نتایج مطالعات دورسنجی و علل بررسی هاله‌های مرکب در محدوده اکتشافی کهنگ

مریم فرمهینی فراهانی[۱*]، احمد خاکزاد[۲]، هوشنگ اسدی[۳] و محمد هاشم امامی [۴]

[۱] دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، کرج، ایران.
[۲] دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران.
[۳] دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.
[۴] پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۰۳/ ۱۱/ ۱۳۸۹ تاریخ پذیرش: ۱۷/ ۰۳/ ۱۳۹۰

چکیده

محدوده اکتشافی کهنگ در استان اصفهان و ۱۰ کیلومتری خاور شهرستان زفره، بر روی کمربند ولکانوپلوتونیکی ارومیه- دختر واقع شده و از نظر وجود ذخیره مس و مولیبدن پورفیری مستعد است. از آنجا که این ذخیره هیچ‌گونه رخنمونی در سطح ندارد و توسط هاله‌های ژئوشیمیایی اولیه و ثانویه احاطه شده است، برای بررسی ذخیره و اثبات حضور آن در ژرفا، استفاده از روش‌های غیرمستقیم از جمله مطالعه هاله‌های دگرسانی به روش دورسنجی و هاله‌های ژئوشیمیایی بر اساس روش‌های ژئوشیمیایی ضروری به نظر می‌رسد. در همین راستا، براساس پردازش داده‌های ماهواره‌ای و به کمک روش‌های مختلف دورسنجی، محدوده تأثیر مناطق دگرسانی و نواحی دارای اکسیدهای آهن مورد بررسی قرار گرفت. گفتنی است که با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای TM و به کمک روش PCA، گسل‌ها و خط‌واره‌های موجود در منطقه نیز شناسایی شدند و براساس تطابق خط‌واره‌های منطقه و نقشه‌های ژئوشیمیایی مشخص شد که کانه‌زایی در منطقه تا حدودی توسط این ساختارهای زمین‌ساختی کنترل می‌شود. سپس به منظور بررسی هاله‌های ژئوشیمیایی منطقه از نتایج تجزیه شیمیایی حدود ۳۲۰ نمونه ژئوشیمیایی برداشت‌شده از منطقه بهره گرفته شد. به دلیل توزیع نامنظم پراکندگی عناصر در هاله‌های مرتبط با توده پورفیری، در بررسی الگوی توزیع عناصر معرف و رسم نقشه‌ها، از داده‌های نرمال استفاده شد و از طرفی با توجه به اینکه در این پژوهش برای نیل به نتایج دقیق‌تر از روش هاله‌های مرکب استفاده شده است، تشخیص روابط بین عناصر، میزان همبستگی بین آنها و ارتباط آنها با سنگ‌های موجود در منطقه اجتناب‌ناپذیر است. در این راستا، از روش‌های آماری مختلفی همچون روش اسپیرمن، پیرسون، تحلیل خوشه‌ای و فاکتوری استفاده شد. سپس بر اساس نتایج حاصل از روش‌های بالا نحوه منطقه‌بندی هاله‌های ژئوشیمیایی بررسی و بدین ترتیب مشخص شد که بیشترین میزان تمرکز عناصر کم‌تحرک‌تر مانند مس و مولیبدن در بخش‌های مرکزی‌تر منطقه و در کوارتزمونزونیت‌ها و دیوریت‌ها صورت گرفته در صورتی‌که بیشترین میزان غلظت عناصر با تحرک بیشتر از جمله روی و نقره در بخش‌های حاشیه‌ای و در سنگ‌های آندزیتی اتفاق افتاده است.

کلیدواژه‌ها: ذخیره مس و مولیبدن پورفیری، دورسنجی، هاله‌های دگرسانی، هاله‌های ژئوشیمیایی، هاله‌های مرکب، کهنگ

***نویسنده مسئول:** مریم فرمهینی فراهانی
E-mail: fm_farahani@yahoo.com

۱- مقدمه

محدوده اکتشافی کهنگ در بخش شمال خاوری چهارگوش ۱:۲۵۰۰۰۰ اصفهان و در بخش شمال خاوری برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ کوهپایه (رادفر و کهنسال، ۱۳۸۱) واقع شده است (شکل ۱). این اندیس معدنی بر اساس مطالعات اولیه از نظر وجود ذخیره مس و مولیبدن پورفیری مستعد شناخته شده و در محدوده‌ای با مساحت تقریبی ۱۰ کیلومتر مربع (اسدی هارونی، ۱۳۸۵) و در یک شش ضلعی واقع است که با کمک کادر سرخ رنگ در تصاویرماهواره‌ای نشان داده شده است (شکل ۲).

۲- هدف مطالعه و روش کار

به‌طور کلی اهداف اصلی این پژوهش را می‌توان در چند مورد زیر خلاصه کرد:

- مطالعه و بررسی محدوده اکتشافی کهنگ از نظر شعاع تأثیر سیال‌های گرمابی.
- مشخص کردن نواحی دگرسانی و مناطق دارای اکسیدهای آهن و نواحی پوشش گیاهی با اعمال روش‌های مختلف دورسنجی.
- استخراج خط‌واره‌ها و بررسی ساختارهای زمین‌ساختی منطقه.
- بررسی هاله‌های ژئوشیمیایی برای شناخت پتانسیل‌های کانی‌سازی.
- بررسی موقعیت سطح فرسایش نسبت به محدوده کانی‌سازی احتمالی.
- تعیین مناسب‌ترین نقاط برای عملیات حفاری.

در اکتشاف کانسارهای بی‌رخنمون از روش‌های متنوعی استفاده می‌شود که در این راستا می‌توان به روش بررسی تصاویر ماهواره‌ای و مطالعه هاله‌های ژئوشیمیایی و کانی‌شناسی در برگیرنده نهشته‌های کانساری اشاره کرد. این هاله‌ها ارتباط ژنتیکی خوبی با پدیده‌های تشکیل کانسار دارند و تجلی اصول ژئوشیمیایی حاکم بر مهاجرت عناصر هستند. به همین دلیل الگوی منطقه‌بندی خوبی از خود نشان می‌دهند که با جهت جریان محلول‌های کانی‌ساز مرتبط است و با تشخیص درست آنها می‌توان به جهت و مرکز کانی‌سازی در منطقه پی برد؛ از طرفی، می‌توان از این اطلاعات در راستای تعیین سطح فرسایش منطقه نیز استفاده کرد (یزدی، ۱۳۸۱). الگوهای منطقه‌بندی کانی‌شناسی (دگرسانی) و ژئوشیمیایی در بیشتر مواقع، انطباق خوبی با یکدیگر دارند و تنها اختلاف اساسی آنها در روش جمع‌آوری داده‌های مربوط است؛ به‌گونه‌ای که در هنگام مطالعه هاله‌های کانی‌شناسی و دگرسانی باید به بررسی‌های دورسنجی، سنگ‌نگاری و سنگ شناسی بپردازیم. حال آن که در بررسی هاله‌های ژئوشیمیایی به روش‌های اکتشافی ژئوشیمیایی و نمونه‌های لیتوژئوشیمیایی اولیه و ثانویه نیاز است. در این پروژه، برای دستیابی به نتایج مستند و قابل قبول، از هر دو روش بهره گرفته شد.

۳- زمین‌شناسی محدوده اکتشافی

براساس مطالعات صحرایی و بررسی‌های سنگ‌نگاری در محدوده اکتشافی کهنگ مشخص شد که مهم‌ترین واحدهای سنگی منطقه شامل آندزیت، آندزیت پورفیری، داسیت پورفیری، دیوریت، میکروگرانیت پورفیری و کوارتزمونزونیت هستند (آفتابی و انوری، ۱۳۸۴). به‌گونه‌ای که گدازه‌های آندزیتی با سن ائوسن، کهن‌ترین واحد سنگی اندیس مس کهنگ به شمار می‌آیند (فرمهینی فراهانی، ۱۳۸۷) که به طور عمده در حاشیه‌های محدوده مورد بررسی واقع شده و تحت تأثیر دگرسانی پروپلیتیک قرار گرفته‌اند.

سنگ‌هـــای نیمه‌آتشفشـــانـــی آندزیت پورفیـــری و ریوداسیت پورفیـــری (Middlemost, 1994) موجود در منطقه که جوان‌تر از سنگ‌های پیشین هستند، تحت تأثیر دگرسانی آرژیلیک قرار گرفته‌اند. در بخش‌های داخلی‌تر، سنگ‌های کوارتزمونزونیت، میکروگرانیت پورفیری و میکروگرانیت پورفیری بیوتیت‌دار حضور دارند. نفوذ کوارتزمونزونیت به درون سنگ‌های کهن‌تر و نیمه‌ژرف همچون داسیت پورفیر و آندزیت پورفیر باعث دگرسانی آنها شده است. این واحد خود، تحت تأثیر محلول‌های گرمابی تا حدودی به کانی‌های رخساره فیلیـک و گاه پروپیلیتیـک تبدیل شده است. میکروگرانیت‌هـای پورفیری از جوان‌ترین سنگ‌هـای محـدوده اکتشـافـی کهنگ به شمار می‌آیند.

به‌طور کلی بر اساس بررسی‌های دورسنجی و سنگ‌نگاری انجام شده در منطقه می‌توان گفت بیش از ۹۰٪ سنگ‌های محدوده اکتشافی تحت تأثیر سیال‌های گرمابی به مقدار کم تا زیاد دگرسان شده و افزون بر آن تحت تأثیر حرکات زمین‌ساختی نیز قرار گرفته‌اند. همچنین در بخش‌هایی از منطقه، برش‌های گرمابی و دایک‌های قلوه‌سنگی که از شواهد کانسارهای پورفیری هستند دیده می‌شوند (کریم پور و همکاران، ۱۳۸۴).

۴- مطالعات دورسنجی در کهنگ

با توجه به اینکه هر صحنه اطلاعاتی، محدوده‌ای در حدود ۱۸۰ کیلومتر در ۱۸۰ کیلومتر را پوشش می‌دهد با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS محدوده کهنگ از این صحنه برش داده شد. این امر ضمن کاهش اثرات طیفی عوارض غیر مرتبط، موجب افزایش سرعت عملیات پردازش می‌شود (طاهری‌کیا، ۱۳۷۵). در ادامه، تصحیحات رادیومتری و هندسی بر روی تصویر اعمال شد. همچنین برای بالابردن دقت مکانی، باندهای ۱ تا ۵ و ۷، توسط باند ۸ مورد عمل Sharpening قرار گرفتند.

سپس به منظور شناخت کلی منطقه، داده‌های رقومی ETM محدوده، برای شناسایی محدوده های تحت تأثیر دگرسانی و نواحی دارای اکسیدهای آهن مرتبط با کانی‌سازی‌های احتمالی و بررسی زمین‌ساخت منطقه اکتشافی، پردازش و تفسیر شدند (Sillitoe, 2003). در این راستا از روش‌های متنوعی استفاده شد که عبارتند از: روش ترکیب رنگی مجازی (RGB)، روش نسبت‌های باندی (Band Ratios)، تحلیل مؤلفه اصلی (Principal Components Analisys)، روش تطبیق کمترین مربعات (Ls Fit).

در روش ترکیب رنگی مجازی با استفاده از باندهای 7(R)، 4(G) و 1(B) و با اعمال روش Interactive Stretching (به منظور افزایش قدرت جدایش واحدهای سنگی) تصویر مناسبی از محدوده مورد بررسی تهیه شد. این روش برای مشاهدات و بررسی‌های اولیه از جمله تشخیص ترکیب‌های سنگی، پوشش گیاهی و همبری واحدهای زمین‌شناسی مناسب است (شکل ۱). سپس با استفاده از نسبت‌های باندی ۳ به ۱، ۵ به ۷ و ۴ به ۳ به ترتیب محدوده‌های دارای اکسیدهای آهن، مناطق دارای کانی‌های هیدروکسیل‌دار (مناطق دگرسان‌شده) و مناطق پوشش گیاهی در منطقه اکتشافی آشکارتر شدند و در پایان از همه این نسبت‌ها یک تصویر RGB تهیه شد (شکل ۲).

سپس در ادامه، از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای بارزسازی نواحی دگرسانی و مناطق دارای اکسید آهن استفاده شد. برای این منظور، روش کروستا به کار گرفته شد. در این روش، اطلاعات چند تصویر در یک تصویر متراکم می‌شود تا اختلاف درجات روشنایی به بیشترین حد برسد. در انتخاب باندها برای اعمال روش PCA باید باندهایی را انتخاب کرد که با یکدیگر همبستگی کمتری داشته باشند. زیرا هر چه میزان همبستگی باندها کمتر باشد ترکیب آنها اطلاعات بیشتری خواهد داشت. این روش، تحلیل مؤلفه‌های اصلی را برای چهار باند مشخص انجام می‌دهد (Kariuki et al., 2004). برای بارزکردن مناطق دارای اکسیدهای آهن، ابتدا باندهای ۱، ۳، ۴ و ۵ انتخاب و عملیات PCA برروی آنها انجام شد. در بین مؤلفه‌های حاصل، مؤلفه شماره ۴ (PC4) همبستگی منفی بالایی با باند ۱ نشان داد (شکل ۳). سپس برای مشخص‌شدن نواحی دگرسانی، باندهای ۱، ۴، ۵ و ۷ انتخاب شدند. پس از اعمال عملیات PCA مشخص شد که مؤلفه شماره ۴ (PC4) همبستگی منفی بالایی با باند ۷ نشان می‌دهد و بر همین اساس، تصویر نواحی متأثر از سیال‌های گرمابی مشخص و سپس با تلفیق داده‌های بالا، تصویر رنگی منطقه تهیه شد (شکل ۴). در مرحله بعد، از روش تطبیق کمترین مربعات (Ls-Fit) برای آشکارسازی نواحی دگرسانی در محدوده اکتشافی کهنگ استفاده شد. بدین منظور، برای مشخص‌شدن مناطق دارای اکسیدهای آهن از باندهای ۱، ۲، ۴، ۵ و ۷ به‌عنوان متغیرهای ورودی و باند ۳ به‌عنوان باند مدل استفاده شد. به منظور تفکیک مناطق دارای کانی‌های هیدروکسیل‌دار (مناطق دگرسانی) باندهای ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ به‌عنوان متغیرهای ورودی و باند ۷ به‌عنوان باند مدل در نظر گرفته شدند (شکل ۵). همچنین برای تفکیک مناطق دارای پوشش گیاهی باندهای ۱، ۲، ۳، ۵ و ۷ به‌عنوان متغیرهای ورودی و باند ۴ به‌عنوان باند مدل در نظر گرفته شد. در پایان یک تصویر رنگی با خروجی سه باند بالا از این روش ساخته شد (شکل۶).

با توجه به مقیاس و بازه دید تصاویر ماهواره‌ای، به سادگی می‌توان با اشراف کامل به محدوده مورد مطالعه ساختارهای خطی را مشخص کرد. برای استخراج بهتر این ساختارها می‌توان از برخی فیلترها استفاده کرد. در این پژوهش، برای استخراج خط‌واره‌ها از روش مؤلفه اصلی با اعمال فیلتر نوع Sobel استفاده شد. بدین وسیله مشخص شد که در محدوده کهنگ چندین گسل اصلی با دو روند NE-SW و NW-SE حضور دارند، مهم‌ترین گسل موجود در منطقه به طول ۷۰۰ متر با روند NE-SW از بخش مرکزی سامانه دگرسانی و منطقه دارای پتانسیل بالای کانی‌سازی عبور می‌کند. این گسل در امتداد چند دره ژرف با گسل‌های با روند NW-SE و شمالی- جنوبی قطع شده است. در مرکز سامانه دگرسانی چندین ساختار حلقوی کوچک وجود دارد. به نظر می‌رسد که ساختارهای زمین‌ساختی، در ایجاد کانی‌سازی و دگرسان‌کردن واحدهای مختلف سنگی موجود در منطقه نقش مؤثری داشته‌اند (شکل ۷) (فرمهینی فراهانی، ۱۳۸۷).

۵- علل بررسی هاله‌های مرکب در محدوده اکتشافی کهنگ

از آنجا که در اکتشاف ذخایر پورفیری از روش‌های غیرمستقیم بهره گرفته می‌شود، برای رسیدن به نتایج بهتر و دقیق‌تر و جلوگیری از به هدر رفتن هزینه‌های هنگفت اکتشافی باید از روش‌های مختلف از جمله روش‌های کاربردی مبتنی بر داده‌هـای ژئوشیمیایی استفـاده کرد. در این پژوهش نیز ابتـدا از روش‌هـای مختلف آمـاری (از جمله روش‌های دومتغیره و چندمتغیره همچون روش تحلیل خوشه‌ای و تحلیل فاکتوری) برای تعیین عناصر مرتبط بهره گرفته (حسنی‌پاک و شرف الدین، ۱۳۸۰) و در ادامه، از نتایج حاصل برای به‌کارگیری روش هاله‌های مرکب استفاده شد. مهم‌ترین علل استفاده از این روش در زیر آورده شده است:

- از آنجا که در بسیاری از موارد ممکن است هاله‌های ژئوشیمیایی مرتبط با توده‌های کانساری با مناطق با کانی‌سازی پراکنده اشتباه گرفته شود (مناطق با کانی‌سازی پراکنده ارزش اقتصادی ندارند)، برای جدایش این دو از یکدیگر از روش توالی منطقه‌بندی عناصر معرف و هاله‌های مرکب شاخص جمعی بهره گرفته می‌شود. پیداست که بیشترین مقدار شاخص جمعی دلالت بر نزدیک‌ترین نقطه به توده کانساری دارد. حال آن که در مناطق با کانی‌سازی پراکنده نه تنها توالی منطقه‌بندی به چشم نمی‌خورد، بلکه افزایش آشکار در مقادیر شاخص جمعی عناصر به طرف مرکز نیز دیده نمی‌شود .

- از آنجا که در هنگام استفاده از هاله‌های جمعی با تعداد نمونه‌های بیشتر و عناصر مختلفی روبرو هستیم، این مسئله باعث می‌شود که نواحی بی‌هنجاری ارائه‌شده اهمیت و دقت بیشتری داشته باشند. از طرفی، تجربه نشان داده است که اگر ترکیبی

از مقادیر یک گروه از عناصر به جای مقدار یک عنصر خاص به کار گرفته شود، هاله‌های ژئوشیمیایی اطراف توده‌های کانساری بهتر نمایان می‌شوند.

– نکته قابل توجه دیگر این است که در هنگام بررسی‌های اکتشافی باید به مسئله سطح فرسایش توده کانساری و مناطق بی‌هنجاری توجه کرد، زیرا ممکن است بی‌هنجاری‌های مشخص‌شده متعلق به هاله‌های زیر توده کانساری باشد یا به عبارت ساده‌تر، کانسار بر اثر فرسایش از بین رفته باشد. در این صورت، بی‌هنجاری‌های معرفی‌شده ارزش اقتصادی ندارند. توجه نداشتن به این مسئله، باعث به هدر رفتن هزینه‌های اکتشافی می‌شود. برای جلوگیری از این مشکل می‌توان از روش Solovof استفاده کرد. در این راستا بایستی از نسبت هاله‌های مرکب عناصر فوق‌کانساری به تحت‌کانساری استفاده شود.

نکته قابل توجه آن که برای دریافت نتایج بهتر، نمونه‌برداری‌ها از خاک به‌صورت سامان‌مند و بخشی از نمونه (جزء ۸۰– مش خاک) انجام شد. این کار به منظور شدت بخشی نواحی بی‌هنجاری و بزرگ‌تر کردن عرض هاله‌ها صورت گرفته است (حسنی پاک، ۱۳۷۷).

۶– روش بررسی‌های ژئوشیمیایی و رسم نقشه‌های هاله‌های مرکب در محدوده کهنگ

در بررسی هاله‌های ژئوشیمیایی کهنگ، بیشترین مراحل داده‌پردازی و رسم نقشه‌ها بر اساس ۱۰ عنصر مرتبط با این ذخایر (Barnes, 1979) همچون Ag، Sb، As، Mn، Ba، Pb، Zn و Au انجام شد. با توجه به این که بررسی‌ها بر اساس نتایج تجزیه نمونه‌های سطحی و به منظور تأیید حضور توده کانساری در ژرفا انجام گرفته است باید توالی منطقه‌بندی عناصر معرف در منطقه مورد تأیید قرار گیرد. توالی تجمع عناصر در بیشتر معادن مس و مولیبدن پورفیری از خارج به سمت مرکز توده به‌ترتیب به صورت Ba، As، Sb، Ag، Pb، Au، Zn، Bi، Cu و MO است از طرفی، با توجه به مسئله توزیع نامنظم پراکندگی عناصر در هاله‌های مرتبط با این نهشته‌ها باید در بررسی الگوی توزیع عناصر معرف و رسم نقشه‌ها از داده‌های عادی استفاده شود. در این پروژه برای مشخص شدن الگوی توزیع، نقشه‌های تک‌عنصری به روش حد آستانه‌ای به اضافه مقادیری از انحراف معیار رسم شد و بدین وسیله مشخص شد که بیشترین میزان غنی‌شدگی عناصر سرب، روی، آرسنیک، نقره و آنتیموان در حواشی محدوده اکتشافی اتفاق افتاده است. حال آن که بیشترین مقادیر عناصر مس و مولیبدن متعلق به بخش‌های مرکزی‌تر منطقه است و این موضوع خود تأییدی بر توالی منطقه‌بندی عناصر معرف در سطح و وجود توده پورفیری در ژرفا است (Rose & Burt, 1979; Sillitoe, 1983).

سپس برای آشکارتر شدن الگوی منطقه‌بندی در نقشه‌های منطقه از دو روش استفاده شد. ابتدا بر اساس نتایج حاصل از روش تحلیل فاکتوری، نقشه‌های فاکتوری رسم و بدین وسیله مشخص شد که عناصر سرب، نقره، آرسنیک و آنتیموان همبستگی خوبی با یکدیگر دارند، عناصر منگنز، روی و باریم با یکدیگر مرتبط هستند و مس و مولیبدن نیز در یک گروه قرار می‌گیرند.

سپس بر اساس نتایج به‌دست آمده از روش‌های آماری اسپیرمن و پیرسون و تجزیه خوشه‌ای، عناصر همسو و مرتبط مشخص و بر همین اساس نقشه‌های هاله مرکب جزیی محدوده اکتشافی رسم شدند. در رسم نقشه‌های هاله مرکب جمعی و ضربی (حسنی‌پاک، ۱۳۷۷) عناصر مس و مولیبدن، سرب و روی، آرسنیک و آنتیموان از روش کریجینگ استفاده و تغییرات عیار متغیرهای ژئوشیمیایی با رنگ‌های متفاوت از کمترین (به رنگ آبی) تا بیشترین (به رنگ سرخ) با تغییرات تدریجی رنگ‌آمیزی شده است.

سپس برای رسیدن به نتایج بهتر و تعیین نقاط بهینه برای حفاری از تغییرات نسبت قدرت تولید خطی هاله‌های مرکب عناصری که در بخش بالایی کانسار واقع‌اند (Sb، Pb و As) به قدرت تولید خطی هاله‌های عناصر بخش پایینی توده (Mo و Cu) بهره گرفته و بدین ترتیب از نسبت مجموع داده‌های نرمال استاندارد عناصر فوق‌کانساری منطقه به عناصر تحت‌کانساری استفاده شد و بدین وسیله نقشه‌های هاله مرکب نسبت مجموع آرسنیک و آنتیموان به مجموع مس و مولیبدن Sb+As/Cu+Mo و مجموع سرب و روی به مجموع مس و مولیبدن Pb+Zn / Cu+Mo رسم شدند. باید توجه داشت که نواحی بی‌هنجاری معرفی‌شده با این روش، بیشترین دقت و اهمیت را دارند و بیشترین مقادیر شاخص جمعی نیز دلالت بر نزدیک‌ترین منطقه به توده کانسار خواهند داشت (شکل ۱۵)

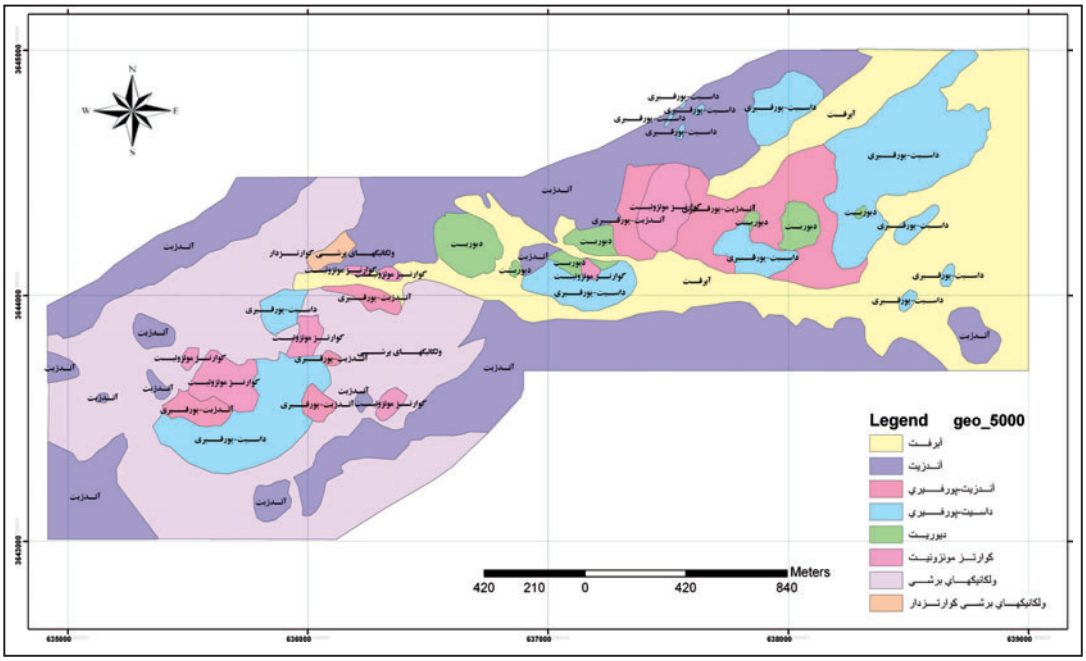
۷– ارزیابی سطح فرسایش در محدوده اکتشافی کهنگ

در این پروژه اکتشافی، برای ارزیابی سطح فرسایش در محدوده کانساری، از روش Solovof که مبتنی بر منطقه‌بندی قائم عناصر است، استفاده شد. بر این اساس، برای به تصویر کشیدن بهتر الگوهای منطقه‌بندی به جای استفاده از نتایج تجزیه تک‌عنصری از نسبت مجموع مقادیر تجزیه عناصر با تحرک بیشتر به عناصر کم تحرک‌تر نزدیک به مرکز نهشته استفاده می‌شود. در این صورت اگر مقدار نسبت مجموع داده‌های نرمال استاندارد عناصر فوق‌کانساری به عناصر تحت‌کانساری بزرگ‌تر از یک باشد، می‌توان نتیجه گرفت که کانسار در ژرفا قرار دارد و توسط فرسایش از بین نرفته است. البته باید توجه داشت که در این محاسبات، از مقادیر حد آستانه و بالاتر استفاده شود. در محدوده اکتشافی کهنگ ابتدا از نسبت مقادیر مجموع داده‌های نرمال استاندارد عناصر فوق‌کانساری سرب و روی به مس و مولیبدن و سپس از نسبت مجموع داده‌های نرمال استاندارد آرسنیک و آنتیموان به عناصر تحت‌کانساری مس و مولیبدن استفاده شد. بدین ترتیب، مقدار V بر اساس محاسبه درصد فراوانی‌های تجمعی در حالت اول ۹/۳۸۰۴۴ و در حالت دوم ۸/۵۱۷ در نظر گرفته شد و مشخص شد در هر دو حالت، این مقدار در محدوده هاله‌های ژئوشیمیایی بزرگ‌تر از یک است و این مسئله نشان‌دهنده آن است که کانسار براثر فرسایش از بین نرفته است (جدول ۱).

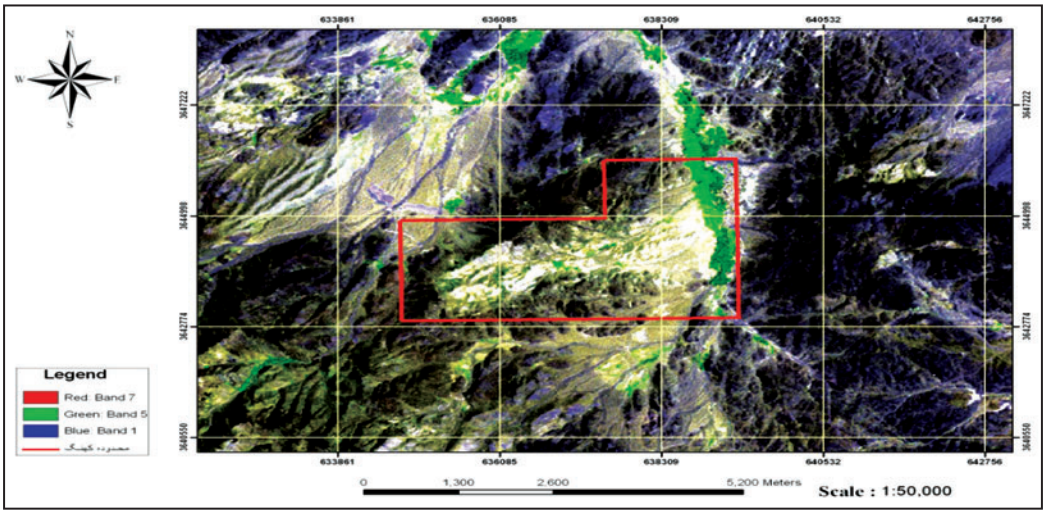
۸– نتیجه‌گیری

بر اساس مطالعات دورسنجی در کهنگ، مشخص شد که بیش از ۹۰٪ واحدهای سنگی این محدوده ۱۰ کیلومتر مربعی، تحت تأثیر سیال‌های گرمابی دگرسان شده است. در همین راستا و با استفاده از روش‌های مختلف دورسنجی، نواحی دارای کانی‌های هیدروکسیل‌دار و رسی، مناطق دارای اکسیدهای آهن و نواحی پوشش گیاهی در محدوده اکتشافی از یکدیگر جدا شدند. همچنین با کمک مطالعات دورسنجی و با استفاده از روش PCA، خط‌واره‌ها و خطوط گسلی منطقه رسم شد و بر اساس تطابق این خطوط با نقشه‌های ژئوشیمیایی، ارتباط مستقیم ساختارهای زمین‌ساختی با کانه‌زایی در منطقه آشکار شد.

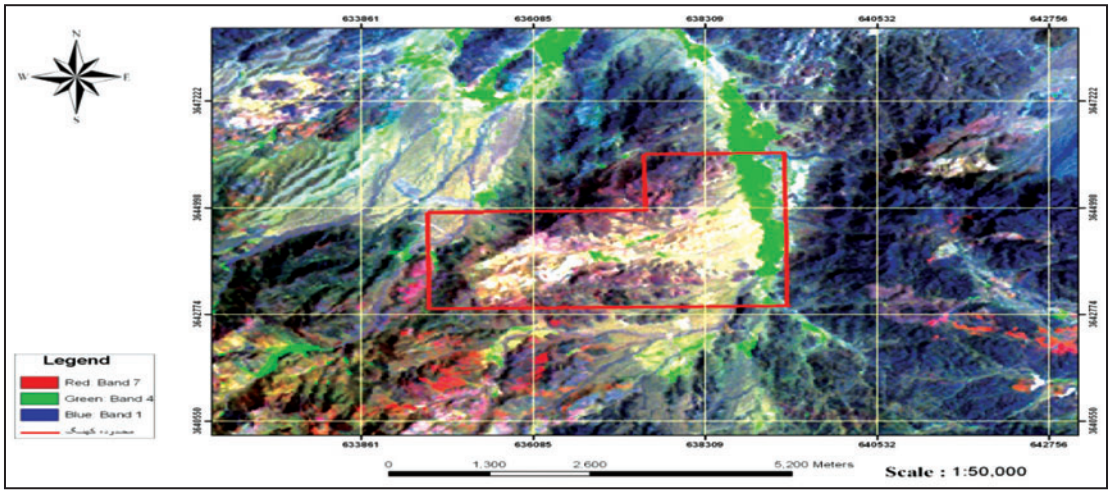
به منظور بررسی الگوی منطقه‌بندی عناصر مرتبط با ذخایر مس و مولیبدن پورفیری از محاسبات آماری و روش‌های ژئوشیمیایی بهره گرفته شد و در این راستا، برای تشخیص عناصر مرتبط با کانسار از روش‌های محاسبه ضرایب همبستگی، رسم نمودار خوشه‌ای و تحلیل فاکتوری استفاده شد. بر این اساس مشخص شد که بیشترین میزان ضرایب همبستگی بین عناصر Zn-Mn، Cu-Mo، Pb-Zn برقرار است و بر اساس نمودار خوشه‌ای داده‌های عادی نمونه‌های خاک مشخص شد که عناصر مس و مولیبدن در یک زیرگروه قرار می‌گیرند و همبستگی کم‌وبیش خوبی دارند. همچنین بر اساس نتایج تجزیه مشخص شد که عناصر سرب، نقره، آرسنیک و آنتیموان با یکدیگر همبستگی مستقیم دارند. در رسم نقشه‌های ژئوشیمیایی منطقه، تعیین سطح فرسایش و تشخیص نقاط بهینه حفاری از روش هاله‌های مرکب جمعی استفاده و در این راستا برای تشخیص عناصر مؤثر از نتایج تمام روش‌های یادشده بهره گرفته شد.



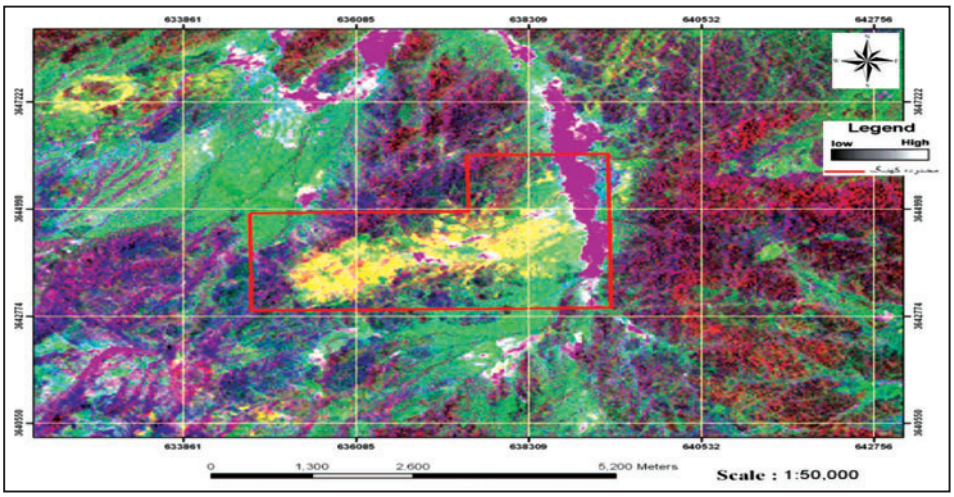
شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی محدوده اکتشافی کهنگ (اسدی هارونی، ۱۳۸۵).



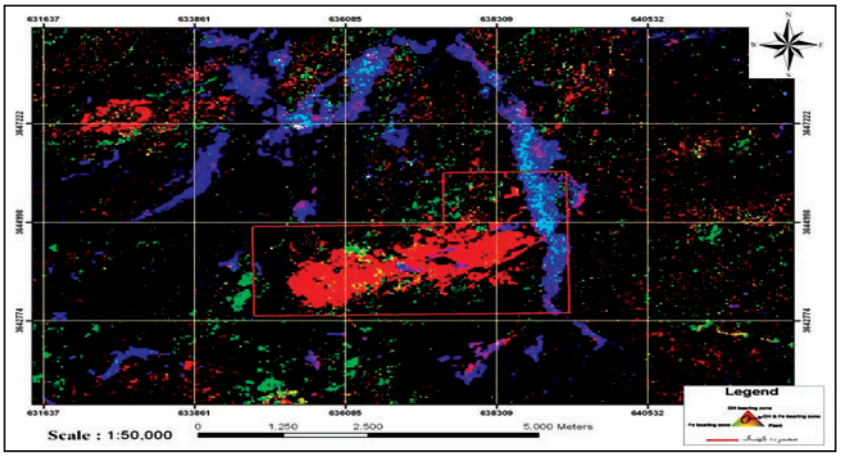
شکل ۲- نمای کلی منطقه بر اساس روش ترکیب رنگی مجازی و با استفاده از باند ETM (محدوده کهنگ در کادر سرخ رنگ).



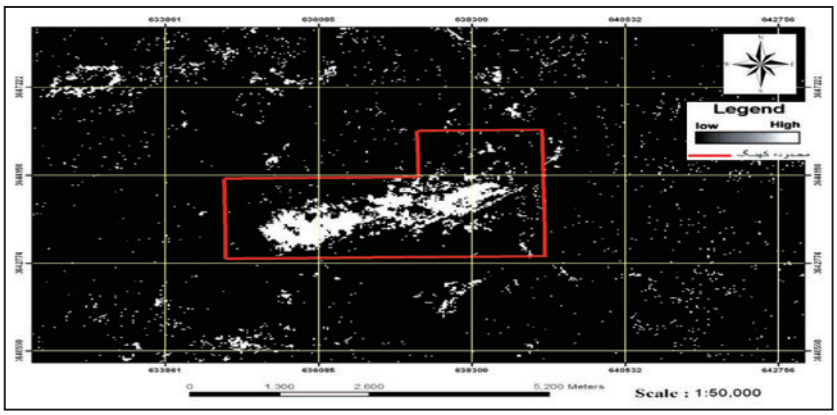
شکل ۳- نمای کلی منطقه، در این تصویر با اعمال Stretching قدرت تشخیص و تفکیک سنگ‌ها افزایش یافته است.



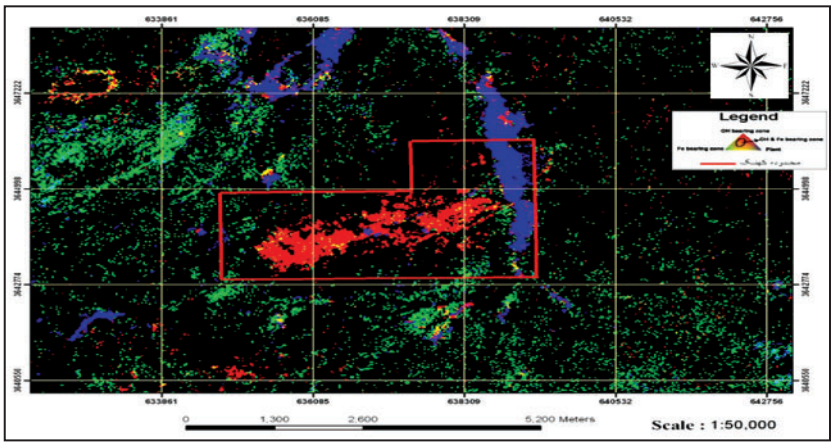
شکل ۴- تصویر رنگی منطقه بر اساس روش نسبت باندی، رنگ سبز معرف نواحی آهن‌دار، رنگ آبی معرف پوشش گیاهی و رنگ زرد معرف دگرسانی است (در اینجا به‌ترتیب از نسبت‌های باندی ۳ به ۱، ۴ به ۳ و ۵ به ۷ استفاده شده است).



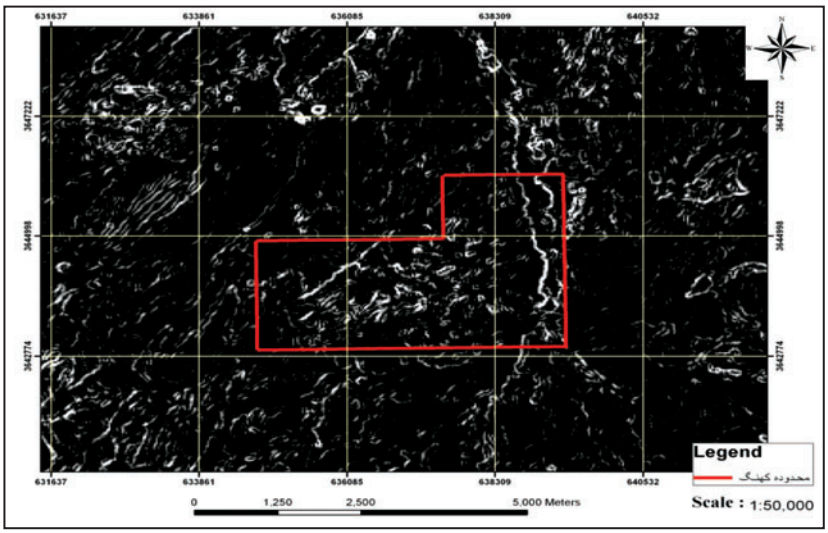
شکل ۵- تصویر رنگی کهنگ بر اساس روش PCA، رنگ سرخ معرف نواحی کانی‌های هیدروکسیل‌دار، رنگ سبز معرف نواحی کانی‌های آهن‌دار و رنگ آبی معرف پوشش گیاهی است.



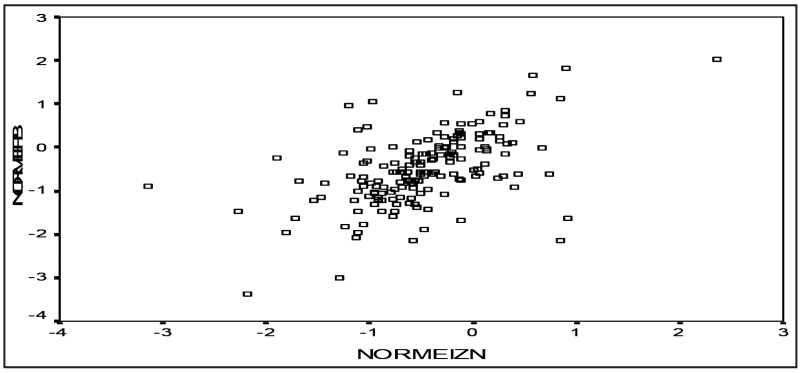
شکل ۶- تصویر سیاه و سفید از روش تطبیق کمترین مربعات (Ls Fit) برای نشان دادن نواحی دارای کانی‌های رسی و کانی‌های هیدروکسیل‌دار (بخش‌های سفید رنگ).



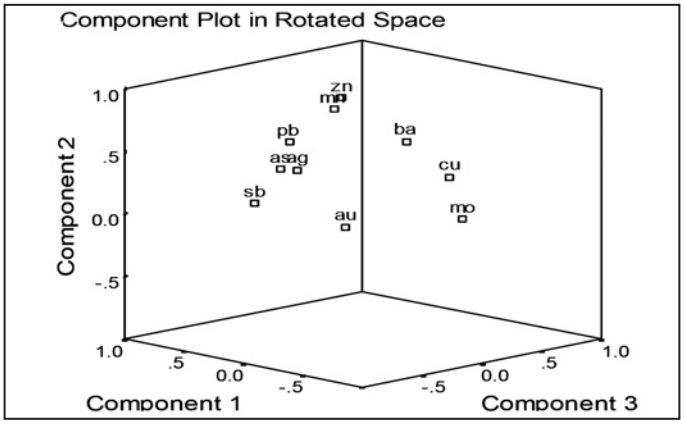
شکل ۷- تصویر محدوده اکتشافی به روش Ls Fit، رنگ سرخ معرف نواحی دگرسانی، رنگ آبی معرف پوشش گیاهی و رنگ سبز معرف مناطق آهن‌دار است.



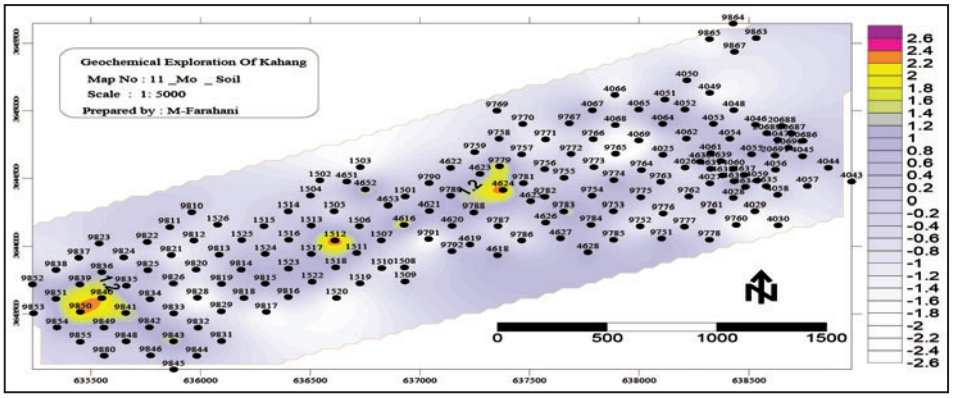
شکل ۸- تصویر خطواره‌های منطقه بر اساس روش مؤلفه اصلی که با کمک فیلتر Sobel ارائه شده است.



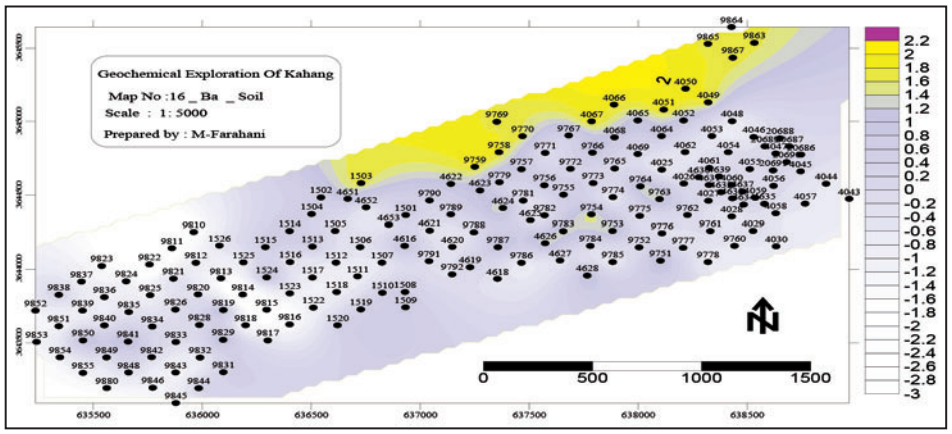
شکل ۹- نمودارهای دوتایی برای نشان دادن عناصر با ضریب همبستگی بالا (سرب و روی).



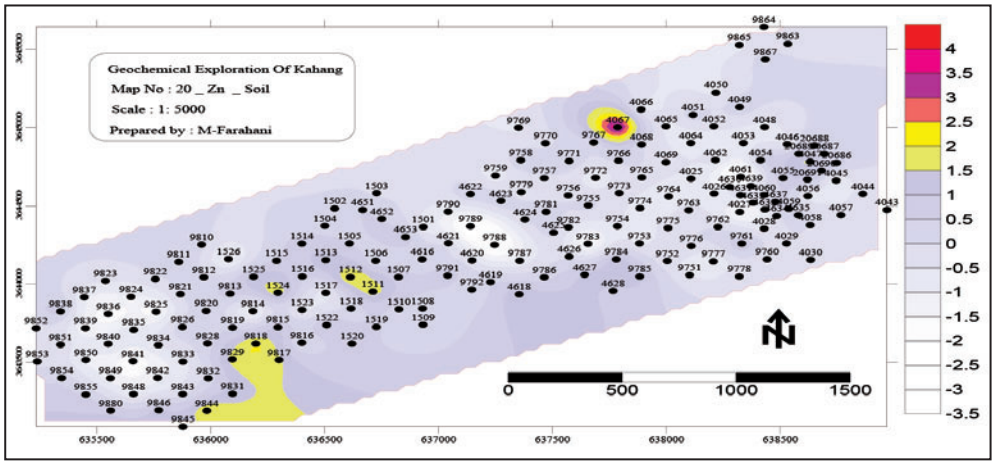
شکل۱۰- نمودار حاصل از نتایج تحلیل فاکتوری داده‌های عادی نمونه‌های ژئوشیمیایی منطقه.



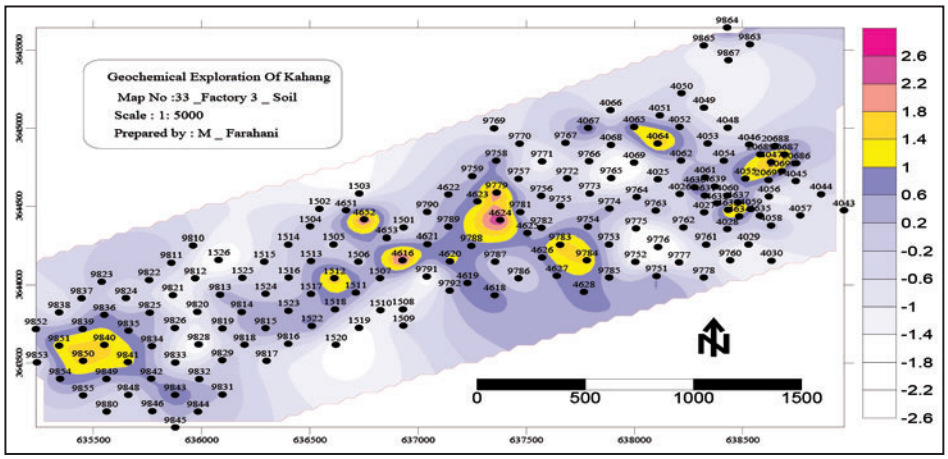
شکل ۱۱- نقشه تک‌عنصری مولیبدن. در این نقشه ژئوشیمیایی، محدوده‌های بی‌هنجاری Mo در مناطق مرکزی‌تر کهنگ مشخص شده است.



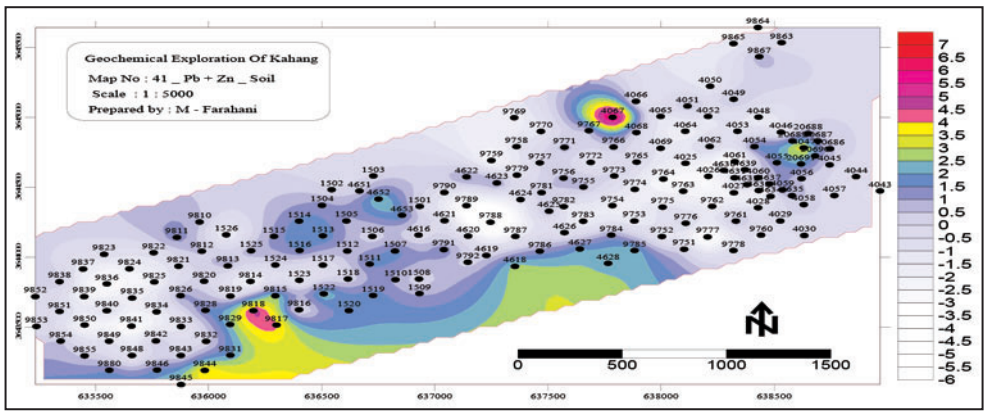
شکل ۱۲- نقشه تک‌عنصری باریم، همان‌گونه که در الگوی منطقه‌بندی انتظار می‌رفت، میزان غنی‌شدگی باریم در نواحی حاشیه‌ای کهنگ مشهود است.



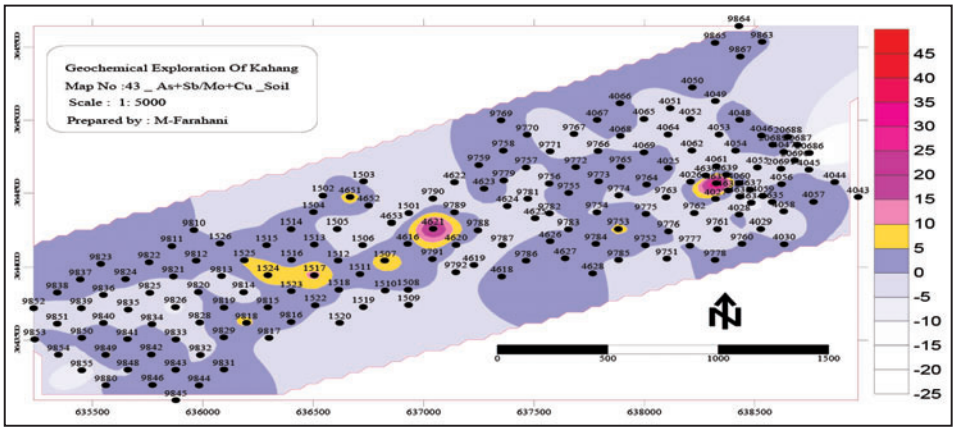
شکل ۱۳- نقشه تک‌عنصری روی، با توجه به اینکه روی عنصر نسبتاً متحرکی است انتظار می‌رود در هاله‌های ژئوشیمیایی مرتبط با توده‌های پورفیری در مناطق حاشیه‌ای محدوده اکتشافی میزان غنی‌شدگی بیشتری نشان بدهد. این مسئله در محدوده مطالعاتی کهنگ مشهود است.



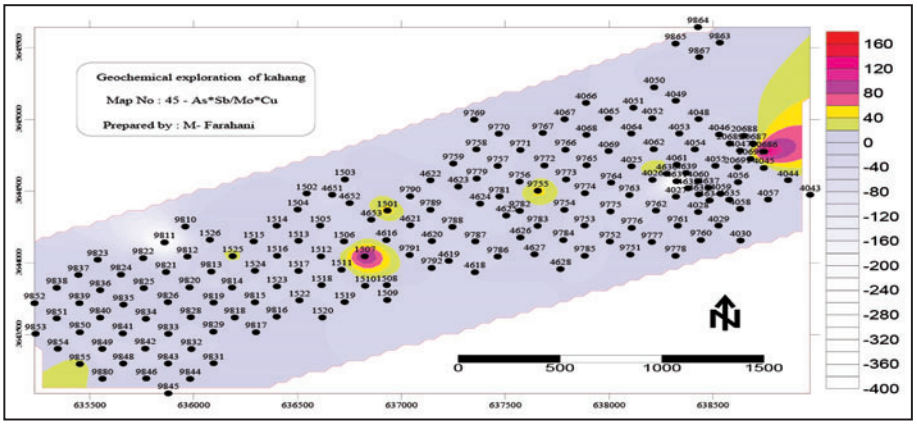
شکل ۱۴- نقشه فاکتوری ۳، بر اساس نتایج تحلیل فاکتوری این نقشه معرف نواحی بی‌هنجاری برای عناصر مس و مولیبدن است و همخوانی خوبی با نقشه هاله مرکب جزیی این دو عنصر دارد.



شکل ۱۵- نقشه هاله مرکب جزیی عناصر فوق‌کانساری سرب و روی. براساس این نقشه، نواحی بی‌هنجاری سرب و روی در حاشیه محدوده اکتشافی واقع شده‌اند و با الگوی منطقه‌بندی همخوانی دارند. این نقشه بر اساس مجموع داده‌های عادی استاندارد عناصر یادشده رسم شده است.



شکل ۱۶- این نقشه براساس نسبت مجموع داده‌های عادی استاندارد عناصر فوق‌کانساری به تحت‌کانساری رسم شده است. از این نقشه برای تعیین نقاط بهینه حفاری (نزدیک‌ترین نقاط به توده کانساری) استفاده می‌شود.



شکل ۱۷- این نقشه بر اساس نسبت هاله‌های مرکب ضربی عناصر آرسنیک و آنتیموان به مس مولیبدن رسم شده است، براساس این روش محدوده‌های سرخ رنگ برای عملیات حفاری به‌عنوان نقاط بهینه معرفی می‌شوند.

جدول ۱- جدول محاسبه عدد V بر اساس روش هاله‌های مرکب جمعی.

Data Soil	Percent	Pb+Zn/Cu+Mo	As+Sb/Cu+Mo
Anomaly	0.99	18.124	16.9908
	0.975	8.517	9.38044
Threshold	0.845	3.025	1.63899

کتابنگاری

اسدی هارونی، ه.، ۱۳۸۵- گزارش کار شرکت مهندسی درساپردازه در مورد محدوده اکتشافی کهنگ.

آفتابی، ع. و انوری، م.، ۱۳۸۴- فرهنگ منابع و ذخایر معدنی، ۳۶۲ صفحه.

حسنی‌پاک، ع. ا. و شرف الدین، م.، ۱۳۸۰- تحلیل داده‌های اکتشافی، انتشارات دانشگاه تهران، ۹۷۷ صفحه.

حسنی‌پاک، ع. ا.، ۱۳۷۷- اصول اکتشافات ژئوشیمیایی (مواد معدنی)، انتشارات دانشگاه تهران، ۶۰۱ صفحه.

رادفر، ج. و کهنسال، ر.، ۱۳۸۱- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کوهپایه، سازمان زمین‌شناسی کشور.

طاهری کیا، ح. ، ۱۳۷۵- اصول و کاربرد سنجش از دور، انتشارات جهاد دانشگاهی، ۲۸۵ صفحه.

فرمهینی فراهانی، م.، ۱۳۸۷- مطالعات زمین‌شناسی، ژئوشیمی و کانی‌شناسی محدوده اکتشافی کهنگ، رساله دکتری.

کریم پور، م. ح. ملک‌زاده، آ. و حیدریان، م. ح.، ۱۳۸۴- اکتشاف ذخایر معدنی، دانشگاه فردوسی مشهد، ۶۳۲ صفحه.

یزدی، م.، ۱۳۸۱- روش‌های مرسوم در اکتشافات ژئوشیمیایی، انتشارات دانشگاه شهید بهشتی، ۱۸۰ صفحه.

References

Barnes, H. L., 1979- Geochemistry Of Hydrothermal Ore Deposits, second ed., 798p.

Kariuki, P. C., Woldai, T. & Meer van der, F. 2004- The role of Remote Sensing in Mapping Swelling Soils. Journal of Geo-information Science and Earth Observation, vol.5, No.1.

Middlemost, E. A. K., 1994- Naming Materials in the magma , igneous rock system p. 215-224

Rose, A. M. & Burt, D. M., 1979- Hydrothermal Alteration, p. 173-235

Sillitoe, R. H., 1983- Enargite- bearing massive sulfide deposits high in porphyry copper system: Economic Geology, p. 348-352

Sillitoe, R. H., 2003- Linkages between volcano tectonic setting, ore-fluid compositions, and epithermal precious-metal deposits, p.315-343