

پتروولوژی، سال ششم، شماره بیست و چهارم، زمستان ۱۳۹۴، صفحه ۲۳-۳۸
تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۹/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۷/۰۴

کانه‌زایی مس و ویژگی‌های هاله‌های زمین‌شیمیایی منطقه اکتشافی گرماب (شرق سمنان)

زهرا اعلمی‌نیا* و محمد شریفی

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

چکیده

کانی‌سازی مس گرماب در شرق سمنان و در جنوب‌شرق شاهرود، در کنگلومرای ائوسن قرار دارد که با دگرسانی هیدروترمالی ضعیفی همراه است. در دگرسانی ضعیف همراه این کانسار، کانی‌سازی و هاله‌های زمین‌شیمیایی به طور محلی توسط گسل‌ها مهار می‌شود. کانی‌های مس، مالاکیت و آزوریت در سطح و در عمق سولفیدهای اولیه به طور عمومی شامل: پیریت، آرسنوپیریت و کالکوپیریت است. کانی‌های باطله رگه‌ها بیشتر شامل: کوارتز، کلسدونی، اپال و اندکی کلسیت است. سایر اجزا شامل: گوتیت، لیمونیت، هماتیت، اکسید منگنز و به مقدار اندکی ژاروسیت، اسمیت زونیت و ژیپس است. نتایج آماری از داده‌های زمین‌شیمیایی یک همبستگی مثبت را بین مس با طلا، نقره و آرسنیک نشان می‌دهد. بر اساس سنگ میزبان، کانی‌زایی و ارتباطات فضایی و توزیع زمین‌شیمی عناصر، انجام حفاری‌های عمیق‌تر در شرق کانی‌سازی a پیشنهاد می‌شود. کانی‌سازی مس گرماب با توده‌های نفودی مدفون منطقه مرتبط است و از نوع ذخایر مس رگه‌ای اپی‌ترمال در نظر گرفته می‌شود.

واژه‌های کلیدی: زمین‌شناسی، هاله‌های زمین‌شیمیایی، کانی‌سازی مس، سمنان، پهنه ماگمایی ارومیه-دختر

مقدمه

این معنی که داده‌های زمین‌شیمی به عنوان یک راهنما برای نواحی هدف در اکتشافات جزئی‌تر استفاده می‌شود (Pan and Harris, 2000). علاوه بر این، ناهنجاری بارز زمین‌شیمی می‌تواند در اکتشافات پیشرفته‌تر برای بررسی و استفاده در شناخت مدل کانی‌سازی مؤثر واقع شود (Wang et al., 2011). بنابراین، تجزیه داده‌های

زمین‌شیمی اکتشافی روشی مهم در کشف منابع معدنی است که در اکتشاف و بررسی کلی از یک ناحیه کاربرد دارد. این روش زمانی اهمیت دارد که مناطق اکتشافی تا حدودی ناشناخته هستند و به صورت پتانسیل کانی‌سازی مرتبط با ناهنجاری‌های زمین‌شیمیایی مشخص می‌شوند. به

* z.alaminia@sci.ui.ac.ir

Copyright©2015, University of Isfahan. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>), which permits others to download this work and share it with others as long as they credit it, but they cannot change it in any way or use it commercially.

زمین‌ساختی به شکل آمیزه رنگی در آمده است. سنگ‌های آتشفشانی موجود در بخش‌های بالایی این توالی توسط Kohansal و همکاران (۲۰۰۹) بررسی شده است. بر اساس بررسی‌های انجام شده روی نمودارهای عناصر کمیاب، جایگاه زمین‌ساختی سنگ‌های آتشفشانی ژوراسیک میانی و کرتاسه بالایی در ناحیه مری و اسبکشان، بیانگر سنگ‌های آتشفشانی پهنه آتشفشانی و هم زمان با برخورد است که به ترتیب بر اثر سازوکار جنبش‌های زمین‌ساختی کیمرین میانی و لارامید ایجاد شده است. در مراحل پایانی کرتاسه و آغاز سنوزوئیک، جنبش کوهزایی لارامید به شکل فشارشی عمل کرده و باعث چین‌خوردگی شده است. نبود توده‌های نفوذی، وجود سنگ‌های آتشفشانی رسوبی و حضور گسل‌های فشاری و راستالغز با سازوکارهای همسان با گسل درونه نشانه زمین‌درزهای کهن است که سبب بسته شدن زود هنگام این ناحیه در منطقه آتشفشانی-نفوذی درونه-کاشمر شده است (Kohansal *et al.*, 2009).

محدوده مطالعاتی گرماب حد فاصل عرض‌های جغرافیایی $35^{\circ}21'37''$ تا $35^{\circ}19'11''$ شمالی و طول‌های جغرافیایی $56^{\circ}53'24''$ تا $56^{\circ}55'23''$ شرقی (شکل ۲) واقع شده است و از نظر تقسیمات ساختاری Stocklin (۱۹۶۸) و Alavi (۱۹۹۱) شمال کویر بزرگ و بر اساس Aghanabati (۲۰۰۵) در پهنه ایران مرکزی، ناحیه ساختاری سبزواری و در شمال گسل درونه جای دارد. گسل درونه با طول بیش از هزار کیلومتر، مهم‌ترین گسل منطقه است. بر اساس نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ مری، از نظر چینش‌شناسی قدیمی‌ترین واحد سنگی در این ناحیه، واحد آتشفشانی حد واسط تا مافیک با گرایش قلیایی منسوب به کرتاسه فوقانی است. سنگ‌های

زمین‌شیمیایی نقشی مهم در بررسی‌های محیطی و اکتشافی دارد. برای این منظور، یک یا همه جنبه‌های داده‌های زمین‌شیمیایی (به طور عمده غلظت‌های عنصر) (Cheng, 1999) شامل: توزیع فراوانی، پراش، همبستگی و ویژگی‌های هندسی (شکل، جهت و مقیاس الگوهای بی‌هنجاری‌ها) باید در نظر گرفته شود (Agterberg, 2007).

کانسار تازه اکتشاف شده گرماب در انتهای شرق استان سمنان و ۲۳۵ کیلومتری جنوب‌شرق شاهرود قرار گرفته است (شکل ۱-۱) و از شرق به اسبکشان، آخرین روستای استان سمنان منتهی می‌شود. وجود سرباره‌های ذوب و کنده‌کاری‌های شدادی به همراه آثار کانی‌زایی مس، منگنز و آهن در اطراف ناحیه مری، نشان‌دهنده قدمت و فعالیت معدن‌کاری در زمان‌های قدیم است (شکل ۱-۲). با وجود رخداد‌های متعدد معدنی، پژوهش‌های اندکی در این ناحیه انجام شده است. در پژوهش حاضر برای نخستین بار، مطالعات کانی‌سازی و زمین‌شیمیایی در منطقه اکتشافی گرماب انجام شده و بررسی‌های زمین‌شیمیایی روی سنگ با روش خرده‌سنگی انجام شده است. هدف اصلی، ارزیابی الگوی کانه‌زایی و زمین‌شیمی در این کانسار است که در این راستا از تجزیه زمین‌شیمیایی روی نمونه‌های معدنی و سنگ‌های میزبان استفاده شده است. نتایج پژوهش حاضر، چگونگی توزیع عناصر کانی‌ساز را که می‌تواند راهنمای اکتشافی خوبی در این ناحیه باشد، آشکار می‌سازد.

زمین‌شناسی منطقه

بررسی‌های زمین‌شناسی Eftekhar-Nezhad و همکاران (۱۹۷۶) در نواحی شمالی بین درونه و کاشمر نشانگر وجود قسمتی از افیولیت در بخش‌های نفوذی و خروجی است که گاه بر اثر نیروهای فشارشی و درهم‌ریختگی‌های

مناطق اندکی مرتفع را تشکیل داده است که با ماسه سنگ و شیل‌های آهکی ضخیم‌لایه به صورت متناوب رخنمون دارند. بررسی‌های زمین‌شناسی این منطقه نشان می‌دهد کنگلومرای ضخیم‌لایه با میان لایه‌های توف، جوان تر از کنگلومرای سخت شده است و در روی زمین به رنگ سرخ تا قهوه‌ای دیده می‌شود. این کنگلومرا رخنمون خوبی در منطقه دارد. توده‌های نفوذی از جنس گرانودیوریت و نیمه نفوذی‌ها، مونزودیوریت پورفیری هستند که رخنمون بسیار اندکی در منطقه دارد. فلدسپارها درشت‌بلورهای مونزودیوریت پورفیری را می‌سازند. این توده‌ها جوان تر از سنگ‌های رسوبی آئوسن بوده و درون آنها نفوذ کرده‌اند (شکل ۳). نهشته‌های پلیوسن از گراول‌های سخت نشده خاکستری تا صورتی تشکیل شده است. از گسل‌های منطقه، دو گسل رورانده چشمه‌زاغ و اسبکشان با راستای شمال شرق-جنوب غرب است که به ترتیب شیب زیادی به طرف جنوب شرق و شمال غرب دارند (شکل ۲). گسل رانده اسبکشان شرقی هم راستا با دو گسل نامبرده است که شیب زیادی به سمت شمال غرب نشان می‌دهد (شکل B-1). رگه‌های معدنی در نزدیکی و حد فاصل دو گسل چشمه‌زاغ و اسبکشان قرار دارد.

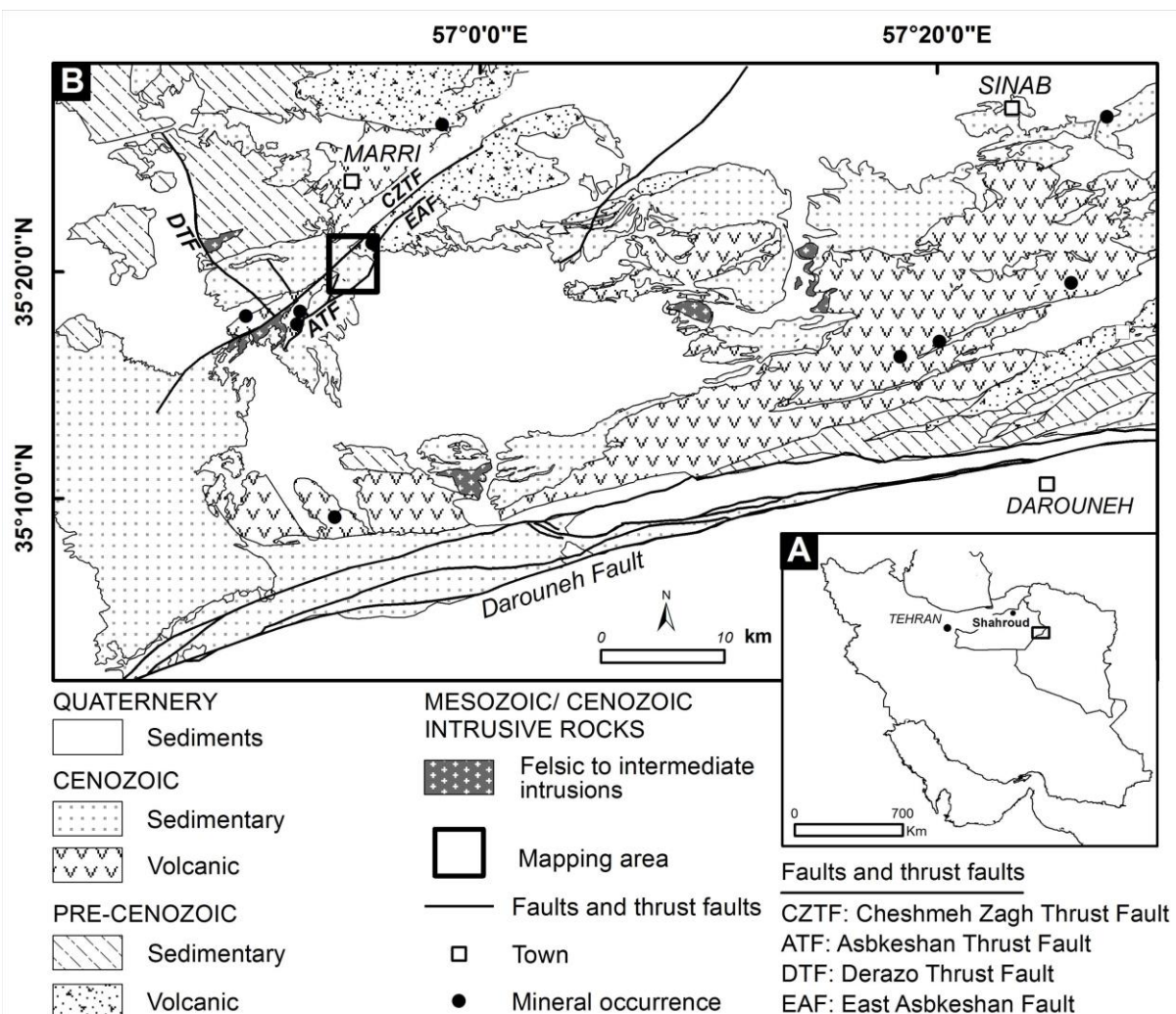
روش انجام پژوهش

نتایج بررسی حاضر، پس از جمع آوری اطلاعات مربوط به منطقه، در دو مرحله صحرایی و آزمایشگاهی به دست آمد. در مطالعات صحرایی، وجود سازندهای زمین‌شناسی موجود، شکل و هندسه توده‌های نیمه‌نفوذی و سنگ‌های آتشفشانی و ارتباط آنها بررسی شد. همچنین، ابعاد گسترش کانی‌سازی سطحی شناسایی و گسل‌ها و شکستگی‌های موجود در منطقه و

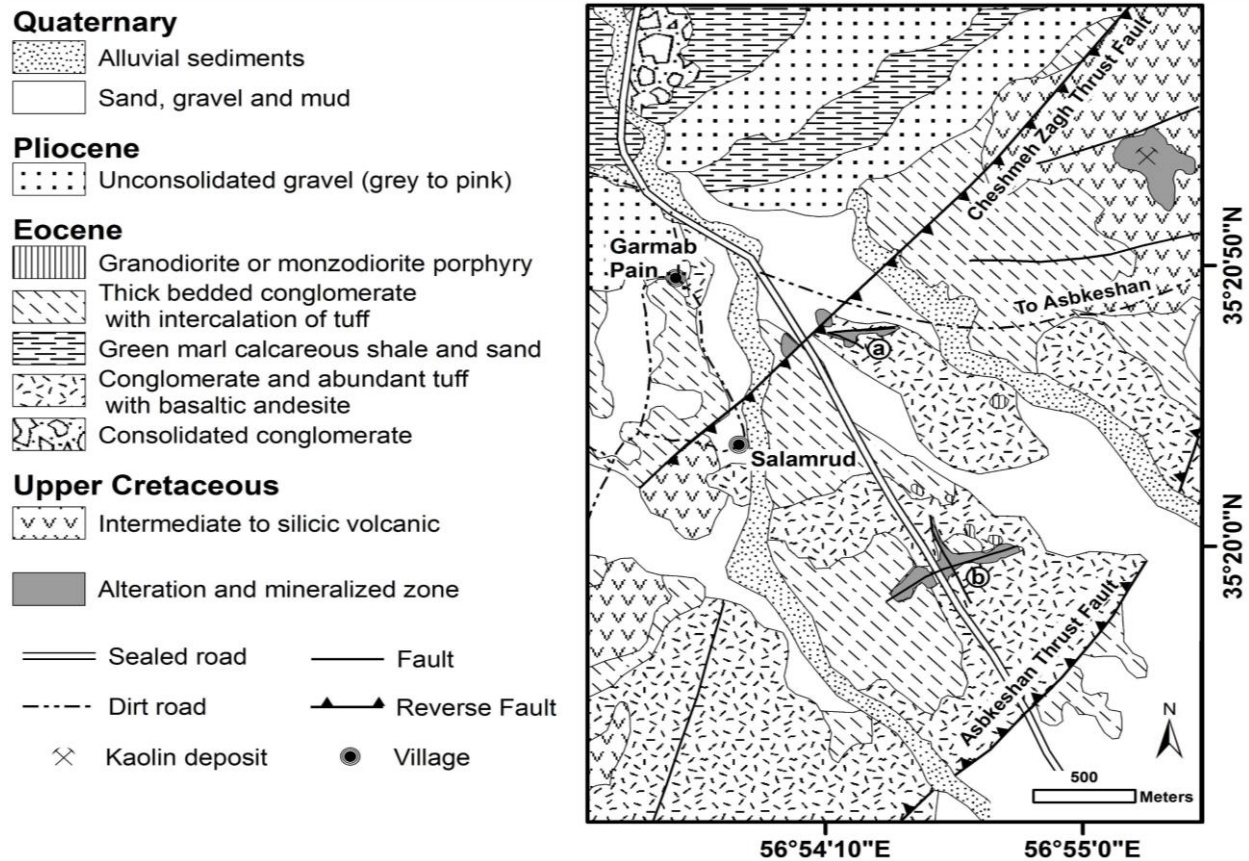
آتشفشانی و رسوبی با سن آئوسن، رخنمون‌های اصلی محدوده گرماب را تشکیل می‌دهند که روند شمال شرق-جنوب غرب دارند (شکل B-1). بر خلاف سنگ‌های آتشفشانی، توده‌های نفوذی رخنمون بسیار اندکی در منطقه دارد. پیرامون این سنگ‌ها نهشته‌های رسوبی پلیوسن و کواترنری دیده می‌شود (شکل B-1). بر اساس روابط صحرایی به دست آمده از محدوده مطالعاتی، سنگ‌های آتشفشانی اسیدی تا حد واسط، قدیمی‌ترین واحدهای رخنمون یافته زمین‌شناسی محدوده مطالعه شده در گرماب هستند (شکل ۲). جنس آنها اغلب داسیت و اندکی تراکی‌آندزیت است و بافت پورفیری با درشت‌بلورهایی از کوارتز و فلدسپار دارد. آنها بیشتر در گوشه شمال شرقی و جنوب غرب محدوده اسبکشان (در بخش غربی گسل رورانده چشمه‌زاغ) گسترش دارند. سن این واحد به استناد نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ مری، به سن کرتاسه بالایی نسبت داده شده است. سنگ‌های رسوبی به شکل واحدهای کنگلومرای پلی ژنتیک سخت شده با سن آئوسن زیرین هستند که رخنمون اندکی در گوشه شمال غربی منطقه نشان می‌دهند و در روی زمین با رنگ خاکستری تا قهوه‌ای مشخص می‌شوند. اندازه قطعه‌ها از ۲ تا ۶۰ سانتی‌متر، جنس قطعه‌ها از گرانیت، داسیت-ریوداسیت، تراکی‌آندزیت و سنگ آهک وابسته به واحدهای کرتاسه بالایی است. کنگلومرای سخت شده با بین لایه‌هایی از گدازه‌های آندزیت‌بازالت و توف بیشترین گسترش را در نیمه جنوبی منطقه دارد و حاشیه شرقی و جنوبی این واحد با گسل رورانده اسبکشان محصور می‌شود (شکل ۲). رنگ این واحدها روی سطح زمین خاکستری تا سبز است و مرز زیرین و بالایی آنها با سایر سنگ‌های رسوبی هم‌شیب بوده و ناپیوستگی نشان می‌دهد. مارن‌های سبز در بخش‌های شمالی محدوده،

کبالت، بور، قلع، سولفور، منگنز و آهن به آزمایشگاه زرکاوان البرز کرج ارسال شد تا توزیع عناصر فرعی و کمیاب و الگوهای آنها با دستگاه ICP-OES مدل Arcos ساخت آلمان بررسی شود. ۱۲ نمونه موجود در پهنه کانی‌زایی معدنی نیز انتخاب و در تیزاب سلطانی حل شد و با روش جذب اتمی در آزمایشگاه نامبرده تجزیه و میزان طلا و نقره با روش Fire assay به طور دقیق تعیین گردید.

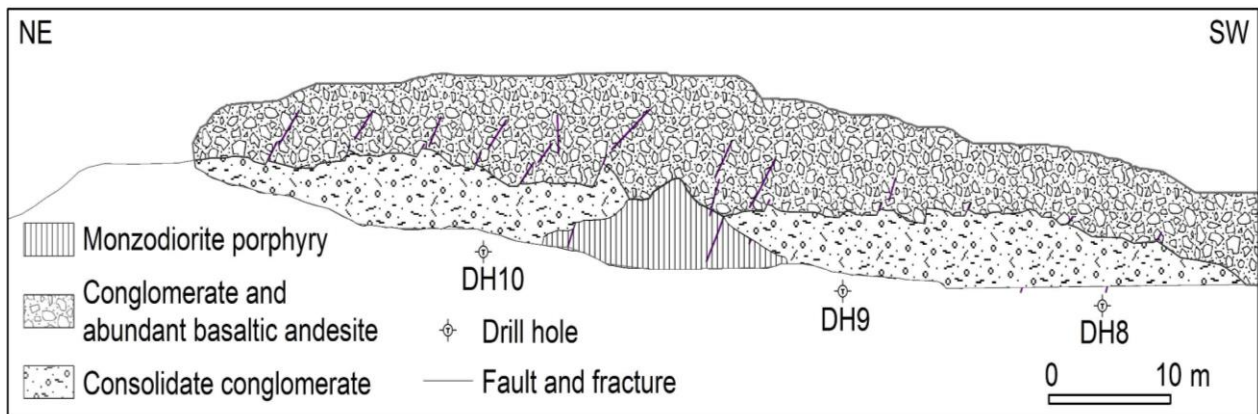
ارتباط آنها با کانی‌زایی مطالعه شد. به منظور مطالعات زمین‌شیمیایی سنگ‌های محدوده گرماب، پس از نمونه‌برداری صحرائی، تعداد ۵۰ نمونه خردسنگی از سنگ میزبان کنگلومرای ائوسن و دیواره‌های پهنه کانه‌دار انتخاب شد. نمونه‌ها از سطح و چال‌ها (حفاری اکتشافی پودری تا عمق ۲۲ متر) برداشت گردید. پس از خرد و نرم شدن برای تجزیه شیمیایی عناصر مس، طلا، نقره، آرسنیک، آنتیموان، سرب، روی، مولیبدن، باریم،



شکل ۱- A) موقعیت جغرافیایی منطقه گرماب در شرق سمنان در نقشه ایران؛ B) نقشه زمین‌شناسی ساده شده شمال گسل درون‌ه که از کنار هم قرار گرفتن نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ مری (Kohansal, 2009) و درون‌ه (Ghaemi and Mussavi-Harami, 2007) همراه با تغییرات تهیه شده است. موقعیت کانسارها و ناهنجاری‌های اصلی (مس، منگنز و آهن) روی آن با ● و محدوده گرماب با □ مشخص شده است.



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی تهیه شده از منطقه گرماب، مناطق کانی‌سازی با حروف a و b نشان داده شده است.



شکل ۳- مقطع عرضی از ترانشه سراسری که در ناحیه کانی‌سازی a قرار دارد، انتخاب شده است. توده مونزودیوریت پورفیری به درون کنگلومرای ائوسن نفوذ کرده و سن آن از واحدهای رسوبی، جوان‌تر است. موقعیت برخی چاه‌های پودری حفاری شده روی آن مشخص شده است.

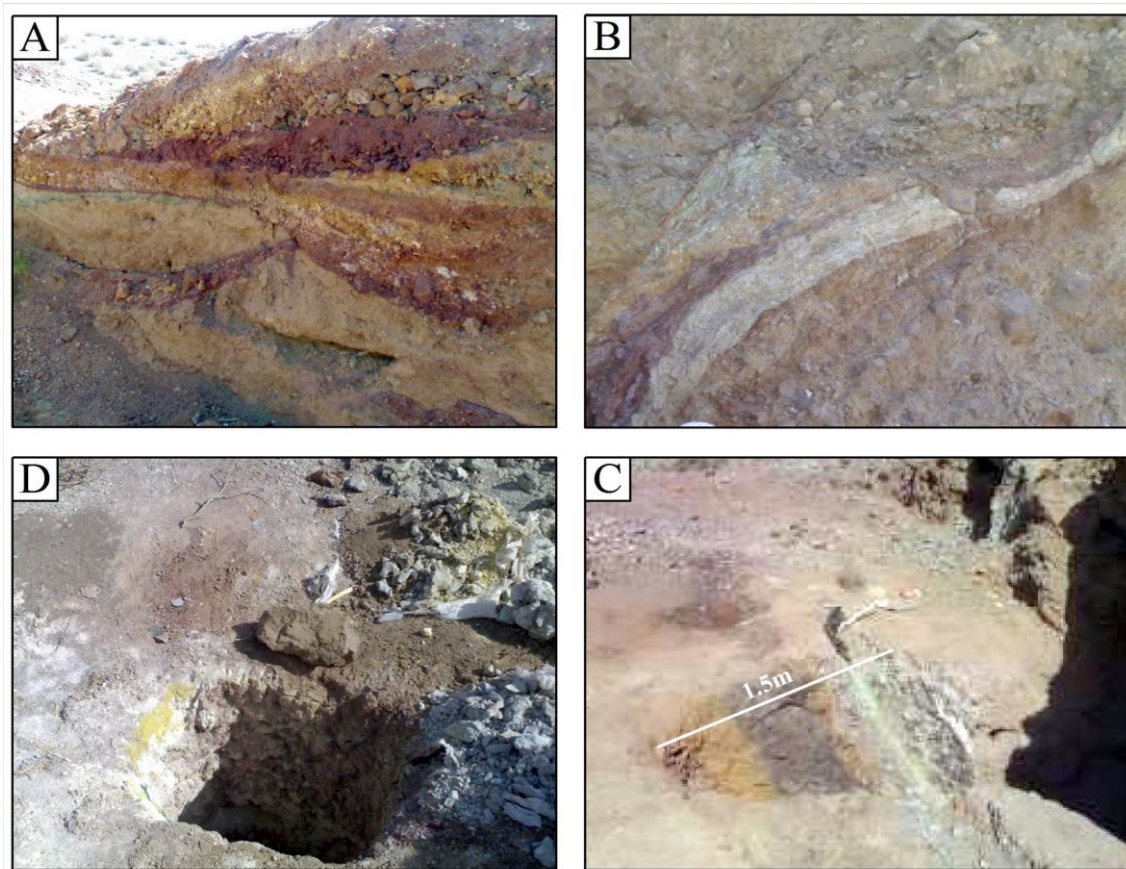
شدادی، تونل‌ها و آثار سرباره‌های قدیمی در نزدیکی رگه‌ها و در زیر رسوبات سیلابی مدفون شده‌اند (شکل ۴- A). فعالیت‌های اکتشافی اخیر

پتروگرافی

محدوده اکتشافی مس گرماب یکی از کانسارهای رگه‌ای قدیمی است که فعالیت‌های

شامل: نمونه برداری زمین‌شیمیایی، ترانشه و حفاری‌های متعدد در امتداد رگه‌های اصلی است. کانی‌سازی مس در ارتباط با شکستگی‌ها و گسل‌ها در سنگ میزبان کنگلومرای ائوسن مشاهده می‌شود (شکل ۴-B). گاهی گسل‌ها سبب جابجایی کانسنگ و واحد در بر گیرنده آن شده‌اند. در بیشتر قسمت‌ها کانی‌سازی توسط رسوبات آبرفتی عهد حاضر پوشیده شده است. کانی‌سازی در دو بخش a و b در راستای صفحات گسلی در مرکز و نیمه جنوبی محدوده گرماب رخمون دارد (شکل ۲). در هر دو بخش، کانی‌سازی راستایی به طور تقریبی شرقی-غربی دارد و حداکثر طول کانی‌سازی به ۴۵۰ متر در ناحیه a و ۶۶۰ متر در ناحیه b می‌رسد (شکل ۲). توزیع و شدت کانی‌سازی در ناحیه b بسیار ضعیف است و آثار اندکی از کربنات‌های مس دیده می‌شود. شیب رگه‌های اصلی کانی‌سازی a در حد ۴۳ تا ۵۰ درجه به سمت جنوب است و به طرف عمق شیب بیشتر می‌شود. کانی‌سازی a به دو شکل همراه با رگه سیلیسی آهن‌دار و به صورت پر شدگی در شکستگی و حفرات دیده می‌شود. عرض کانی‌سازی مس از ۵ تا ۸۰ سانتی‌متر و آهن از ۲۰ تا بیش از ۵۰ سانتی‌متر متغیر است. رگه‌های اصلی از جنس سیلیسی است که در محل گسترش کارهای قدیمی (بخش مرکزی a) ضخامت بیشتری داشته و همچنین، آهن و منگنز بیشتری دارد. کانی‌سازی مس و روی به صورت کانی‌های مالاکیت، آزوریت و به ندرت اسمیت-زونیت در کمر بالای رگه اصلی (hanging wall) توزیع شده‌اند و در کمر پایین (footwall) دیده نمی‌شود (شکل ۴-C). آهن و منگنز بیشتر به شکل گوتیت، لیمونیت و اندکی اکسید منگنز و هماتیت در رگه سیلیسی و در کمر پایین دیده می‌شود (شکل ۴-C). در عمق ۵ متر، در خود رگه فضای خالی دارند.

سیلیسی کانی‌های سولفیدی رگچه‌های با عرض یک تا ۴ میلی‌متر را پر کرده‌اند که در سطح در اثر اکسیداسیون به کانی‌های اکسید آهن ثانویه تجزیه شده‌اند. در اکتشافات انجام شده در مناطق عمیق‌تر، کانی‌سولفیدی پیریت و آرسنوپیریت در اندازه حداکثر ۶ میلی‌متر و کالکوپیریت به صورت بی‌شکل و دانه‌ریز دیده می‌شود. دگرسانی سنگ دیواره به شکل سیلیسی است که در آن کلسدون و کوارتز دانه‌ریز در امتداد رگه دیده می‌شود. رشد کوارتز در داخل فضاها به صورت شعاعی است. فلدسپارها در نزدیک رگه اندکی سریسیتی، رسی و اپیدوتی شده‌اند. رس ثانویه (شکل ۴-D) هم در آنها معمول است که در اثر شستشوی حاصل هوازدگی پیریت‌ها تشکیل شده است. در سطح و اطراف رگه، قالب دانه‌های خودشکل پیریت اکسید شده، به صورت افشان وجود دارد. در فاصله دورتر از رگه، سنگ دیواره به صورت محدود کربناته و اندکی اپیدوتی-کلریتی شده است. کانی‌های کربنات مس علاوه بر رگه‌های اصلی، در داخل شکستگی‌ها و حفرات کمر بالای رگه اصلی دیده می‌شود. شکستگی‌های پر شده از کربنات‌های مس، رگچه‌های کالکوپیریت، پیریت را قطع می‌کنند که نشانه تأخیری بودن تشکیل آنها است. اکسیداسیون مرتبط با هوازدگی از سطح تا عمق بیش از ۱۵ متر دیده می‌شود. هوازدگی با حضور کانی‌های مالاکیت، آزوریت، گوتیت، لیمونیت، هماتیت، اکسید منگنز، کائولینیت و اندکی اسمیت‌زونیت، مونت‌موریونیت، ژاروسیت، سولفور طبیعی و ژیپس در منطقه قابل شناسایی است. همچنین، حجم زیادی از مواد آمورف شامل: اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن آمورف، اپال و رس‌های بسیار دانه‌ریز است. مشاهدات نوری نشان می‌دهد این مواد بافت کلوپورم، لایه‌ای و پر کننده فضای خالی دارند.



شکل ۴- تصاویر صحرایی از منطقه گرماب. (A) آثار سرباره‌های معدنی فعالیت‌های قدیمی معدن کاری که در زیر رسوبات مدفون شده‌اند؛ (B) تشکیل کانی‌های پهنه اکسیدان در مسیر گسل و فراوانی آنها در اندکر بالای گسل؛ (C) گسترش کانی‌های کربناته مس در کمر بالای رگه سیلیسی آهن‌دار دیده می‌شود. عرض رگه ۱/۵ متر است؛ (D) حضور کانی سولفور و کاتولینیت در بخش هوازده کانسار.

ژئوشیمی

بی‌هنجاری ممکن ($X+3S$) تعیین شد (جدول ۳). تحلیل‌های آماری توسط نرم‌افزارهای Excel نسخه ۲۰۱۳، SPSS نسخه ۲۱ و Minitab نسخه ۱۶ انجام شد. شایان ذکر است با توجه به حد حساسیت روش اندازه‌گیری آزمایشگاهی، تعداد داده‌های سنسورد (کراندار) بسیار اندک است. چنان‌چه تعداد آنها زیاد باشد در پردازش آماری داده‌ها به صورت ناپیوستگی اطلاعات ظاهر شده و عمل پردازش را مختل می‌نماید. محاسبات در جدول ۳ آمده است. توزیع و فراوانی عناصر $Sb, Pb, Mn, Fe, Cu, Au, As, Ag$ و Zn در طول کانی‌سازی a به صورت نمایش نمادین در شکل ۵ آمده است. فراوانی عناصر نامبرده در کانی‌سازی b ضعیف است و نشان داده نشده است.

توزیع تجزیه‌های عناصر فرعی و کمیاب نمونه‌های سنگی، از سنگ میزبان کنگلومرا و کانه‌های معدنی بخش کانی‌سازی a و b در جدول‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است. نمودارهای ستونی توزیع فراوانی عناصر نشان‌دهنده این است که داده‌های خام (به غیر از منگنز و روی) دارای ویژگی غیر طبیعی هستند (شکل ۵). برای بررسی‌های آماری، توزیع داده‌های خام نمونه‌های سنگی به توزیع نرمال تبدیل شد. سپس به منظور جداسازی مقدار زمینه از بی‌هنجاری‌های متغیر، میانگین (X) و انحراف معیار (S) محاسبه و به صورت ساختاری مقادیر زمینه $(X+S)$ ، حدآستانه $(X+2S)$ و

جدول ۱- نمایش تجزیه عناصر فرعی نمونه‌های برداشت شده از پهنه کانی‌سازی منطقه گرماب، مقدار طلا بر حسب ppb، آهن بر حسب درصد و بقیه مقادیر بر حسب ppm است. تجزیه به اندک جذب اتمی انجام شده است.

Sample No	Cu	Au	Ag	As	Sb	Zn	Pb	Mn	Fe
DH6-A1-2 m	890.30	72	0.90	42.80	2.3	540	57.3	453.50	16.30
DH6-A2-4 m	695.90	66	0.50	23.40	2.0	520	4.2	2073.60	14.70
DH6-A3-6 m	854.40	33	0.38	18.50	0.5	380	0.5	1634.10	7.40
DH6-A4-8 m	2668.50	49	2.70	29.80	1.9	230	15.5	458.30	6.20
DH6-A5-10 m	880.30	60	2.40	39.10	2.4	95	13.1	65.90	14.20
DH6-A6-12 m	1503.0	35	0.18	65.20	9.1	120	34.0	166.80	22.40
DH5-B1-2 m	726.30	51	0.33	119.70	2.8	540	4.1	0.50	43.10
DH5-B2-4 m	787.90	790	19.10	42.00	7.6	520	705	0.50	38.50
DH5-B3-6 m	1136.70	670	6.90	33.00	5.8	380	25.8	367.80	7.90
DH5-B4-8 m	4185.80	130	0.72	104.60	11.6	230	90.6	214.60	25.60
DH5-B5-10 m	2138.70	150	2.00	102.50	14.6	95	43.1	116.90	21.19
DH5-B6-12 m	2851.30	280	1.60	149.70	16.2	120	29.6	152.00	27.95

جدول ۲- نمایش تجزیه عناصر فرعی نمونه‌های برداشت شده از چال‌های اکتشافی منطقه گرماب، مقدار طلا بر حسب ppb، آهن و گوگرد بر حسب درصد و بقیه مقادیر بر حسب ppm است. تجزیه با روش ICP انجام شده است.

Sample No	Cu	Au	Ag	As	Sb	Zn	Pb	Ba	Mo	Co	B	Sn	Bi	Cd	S	Mn	Fe
CH1	3573.96	2.9	0.14	255.11	0.5	490	5	339.25	1.4	9.77	58	2.3	0.2	0.48	0.08	31.07	4.44
L-CH1	166.82	1.5	0.12	847.97	1.4	70	7	45.85	387	5.08	19	4.6	0.69	3.16	0.13	44.24	23.97
CH1-D12	140.10	2.2	0.11	1000.39	1.2	80	10	40.74	141	3.49	46	2.6	0.2	0.67	0.07	42.81	4.72
CH1-R	138.29	2.4	0.15	547.76	1.2	95	8	419.29	87.4	6.87	44	3.8	0.69	2.14	0.14	116.18	15.39
CH2-D1	4122.06	5.3	0.15	406.60	1.6	608	9	281.30	27.2	14.40	97	4.4	2.37	1.68	0.04	289.97	12.53
CH2-D12	413.17	6.3	0.10	326.75	1.4	530	7	87.67	21.5	12.66	87	5.8	2.93	1.31	0.03	173.11	8.71
CH2-D22	992.03	2.7	0.13	75.12	0.5	628	5	73.36	1.7	12.76	79	5.0	0.2	0.75	0.02	310.27	4.31
CH2-Dm	389.87	7.9	0.13	71.44	0.5	466	6	362.08	2.3	8.58	110	5.2	0.2	0.94	0.02	132.12	6.38
CH3	9633.01	80	0.22	335.86	4.5	328	10	1292.18	58.5	11.19	76	4.6	0.2	3.21	0.05	313.83	20.98
CH4	114.00	160	0.96	168.13	68.0	98	28	28.12	140	3.07	22	7.0	17.5	0.91	0.04	10.00	5.55
CH4-2A	246.50	3.6	0.22	6.97	0.5	110	35	240.72	1.3	3.02	22	2.7	0.2	2.26	0.09	1034.46	1.56
CH4-2B	802.23	6.8	0.25	6.17	1.0	100	11	250.00	15.3	15.87	10	3.6	9.11	4.90	10.63	313.47	29.55
CH8	93.94	7.2	0.14	6.30	0.5	100	5	315.34	1.4	12.29	18	3.6	0.2	0.68	0.07	804.61	4.58
CH10-T2A	133.43	80	0.32	92.55	2.4	150	100	287.07	6.7	10.56	49	6.2	0.69	1.13	1.57	220.94	6.90
CH10-T2B	95.01	4.1	0.19	1.63	0.5	92	5	9.33	0.75	21.86	29	5.4	0.2	0.79	0.13	215.09	6.07
CH10-T2C	73.71	7.3	4.60	336.12	9.2	90	35	46.39	8.8	97.48	13	5.8	0.2	2.08	4.40	139.85	14.81
CH11-T2	82.95	4.2	0.22	10.09	0.5	92	5	15.91	1	22.17	19	7.7	0.2	0.97	0.10	374.59	5.95
DH1-D11	217.12	2.9	0.21	2.75	0.5	80	5	112.31	0.8	17.39	14	7.2	0.2	1.05	0.02	1005.05	5.30

Sample No	Cu	Au	Ag	As	Sb	Zn	Pb	Ba	Mo	Co	B	Sn	Bi	Cd	S	Mn	Fe
ادامه جدول ۲-...																	
DH2-D7	580.51	7.9	0.19	8.09	0.5	80	12	285.88	1.3	16.44	19	4.6	0.2	2.89	0.02	1080.68	5.79
DH3-D1	3382.73	2	1.00	14.56	0.5	70	40	208.75	0.8	10.65	19	3.6	0.2	2.08	0.02	578.10	3.26
DH3-D1-14	516.34	4	0.36	3.40	0.5	120	270	1110.02	1.4	13.05	17	4.3	0.69	3.08	0.03	929.78	3.93
DH3-D17	63.54	3.4	0.15	1.96	0.5	125	5	308.82	1	11.78	12	3.8	0.2	0.59	0.05	993.10	5.53
DH3-D20	51.84	2.9	0.13	1.38	0.5	92	5	372.28	1	6.21	16	2.6	0.69	0.26	0.08	676.17	2.81
DH4-D8	66.46	2.7	0.13	2.07	0.5	125	5	180.12	0.7	13.08	13	3.6	0.2	0.57	0.03	1183.39	5.22
DH6-D12	211.26	2.2	0.21	5.29	0.5	130	5	193.52	1.3	10.67	39	6.0	0.2	3.88	0.03	1147.51	5.00
DH4-D10	74.66	4.8	0.21	1.81	0.5	130	5	362.51	1.4	12.71	24	5.8	0.2	0.67	0.03	1411.69	5.83
DH4-D12	69.61	4.2	0.12	2.65	0.5	110	5	120.54	0.7	12.85	18	3.3	0.2	0.58	0.12	1081.89	5.91
DH4-D14	73.90	3.5	0.10	3.02	0.5	115	5	236.75	0.8	11.60	11	2.3	0.2	0.50	0.12	1096.45	4.87
DH5-D4	131.37	9.2	0.19	26.05	0.6	110	29	707.13	1.5	3.83	21	2.7	0.2	1.03	0.08	528.37	2.49
DH5-D8	304.52	7	0.21	9.26	0.5	95	18	424.63	1.2	5.53	19	2.3	0.69	2.51	0.06	791.82	3.22
DH5-D10	345.03	4.6	0.59	20.46	0.8	180	24	731.29	5	6.32	37	4.7	0.69	2.10	0.04	311.92	3.56
DH5-D12	120.77	21	1.40	88.39	2.8	480	72	2778.46	82.5	4.87	34	4.4	0.2	3.89	0.14	215.06	4.89
DH5-D14	113.59	9	0.27	12.76	0.5	100	11	252.51	2.4	6.47	29	8.6	0.2	1.46	0.05	654.05	3.81
DH7-D2	87.62	2.4	0.18	2.67	0.5	130	5.5	83.40	1.5	12.74	29	7.6	0.69	0.58	0.02	579.95	5.79
DH7-D4	119.71	2.7	0.18	1.97	0.5	100	5	97.44	1.2	12.98	24	7.4	0.2	0.68	0.03	706.27	6.15
DH8-D4	108.72	4.9	0.15	2.88	0.5	160	5	179.86	0.9	10.64	17	5.8	0.2	0.53	0.03	712.30	4.61
DH8-D8	304.21	4.7	0.27	2.10	0.5	130	5	115.48	1.2	13.77	25	12.0	0.2	0.67	0.04	753.41	6.11
DH8-D12	246.12	3.3	0.20	2.31	0.5	150	5	76.54	1.2	13.43	19	8.2	0.2	0.89	0.04	742.70	6.34
DH9-D2	69.61	310	0.27	158.46	38.8	80	44	2468.20	78.7	4.18	54	8.2	11.3	0.59	0.13	10.00	5.36
DH9-D4	98.53	88	0.38	101.73	34.3	100	86	196.87	50.7	3.21	32	9.6	22.6	0.61	0.06	10.00	4.87
DH10-D4	34.22	2.9	0.18	1.62	0.5	100	5	259.22	2	6.19	34	3.7	0.2	0.33	0.05	404.93	3.28
DH10-D8	2633.54	6.8	0.70	1.42	0.5	220	5	192.92	1.8	13.83	34	3.7	0.2	0.50	0.02	662.45	3.69
DH10-D10	1395.48	4.2	0.95	5.33	0.5	180	5	309.32	2.4	7.33	32	3.7	0.2	0.38	0.02	335.96	3.36
DH11-D4	282.56	3.3	0.21	3.82	0.5	98	5	279.88	1	13.33	19	9.6	0.2	0.83	0.04	567.44	5.92
DH11-D8	159.77	4.9	0.22	2.40	0.5	100	5	201.08	1.2	15.45	17	11.0	0.2	0.80	0.03	587.56	6.75
DH12-D12	71.27	4.9	0.23	0.95	0.5	110	5	18.18	0.82	15.92	27	8.2	0.2	0.73	0.31	255.34	6.91
DH13-D6	114.69	4.2	0.36	2.42	0.5	140	8	50.60	2.4	18.88	34	14.0	0.2	0.93	0.06	928.23	7.85
DH13-D8	81.64	3.4	0.56	5.72	0.6	100	8	45.03	1.5	13.09	54	6.6	0.2	0.80	0.44	430.75	7.32
DH14-D6	120.86	8.9	0.48	12.20	0.8	140	28	232.74	1.8	18.36	37	17.0	0.2	1.42	0.91	666.39	8.27
DH14-D8	179.52	3.8	0.23	7.04	0.6	200	36	25.13	0.8	20.64	27	8.5	0.2	1.34	1.00	573.89	9.42

جدول ۳- نتایج محاسبات آماری داده‌های نمونه‌های سنگی منطقه گرماب

Element	Min	Max	X	S	X+S	X+2S	X+3S
Cu (ppm)	34.21	9633.01	300.88	32.07	355.96	388.03	420.10
Au (ppb)	1.5	790	8.1	7.63	15.65	23.28	30.92
Ag (ppm)	0.1	19.1	0.28	4.62	4.9	9.53	14.15
As (ppm)	0.94	1000.39	10.23	2.61	24.76	39.29	53.82
Sb (ppm)	0.5	68	1.45	13.09	14.55	27.64	40.73
Zn (ppm)	70	628	130.80	70.55	202.36	273.91	345.47
Pb (ppm)	0.5	705.2	12.6	3.37	15.43	18.81	22.19
Ba (ppm)	9.33	2778.46	175.91	3.34	179.25	182.6	185.94
Mo (ppm)	0.7	387	2.12	12.4	14.17	26.22	38.26
Co (ppm)	3.06	97.47	10.19	2.92	13.12	16.5	18.97
B (ppm)	10	110	25.63	10.38	36.02	46.4	56.79
Sn (ppm)	2.5	17	5.25	1.62	6.88	8.5	10.13
S (ppm)	162.53	106277	340.47	169.58	510.05	679.63	849.22
Mn (ppm)	0.5	2073.6	530	438	914.79	1286	1657.21
Fe (%)	1.56	29.55	7.24	2.3	9.27	11.31	13.34

در شرق پهنه کانی سازی a، در عمق ۵ متر همراه با کانی‌های پیریت، کالکوپیریت، کانی‌های آرسنوپیریت و گوتیت دیده می‌شود. نتایج تجزیه، کاهش تدریجی طلا را در عمق تأیید می‌کند.

هاله‌های زمین‌شیمیایی نقره: میانگین مقادیر

نقره ۰/۲۸ گرم در تن و غلظت آن از ۰/۱ تا ۱۹/۱ گرم در تن متغیر است (شکل ۵). حد آستانه آن ۹/۵۳ گرم در تن است. بیشترین بی‌هنجاری‌های عنصر نقره حد فاصل ۴ تا ۵ متر از پهنه گسلی، در شرق پهنه کانی‌سازی a در DH₇ (شکل ۶) دیده می‌شود. نتایج زمین‌شیمیایی، کاهش تدریجی نقره را همانند طلا، به طرف عمق نشان می‌دهد.

هاله‌های زمین‌شیمیایی مولیبدن: میانگین

مقادیر مولیبدن ۲/۱۲ گرم در تن و تغییرات وسیع غلظت آن از ۰/۷ تا ۳۸۷ گرم در تن متغیر است (جدول ۳). حد آستانه آن ۲۶/۲۲ گرم در تن است. مقدار عناصر کادمیوم، سرب و آرسنیک نمونه‌های با مقادیر بالای مولیبدن، زیاد است.

هاله‌های زمین‌شیمیایی آرسنیک: میانگین

هاله‌های زمین‌شیمیایی مس: میانگین غلظت

مس در نمونه‌ها ۳۰۰/۸۸ گرم در تن و فراوانی آن در نمونه‌ها در محدوده وسیعی از ۳۴/۲۱ تا ۹۶۳۳/۰۱ گرم در تن تغییر می‌کند (شکل ۵). حد آستانه آن در منطقه گرماب ۳۵۵/۹۶ گرم در تن است (جدول ۳). بیشترین وسعت بی‌هنجاری مس در شرق کانی‌سازی a در پهنه گسلی و در چال‌های DH₆ و DH₇ (شکل ۶) دیده می‌شود. در این ناحیه در سطح رگچه‌های متعدد مالاکیت و اکسیدهای آهن آبدار و در عمق رگچه‌های سولفیدی دیده می‌شود. شواهد صحرائی و نتایج زمین‌شیمیایی افزایش مس را در کمر پایین گسل و غنی‌شدگی آن را به سمت عمق نشان می‌دهد. افزایش غلظت آن در عمق با حضور کانی‌های سولفیدی مس انطباق دارد.

هاله‌های زمین‌شیمیایی طلا: میانگین فراوانی

طلا در نمونه‌ها ۸/۱ میلی‌گرم در تن و تغییرات آن از ۱/۵ تا ۷۹۰ میلی‌گرم است (شکل ۵). حد آستانه آن ۲۳/۲۸ میلی‌گرم است (جدول ۳). بیشترین اثر عنصر طلا در نزدیکی DH₆ (شکل ۶) دیده می‌شود.

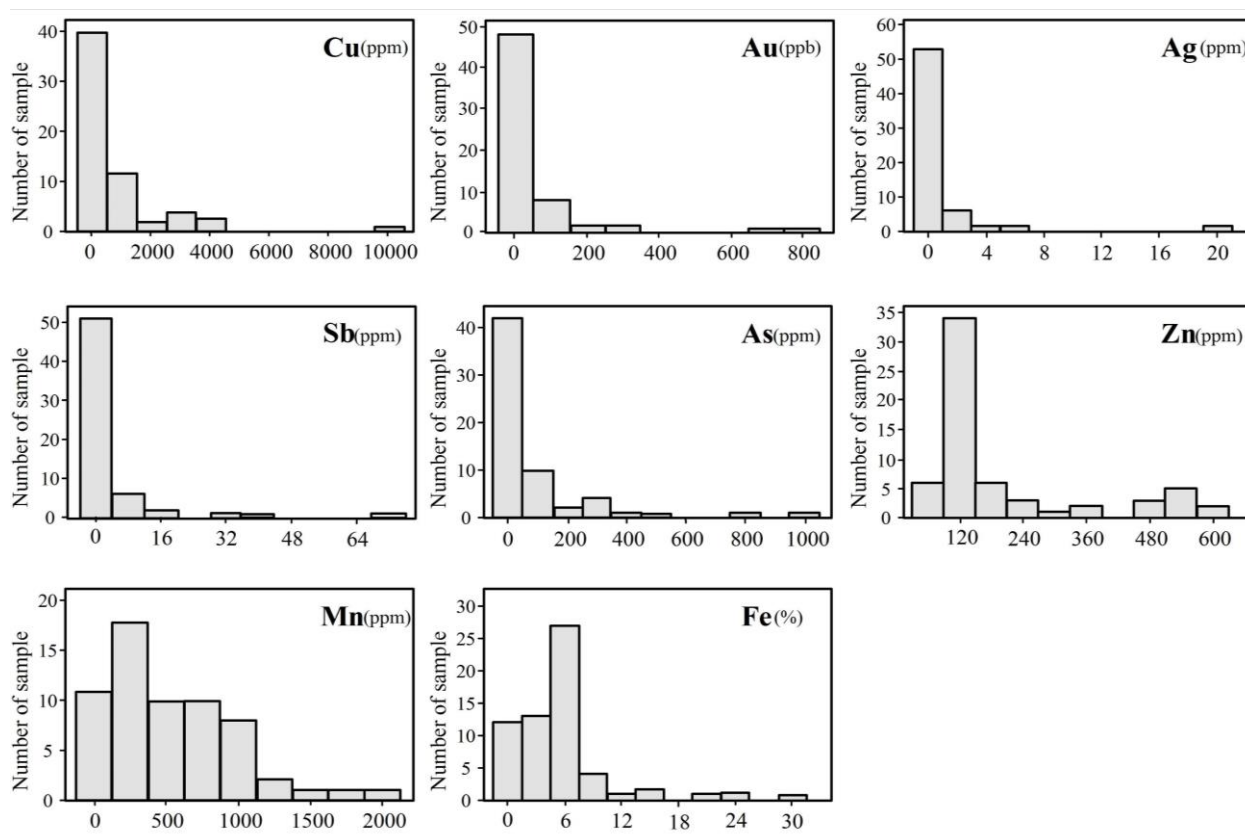
DH5 تا DH6 (شکل ۶) در شرق پهنه کانی‌سازی a دیده می‌شود.

هاله‌های زمین‌شیمیایی روی: میانگین فراوانی روی ۱۳۰/۸ گرم در تن و غلظت آن از ۷۰ تا ۶۲۸ گرم در تن متغیر است (شکل ۵). حد آستانه آن بیشترین ۲۷۳/۹۱ گرم در تن است (جدول ۳). افزایش عنصر روی نزدیک به سطح و نیز در غرب پهنه کانی‌سازی a (شکل ۶) دیده می‌شود.

هاله‌های زمین‌شیمیایی سرب: میانگین فراوانی سرب ۱۲/۶ گرم در تن و غلظت آن از ۰/۵ تا ۷۰۵/۲ گرم در تن متغیر است. حد آستانه آن ۱۸/۸۱ گرم در تن است. افزایش عنصر سرب تا حدودی منطبق بر افزایش روی است.

مقادیر آرسنیک در محدوده گرماب ۱۰/۲۳ گرم در تن و بیشترین غلظت آن بین ۰/۹۴ تا ۱۰۰۰/۳۹ گرم در تن متغیر است (شکل ۵). حد آستانه آن ۳۹/۲۹ گرم در تن است (جدول ۳). بیشترین شدت اثر عنصر ردیاب آرسنیک حد فاصل ۱۱ تا ۱۲ متر از پهنه گسلی در شرق پهنه کانی‌سازی a در چال DH₄ (شکل ۶) دیده می‌شود.

هاله‌های زمین‌شیمیایی آنتیموان: میانگین غلظت آنتیموان ۱/۴۵ گرم در تن و غلظت آن از ۰/۵ تا ۶۸ گرم در تن متغیر است (شکل ۵). حد آستانه آن ۲۷/۶۴ گرم در تن است (جدول ۳). بیشترین شدت عنصر آنتیموان در نزدیکی بی‌هنجاری آرسنیک، اندکی دورتر و در حد فاصل



شکل ۵- نمایش نمودارهای توزیع فراوانی عناصر فرعی و کمیاب از ۶۲ نمونه سنگی از کانی‌سازی a در منطقه گرماب

ویژگی‌های هاله‌های ذخایر معدنی به طور کلی قابل پیش‌بینی و توضیح است و ارایه بهتری برای نواحی امیدبخش می‌دهند. عناصر و فلزات ویژه تشکیل‌دهنده هاله‌ها می‌توانند نقش عنصر ردیاب را برای ذخایر معدنی داشته باشند (Kekelia *et al.*, 2008).

در منطقه مطالعاتی گرماب، عناصر Ag، As، Au، Ba، Cu، Mo، Pb و S غنی شدگی زیادی نشان می‌دهند (جدول ۳). به نظر می‌رسد فراوانی عناصر Ni و Co با سنگ‌شناسی سنگ میزبان انطباق داشته باشد. نمایش نمادین عناصر در طول کانی‌سازی a، دو بی‌هنجاری واضح را در این ناحیه نشان می‌دهد. بیشترین مقادیر طلا، نقره، آرسنیک و آنتیموان بر پهنه گسلی (شرق کانی‌سازی) و در چال‌های DH₅، DH₆ و DH₇ منطبق است (شکل ۶). عرض بی‌هنجاری عناصر Ag، As، Au و Cu در جهت محور افقی کمتر از ۱۰۰ متر است و با توجه به عمق اندک کارهای اکتشافی انجام شده، گسترش عمقی (در جهت محور قائم) آنها مشخص نیست. توزیع بی‌هنجاری عناصر مختلف در جهت افقی در طول کانی‌سازی a وجود دارد. بی‌هنجاری‌های روی و منگنز دورتر از محدوده بی‌هنجاری‌های نامبرده و در غرب کانی‌سازی دیده می‌شود (شکل ۴). در نتیجه به منظور کشف همبستگی بین عناصر فرعی و کمیاب و تعیین ارتباط معنی‌دار میان تغییرات عناصر، طبق نمودارهای دو متغیره، عناصر (داده‌های نرمال)، مورد بررسی زمین‌شیمیایی قرار گرفتند. ضرایب همبستگی پیرسون به صورت ماتریس ضرایب همبستگی در جدول ۴ محاسبه شده‌اند. محتوای مس در مقابل مقادیر طلا همبستگی مناسبی دارد. علاوه بر این، عنصر مس ضریب همبستگی به نسبت خوبی با عناصر آرسنیک، طلا، نقره و بور دارد که به ترتیب برابر ۰/۴۳، ۰/۴۱، ۰/۴۱ و ۰/۴۲

هاله‌های زمین‌شیمیایی باریم: میانگین مقادیر باریم ۱۷۵/۹۱ گرم در تن و غلظت آن از ۹/۳۳ تا ۲۷۷۸/۴۶ گرم در تن متغیر است. حد آستانه آن ۱۸۲/۶ گرم در تن است (جدول ۳). بیشترین بی‌هنجاری عنصر باریم در نزدیکی بی‌هنجاری‌های آنتیموان و آرسنیک در شرق پهنه کانی‌سازی a در چال DH₆ دیده می‌شود.

هاله‌های زمین‌شیمیایی منگنز: میانگین مقادیر منگنز ۵۳۰ گرم در تن و غلظت آن از ۰/۵ تا ۲۰۷۳/۶ گرم در تن متغیر است (شکل ۵). حد آستانه آن ۱۲۸۶ گرم در تن است (جدول ۳). بیشترین غلظت عنصر منگنز در غرب پهنه کانی‌سازی a (شکل ۶) دیده می‌شود.

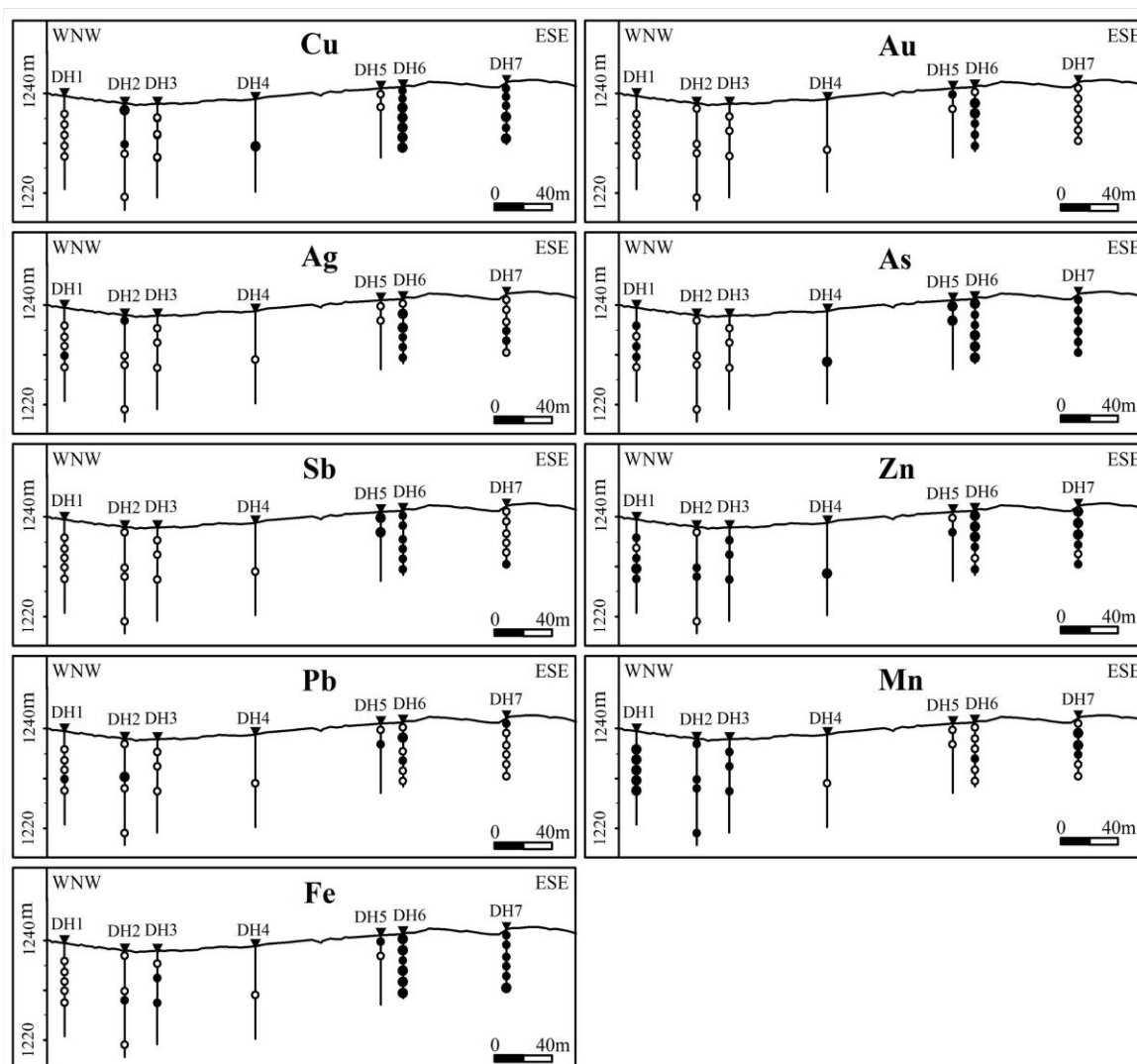
هاله‌های زمین‌شیمیایی آهن: میانگین مقادیر آهن ۷/۲۴ درصد است و غلظت آن از ۱/۵۶ تا ۲۹/۵۵ درصد متغیر است (شکل ۵). حد آستانه آن ۱۱/۳۱ درصد است (جدول ۳). بیشترین بی‌هنجاری عنصر آهن در شرق پهنه کانی‌سازی a در چال DH₆ (شکل ۶) دیده می‌شود.

بحث

هاله‌های زمین‌شیمیایی با تغییرات ترکیب شیمیایی در دو جهت طولی و عمودی مشخص می‌شوند. مطالعه زمین‌شیمیایی هاله‌ها می‌تواند شناخت مهمی از سیستم ذخیره ارایه دهد. همچنین، نتایج در خور توجهی برای اکتشاف مواد معدنی آماده می‌کند (Solovov, 1990). هاله‌های معدنی نتیجه فعل و انفعال میان سنگ با سیالات کانه‌دار است که ویژگی‌های آن به صورت غنی‌شدگی یا تهی‌شدگی عنصر، فلز یا کانی‌های دگرسان شده مشخص می‌شود (Goldberg *et al.*, 2003). این ویژگی به طور معمول همزمان به شکل پاکت‌هایی همراه با نهشته شدن ماده معدنی رخ می‌دهد.

آنتیموان ۰/۴۶ است و آرسنیک با آهن و آنتیموان به ترتیب عددهای ۰/۴۳ و ۰/۳۸ را نشان می‌دهد (جدول ۴). روی با عنصر بور همبستگی به نسبت خوبی ۰/۷۸ را نشان می‌دهد. آهن و اندکی منگنز در همه نمونه‌ها وجود دارد و محتوای آن با نمونه‌های دارای محتوای فراوان آرسنیک و آنتیموان همبستگی به نسبت مناسبی نشان می‌دهد.

است (جدول ۴). این همبستگی، در مقادیر بالای مس در چال D₆ (شکل ۵) دیده می‌شود. عنصر طلا ضریب همبستگی بالایی با نقره به مقدار ۰/۸۹ نشان می‌دهد. این همبستگی بالا می‌تواند به نهشته شدن همزمان دو عنصر اشاره داشته باشد. طلا ضریب همبستگی مناسبی را با آنتیموان و باریم نشان می‌دهد که مقدار آنها به ترتیب ۰/۵۷ و ۰/۵۳ است (جدول ۴). ضریب همبستگی نقره با



شکل ۶- نمایش توزیع عناصر فرعی و کمیاب نمونه‌های برداشت شده از چال‌های اکتشافی در طول کانی‌سازی a در منطقه گرماب. مقادیر بر حسب ppm به جز مقادیر طلا ppb و آهن که درصد است. مقادیر همه عناصر برای نمادهای O، ● و ● به ترتیب روبرو است: (Cu=۱۰۰)، ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ و (Au=۱۰۰)، ۵۰۰ تا ۵۰۰۰، (Ag=۱)، ۵ تا ۵۰، (As=۲۰)، ۱۰۰ تا ۲۰۰، (Sb=۵)، ۳۰ تا ۳۰۰، (Zn=۱۰۰)، ۱۰۰ تا ۵۰، (Pb=۵۰)، ۳۰۰ تا ۳۰۰۰، (Mn=۳۰۰)، ۱۰۰۰ تا ۳۰۰۰، (Fe=۵)، ۲۰ تا ۲۰۰.

جدول ۴- مقادیر ضریب همبستگی عناصر کمیاب نمونه‌های سنگی منطقه گرماب

Element	Cu	Au	Ag	As	Sb	Ba	Zn	B	Mn	Fe
Cu	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Au	0.41	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Ag	0.41	0.89	1	-	-	-	-	-	-	-
As	0.43	0.28	0.33	1	-	-	-	-	-	-
Sb	0.36	0.57	0.46	0.38	1	-	-	-	-	-
Ba	0.18	0.53	0.08	0.01	0.19	1	-	-	-	-
Zn	0.31	0.26	0.27	0.08	-0.11	0.20	1	-	-	-
B	0.42	0.16	-0.15	0.32	0.01	0.15	0.78	1	-	-
S	-0.03	-0.02	0.32	0.00	-0.01	-0.06	-0.10	-0.17	-	-
Mn	-0.19	-0.27	-0.23	-0.43	-0.36	-0.17	-0.09	-0.47	1	-
Fe	0.14	-0.25	-0.18	0.43	-0.07	-0.03	-0.14	0.10	-0.18	1

نتیجه‌گیری

در محیط‌های اکسیدی و هوازده، اکسید و هیدروکسیدهای آهن و منگنز نقش مهمی برای کاتیون‌های عناصر پایه دارند. گوتیت اهمیت ویژه‌ای برای میزبانی کانی‌های مس، روی، آرسنیک، سرب و اندکی بیسموت و آنتیموان دارد (Cairns *et al.*, 2001). البته کانی‌های گروه آلونیت، ژاروسیت و اندکی اکسیدهای منگنز نیز این ویژگی را دارند. کانی‌های منگنز بیشتر برای میزبانی سرب و روی اهمیت دارد و کمتر برای مس شناخته شده‌اند. به نظر می‌رسد هماتیت میزبان مهمی برای کاتیون‌های فلزات پایه نیست مگر در جایی که با فازهای آهن‌دار همراه باشد (Cairns *et al.*, 2001). کانی‌سازی مس در منطقه گرماب در زیر رسوبات آبرفتی پنهان شده است. کانی‌سازی مس، در ترانشه‌های اکتشافی به صورت رگه‌های سیلیسی همراه با گوتیت، لیمونیت و اندکی اکسید منگنز دیده می‌شود. اهمیت حضور گوتیت در غنی‌شدگی کانی‌سازی مس، در پهنه اکسیدان، با توجه به همراهی آن در نمونه‌های کانی‌سازی مشخص می‌شود. از

طرفی، با توجه به روابط زمانی رگچه‌ها، این رخداد، سن جوان‌تری برای کانه‌زایی اکسیدی نسبت به سولفیدی در منطقه در نظر می‌گیرد. به طور مشابه، کالکوپیریت توسط هماتیت، مالاکیت و آزوریت جایگزین شده است. تشکیل گوتیت، جانشینی پیریت و کالکوپیریت و تشکیل کربنات‌های مس، اشاره به اکسایش تا عمق کمتر از ۱۰ متر، در شرایط سوپرژن ناحیه گرماب دارد. بی‌هنجاری واضحی از عناصر مس، مولیبدن، طلا، نقره، آرسنیک، آنتیموان و آهن در تحلیل آماری زمین‌شیمیایی نمونه‌های سنگی برداشت شده (جدول ۳) دیده می‌شود. ترکیب بی‌هنجاری‌ها به طور واضح نشان می‌دهد که این ناحیه می‌تواند هدف اکتشافی قابل اهمیت باشد. پس از خاکبرداری و احداث پیشکار، در شرق کانی‌سازی a رگه معدنی مس (رگچه‌های کربنات مس) در پهنه گسلی دیده شده است. مس با عناصر طلا، نقره و آرسنیک همبستگی خوبی دارد که می‌تواند به شرایط تشکیل مشابه آن اشاره داشته باشد. طلا با نقره بیشترین همبستگی را نشان می‌دهد. همین‌طور با آنتیموان و باریم

معدنی (چال DH_6) به سمت حاشیه (چال DH_1) نشان دهد. بر اساس شواهد زمین‌شیمیایی، برای بررسی‌های عمقی، انجام ژئوفیزیک با روش IP/RS و در ادامه آن حفاری‌های عمیق‌تری در شرق کانی‌سازی a بسیار مؤثر خواهد بود. با کمک شواهد صحرائی، الگوی منطقه‌بندی فضایی و توزیع عناصر ردیاب و سازنده نامبرده، کانسار گرماب مرتبط با توده‌های نفوذی مدفون منطقه است و در گروه ذخایر مس رگه‌ای اپی-ترمال مرتبط با سیستم پورفیری دسته‌بندی می‌شود.

سپاسگزاری

نگارندگان از آقای حسن محمد محکم فدافن به دلیل در اختیار گذاردن امکانات دسترسی به منطقه گرماب قدردانی می‌نمایند.

همبستگی مناسبی دارد که به نظر می‌رسد به شرایط یکسان نهشته شدن آنها اشاره می‌کند. مقادیر بالای آرسنیک همبستگی خوبی با عنصر مس دارد. گسترش بی‌هنجاری آرسنیک و آهن در شرق کانی‌سازی a دیده می‌شود (شکل ۶). بی‌هنجاری روی در نزدیکی DH_6 به سمت شرق و با شیب ملایم به سمت غرب کانی‌سازی a ادامه دارد. عناصر فوق کانساری روی، آنتیموان و باریم بیشترین افزایش را در نزدیک سطح زمین دارند. طلا و نقره به طور کامل رفتار مشابهی دارند (شکل ۶). با توجه به شکل ۶، تغییر غلظت عناصر کمیاب و فرعی در سنگ میزبان رسوبی می‌تواند جهت حرکت سیال در طول نهشته شدن ماده معدنی در بخش کانی‌سازی a را آشکار کند و پهنه‌بندی بارزی را از سوی مرکز رخداد ماده

منابع

- Aghanabati, A. (2005) *Geology of Iran*, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran.
- Agterberg, F. P. (2007) Mixtures of multiplicative cascade models in geochemistry. *Nonlinear Processes in Geophysics* 14: 201-209.
- Alavi, M. (1991) Sedimentary and structural characteristics of the Paleo-Tethys remnants in northeastern Iran. *Geological Society of America Bulletin* 103: 983-992.
- Cairns, C. J., Mc Queen, K. G. and Leah, P. A. (2001) Mineralogical controls on element dispersion in regolith over two mineralised shear zones near the Peak, Cobar, new south Wales. *Journal of Geochemical Exploration* 72: 1-2.
- Cheng, Q. (1999) Spatial and scaling modelling for geochemical anomaly separation. *Journal of Geochemical Exploration* 65: 175-194.
- Eftekhari-Nezhad, J., Aghanabati, A., Baroyant, V. and Hamzhepour, B. (1976) Explanatory text of Kashmar, Geological Quadrangle Map 1:250000, No7313, Geological Survey of Iran, Tehran.
- Ghaemi, F. and Mussavi-Harami, R. (2007) Geological Map of Doruneh 1:100000, No. 7460, Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, Tehran.
- Goldberg, I. S., Abramson, G. Ya., and Los, V. L. (2003) Depletion and enrichment of primary haloes: their importance in the genesis and exploration for mineral deposits. *Geochemistry, Exploration, Environment, Analysis* 3: 281-293.
- Kekelia, S. A., Kekelia, M. A., Kuloshvili, S. I., Sadradze, N. G., Gagnidze, N. E., Yaroshevich, V. Z., Asatiani, G. G., Doebrich, J. L., Goldfarb, R. J. and Marsh, E. E. (2008) Gold deposits and occurrences of the Greater Caucasus, Georgia Republic: their genesis and prospecting criteria. *Ore Geology Review* 34: 369-386.

- Kohansal, R. (2009) Geological map of Marri (Asbkeshan) 1:100000, No. 7360. Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, Tehran.
- Kohansal, R., Ghahraie-Pour, M. and Zolfaghari, S. (2009) Study of petrology and geochemisry, early Cretaceous volcanic facies in Marri area. In: Proceedings of the 24th Symposium on Geoscience, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran (in Persian).
- Pan, G. and Harris, N. (2000) Information synthesis for mineral exploration. Oxford University Press, Oxford.
- Solovov, A. P. (1990) Handbook on geochemical prospecting for useful minerals. Nedra Publishing House, Moscow (in Russian).
- Stocklin, J. (1968) Structural history and tectonics of Iran: a review. American Association of Petroleum Geologists Bulletin 52: 1229-1258.
- Wang, W., Zhao, J. and Cheng, Q. (2011) Analysis and integration of geo-information to identify granitic intrusions as exploration targets in southeastern Yunnan District. Computers and Geosciences of China 37: 1946-1957.

Cu mineralization and geochemical haloes characteristics of Garmab district (eastern Semnan)

Zahra Alaminia * and Mohammad Sharifi

Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Isfahan, Isfahan, Iran

Abstract

The Garmab Cu mineralization, in the east of Semnan and southeast of Shahroud, is situated in the Eocene conglomerate association with weakly hydrothermal altered. The weak alteration, mineralization and geochemical haloes is locally controlled by faults and late fractures. At the surface, secondary copper minerals including malachite and azurite and in the depth, primary sulfides generally are pyrite, arsenopyrite and chalcopyrite. Gangue minerals of the veins are commonly quartz, chalcedony, opal and minor calcite. Other components contain goethite, limonite and hematite with manganese oxides and minor jarosite smithsonite and gypsum. The results of statistical geochemical analyses indicate a positive correlation between copper with Au, Ag and As. According to host rock, mineralization, spatial relationships and geochemical dispersion patterns, deep drilling is suggested in the depth in the east of mineralization. The study district is related to buried intrusive bodies and epithermal vein-type Cu deposits.

Key words: Geology, Geochemical haloes, Cu mineralization, Semnan province, Uromieh-Dokhtar magmatic belt

* z.alaminia@sci.ui.ac.ir

Copyright©2015, University of Isfahan. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>), which permits others to download this work and share it with others as long as they credit it, but they cannot change it in any way or use it commercially.