

انطباق هاله‌های ژئوشیمیایی اولیه و ثانویه با شواهد کانه‌زایی مس – طلا در منطقه رحیمی، جنوب کج، فردوس

علی نجفی^{۱*}، محمدحسن کریم‌پور^۲ و مجید قادری^۳

^۱ دانشجوی دکتری، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
^۲ استاد، مرکز تحقیقات ذخایر معدنی شرق ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
^۳ دانشیار، گروه زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۶/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۲/۱۴

چکیده

بر پایه پردازش داده‌های ۵۱ نمونه رسوب آبراهه‌ای، ۱۱۵ نمونه سنگی و ۲۲ نمونه کانی‌سنگین، به‌همراه شواهد صحرایی مربوط به کانی‌سازی و دگرسانی، الگوی کانه‌زایی مس – طلا در منطقه اکتشافی رحیمی مورد تحلیل قرار گرفت. دوازده نقشه هاله‌های ژئوشیمیایی اولیه و ثانویه برای عناصر Au-Ag-As-Ba-Cu-Co-Hg-Mo-Pb-Sb-W-Zn همراه با نقشه‌های مربوط به کانی‌های اکسیدهای آهن در نمونه‌های کانی‌سنگین با شواهد صحرایی جدید از زمین‌شناسی و کانه‌زایی منطقه، تحلیل شد و در نتیجه، دو منطقه کانه‌زایی جدا از هم با الگوهای کانی‌سازی IOCG و مس پورفیری برای مطالعات نیمه‌تفصیلی معرفی شده است.

کلیدواژه‌ها: کانه‌زایی مس – طلا، هاله‌های ژئوشیمیایی، فردوس، منطقه اکتشافی رحیمی

*نویسنده مسئول: علی نجفی

E-mail: a_najafi79@yahoo.com

۱- مقدمه

برداشت‌های سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور از منطقه مورد مطالعه و بررسی شده است.

در پردازش داده‌های ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی از نرم‌افزار Geosoft (OasisMontaj) نسخه 6.4.1 و برای تهیه نقشه‌های بی‌هنجاری از نرم‌افزار ArcGIS نسخه 9.2 استفاده شده است.

۳- زمین‌شناسی

بیشتر سنگ‌های منطقه رحیمی حاصل فعالیت‌های ماگمایی ترشیری است که به‌صورت سنگ‌های آذرین درونی و بیرونی در منطقه رخمون دارد. در یک نگاه کلی، منطقه مورد مطالعه، گستره‌ای از گدازه‌های بازی تا حدواسط، سنگ‌های آذرآواری حدواسط تا اسیدی، به‌همراه کمی واحدهای رسوبی بیوشیمیایی و آواری است. در این منطقه، توده‌های نفوذی نیمه‌ژرف با ترکیب حدواسط تا اسیدی به‌چشم می‌خورند که سن ترشیری دارند (شکل ۲).

قدیمی‌ترین سنگ‌های این منطقه عبارتند از کنگلومرا، ماسه‌سنگ و سنگ آهک کرتاسه (K2) که دارای فسیل‌های رودیست (شاخص کرتاسه بالایی) و کریپتوئید فراوان (K3) است (شکل ۲).

واحدهای آتشفشانی رخمون یافته عبارتند از:

واحد Tba: قدیمی‌ترین واحد سنگی آذرین در منطقه و یک گدازه بازالتی با ستبرای کم است که تنها در بخش کوچکی از جنوب‌باختر منطقه برونزد دارد (شکل ۲).
واحد Tr: این واحد که با ترکیب ریولیتی مشخص می‌شود، بیشتر حالت گدازه‌ای دارد و با نوارهای سیلیسی جریان‌ی همراه است. گدازه‌های ریولیتی در بخش‌های خاور و جنوب‌خاوری منطقه در قاعده دیگر سنگ‌های آتشفشانی با گسترش تقریبی شمال‌خاور – جنوب‌باختر برونزد دارند. در خاور منطقه، استوک‌های کوچکی از گرانت پورفیری نیز دیده می‌شود. مجموعه ریولیتی و گرانت پورفیری تحت تأثیر دگرسانی‌های سیلیسی، سریستی و پروپلیتیک قرار گرفته است. رگچه‌های سیلیس در این واحد همراه با آمیتیست هستند که کانه‌زایی مس و گالن در آنها دیده شده است (شکل ۲).

واحد Tda: گدازه‌هایی با ترکیب داسیت و به‌طور محدود آندزیت که با تناوب‌هایی

منطقه رحیمی در عرض جغرافیایی $35^{\circ} 08' 30''$ تا $35^{\circ} 12' 00''$ شمالی و طول جغرافیایی $43^{\circ} 30' 30''$ تا $49^{\circ} 49' 30''$ خاوری، در شمال‌باختر استان خراسان جنوبی و ۴۵ کیلومتری شمال‌باختر فردوس قرار گرفته است (شکل ۱). از نظر تقسیمات ساختاری – رسوبی (آقاناتی، ۱۳۸۳)، منطقه مورد مطالعه در شمال بلوک لوت قرار دارد. با توجه به حجم زیاد ماگماتیسیم در بلوک لوت و شرایط زمین‌ساختی ویژه که در زمان‌های مختلف در این بلوک وجود داشته، منابع متنوعی از کانی‌سازی‌های فلزی (مس، سرب، روی، طلا و غیره) و غیرفلزی در زمان‌های مختلف در این منطقه تشکیل شده است (Tarkian et al., 1983؛ کریم‌پور و همکاران، ۱۳۸۶). در این مطالعه، داده‌های ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای و سنگی با توجه به الگوی کانه‌زایی منطقه، مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

فعالیت‌های متعددی توسط افراد، شرکت‌ها و سازمان‌های مختلف با اهداف خاص در زمان‌های مختلف در بخش‌هایی از منطقه صورت گرفته (خراسانی، ۱۳۷۹؛ مهندسین مشاور کان ایران، ۱۳۸۱؛ ناجی، ۱۳۸۲؛ مهندسین زرناب اکتشاف، ۱۳۸۳؛ عزمی، ۱۳۸۴؛ مهندسین مشاور کان ایران، ۱۳۸۴؛ الماسی، ۱۳۸۵؛ پورخسرو، ۱۳۸۵؛ کریم‌پور و سعادت، ۱۳۸۵؛ خسروی، ۱۳۸۶) که به‌دلیل تفاوت در اهداف، مقیاس و موقعیت مکانی مطالعات، به‌رغم فعالیت‌های بارزوشی که انجام شده، نتایج پراکنده‌ای حاصل شده است.

۲- روش کار

به‌منظور دستیابی به یک نتیجه‌گیری منطقی و جامع از کانه‌زایی مس – طلا در منطقه رحیمی، ابتدا داده‌های خام ژئوشیمیایی گردآوری و در یک سامانه اطلاعات جغرافیایی واحد، ساماندهی و مورد پردازش دوباره زمین‌آماری قرار گرفتند (۵۱ نمونه رسوب آبراهه‌ای و ۱۱۵ نمونه سنگی پردازش شد و نقشه هاله‌های ژئوشیمیایی اولیه و ثانویه برای عناصر Au-Ag-As-Ba-Cu-Co-Hg-Mo-Pb-Sb-W-Zn تهیه شد). در نهایت، همه نتایج حاصل از پردازش‌های دوباره ژئوشیمیایی با شواهد صحرایی جدید از کانه‌زایی منطقه (که در قالب تهیه نقشه زمین‌شناسی اقتصادی ۱:۲۵۰۰۰ در منطقه تولید شده است) تحلیل و دو منطقه کانه‌زایی جدا از هم برای مطالعات نیمه‌تفصیلی معرفی شده است. لازم به یادآوری است که ۲۲ نمونه کانی‌سنگین در

۴- دگرسانی

بر پایه منطقه‌بندی، شکل، ابعاد و ارتباط آنها با توده‌های نفوذی و گسل‌ها، دست کم دو مجموعه از پهنه‌های دگرسانی در منطقه رخنمون دارند (الماسی، ۱۳۸۵؛ پورخسرو، ۱۳۸۵؛ خسروی، ۱۳۸۶؛ کریم‌پور و همکاران، ۱۳۸۷).

مجموعه زون‌های سیلیسی (سیلیس - سرسیت - پروپیلیتیک، سیلیس - پروپیلیتیک و سیلیس - سرسیت) در بخش خاور، شمال‌خاوری و جنوب منطقه و در راستای گسل رحیمی و گسل کجه است. این مجموعه با توده گرانیب پورفیری و مونزونیت پورفیری در ارتباط است.

مجموعه دگرسانی پروپیلیتیک، سرسیتیک و آرژیلیک که در باختر و شمال‌باختر منطقه رخنمون دارد. این دگرسانی‌ها با مجموعه توده‌های نفوذی مونزونیت-کوارتز مونزونیت و دیوریت در ارتباط هستند.

۴-۱. دگرسانی سیلیسی: سیلیس به صورت کوارتز ریزبلور به حالت رگچه، در متن سنگ و رگه‌های کوارتز و آمیتست حضور دارد. توده گرانیب پورفیری و سنگ‌های آتشفشانی مجاور آن به شدت سیلیسی شده‌اند، به گونه‌ای که رگچه‌های سیلیس فراوانی بیشتری دارند. در امتداد گسل‌های رحیمی و کجه، فراوانی رگه‌های کوارتز - آمیتست افزایش می‌یابد. با دور شدن از رخنمون گرانیب پورفیری، افزون بر کوارتز، کانی‌های سرسیت، کلریت و اپیدوت در سنگ دیده می‌شوند که براساس میزان فراوانی، زون سیلیسی خود به چند زون از جمله: زون سیلیس - سرسیت - پروپیلیتیک، زون سیلیس - پروپیلیتیک و زون سیلیس - سرسیت قابل تقسیم است.

۴-۲. دگرسانی سرسیتیک: این دگرسانی انواع مختلف دارد که نسبتاً گسترده بوده و بخش وسیعی را به‌ویژه در مرکز و باختر منطقه پوشش می‌دهد. براساس فراوانی، به انواع زون‌های سرسیت، سرسیت - سیلیس، سرسیت - آرژیلیک و سرسیت - پروپیلیتیک تقسیم می‌شود. این دگرسانی با کانی‌سازی مس همراه بوده و با توده‌های مونزونیت و کوارتز مونزونیت در ارتباط است.

۴-۳. دگرسانی آرژیلیک: این دگرسانی با شدت متوسط در باختر منطقه رخنمون دارد.

۴-۴. دگرسانی پروپیلیتیک: این دگرسانی گسترش نسبتاً زیادی دارد و به احتمال در چند مرحله زمانی رخ داده است. براساس میزان فراوانی کانی‌های دیگر به زون‌های: پروپیلیتیک، پروپیلیتیک - سرسیتیک - آرژیلیک و پروپیلیتیک - آرژیلیک تقسیم می‌شود. زون پروپیلیتیک - سرسیتیک - آرژیلیک، زون سرسیت را در برمی‌گیرد.

۵- کانی‌سازی

با توجه به شواهد سنگ‌شناسی و دگرسانی، کانی‌سازی در منطقه به احتمال در دو مرحله رخ داده است. در مرحله اول، کانی‌سازی وابسته به کوارتز مونزونیت - دیوریت پورفیری و در مرحله دوم کانی‌سازی وابسته به گرانیب و مونزونیت پورفیری.

رگه‌های کوارتز - آمیتست - فیروزه دارای مس - آهن (سرب - روی - مولیبدن - نقره) در شمال‌خاور - خاور و جنوب کوه رحیمی در ارتباط با توده نفوذی گرانیب و رگه‌های کوارتزی مس - آهن - سرب - روی - طلا در شمال‌باختر منطقه مرتبط با توده‌های نفوذی کوارتز مونزونیت - دیوریت پورفیری رخ داده است. معدن متروکه حیدری، یکی از معادن رگه‌ای قدیمی ایران است که پیشینه فعالیت‌های شدادی دارد و آثار سرباره مس در پیرامون آن به چشم می‌خورد. فعالیت‌های معدن‌کاری اخیر، شامل بهره‌برداری سطحی و زیرزمینی (۲۹ کارگاه) در امتداد رگه‌های اصلی و ترانشه و حفاری (۳ گمانه و جمعاً ۲۰۰ متر حفاری) است که براساس گزارش مهندسین مشاور کان ایران (۱۳۸۱)، در حدود ۴۳ و ۴۸ سال قدمت دارد. دو رگه تقریباً موازی در بخش جنوبی مرکز منطقه رخنمون دارد. رگه اصلی با راستای N50E حدود ۲ کیلومتر طول دارد.

از توف‌های داسیتی همراه هستند، این واحد را تشکیل می‌دهند. این واحد بر روی واحد ریولیتی Tr قرار دارد (شکل ۲).

واحد Tad: این واحد بیشترین گسترش را در مرکز نقشه دارد و عمدتاً شامل سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب آندزیت - داسیت است و گاه به صورت آذرآواری و توف رخنمون داشته و در برخی بخش‌ها به شدت سیلیسی و پروپیلیتیک شده است (شکل ۲). **واحد Trt:** این واحد گستره قابل توجهی را در باختر کوه رحیمی دربر گرفته است. ترکیب این واحد ریولیتی و به صورت توف با میان‌لایه‌هایی از چرت رخنمون دارد. این امر می‌تواند نشانگر وجود حوضه دریایی در زمان این گونه فعالیت‌های آتشفشانی باشد (شکل ۲).

واحد Ta: این واحد بیشتر ترکیب آندزیتی داشته و به رنگ قرمز تا قهوه‌ای بخش جنوبی و جنوب‌باختری محدوده مورد مطالعه را دربر گرفته است (شکل ۲). توده‌های نفوذی این منطقه، به‌طور عمده ترکیب مونزونیتی و گاه دیوریتی دارند. این توده‌ها عبارتند از:

واحد dr دیوریت پورفیری: در بخش‌های شمالی منطقه، واحد دیوریت پورفیری ریزبلور به شکل استوک رخنمون دارد و براساس شواهد صحرایی، قدیمی‌ترین واحد نفوذی در منطقه است (شکل ۲).

واحد Mz1 هورنبلند کوارتز مونزونیت پورفیری: این توده به صورت یک استوک در شمال‌خاور منطقه دیده می‌شود و گستره‌ای حدود ۰/۵ کیلومتر مربع را به شکل استوک به خود اختصاص داده است. این واحد بیشتر در دامنه‌ها رخنمون دارد و ارتفاع‌ساز نیست. بافت این سنگ پورفیری و دارای ۳۰ تا ۴۵ درصد درشت‌بلور است که بیشتر از نوع پتاسیم‌فلدسپارهای صورتی‌رنگ است. پلاژیوکلاز، کوارتز و هورنبلند ۲-۳ درصد و بیوتیت تا یک درصد، دیگر درشت‌بلورها را تشکیل می‌دهند (شکل ۲).

واحد Mz2 بیوتیت کوارتز مونزونیت پورفیری: این واحد در شمال واحد Mz1 به شکل استوک‌های کوچکی با وسعت حدود ۰/۵ کیلومتر مربع رخنمون دارد. بافت این سنگ پورفیری و میزان درشت‌بلور کمتر از ۲۵ درصد است و با حضور بیوتیت (۱ تا ۲ درصد) و نبود کوارتز به صورت درشت‌بلور از واحد قبلی متمایز می‌شود (شکل ۲). **واحد Mz4 هورنبلند مونزونیت پورفیری:** این واحد در جنوب کوه رحیمی با وسعتی حدود ۰/۲ کیلومتر مربع رخنمون دارد. بافت این سنگ پورفیری است و حدود ۳۵ درصد درشت‌بلور دارد (شکل ۲).

واحد La لائیت: این واحد با روند تقریبی شمال‌باختر - جنوب‌خاور و وسعتی معادل ۰/۶ کیلومتر مربع رخنمون دارد. دارای بافت پورفیری با خمیره ریزبلور و رنگ تیره، بیشتر ارتفاعات تپه‌ماهوری حاشیه جاده را تشکیل می‌دهد (شکل ۲).

واحد Mzd: در این واحد، مجموعه‌ای از سنگ‌های کوارتز مونزونودیوریت، کوارتز مونزونیت و مونزونودیوریت دیده می‌شوند که تمامی آنها دارای بافت پورفیری بوده و میزان درشت‌بلور آنها بین ۳۰ تا ۳۵ درصد متغیر است. در منطقه مورد مطالعه، مجموعه توده‌های نفوذی نیمه‌ژرف، تحت تأثیر دگرسانی‌های سرسیتیک، پروپیلیتیک و آرژیلیک واقع شده است. پیریت به صورت رگچه و افشان تا ۵ درصد دیده شده است (شکل ۲).

نهشته‌های آبرفتی و مخروطه‌افکنه‌ای جوان و قدیمی (Qt) و آبرفت‌های بستر رودخانه و آبراهه‌های (Qal) عهد حاضر، جدیدترین واحدهای سنگی منطقه را تشکیل می‌دهند (شکل ۲).

توده‌های نفوذی منطقه از نوع نیمه‌قلیایی و متاآلمینوس و سنگ‌های آتشفشانی بیشتر پرمتاآلمینوس هستند. همچنین این سنگ‌های آذرین از نوع کلسیمی - قلیایی غنی از پتاسیم و برخی شوشونیتی هستند. براساس طبقه‌بندی ایشی‌هارا، توده‌های نفوذی در محدوده رحیمی، بیشتر در گستره سری مگنتیت یا گرانیب‌های اکسیدی بوده و گرانیب پورفیری از سری ایلمنیت است. به‌غیر از گرانیب پورفیری، تمامی توده‌ها، جزو گرانیب‌های تیپ I هستند (کریم‌پور و همکاران، ۱۳۸۷).

مربوط به بخش‌های جنوب و جنوب‌باختر کوه رحیمی است که معادل ۸/۹ درصد و همراه با کانه‌زایی رگه‌ای است و بی‌هنجاری وسیعی در بخش‌های شمال‌باختر و باختر کوه رحیمی و منطبق با توده کوارتز مونزونیت پورفیری با میزان ۴/۱ درصد مس دیده می‌شود (شکل ۳).

کمترین مقدار مس در رسوبات آبراهه‌ای، معادل ۰/۱۵ ppm و بیشترین مقدار آن ۱۶۶ ppm است. داده‌های رسوب آبراهه‌ای تنها یک بی‌هنجاری محتمل در مرکز نقشه و مربوط به هاله ثانویه حوضه آبریز بخش‌های جنوب‌خاور کوه رحیمی و مرتبط با کانی‌سازی رگه‌ای است (شکل ۳).

۲-۴. هاله‌های ژئوشیمیایی اولیه و ثانویه طلا: بررسی‌های آماری نمونه‌های سنگی نشان می‌دهد که بیشترین مقدار طلا معادل ۹۰۰۰ ppb مربوط به کانه‌زایی رگه‌ای در خاور کوه رحیمی است و کمترین مقدار آن معادل ۰/۷۵ ppb است. در ۳ منطقه می‌توان بی‌هنجاری‌های ضعیف، متوسط و قوی هاله‌های ژئوشیمیایی اولیه را دید. بی‌هنجاری ضعیف در بخش‌های جنوبی کوه رحیمی با مقدار ۹۴۲ ppb مربوط به کانه‌زایی رگه‌ای، بی‌هنجاری متوسط در بخش‌های شمال‌باختر منطقه مرتبط با توده کوارتز مونزونیت پورفیری با مقدار ۳۴۰۰ ppb و بی‌هنجاری قوی در بخش‌های خاوری کوه رحیمی مربوط به کانه‌زایی رگه‌ای است (شکل ۴).

مطابق داده‌های رسوبات آبراهه‌ای در منطقه، بیشترین مقدار طلا در رسوبات آبراهه‌ای معادل ۴ ppb مربوط به هاله ثانویه حوضه آبریز بخش‌های خاوری کوه رحیمی و منطبق با بی‌هنجاری‌های ضعیف اولیه است و کمترین مقدار آن معادل ۰/۷۵ ppb است (شکل ۴).

۳-۴. هاله‌های ژئوشیمیایی اولیه و ثانویه نقره: بیشترین مقدار نقره در نمونه‌های سنگی معادل ۲۳۵ ppm مربوط به بی‌هنجاری قوی مرتبط با توده کوارتز مونزونیتی و کمترین مقدار آن ۰/۳۵ ppm است. هاله‌های ژئوشیمیایی اولیه متوسط تا ضعیفی در یک روند خطی از جنوب‌باختری تا شمال‌خاوری کوه رحیمی کشیده می‌شوند که دقیقاً منطبق با روند کانه‌زایی رگه‌ای در منطقه است (شکل ۵).

کمترین مقدار نقره در رسوبات آبراهه‌ای معادل ۰/۴۵ ppm و بیشترین مقدار آن معادل ۲/۲۵ ppm است. دو بی‌هنجاری محتمل نقره در دو بخش جنوبی و شمال‌خاوری کوه رحیمی و متعلق به هاله ثانویه حوضه آبریز کانه‌زایی رگه‌ای است (شکل ۵).

۴-۴. هاله‌های ژئوشیمیایی اولیه و ثانویه سرب: بیشترین میزان سرب در نمونه‌های سنگی برابر ۶/۶ درصد مربوط به بخش‌های شمال‌خاور کوه رحیمی و کمترین مقدار آن معادل ۲۰ ppm اندازه‌گیری شده است. هاله‌های اولیه در قالب بی‌هنجاری در امتداد جنوب‌باختر-شمال‌خاور کوه رحیمی در یک روند خطی مرتبط با کانه‌زایی رگه‌ای مشخص شده‌اند که مقادیر سرب در این بخش‌ها ۲-۶/۶-۲/۵ درصد است. افزون بر این، ۲ بی‌هنجاری در ارتباط با توده کوارتز مونزونیت پورفیری در بخش‌های شمال‌باختر و باختر کوه رحیمی دیده می‌شود که مقادیر سرب در این بی‌هنجاری‌ها ۴/۱ و ۲/۳ است (شکل ۶).

در نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای، بیش‌ترین و کمترین مقدار سرب به ترتیب برابر ۱۵۹ ppm و ۱۵/۲ ppm است. هاله‌های ثانویه مربوط به حوضه‌های آبریز دو بخش شمال‌خاوری و شمال‌باختری است که به ترتیب مربوط به حوضه‌های آبریز کانی‌سازی رگه‌ای (با مقادیر ۱۵۹-۱۰۱-۹۸/۶) و حوضه آبریز کانی‌سازی مرتبط با توده کوارتز مونزونیت پورفیری (با مقدار سرب ۱۴۵/۴ ppm) است (شکل ۶).

۵-۴. هاله‌های ژئوشیمیایی اولیه و ثانویه روی: بیشترین و کمترین مقادیر روی به ترتیب ۴/۱ ppm و ۱۴/۳ ppm در نمونه‌های سنگی اندازه‌گیری شده است. چهار بی‌هنجاری از پرازش داده‌های نمونه‌های سنگی روی مشخص شده است که ۲ بی‌هنجاری در بخش‌های جنوب‌باختر و شمال‌خاور کوه رحیمی مربوط به کانی‌سازی رگه‌ای (میزان روی برابر ۴/۱ و ۲ درصد) و ۲ بی‌هنجاری در بخش‌های شمال‌باختر و

کانی‌سازی مس به صورت رگه‌های کوارتز-آمتیست با روند شمال‌خاور-جنوب‌باختر در این محدوده، در راستای گسل رحیمی (از نوع گسل‌های عادی با راستای شمال‌خاوری-جنوب‌باختری به طول ۳/۵ کیلومتر و عرض ۵۰ متر و شیبی معادل ۸۵-۸۰ درجه به سمت شمال‌باختری) و در همبری توده‌های نفوذی نیمه‌ژرف و سنگ‌های آتشفشانی-آذرآواری رخ داده است. همان‌گونه که مشهود است، روند رگه‌های کانه‌دار، هم‌روند با واحدهای آتشفشانی-آذرآواری و گسل رحیمی است. این رگه‌ها شیب قائم تا نزدیک به قائم دارند و حفره‌های معدنی به موازات آنها و در عرض رگه‌ها (۱۰-۱ متر، به‌طور میانگین ۲/۵ متر) صورت گرفته است. فاصله رگه‌های اصلی از یکدیگر در حدود ۲۶۰ متر است. در حاشیه رگه‌ها، برش‌های گرمایی به چشم می‌خورد که قطعات آن از سنگ دیواره، سیلیس، قطعات تیره‌رنگ و سیمان آنها، بیشتر اکسید آهن و کربنات است. سنگ‌های میزبان نیز دارای سولفیدهای اکسید دانه‌پراکنده هستند که در حدود ۳-۲ درصد اکسید آهن را برای آنها می‌توان در نظر گرفت.

پاراژنز کانیایی در رگه‌ها براساس مطالعه مقاطع نازک-صیقلی شامل: پیریت، کالکوپریت، اسپیکولاریت، بورنیت و گالن به صورت اولیه و کالکوزیت، کوولیت-دیژنیت، مالاکیت، آزوریت، کریزوکولا، فیروزه، گوتیت، اکسیدهای آهن و کربنات به صورت ثانویه است. بافت کانه‌ها به شکل رگچه، برشی، جبهه‌ای، دانه‌پراکنده، کلوفرم و پراکنده فضای خالی است. کانی‌های باطله اصلی کوارتز و آمتیست است و اکسید آهن، کلریت و کربنات نیز دیده می‌شود. مجموعه فعالیت‌های اکتشافی قبلی با تمرکز بر این منطقه کانی‌سازی صورت گرفته که شواهد این پژوهش در ادامه منطقه دیگری با کانی‌سازی جدید معرفی می‌کند.

۶- ژئوشیمی

۱-۶. پردازش نمونه‌های سنگی: ۱۱۵ نمونه سنگی به منظور بارزسازی هاله‌های ژئوشیمیایی اولیه مورد پردازش قرار گرفت و نقشه‌های مربوط به هاله‌های ژئوشیمیایی اولیه برای عناصر Au-Ag-As-Ba-Cu-Co-Hg-Mo-Pb-Sb-W-Zn تهیه شد. برای نمایش هاله‌های ژئوشیمیایی اولیه، روش درون‌یابی عکس مجذور فاصله (IDW) به کار گرفته شد و به منظور انطباق آن با هاله‌های ژئوشیمیایی ثانویه به عنوان پایه نقشه‌های مربوط به هاله‌های ثانویه استفاده شده است.

۲-۶. پردازش رسوبات آبراهه‌ای: ۵۱ نمونه رسوب آبراهه‌ای به منظور بارزسازی هاله‌های ژئوشیمیایی ثانویه مورد پردازش دوباره قرار گرفت. به منظور جداسازی زمینه از بی‌هنجاری متغیرهای میانه (X) و انحراف معیار (S) محاسبه و مقادیر حد زمینه (معادل X)، بی‌هنجاری‌های ممکن (X+2S و X+3S) و احتمالی (X+3S) تعیین شد. به منظور نمایش از روش رسم نقشه‌های نمادین (Symbol Maps) برای عناصر Au-Ag-As-Ba-Cu-Co-Hg-Mo-Pb-Sb-W-Zn استفاده شد. به منظور انطباق با هاله‌های ژئوشیمیایی اولیه برای هر عنصر، این نقشه‌ها روی نقشه‌های مربوط به هاله‌های اولیه نمایش داده شده است (جدول ۲).

لازم به یادآوری است برای داده‌های سنسورد، به دلیل تعداد کم این‌گونه داده‌ها از روش جایگزینی ساده استفاده شده است. برای داده‌های کمتر از حد قابل ثبت پایینی ۳/۴ حد قابل ثبت پایینی (با در نظر گرفتن روش تجزیه و آزمایشگاه) جایگزین شده و هیچ نمونه‌ای بالاتر از حد قابل ثبت بالایی گزارش نشده است.

۷- بررسی هاله‌های اولیه و ثانویه و ارتباط آن با کانه‌زایی منطقه

۱-۷. هاله‌های ژئوشیمیایی اولیه و ثانویه مس: براساس عیار نمونه‌های سنگی، بیشترین مقدار مس معادل ۸/۹ درصد مربوط به کانه‌زایی رگه‌ای در جنوب کوه رحیمی و کمترین مقدار آن معادل ۷ ppm است. در دو منطقه نسبتاً وسیع بی‌هنجاری قوی مس به عنوان هاله‌های ژئوشیمیایی اولیه دیده می‌شود. قوی‌ترین بی‌هنجاری‌ها

نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای بین ۰/۴ تا ۲/۶ ppm آنتیموان نشان می‌دهند که تنها هاله ثانویه محتمل در مرکز کوه رحیمی و متعلق به حوضه آبریز کانی‌سازی رگه‌ای در منطقه است (شکل ۱۲).

۷-۱۱. هاله‌های ژئوشیمیایی اولیه و ثانویه آرسنیک: میزان آرسنیک در نمونه‌های سنگی منطقه بین ۰/۳ ppm تا ۷/۳ ppm متغیر بوده و هاله ژئوشیمیایی اولیه مربوط به بخش‌های جنوبی کوه رحیمی و کانی‌سازی رگه‌ای است (شکل ۱۳).

بیشترین و کمترین مقدار آرسنیک در نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای به ترتیب معادل ۱۵/۳ و ۰/۳۸ ppm است. هاله‌های ثانویه، هیچ‌گونه بی‌هنجاری محتملی در منطقه نشان نمی‌دهد، اما بی‌هنجاری‌های ممکن که در منطقه مشخص شده است، همگی مرتبط به هاله‌های ثانویه حوضه‌های آبریز کانی‌سازی رگه‌ای در جنوب و مرکز کوه رحیمی است (شکل ۱۳).

۷-۱۲. هاله‌های ژئوشیمیایی اولیه و ثانویه جیوه: بررسی‌های آماری نشان می‌دهد مقدار جیوه در نمونه‌های سنگی بین ۰/۰۱ تا ۲/۳۳ ppm متغیر است و تنها بی‌هنجاری قابل توجه در بخش خاوری کوه رحیمی و منطبق با هاله‌های ژئوشیمیایی اولیه بخش‌های خاوری کانه‌سازی رگه‌ای در منطقه است (شکل ۱۴).

بیشترین مقدار جیوه در نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای معادل ۰/۰۹ ppm و کمترین آن معادل ۰/۰۱ ppm است. بیشترین مقدار جیوه در بخش‌های جنوب‌خاوری منطقه و مربوط به حوضه آبریز کانی‌سازی رگه است که هیچ ارتباطی با هاله‌های ژئوشیمیایی اولیه ندارد و شاید این امر به دلیل ماهیت متحرک این عنصر در سطح باشد (شکل ۱۴).

۸- کانی سنگین

۲۹ نمونه کانی سنگین مربوط به مطالعات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور در منطقه مورد مطالعه قرار دارد. به دلیل کانه‌زایی محتمل IOCG در منطقه (براساس مشاهدات صحرایی)، داده‌های مربوط به اکسیدهای آهن (مگنتیت، هماتیت و اولیژیست) بررسی شده که موقعیت مکانی و عیار آنها تأییدکننده الگوی کانه‌زایی و شواهد صحرایی احتمالی در منطقه است.

بیشترین و کمترین مقدار کانی‌های مربوط به کانی‌های اکسید آهن در جدول ۳ آورده شده است. نمایش طبقه‌بندی میزان هر کدام از کانی‌ها به ppm تبدیل و نمایش داده شده است. همان‌گونه که در شکل‌های ۱۵، ۱۶ و ۱۷ مشخص است، موقعیت مکانی مربوط به پرعیارترین نمونه هر ۳ کانی (مگنتیت، هماتیت و اولیژیست)، همگی از حوضه‌های آبریز مربوط به کانی‌سازی رگه‌ای در منطقه منشأ گرفته است که نشان‌دهنده متفاوت بودن نوع کانه‌زایی بی‌هنجاری مربوط به کانه‌زایی رگه‌ای و بخش شمال‌باختری منطقه است.

۹- نتیجه‌گیری

از پردازش دوباره نمونه‌های سنگی و آبراهه‌ای که در منطقه انجام شده بود، در مجموع ۱۲ نقشه بی‌هنجاری اولیه و ثانویه از عناصر مختلف (جدول ۴) به دست آمد که از تمرکز مناطق بی‌هنجاری حداقل ۲ منطقه جدا از هم (از نظر مکانی و عناصر همراه) قابل درک است. این ۲ منطقه بی‌هنجار جدا از هم توسط مجموعه واحدهای سنگی، دگرسانی و الگوی کانه‌زایی نیز قابل تأیید است.

منطقه شماره ۱ مربوط است به کانی‌سازی رگه‌ای که از شمال‌خاور تا جنوب‌باختر کوه رحیمی گسترش یافته و بی‌هنجاری‌های مشخص اولیه و ثانویه از Cu-Au-Ag-Pb-Zn-Mo-Ba-Co-W-As-Sb-Hg پردازش نشان می‌دهد که عمده فعالیت‌های اکتشافی منطقه روی این بخش تمرکز یافته است و در حقیقت رگه‌های معدن فیروزه قدیمی حیدری بوده و مرتبط با توده گرانیت و موزوگرنایت پورفیری است. منطقه شماره ۲ از بی‌هنجاری‌های اولیه Cu-Pb-Zn-Ag-Au در پردازش داده‌های

باختر کوه رحیمی منطبق با توده کوارتز مونزونیت پورفیری هستند (میزان روی برابر ۳/۸ و ۱/۵ درصد) (شکل ۸).

براساس داده‌های رسوب آبراهه‌ای، بیشترین و کمترین میزان روی به ترتیب برابر با ۴۱/۹ ppm و ۱۱۵ ppm است و تنها یک بی‌هنجاری محتمل مربوط به هاله ثانویه حوضه آبریز شمال‌خاوری کوه رحیمی و بخش‌های خاوری کانی‌سازی رگه‌ای است (شکل ۷).

۷-۶. هاله‌های ژئوشیمیایی اولیه و ثانویه مولیبدن: در نمونه‌های سنگی، بیشترین مقدار مولیبدن برابر با ۱۴۱ ppm و کمترین مقدار آن معادل ۰/۰۷۵ ppm است. هاله‌های ژئوشیمیایی اولیه در قالب ۴ بی‌هنجاری مشخص با مقادیر ۸۰، ۴۰/۱، ۱۴۱ و ۱۰۵ ppm در منطقه مشخص است که در یک امتداد جنوب‌باختر-شمال‌خاور در راستای کانی‌سازی رگه‌ای قرار دارند. نکته حائز اهمیت این که مولیبدن هیچ‌گونه هاله ژئوشیمیایی اولیه‌ای با توده کوارتز مونزونیت پورفیری نشان نمی‌دهد (شکل ۸).

در نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای، بیشترین و کمترین مقدار مولیبدن به ترتیب برابر با ۵/۷ و ۰/۵ ppm است و تنها یک بی‌هنجاری محتمل در مرکز و منطبق با هاله ثانویه حوضه آبریز کوه رحیمی و کانی‌سازی رگه‌ای دیده می‌شود (شکل ۸).

۷-۷. هاله‌های ژئوشیمیایی اولیه و ثانویه باریم: بیشترین و کمترین مقدار باریم در نمونه‌های سنگی به ترتیب معادل ۳۹۵ و ۰/۱۵ ppm است. هاله‌های اولیه قوی در بخش‌های شمال‌خاور و خاوری منطقه مرتبط با بخش‌های خاوری کانی‌سازی رگه‌ای مشخص است. لازم به یادآوری است هیچ‌گونه بی‌هنجاری در ارتباط با توده کوارتز مونزونیت پورفیری مشخص نیست (شکل ۹).

در نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای، بیشترین مقدار معادل ۳۸۸ ppm و کمترین مقدار آن ۰/۱۵ ppm است و بی‌هنجاری‌های ممکن از باریم در بخش‌های شمال‌باختری منطقه مشخص می‌شود که انطباقی با هاله‌های ژئوشیمیایی اولیه ندارد (شکل ۹).

۷-۸. هاله‌های ژئوشیمیایی اولیه و ثانویه کبالت: در نمونه‌های سنگی، بیشترین مقدار کبالت ۱۶/۲ ppm و کمترین مقدار ۰/۱۵ ppm است. دو بی‌هنجاری در بخش‌های جنوب و جنوب‌خاوری کوه رحیمی منطبق با هاله‌های اولیه کانی‌سازی رگه‌ای با عیار ۱۶/۲ و ۱۶ ppm مشخص است (شکل ۱۰).

در رسوبات آبراهه‌ای، بیشترین و کمترین مقدار کبالت به ترتیب برابر با ۱۵ و ۰/۱۵ ppm است. پنج نمونه دارای مقادیری در حد بی‌هنجاری ممکن در منطقه هستند که ۲ بی‌هنجاری در بخش‌های شمال و شمال‌باختری کوه رحیمی و متعلق به هاله‌های ثانویه حوضه آبریز کوارتز مونزونیت پورفیری و ۳ بی‌هنجاری دیگر متعلق به حوضه آبریز مربوط به کانه‌زایی رگه‌ای هستند (شکل ۱۰).

۷-۹. هاله‌های ژئوشیمیایی اولیه و ثانویه تنگستن: بیشترین و کمترین مقادیر تنگستن در نمونه‌های سنگی، به ترتیب معادل ۱۶۱ و ۰/۰۸ ppm است که یک هاله ژئوشیمیایی اولیه در بخش جنوبی کوه رحیمی مرتبط با کانی‌سازی رگه‌ای نشان می‌دهد و هیچ‌گونه هاله اولیه‌ای در ارتباط با توده کوارتز مونزونیت پورفیری ندارد (شکل ۱۱).

میزان تنگستن در داده‌های رسوب آبراهه‌ای در بیشترین مقدار، معادل ۲/۳ ppm و در کمترین مقدار، معادل ۰/۰۸ ppm است و هیچ‌گونه بی‌هنجاری محتملی در منطقه نشان نمی‌دهد. در چند منطقه در مرکز، جنوب و بخش‌های خاوری کوه رحیمی، چند بی‌هنجاری ممکن که مربوط به هاله‌های ثانویه حوضه‌های آبریز کانی‌سازی رگه‌ای است به چشم می‌خورد (شکل ۱۱).

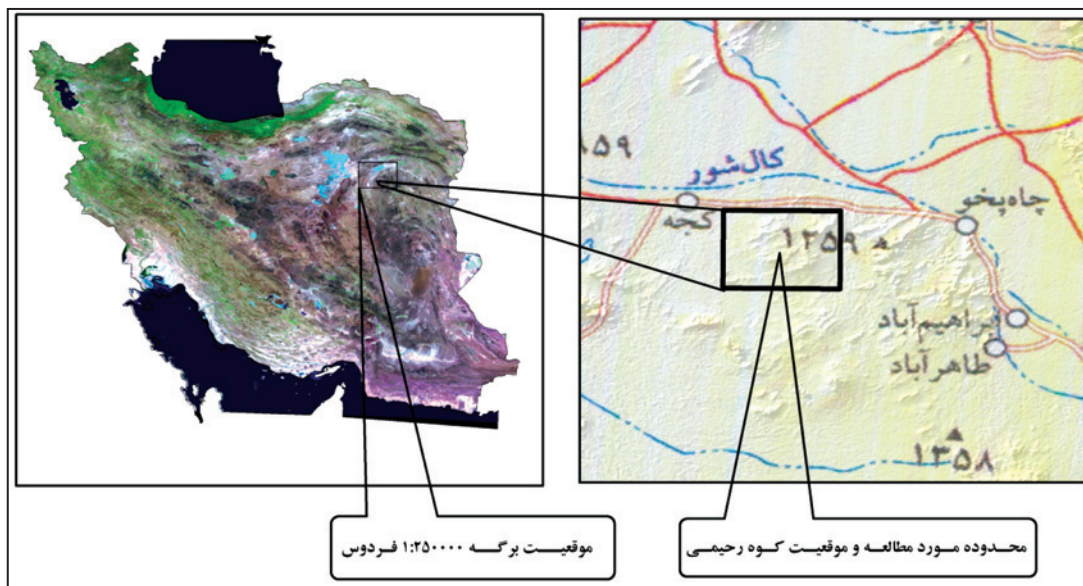
۷-۱۰. هاله‌های ژئوشیمیایی اولیه و ثانویه آنتیموان: در نمونه‌های سنگی، بیشترین مقدار آنتیموان، معادل ۲۸۲ ppm و کمترین مقدار معادل ۰/۸ ppm است. تنها هاله ژئوشیمیایی اولیه در بخش‌های جنوبی کوه رحیمی و منطبق با کانی‌سازی رگه‌ای در منطقه است (شکل ۱۲).

به دست آمده به همراه مجموعه پهنه‌های سیلیسی (سیلیس - سرسیت - پروپیلیتیک، سیلیس - پروپیلیتیک و سیلیس - سرسیت) و نیز کانی‌سازی با ساخت رگه‌ای، می‌تواند نشانه‌های حضور کانی‌سازی تیپ IOCG در بخش‌های شمال‌خاور، خاور و جنوب‌باختر منطقه باشد (Cox and Singer, 2007).

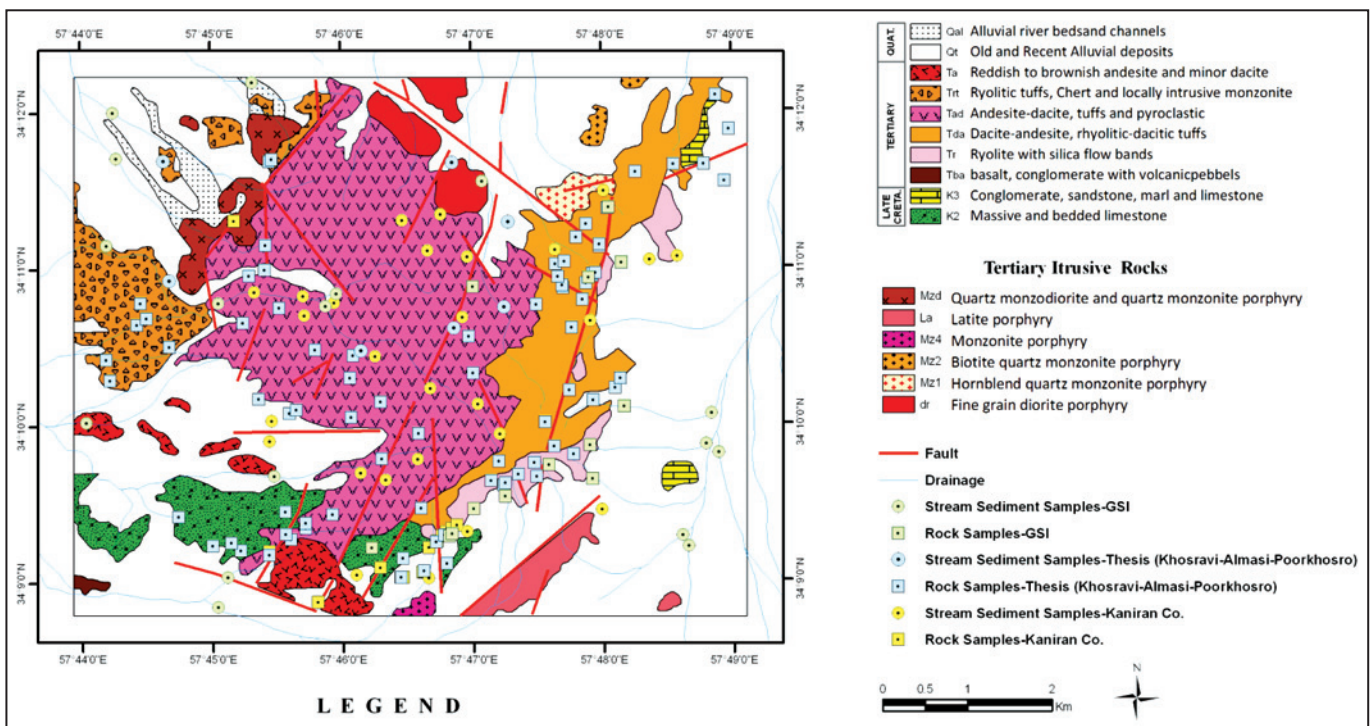
وجود بی‌هنجاری‌های Cu-Au-Ag-Pb-Zn به همراه مجموعه دگرسانی پروپیلیتیک، سرسیتیک و آرژلیک مرتبط با مجموعه توده‌های نفوذی مونزونیت-کوارتز مونزونیت و دیوریت به همراه کانی‌سازی پراکنده در متن سنگ، می‌تواند ناشی از حضور کانی‌سازی پورفیری در بخش‌های باختر و شمال‌باختری در منطقه باشد (Sillitoe, 2000).

ژئوشیمیایی در بخش شمال‌باختر و باختر منطقه مشخص شده است که ارتباط مکانی با واحد کوارتز مونزونیت-دیوریت پورفیری داشته و الگوی کانه‌زایی آن کاملاً متفاوت با رگه‌های منطقه شماره ۱ بوده و طی مشاهدات صحرایی و الگوی دگرسانی، محتمل بر وجود یک کانسار پورفیری مس در منطقه می‌تواند باشد. ضمن بررسی‌های صحرایی، آثار کنده‌کاری‌های شدادی و سرباره‌های ذوب مس در موقعیت این بی‌هنجاری مشخص شده است که می‌تواند به عنوان منطقه اکتشافی جدیدی برای مطالعات نیمه‌تفصیلی باشد.

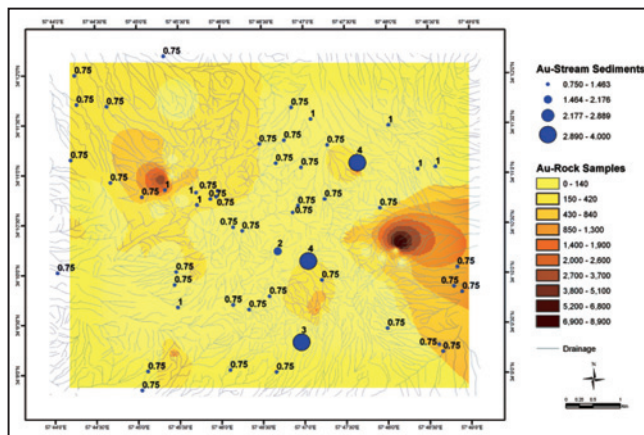
وجود بی‌هنجاری‌های Cu-Au-Ag-Pb-Zn-Mo-Ba-Co به همراه کانی‌های اکسید آهن (مگنتیت، هماتیت و اولیژست) که از حوضه آبریز کانی‌سازی رگه‌ای



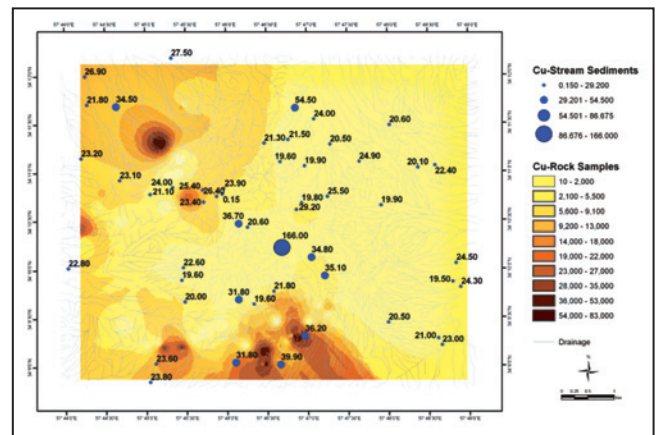
شکل ۱ - موقعیت و راه‌های دسترسی منطقه مورد مطالعه



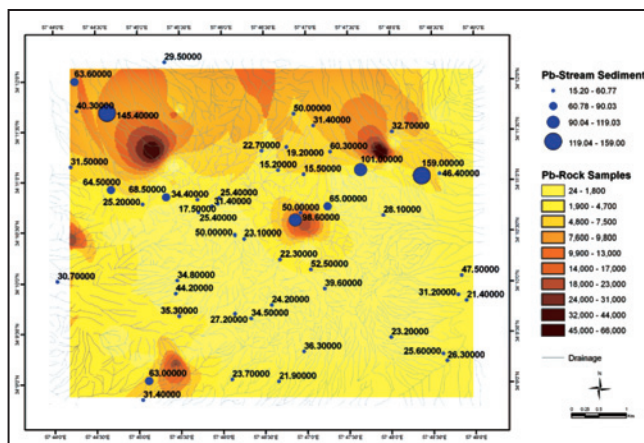
شکل ۲ - نقشه زمین‌شناسی و موقعیت نمونه‌های برداشت شده در منطقه مورد مطالعه



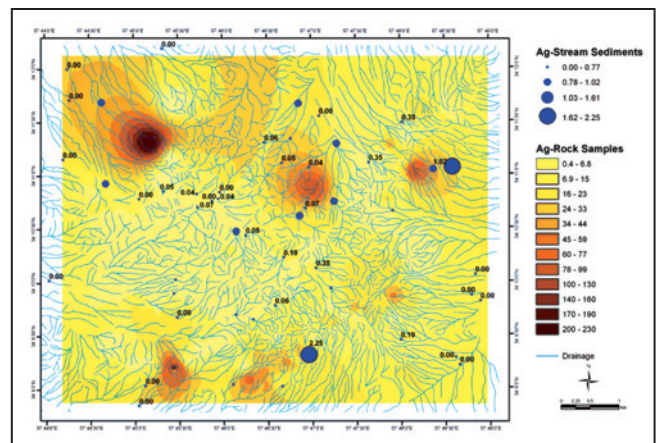
شکل ۴ - موقعیت هاله‌های اولیه (بی‌هنجاری‌های مربوط به داده‌های سنگی) و ثانویه (بی‌هنجاری‌های مربوط به رسوبات آبراه‌ای) عنصر طلا



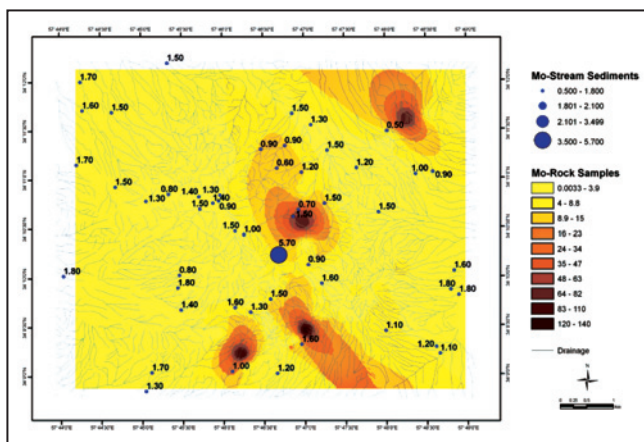
شکل ۳ - موقعیت هاله‌های اولیه (بی‌هنجاری‌های مربوط به داده‌های سنگی) و ثانویه (بی‌هنجاری‌های مربوط به رسوبات آبراه‌ای) عنصر مس



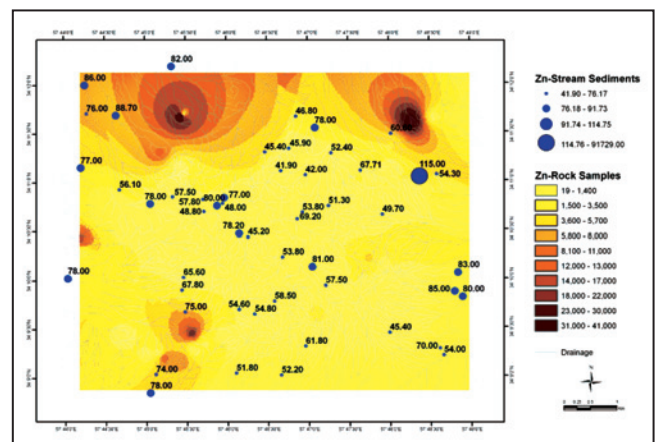
شکل ۶ - موقعیت هاله‌های اولیه (بی‌هنجاری‌های مربوط به داده‌های سنگی) و ثانویه (بی‌هنجاری‌های مربوط به رسوبات آبراه‌ای) عنصر سرب



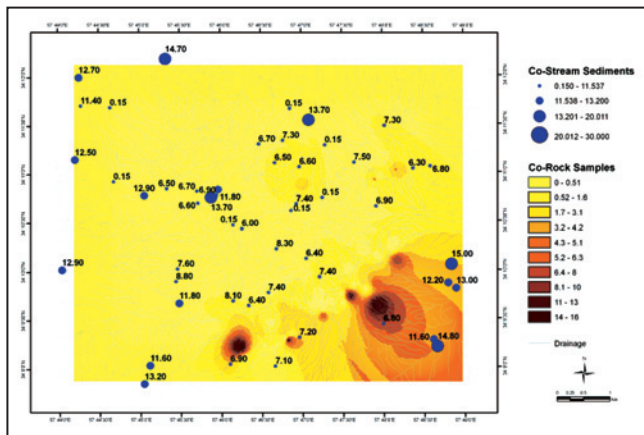
شکل ۵ - موقعیت هاله‌های اولیه (بی‌هنجاری‌های مربوط به داده‌های سنگی) و ثانویه (بی‌هنجاری‌های مربوط به رسوبات آبراه‌ای) عنصر نقره



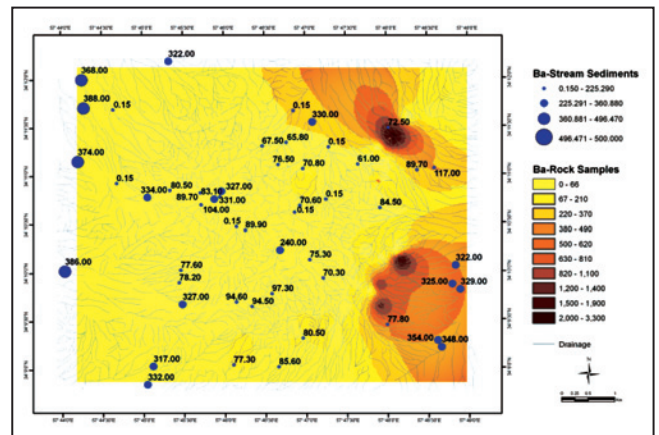
شکل ۸ - موقعیت هاله‌های اولیه (بی‌هنجاری‌های مربوط به داده‌های سنگی) و ثانویه (بی‌هنجاری‌های مربوط به رسوبات آبراه‌ای) عنصر مولیبدن



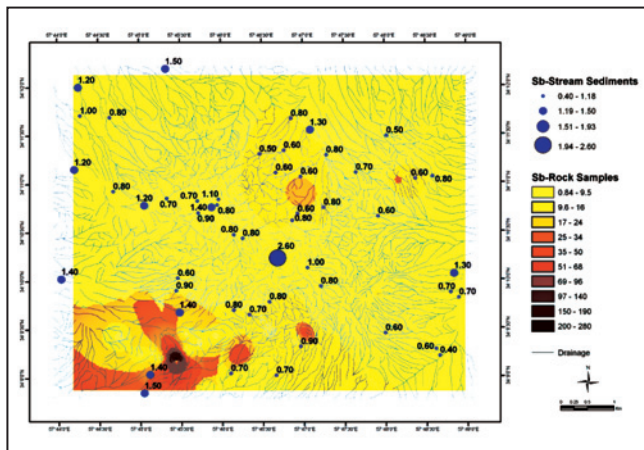
شکل ۷ - موقعیت هاله‌های اولیه (بی‌هنجاری‌های مربوط به داده‌های سنگی) و ثانویه (بی‌هنجاری‌های مربوط به رسوبات آبراه‌ای) عنصر روی



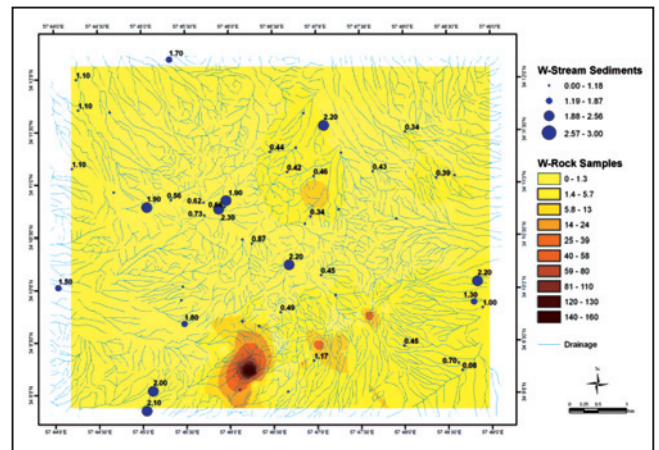
شکل ۱۰ - موقعیت هاله‌های اولیه (بی‌هنجاری‌های مربوط به داده‌های سنگی) و ثانویه (بی‌هنجاری‌های مربوط به رسوبات آبراه‌ای) عنصر کبالت



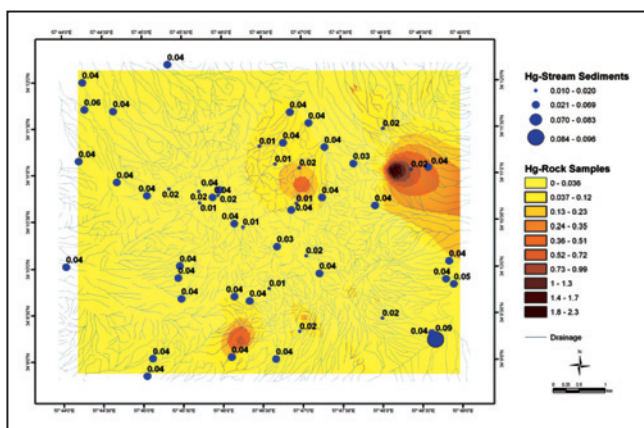
شکل ۹ - موقعیت هاله‌های اولیه (بی‌هنجاری‌های مربوط به داده‌های سنگی) و ثانویه (بی‌هنجاری‌های مربوط به رسوبات آبراه‌ای) عنصر باریم



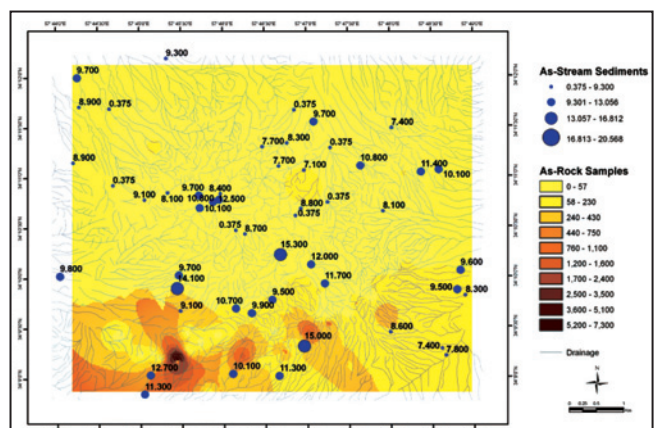
شکل ۱۲ - موقعیت هاله‌های اولیه (بی‌هنجاری‌های مربوط به داده‌های سنگی) و ثانویه (بی‌هنجاری‌های مربوط به رسوبات آبراه‌ای) عنصر آنتیموان



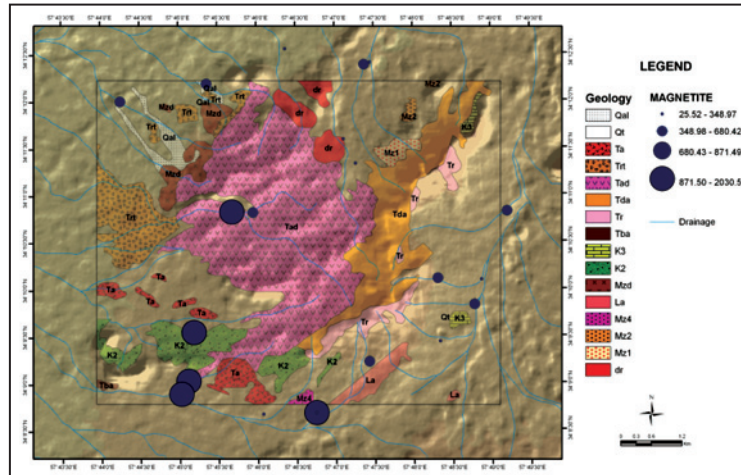
شکل ۱۱ - موقعیت هاله‌های اولیه (بی‌هنجاری‌های مربوط به داده‌های سنگی) و ثانویه (بی‌هنجاری‌های مربوط به رسوبات آبراه‌ای) عنصر تنگستن



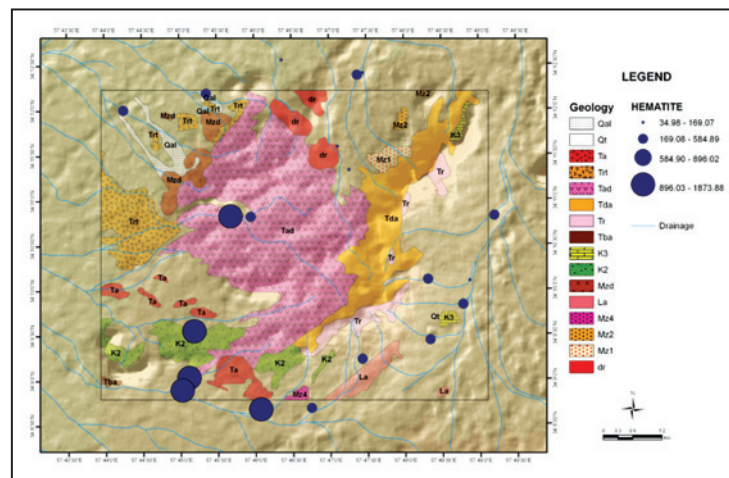
شکل ۱۴ - موقعیت هاله‌های اولیه (بی‌هنجاری‌های مربوط به داده‌های سنگی) و ثانویه (بی‌هنجاری‌های مربوط به رسوبات آبراه‌ای) عنصر جیوه



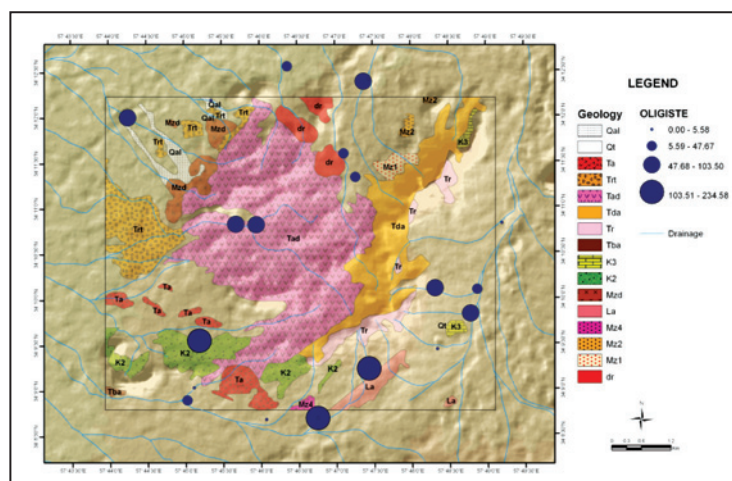
شکل ۱۳ - موقعیت هاله‌های اولیه (بی‌هنجاری‌های مربوط به داده‌های سنگی) و ثانویه (بی‌هنجاری‌های مربوط به رسوبات آبراه‌ای) عنصر آرسنیک



شکل ۱۵- میزان مگنتیت موجود در کانی‌های سنگین بر روی نقشه زمین‌شناسی منطقه



شکل ۱۶- میزان هماتیت موجود در کانی‌های سنگین بر روی نقشه زمین‌شناسی منطقه



شکل ۱۷- میزان اولیژیست موجود در کانی‌های سنگین بر روی نقشه زمین‌شناسی منطقه

جدول ۱- انواع و ویژگی‌های مربوط به داده‌های مورد استفاده

نوع داده	منبع	توضیحات
رسوب آبراه‌های	مهندسين مشاور كان ايران	تعداد ۲۷ نمونه- تجزيه به روش ICP-MS در آزمایشگاه Amdel استرالیا برای عناصر: Au-Ag-As-Ba-Be-Bi-Cu-Co-Cr-Hg-Mn-Mo-Ni-Pb-Sb-Sr-Sn-W-Zn
رسوب آبراه‌های	سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور	تعداد ۱۷ نمونه- تجزيه به روش ICP-MS در آزمایشگاه Amdel استرالیا برای عناصر: Au-Ag-Cr-Mn-Ni-Sr-Ba-Be-Ti-Fe-Al-La-V-Mg-K-Na-S-Zr-Ce-Tl-Sc-Ca-Li-P-Mo-Hg-As-Bi-Co-Cu-Sn-W-Cs-Nb-U-Cd-Rb-Th-Y-Pb-Sb-Zn
رسوب آبراه‌های	پورخسرو- خسروی- الماسی	تعداد ۷ نمونه- تجزيه به روش AA در دانشگاه فردوسی مشهد برای عناصر: Cu-Zn-Pb-Ag-Sn-Sb-Mo
نمونه سنگی	مهندسين مشاور كان ايران	تعداد ۱۶ نمونه- تجزيه به روش ICP-MS در آزمایشگاه Amdel استرالیا برای عناصر: Au-Ag-As-Ba-Cu-Pb-Sb-Zn
نمونه سنگی	سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور	تعداد ۱۷ نمونه- تجزيه به روش ICP-MS در آزمایشگاه Amdel استرالیا برای عناصر: Au-Ag-As-Ba-Be-Bi-Cu-Co-Cr-Hg-Mn-Mo-Ni-Pb-Sb-Sn-W-Zn
نمونه سنگی	پورخسرو- خسروی- الماسی	تعداد ۸۲ نمونه-تجزيه به روش AA در دانشگاه فردوسی مشهد (تجزيه طلا به روش کوره گرافیتی در سازمان زمین‌شناسی) برای عناصر: Au-Cu-Zn-Pb-Ag-Sn-Sb-Mo

جدول ۲- نتایج محاسبات زمین‌آماری بر روی داده‌های رسوبات آبراه‌های

Element	Min	Max	X	S	X+S	X+2S	X+3S
Ag(ppm)	0.04	2.25	0.35	0.42	0.771	1.192	1.612
As(ppm)	0.38	15.3	9.30	3.76	13.056	16.812	20.568
Au(ppb)	0.75	4	0.75	0.71	1.463	2.176	2.889
Ba(ppm)	0.15	388	89.70	135.59	225.290	360.880	496.470
Co(ppm)	0.15	15	7.30	4.24	11.537	15.774	20.011
Cu(ppm)	0.15	166	23.20	21.16	44.358	65.517	86.675
Hg(ppm)	0.01	0.09	0.04	0.01	0.054	0.069	0.083
Mo(ppm)	0.5	5.7	1.40	0.70	2.100	2.800	3.499
Pb(ppm)	15.2	159	31.50	29.27	60.767	90.034	119.301
Sb(ppm)	0.4	2.6	0.80	0.38	1.177	1.553	1.930
W(ppm)	0.08	2.3	0.49	0.69	1.180	1.870	2.560
Zn(ppm)	41.9	115	60.60	15.56	76.165	91.729	107.294

جدول ۳- بیشترین و کمترین مقدار کانی‌های اکسید آهن در کانی‌های سنگین منطقه

	Magnetite	Hematite	Oligiste	Total (Fe)
Min	25.52	34.98	0.01	60.51
Max	2030.56	1873.88	234.58	3401.03

جدول ۴- بررسی وجود یا عدم وجود هاله‌های اولیه و ثانویه در مناطق مختلف کانی‌سازی

عنصر	کانی‌سازی مرتبط با کوارتز مونوزیست - دیوریت پورفیری		کانی‌سازی رگه‌ای (شمال خاور تا جنوب باختر کوه رحیمی)	
	هاله ثانویه	هاله اولیه	هاله ثانویه	هاله اولیه
Cu		•	•	•
Au		•	•	•
Ag		•	•	•
Pb	•	•	•	•
Zn		•	•	•
Mo		•	•	•
Ba		•	•	•
Co	•		•	•
W			•	•
Sb			•	•
As			•	•
Hg			•	•

کتابنگاری

- آفانباتی، ع.، ۱۳۸۳- زمین شناسی ایران، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ ص.
- الماسی، ع.، ۱۳۸۵- بررسی قابلیت کانی سازی منطقه طاهرآباد شهرستان فردوس با استفاده از شواهد زمین شناسی، آلتراسیون، ژئوشیمی و ژئوفیزیک، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد.
- پورخسرو، م.، ۱۳۸۵- پترولوژی، آلتراسیون، کانی سازی و اکتشاف ژئوشیمیایی منطقه کجه شمال غرب فردوس، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد.
- خراسانی، م.، ۱۳۷۹- پتروگرافی، ژئوشیمی و پترولوژی سنگ های آتشفشانی غرب فردوس، پایان نامه کارشناسی ارشد پترولوژی، دانشگاه تربیت معلم.
- خسروی، م.، ۱۳۸۶- پترولوژی، آلتراسیون، کانی سازی و اکتشاف ژئوشیمیایی منطقه رحیمی شمال غرب فردوس. پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد.
- عز می، ح.، ۱۳۸۴- اکتشاف ژئوشیمیایی سیستماتیک در برکه ۱:۱۰۰۰۰۰ طاهرآباد، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- کریم پور، م. ح. و سعادت، س.، ۱۳۸۵- مطالعه و بررسی پتانسیل های معدنی و تعیین اولویت های اکتشافی با استفاده از داده های ماهواره ای، آلتراسیون، ژئوشیمی و ژئوفیزیک در محدوده ورقه طاهرآباد، مرکز تحقیقات ذخایر معدنی شرق ایران.
- کریم پور، م. ح.، عاشوری، ع. ر. و سعادت، س.، ۱۳۸۷- نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ طاهرآباد، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- کریم پور، م. ح.، ملک زاده شفاوردی، ا.، مظاهری، س. ا. و حیدریان، م. ر.، ۱۳۸۶- ماگماتیزم و انواع کانی سازی مس، طلا، قلع و تنگستن در بلوک لوت، مجموعه مقالات پانزدهمین همایش انجمن بلورشناسی و کانی شناسی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، ص. ۶۰۴-۵۹۸.
- مهندسین زرناب اکتشاف، ۱۳۸۳- انجام خدمات مشاوره عملیات اکتشاف مقدماتی مس، سرب و روی فردوس، سازمان صنایع و معادن استان خراسان.
- مهندسین مشاور کان ایران، ۱۳۸۱- اکتشاف مقدماتی مس، سرب و روی چاه پالون فردوس، سازمان صنایع و معادن استان خراسان، ۱۲۳ ص.
- مهندسین مشاور کان ایران، ۱۳۸۴- اکتشاف مقدماتی مس، سرب و روی چاه پالون فردوس- شرح حفاریات، سازمان صنایع و معادن استان خراسان.
- ناجی، س. م.، ۱۳۸۲- بررسی پتانسیل های معدنی منطقه چاه پولون واقع در غرب فردوس، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی اقتصادی، دانشگاه تربیت معلم.

References

- Cox, D.P. & Singer, D.A., 2007- Descriptive and grade-tonnage models and database for iron oxide Cu-Au deposits, U.S. Geological Survey. Open-File Report 2007-1155.
- Sillitoe, R.H., 2000- Gold-rich porphyry deposits; descriptive and genetic models and their role in exploration and discovery. Reviews in Economic Geology, 13: 315-345.
- Tarkian, M., Lotfi, M. & Baumann, A., 1983- Tectonic, magmatism and the formation of mineral deposits in the Central Lut (east Iran), Final report: Geodynamic Project (Geotraverse) in Iran, Geol. Surv. Iran, Rep. No. 51, p. 357-384.