۰/۹	-۰/۸	-۰/۹	-۰/۸	-۰/۸	-۰/۹	-۲	-۳/۱
Salinity (wt/. NaCl)	۴/۲۴	۳/۳۹	۱/۵۷	۱/۳۸	۱/۱۹	۱/۳۸	۱/۱۹	۱/۱۹	۱/۳۸	۳/۳۹	۵/۲۳
ThLV (°C)	۳۲۶	۲۳۳	۳۵۰	۳۵۴	۴۰۳	۳۰۵	۳۲۰	۲۸۱	۲۳۰	۲۲۶	۳۲۲
تعداد	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲
نوع میان‌بار سیال	LV	LV	LV	LV	LV	LV	LV	LV	LV	LV	LV
اندازه (μm)	۹	۸	۸	۶	۷	۱۲	۶	۶	۷	۸	۵
Tm _{ice} (°C)	-۱	-۳	-۳/۵	-۳/۵	-۳	-۳/۱	-۳/۲	-۳	-۲	-۳	-۱/۵
Salinity (wt/. NaCl)	۱/۵۷	۵/۰۷	۵/۸۶	۵/۸۶	۵/۰۷	۵/۲۳	۵/۳۹	۵/۰۷	۳/۳۹	۵/۰۷	۰/۶
ThLV (°C)	۲۵۰	۲۸۵	۲۳۸	۲۱۴	۲۵۵	۲۰۸	۲۶۱	۲۴۰	۳۸۵	۳۸۰	۳۳۰
تعداد	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱		
نوع میان‌بار سیال	LV	LV	LV	LV	LV	LV	LV	LV	LV		
اندازه (μm)	۷	۸	۶	۱۵	۸	۸	۸	۸	۶		
Tm _{ice} (°C)	-۰/۵	-۳/۵	-۳/۲	-۳	-۳/۱	-۲/۶	-۲	-۳	-۳		
Salinity (wt/. NaCl)	۰/۶	۵/۸۶	۵/۳۹	۵/۰۷	۵/۲۳	۴/۴۱	۳/۳۹	۵/۰۷	۵/۰۷		
ThLV (°C)	۳۱۹	۲۳۹	۲۸۷	۲۸۰	۲۳۵	۲۱۲	۲۲۵	۱۶۰	۱۶۰		



شکل ۱۲. پتروگرافی میانبره‌های سیال کانی کوارتز. الف) میانبره‌های سیال تک فاز غنی از مایع (L)، ب و پ) میانبره‌های سیال دو فاز مایع و بخار (L+V)، ت) پدیده باریک‌شدگی میانبره‌های سیال در کوارتز

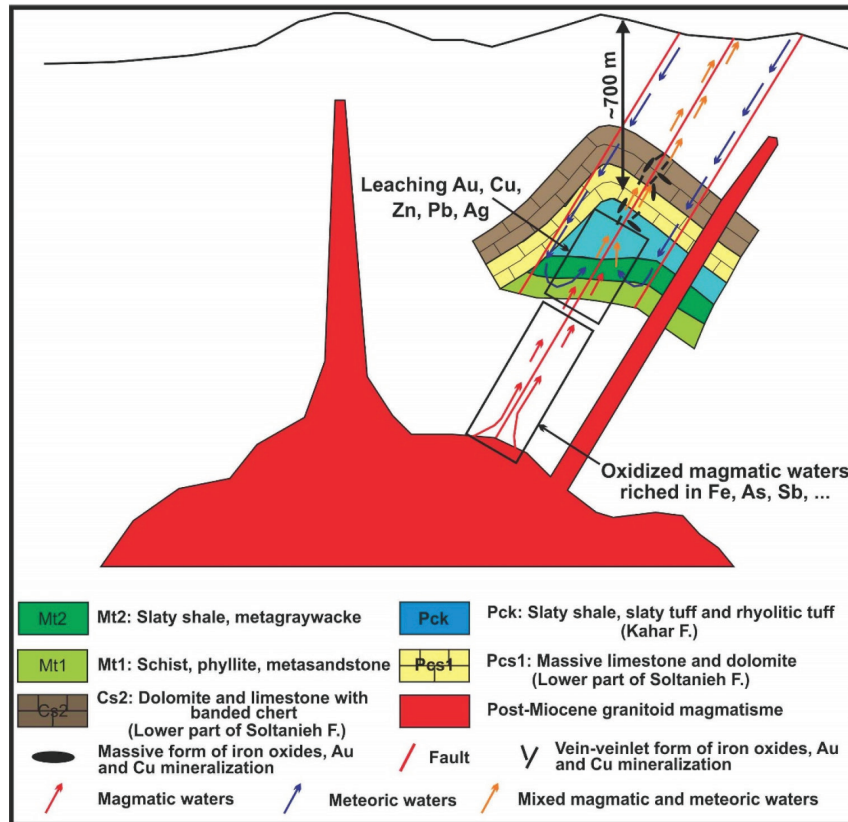


شکل ۱۳. نتایج اندازه‌گیری میانبره‌های سیال منطقه کاوند. الف) تغییرات درجه حرارت در برابر شوری بیان از سرد شدن عادی و اختلاط سیالات ماگمایی و جوی دارد (Shepherd et al., 1985)، ب) نمودار تعیین چگالی میانبر سیال بر حسب دمای همگن شدن و شوری (Bodnar, 1983)، نمونه‌های کاوند دارای چگالی کمتر از ۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب هستند، پ) نمودار تعیین تیپ کانه‌زایی براساس شوری و دمای همگن شدن (Wilkinson, 2001)، که نمونه‌های کاوند در محدوده کانسارهای اپی‌ترمال قرار می‌گیرند، ت) نمودار عمق-دما و شوری میانبره‌های سیال، که بر اساس میانگین شوری و دما، عمق تشکیل کانه‌زایی بیش از ۷۰۰ متر است

ژنز و نحوه تشکیل کانه‌زایی

منطقه کاوند بخشی از ایران مرکزی است و قدیمی‌ترین سازندهای زمین‌شناسی منصوب به پرکامبرین پسین است. در این منطقه و مناطق هم‌جوار در محور تکاب-زنجان از زمان اولیگوسن توده‌های نفوذی با ترکیب گابرویدیوریت، دیوریت پورفیری، کوارتز پورفیری، گرانیت و گرانودیوریت در سازندهای قدیمی‌تر نفوذ کرده‌اند (باباخانی و صادقی، ۱۳۸۳؛ Stöcklin and Eftekharnzhad, 1969). بررسی اطلاعات و یافته‌های موجود نشان می‌دهد که فعالیت گرمایی مربوط به کمان‌های آتشفشانی سنوزوئیک در محیط‌های تکتونیکی کم‌ژرفا و کششی در تشکیل کانه‌زایی‌های محور تکاب-زنجان از قبیل کانسارهای طلائی زرشوران، آق‌دره و توزلار و کانسار روی-سرب انگوران موثر بوده‌اند (Mehrabi et al., 1999; Asadi, 2000; Daliran, et al., 2002; Mehrabi et al., 2003; Boni et al., 2007; Daliran, 2008; Heidari et al., 2015). در منطقه کاوند، سیال ماگمایی اکسیدی غنی از آرسنیک، آنتیموان، و آهن به‌طور مستقیم از فعالیت‌های ماگمایی پس از الیگومیوسن منشاء می‌گیرد. این سیال باید به‌طور بخشی احیاء شود تا طلا و عناصر همراه (مس، سرب، روی و ...) را از سنگ‌های مسیر شستشو دهد. سنگ‌های دگرگونی پرکامبرین پسین (فیلیت، کوارتزیت، میکاشیست، شیل و ماسه‌سنگ اسلیتی)، و توف ریولیتی، توف اسلیتی و شیل‌های غنی از مواد آلی سازند کهر، سنگ‌های منشاء عناصر طلا، مس، سرب و روی در این منطقه هستند. طلا، آرسنیک، جیوه و آنتیموان در محلول‌های گرمایی در حرارت پایین بیشتر به‌صورت کمپلکس‌های بی‌سولفید حمل می‌شوند، اما مس، نقره، سرب، آهن و روی عمدتاً به‌صورت کمپلکس‌های کلریدی حمل می‌شوند. محلول گرمایی فلزدار از طریق شکستگی‌ها (گسل‌ها و درزه‌ها) و مناطق نفوذپذیر صعود می‌نمایند. داده‌های زمین‌شناسی ساختمانی در منطقه کاوند پیشنهاد می‌نماید که سری از گسل‌ها و درزه‌های نرمال نیمه‌موازی سنگ‌های دولومیت

سلطانیه را قطع می‌کنند. این گسل‌ها با زاویه شیب ۵۰ تا ۷۵ درجه دارای جهات امتداد NW-SE و E-W هستند، و کانه‌زایی بیشتر به‌وسیله روندهای گسلی NW-SE کنترل می‌گردد. اشکال کارستی، مناطق دگرسانی و کانه‌زایی نیز دارای جهت NW-SE می‌باشند. اگر چه گسل‌ها اغلب نرمال هستند، برخی گسل‌های امتداد لغز با جهت NE-SW نیز ثبت شده است (شکل ۲). ضمن بالا آمدن محلول از میان معبرهای گسلی به‌دلیل کاهش فشار ایستایی و برخورد سیال گرمایی فلزدار با سنگ‌های کربناتی (سازندهای سلطانیه و باروت) به‌تدریج گازهای CO_2 ، H_2S و HCl شروع به‌ظاهر شدن در محلول می‌کنند. عمقی که گازها شروع به‌ظاهر شدن می‌کنند تابع غلظت گازها و مقدار املاح محلول است. ظهور گازهای CO_2 و H_2S موجب افزایش pH محلول و در نتیجه باعث ناپایداری کمپلکس‌های کلریدی گردیده و مس، سرب، روی و نقره به‌صورت سولفید برجای گذاشته خواهند شد. شرایط اساسی در ناپایداری کمپلکس‌های بی‌سولفید طلا، آرسنیک، جیوه و آنتیموان را می‌توان کاهش سریع H_2S محلول، کاهش درجه حرارت، و افزایش pH نام برد. نتایج مطالعه میانبارهای سیال نیز سردشدن عادی سیال و اختلاط سیالات ماگمایی و جوی را تایید می‌نماید. بنابراین، فعالیت‌های ماگمایی و گرمایی، اشکال زمین‌ساختی (گسل‌ها و درزه‌ها)، فضا‌های کارستی و جنس سنگ‌های میزبان مسئول کانه‌زایی کاوند بوده‌اند (شکل ۱۴). ویژگی‌های مهم کانسار طلائی کاوند با برخی از کانسارهای طلا در ایران و جهان مقایسه شده است (جدول ۹). اگرچه، کانه‌زایی کاوند از جهاتی مانند جنس سنگ میزبان مشابه کانسارهای طلائی نوع کارلین است، ولی با توجه به هم‌یافتی‌های عنصری و کانیایی، دگرسانی، شکل کانه‌زایی، عیار بالای طلائی کانسنگ، ذرات درشت و قابل‌رویت طلا در رسوبات آبرفتی و سن تشکیل شباهت‌های زیادی با کانسارهای طلائی رگه‌ای ایپی‌ترمال با سنگ میزبان رسوبی (به‌عنوان مثال کانسار طلائی آق‌دره) دارد.



شکل ۱۴. مدل شماتیکی برای تکوین کانه‌زایی طلای کاوند. نقش سیال ماگمایی مرتبط با ماگماتیسم پس از الیگومیوسن، سیالات جوی، گسل‌ها، سنگ‌های منشاء (Mt2، Mt1، Pck) و سنگ‌های کربناتی میزبان (Pcs1 و Cs2) در تشکیل کانه‌زایی نمایان است

جدول ۹. مقایسه ویژگی‌های زمین‌شناسی و کانه‌زایی کانسار طلای کاوند با برخی از کانسارهای طلای ایران و جهان

نام کانسار	کانسار طلای کاوند	کانه‌زایی مس-طلای قاضی‌کندی (شمال شرق هشتگرد)	کانسار طلا-نقره (مس) توزلار	کانسار طلا (آرسنیک) زرشوران	کانسار آق‌دره
تیپ کانسار	ایپی‌ترمال با سنگ میزبان کربناتی	IOCG	طلای ایپی‌ترمال سولفید بالا	ایپی‌ترمال با سنگ میزبان رسوبی	طلای ایپی‌ترمال
جنس سنگ میزبان کانه‌زایی	سنگ‌های دولومیتی سلطانیه	آلکالی گرانیت نوع A و دایک‌های بایمدال (ریولیتی و دیابازی)	گدازه و سنگ‌های آذرآواری با ترکیب آندزیت تا تراکیت و توده‌های نفوذی میکرودیوریتی	سنگ‌های کربناتی-آواری و شیل‌های سیاه	سنگ‌آهک
سن سنگ میزبان محیط نکتونیک	پركامبرين بالایی محیط‌های کشتی مرتبط با زون‌های فرورانش	ائوسن حوضه‌های کشتی پشت کمر بند زون فرورانش، ریف‌های درون قاره‌ای، نقاط داغ قاره‌ای و حوضه کشتی بعد از تصادم قاره‌ای	مرتبط با کمان در حوضه‌های کم ژرفا درون قاره‌ای در هنگام مراحل کشتی همراه با بالا آمدگی و پیش از برخورد	پركامبرين بالایی محیط‌های کشتی مرتبط با زون‌های فرورانش	الیگومیوسن محیط‌های کشتی مرتبط با زون‌های فرورانش
دگرسانی‌های همراه کانی‌سازی	سیلیسی شدن، کربناتی شدن، آرزلیتی، و اکسید آهنی	سدیک، پتاسیک، کلریت، سرسیتی، کربناتی	پروپلیتیک، آرزلیک، فلیک، سرسیتی، آرزلیک پیشرفته، سیلیسی شدن	سیلیسی شدن، کربناتی شدن، آرزلیک	سیلیسی شدن، کربناتی شدن، آرزلیک
شکل کانی‌سازی	رگه-رگچه‌ای، برشی شدن، عدسی، و پرکننده فضاهای خالی کارستی	برشی، رگه-رگچه‌ای، توده‌ای، افشان	رگه‌ای، توده‌ای، برشی	به صورت پراکنده یا تمرکز در شکستگی‌ها، رگه-رگچه، عدسی	رگه-رگچه‌ای، توده‌ای

ادامه جدول ۹.

نام کانسار	کانسار طلائی کاوند	کانه‌زایی مس-طلائی قاضی‌کندی (شمال شرق هشتگرد)	کانسار طلا-نقره (مس) توزلار	کانسار طلا (آرسنیک) زرشوران	کانسار آق دره
کانه‌های کانسار	پیریت، کالکوپیریت، طلا، اسپیکولاریت، همتایت، آزوریت، مالاکیت، گوتیت، لیمونیت	کالکوپیریت، کالکوسیت، کوولیت، مالاکیت، آزوریت، کربزوکولار، همتایت، اسپیکولاریت، طلا	پیریت، کالکوپیریت، بورنیت و کمتر انارژیت، اسفالریت، کالکوسیت، کوولیت، دیزنیت، تتراهدریت، گالن، طلا	طلا، اریپمنت، رآلگار، استینیت، آرسنوپیریت، پیریت، اکسیدهای آهن	پیریت، آرسنوپیریت، رآلگار، اورپیمنت، سینابر، طلا
کانی‌های باطله	کوارتز، کلسیت، و باریت	کلسیت، و گاهی کوارتز	باریت، کلسیت، و کوارتز	کوارتز، باریت، فلونوریت، و کلسیت	باریت، و کوارتز
ساخت و بافت کانه‌زایی	رگه-رگچه‌ای، عدسی، برشی، دانه‌پراکنده، کلوفرمی، باقیمانده، اسفرولیتی، و جانیشینی	رگه-رگچه‌ای، پرکننده، برشی، پرکننده فضاهای خالی، و جانیشینی	رگه-رگچه‌ای، دانه پراکنده، برشی، پرکننده فضاهای خالی، و جانیشینی	رگه-رگچه‌ای، پرکننده، فضاهای خالی، پراکنده، و جانیشینی	رگه-رگچه‌ای، پرکننده، فضاهای خالی، جانیشینی، و پراکنده
عناصر معرف و ردیاب کانی‌سازی	Au, Fe, Cu, Ba, Sb, s, Hg, Zn, Pb, Ag	U, Li, K, Mo, Rb, W, P, Ba, REE	Cu, Sb, Mo, Pb, Ag, e	As, Sb, Hg, Tl, Au	As, Sb, Hg, Te, Se, Th, Ba, Zn, Ag, Cd, Bi, Pb, Cu
عیار عناصر Fe, Cu, Au	Ave.: Fe 15.7 %; Au 1.3 ppm; Cu 0.6 %	Fe >20% Au 0.01-10 ppm; Cu 2-8 %	Au 2.2 ppm; Cu 0.3 %	Au 10 ppm	Au 3.7-24.5 ppm; Fe 0.66-26.8 %; Cu 0.04-0.53 %
نقش کنترل کننده‌های چینه‌شناسی و ساختاری در کانه‌زایی	در ارتباط با پهنه‌های گسلی (عادی و امتداد لغز)، و حفرات سنگ‌های کربناتی	زون‌های کانه‌دار از سیستم گسلی، شکستگی‌ها و زون برشی، خردشدگی در واحدهای ولکانیکی و گرانیت تشکیل شده است	کانه‌زایی در یک مجموعه آتشفشانی-نیمه آتشفشانی در ارتباط با گسل‌ها و شکستگی‌های کنشی	-در ارتباط با پهنه‌های گسلی (عادی و امتداد لغز)، و حفرات سنگ‌های کربناتی	گسل‌های عمیق، راندگی، عادی و مورب لغز
همراهی کانه‌زایی با توده‌های آذرین (ماگماتیسم)	گرانیتوئیدهای (دیوریت-گابرو و فرو گابرو) الیگومیوسن	گرانیتوئیدهای سری A و I و دایک‌های مافیک و فلسیک	کانه‌زایی در یک مجموعه آتشفشانی-نیمه آتشفشانی کالک آلکان با تمایل به آلکان	گرانیتوئیدهای (گرانودیوریت، دیوریت-گابرو و فرو گابرو) میوسن بالایی-پلیوسن	سنگ‌های آندزیتی و ربولیتی میوسن و گرانیتوئیدهای الیگومیوسن
درجه حرارت و شوری سیال کانه‌ساز	403-160 °C, 3.67 wt % NaCl	داده‌ای موجود نبود	211-310 °C, 0.3-8 wt% NaCl	داده‌ای موجود نبود	129-197 °C; 128-236 °C (میزان شوری سیال: داده‌ای موجود نبود)
منابع	تحقیق حاضر	سهرابی و رضایی اقدم، ۱۳۹۴	Heidari et al. (2015)	Asadi (2000); Mehrabi et al. (1999); Mehrabi et al. (2003)	Daliran (2008)
نام کانسار	کانسار طلائی کوه‌زر تربت حیدریه	کانسار طلائی نوع کارلین (نوادا)	کانسار مس-طلائی erneck, Yukon (کانادا)	کانسار مس-طلائی Moghreïn (موریتانی)	Guelb IOCG
تیپ کانسار	IOG	ایپی‌ترمال با سنگ میزبان رسوبی	IOCG	IOCG	IOCG
جنس سنگ میزبان کانی‌سازی	سنگ‌های آتشفشانی و نفوذی اسیدی تا حدواسط ائوسن-الیگوسن	سنگ آهک و ماسه سنگ‌های کربناتی سیلورین-دونین	متاسندستون، سیلستون، سنگ آهک	در پیکره متاکربنات (سنگ کربناتی دگرگونه) اواخر آرکن	در پیکره متاکربنات (سنگ کربناتی دگرگونه) اواخر آرکن
سن سنگ میزبان محیط تکتونیکی	ماگماتیسم در حاشیه‌ی قاره، و یا زون فرورانش سیلیسی شدن	رفیت حاشیه قاره	رفیت فاره‌ای	رفیت فاره‌ای	رفیت فاره‌ای
دگرسانی‌های همراه کانی‌سازی	سلیسی شدن	کربناتی شدن، آرژیلیکی، سلیسی شدن	سدیک و سدیک-پتاسیک	سدیک و سدیک-پتاسیک	سدیک و سدیک-پتاسیک
شکل کانی‌سازی	رگه‌ای، داربستی، برش‌های گرمایی	برشی، رگه-رگچه‌ای	رگه‌ای، برشی شدن شدید، پراکنده	عدسی، برشی شدن شدید، رگه‌ای	عدسی، برشی شدن شدید، رگه‌ای
کانه‌های کانسار	اسپیکولاریت، کالکوپیریت، گالن، اسفالریت، پیریت، بورنیت، پیروتیت، آرسنوپیریت	پیریت، پیروتیت، کالکوپیریت، اسفالریت، گالن، مارکاسیت، اکسیدهای آهن، رآلگار، استینیت، اورپیمنت	پیریت، کالکوپیریت، همتایت، مگنتیت، آنکرت	کالکوپیریت، پیریت، آرسنوپیریت، مگنتیت، پیروتیت، طلا، بورنیت، گرافیت، الکتروم، سیدریت	کالکوپیریت، پیریت، آرسنوپیریت، مگنتیت، پیروتیت، طلا، بورنیت، گرافیت، الکتروم، سیدریت
کانی‌های باطله	کوارتز، کلسیت، کلریت، و کربنات آهن‌دار	کلسیت، کوارتز، و سربسیت	کلسیت، باریت، دولومیت، سیدریت، و کلریت	کربنات، کوارتز، و کلسیت	کربنات، کوارتز، و کلسیت

ادامه جدول ۹.

نام کانسار	کانسار طلای کاوند	کانه‌زائی مس-طلای قاضی‌کندی (شمال شرق هشتگرد)	کانسار طلا-نقره (مس) توزلار	کانسار طلا (آرسنیک) زرشوران	کانسار آق دره
ساخت و بافت کانه‌زائی عناصر معرف و ردیاب کانه‌زائی	بافت شانه‌ای، لایه‌ای، برشی، رگه-رگچه‌ای، جانیشینی Au, Ag, Pb, Zn, Ba, W, Fe, Bi	پرکننده فضاهای خالی، رگه- رگچه‌ای، جانیشینی As, Sb, Hg, Tl, Te, Cu, Pb, Mo, Zn, Mn, Bi, Ni, Cu, Ag	رگه-رگچه‌ای، برشی، پرکننده فضاهای خالی U, Co, Mo	برشی، دانه‌پراکنده، جانیشینی، رگه-رگچه‌ای Ag, Bi, Co, REE, Ni	
عیار عناصر Fe, Cu, Au	Au 3 ppm; Cu 1.2 %; Fe 8.8-23.3 %	داده‌ای موجود نبود	داده‌ای موجود نبود	Au 2.2 ppm; Cu 2.17 %	
نقش کنترل‌کننده‌های کانی‌سازی در زون‌های گسلی چینه‌شناسی و ساختاری در کانی‌سازی	کانی‌سازی در زون‌های گسلی در راستای لغزشی در درون سنگ‌های آتشفشانی و نفوذی	گسل عادی	گسل‌ها، زون‌های برشی، و محور چین	در طول گسل‌ها و شکستگی‌ها	
همراهی کانی‌سازی با توده‌های آذرین (ماگماتیسیم)	مونزونیت تا سینوگرانیت	داده‌ای موجود نبود	داده‌ای موجود نبود	سنگ‌های آتشفشانی آندزیتی و ریولیتی	
درجه حرارت و شوری سیال کانه‌ساز	430-468 °C; 295-335 °C; 210-270 °C; 235-256 °C (میزان شوری سیال: داده‌ای موجود نبود)	180-240 °C; 2-3 wt. % NaCl	185-350 °C; wt. % NaCl 42-24	داده‌ای موجود نبود	
منابع	مظلومی و همکاران (۱۳۸۷)	Cline et al. (2005)	Hunt et al. (2007)	Kirschbaum and Itzman (2016)	

نتیجه‌گیری

طلا از ترکیب کانی‌های سولفیدی و اکسیدی اولیه، سبب افزایش مقدار طلا در کانسنگ و تمرکز طلای آزاد در رسوبات آبرفتی منطقه کاوند شده است. کانه‌زایی طلای کاوند بخشی از سیستم اپی‌ترمال مرتبط با کمان ماگمایی سنوزوئیک در ناحیه زنجان-تکاب است، که در سنگ میزبان کربناتی رخ داده است.

سپاسگزاری

نگارندگان مقاله از سازمان ایמידرو که بخشی از تجزیه‌های شیمیایی، مطالعه میانبارهای سیال و تجزیه‌های ریزکوالکترونی را انجام داده‌اند، سپاسگزاری می‌نمایند. از سازمان صنعت، معدن و تجارت استان زنجان و به‌ویژه آقای مهندس حقیقت که با انجام پژوهش در محدوده کاوند موافقت نموده و امکانات انجام کارهای صحرایی و اسکان را فراهم نمودند، تشکر صمیمانه دارند. از دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود که بستر و محیط مناسبی را برای انجام پژوهش آماده کرده‌اند، قدردانی می‌شود. از

ماگماتیسیم پس از الیگومیوسن در ناحیه تکاب-زنجان فعالیت‌های گرمایی گسترده‌ای را سبب شده، و کانه‌زایی طلا در سنگ میزبان‌های مختلف از جمله سنگ‌های کربناتی-آواری پرکامبرین پسین در منطقه کاوند را تشکیل داده است. سیال گرمایی اکسیدی با منشاء ماگمایی از طریق شکستگی‌های نرمال بالا آمده، و با آب‌های جوی مخلوط می‌شود. این سیال طلا و عناصر همراه را از سنگ‌های دگرگونی پرکامبرین پسین شستشو می‌دهد. برخورد سیال گرمایی فلزدار با سنگ‌های کربناتی پرکامبرین پسین، موجب افزایش pH، کاهش H₂S و درجه حرارت محلول، ناپایداری کمپلکس‌ها و منجر به کانه‌زایی می‌شود. مرحله ابتدائی هیپوزن کانه‌زایی با تشکیل گسترده کوارتز، باریت، سولفید و طلا همراه است که در مرحله بعدی با مقادیر زیادی از اسپکیولاریت و هماتیت دنبال می‌گردد. اکسیداسیون کانی‌های سولفیدی و اکسیدی اولیه در مرحله سوپرزن سبب تشکیل اکسی‌هیدروکسیدهای آهن-منگنز و کانی‌های ثانویه مس شده است. فرآیند اکسیداسیون با آزادسازی

neider, J., Allen, C.R. and Moore F., 2007. Hypogene Zn carbonate ore in the Angouran deposit, NW Iran, Mineralium Deposita, 42, 799-820.

- Cline, J.S., Hofstera, A.H., Muntean, J.L., Tosdal, R.M. and Hickey K.A. 2005. Carlin-type gold deposits in Nevada: critical geologic characteristics and viable models. Society of Economic Geologists, Inc. Economic Geology, 100th Anniversary Volume, 451-484.

- Cox, K.G., Bell, J.D. and Pankhurst R.J., 1979. The Interpretation of Igneous Rocks, George, Allen and Unwin, London, 445.

- Daliran, F., Hofstra, A.H., Walter, J. and Stuben D., 2002. Agdarreh and Zarshouran SRH-DG deposits, Takab region, NW Iran, GSA Annual Meeting, Abstr with Prog, Session 68-8.

- Daliran, F., 2008. The carbonate rock-hosted epithermal gold deposit of Agdarreh, Takab geothermal field, NW Iran-Hydrothermal alteration and mineralization, Mineralium Deposita, 43, 383-404.

- Flood, P.G. and Chivas A.R., 1995. Origin of massive dolomite, Leg 143, Hole 866A, Resolution Guyot, Mid-Pacific Mountains: in Winterer, E.L., Sager, W.W., Firth, J.V., and Sinton, J.M.(eds.), Proc. ODP, Sci. Result, 143, 161-170.

- Gill, J.B., 1981. Orogenic andesites and plate tectonics, Mineral and Rocks Berlin, Heidelberg, New York, Springer, 16, 390.

- Goss, A.R. and Kay S.M., 2009. Extreme high field strength element (HFSE) depletion and near-chondritic Nb/Ta ratios in Central Andean adakite-like lavas (28° S, 68° W), Earth and Planetary Science Letters, 279, 97-109.

- Heidari, S.M., Daliran, F., Paquette, J.L. and Gasquet D., 2015. Geology, timing, and

دستاندرکاران فصلنامه زمین‌شناسی ایران و داورانی که ارزیابی مقاله حاضر را قبول می‌فرمایند، تشکر می‌شود.

منابع

- آدابی، م.ح.، ۱۳۹۰. ژئوشیمی رسوبی، انتشارات آریز زمین، چاپ دوم، ۵۰۴.

- باباخانی، ع.ر. و صادقی، خ.، ۱۳۸۳. گزارش و نقشه زمین‌شناسی ورقه زنجان، سری ۱/۱۰۰۰۰۰، شماره ۵۶۶۳، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

- پرتاک، ن.، ۱۳۹۶. کانی‌شناسی، ژئوشیمی و خاستگاه کانه‌زایی اکسیدهای آهن-طلا-مس در منطقه کاوند، جنوب باختر زنجان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۱۷۰.

- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۵۷. اکتشافات ژئوشیمیایی و کانی سنگین در چهارگوش ۱:۱۰۰۰۰۰ زنجان، شماره ۵۶۶۳، گزارش داخلی.

- سازمان صنعت، معدن و تجارت استان زنجان، ۱۳۸۷. اکتشافات ژئوشیمیایی سیستماتیک در ورقه‌ی ۱:۱۰۰۰۰۰ زنجان، شماره ۵۶۶۳، گزارش داخلی.

- سازمان صنعت، معدن و تجارت استان زنجان، ۱۳۸۹. بی‌جویی به روش اکتشافات ژئوشیمیایی ۱/۲۵۰۰۰ در محدوده کاوند، جنوب غرب زنجان، گزارش داخلی.

- سهرابی، ق. و رضائی اقدم، م.، ۱۳۹۴. کانه‌زایی نوع IOCG در زون متالوژنی بستان‌آباد-میانه (شمال شرق هشت‌رود). سی و چهارمین گردهمایی و دومین کنگره بین‌المللی تخصصی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.

- مظلومی، ع.ر.، کریم‌پور، م.ح.، رسا، ا.، رحیمی، ب. و وثوقی‌عابدینی، م.، ۱۳۸۷. کانسار طلائی کوه‌زرتربت حیدریه، مدل جدیدی از کانی‌سازی طلا، مجله انجمن بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، ۳، ۳۶۳-۳۷۶.

- Asadi, H.H., 2000. The Zarshuran gold deposit model, applied in mineral exploration GIS in Iran, Ph.D. thesis, ITC, Netherland, Dissertation, 78, ISBN 90-6164-1853.

- Bodnar, R., 1983. A method of calculating fluid inclusion volumes based on vapor bubble diameters and P-V-T-X properties of inclusion fluid, Economic Geology, 78, 535-542.

- Boni, M., Gilg, H.A., Balassone, G., Sch-

- genesis of the high sulfidation Au (-Cu) deposit of Touzlar, NW Iran, *Ore Geology Reviews*, 65, 460-486.
- Higgins, M., 2012. Placer gold provenance in the Black Hills Creek west-central Yukon: Insight from grain morphology and geochemistry, BSc Thesis, Honours Department of Earth Sciences, Dalhousie University, Halifax, Nova Scotia, 95.
 - Hofstra, A.H., 2002. Diverse origins of sedimentary rock-hosted disseminated gold deposits worldwide, Overview, GSA Annual Meeting, Abstr with Prog, Session 63-1.
 - Hunt, J.A., Baker, T. and Thorkelson D.J., 2007, A review of iron oxide copper-gold deposits, with focus on the Wernecke breccias, Yukon, Canada, as an Example of a non-magmatic end member and implications for IOCG genesis and classification. *Exploration and Mining Geology*, 16 (3-4), 209-232.
 - Irvine, T.N. and Baragar W.R.A., 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks, *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8, 523-548.
 - Karimi, M., 1993. Petrographic-mineralogical studies and the genesis of the Au-As ore at Zarshouran (Takab), M.Sc. thesis, University of Tarbiat Moallem, Tehran, 264.
 - Kovalenko, V.I., Naumov, V.B., Girnis, A.V., Dorofeeva, V.A. and Yarmolyuk V.V., 2010. Average composition of basic magmas and mantle sources of island arcs and active continental margins estimated from the data on melt inclusions and quenched glasses of rocks, *Petrology*, 18, 1-26.
 - Kirschbaum, M.J. and Hitzman M.W., 2016. Guelb Moghrein: an unusual carbonate-hosted iron oxide-copper-gold deposit in Mauritania, Northwest Africa. *Economic Geology*, 111,3, 763-770.
 - Land, L., 1985. The origin of massive dolomite: summary and suggestion. *Journal of Geological Education*, 33, 112-125.
 - Maniar, P.D. and Piccoli P.M., 1989. Tectonic discrimination of granitoids, *Geological Society of America Bulletin*, 101, 635-643.
 - Mehrabi, B., Yardley, B.W.D. and Cann J.R., 1999. Sediment-hosted disseminated gold mineralization at Zarshura, NW Iran, *Mineralium Deposita*, 34, 673-696.
 - Mehrabi, B., Yardley, B.W.D. and Komninue A., 2003. Modelling the As-Au association in hydrothermal gold mineralization: Example of Zarshuran deposit, NW Iran, *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran*, 14, 37-52.
 - Nabatian, G., Rastad, E., Neubauer, F., Honarmand, M. and Ghaderi M., 2015. Iron and Fe-Mn mineralisation in Iran: implications for Tethyan metallogeny. *Australian Journal of Earth Sciences*, 62, 211-241.
 - Palacios, C. and Herail G., 2001. The composition of gold in the Cerro Casale gold-rich porphyry deposit, Maricunga belt, northern Chile, *Canadian Mineralogist*, 39, 907-915.
 - Rao, C.P., 1996. *Modern Carbonates, Tropical, Temperate, Polar: introduction to sedimentology and geochemistry*, Arts of Tasmania, 206.
 - Robert, F., Poulsen, K.H. and Dube B., 2015. Gold deposits and their geological classification, *Exploration Geochemistry*, 29, 209-219.
 - Rollinson, H.R., 1993. *Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation*, England, Longman Scientific and Technical, 351.

- Sass, E. and Bein A., 1988. Dolomites and salinity: a comparative geochemical study. In: Shukla, V., and Baker, P.A. (eds): Sedimentology and Geochemistry of Dolostones. Society for Sedimentary Geology, 43, 223-233.
- Shepherd, T.J., Rankin, A.H. and Alderton D.H.M., 1985. A Practical Guide to Fluid Inclusion Studies, Blackie, Glasgow, Chapman, New York, 239.
- Shukla, v. and Baker P.A., 1988. Sedimentology and geochemistry of dolostones, Society of Economic Paleontologist and Mineralogists, Special Publication, 43, 266.
- Stöcklin, J., 1968. Structural history and tectonics of Iran: A review, The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 52, 1229-1258.
- Stöcklin, J. and Eftekharneshad J., 1969. Geological mapping of Zanjan quadrangle, Number D4, Series 1:250, 000, Geological Survey of Iran (GSI), Tehran.
- Sun, S.S. and McDonough W.F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes, in Saunders, A.D., and Norry, M.J., eds., Magmatism in the oceanic basins, Geological Society of London Special Publication, 42, 313-345.
- Townley, B.K., Herail, G., Makshev, V., Palacios, C., Parseval, P., Sepulveda, F., Orellana, R., Rivas, P. and Ulloa C., 2003. Gold grain morphology and composition as an exploration tool: Application to gold exploration in covered areas, Geochemistry, Exploration, Environment, Analysis, 3, 29-38.
- Vahrenkamp, V.C. and Swart P.K., 1990. New distribution coefficient for incorporation of strontium into dolomite and its implications for the formation of ancient dolomites. Geology, 18, 387-391.
- Veizer, J., 1978. Secular variations in the composition of sedimentary carbonate rocks, II. Fe, Mn, Ca, Mg, Sr and minor constituents. Precambrian Research, 6, 381-413.
- Whitney, D.L. and Evans B.W., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals, American Mineralogist, 95, 185-187.
- Wilkinson, J., 2001. Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits, Lithos, 55, 229-272.
- Wilson, M., 1989. Igneous Petrogenesis a Global Tectonic Approach, Department of Earth Science, University of Leeds, 466.