

رخداده معدنی عربشاه: کانه‌زایی اپی‌ترمال طلا- آرسنیک- آنتیموان تیپ کارلین در پهنه فلززایی تکاب- انگوران- تخت سلیمان، آذربایجان غربی

معصومه نجف‌زاده

دانش‌آموخته کارشناسی ارشد پترولوژی، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

محمد ابراهیمی

استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

میرعلی اصغر مختاری

استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

حسین کوهستانی

استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۵/۵/۲۶ تاریخ پذیرش: ۹۵/۸/۵

kouhestani@znu.ac.ir

چکیده

کانه‌زایی طلا- آرسنیک- آنتیموان عربشاه به صورت یک پهنه سیلیسی غنی از هیدروکسیدهای آهن درون دولومیت مرمری شده پرکامبرین رخ داده است. پیریت، گالن، اسفالریت، اورپیمنت، رآلگار، استینیت و کالکوپیریت، کانی‌های معدنی و کلسیت، کوارتز و باریت کانی‌های باطله را در عربشاه تشکیل می‌دهند. دگرسانی‌ها شامل کربنات‌زدایی، سیلیسی، سولفیدی، آرژلیک و کربناتی می‌باشند. پنج مرحله کانه‌زایی در عربشاه قابل تفکیک است. طلا به صورت غیرقابل رؤیت درون شبکه کانی‌های سولفیدی (به‌ویژه پیریت) در مرحله دوم تشکیل شده است. مقایسه الگوی عناصر کمیاب در گنبد‌های نیمه آتشفشانی داسیتی سالم و فاقد کانه‌زایی میوسن میانی- بالایی و بخش‌های کانه‌دار نشان‌دهنده ارتباط احتمالی سیالات کانی‌ساز با این گنبد‌ها می‌باشد. ویژگی‌های رخداده معدنی عربشاه با کنسارهای طلای نوع کارلین قابل مقایسه است. بررسی پهنه‌های گسلی و دگرسانی در واحدهای دگرگونه پرکامبرین که ارتباط فضایی نزدیکی با توده‌های نیمه‌آتشفشانی داسیتی میوسن میانی- بالایی دارند، کاربرد فراوانی در اکتشاف این تیپ از کانه‌زایی‌های طلا در منطقه تکاب- انگوران- تخت سلیمان دارد.

کلمات کلیدی: کارلین، عربشاه، تکاب، انگوران، تخت سلیمان

مقدمه

منطقه می‌توان به سرب- روی- نقره آی‌قلعه‌سی (شیرخانی، ۱۳۸۷؛ محمدی نیایی، ۱۳۹۴؛ Mohammadi Niaei et al., 2015)، سرب- روی- نقره حلب (کرمی و همکاران، ۱۳۹۴)، طلا- آرسنیک عربشاه (نجف‌زاده، ۱۳۹۴)، طلا- سرب قوزلو (Daliran, 2008)، روی (طلا- آهن) چیچکلو (Daliran, 2008)، آنتیموان آق‌دره بالا، بلدرقانی و پخیربولاقی (Daliran, 2008)، جیوه شیرمرد، یارازیز و کوه شاخ شاخ (Daliran, 2008)، آهن گورگور (محمدی و همکاران، ۱۳۹۳)، شهرک و کوه‌بابا (Daliran, 2008) و مس بایچه‌باغ (Daliran, 2008؛ لطفی و کریمی، ۱۳۸۳) اشاره کرد. اغلب این کانه‌زایی‌ها مرتبط با فعالیت‌های گسترده آتشفشانی- گرمایی سنوزوئیک تا عهد حاضر می‌باشند (Daliran, 2008). رخداده معدنی طلا- آرسنیک- آنتیموان عربشاه یکی از کانی‌سازی‌های موجود در منطقه تکاب- انگوران- تخت سلیمان می‌باشد که آثار فعالیت‌های معدنی قدیمی در آن به صورت تونل‌های استخراجی متعدد برای بهره‌برداری زرنیخ (اورپیمنت) قابل مشاهده است. فعالیت‌های اکتشافی در طی سال‌های اخیر بر روی این رخداده معدنی (به‌منش، ۱۳۹۲) منجر به شناسایی رگه‌های سیلیسی و پهنه‌های غنی از هیدروکسیدهای آهن حاوی کانی‌سازی

رخداده معدنی طلا- آرسنیک- آنتیموان عربشاه در استان آذربایجان غربی و در فاصله ۲۷ کیلومتری جنوب خاور تکاب با موقعیت ۴۰۲۷۸۵۷ عرض شمالی و ۷۰۷۰۲۹ طول خاوری (پهنه ۳۸، سامانه مختصات جغرافیایی، UTM)، در قسمت میانی نقشه زمین‌شناسی مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ تکاب (فنودی و حریری، ۱۳۷۸) واقع شده است. براساس تقسیمات محیط‌های تکتونیکی- رسوبی ایران (Stocklin, 1968)، این رخداده معدنی در بخش شمالی پهنه سندانج-سیرجان قرار گرفته و بخشی از پهنه فلززایی تکاب- انگوران- تخت سلیمان (Daliran et al., 2002; Daliran, 2008) محسوب می‌شود. از دیدگاه فلززایی، منطقه تکاب- انگوران- تخت سلیمان یکی از ایالت‌های فلززایی مهم در ایران محسوب می‌شود. کنسارهای طلای زرشوران (Daliran et al., 1999, 2002; Mehrabi et al., 1999)؛ و توزلار (Asadi et al., 1999, 2000)، آق‌دره (Daliran, 2008) و توزلار (حیدری، ۱۳۹۲؛ حیدری و همکاران، ۱۳۹۳؛ Heidari et al., 2015) همراه با کنسار روی- سرب انگوران (Daliran et al., 1999, 2013)؛ Gilg et al., 2006; Boni et al., 2007)؛ قدیمی و نباتیان، ۱۳۹۳) در این منطقه قرار دارند. از دیگر کنسارها و نشانه‌های معدنی موجود در این

انجام مطالعات زمین‌شیمیایی و اندازه‌گیری عناصر اصلی، کمیاب و کمیاب خاکی، تعداد ۵ نمونه از بخش‌های کانهدار انتخاب و به روش ICP-MS در آزمایشگاه‌های شرکت زراژما، تهران آنالیز گردید.

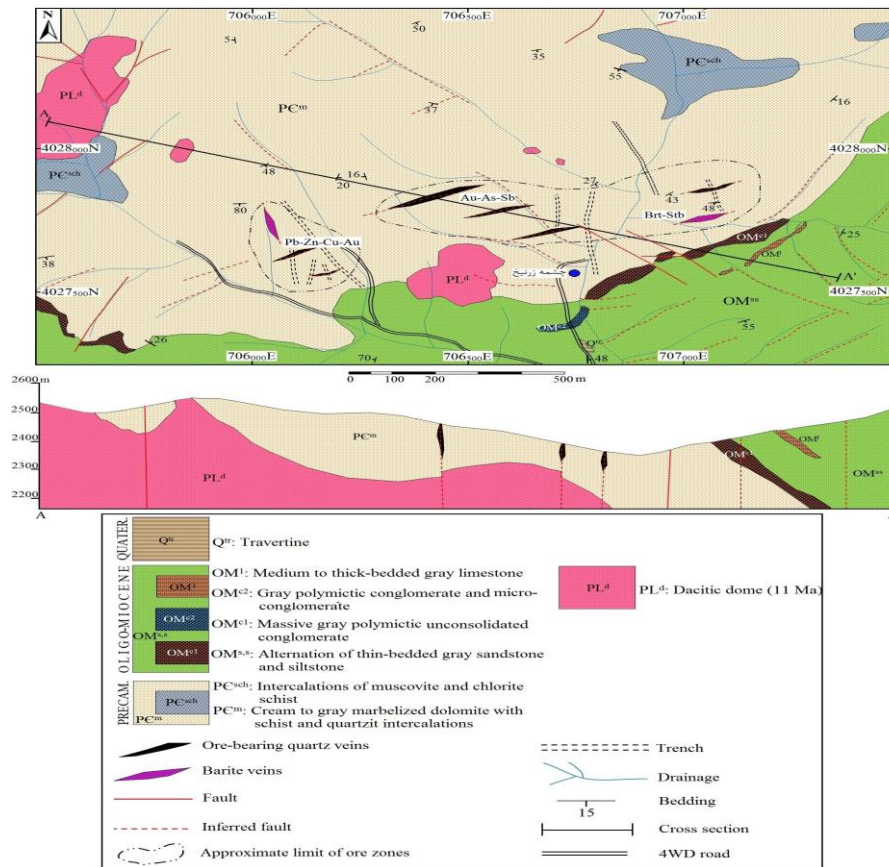
زمین‌شناسی منطقه عربشاه

با توجه به نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ تکاب (فنونودی و حریری، ۱۳۷۸) و براساس مطالعات صحرایی انجام‌شده در قالب تهیه نقشه ۱:۵۰۰۰ (شکل ۱)، واحدهای سنگی موجود در منطقه شامل سنگ‌های دگرگونی پرکامبرین (میکاشیست، کلریت شیست، آمفیبول شیست، کالک شیست و مرمر) است که با ناپوستگی زاویه‌دار توسط واحدهای آواری الیگو میوسن (کنگولمرا، ماسه‌سنگ، سیلت‌سنگ و گاه سنگ‌های آهکی) پوشیده شده‌اند. این مجموعه‌های سنگی توسط یکسری گنبد‌های نیمه‌آتشفشانی داسیتی به سن بعد از میوسن (فنونودی و حریری، ۱۳۷۸) قطع شده‌اند. زمین‌شناسی این واحدها به شرح زیر است:

طلا، نقره، آرسنیک، سرب و روی شده است. در این مقاله، ویژگی‌های زمین‌شناسی، کان‌زایی و زمین‌شیمیایی این رخداد معدنی مورد بررسی قرار گرفته و تیپ کان‌زایی و مدل تشکیل آن تعیین شده است. مطالعه دقیق این نوع کان‌زایی‌ها می‌تواند عوامل کلیدی توزیع زمانی و مکانی برای اکتشاف کان‌زایی‌های مشابه در پهنه فلززایی تکاب-انگوران-تخت‌سلیمان را معرفی نموده و به‌عنوان الگوی اکتشافی مورد استفاده قرار گیرد.

روش مطالعه

در این پژوهش ابتدا طی مطالعات صحرایی، رخنمون‌های کانی‌سازی شناسایی و چگونگی ارتباط آنها با سنگ‌های میزبان مشخص گردید. همزمان، نمونه‌برداری از واحدهای سنگی میزبان و رخنمون‌های کانی‌سازی به‌منظور مطالعات سنگ‌شناسی، کان‌نگاری و ساخت و بافت انجام گردید. در مرحله بعد، پس از تهیه مقاطع نازک (۲۳ عدد) و نازک-صیقلی (۱۷ عدد) و صیقلی (۴ عدد)، مطالعات سنگ‌شناختی و کان‌نگاری با استفاده از میکروسکوپ‌های پلاریزان دو منظوره مدل GX در دانشگاه زنجان انجام شد. سپس به‌منظور



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی منطقه عربشاه و موقعیت پهنه کانهدار و رگه‌های باریتی بر روی آن.

با شیب به سمت جنوب‌خاور است که به‌دلیل عملکردهای تکتونیکی، جایگاهی‌های زیادی در روند لایه‌ها و شیب و جهت شیب آنها دیده می‌شود. در نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ (فنونودی و حریری، ۱۳۷۸)، سن این واحد پرکامبرین در نظر گرفته شده است. این واحد توسط توده‌های نیمه‌آتشفشانی داسیتی مورد هجوم قرار گرفته (شکل ۲ الف) و هاله‌های دگرسانی با شدت و ضعف متفاوت در آن ایجاد شده است.

واحد PC^m: این واحد گسترده‌ترین واحد سنگی رخنمون یافته در منطقه می‌باشد که از لایه‌های نازک تا متوسط دولومیت مرمری شده کرم تا خاکستری رنگ تشکیل شده است (شکل ۲ الف). در برخی نقاط، میان‌لایه‌های شیستی (شامل میکاشیست، مسکویت شیست، مسکویت کالک‌شیست و کالک‌شیست) و باندهای سیلیسی-چرتی و همچنین میان‌لایه‌هایی کوارتزیتی (با ضخامت حداکثر یک متر) به‌صورت هم‌شیب داخل این واحد مشاهده می‌شود. روند عمومی لایه‌های واحد PC^m، شمال‌خاور- جنوب‌باختر

واحد Q^T : این واحد سنگی متشکل از لایه‌های متوسط تا ضخیم لایه ترارتن است که در حاشیه باختری رودخانه عربشاه، در حاشیه جاده بصورت رخنمون‌های کوچک قابل مشاهده است (شکل ۲ ه). این نهشته‌ها مربوط به عهد حاضر بوده و در نتیجه فعالیت چشمه‌های معدنی ترارتن‌ساز (مشابه منطقه تخت سلیمان) تشکیل شده‌اند. گسترش این نهشته‌ها محدود بوده و بر روی واحدهای آواری الیگو میوسن تشکیل شده‌اند.

واحد PL^d : این سنگ‌ها، توده‌های نیمه‌آتشفشانی با ترکیب داسیتی هستند که درون مجموعه‌های دگرگونی پرکامبرین (PC^m و PC^{sch}) و واحدهای سیلت‌سنگی و ماسه‌سنگی الیگومیوسن (OM^{ss}) نفوذ کرده‌اند (شکل ۲ الف). بزرگ‌ترین رخنمون این توده‌ها در بخش‌های باختری منطقه، درون مجموعه‌های دگرگونی پرکامبرین (PC^m و PC^{sch}) است که بیش از ۵۰۰ متر درازا و متوسط ۲۰۰ متر پهنا دارد. نفوذ توده‌های مزبور سبب تشکیل هاله‌های دگرسانی در واحدهای میزبان اطراف آنها شده است که با رنگ روشن‌تر در مجاورت توده (دگرسانی سیلیسی و آرژیلیک) قابل شناسایی است. رخنمون بزرگی از این سنگ‌ها با عنوان گنبد ایوب انصار در جنوب منطقه کانه‌زایی عربشاه و با فاصله حدود ۵ کیلومتر از آن مشاهده می‌شود که نتایج آنالیز سن‌سنجی اورانیوم-سرب کانی‌های زیرکن توسط (حیدری، ۱۳۹۲)، میانگین سنی ۱۱ میلیون سال (میوسن میانی- بالایی) را برای این توده داسیتی مشخص کرده است که با داده‌های صحرایی و زمین‌شناسی منطقه مطابقت دارد.

کانه‌زایی

کانه‌زایی در منطقه عربشاه به‌صورت یک پهنه سیلیسی غنی از هیدروکسیدهای آهن در واحد دولومیت مرمری‌شده پرکامبرین (واحد PC^m) رخ داده است (شکل ۳ الف). روند پهنه کانی‌سازی، خاوری- باختری بوده و بیش از ۵۰۰ متر درازا و حدود ۲۰۰ متر پهنا دارد. تمرکز اصلی کانه‌زایی، در مجاورت چشمه‌ای موسوم به چشمه‌زرنیخ می‌باشد. این چشمه، موقعیت دهانه تونل قدیمی ریزش کرده می‌باشد که برای استخراج آرسنیک (اورپیمنت و رآلگار) و طلا (۹) احداث شده بود. براساس مطالعات صحرایی، پهنه کانه‌دار عربشاه به دو بخش خاوری و باختری قابل تفکیک است. کانه‌زایی طلا-آرسنیک-آنتیموان در بخش خاوری منطقه و به‌صورت رگه‌های سیلیسی غنی از هیدروکسیدهای آهن با روند شمال‌خاوری- جنوب‌باختر و خاوری- باختری در داخل دولومیت‌های مرمری‌شده غنی از هیدروکسیدهای آهن رخ داده است (شکل ۳ ب). سبزی رگه‌ها بین یک تا دو متر متغیر است. آثار کانی‌سازی آرسنیک به‌صورت اورپیمنت و رآلگار در مرمرهای سیلیسی شده این بخش قابل مشاهده است (شکل ۳ ج). میانگین عیار طلا در این بخش حدود ۳/۴ گرم در تن و حداکثر عیار آن ۵/۷ گرم در تن اندازه‌گیری شده است (به‌منش، ۱۳۹۲). میزان عیار نقره در بخش خاوری تا ۳۹۴ گرم در تن می‌رسد (به‌منش، ۱۳۹۲). در بخش باختری، کانی‌سازی بصورت رگه سیلیسی حاوی فلزات پایه (سرب، روی و مس) و پهنه غنی از هیدروکسیدهای آهن در همراهی با باریت داخل دولومیت‌های مرمری‌شده رخ داده است.

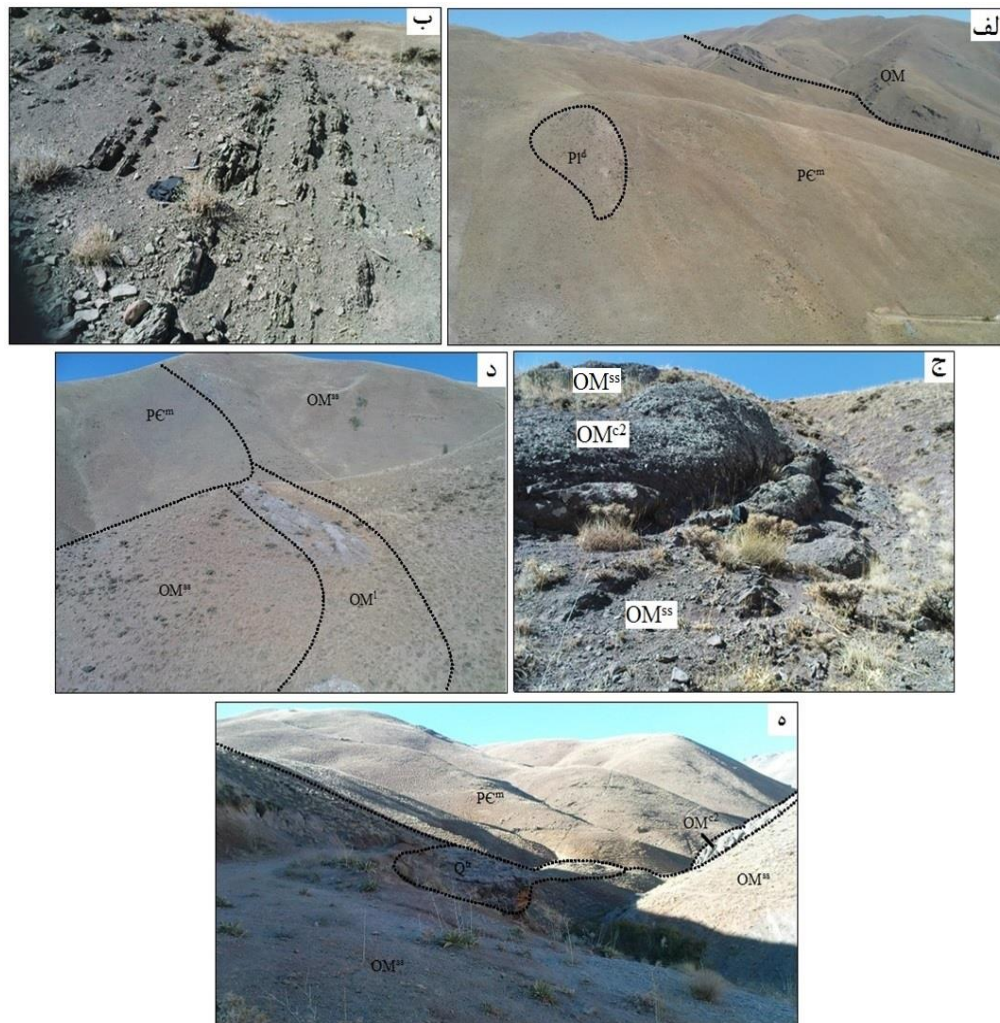
واحد PC^{sch} : این واحد سنگی از تناوب لایه‌های نازک میکا شیست، مسکویت شیست و گاه کلریت شیست تشکیل شده است. روند عمومی برگراری این سنگ‌ها تقریباً خاوری- باختری با شیب حدود ۳۵ درجه به سمت جنوب است. در برخی نقاط، رنگ این سنگ‌ها تیره‌تر شده و ترکیب سنگ به سمت گرافیت شیست میل می‌کند. این سنگ‌ها به‌صورت میان لایه‌هایی با ضخامت‌های محدودتر داخل واحد مرمری PC^m نیز وجود دارند. براساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰ (فنودی و حریری، ۱۳۷۸)، سن این واحد پرکامبرین است.

واحد OM^{cl} : این واحد به مجموعه رسوبی الیگو میوسن تعلق دارد که به‌صورت ناپیوسته، واحدهای دگرگونی پرکامبرین (PC^m و PC^{sch}) را پوشانده است (فنودی و حریری، ۱۳۷۸). واحد OM^{cl} یک کنگلومرای چندمنشائی قاعده‌ای سخت شده است که قطعات آن شامل انواع سنگ‌های قدیمی‌تر (به‌ویژه مرمرها و شیست‌ها) در ابعاد مختلف می‌باشد. این قطعات معمولاً گردشگری متوسط و جورشدگی ضعیفی دارند. این واحد به‌صورت لایه‌های متوسط تا ضخیم لایه بوده و با روند تقریبی خاوری- باختری و شیب حدود ۴۰ درجه به سمت جنوب و جنوب‌خاوری قابل مشاهده است. ضخامت کلی این واحد تا ۵۰ متر هم می‌رسد.

واحد OM^{ss} : این واحد، مهم‌ترین واحد سنگی الیگومیوسن در منطقه عربشاه است که به‌صورت تناوب لایه‌های نازک سیلت‌سنگ و ماسه‌سنگ به رنگ خاکستری رخنمون دارد (شکل ۲ ب). واحد مزبور به‌صورت همشیب بر روی واحد کنگلومرای قاعده‌ای الیگومیوسن OM^{cl} قرار گرفته است. در برخی نقاط، لایه‌های نازک شیل نیز مجموعه فوق را همراهی می‌کنند. روند عمومی لایه‌بندی این سنگ‌ها، خاوری- باختری تا شمال‌خاوری- جنوب‌باختر با شیب متغیر ۳۰ تا ۵۰ درجه به سمت جنوب و جنوب‌خاوری می‌باشد. در برخی نقاط، به‌دلیل عملکردهای تکتونیکی روند لایه‌بندی، شیب و جهت شیب لایه-ها تغییرات شاخصی را نشان می‌دهند. این واحد سنگی معادل سازند قرمز بالایی در منطقه تکاب در نظر گرفته شده است (فنودی و حریری، ۱۳۷۸).

واحد OM^{c2} : این واحد کنگلومرای و میکروکنگلومرای از قطعات سنگی مختلف به‌ویژه ماسه‌سنگ تشکیل شده است. قطعات سنگی این واحد نسبت به واحد کنگلومرای OM^{cl} ابعاد کوچک‌تری داشته و از گردشگری خوب و جورشدگی متوسط تا ضعیفی برخوردار هستند. این سنگ‌ها هم‌راستا با سیلت سنگ‌ها و ماسه سنگ‌های واحد OM^{ss} بوده و از هر دو طرف توسط آنها محصور شده‌اند (شکل ۲ ج). لذا می‌توان گفت که این واحد، یک کنگلومرای درون‌سازندی و نتیجه پسروی دریای الیگومیوسن در منطقه می‌باشد. ضخامت کلی این واحد تا چند ده متر هم می‌رسد.

واحد OM^1 : این واحد سنگی الیگومیوسن از لایه‌های متوسط تا ضخیم لایه سنگ آهک خاکستری تشکیل شده است. واحد OM^1 در بخش‌های جنوب خاوری منطقه در داخل واحد سیلت‌سنگی و ماسه‌سنگی OM^{ss} و بصورت همشیب با آن قابل مشاهده است (شکل ۲ د). این واحد در طول بیش از ۳۰۰ متر و با ضخامت کمتر از ۱۰ متر با یک راستای شمال‌خاوری- جنوب‌باختری قابل پیگیری است.



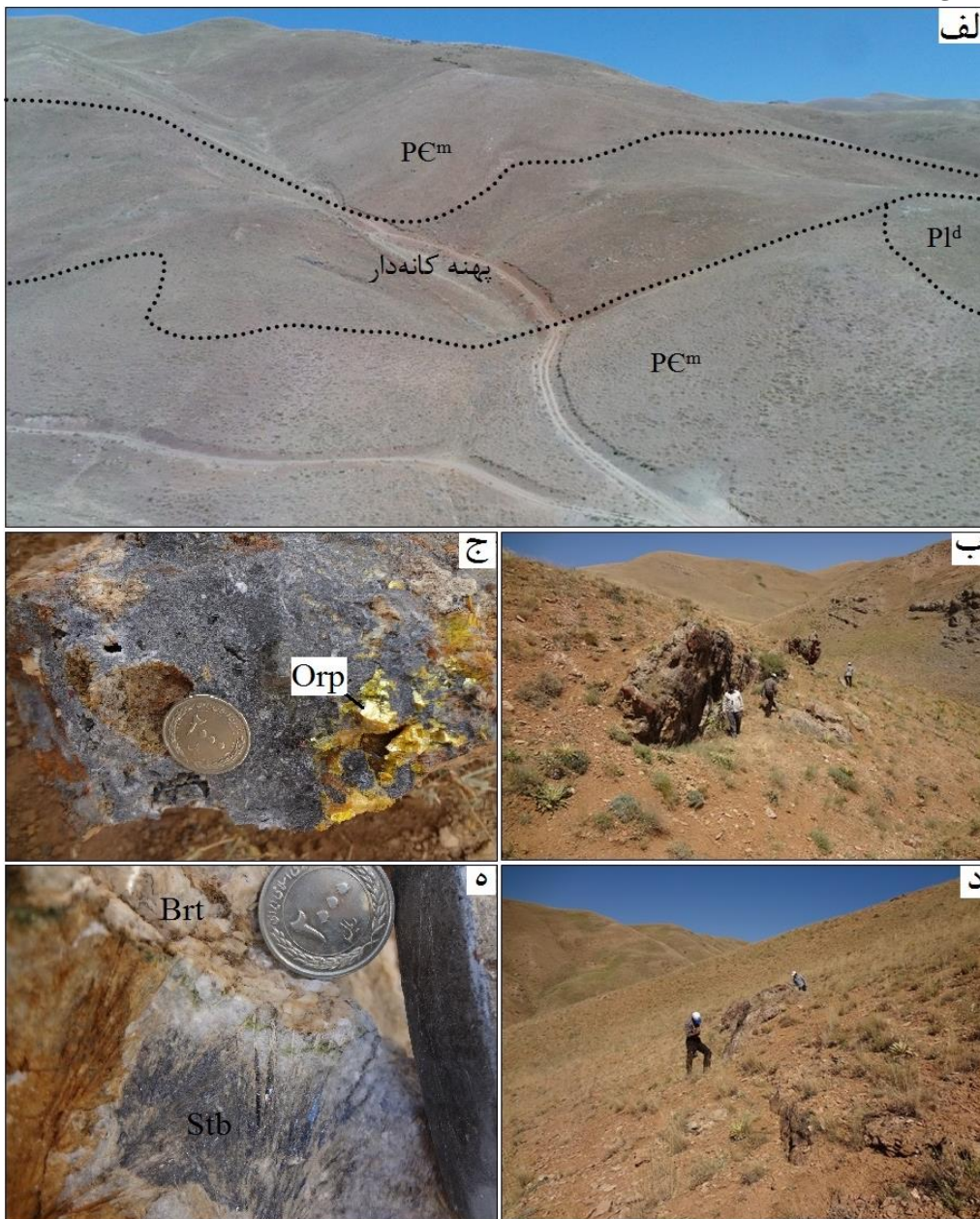
شکل ۲. نمایی از واحدهای زمین‌شناسی موجود در منطقه عربشاه، الف- نمایی از واحد مرمر PC^m به رنگ کرم که توده نیمه‌آتشفشانی داسیتی Pl^d به داخل آن نفوذ کرده است (دید به سمت شمال‌خاور). در سمت راست تصویر واحدهای آواری الیگومیوسن (OM) به صورت ناپیوسته بر روی واحد مرمر نهشته شده‌اند. ب- نمایی از تناوب لایه‌های نازک سیلت‌سنگ و ماسه‌سنگ الیگومیوسن (دید به سمت باختر). ج- نمایی از واحد کنگلومرای OM^{c2} بر روی واحد سیلت‌سنگ و ماسه‌سنگ OM^{ss} (دید به سمت باختر). د- نمایی از واحد سنگ آهک خاکستری رنگ OM^1 در داخل واحد سیلت‌سنگ و ماسه‌سنگ الیگومیوسن (دید به سمت شمال‌خاور). ه- نمایی از تراورتن‌های واحد Q^{lf} بر روی نهشته‌های ماسه‌سنگی و سیلت‌سنگی الیگومیوسن (دید به سمت شمال).

براساس مطالعات صحرایی و میکروسکوپی انجام‌شده، کانه‌زایی در رخدادهای معدنی عربشاه به پنج مرحله قابل تفکیک است. مرحله اول کانه‌زایی با فرآیند کربنات‌زدایی و به دنبال آن سیلیسی‌شدن و به مقدار کمتر سولفیدی‌شدن (پیریت‌زایی) سنگ‌های کربناته مشخص می‌شود (شکل ۴ الف). این مرحله پیش‌تر بعنوان زمینه‌ساز مراحل بعدی کانه‌زایی عمل کرده است. مرحله دوم که اصلی‌ترین مرحله کانه‌زایی در رخدادهای معدنی عربشاه است، دربرگیرنده کانی‌های کوارتز، پیریت، کالکوپیریت، طلا (احتمالاً داخل شبکه کانی‌های سولفیدی به‌ویژه پیریت)، گالن و اسفالریت می‌باشد که به صورت پُرکننده شکستگی‌ها و حفرات و فضاهای خالی با بافت رگه-رگچه‌ای و سیمان گرمایی پرش‌ها رخ داده است. ضخامت رگه-رگچه‌ها از چند میکرون تا حداکثر ۵

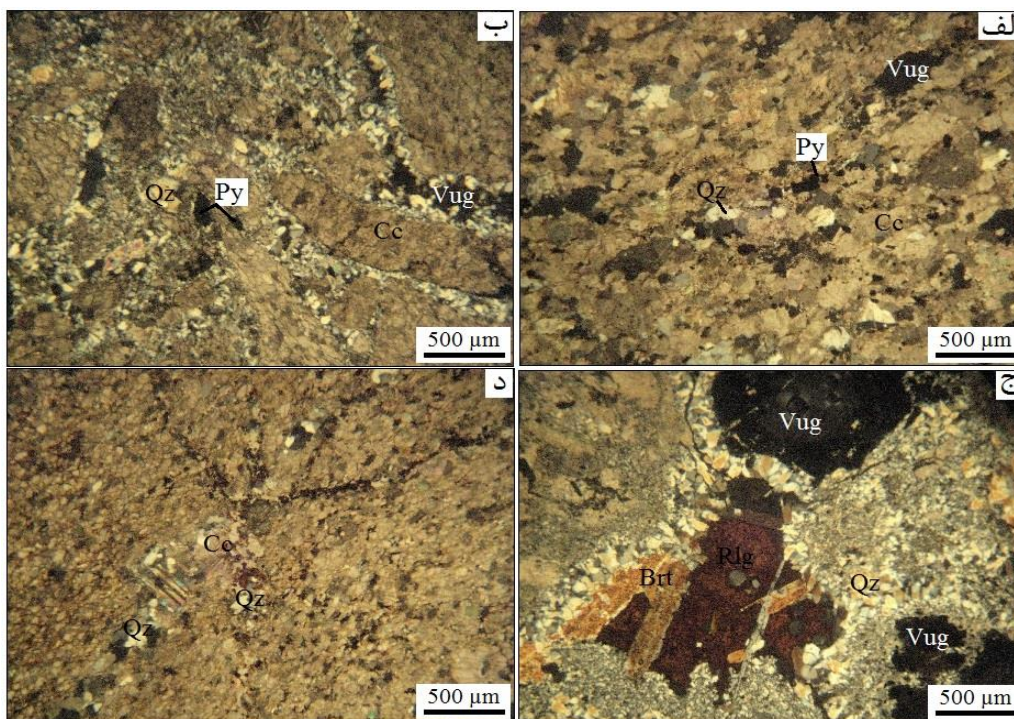
ستبرای رگه سیلیسی حدود ۳ متر و روند آن خاوری-باختری با شیبی حدود ۳۰ درجه به سمت شمال می‌باشد (شکل ۳ د). عیار طلا در نمونه‌های برداشت‌شده از بخش باختری نسبت به بخش خاوری بسیار کمتر بوده و میانگین آن به ۰/۵۱ گرم در تن با حداکثر عیار ۲ گرم در تن می‌رسد. میانگین عیار روی در این بخش ۱۰ درصد و میانگین عیار سرب ۲/۵ درصد اندازه‌گیری شده است (به‌منش، ۱۳۹۲). علاوه بر کانی‌سازی طلا-آرسنیک-آنتیموان و فلزات پایه، کانی‌سازی باریت نیز به صورت رگه‌های باریتی در منطقه عربشاه قابل مشاهده است. رگه‌های مزبور در هر دو بخش خاوری و باختری منطقه دیده می‌شوند، اما تمرکز اصلی آنها در بخش خاوری است. برخی از رگه‌های باریتی با کانی‌سازی استیبینیت همراه هستند (شکل ۳ ه).

فضاهای خالی مراحل قبلی کانه‌زایی و به‌ویژه مرحله سوم را پُر کرده است (شکل ۴ ج). کانی‌زایی مرحله پنجم شامل رگه و رگچه‌های کوارتزی-کلسیتی تأخیری می‌باشد که مراحل قبلی کانه‌زایی را قطع کرده‌اند (شکل ۴ د). هیچگونه کانی سولفیدی با این مرحله تشکیل نشده است. ضخامت رگه-رگچه‌ها از چند میکرون تا ۲ میلی‌متر متغیر است.

میلی‌متر تغییر می‌کند (شکل ۴ ب). کانه‌زایی مرحله سوم شامل رگه-رگچه‌های سیلیسی-باریتی است (شکل ۴ ج). ضخامت رگه-رگچه‌ها از چند میکرون تا چند میلی‌متر متغیر است. باریت معمولاً به‌صورت تیغه‌های کشیده بوده و اندازه آنها بعضاً تا ۳ میلی‌متر نیز می‌رسد. استینیت و مقدار کمتری پیریت، کانی‌های سولفیدی همراه با این مرحله هستند. مرحله چهارم کانه‌زایی در رخداد معدنی عربشاه شامل رالگار و اورپیمنت است که بیش‌تر



شکل ۳. نمای از پهنه کانه‌دار و رخنمون‌های کانی‌سازی در رخداد معدنی عربشاه. الف) نمای از پهنه کانی‌سازی عربشاه داخل دولومیت مرمری‌شده (واحد PC^m) پرکامبرین (دید به سمت شمال). رخنمون توده داسیتی (Pl^d) در حاشیه سمت راست تصویر قابل مشاهده است. ب) رگه سیلیسی طلا‌دار غنی از هیدروکسیدهای آهن در بخش خاوری منطقه (دید به سمت شمال‌خاور). ج) نمای نزدیک از کانی‌سازی آرسنیک به‌صورت اورپیمنت در شکستگی‌های مرم‌های سیلیسی‌شده. د) رگه سیلیسی حاوی کانی‌سازی فلزات پایه در بخش باختری منطقه (دید به سمت باختر). ه) نمای نزدیک از بلورهای کشیده استینیت داخل رگه‌های باریتی در رخداد معدنی عربشاه. Br: باریت، Orp: اورپیمنت، Stb: استینیت. علائم اختصاری کانی‌ها از (Whitney and Evans, 2010).

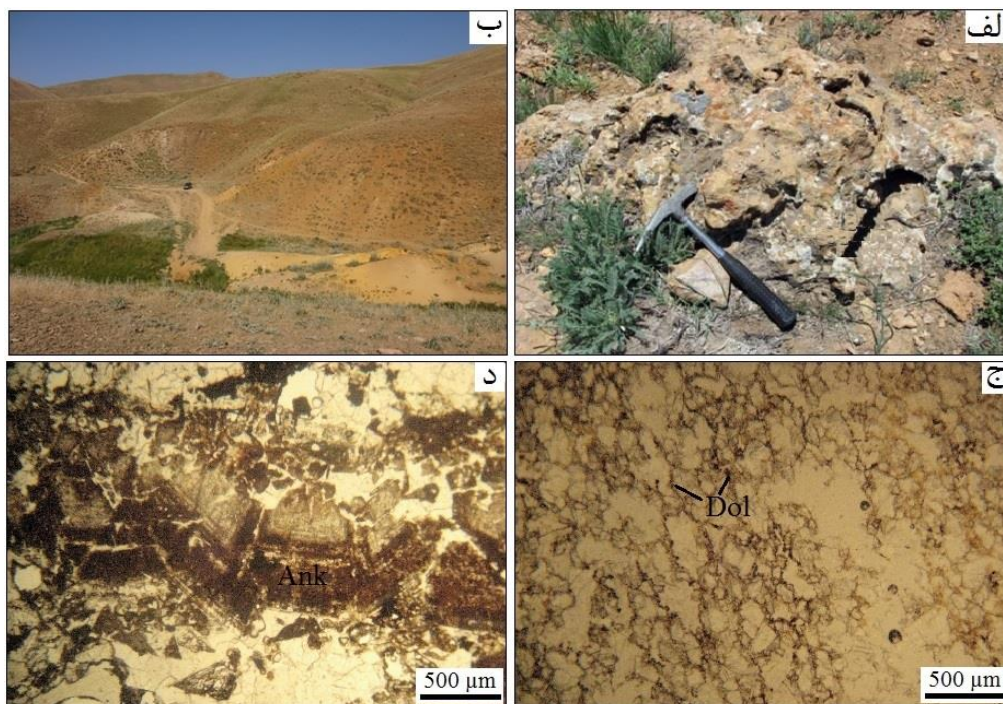


شکل ۴. مراحل کانه‌زایی در رخدادهای معدنی عربشاه. الف) مرحله اول کانه‌زایی به صورت سیلیسی شدن و سولفیدی شدن (پیریت‌زایی) سنگ‌های کربناته. این مرحله پس از کربنات‌زدایی سنگ میزبان رخ داده است. ب) مرحله دوم کانه‌زایی به صورت بخش‌های سیلیسی-سولفیدی با بافت رگه-رگچه‌ای و سیمان گرمابی پرش‌ها. ج) کانه‌زایی مرحله سوم به صورت رگه-رگچه‌های سیلیسی-باریتی. فضاهای خالی توسط کانی‌های رالگار مرحله چهارم پر شده است. د) مرحله پنجم کانه‌زایی به صورت رگه-رگچه‌های کوارتزی-کلسیتی تأخیری. همه تصاویر در نور عبوری پلاریزه متقاطع گرفته شده‌اند. Br: باریت، Cc: کلسیت، Py: پیریت، Qz: کوارتز، Rlg: رالگار، Vug: حفره

دگرسانی گرمابی

گالن، اسفالریت، کالکوپیریت و استینیت مهم‌ترین کانی‌های موجود در دگرسانی سولفیدی هستند که به صورت دانه پراکنده، پُرکننده فضاهای خالی و تا حدی توده‌ای و رگچه‌ای در بخش‌های کانه‌دار قابل تشخیص هستند. این دگرسانی همراه با دگرسانی سیلیسی دیده می‌شود. دگرسانی آرژلیک بیش‌تر در توده‌های نیمه آتشفشانی داسیتی منطقه به صورت تخریب فلدسپات‌ها و تبدیل آنها به کاتولینیت قابل مشاهده است (شکل ۵ ب). در بخش‌های کانه‌دار، دگرسانی آرژلیک از گسترش بسیار کمتری برخوردار بوده و به حاشیه بخش‌های سیلیسی شده محدود می‌شود. این دگرسانی محصول فرآیندهای سوپرژن در منطقه است. کربناتی شدن محصول اضافه شدن کلسیت، دولومیت‌های ثانویه و کربنات‌های مضاعف آهن، کلسیم و منیزیم در کربنات‌های اولیه است که تحت تأثیر سیالات گرمابی واقع شده‌اند. کلسیت‌های گرمابی تشکیل شده طی این دگرسانی نسبت به کلسیت‌های اولیه سنگ‌های رسوبی، کدرتر بوده و ظاهری کثیف‌تر دارند. دولومیتی شدن نیز بیش‌تر با کربنات‌های مضاعف آهن، کلسیم و منیزیم همراه است (شکل ۵ ج). در برخی موارد، میزان کربنات‌های مضاعف آهن-کلسیم به حدی است که می‌توان از اصطلاح دگرسانی آنکرتی (شکل ۵ د) استفاده کرد. حالت اخیر به صورت رگه و رگچه‌های قهوه‌ای رنگ در دولومیت‌ها قابل تشخیص است.

دگرسانی گرمابی در رخدادهای معدنی عربشاه در محدوده‌ای به وسعت حدود یک کیلومترمربع با روند تقریباً شمال‌خاوری-جنوب‌باختری درون واحدهای کالک شیبستی و دولومیت مرمری شده توسعه یافته است. براساس مطالعات صحرایی و میکروسکوپی انجام‌شده، دگرسانی‌های گرمابی موجود در رخدادهای معدنی عربشاه شامل کربنات‌زدایی، سیلیسی، سولفیدی، آرژلیک و کربناتی می‌باشند. کربنات‌زدایی باعث انحلال کلسیت از سنگ‌های کالک‌شیستی و دولومیت مرمری شده گشته و به صورت آهک متخلخل و سفید متمایل به زرد مشخص می‌شود (شکل ۵ الف). این دگرسانی نقش مهمی در ایجاد فضاهای خالی و افزایش نفوذپذیری سنگ میزبان داشته و از مشخصه‌های مهم کانسارهای فلزات قیمتی گرمابی است که تحت تأثیر سیالات گرمابی هیپوژن در سنگ‌های میزبان رسوبی تشکیل می‌شوند (Radtke, 1985; Bagby and Berger, 1985; Percival et al., 1988; Berger and Bagby, 1991). دگرسانی سیلیسی به صورت جانشینی، رگه-رگچه‌ای، سیمان پرش‌های گرمابی و پُرکننده حفرات سنگ‌های میزبان مشاهده می‌شود (شکل ۴ ب، ج و د). این دگرسانی توسط ساختارهای گسلی و شکستگی‌ها کنترل شده و شدت آن بسته به میزان نفوذپذیری سنگ میزبان و فاصله از مجاری سیالات گرمابی، از ضعیف تا شدید متغیر است. دگرسانی سیلیسی منطبق بر بخش‌های کانه‌دار می‌باشد. پیریت، اورپیمنت، رالگار،



شکل ۵. نمایی از دگرسانی‌های کربنات‌زدایی، آرژیلیکی و کربناتی‌شدن در رخدادهای معدنی عربشاه. الف) کربنات‌زدایی به صورت بخش‌های کربناتی با تخلخل فراوان. ب) نمایی از گسترش دگرسانی آرژیلیک در منطقه (دید به سمت جنوب‌باختر). ج) دگرسانی کربناتی به صورت دولومیتی‌شدن. د) کربناتی‌شدن به صورت دگرسانی آنکریتی. تصاویر میکروسکوپی در نور عبوری پلاریزه گرفته شده‌اند. (Ank: آنکریت، Dol: دولومیت)

کانی‌شناسی، ساخت و بافت و توالی پاراژنزی مواد معدنی و باطله

مطالعات کانه‌نگاری نمونه‌های برداشت شده از بخش‌های کانه‌دار نشان می‌دهد که پیریت کانه اصلی موجود در رخدادهای معدنی عربشاه است که با گالن، اسفالریت، اورپیمنت، رآلگار، استینیت و گاه کالکوپیریت همراهی می‌شود. مالاکیت، آزوریت، اسمیت‌زونیت، سروزیت، استیبی‌کنیت و هیدروکسیدهای آهن در اثر پدیده‌های هوازدگی و سوپرژن تشکیل شده‌اند. کلسیت، کوارتز و باریت کانی‌شناسی اصلی مواد باطله در این رخدادهای معدنی هستند. مطالعات میکروسکوپی انجام شده نشان می‌دهد که بافت ماده معدنی از نوع جعبه‌ای، پرشی، دانه‌پراکنده، رگه-رگچه‌ای، پُرکننده فضاهای خالی و جانیشینی است.

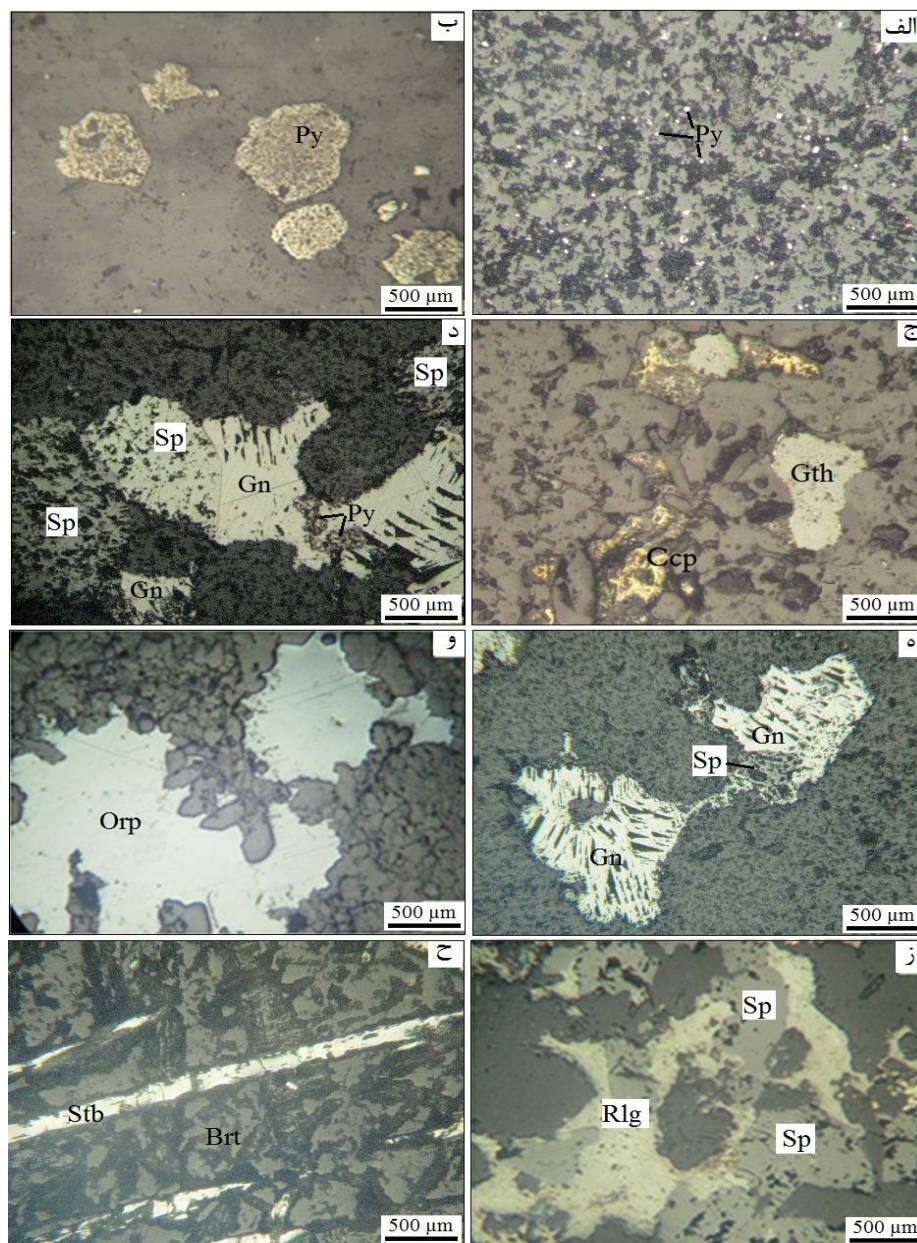
پیریت معمولاً به صورت بلورهای ریز و درشت با بافت‌های دانه پراکنده و رگچه‌ای دیده می‌شود. پیریت‌های ریز به صورت ناخودشکل و سالم در متن سنگ پراکنده هستند (شکل ۶ الف) درحالی‌که پیریت‌های درشت (بعضاً تا اندازه ۰/۳ میلی‌متر) معمولاً بی‌شکل و نیمه‌خودشکل بوده و بافت حفره‌دار دارند (شکل ۶ ب). برخی بلورهای پیریت توسط گوتیت جانشین شده‌اند. کالکوپیریت به میزان کم وجود داشته و معمولاً با گالن و اسفالریت همراهی نشان می‌دهد. کالکوپیریت‌ها اغلب توسط مالاکیت و آزوریت و یا گوتیت جایگزین شده و بافت بازماندی نشان می‌دهند (شکل ۶ ج).

گالن معمولاً به صورت بلورهای ریز تا درشت نیمه‌خودشکل و ناخودشکل دیده شده و اغلب با اسفالریت و پیریت‌های درشت بلور هم‌رشدی نشان می‌دهد (شکل ۶ د). در برخی از نمونه‌ها، ادخال‌هایی از پیریت و اسفالریت داخل گالن دیده می‌شود (شکل ۶ د و ه) که بیانگر تبلور زودتر آنها نسبت به گالن در توالی پاراژنزی است. برخی بلورهای گالن به سروزیت دگرسان شده‌اند. اسفالریت معمولاً به صورت بلورهای ناخودشکل تا نیمه خود شکل ریز و درشت با بافت دانه‌پراکنده و بعضاً رگچه‌ای دیده می‌شود. اسفالریت اغلب با گالن هم‌رشدی نشان می‌دهد (شکل ۶ د) اما بعضاً ادخال‌هایی از اسفالریت داخل گالن دیده می‌شود (شکل ۶ ه). برخی از بلورهای اسفالریت توسط اسمیت‌زونیت جانشین شده‌اند. همچنین، ادخال‌هایی از پیریت در داخل اسفالریت مشاهده می‌شود که بیانگر تشکیل پیریت قبل از اسفالریت می‌باشد. اورپیمنت به صورت بلورهای نیمه‌خودشکل تا ناخودشکل بوده (شکل ۶ و) و بافت دانه‌پراکنده و یا رگچه‌ای نشان می‌دهد. رآلگار، بلورهای درشت ناخودشکل تا نیمه‌خودشکل با بافت پُرکننده فضاهای خالی دارد. تشکیل رآلگار نسبت به پیریت، استینیت و اسفالریت تأخیری‌تر است به‌طوری‌که ادخال‌های این کانی‌ها داخل رآلگار قابل مشاهده است (شکل ۶ ز). استینیت بیش‌تر درون رگه‌های باریتی به صورت بلورهای رشته‌ای (سوزنی) ناخودشکل تا خودشکل دیده شده (شکل ۶ ح) و بافت دانه پراکنده و شکافه پُرکن دارد. در برخی از نمونه‌ها، ادخال‌هایی از اسفالریت و پیریت داخل استینیت دیده می‌شود. بعضاً این کانی به استیبی‌کنیت (اکسید آنتیموان) دگرسان شده است. مالاکیت، آزوریت، اسمیت‌زونیت، سروزیت، استیبی‌کنیت، ژاروسیت،

خودشکل با اندازه‌های مختلف دیده می‌شوند. این کانی بیش‌تر بافت جانشینی، رگه-رگچه‌ای و پُرکننده فضای خالی دارد. باریت به‌صورت بلورهای درشت و کشیده سفیدرنگ با اندازه‌های ۳ تا ۵ میلی‌متر دیده می‌شود.

ژپس، انواع کانی‌های رسی و هیدروکسیدهای آهن کانی‌های ثانویه‌ای هستند که طی فرآیندهای سوپرژن جانشین کانی‌های سولفیدی اولیه شده‌اند.

کلسیت کانی غالب و اصلی باطله می‌باشد که عمدتاً از سنگ اولیه کربناتی به ارث رسیده است. کوارتز معمولاً به‌صورت بلورهای نیمه‌خودشکل تا



شکل ۶. انواع مواد معدنی در رخداد معدنی عربشاه. الف) پیریت‌های ریز دانه‌پراکنده در متن سنگ. ب) پیریت‌های درشت با بافت حفره‌دار. ج) کالکوپیریت‌های گوتیتی‌شده با بافت بازماندی. د) هم‌رشدی گالن و اسفالریت. ادخال‌های پیریت در داخل گالن دیده می‌شود. ه) ادخال‌های اسفالریت در داخل گالن. و) بلورهای ناخودشکل اورپیمنت. ز) رشد رالگار در اطراف اسفالریت. ح) بلورهای رشته‌ای نیمه‌خودشکل تا خودشکل استیبینیت در زمینه باریت. همه تصاویر در نور انعکاسی. باریت: Br، کالکوپیریت: Ccp، گالن: Gn، گوتیت: Gth، اورپیمنت: Orp، پیریت: Py، رالگار: Rlg، اسفالریت: Sp، استیبینیت: Stb

می‌شود. مرحله چهارم با حضور اورپیمنت و رآلگار با بافت پرکننده فضاهای خالی مشخص می‌گردد. در مرحله پنجم، رگه و رگچه‌های کوارتزی، کلسیتی و آنکریتی تشکیل شده‌اند. مالاکیت، آزوریت، اسمیت‌زونیت، سرروزیت، ژاروسیت، ژیبس، انواع کانی‌های رسی و هیدروکسیدهای آهن در مرحله سوپرژن و به صورت رگه-رگچه‌ای، پرکننده فضاهای خالی و جانیشینی تشکیل شده‌اند.

با توجه به شواهد صحرایی و میکروسکوپی، توالی پاراژنز کانی‌ها در رخداد معدنی عربشاه به پنج مرحله قابل تقسیم است (شکل ۷). مرحله اول با حضور پیریت‌های دانه پراکنده و رگه-رگچه‌ای مشخص می‌شود. مرحله دوم با حضور پیریت، کالکوپیریت، گالن و اسفالریت مشخص می‌شود. طلا به صورت محلول جامد در شبکه کانی‌های سولفیدی، به‌ویژه پیریت حضور دارد (Daliran et al., 1999, 2002; Mehrabi et al., 1999; Asadi et al., 1999, 2000). استیبینیت کانی اصلی مرحله سوم است که با اندکی پیریت همراهی

Mineralogy		Stages	Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 4	Stage 5	Supergene
Ore	Pyrite		—	—	—			
	Chalcopyrite			—				
	Galena			—				
	Sphalerite			—				
	Gold			—				
	Stibnite				—			
	Orpiment					—		
	Realgar					—		
	Malachite-Azurite							—
	Smithsonite-Cerussite							—
	Stibiconite							—
	Fe Oxide-Hydroxide							—
	Gangue	Calcite-Ankerite						—
Quartz		—	—	—			—	
Barite				—				
Clay Minerals								—
Gypsum								—
Jarosite								—
Textures	Boxwork		—					
	Brecciated		—					
	Disseminated	—						
	Open Space Filling		—			—		
	Vein-Veinlet		—	—	—		—	
	Replacement							—

شکل ۷. توالی پاراژنتیک، فراوانی نسبی و ساخت و بافت کانی‌ها برای مواد معدنی و باطله در رخداد معدنی عربشاه.

بحث و بررسی

داده‌های زمین‌شیمیایی بخش‌های کانهدار

در این بخش، ویژگی‌های زمین‌شیمیایی بخش‌های کانهدار رخداد معدنی عربشاه مورد بررسی قرار گرفته است. هدف از این مطالعات، تعیین غنی‌شدگی و تهی‌شدگی‌های عنصری مرتبط با دگرسانی‌های گرمایی در سنگ‌های میزبان و بخش‌های کانهدار می‌باشد. نتایج آنالیزهای شیمیایی نمونه‌های منطقه عربشاه در (جدول ۱) آورده شده‌اند.

الگوی عناصر کمیاب خاکی در بخش‌های کانهدار

الگوی عناصر کمیاب خاکی برای بخش‌های کانهدار در رخداد معدنی عربشاه (شکل ۸ الف) دارای یک شیب منفی با غنی‌شدگی از عناصر LREE نسبت به عناصر HREE است. بیش‌ترین غنی‌شدگی در LREE و بالاترین نسبت LREE/HREE مربوط به نمونه مرمر سیلیسی شده حاوی کانی‌سازی پیریت بوده و مرمرهای پرشی شده حاوی کانهای پیریت،

اورپیمنت و رآلگار، کم‌ترین غنی‌شدگی را در LREE و پایین‌ترین نسبت LREE/HREE نشان می‌دهند. نمونه‌های مرمر سیلیسی باریت‌دار با کانی-سازی پیریت و مرمر پرشی شده و سیلیسی حاوی باریت به همراه کانهای پیریت، استیبینیت، اورپیمنت و رآلگار، در حداقل دو نمونه قبلی از نظر غنی‌شدگی LREE قرار می‌گیرند. ویژگی مشخص این نمونه‌ها، الگوی بسیار شبیه عناصر کمیاب خاکی می‌باشد که می‌تواند بیانگر تشکیل آنها از یک فاز گرمایی باشد. تفاوت در غنی‌شدگی عناصر LREE و نسبت LREE/HREE در این نمونه‌ها را می‌توان در شدت دگرسانی و ترکیب کانی‌شناسی آنها جستجو کرد (Lottermoser, 1992). الگوی عناصر کمیاب خاکی برای نمونه‌های برداشت شده از توده نیمه‌آتشفشانی داسیتی کانهدار و سالم (شکل ۸ ب) مشابه است با این تفاوت که نمونه داسیتی سیلیسی شده و کانهدار در مقایسه با نمونه داسیتی سالم و فاقد کانهای، از همه عناصر کمیاب خاکی تهی شده است. از طرف دیگر، الگوی این عناصر برای نمونه داسیتی سالم و مرمرهای کانهدار شباهت بارزی نشان می‌دهد. این

میانگین داده‌های مربوط به سنگ‌های میزبان فاقد کانه‌زایی بهنجار گردید تا عناصر اضافه و یا کم شده به سنگ طی کانه‌زایی مشخص گردند. لازم به ذکر است که این روش کیفی بوده و برای تعیین میزان کمی تهی‌شدگی و غنی‌شدگی عناصر، نیاز به محاسبات موازنه جرم است که در این پژوهش انجام نشده است.

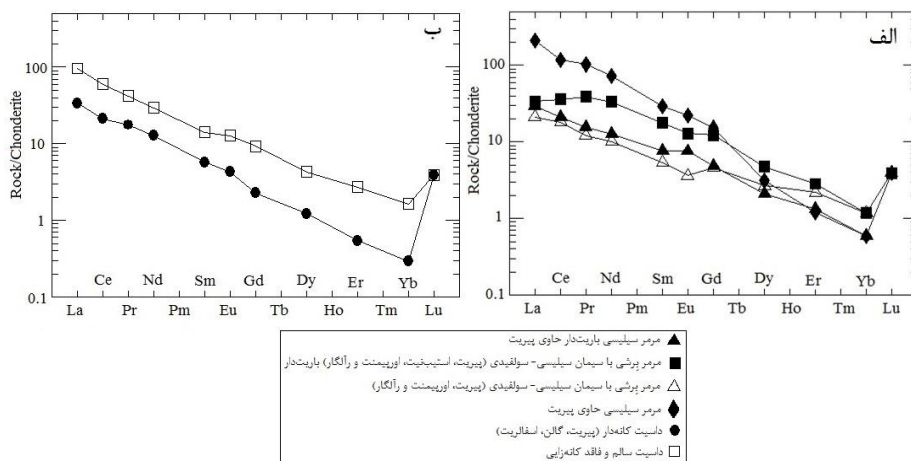
موضوع می‌تواند بیانگر ارتباط سیالات کانی‌ساز با توده‌های نیمه نفوذی داسیتی و مشتق شدن آنها از این توده و یا معادل‌های درونی آنها باشد.

تهی‌شدگی و غنی‌شدگی عناصر در بخش‌های کانه‌دار

به‌منظور بررسی تهی‌شدگی و غنی‌شدگی عناصر طی کانه‌زایی در رخداد معدنی عربشاه، میانگین داده‌های مربوط به نمونه‌های کانه‌دار نسبت به

جدول ۱. نتایج آنالیزهای شیمیایی عناصر کمیاب و کمیاب خاکی برای بخش‌های کانه‌دار (A-12, A-23, A-32 و A-36)، توده نیمه‌آتشفشانی داسیتی کانه‌دار (Ar-35)، میانگین توده نیمه‌آتشفشانی داسیتی سالم (Ar-35a؛ سبزی، ۱۳۹۴) و مرمر میزبان فاقد کانه‌زایی (Ar-29) در رخداد معدنی عربشاه. تمامی داده‌ها بر حسب گرم در تن (ppm) می‌باشند.

	Ag	Al	As	Ba	Bi	Ca	Cd	Co	Cr	Cs	Cu	Fe	Hf
AR-12	۱۳/۱	۲۶۴۳	۱۰۰<	۲۵۵۸	<۰/۱	۴۷۱۲۱	۴/۳	<۱	۹۵	۱/۵	۴۲	۱۲۵/۸	<۰/۵
AR-23	۲۷/۳	۹۲۷۸	۱۰۰<	۲۶۶	۱/۶	۲۱۱۷۷	۸۷/۷	۴/۶	۱۸۹	۴	۱۵۹	۲۵۱۳۲	<۰/۵
AR-29	۰/۷	۳۲۱۶	۸۸/۷	۹۵	<۰/۱	٪۱۰<	۲/۳	<۱	۱۸	۰/۵	۸	۵۶۲۷	<۰/۵
AR-32	۳۶۸/۷	۶۷۹۰	۱۰۰<	۲۰۶۰	۸/۲	۴۹۵۲	۴۷/۲	<۱	۳۳۹	۰/۹	۱۰۶۰۲	۹۱۱۲	<۰/۵
AR-35	۱۸۳/۷	۳۸۷۷	۱۰۰<	۲۴۶	۰/۲	۴۷۰۱	۱۱۷/۷	<۱	۲۱۲	۱/۷	۶۳۴	۱۲۳۴۲	<۰/۵
AR-35a	۰/۶۴	۷۱۶۰۰	۴/۶۶	۹۶۲/۴	۰/۲	۲۲۹۳۳	۲/۶۲	۲/۸	۵۲/۶	۱/۵۶	۱/۰۹	۱۴۹۳۱	۰/۵
AR-36	۱/۱	۶۷۲۶	۱۰۰<	۵۷	۰/۴	٪۱۰<	۲۴/۸	<۱	۵۳	۱/۶	۸	۱۲۲۵۴	<۰/۵
	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Nb	Ni	P	Pb	Rb	Sb	Sc
AR-12	۵۷۴	۷۳	۱۰۵۱۸	۲۲۱۳	۰/۷	۲۰۲	<۱	۵	۱۳۵	۵۹۱	۳	۱۳۷/۳	۲/۶
AR-23	۲۹۱۹	۹۸	۷۳۳۵	۱۰۹۳	۸/۵	۲۴۲	۱/۵	۲۱	۱۸۱	۴۲۱۷	۲۱	۳۸۵۸	۳/۹
AR-29	۱۷۷۴	<۱	۱۱۱۶۷	۶۱۷	<۰/۵	۶۱۲	<۱	۱	۳۹۵	۲۶۶	۷	۱۸/۱	۲/۸
AR-32	۲۲۸۴	۱۰۳	۱۱۷۳	۲۴۳	۱/۳	۲۶۰	<۱	۱۷	۳۱۵	۲۶۱۳۱	۱۶	۳۴۲۷	۲/۲
AR-35	۹۷۳	۱۱۶	۲۳۶	۶۲۷	۱/۵	۱۹۹	<۱	۱۴	۸۴	۲۵۶۸۷	۷	۴۴۶۳	۱/۴
AR-35a	۲۱۳۶۰	۱۴/۴	۲۸۰۹	۱۹۷	۱/۴	۲۸۳۳۵	۱۲/۲	۷	۶۴۰	۱۷۱/۲	۶۲/۶	۰/۶۲	۸/۳۴
AR-36	۲۹۲۶	۲۹	>٪۲	۸۸۱	۰/۵	۴۸۸	<1	۴	۱۵۹	۸۵	۱۳	۱۲۱/۱	۳
	Se	Sr	Ta	Tb	Te	Ti	Tl	U	V	W	Y	Zn	Zr
AR-12	۱/۵۱	۲۰۶۴	<۰/۱	۰/۱۵	<۰/۱	<۱۰	۲/۶۸	۰/۸	۱۰	<۰/۵	۴/۱	۱۱۴۷	<۵
AR-23	۲/۸	۲۰۱/۵	<۰/۱	۰/۲۹	۰/۱۳	۵۶۹	۱۶/۸۴	۲	۲۷	۲/۴	۷/۶	۵۵۸۸	۶
AR-29	<۰/۵	۱۸۳/۸	<۰/۱	۰/۲۴	<۰/۱	<۱۰	۰/۳	<۰/۵	۹	۰/۶	۱۴/۴	۱۸۴۶	<۵
AR-32	۵	۵۱/۷	<۰/۱	۰/۲۷	<۰/۱	۱۳۰	۳۳/۸۳	۱/۶	۱۰	<۰/۵	۴/۸	۱۳۳۵۱	<۵
AR-35	۲/۷۶	۳۴	<۰/۱	۰/۱۱	<۰/۱	<۱۰	۹/۰۵	۰/۸	۶	<۰/۵	۲/۴	>٪۳	<۵
AR-35a	۱/۴۰	۴۴/۶۲	۰/۴۵	۰/۲۶	۰/۱	۲۲۴۰	۰/۱۸	۰/۶۲	۲۸/۴	۱/۱۶	۷/۱۶	۸۳۶/۸	۱۴/۶
AR-36	۱/۰۳	۷۵/۷	<۰/۱	۰/۱۶	۰/۴	۱۳۵	۷/۸۵	۰/۷	۱۲	۱	۵	۱۵۲	<۵
	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Er	Tm	Yb	Lu	
AR-12	۷	۱۳	۱/۴۷	۶	۱/۱۸	۰/۴۴	۱	۰/۵۳	۰/۲۲	<۰/۱	۰/۱	<۰/۱	
AR-23	۸	۲۲	۳/۷۲	۱۵/۶	۲/۷۲	۰/۷۵	۲/۵۱	۱/۲	۰/۴۷	<۰/۱	۰/۲	<۰/۱	
AR-29	۸	۱۱	۱/۵۲	۶/۴	۱/۱۵	۰/۳۱	۱/۵۳	۱/۲۳	۰/۷۸	<۰/۱	۰/۵	<۰/۱	
AR-32	۵۰	۷۲	۹/۷۶	۳۴	۴/۴۸	۱/۲۸	۳/۱۵	۰/۷۹	۰/۲	<۰/۱	۰/۱	<۰/۱	
AR-35	۸	۱۳	۱/۶۷	۶	۰/۸۸	۰/۲۵	۰/۴۷	۰/۳۱	۰/۰۹	<۰/۱	<۰/۰۵	<۰/۱	
AR-35a	۲۲/۸	۳۶/۸	۳/۹۸	۱۳/۷۸	۲/۱۷	۰/۷۴	۱/۹۱	۱/۰۹	۰/۴۵	۰/۱	۰/۲۸	۰/۱	
AR-36	۵	۱۱	۱/۱۶	۴/۷	۰/۸۲	۰/۲۱	۰/۹۴	۰/۶۸	۰/۳۶	<۰/۱	۰/۲	<۰/۱	



شکل ۸. الگوی عناصر REE برای نمونه‌های مربوط به مرمرهای کانه‌دار، الف) و توده نیمه‌آتشفشانی داسیتی سیلیسی‌شده کانه‌دار و داسیت سالم و فاقد کانه‌زایی، ب) که نسبت به کندریت (Sun and McDonough, 1989) به‌یمنار شده‌اند.

باریت و کانه‌زایی سولفیدی به بیش‌ترین مقدار می‌رسد. غلظت عناصر LREE در مرمرهای سیلیسی باریت‌دار حاوی کانه‌زایی سولفیدی نسبت به مرمر میزبان سالم و فاقد کانه‌زایی غنی‌شدگی داشته و عناصر HREE تهی‌شده هستند (شکل ۹ ب).

بررسی الگوی به‌یمنار شده عناصر کمیاب و REE در بخش‌های کانه‌دار رخداد معدنی عربشاه نشان می‌دهد که مرمرهای کانه‌دار نسبت به مرمر میزبان سالم و فاقد کانه‌زایی در اغلب عناصر به‌جز Yb و P, Y غنی‌شده هستند (شکل ۹ الف). بیش‌ترین غنی‌شدگی در این نمونه‌ها مربوط به عناصر Ni, Ti, Pb, Ba می‌باشد که در نمونه‌های مرمر سیلیسی‌شده حاوی



شکل ۹. نمودارهای غنی‌شدگی - تهی‌شدگی عناصر کمیاب الف) و کمیاب خاکی ب) برای مرمرهای کانه‌دار در رخداد معدنی عربشاه که نسبت به مرمر میزبان سالم و فاقد کانه‌زایی سنجیده شده‌اند.

نیمه‌آتشفشانی منجر به تشکیل کانه‌زایی منطقه مورد مطالعه در داخل دولومیت‌های مرمی‌شده پرکامبرین شده است (شکل ۱۱ ج). احتمال اینکه بخشی از سیالات از این توده‌های نیمه‌آتشفشانی منشأ گرفته باشند نیز وجود دارد. مرحله چهارم با بالآمدگی ناحیه‌ای و توسعه فرآیندهای هوازدگی و فرسایش همراه است (شکل ۱۱ د). این عمل سبب شکل‌گیری وضعیت کنونی منطقه و رخنمون بخش کانی‌سازی و تبدیل کانی‌های سولفیدی اولیه به کانی‌های سوپرژن شده است.

کاربردهای اکتشافی

نتایج بدست آمده از تحقیق حاضر نشان می‌دهد که رخداد معدنی طلا-آرسنیک-آنتیموان عربشاه از نوع کانسارهای طلای کارلین بوده و از این نظر قابل مقایسه با دیگر کانه‌زایی‌های طلای نوع کارلین موجود در پهنه فلززایی تکاب-انگوران-تخت‌سلیمان مانند زرشوران و آق‌دره است. این رخداد معدنی با دگرسانی گرمایی گسترده با وسعتی حدود یک کیلومتر مربع با روند تقریباً شمال‌خاوری-جنوب‌باختری درون واحدهای کالک شیستی و دولومیت مرمی‌شده مشخص می‌شود. دگرسانی کربنات‌زدایی از گسترش زیادی در رخداد معدنی عربشاه برخوردار است. این دگرسانی که در رخنمون‌های سطحی به‌صورت آهک متخلخل و سفید متمایل به زرد مشخص می‌شود، نقش مهمی در ایجاد فضاهای خالی و افزایش نفوذپذیری سنگ میزبان و به پیروی آن کانه‌زایی ایفا کرده است. دگرسانی‌های سیلیسی و سولفیدی با گسترش چند متری با بخش‌های عیاردار دیده می‌شوند. بررسی و تشخیص محل پهنه‌های دگرسانی می‌تواند در شناسایی بخش‌های عیاردار مفید باشد. از طرف دیگر، توجه به ویژگی‌های زمین‌شیمیایی دگرسانی گرمایی مانند افزایش غلظت عناصر کمیاب (به‌جز عناصر P, Y و Yb) و کمیاب خاکی (به‌جز عناصر HREE) در مرمی‌های کانه‌دار نسبت به مرمی‌های سالم و فاقد کانه‌زایی از اهمیت بالایی برخوردار است. این فاکتور می‌تواند به‌عنوان معیار برای اکتشاف بخش‌های کانه‌زایی عیار بالا در رخداد معدنی عربشاه مورد استفاده قرار گیرد.

ژئومتری رگه‌های بخش‌های کانه‌دار در رخداد معدنی عربشاه و دیگر کانسارهای طلای نوع کارلین موجود در پهنه فلززایی تکاب-انگوران-تخت-سلیمان نشان می‌دهد که ساختارهای گسلی معبر اصلی برای عبور جریان سیالات کانه‌ساز بوده‌اند. از طرف دیگر، کانسارهای مزبور درون واحدهای دگرگونه کربناته پرکامبرین (زرشوران و عربشاه) و یا داخل واحدهای کربناته الیگومیوسن (آق‌دره) و در ارتباط فضایی نسبتاً نزدیک با توده‌های نیمه‌آتشفشانی داسیتی میوسن میانی-بالایی (Mehrabi et al., 1999؛ حیدری، ۱۳۹۲) تشکیل شده‌اند. از این رو، بررسی پهنه‌های گسلی موجود در مجموعه‌های سنگی یادشده به‌ویژه در مناطقی که مورد هجوم توده‌های نیمه‌آتشفشانی داسیتی قرار گرفته‌اند، می‌تواند از نظر اکتشاف کانسارهای طلای نوع کارلین حائز اهمیت باشد. تعمیم شواهد بدست آمده از این مطالعات به مناطق مشابه در پهنه فلززایی تکاب-انگوران-تخت‌سلیمان می‌تواند کاربرد فراوانی در شناسایی و اکتشاف این نوع از کانی‌زایی‌های طلا داشته باشد.

غنی‌شدگی در عناصر LREE می‌تواند نشان دهنده بالابودن غلظت LREEها در سیالات کانه‌ساز باشد (Alderton et al., 1980). در نمونه مرمی‌سیلیسی حاوی پیریت و فاقد باریت، همه عناصر کمیاب خاکی در مقایسه با مرمی‌سالم تهی‌شدگی نشان می‌دهند که این تهی‌شدگی در عناصر LREE کم‌تر بوده ولی در عناصر HREE بسیار بارز است. مقایسه غلظت عناصر کمیاب و کمیاب خاکی در مرمی‌های کانه‌دار نسبت به توده نیمه‌آتشفشانی داسیتی سالم نشان می‌دهد که بخش‌های کانه‌دار از همه عناصر تهی شده و تنها در Cr, Pb و Ba غنی شده هستند (شکل ۱۰ الف).

بیش‌ترین تهی‌شدگی مربوط به عناصر Nb و Rb, K, Ti است که در نمونه مرمی‌سیلیسی‌شده حاوی باریت و پیریت دیده می‌شود. بررسی غنی‌شدگی و تهی‌شدگی عناصر REE نمونه‌های مرمی‌های کانه‌دار در مقایسه با توده نیمه‌آتشفشانی داسیتی سالم نشانگر تهی‌شدگی بخش عمده عناصر REE بوده و تنها عناصر La, Nd و Gd غنی‌شدگی نشان می‌دهند (شکل ۱۰ ب). مرمی‌های سیلیسی حاوی پیریت، بیش‌ترین غنی‌شدگی در عناصر یادشده را دارا هستند.

تیپ کانه‌زایی و مدل تشکیل رخداد معدنی عربشاه

ویژگی‌های زمین‌شناسی، کانه‌زایی، ترکیب کانی‌شناسی، ساخت و بافت کانسنگ و الگوی دگرسانی در رخداد معدنی طلا-آرسنیک-آنتیموان عربشاه نشان می‌دهد که این رخداد معدنی را می‌توان در دسته کانسارهای طلای نوع کارلین (Ressel et al., 2000; Seedorff and Barton, 2004) طبقه‌بندی کرد (جدول ۲). براساس نتایج بدست آمده از مشاهدات صحرایی، مطالعات سنگ‌شناسی و کانه‌نگاری، آنالیزهای زمین‌شیمیایی، روابط پاراژنتیکی کانی‌ها و کانه‌ها در منطقه عربشاه و مقایسه آن با دیگر کانه‌زایی‌های طلای نوع کارلین موجود در منطقه تکاب-انگوران-تخت‌سلیمان، مراحل تکوین و تکامل رخداد معدنی عربشاه را می‌توان به‌صورت یک توالی چهار مرحله‌ای خلاصه کرد (شکل ۱۱):

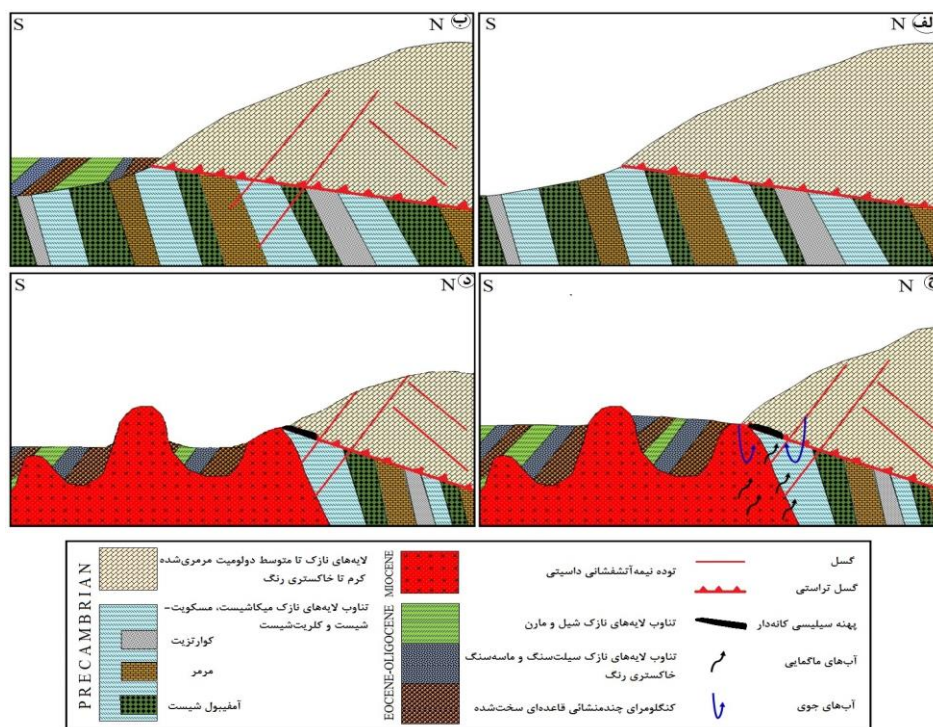
مرحله اول با تشکیل فرازمین گورگور-بلیقیس-قبله‌داغ (فنودی و حریری، ۱۳۷۸) شامل واحدهای دگرگونه پرکامبرین (انواع شیست‌ها، آمفیبول شیست، کوارتزیت به همراه مرمی و دولومیت‌های مرمی‌شده تراست‌شده بر روی آنها) می‌باشد (شکل ۱۱ الف). در مرحله دوم، فرآیندهای هوازدگی و رسوب‌گذاری در طی ائوسن و الیگومیوسن منجر به تشکیل توالی کنگلومرا، ماسه‌سنگ، سیلت‌سنگ، مارن، شیل و گاه میان‌لایه‌های آهکی در حوضه رسوبی اطراف فرازمین پرکامبرین شده‌اند. در ادامه این مرحله، فرآیندهای کوهزایی مربوط به اواخر میوسن (پاسادین) منجر به چین‌خوردگی این رسوبات شده است. آثار این کوهزایی با تشکیل ریزچین‌هایی در داخل شیست‌ها و همچنین توسعه شکستگی‌ها و گسل‌های متعدد در واحدهای دگرگونه قابل شناسایی است (شکل ۱۱ ب). در مرحله سوم، در ادامه فرآیند کوهزایی اواخر میوسن (پاسادین) و در اثر فعالیت‌های ماگمایی، گنبد‌های نیمه‌آتشفشانی داسیتی به داخل مجموعه‌های رسوبی ائوسن-الیگومیوسن و دگرگونه‌های پرکامبرین نفوذ کرده است (فنودی و حریری، ۱۳۷۸). مطالعات سن‌سنجی بر روی این توده‌های نیمه‌آتشفشانی، سن ۱۱ میلیون سال (میوسن میانی-بالایی) را برای آنها نشان داده است (حیدری، ۱۳۹۲). فعالیت‌های گرمایی (چرخش آب‌های جوی) مرتبط با این توده‌های



شکل ۱۰. نمودارهای غنی‌شدگی - تهی‌شدگی عناصر کمیاب، الف) و کمیاب خاکی، ب) برای مرمرهای کانه‌دار در رخدادهای معدنی عربشاه که نسبت به توده نیمه‌آتشفشانی داسیتی سالم سنجیده شده‌اند.

جدول ۲. مقایسه ویژگی‌های زمین‌شناسی و کانه‌زایی رخدادهای معدنی عربشاه با کانسارهای طلای نوع کارلین در جهان و ایران.

عربشاه	آق‌دره	زرشوران	ایالت گوئیژو	ایالت نوادا	موقعیت
جنوب‌خاور تکاب	شمال‌باختر تکاب	شمال تکاب	جنوب‌خاور چین	آمریکای شمالی	
دولومیت مرمری‌شده	مارن آهکی و آهک خاکستری	شیل‌های سیاه، آهک و دولومیت	آهک کربناته آغشته به زغال‌سنگ	آهک کربناتی - سیلیسی	سنگ میزبان
پرکامبرین	میوسن	پرکامبرین	پرکامبرین	پرکامبرین	سن سنگ میزبان
رگه‌ای و دانه‌پراکنده	دانه‌پراکنده و رگه‌ای	عدسی، رگه‌ای	رگه‌ای، افشان	رگه‌ای، افشان	ژئومتری
پرشی، دانه‌پراکنده، رگه-رگچه‌ای، پُرکننده فضاهای خالی	دانه‌پراکنده	پرشی، دانه‌پراکنده	پرشی، کوکاد، لایه‌ای	پرشی، رگه‌ای، پُرکننده فضاهای خالی	ساخت و بافت
طلا، رانگار، اورپیمنت، استینیت، گالن، اسفالریت، پیریت، کالکوپیریت	طلا، استینیت، سینابر، پیریت، باریت، اسفالریت	طلا، رانگار، اورپیمنت، گالن، اسفالریت، استینیت	طلا، پیریت، اسفالریت، گالن، رانگار، اورپیمنت، استینیت	طلا، پیریت، رانگار، اورپیمنت، کالکوپیریت، استینیت	کانی‌های معدنی
کلسیت، کوارتز، باریت	کوارتز، باریت، کلسیت	دولومیت، کلسیت، فلونوریت	کوارتز، دولومیت، کلسیت، کانی‌های رسی	باریت، کوارتز	کانی‌های باطله
کربنات‌زدایی، سیلیسی، سولفیدی، کربناتی	آرژیلیک، سیلیسی	سیلیسی، کلسیتی، آرژیلیک، پتاسیک	سیلیسی، کربنات‌زدایی، سولفیدی، دولومیتی	سیلیسی، آرژیلیک، کربنات‌زدایی	دگرسانی
کارلین	کارلین	کارلین	کارلین	کارلین	تیپ
نجف‌زاده، ۱۳۹۴	Daliran, 2008	Daliran et al., 1999, 2002; Mehrabi et al., 1999; Asadi et al., 1999, 2000	Xia et al., 2012; Tan et al., 2015	Cline et al., 2005	منابع



شکل ۱۱. نمایی شماتیک از مراحل تکوین و تکامل کان‌زایی در رخدادهای دگرگونی پرکامبرین با تراست‌شدگی دولومیت‌های مرمری شده بر روی آنها. (ب) تشکیل توالی رسوبی ائوسن و الیگومیوسن. فرآیندهای کوهزایی مربوط به اواخر میوسن (پاسادین) سبب چین‌خوردگی مجموعه دگرگونی پرکامبرین و توالی رسوبی ائوسن و الیگومیوسن و توسعه شکستگی‌ها و گسل‌ها در واحدهای دگرگونی پرکامبرین شده است. (ج) نفوذ گنبد‌های نیمه‌آتشفشانی داسیتی به داخل مجموعه‌های دگرگونی و رسوبی منطقه. نفوذ این گنبد‌ها سبب چرخش سیالات گرمایی و شکل‌گیری کان‌زایی به‌صورت پهنه‌های سیلیسی کانهدار در واحد دولومیت مرمری شده پرکامبرین شده است. (د) بالآمدگی ناحیه و توسعه فرآیندهای هوازدگی و فرسایش.

نتیجه‌گیری

کان‌زایی طلا- آرسنیک- آنتیموان در عربشاه به‌صورت یک پهنه سیلیسی غنی از هیدروکسیدهای آهن با میزان دولومیت مرمری شده پرکامبرین رخ داده است. پنج مرحله کان‌زایی در عربشاه قابل تفکیک است. طلا به‌صورت غیرقابل رؤیت درون شبکه کانی‌های سولفیدی (به‌ویژه پیریت) در مرحله دوم تشکیل شده است.

شواهدی از قبیل مشاهدات صحرایی، ژئومتری، ساخت و بافت، سنگ میزبان، پاراژنز، زمین‌شیمی و دگرسانی‌های تشکیل شده در رخدادهای طلا - آرسنیک- آنتیموان عربشاه، همگی حاکی از آن است که این رخدادهای معدنی را می‌توان در ردیف کانسارهای طلای نوع کارلین تقسیم‌بندی کرد. در هر حال، این مقایسه نیازمند اطلاعات دقیق ایزوتوپی (پایدار و سن‌سنجی) برای این رخدادهای معدنی است.

شباهت الگوهای به‌نچار شده عناصر کمیاب خاکی در مرمرهای کانهدار و توده‌های نیمه آتشفشانی داسیتی سالم و فاقد کان‌زایی می‌تواند بیانگر ارتباط سیالات کانی‌ساز با توده‌های نیمه‌نفوذی داسیتی و مشتق شدن آنها از این توده‌ها و یا معادل‌های درونی آنها باشد که در نزدیکی پهنه کانهدار و مناطق مجاور مانند گنبد آتشفشانی ایوب انصار رخنمون دارند.

افزایش میزان عناصر کمیاب (به‌جز عناصر P, Y, Yb) و کمیاب خاکی (به‌جز عناصر HREE) در بخش‌های کانهدار نسبت به سنگ‌های میزبان فاقد کان‌زایی، کاربرد فراوانی در اکتشاف بخش‌های کانهدار عیار بالا در رخدادهای معدنی عربشاه دارد.

کان‌زایی در رخدادهای معدنی عربشاه به‌صورت رگه‌های درون شکستگی‌های گسلی درون واحدهای دگرگونی کربناته پرکامبرین تشکیل شده و ارتباط فضایی نزدیکی با پهنه‌های دگرسانی و توده‌های نیمه آتشفشانی داسیتی میوسن میانی- بالایی دارد. از این رو بررسی پهنه‌های گسلی و دگرسانی از طریق تلفیق داده‌های مربوط به روند‌های تکتونیکی، دگرسانی و واحدهای میزبان می‌تواند از نظر اکتشاف کانسارهای مشابه در پهنه تکاب- انگوران- تخت‌سلیمان حائز اهمیت باشد.

سپاسگزاری

نویسندگان از حمایت‌های مالی دانشگاه زنجان برای انجام این پژوهش تشکر می‌نمایند. همچنین نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از سردبیر و داوران محترم مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته به خاطر راهنمایی‌های علمی که منجر به غنای بیش‌تر مقاله حاضر گردیده است، تشکر نمایند.

منابع

- بهمنش، م.، ۱۳۹۲، اکتشافات عمومی در منطقه عربشاه (مرحله دوم). سازمان صنعت، معدن و تجارت استان آذربایجان غربی.
- حیدری، م.، ۱۳۹۲، زمین شناسی و سن سنجی و خاستگاه رخدادهای طلای توزلار، عربشاه و گوزل بلاغ در ناحیه قروه-تکاب. رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس.
- حیدری، م.، قادری، م.، کوهستانی، ح.، حسینی، م.، ۱۳۹۳، کانسار طلا- نقره (مس) اپی ترمال توزلار، مرتبط با توده نفوذی نیمه عمیق محیط کشتی درون کمائی، در شمال باختر ماه نشان. فصلنامه علوم زمین، شماره ۹۴، ص ۳۲۹-۳۴۸.
- سبزی، ز.، ۱۳۹۴، پترولوژی و ژئوشیمی توده نیمه نفوذی ایوب انصار، جنوب شرق تکاب. پایان نامه کارشناسی ارشد پترولوژی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان.
- شیرخانی، م.، ۱۳۸۷، کانی شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار سرب- روی آی قلعہ سی، جنوب خاور تکاب. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۴۳ ص.
- نفودی، م.، حریری، ع.، ۱۳۷۸، نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ تکاب. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- قدیمی، س.، نباتیان، ق.، ۱۳۹۳، بررسی زمین شیمیایی معدن روی- سرب انگوران و اثرات فعالیت های معدن کاری بر آلودگی منطقه. مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۱۳، ص ۵۶-۶۶.
- کریمی، ف.، کوهستانی، ح.، مختاری، م.ع.ا.، عظیم زاده، ا.م.، ۱۳۹۴، ویژگی های زمین شناسی و کانه زایی کانسار روی- سرب (نقره) حلب، جنوب باختر زنجان. سی و چهارمین گردهمایی و دومین کنگره بین المللی تخصصی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- لطفی، م. و کریمی، م.، ۱۳۸۳، کانی سازی و نحوه تشکیل کانسار نوع رگه ای (نیکل- کبالت- آرسنیک- بیسموت- عناصر پایه) بایچه باغ (شمال باختری زنجان- ایران). فصلنامه علوم زمین، شماره ۵۳، ص ۴۰-۵۵.
- محمدی نیایی، ر.، ۱۳۹۴، ژنز و زمین شناسی اقتصادی کانسار سرب و روی آی قلعہ سی با نگرش ویژه بر کانه زایی فلزات قیمتی. رساله دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، ۲۱۰ ص.
- محمدی، ز.، ابراهیمی، م.، کوهستانی، ح.، ۱۳۹۳، رخداد معدنی آهن گورگور، شمال خاور تکاب: کانه زایی تیپ آتشفشانی- رسوبی در زون سنندج- سیرجان. مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۱۳، ص ۲۰-۳۲.
- نجف زاده، م.، ۱۳۹۴، پتروگرافی سنگ های دگرگونی منطقه عربشاه (جنوب شرق تکاب) با نگرشی بر کانه زایی As-Au. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه زنجان، ۹۲ ص.
- Alderton, D.H.M., Pearce, J.A. and Potts, P.J., 1980, Rare earth element mobility during granite alteration: evidence from south-east England. *Earth Science Letters*, Vol: 49, p: 149-165.
- Asadi, H.H., Voncken, J.H.L., Kühnel, R.A. and Hale, M., 1999, Invisible gold at Zarshuran, Iran. *Economic Geology*, Vol: 94, p: 1367-1374.
- Asadi, H.H., Voncken, J.H.L., Kühnel, R.A. and Hale, M., 2000, Petrography, mineralogy and geochemistry of the Zarshuran Carlin-like gold deposit, northwest Iran. *Mineralium Deposita*, Vol: 5, p: 656-671.
- Bagby, W.C. and Berger, B.R., 1985, Geologic characteristics of sediment- hosted, disseminated precious metal deposits in the western United States. *Reviews in Economic Geology*, Vol: 2, p: 169-202.
- Berger, B.R. and Bagby, W.C., 1991, The geology and origin of Carlin type gold deposits. In: Foster, R.P. (Ed.), *Gold metallogeny and exploration*, p. 210-243. Blackie, Glasgow, Scotland.
- Boni, M., Gilg, H.A., Balassone, G., Schneider, J., Allen, C.R. and Moore, F., 2007, Hypogene Zn carbonate ores in the Angouran deposit, NW Iran. *Mineralium Deposita*, Vol: 42, p: 799-820.
- Cline, J., Hofstra, A., Muntean, J., Tosdal, R. and Hickey, K., 2005, Carlin-type gold deposits in Nevada: Critical geologic characteristics and viable models. *Economic Geology 100th Anniversary Volume*, p: 451-484
- Daliran, F., 2008, The carbonate rock-hosted epithermal gold deposit of Agdarreh, Takab geothermal field, NW Iran, hydrothermal alteration and mineralization. *Mineralium Deposita*, Vol: 43, p: 383-404.
- Daliran, F., Hofstra, A.H., Walther, J. and Stüben, D., 2002, Aghdarreh and Zarshuran SRHDG deposits, Takab region, NW Iran. *GSA Annual Meeting, Abstract with Programs, Session 63-8*.
- Daliran, F., Pride, K., Walther, W., Berner, Z.A. and Bakker, R.J., 2013, The Angouran Zn (Pb) deposit, NW Iran: evidence for a two stage, hypogene zinc sulfide-zinc carbonate mineralization. *Ore Geology Reviews*, Vol: 53, p: 373-402.
- Daliran, F., Walther, J. and Stüben, D., 1999, Sediment-hosted disseminated gold mineralization in the North Takab geothermal field, NW-Iran. In: Stanley, C.J. et al. (Eds.): *Mineral Deposits: Processes to Processing. Proceed. 5th bienn. SGA Meeting and 10th Quadr. IAGOD Meeting*, p: 837-840.
- Gilg, H.A., Boni, M., Balassone, G., Allen, C.R., Banks, D. and Moore, F., 2006, Marble-hosted sulphide ores in the Angouran Zn-(Pb-Ag) deposit, NW Iran: interaction of sedimentary brines with a metamorphic core complex. *Mineralium Deposita*, Vol: 41, p: 1-16.
- Heidari, S.M., Daliran, F., Paquette, J.L. and Gasquet, D., 2015, Geology, timing, and genesis of the high sulfidation Au (-Cu) deposit of Touzlar, NW Iran. *Ore Geology Reviews*, Vol: 65, p: 460-486.

- Lottermoser, B.G., 1992, Rare earth elements and hydrothermal ore formation processes, *Ore Geology Reviews*, Vol: 7, p: 25-41.
- Mehrabi, B., Yardley, B.W.D. and Cam, J.R., 1999, Sediment-hosted disseminated gold mineralization at Zarshuran, NW Iran. *Mineralium Deposita*, Vol: 34, p: 673-696.
- Mohammadi Niaei, R., Daliran, F., Nezafati, N., Ghorbani, M., Sheikh Zakariaei, J. and Kouhestani, H., 2015, The Ay Qalasi deposit: An epithermal Pb–Zn (Ag) mineralization in the Urumieh-Dokhtar Volcanic Belt of northwestern Iran. *N. Jb. Miner. Abh. (J. Min. Geochem.)*, Vol: 192 (3), p: 263-274.
- Percival, T.J., Bagby, W.C. and Radtke, A.S., 1988, Physical and chemical features of precious metal deposits hosted by sedimentary rocks in the western United States. In: Schafer, R.W., Cooper, J.J. and Vikre, P.G. (Eds.): *Bulk mineable precious metal deposits of the western United States. Geological Society of Nevada Symposium Proceedings*, April, p: 11-34.
- Radtke, A.S., 1985, Geology of the Carlin gold deposit, Nevada. U.S. Geological Survey professional paper, 1267, 124.
- Ressel, M.W., Noble, D.C., Henry, C.D. and Trudel, W.S., 2000, Dike-hosted ores of the Beast deposit and the importance of Eocene magmatism in gold mineralization of the Carlin trend, Nevada. *Economic Geology*, Vol: 95, p: 1417-1444.
- Seedorff, E. and Barton, M.D., 2004, Enigmatic origin of Carlin-type deposits: A magmatic solution? *Society of Economic Geologists Newsletter*, Vol: 59, p: 14-16.
- Stöcklin, J., 1968, Stratigraphic lexicon of Iran. Part-1: central, north, and east Iran. Geological Survey of Iran, Report No. 18, Tehran.
- Sun, S.S. and McDonough, W.F., 1989, Chemical and isotope systematics of Oceanic Basalts: implication 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 No. 42, p: 313-345.
- Tan, Q.P., Xia, Y., Xie, Z.J. and Dongtian, W., 2015, S, C, O, H, and Pb isotopic studies for the Shuiyindong Carlin-type gold deposit, Southwest Guizhou, China: constraints for ore genesis. *Chinese Journal of Geochemistry*, Vol: 34(4), p: 525-539.
- Whitney, D.L. and Evans, B.W., 2010, Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, Vol: 95, p: 185-187.
- Xia, Y., Su, W., Zhang, X. and Liu, J., 2012, Geochemistry and metallogenic model of Carlin-type gold deposits in southwest Guizhou Province, China. In: Panagiotaras, D., (Ed.), *Geochemistry-Earth's System Processes*, p: 127-156.