

بررسی های سنگ زمین شیمیایی، کانی شناسی، دگرسانی و مطالعه میانبارهای سیال در سامانه رگه‌های

طلا مس دار کودکان محدوده اکتشافی کودکان، خراسان جنوبی

سکینه امرایی

کارشناسی ارشد زمین شناسی اقتصادی، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور

شجاع‌الدین نیرومند

استادیار زمین شناسی اقتصادی، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه تهران

تاریخ پذیرش: ۹۴/۷/۶

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۲/۲۵

S.amraei.ac.ir@gmail.com

چکیده

سامانه رگه‌های طلا-مس دار کودکان در استان خراسان جنوبی منطقه اکتشافی کودکان (برگه ۱:۵۰۰۰۰) غرب معدن قلعه‌زری و محدوده روستای کودکان، و در پهنه ساختاری لوت شمالی قرار دارند. در این محدوده، کانه‌زایی عمدتاً به صورت رگه‌های است که توسط ساختارهای گسلی با روند شمال باختر-جنوب خاور، کنترل می‌شود. مجموعه فوق توسط سنگ‌های آتشفشانی با ماهیت اسیدی تا حدواسط با جنس سنگ‌شناسی آندزیت، تراکی آندزیت و ریولیت، به سن ائوسن-نئوژن میزبانی می‌شوند. زون‌های دگرسانی شامل: آرژیلیک متوسط تا پیشرفته، سیلیسی، سریسیتی-پیریت، کوارتز-اکسید آهن-کربنات و پروپلیتیک است. کانی‌شناسی رگه‌ها شامل کوارتز-سریسیت-پیریت-کانی‌های رسی می‌باشد. با توجه به بررسی‌های میانبارهای سیال موجود در کوارتز، در انومالی غرب معدن قلعه‌زری، کانه‌زایی در دامنه ۱۰۹-۴۲۹ (عمدتاً ۳۰۰-۱۰۰) درجه سانتیگراد و شوری ۹/۱۷ - ۰/۲ درصد وزنی معادل NaCl تشکیل شده است. مجموع بررسی‌های صورت گرفته در منطقه بیانگر حضور کانی‌سازی اپی‌ترمال سولفیدی شدن متوسط تا پایین در انومالی غرب معدن قلعه‌زری باشد. همچنین شواهد کانی‌شناسی-دگرسانی می‌تواند اشاره به کانی‌سازی همراه با توده‌های نفوذی در منطقه انومالی شماره دو داشته باشد. چنین ارتباطاتی می‌تواند به کشف کانی‌سازی‌های مشابه در این پهنه ساختاری کمک شایانی نماید.

کلمات کلیدی: کودکان، میانبارهای سیال، کانه‌سازی اپی‌ترمال، مس، طلا

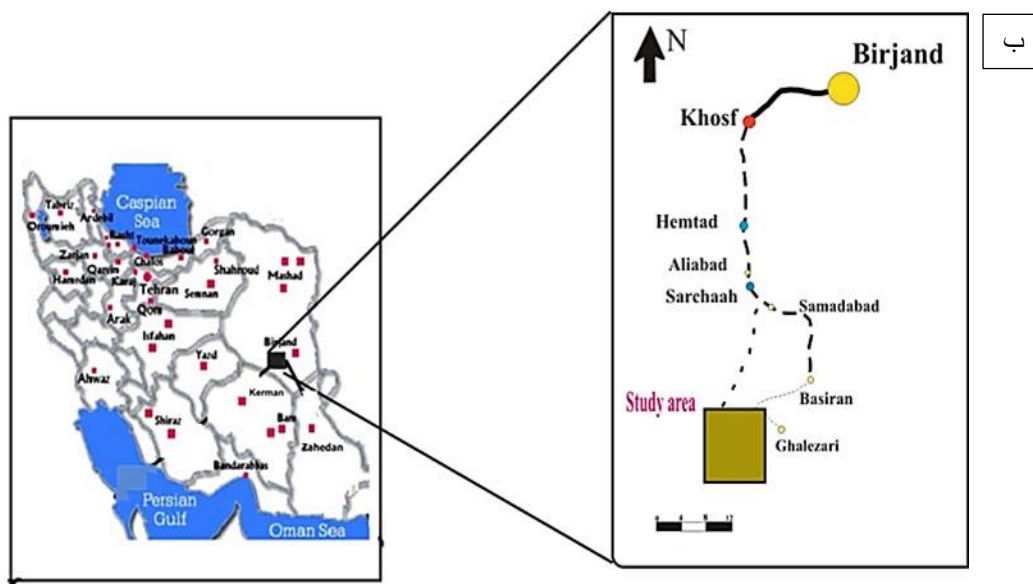
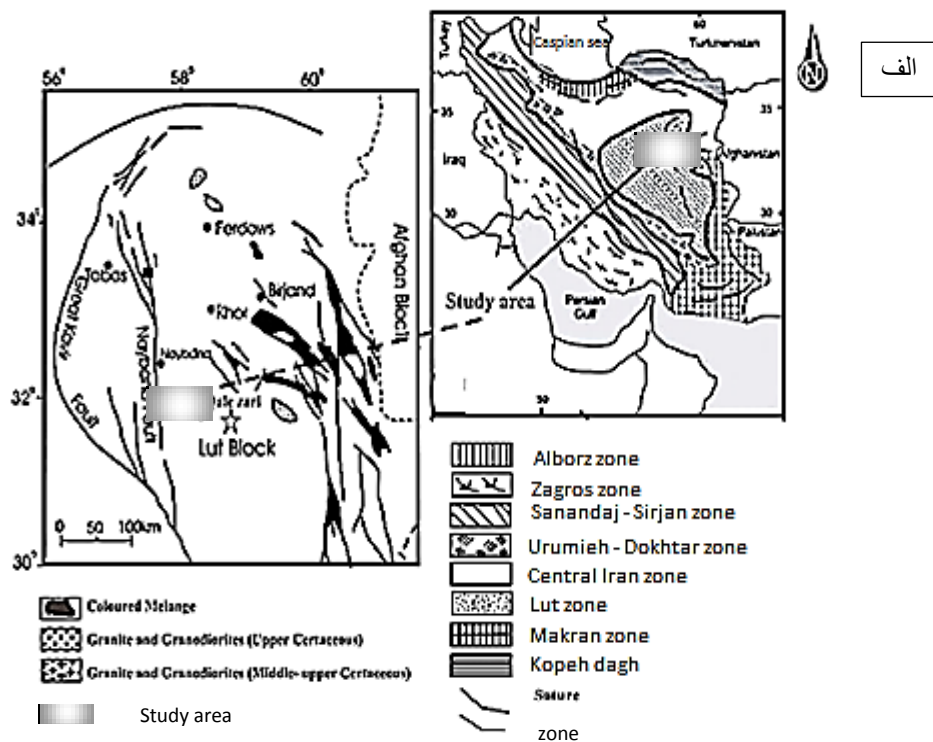
مقدمه

معدن سرب و روی سه چنگی، آثاری از کانه‌زایی طلا در منطقه بیشه (۱۶ کیلومتری جنوب قلعه‌زری) و اندیس معدنی چاه شلغمی اشاره کرد. منطقه مورد مطالعه در راستای کارهای اکتشافی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور در قالب طرح‌های اکتشافات زمین-شیمیایی ۱:۱۰۰۰۰۰ مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن منجر به معرفی بی‌هنجاری‌های بااهمیتی از عناصر مس و طلا و فلزات همراه بخصوص در بخش خاوری ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ کودکان شد.

این محدوده (محدوده برگه ۱:۵۰۰۰۰ کودکان) نیز اخیراً تحت پوشش اکتشافات زمین-شیمیایی رسوبات آبراهه‌ای و همچنین آنالیزهای سنگ زمین-شیمیایی قرار گرفت. در این مقاله ویژگی‌های زمین‌شیمیایی، کانی‌شناسی، دگرسانی، کانسنگ، و میانبارهای سیال این سامانه رگه‌ای، به منظور درک بیشتر نحوه کانی‌سازی و تا حد امکان تعمیم آن به مناطق مشابه همجوار و ارائه یک الگوی اکتشافی مناسب در منطقه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

محدوده اکتشافی برگه ۱:۵۰۰۰۰ کودکان در ۱۳۰ کیلومتری جنوب خاوری بیرجند، در کمربند آتشفشانی نفوذی بلوک لوت بین طول‌های جغرافیایی ۵۸ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۵۹ درجه شرقی و عرض‌های ۳۱ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۲ درجه عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱-الف).

راه‌های دسترسی به منطقه عبارتند از: مسیر بصیران به قلعه‌زری و سپس راه انشعابی به سمت روستای متروکه کودکان، و راه دوم نیز از معدن قلعه‌زری به سمت چاه‌شلغمی است، که در نهایت به سمت جنوب غربی محدوده مطالعاتی ادامه می‌یابد (شکل ۱-ب). ویژگی‌های بارز زمین‌شناسی، اعم از موقعیت زمین‌ساختی، پویایی ماگمایی و شرایط مساعد کانی‌سازی در برهه زمانی ترشیری همچنین واقع شدن در یکی از ۱۲ زون طلاخیز کشور باعث شده است، که این ناحیه همواره مورد توجه زمین‌شناسان قرار گیرد. به دلیل گسترش فعالیت‌های ماگمایی ترشیری و وجود دگرسانی‌های وابسته، این منطقه به لحاظ اقتصادی بسیار توانمند بوده و پژوهش‌های زیادی در این ناحیه صورت گرفته که منجر به شناسایی کانی‌سازی‌های مختلف فلزی و غیر فلزی متنوعی در این منطقه شده است که از آن جمله می‌توان رخدادهای معدنی همچون معدن مس-طلای قلعه‌زری (دیمه ور، ۱۳۷۴، کریم پور، ۱۳۸۵)، کانسار طلای هیرد (اشراقی و همکاران، کریم‌پور، ۱۳۸۵)، معدن طلای چاه زاغو، معادن مس شورک و مسگران،



شکل ۱. الف: موقعیت محدوده مورد مطالعه بر روی نقشه زون‌های ساختاری ایران (آقانیاتی، ۱۳۸۳)، ب: نقشه راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه (عزمی، ۱۳۷۹)

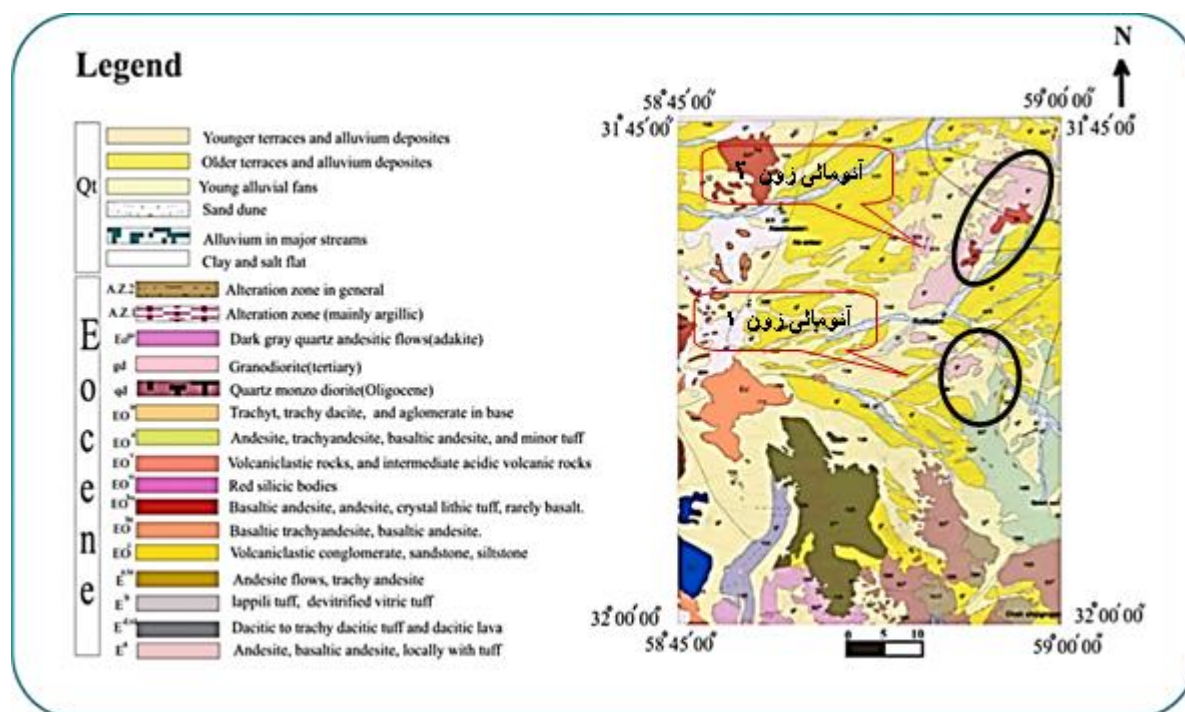
روش تحقیق

در این مطالعه، ویژگی‌های کانی‌شناسی، دگرسانی، نتایج آنالیزهای زمین-شیمیایی و مطالعه میانبراه‌های سیال در محدوده برکه مورد بررسی، مطالعه شده است. به منظور شناسایی، بررسی واحدهای سنگی و دگرسانی‌ها، مطالعه مقاطع میکروسکوپی، تصاویر ماهواره‌ای و باز دیده‌های زمینی در این محدوده انجام گرفت. در این مطالعات، تعداد ۲۷۳ نمونه زمین‌شیمیایی با جزء ۸۰- مش از رسوبات سیلت بستر آبراهه‌ها و ۷۹ نمونه سنگ زمین‌شیمیایی از بخش‌های دگرسان نشده برداشت و در آزمایشگاه زمین‌شیمی سازمان زمین‌شناسی به روش ICP-OES آنالیز شد (جدول ۱). سپس داده‌های بدست آمده با نرم‌افزارهای Spss, ArcGis, Excel آمایش شد. همچنین تعداد ۱۲ نمونه جهت آنالیز XRD, ۲۲ نمونه جهت آنالیز XRF برای مطالعات سنگ شناسی و کانی‌شناسی برداشت و بررسی گردید. در تحقیقات میکروسکوپی برای مطالعه میانبراه‌های سیال، ۶ نمونه مقطع دوبر صیقل (Double Polished Thin Section) از گانگ کوارتز همراه با ماده معدنی در رگه‌های کانی‌سازی شده برداشت، و جهت مطالعه پارامترهای مورد نیاز از قبیل تعیین شوری، چگالی و سایر خصوصیات در سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور مورد مطالعه قرار گرفتند.

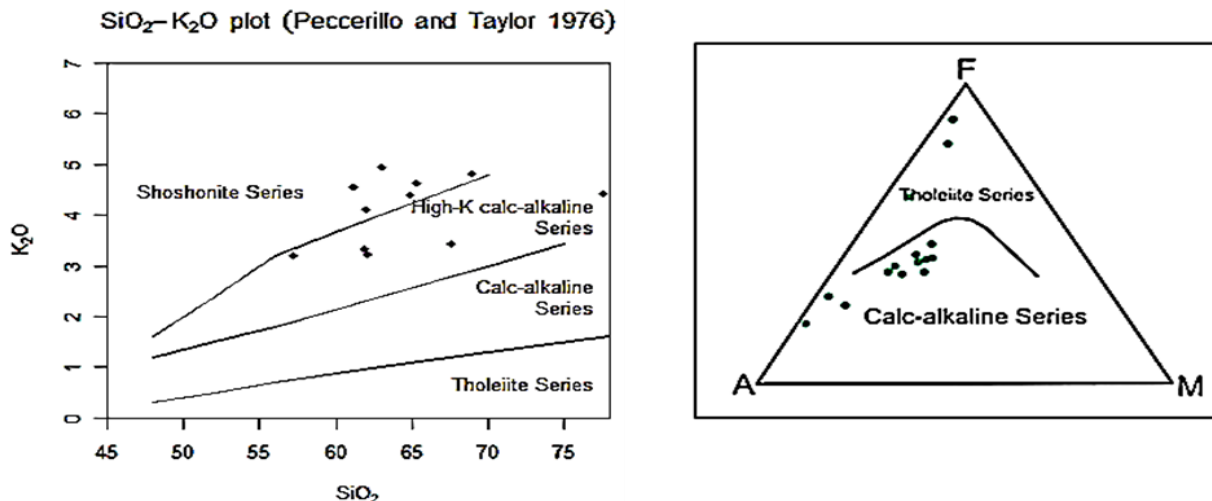
زمین‌شناسی

منطقه کودکان براساس تقسیمات ساختمانی رسوبی (آقاناتی، ۱۳۸۳)، بلوک لوت و در نگاهی کلان‌تر در خاور خرد قاره ایران مرکزی (لوت شمالی) واقع

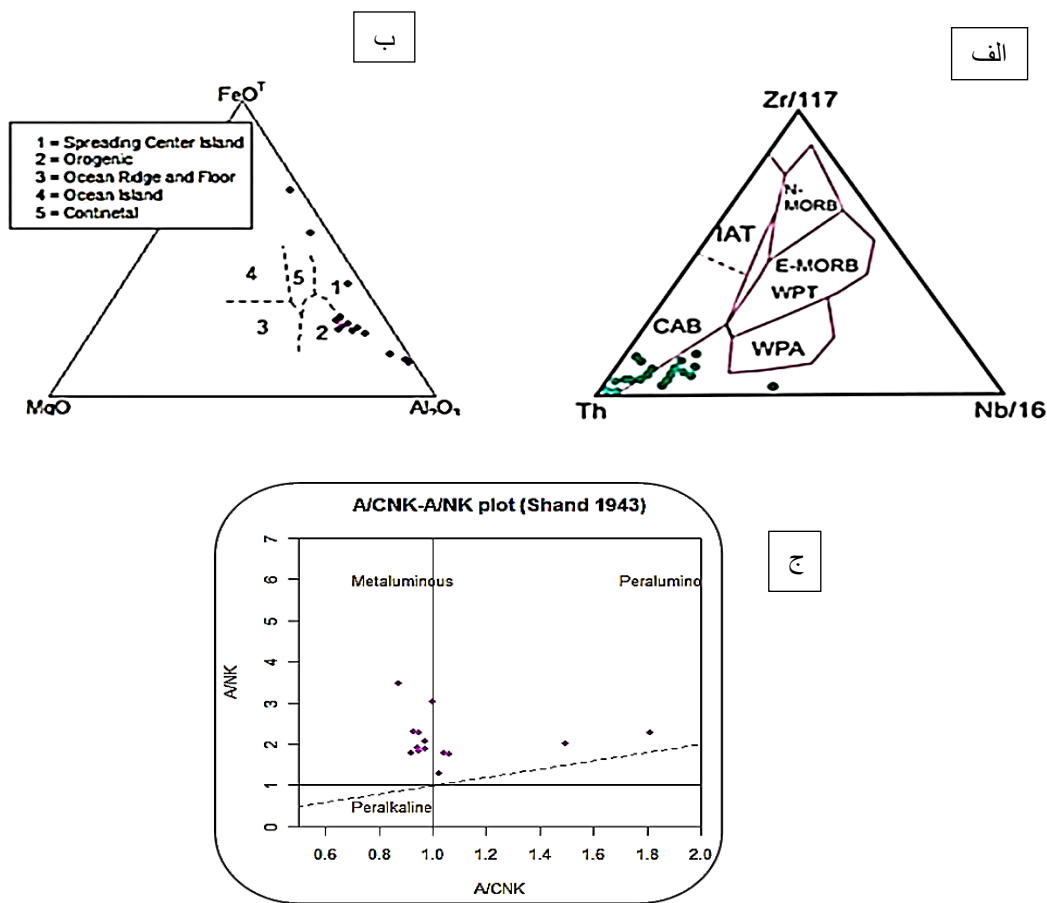
شده است (شکل ۱-الف). حجم اصلی سنگ‌های منطقه کودکان را مجموعه ماگمایی ترشیری تشکیل می‌دهد. انواع سنگ‌های اندزیتی، تراکی‌اندزیتی، داسیتی، ریوداسیتی و ریولیتی با سنی حدود اونس‌نئوژن میزبان کانی‌سازی و دگرسانی‌های موجود است (شکل ۲). شکل و فرم جایگیری سنگ‌های یاد شده به طور عمده به صورت مجموعه‌های آذراواری، شامل انواع توف‌ها، برش‌های آتشفشانی و روانه‌های گدازه است که بافت بیشتر آنها پورفیری و آتشفشانی آواری (ولکانوکلاستیک) می‌باشد (بلوریان، ۱۳۸۹). به لحاظ تکتونیکی، در منطقه مورد مطالعه به طور عمده دو مجموعه گسل و شکستگی با روندهای شمال خاوری جنوب باختری و شمال باختری جنوب خاوری قابل تشخیص است. براساس مطالعات زمین‌شیمیایی کل سنگ، سنگ‌های منطقه مورد مطالعه از نوع کلسیمی قلیایی و متالومینوس بوده و الگوی ماگماتیسیم در ارتباط با کمان حاشیه قاره ای را نشان می‌دهند (شکل ۳ و ۴). مطابق با نمودار پیرس و همکاران ۱۹۸۴ نمونه‌ها در محدوده اروژنی و حاشیه فعال قاره‌ای مربوط به فرورانش بلوک لوت قرار دارند. همچنین براساس نمودارهای Pearce et al., 1984 و Wood et al., 1979 (شکل ۴) نمونه‌های منطقه در محدوده بازالت‌های الکالین درون قاره‌ای مربوط به محیط تکتونیکی اروژنی و حاشیه فعال قاره‌ای قرار می‌گیرند (امرابی، ۱۳۹۱).



شکل ۲. نقشه زمین شناسی ۱:۵۰۰۰۰ منطقه مورد مطالعه برگرفته از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰۰ کودکان (بلوریان ۱۳۸۹) و محل رخداد‌های معدنی مورد مطالعه



شکل ۳. الف) نمایش نمونه‌های منطقه در نمودار AFM براساس (Irvine and Baragar, 1971) ب) نمونه‌های منطقه بر روی نمودار K_2O/SiO_2 (Peccerillo and Taylor, 1976).



شکل ۴. الف) موقعیت نمونه‌های منطقه کودکان بر روی نمودار تعیین محیط تکتونیکی (Wood, 1979) ب) نمودار تعیین محیط تکتونوماگمایی، اقتباس از (Pearce et al., 1984). ج) موقعیت نمونه‌های منطقه کودکان در نمودار A/CNK A/NK (Shand, 1951).

کانه‌زایی و دگرسانی

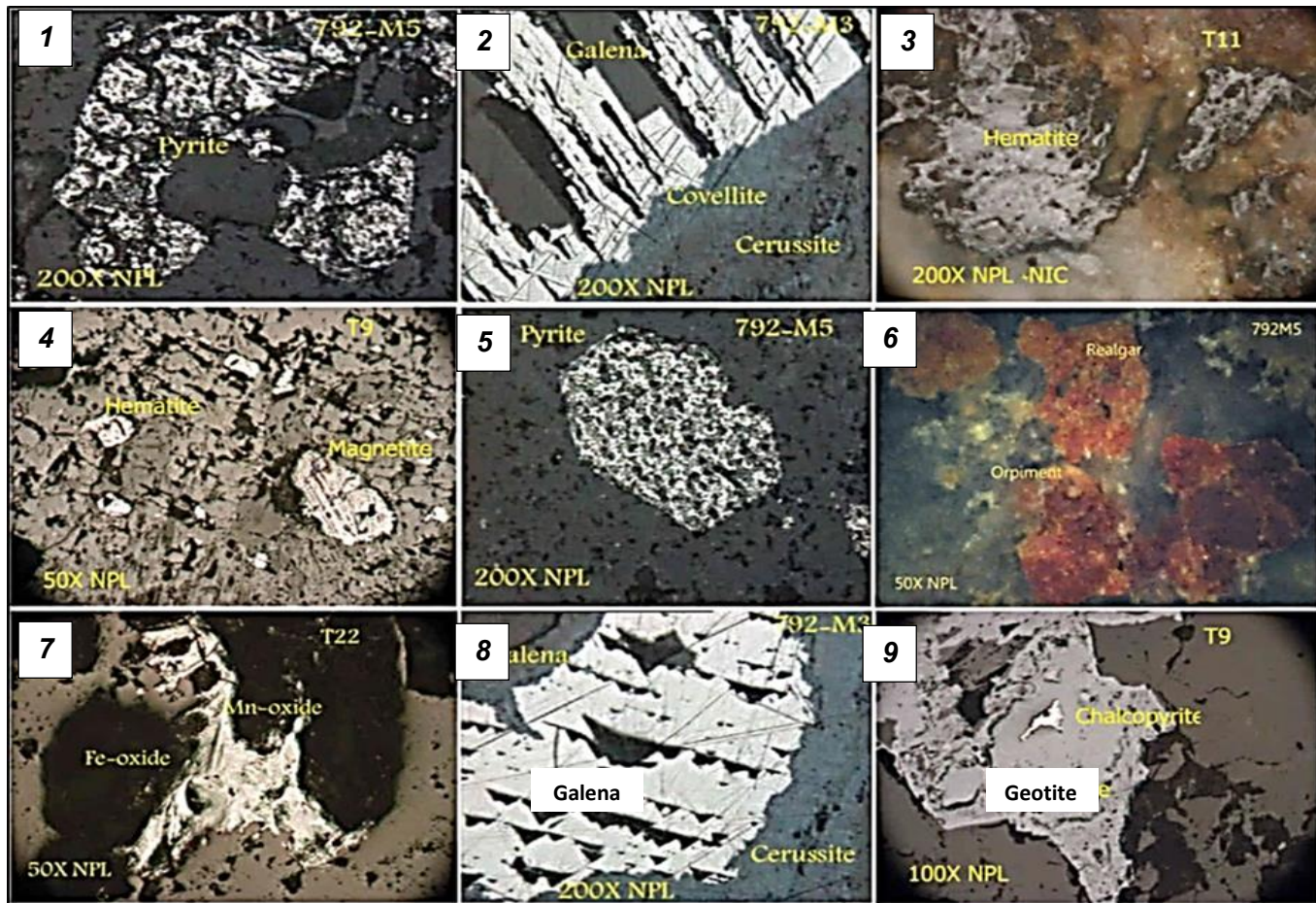
از نظر کانه‌زایی بلوک لوت یکی از نواحی شناخته شده فلززایی (متالوژنی) ایران بوده و بیشتر حاوی ذخایر اپی‌ترمال و پورفیری فلزات قیمتی و پایه می‌باشد. کانه‌زایی مس و طلا در این مناطق به مانند بیشتر مناطق ایران با ماگماتیسم ترشیری همراه است. در مطالعات صحرایی صورت گرفته در این منطقه، کانی‌سازی عمدتاً به صورت سامانه‌های رگه‌ای کوارتزی حاوی سولفید با آغشتگی ملاکیت، سیلیسی و هماتیته لیمنیتی است، که عمدتاً از ساختارهای گسلی (امتدادلغز و نرمال) پیروی می‌کنند (شکل ۵). مطالعات میدانی بیانگر ارتباط بارز این سامانه رگه‌ای با سنگ‌های نفوذی منطقه است. کانی‌سازی عمدتاً به شکل دانه پراکنده در واحد های شدیداً آلتزه و رگه‌های کوارتزی برشی در طول‌های کمتر از صد متر و ضخامت بین نیم تا دو متر دیده شده است. سیالات کانه‌دار، کانی‌سازی خود را در فضای برشی شده شکستگی‌ها ایجاد کرده‌اند. دگرسانی در سنگ میزبان رگه‌های کوارتزی شامل سریستی سیلیسی و آرژیلیکی در اطراف رگه‌ها و دارای رابطه آشکار با کانی‌سازی است. همچنین در سنگ میزبان توده نفوذی با کانی‌سازی مس منگنز، دگرسانی عمدتاً از نوع آرژیلیک متوسط-سریستی می‌باشد. مقادیر طلا در رگه‌های کانی‌سازی شده از ۱۳/۹ تا ۸/۴ پی‌پی‌ام متغیر است. و در بخش‌های حاشیه‌ای و سنگ میزبان این مقادیر به حدود ۲/۲ پی‌پی‌بی هم می‌رسد. مطالعات میدانی و بررسی‌های آزمایشگاهی بیانگر آن است که پیریت فراوانترین کانی اولیه و سولفیدی است. پیریت، کالکوپیریت، گالن، اسفالریت، رآلگار، اورپیمنت، کانه‌های سولفیدی اولیه موجود در مقاطع مورد مطالعه در منطقه هستند. که فازهای ثانویه کولیت، سروزیت، سیدریت، آنکریت، هماتیت، لیمنیت، آزوریت، ملاکیت، اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن و منگنز، از دگرسانی آنها شکل گرفته‌اند (جدول ۲). براساس مطالعات میکروسکوپی پیریت‌ها بی‌شکل تا شکل‌دار و ریز دانه تا درشت دانه در زمینه‌ی رگه کوارتز پراکنده‌اند. این پیریت‌ها به طور عمده تحت فرایند سوپرژن به ژاروسیت و اکسی-هیدروکسیدهای آهن تبدیل شده‌اند و یا از حاشیه در حال تبدیل شد به این کانی‌ها می‌باشد. اکسیدهای آهن و منگنز از جمله هماتیت، لیمنیت، مگنتیت، گوتیت، ژاروسیت و ناتروژاروسیت، سیلوملان، کریپتوملان و منگانتیت مقاطع میکروسکوپی و همچنین در نمونه‌های صحرایی بطور چشمگیر وجود دارند که نشانگر شرایط اکسیداسیون حاکم بر منطقه است (شکل ۶). بافت داخل رگه‌ها شامل کوارتز ریز بلور، نوارهای ظریف پوسته‌ای و

کلسدونی، بافت‌های برشی، شانه‌ای، کلوفرم و پرکننده فضاهای خالی است. علاوه بر این برشی شدن که معلول فشارهای هیدرولیکی است در نمونه‌های دستی نیز به خوبی دیده می‌شود. وجود ساخت و بافت‌های متنوعی از کوارتز، مانند شانه‌ای، کلوفرم و برشی شدن در رگه‌ها، نشان از تشکیل در ژرفای کم و فشار پائین است. این بافت‌ها معمول محیط‌های اپی‌ترمال هستند (Guilbert and Park, 1986). سنگ میزبان رگه‌ها و زون‌های کانی‌سازی در این محدوده عمدتاً سنگ‌های ولکانیکی ائوسن و همچنین توده‌های نفوذی شمال شرق منطقه، با ترکیب گرانودیوریتی و کوارتز مونوزودیوریتی است. بافت کانه‌زایی عمدتاً دانه پراکنده، رگه رگچه‌ای و پرکننده فضای خالی است. با توجه به شواهد موجود می‌توان ماهیت سیالات کانه‌ساز اولیه را اسیدی احیایی دانست که در اثر اختلاط با آب‌های جوی با PH پایین، ماهیت اکسیدان پیدا کرده است. براساس مشاهدات صحرایی و مطالعات میکروسکوپی مهمترین دگرسانی‌های موجود در منطقه عبارتند از: آرژیلیک متوسط (پیشرفته به صورت محلی)، سریستی، پروپیلیتیک (کلریت اپیدوت، کرناتی) سیلیسی، کلاک‌های اکسید آهنی و سیلیسی. دگرسانی سریستی، آرژیلیک و سیلیسی نسبت به دیگر دگرسانی‌های موجود در منطقه گسترده‌تر است (شکل ۷).

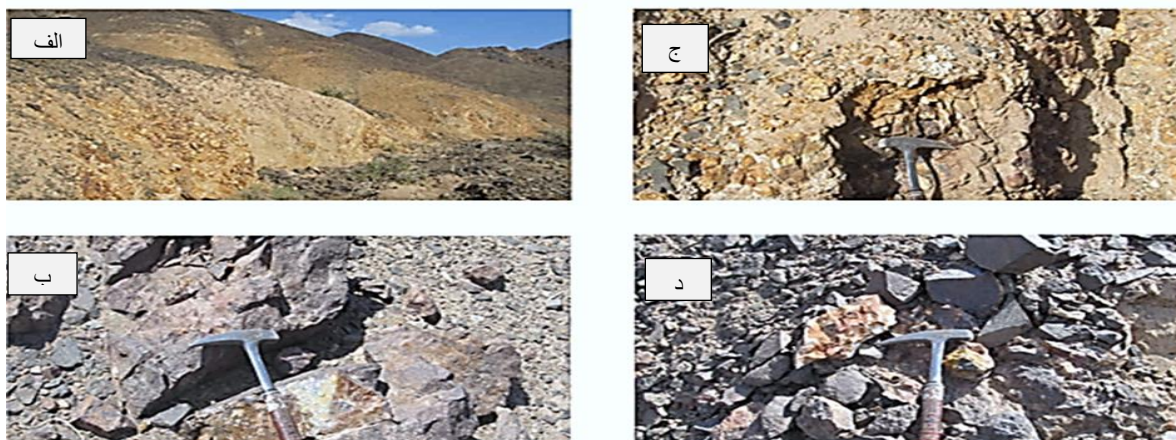
دگرسانی‌ها در محدوده آنوالی شماره یک واقع در غرب معدن قلعه‌زری، شامل دگرسانی آرژیلیک متوسط که ناشی از سیالی با اسیدیت پائین‌تر حدود ۴-۷ است، سریستی شدن و سیلیسی شدن است. در محدوده آنومالی شماره دو، واقع در قسمت شمال شرقی منطقه (مرتبط با توده‌های گرانیتوئیدی و کوارتز مونوزودیوریتی) دگرسانی‌ها عمدتاً آرژیلیک متوسط تا پیشرفته، سیلیسی شدن، سریستی شدن و دگرسانی پروپیلیتیک است. در زون‌های دگرسان شده، کانی‌سازی مس و منگنز به طور گسترده دیده می‌شود. مطالعات XRD انجام شده بر روی ۱۲ نمونه برداشت شده از مناطق دگرسانی، کانی‌های رسی (کائولینیت - ایلیت - مونت موریلونیت)، کرنات‌ها (کلسیت و دولومیت)، هماتیت، کوارتز، لونت و فلدسپار را نشان می‌دهد. تداخل برخی از دگرسانی‌ها و همچنین هوازدگی شدید سبب شده تا برخی از دگرسانی‌ها به راحتی قابل تفکیک نباشد. با توجه به اینکه دگرسانی غالب از نوع آرژیلیکی و سریستی می‌باشد، کانه‌زایی می‌تواند از نوع اپی‌ترمال با سولفیداسیون پائین باشد (لطیفی ساعی و همکاران، ۱۳۹۳).



شکل ۵. الف، ب) رگه‌های کوارتزی برشی شده سولفیدی با آغشتگی ملاکیتی، سیلیسی و هماتیته لیمنیتی (ج) کانی‌سازی اکسیدهای منگنز در واحد ولکانیکی (د) کانی‌سازی سولفیدی در سنگ میزبان گرانودیوریت



شکل ۶. کانی‌شناسی رگه‌ها شامل سه فاز سولفیدی، اکسیدی و کربناته، (۱) پیریت‌های درشت دانه که در حال تبدیل شدن به اکسیدهای آهن است، (۲) کولیت به رنگ ابی که در کنار گالن و سروزیت خاکستری دیده می‌شود، (۳) هماتیت به رنگ خاکستری روشن، (۴) هماتیت در کنار مگنتیت به رنگ سفید، (۵) دانه پیریت خودشکل‌التره شده، (۶) رالگار به رنگ قرمز که با هاله‌های زرد رنگ اریپمنت احاطه شده است، (۷) اکسیدهای منگنز به رنگ سفید در کنار اکسیدهای آهن به رنگ تیره، (۸) گالن با رخ سه گوشه شاخص در کنار سروزیت، (۹) بافت جزیره‌ای که نشان دهنده باقیمانده‌های کانی اولیه کالکوپیریت است که توسط گوتیت دربرگرفته شده است.



شکل ۷. الف، ب) رگه‌های کوارتزی برشی شده سولفیدی با آغشتگی مالاکیتی، سیلیسی و هماتیتی-لیمونیتی، ج) کانی‌سازی اکسیدهای منگنز در واحد ولکانیکی، د) کانی‌سازی سولفیدی در سنگ میزبان گرانودیوریت.

جدول ۱. نتایج آنالیز زمین-شیمیایی برای برخی نمونه‌های سنگ زمین-شیمیایی عناصر مورد پی جویی در منطقه مورد مطالعه

عناصر شماره نمونه	Au(p pb)	Cu	Ag	Zn	Pb	Mo	Bi	As	W
ku-792-M4	13919	33131	16.2	7896	68540.5	235.0	509.00	2158.3	499
796	8900.0	4277	144.0	670	9595.0	23.0	509.00	114.7	499
ku-792-M1	8402	774.7	17.4	159.9	1200	-----	-----	-----	----- ---

جدول ۲. توالی پاراژنز کانیایی در منطقه مورد مطالعه

Mineral	Hypogenee	Supergenee	
		Sulfide	Oxide
Magnetite	████████████████████		
Pyrite	████████████████████		
Chalcopyrite	████████████████████		
Sphalerite	████████████████████		
Galena	████████████████████		
Realgar, Orpiment	████████████████████		
Covellite		████████████████████	
Jarosite, Natrojarosite			████████████████████
Hematite			████████████████████
Fe Hydroxides			████████████████████
Mn-Oxides			████████████████████
Malachite, azorite		████████████████████	
Calcite		████████████████████	
Quartz	████████████████████		

زمین‌شیمی

بررسی‌های سنگ زمین‌شیمیایی بر روی ۷۹ نمونه که به صورت تکه‌ای از مناطق دارای کانه زایی (عمدتاً رگه‌های سیلیسی برشی شده) یا هاله‌های سرسیتی-سیلیسی-رسی برداشت شده، انجام شده است. نمونه‌ها به روش اسپکتروگراف نشری برای طلا و ICP-OES برای بقیه عناصر تجزیه شدند که نشان دهنده عبارهای قابل توجهی برای عناصر طلا به مقدار ۱۳/۹ پی پی ام، مس ۳۳۱۳۱ پی پی ام و نقره ۱۴۴ پی پی ام می‌باشد (جدول ۲). بعد از بررسی دقت تجزیه با استفاده از نمودار (Thompson and Howarth 1978)، داده‌های مربوط به ۵۲ عنصر پردازش و از جدول ضرایب همبستگی، آنالیز فاکتوری و آنالیز خوشه‌ای برای شناخت ارتباط ژنتیکی متقابل موجود بین عناصر

(پاراژنز زمین‌شیمیایی) مورد پی‌جویی اصلی (عمدتاً شامل طلا-مس و فلزات همراه) استفاده شده است. بر این اساس در رگه‌های مورد مطالعه، طلا بیشترین همبستگی (در سطح اعتماد بیش از ۹۹ درصد) را با عناصر $S=0.71$ ($Sb=0/59$, $Mo=0/55$, $Pb=0/59$, $Ag=0/72$, $Bi=0/75$, $Cu=0/83$) دارد که می‌تواند نشان‌دهنده ارتباط زایشی عنصر طلا با این فلزات و تشکیل آنها در یک مرحله از کانه‌زایی باشد. براساس تجزیه خوشه‌ای نیز عناصر به طور عمده به دو گروه عمده A، B تقسیم می‌شود (شکل ۸). در گروه A عمده‌ها عناصر فلزات قیمتی و پایه (طلا، نقره، مس، سرب، تنگستن، آنتیموان، بیسموت، مولیبدن، تلور، جیوه، قلع، بریلیوم، نیوبیم و کادمیوم) و در گروه دوم B عناصر قلیایی و قلیایی خاکی (پتاسیم، لیتیم، سدیم، منیزیم، کلسیم، استرانسیم،

منشا میانبارهای سیال مطالعه شده در مقاطع به سه نوع: اولیه، ثانویه و ثانویه کاذب تقسیم می‌شوند. در این مطالعه سیالات مطالعه شده جهت ریز دما فشارسنجی از نوع میانبارهای سیال اولیه و ثانویه کاذب می‌باشند. و همچنین از مطالعه میانبارهایی که دارای گردن دار شدن و نشت بوده‌اند پرهیز شده است.

بر اساس مطالعات سنگ‌شناسی، نمونه‌های مورد مطالعه دارای سه نسل کوارتز هستند. که مطالعات سیال‌های درگیر بر روی کوارتزهای درشت دانه نسل اول، که همراه با کانی‌سازی بود صورت گرفته است (شکل ۱۰). سیال‌های درگیر در این نمونه‌ها به صورت میانبارهای مجزا و نیز در امتداد شکستگی‌ها هستند.

اندازه سیال‌های درگیر در نمونه‌ها از ۴ تا ۶۰ میکرون و بیشتر بصورت گرد یا بی‌شکل و بعضاً کشیده میله‌ای هستند. سیال‌های درگیر در کوارتز اکثرًا دو فاز مایع-گاز (V+L) با فاز غالب گازی هستند (شکل ۱۰). میانگین دمای همگن‌شدگی (بر اساس تعداد ۴۵ اندازه‌گیری) از ۱۰۹ تا ۴۲۹ عمده‌ها (۳۰۰-۱۰۰) درجه سانتیگراد متغیر است. بیشترین فراوانی همگن‌شدگی مربوط به گستره دمایی ۲۰۹ تا ۲۲۹ درجه سانتیگراد می‌باشد (شکل ۱۱- الف). درجه شوری میانبارهای سیال از ۰/۲ تا ۹/۶۷ درصد وزنی NaCl متغیر است (شکل ۱۱- ب).

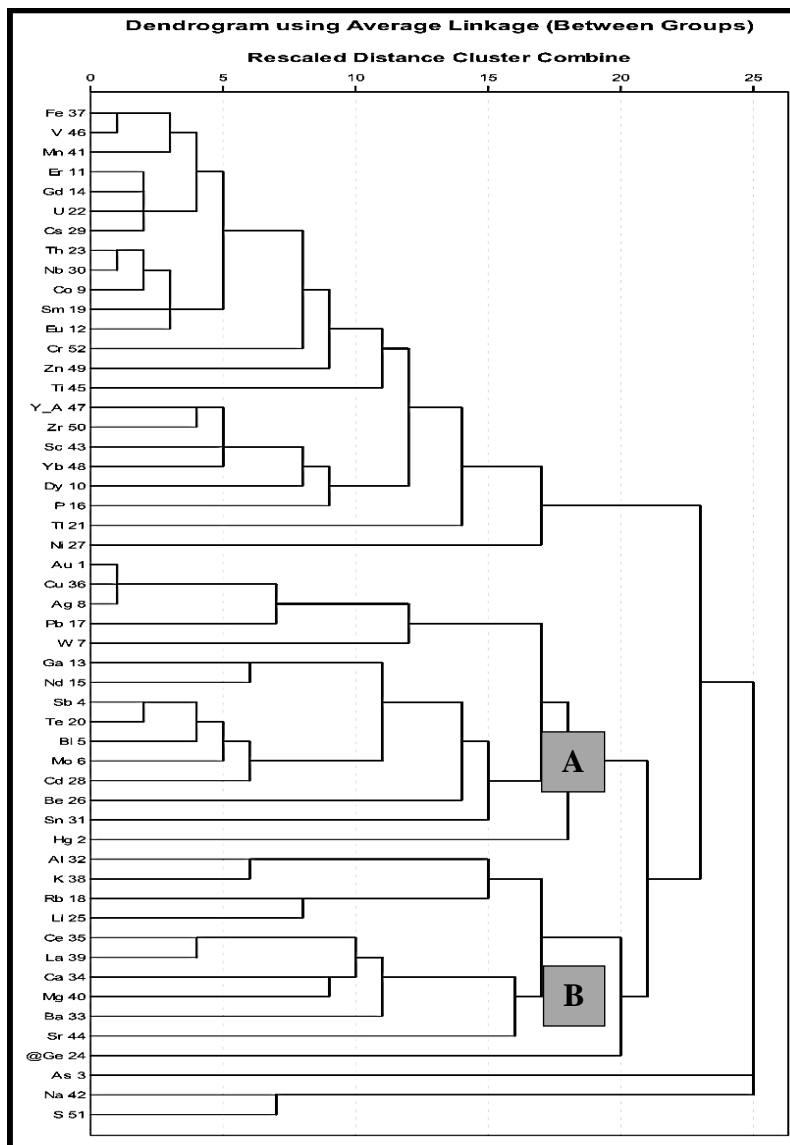
بیشترین فراوانی شوری گستره‌ای از ۰/۲ تا ۱/۱۷ درصد است. دماهای Tm-ice بین ۰/۲ تا ۶/۳- است. که با توجه به دمای نقطه اوتکتیک برای سیستم NaCl + H₂O که تقریباً $C^{\circ} < -20/8$ Te است، می‌تواند بیانگر حضور NaCl به عنوان عمده‌ترین نمک محلول در ترکیب میانبارهای سیال باشد. در شرایط اپی‌ترمال، نوع عنصر چیره در سیال کانه‌دار با مقدار شوری همبستگی نشان می‌دهد (Simmons et al., 1988; Albinson et al., 2001). کمپلکس‌های کلریدی در شرایط احیا و PH خنثی برای حمل فلزات نقره و عناصر پایه مهمتر از حمل پلاست (Seward and Barnez, 1997). در مقابل کمپلکس بی‌سولفید $Au(HS)^{-}$ در محیط اپی‌ترمال برای حمل طلا مهمتر است. (Benning and Seward, 1996; Seward and Barnez, 1997). بنابراین در محیط اپی‌ترمال در یک مسیر حمل، طلا به اندازه نقره و عناصر پایه در شوری موثر نیست. در سیستم کانی‌سازی رگه‌ای مورد مطالعه، با توجه به روند تغییرات شوری نسبت به دمای همگن شدن، می‌توان فرایندهای جوشش و رقیق‌شدگی توسط سیالات جوی را عوامل اصلی نهشت کانسنگ در نظر گرفت (شکل ۱۲- الف). فرایند جوشش با همراهی سیال‌های غنی از مایع و غنی از بخار در نمونه‌ها تایید می‌شود (شکل ۱۰). شوری پایین سیال‌های درگیر در نمونه‌های کوارتز نیز می‌تواند حاکی از امیخته شدن سیال‌های با منشا جوی در فرایند کانی‌سازی رگه‌ای باشد. در مقایسه با تقسیم‌بندی ذخایر هیدروترمال بر اساس دمای همگن‌شدگی و شوری (Wilkinson, 2001) کانه‌زایی رگه‌ای منطقه، در محدوده ذخایر اپی‌ترمال قرار می‌گیرد (شکل ۱۲، الف). دامنه وسیع دمای همگن‌سازی و شوری میانبارهای سیال می‌تواند نشانگر رقیق‌شدگی در اثر اختلاط آب‌های جوی با محلول‌های گرمایی باشد. بر اساس نمودار تغییرات فشار و عمق در برابر دما (Walter et al., 1990)، میانبارهای سیال رگه‌های کوارتزی، در عمق ۸۵۰ متری و فشار متوسط ۱۷۷ بار به تله افتاده‌اند (شکل ۱۲- د، جدول ۴).

الومینیوم و روبیدیم) قرار دارند. عناصر گروه A عمدتاً شامل فلزات قیمتی و پایه است و عناصر گروه B در ارتباط با عوامل سنگ‌ساز و دگرسانی می‌باشد. وابستگی قوی شیمیایی Au با Ag و قرارگیری آنها با Cu, Mo, Sb, Bi, Pb در یک گروه با بالاترین ضریب همبستگی می‌تواند نشان دهنده وجود کانی‌سازی پورفیری عناصر مس مولیبدن و کانه زایی طلا-نقره اپی‌ترمال و فلزات همراه باشد. همبستگی بالای طلا با گوگرد و پیریت‌زایی شدید در منطقه ممکن است اشاره به تشکیل بخشی از کانی‌سازی به صورت طلای غیر قابل مشاهده به صورت محلول جامد یا به صورت ریز بلور در مقیاس نانو در کانی پیریت باشد. جهت مشخص شدن فاز کانه‌زایی طلا مقاطع صیقلی نمونه‌های مینرالیزه با میکروسکوپ دو چشمی (بینوکلار) مورد مطالعه قرار گرفت. که در آن طلای آزاد مشاهده نشد، که این خود می‌تواند شواهدی بر درگیری طلا در شبکه کانی‌های سولفیدی باشد. وجود کلسیم در زیر گروه B با عناصر یاد شده حاکی از وجود کانی فرعی کلسیت (بصورت تیغه‌ای- شبکه ای جانشین شده توسط کوارتز و پراکنده در مقاطع میکروسکوپی و دستی) همراه با کانه‌زایی است. که در نتایج حاصل از XRD و مقطع نازک نمونه‌ها تایید شده است (شکل ۹). نهشت کلسیت می‌تواند ناشی از خروج CO₂ در اثر پدیده جوشش و در نتیجه زایش یون CO_3^{2-} و HCO_3^{-} باشد (Henley, 1983). این فرایند رخداد رایج کلسیت را به عنوان باطله و میزبان در سیستم‌های رگه‌ای اپی‌ترمال نوع سولفیدی شدن پایین توضیح می‌دهد (Simmons et al., 2000; De Ronde and Blattner, 1988). در اکتشافات زمین‌شیمیایی رسوب آبراهه ای مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ در پایین دست رگه‌ها، در محدوده آنومالی یک و دو عنصر طلا دارای تغییراتی از (۷/۳-۱)، نقره (۱۳/۳۸-۰/۰۵) و (۳۰-۱۷۳۸) پی پی ام برای مس است.

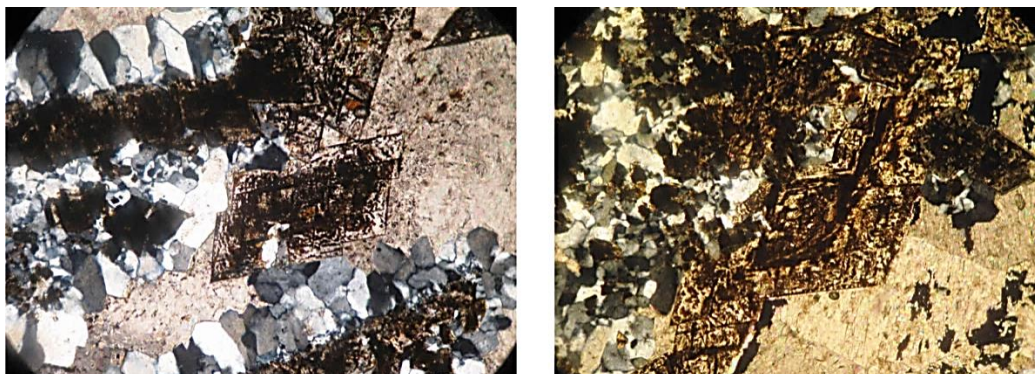
بررسی‌های کانی سنگین در یک نمونه از پایین دست رگه‌ها با داشتن بیشترین ذرات طلا به تعداد ۱۰ ذره در محدود آنومالی شماره دو (محدوده روستای کودکان) است. اندازه ذرات طلا در این نمونه‌ها از ۸۸-۱۷۷ میکرون متغیر است. دیگر کانی‌های سنگین در این نمونه‌ها شامل گالن، اسفالریت، مالاکیت، پیریت و اکسیدهای آهن است.

مطالعات سیالات درگیر

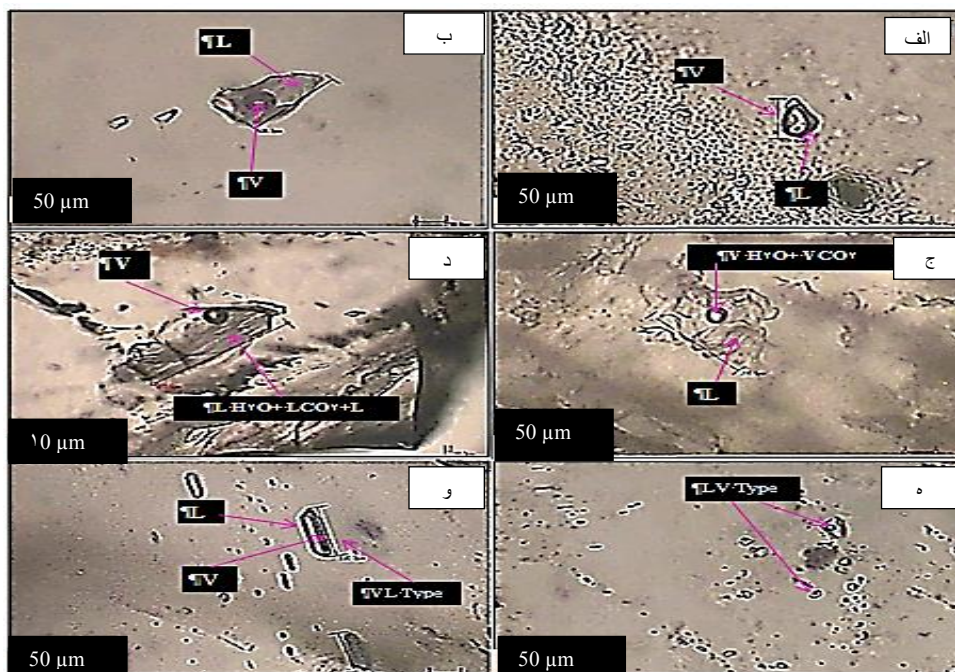
در منطقه مورد مطالعه اندازه‌گیری‌های ریز دما فشارسنجی بر روی ۶ نمونه گانگ کوارتز از رگه‌های مینرالیزه آنومالی شماره یک (غرب معدن قلعه‌زری) در آزمایشگاه سیالات درگیر سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور آنالیز و مورد مطالعه قرار گرفتند (جدول ۳). در تحقیقات میکروسکوپی برای مطالعه میانبارهای سیال، از مقاطع دوبر صیقل به ضخامت چند میکرون استفاده شده است. میکروسکوپ مورد مطالعه Nikon مدل Ep 200 با عدسی شی ۱۰x-50x-100x می‌باشد. اندازه‌گیری ریز دما فشارسنجی به وسیله استیج گرم و سرد کننده مدل MSD 60 شرکت Linkam با تغییرات دمایی در ۱۹۰- تا ۶۰۰+ درجه سانتیگراد می‌باشد. جهت تعیین درصد شوری و چگالی و ترسیم نمودارها از نرم‌افزار مدلینگ (Software Modeling For Fluid Inclusion V 2.6) PVTX طراحی شده توسط شرکت Linkam استفاده شده است. از نقطه نظر



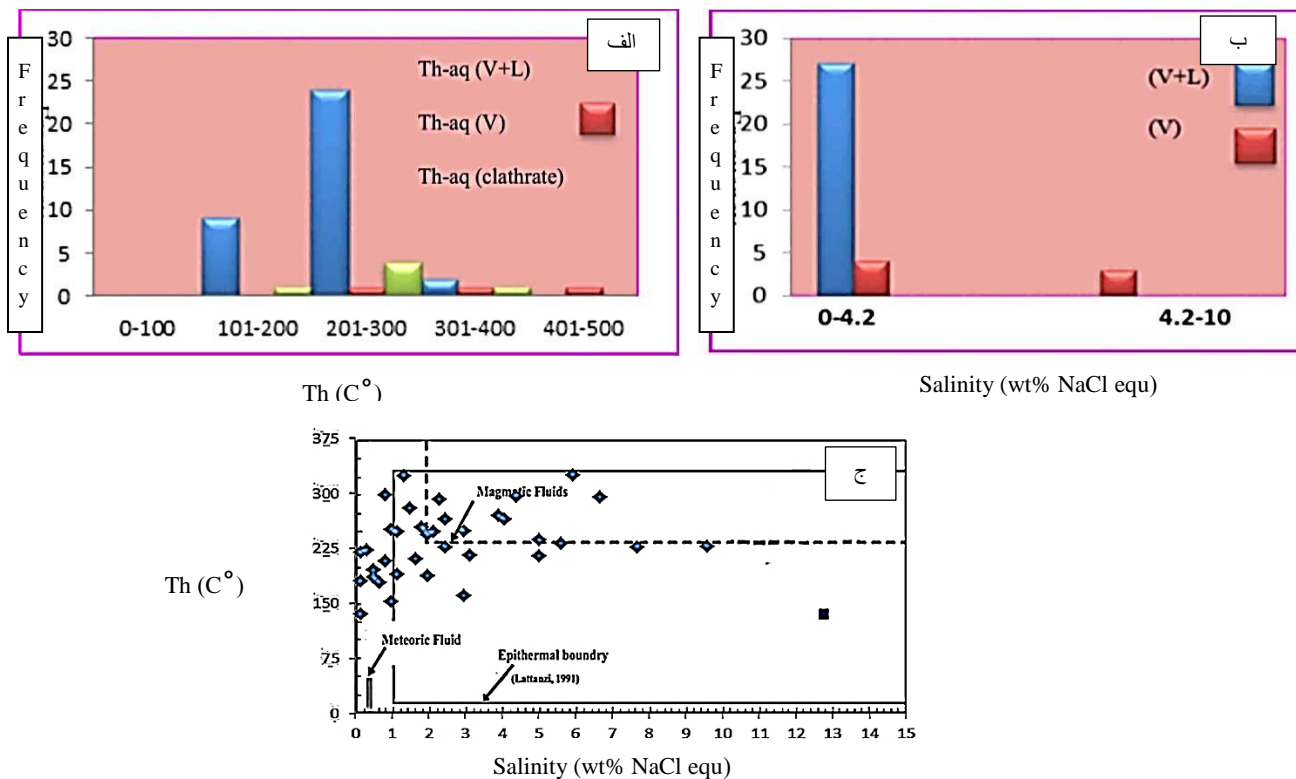
شکل ۸. نمودار خوشه ای برای ۷۹ نمونه سنگ زمین شیمیایی از مناطق کانی سازی در زون های انومال در منطقه کودکان



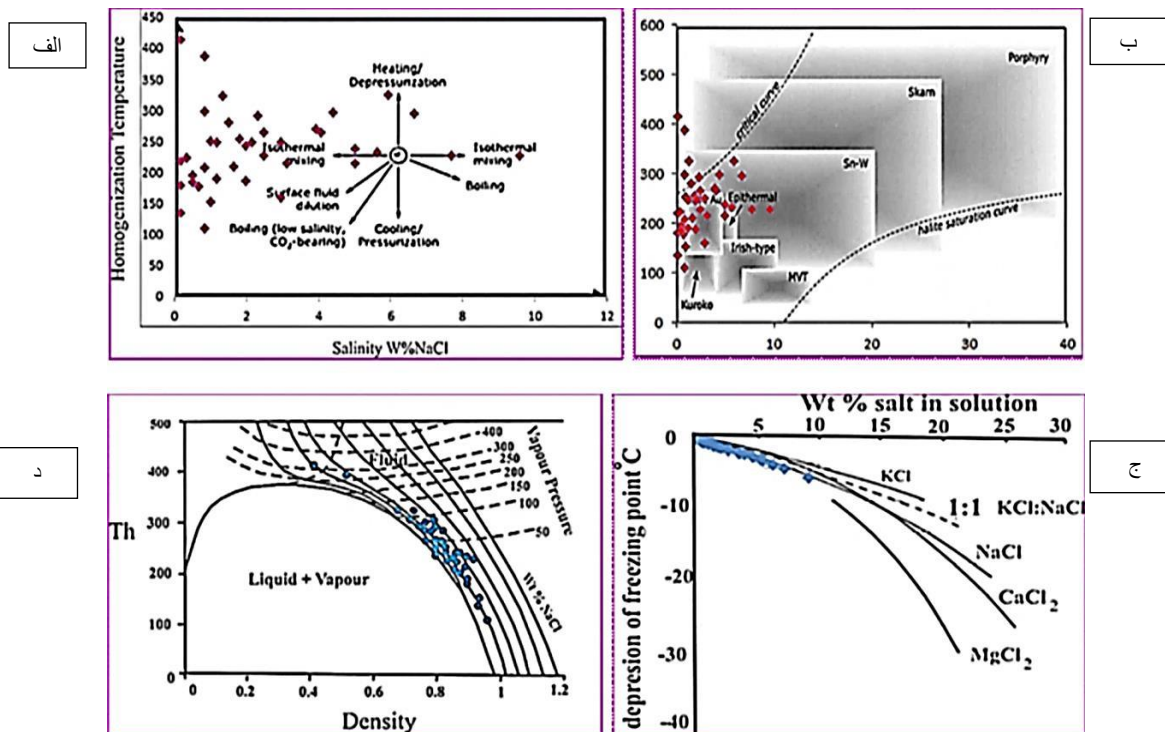
شکل ۹. گانگ کربنات، هم‌رشدی بلورهای کوارتز و کلسیت تیغه‌ای در مقاطع مورد مطالعه



شکل ۱۰. تصاویر میکروسکوپی از میانبرهای سیال در کوارتز نمونه‌های گرفته شده از رگه‌های کوارتزی برشی شده همراه با کانی‌سازی، الف و ب) میانبرهای سیال دو فازه اولیه (گاز مایع)، ج) میانبرهای سیال دو فازه گاز-مایع (فاز گاز دی‌اکسید کربن و بخار آب)، د) دو فازه مایع گاز (فاز مایع دی‌اکسید کربن و آب) و، ه) همراهی میانبرهای سیال اولیه غنی از بخار و بخار مایع که اشاره به شرایط جوشش در سیال کانه‌ساز دارد.



شکل ۱۱. الف) هیستوگرام درصد فراوانی دمای همگن‌شدگی نمونه‌های منطقه کودکان، ب) هیستوگرام درصد فراوانی - شوری، ج) نمودار شوری دمای همگن‌شدگی، که نشان‌دهنده تحولات سیالات کانه‌زا می‌باشد. در نمودار ج، براساس (Hedenquist and Arribas (1998), Lattanzi, (1991) and Naden et al, (2005) نمونه‌ها در محدوده سیالات جوی و ماگمایی قرار می‌گیرند.



شکل ۱۲. الف) دیاگرام شماتیک روندهای معمول میانبراهای سیال در میدان شوری-دما که ناشی از فرایندهای مختلف تحول سیال می‌باشند (Wilkinson, 2001). ب) دیاگرام محدوده‌های دما و شوری میانبراهای سیال در کانسارهای گوناگون. (Wilkinson, 2001) ج) نمودار رابطه بین نقطه ذوب یخ با مقدار و نوع نمک حل شده در آن (Shepherd, 1985) د) نمودار دماچگالی جهت تعیین مقدار فشار با توجه به شوری (Walter, 1990).

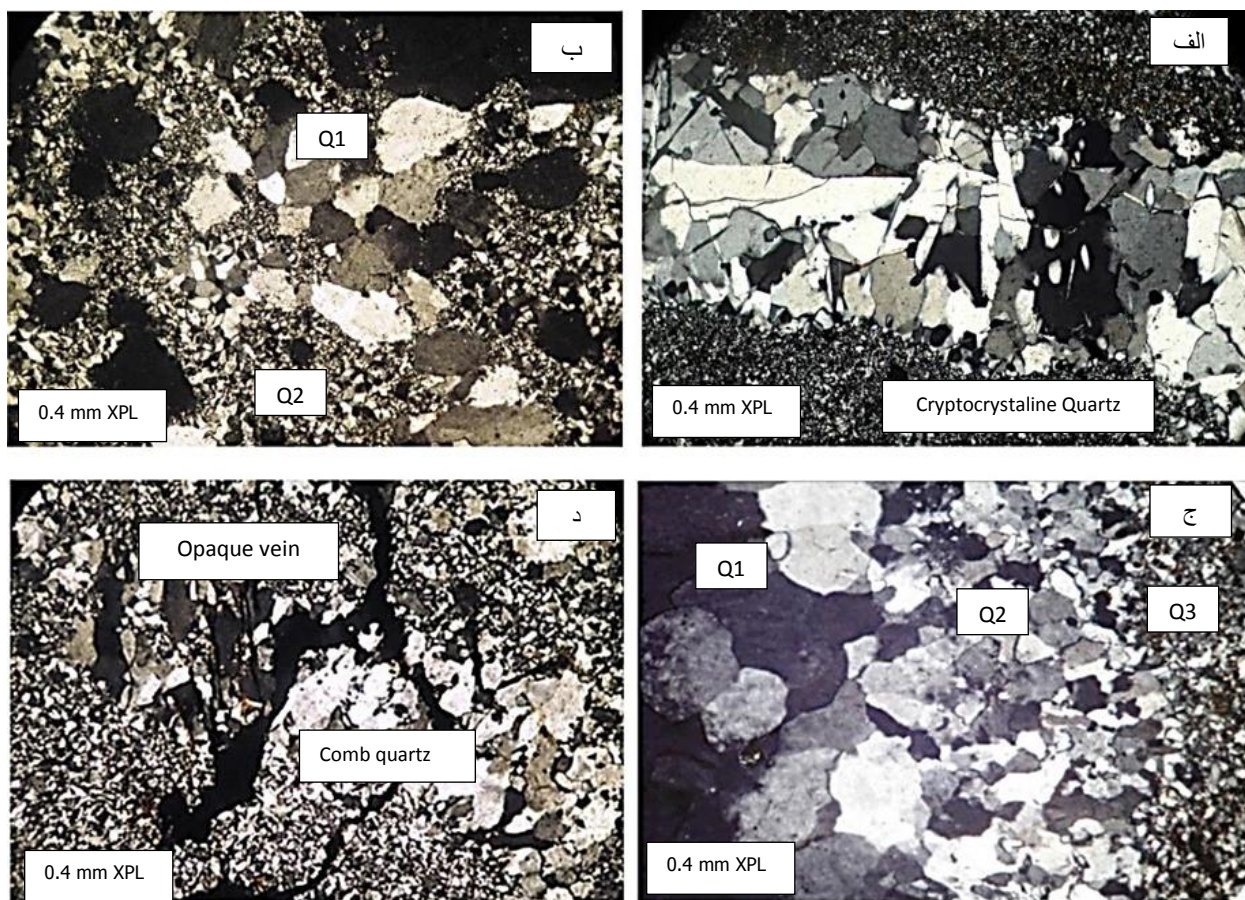
جدول ۳. مطالعه برخی خصوصیات میانبراهای سیال در نمونه‌های مورد

شماره نمونه	سنگ میزبان	نوع سیالات درگیر
(792)M3	اندزیت، تراکی آندزیت، بازالت، توف	V+L, V
(792)M5	اندزیت، تراکی آندزیت، آندزیت بازالت، توف	V+L, V
(362)M3	اندزیت، آندزیت بازالت	V+L, V, (V+Laq+LCO ₂)

$$P = H \times \rho \times g \quad P: \text{Pressure (bar)}, H: \text{Depth of capturing (Meter)}, \rho: (2.7 = \text{gr/cm}^3), g: \text{Gravity} (0.0981 = \text{din/cm}^2)$$

جدول ۴. داده های فشار- عمق سیالات درگیر منطقه کودکان

Pressure(bar)	< 20	50	۱0۰	150	200	50	۳0۰	۳۵۰
Depth(m)	189	377	566	755	943	1132	1321	1510



شکل ۱۳. نسل‌های مختلف کوارتز در مقاطع مورد مطالعه، الف: کوارتز کریپتوکریستالین (کلسدونی) که در مراحل پایانی هیدروترمالی سیالات کانه‌ساز از نهشت سیلیس شکل گرفته‌اند. ب: کوارتز گرانولار که توسط کوارتزهای میکروکریستالین نسل دوم احاطه شده است. کوارتزهای نسل دوم از التره شدن کوارتزهای نسل اول و فلدسپار بوجود آمده‌اند. ج: نسل‌های مختلف کوارتز در کنار هم. د: رگه کوارتز با بافت شانه‌ای که رگه-رگه‌های سولفیدی قطع شده است.

نتیجه‌گیری

ترمال فلزات قیمتی به دو گروه سولفیدی شدن بالا و سولفیدی شدن پایین تقسیم می‌شوند. علاوه بر این دو گروه کنسارهای اپی‌ترمال با ویژگی‌های حدواسط نیز شناسایی شده‌اند (Hedenquist et al., 2000). کنسارهای اپی‌ترمال نوع سولفیدی شدن پایین به طور عمده شامل کنسارهای Au-Ag-Au و Ag-Pb-Zn هستند. که در دمای کمتر از ۳۰۰ درجه سانتیگراد همراه با ماگماتیسم کلسیمی قلیایی (کالکوالکان) تا قلیایی تشکیل می‌شود. کنسارهای

با توجه به مطالعات صورت گرفته در این منطقه از جمله نتایج آنالیزهای رسوب آبراهه‌ای و آنالیزهای سنگ زمین‌شیمیایی، مطالعات دگرسانی، میانبارهای سیال، مطالعات سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی انجام شده در منطقه مورد مطالعه، این ذخیره معدنی بیشترین مشابهت را با ذخایر اپی‌ترمال سولفیداسیون کم تا متوسط دارد. براساس تقسیم‌بندی (Hedenquist, 1987) کنسارهای اپی

پدیده‌های جوش و رقیق‌شدگی با اب‌های جوی فرایندهای چیره در تشکیل کانی‌زایی هستند. وجود کلسدونی، هم‌رشدی کوارتز و کلسیت، برش‌های گرمایی و شواهدی از همزیستی فاز غنی از بخار و غنی از مایع در میان‌براهای سیال از دیگر شواهد پدیده جوش در کانه‌زایی منطقه هستند (Dong et al., 1995) Simmons et al., 2000, Taylor, 2007، (Simmons and Christenson, 1994). در کانه‌زایی طلا مس و فلزات همراه در منطقه مورد مطالعه، با توجه به ویژگی‌های زمین‌شناسی، بافت و ساخت رگه‌ها، کانی‌شناسی کانسنگ، دگرسانی و پارائز زمین‌شیمیایی-کانی‌شناسی از نوع کانسارهای اپی‌ترمال سولفیدی شدن پایین تا متوسط است. بدیهی است با توجه به وجود کانی‌سازی‌های متنوع پورفیری و اپی‌ترمال‌های مرتبط، در پهنه ساختاری لوت، چنین مطالعاتی می‌تواند راهگشای پروژه‌های اکتشافی آتی در منطقه و مناطق مشابه همجوار باشد.

قدردانی

این مطالعه در قالب طرح سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور انجام شده است. نگارندگان بدین وسیله مراتب قدرانی خود را نسبت به همکاری‌های معاونت محترم اکتشاف جناب آقای مهندس عابدیان، مدیریت محترم خدمات اکتشاف جناب آقای مهندس شاهین، دکتر علیپور و ریاست محترم گروه زمین‌شیمی جناب آقای دکتر اکبرپور ابراز می‌دارند. از داوران محترم که این مقاله را با صرف وقت مطالعه نموده و نکات بسیار ارزشمندی را یادآور شدند سپاسگزاری می‌نماییم.

طلا- نقره عمدتاً شوری (< 5) دارند. و در ژرفای کمتر از ۴۰۰ کیلومتر تشکیل می‌شوند، در حالیکه سیال‌های کانه‌دار در ذخایر نقره-سرب-روی شوری بین ۱۰-۲۰ درصد دارند (Albinson et al., 2001). در محدوده اکتشافی کودکان کانه‌زایی طلا و فلزات همراه با رگه‌های کوارتز-سریسیت-کلسیت-اکسیدهای آهن تشکیل شده است. کانه‌زایی در رگه‌های کوارتز بسیار حائز اهمیت است زیرا در مراحل نهایی تفریق ماگما، رفتار سیلیس به عنوان معیار زمین‌شیمیایی موثر بر رفتار کمپلکس‌های فلزی (پایداری-ناپایداری) حائز اهمیت است (توکل، ۱۳۹۲). داده‌های میان‌براهای سیال از کوارتز نشان می‌دهند که کانه‌زایی در دمای ۱۰۹-۴۲۹ عمدتاً ۳۰۰-۱۰۰ درجه سانتیگراد و شوری ۷۹/۹-۲/۲ درصد وزنی معادل NaCl تشکیل شده است. این دامنه حرارتی منطبق بر ژرفای ۱۵۱۰-۱۸۹ متر از سطح است. به طور کلی در سیستم کانه‌زایی رگه‌ای منطقه مورد مطالعه، با افزایش عمق مقدار دما و شوری و نسبت عناصر پایه به عناصر قیمتی افزایش یافته که این روند می‌تواند نشانگر وجود سیال گرمایی حاوی کمپلکس کلریدی سرب و روی در عمق باشد که به نهشت گالن و اسفالریت در اعماق زیاد منجر شده است. در حالیکه در محیط‌های سطحی‌تر به علت چیرگی سیال جوی با شوری پایین، سیال گرمایی احتمالاً غنی از کمپلکس‌های بی‌سولفیدی طلا بوده است. در چنین شرایطی ناپایداری این کمپلکس‌ها به کانی‌زایی گسترده پیریت و احتمالاً طلا به صورت محلول جامد یا بسیار ریزدانه در پیریت منجر شده است. احتمالاً حضور مقادیر بالای سولفید و اسیدی بودن سیالات کانی‌ساز مانع از نهشت طلا به صورت دانه‌های مجزا همراه با سولفیدها شده است (Williams-Jones and Heinrich, 2005). کانی‌شناسی رگه‌ها و دگرسانی گرمایی (سریسیت - کوارتز- کربنات- رسی متوسط)، شوری پایین سیال و وجود الونیت (دگرسانی آرژلیک پیشرفته به صورت محلی) حاکی از تشکیل شدن از سیال کلریدی، کمی اسیدی تا نزدیک به خنثی و حاوی مقادیر کم CO_2 است (Henely, 1985; Simpson et al., 2001). در منطقه کودکان

منابع

- اشراقی. ح.، راستاد، ا.، امامی، م. ه. و. عسکری، ع.، ۱۳۸۷، کانه‌زایی طلای هیرد: نمونه‌ای از ذخایر طلای مرتبط با نفوذی‌های گرانیتوئیدی کاهیده در ایران (جنوب بیرجند)، فصلنامه علوم زمین، شماره ۶۹، ص ۱۹-۲.
- آقائباتی. ع.، ۱۳۸۳، زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ ص.
- امرای. س.، ۱۳۹۱، زمین‌شیمی، سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی، مطالعه میان‌براهای سیال و آلتراسیون‌ها در محدوده اکتشافی برگه ۱:۵۰۰۰۰ (خراسان جنوبی) جهت اکتشاف طلا و مس، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- بلوریان. غ.، ۱۳۸۹، شرح نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کودکان، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- حسنی‌پاک. ع.ا.، ۱۳۸۷، اصول اکتشافات زمین‌شیمیایی، انتشارات دانشگاه تهران.
- دیمه‌ور. م.، ۱۳۷۴. بررسی زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار مس قلعه‌زری بیرجند، دانشگاه تربیت مدرس.
- کریم‌پور، م.، ۱۳۸۵ مطالعات زمین‌شناسی، ژئوشیمی، پترولوژی و ژئوفیزیک در منطقه کانی‌سازی طلا-قلع هیرد خراسان جنوبی.
- توکل. ر.، مهرنیار، ن.، نظافتی، ن.، شیخ ذکریایی، ج.، ۱۳۹۲، توزیع ژئوفورکتالی سیلیس و ارتباط آن با کانه‌زایی طلا در محدوده نیکویه (منطقه طارم، استان قزوین)، مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، دوره ۸، شماره ۸.
- لطیفی ساعی. ف.، میرزادج.، علی‌پور اصل. م.، نیرومند. ش.، ۱۳۹۳، بررسی کانی‌سازی طلا در سامانه رگه‌ای دره زار در منطقه پاریز (استان کرمان) با تاکید بر مطالعات میان‌براهای سیال و ایزوتوپ‌های گوگرد، مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، دوره ۱، شماره ۱۴، صفحه ۱-۸۲.
- عزمی. ح.، ۱۳۷۹، گزارش برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ کودکان، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- Albinson. T., Norman. D. I., and Chomiak. B., 2001, Controls on formation of low-sulfidation epithermal deposits in Mexico: Constrain from fluid inclusion and stable isotope data: Society of Economic geologist, Special Publication 8, p: 1-32.

- Benning. L.G., Seward. T.M., 1996, Hydrosulfide complexing of Au (I) in hydrothermal solutions from 150 to 400°C and 500 to 1500 bars: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol: 60, p: 1849–1871.
- Dong, G., Morrison, G.W. and Jaireth, S., 1995- Quartz textures in epithermal veins, Queensland-Classification, origin, and implication: *Economic Geology*, vol: 90, p: 1841–1856.
- De Ronde. C.E.J., Blattner, P., 1988, Hydrothermal alteration, stable isotopes, and fluid inclusions of the Golden Cross epithermal gold-silver deposit, Waihi, New Zealand: *Economic Geology*, vol: 83, p: 895-917.
- Guilbert, J.M. and Park, Jr.C.F., 1986, *The geology of Ore deposits*, w.h. Freeman, pp 799-830, ISBN 0-7167-1456-6.
- Irvin. T.N. Baragar, W.R.A., 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks, *Can. J. Earth Sci.* p. 523-548.
- Henley. R.W., 1985, The geothermal framework of epithermal deposits: *Reviews in Economic Geology*, vol: 2, p: 1-24.
- Henley. R.W., Ellis. A.J., 1983, Geothermal systems ancient and modern: A geochemical review: *Earth Science Reviews*, vol: 19, p: 1-50
- Hedenquist. J.W., 1987, Mineralization associated with volcanic-related hydrothermal systems in the circum-Pacific Basin: Circum-Pacific Energy and Mineral Resources Conference, Singapore, Transactions, p: 513-524.
- Hedenquist. J.W., Arribas. A., Gonzalez-Urien. E., 2000, Exploration for epithermal gold deposits: *Reviews in Economic Geology*, vol: 13, p: 245-277.
- Hedenquist. J.W., Arribas. A., 1998, Evolution of an intrusion-centered hydrothermal system: far southeast Lepanto porphyry and epithermal Cu–Au deposits, Philippines. *Econ. Geology*, vol: 93, p: 373–404.
- Lattanzi. P., 1991, Applications of fluid inclusions in the study and exploration of mineral deposits. *Eur. J. Mineral.* 3, p: 689–697.
- Naden. J., Killias. S.P., Darbyshire. D.P.F., 2005, Active geothermal system with entrained seawater as modern analogs for transitional volcanic-hosted massive sulfide and continental magmato-hydrothermal mineralization: the example of Milos Island, Greece. *Geology*, vol: 33, p: 541–544.
- Pearce, J.A., Lippart, S., Roberts, S., 1984. Characteristic and tectonic setting of Supra-subduction zone ophiolites. *Geol. Soc. Spec. Publ. London.*, 16: 77-96.
- Pearce, J.A., Harrison, N.B.W. and Tindle, A.G., 1984, Trace element discrimination diagram for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of petrology* 25, 956-983.
- Peccerillo, A., A and Taylor, S.R., 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and petrology* 58, 63-81.
- Simmons. S. F., Simpson. M. P., Mauk, J., 2000, The mineral products of boiling in the Golden Cross epithermal deposit: *New Zealand Minerals and Mining Conference Proceedings*, p: 209-216.
- Simpson. M. P., Mauk. J., Simmons. S. F., 2001, Hydrothermal alteration and paleohydrology of the Golden Cross epithermal deposit, Waihi, New Zealand: *Economic Geology*, vol: 96, p: 773-796.
- Simmons. S.F., Gemmill. B., Sawkins, F.J., 1988, The Santo Nino silver-lead zinc vein, Fresnillo district, Zacatecas, Mexico: Part II. Physical and chemical nature of ore-forming solutions: *Economic Geology*, vol: 83, p: 1619–1641.
- Simmons. S.F., Christensen. B. W., 1994- Origins of calcite in a boiling geothermal system: *American Journal of Science*, vol: 294, p: 361-400.
- Shepherd. T.J., Ranbin. A.H., Alderton. D.H.M., 1985, *A Practical Guide to Fluid Inclusion Studies*. Blackie, Glasgow, p: 223.
- Seward. T.M. and Barnes. H.L., 1997, Metal transport by hydrothermal ore fluids, *in* Barnes. H.L., ed., *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*, 3rd ed.: New York, John Wiley and Sons, p: 435–486.
- Shand, S.J., 1951. *The study of rocks*. London, Thomas, Murby and CO., 236P.
- Taylor. B.E., 2007, Epithermal gold deposits, *In* *Mineral deposits of Canada: a synthesis of major deposit-types, district metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods*. Edited by W.D. Goodfellow. Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication 5, p: 113–139.
- Thompson. M., Howarth. R.J., 1978, A new approach to the estimation of analytical precision: *Journal of Geochemical exploration*, vol: 9, p: 23-30.
- Wilkinson. J.J., 2001, Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits: *Litos*, vol: 55, p: 229-272.
- Walter. L.M., Stueber. A.M., Huston. T.J., 1990, Br-Cl-Na, systematics in Illinois Basin fluids: Constraints on fluid origin and *Geology*, vol: 18, p: 315–318. evolution.
- Williams-Jones. A.E., Heinrich CA (2005) Vapor transport of metals and the formation of magmatic-hydrothermal ore deposits: 100th Anniversary Special Paper, *Economic Geology*, vol: 100, p: 1287–1312.
- Wood, D.A., Joron, J.L., Treuil, M., 1979. A re-appraisal of the use of trace elements to classify and discriminate between magma series erupted in different tectonic settings. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 45: 326-336.
- Wood, D.A., Joron, J.L., Treuil, M., Norry, M., 1979. Tarney, J., Element and Sr isotope variation in basic lavas from Iceland and the surrounding ocean floor. *Contrib. Mineral. petrol.* 70, 319-339.