

# تفسیر نتایج تحلیل فاکتوری داده‌های ژئوشیمیایی رسوبات رودخانه‌ای با کمک داده‌های زمین‌شناسی، دگرسانی و کانه‌زایی در منطقه کوه‌شاه، بیرجند، خراسان جنوبی

مریم عبدی<sup>۱</sup>، محمدحسن کریم‌پور<sup>۲</sup> و محمدحسین زرین‌کوب<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکترا، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

<sup>۲</sup> استاد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

<sup>۳</sup> دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۸/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۱/۳۰

## چکیده

هدف این مطالعه پردازش داده‌های خام رسوبات رودخانه‌ای با روش تحلیل فاکتوری و تفسیر و انطباق نتایج با شواهد زمین‌شناسی، دگرسانی و کانه‌زایی است. تمایز بالای عامل سوم تحلیل فاکتوری برای عناصر طلا، مولیبدن و تنگستن و انطباق مناطق بی‌هنجار عامل سوم با بی‌هنجاری‌های طلا، مناطق دارای بیشترین میزان سولفید اولیه و اکسید آهن ثانویه و مناطق دارای دگرسانی‌های سریستی و سیلیسی در منطقه، نشان‌دهنده آن است که عامل سوم تحلیل فاکتوری به عنوان مؤلفه کانه‌زایی در منطقه است. جایگاه زمین‌ساختی مناسب، وجود توده‌های نفوذی نیمه‌ژرف با ترکیب حدواسط، فعالیت ماگمایی با ماهیت کالک‌آلکان و اکسیدان، حضور بی‌هنجاری‌های طلا در سطح منطقه و کانی‌سازی به شکل دانه‌پراکنده در متن سنگ و رگچه‌های سولفیدی به همراه اکسیدهای آهن ثانویه فراوان، شرایط لازم برای کانه‌زایی نوع پورفیری و اپی‌ترمال طلا را در منطقه ایجاد کرده است.

**کلیدواژه‌ها:** تحلیل فاکتوری، ژئوشیمی، دگرسانی، کانه‌زایی، پورفیری، اپی‌ترمال، کوه‌شاه، بیرجند

\*نویسنده مسئول: مریم عبدی

E-mail: Abdi78\_82@yahoo.com

## ۱- پیش‌گفتار

منطقه کوه‌شاه در جنوب باختر شهر بیرجند، در برکه‌های زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ بیرجند (افتخارنژاد، ۱۳۶۹) و ۱:۱۰۰۰۰۰ مختاران (Eftekhari-Nezhad et al., 1978) و در چهارگوش ۱:۲۵۰۰۰۰ شیخ‌آباد قرار می‌گیرد. راه‌های ارتباطی شامل جاده‌های آسفالتی، شنی و خاکی است که از جاده آسفالتی بیرجند-خوسف-ماژان به سوی جنوب منشعب می‌شود (شکل ۱). بر پایه تقسیمات ساختمانی-رسوبی ایران (آقاباتی، ۱۳۸۳)، منطقه کوه‌شاه در خاور خردقاره ایران مرکزی و در خاور مرکز بلوک لوت و در نزدیکی محل اتصال این بلوک با حوضه فلیش کرتاسه نهندان-خاش (Berberian & King, 1981) یا پهنه زمین‌درز سیستان (Tirru et al., 1983) واقع است. این منطقه در حاشیه جنوبی پهنه افیولیتی کماتی شکل جنوب باختر بیرجند قرار دارد که شامل رخنمون گسترده‌ای از سنگ‌های آتشفشانی، به همراه توده‌های نفوذی نیمه‌ژرف است. در این ناحیه کانه‌زایی‌های بسیاری گزارش شده است که از مهم‌ترین آنها، می‌توان به کانسار مس-طلا پورفیری ماهرآباد در باختر و خویپک در بخش جنوب باختر منطقه مورد مطالعه اشاره کرد (کریم‌پور و همکاران، ۱۳۸۶). حضور کانی‌سازی پورفیری و فعالیت ماگمایی کالک‌آلکان، این منطقه را برای اکتشاف انواع پورفیری، اپی‌ترمال و رگه‌های قابل توجه می‌سازد (رسا و همکاران، ۱۳۸۳ و ذبیحی و همکاران، ۱۳۸۸).

## ۲- روش انجام کار

مراحل انجام این پژوهش به شرح زیر است:

- ۱- پردازش داده‌های ماهواره‌ای Aster به روش SAM، به منظور شناسایی و جدایش کانی‌های شاخص پهنه‌های دگرسانی
- ۲- برداشت، تهیه و مطالعه ۱۴۶ مقطع نازک به منظور مطالعات سنگ‌نگاری و دگرسانی و ۴۴ مقطع نازک-صیقلی برای مطالعات کانه‌زایی.
- ۳- تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی، دگرسانی و کانه‌زایی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ در منطقه‌ای به گسترش ۱۷۲ کیلومتر مربع.

- ۴- اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی برای واحدهای سنگی منطقه.
- ۵- تهیه نقشه ژئوشیمیایی رسوبات رودخانه‌ای با استفاده از اطلاعات تولیدشده و نیز پردازش دوباره داده‌های خام ۱۶۱ نمونه رسوب آبراه‌ای مربوط به اکتشاف ژئوشیمیایی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ شیخ‌آباد (سازمان زمین‌شناسی، ۱۳۸۲) به کمک نرم‌افزارهای SPSS و Statistica.
- ۶- به کارگیری روش آماری چندمتغیره تحلیل فاکتوری یا تجزیه عاملی داده‌های ژئوشیمیایی رسوبات رودخانه‌ای برای تشخیص هاله‌های مرکب ژئوشیمیایی در پیرامون توده‌های کانساری و مشخص کردن بی‌هنجاری‌های مرتبط با کانه‌زایی و تلفیق آنها با اطلاعات زمین‌شناسی، دگرسانی و کانه‌زایی به منظور بررسی الگوی کانه‌زایی.

## ۳- زمین‌شناسی

بر پایه نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ بیرجند (افتخارنژاد، ۱۳۶۹) و ۱:۱۰۰۰۰۰ مختاران (امامی، ۱۳۵۲ و Eftekhari-Nezhad et al., 1978)، این منطقه مجموعه‌ای از سنگ‌های آتشفشانی، آذرآواری و توف مارنی است. ولی بررسی‌های صورت گرفته در این مطالعه که در قالب طرح تهیه نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ شیخ‌آباد صورت گرفته است، روشن ساخت که منطقه کوه‌شاه از دید زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی شامل فعالیت‌های ماگمایی از نوع توده‌های نفوذی و نیمه‌ژرف بسیار و سنگ‌های آتشفشانی حدواسط و همچنین واحدهای سنگی رسوبی-آواری است (شکل ۲). در این بررسی، مشخص شد که واحدهای و آتشفشانی دگرسان، به علت گسترش و شدت زیاد دگرسانی آرژیلیک و حضور کانی‌زیس در آن، بر روی نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ بیرجند و ۱:۱۰۰۰۰۰ مختاران، واحد توف مارنی در نظر گرفته شده‌اند (شاید از علل اصلی که تاکنون به این کانه‌زایی توجهی نشده، باوجود نزدیکی و ارتباط با کانه‌زایی‌های ماهرآباد و خویپک، مشخص نشدن دگرسانی‌ها و توده‌های نیمه‌ژرف در مقیاس مطالعات پیشین باشد). همچنین واحد کنگلومرای با قطعات سنگی آتشفشان و نیمه‌آتشفشانی، و در برخی

کانی شناسی (ترکیب سنگی، درصد و نوع درشت‌بلورها و زمینه، نوع و میزان کانی‌های مافیک و غیره)، وضعیت از دید دگرسانی (دگرسان یا تازه) و نفوذ در یکدیگر، به بیش از ۱۴ توده مختلف قابل جدایش هستند. این توده‌ها، خود دارای تغییرات بافتی و ترکیبی از مرکز به حاشیه یا به‌طور محلی هستند که با توجه به مقیاس نقشه در یکدیگر ادغام شده‌اند. این واحدهای نفوذی نیمه‌ژرف، پیش از کانی‌سازی، هم‌زمان و پس از آن (به‌صورت توده‌ها، آپوفیزها و دایک‌های کوچک بدون دگرسانی) در یکدیگر نفوذ کرده‌اند که بر حسب تقدم و نفوذ در یکدیگر عبارت‌تنداز:

**هورنبلند- بیوتیت- پیروکسن- کوارتز دیوریت پورفیری تا کوارتز مونزونیت پورفیری:** خاکستری روشن (توده کوه‌شاه) که ارتفاع‌سازترین واحد منطقه است و در بخش جنوب باختری میانه نقشه رخمنون گسترده‌ای دارد. این توده بافت پورفیری در زمینه دانه متوسط با درشت‌بلورهای فلدسپار پلاژیوکلاز (۳۰ درصد در ابعاد ۱ تا ۴ میلی‌متر)، پیروکسن (۲۰ درصد در ابعاد ۲ تا ۳ میلی‌متر)، کوارتز (۱۰ تا ۱۵ درصد، بی‌شکل) بیوتیت (۸ درصد در ابعاد ۲ تا ۴ میلی‌متر) و هورنبلند (۵ درصد در ابعاد ۰/۳ تا ۰/۵ میلی‌متر) دارد. از دیگر کانی‌های دیده‌شده می‌توان به کانی‌های کدر (مگنتیت) و آپاتیت اشاره کرد. زمینه بیشتر شامل فلدسپار و کوارتز و به‌مقدار کم کانی‌های مافیک است. این توده دگرسانی ضعیف به‌شکل بلورهای فلدسپار آرزلی شده در سطح، کربناتی شدن در پیروکسن، فلدسپار و هورنبلند و رگچه‌های تأخیری کربنات-اکسید آهن نشان می‌دهد.

**هورنبلند- پیروکسن- کوارتز مونزونیت پورفیری:** به‌رنگ خاکستری روشن با بافت پورفیری در زمینه دانه ریز است که در جنوب باختر میانه منطقه، رخمنون مرتفعی دارد. درشت‌بلورها بیشتر شامل پلاژیوکلاز در حدود ۳۵ درصد که به کربنات دگرسان شده است. فلدسپار قلیایی و آلپیت، ۲۰ درصد، که به نسبت تازه هستند. کلینوپروکسن با مقاطع عرضی هشت گوش ۱۵ درصد، که به کربنات دگرسان شده است. کوارتز با خاموشی موجی ۱۲ درصد، هورنبلند ۸ درصد که کاملاً به کانی‌های کدر و بیوتیت تبدیل شده است مگنتیت که به هماتیت ثانویه تبدیل شده، آپاتیت و زیرکن از دیگر کانی‌های دیده شده هستند. زمینه سیلیسی شده است و حالت بسیار ریزبلور دارد. رگچه‌های تأخیری کربنات-اکسید آهن نیز وجود دارد.

**پیروکسن- بیوتیت- کوارتز مونزونیت- مونزوگرنیت پورفیری:** دارای بافت پورفیری در زمینه دانه ریز است و در میانه نقشه رخمنون خاوری-باختری ارتفاع‌ساز دارد. درشت‌بلورها شامل پلاژیوکلاز (۱۵ درصد که با سیلیس دانه ریز و کمی کربنات و اکسید آهن جانشین شده است)، فلدسپار قلیایی (۸ درصد، بدون ماکل)، کوارتز (۵ تا ۷ درصد، بی‌شکل)، بیوتیت (۶ درصد، کمی کلریتی)، پیروکسن (۲ تا ۳ درصد که کاملاً با کوارتز و کربنات جانشین شده است) و کانی‌های کدر (پیریت و مگنتیت که بیشتر اکسیده شده‌اند)، است. زمینه سیلیسی شده و گاه چشم‌های کوارتزی (کنسترال) دارد. رگچه‌های تأخیری اکسید آهن- کربنات وجود دارد که توسط رگچه‌های کوارتز- کربنات قطع شده‌اند. این توده، در برخی نقاط دارای برش ماگمایی است.

**بیوتیت- پیروکسن- کوارتز دیوریت- گرانودیوریت پورفیری هورنبلنددار:** خاکستری- آبی روشن با پهنه‌های برش گسلی و رخمنون صخره‌ای، در میانه منطقه مورد بررسی دیده می‌شود که در محل‌های دگرسان به رنگ قهوه‌ای است. این واحد بافت پورفیری و گلوپورفیری دارد. درشت‌بلورهای زیر در آن دیده می‌شود: پلاژیوکلاز در حدود ۳۸ درصد که با کربنات و کمی سیلیس جانشین شده است. کوارتز، ۱۷ تا ۲۵ درصد، بی‌شکل. کلینوپروکسن ۱۵ درصد که کربناتی شده و گاه با اکسید آهن قهوه‌ای تیره جانشین شده است. بیوتیت ۱۰ درصد که حاشیه کدر دارد و در وسط سیلیسی شده است. هورنبلند ۶ درصد که با

موراد، برش‌های گسلی یا برش ماگمایی، به‌عنوان واحد آذرآوری در نظر گرفته شده است.

طبق مطالعات صحرایی این پژوهش در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، واحدهای سنگ‌شناسی رخمنون یافته در این محدوده، واحدهای رسوبی و آتشفشانی است که سن تشریری (اوسن تا نوژن) دارند (شکل ۲). این واحدها به شرح زیر هستند:

تناوب شیل- ماسه‌سنگ ارغوانی، کنگلومرای سبز- ارغوانی و توف‌های نازک لایه سبز روشن که دایک‌های پیروکسن- کوارتز مونزونیتی و هورنبلند- کوارتز دیوریت پورفیری در آن نفوذ کرده‌اند. لایه‌های ماسه‌سنگی بیشتر فلدسپاتیک آراکوز هستند. قطعات واحد کنگلومرای، نیمه گرد و بیشتر رسوبی هستند. این واحد هسته یک تاقدیس مایل را در جنوب محدوده مورد مطالعه تشکیل داده است.

کنگلومرای خاکستری- ارغوانی، ماسه‌سنگ و شیل ارغوانی که تناوب تدریجی از کنگلومرای پلی تا میکروکنگلومرا و ماسه‌سنگ (کوارتز آرنایت) و شیل در آن دیده می‌شود. قطعات کنگلومرا، رسوبی و آذرین گرد شده هستند و سیمان سیلیسی و کربناتی است. این واحد یال‌های طاقدیس را تشکیل می‌دهد.

کنگلومرا و برش رسوبی با قطعات آتشفشانی و سیمان ماسه‌سنگی، روی واحدهای پیشین قرار گرفته است.

بیوتیت- پیروکسن داسیت تاربوداسیت پورفیری و هورنبلند- بیوتیت- پیروکسن لاتیت پورفیری تا کوارتز آندزیت پورفیری به رنگ خاکستری، اولین واحد آتشفشانی رخمنون یافته در جنوب میانه این منطقه است که بر روی واحد کنگلومرا و برش رسوبی قرار گرفته است. توده هورنبلند- بیوتیت- پیروکسن- کوارتز دیوریت پورفیری تا کوارتز مونزونیت پورفیری خاکستری روشن (توده کوه‌شاه) در این واحد نفوذ کرده است.

پیروکسن- هورنبلند- کوارتز لاتیت پورفیری خاکستری- نقره‌ای رنگ که در این شمال باختر محدوده گسترش دارد. این واحد با رخمنون صخره‌ساز در شمال باختری محدوده، و بلورهای درشت هورنبلند (۲-۰/۵ سانتی‌متر)، مشخص می‌شود و به‌طور محلی به کلریت، اپیدوت، کلسیت و اکسید آهن دگرسان شده است

بیوتیت- پیروکسن- هورنبلند- کوارتز آندزیت پورفیری به رنگ خاکستری تیره و هورنبلند- پیروکسن- بیوتیت آندزیت- بازال به رنگ سیاه تا خاکستری تیره با بلورهای پولکی بیوتیت (۲-۰/۲ سانتی‌متر) که در شمال باختر و شمال محدوده گسترش زیادی دارد و دچار دگرسانی‌های متعدد پروپلیتیک، آرزلیلیکی با درجات کم تا زیاد شده است.

کنگلومرای کرم‌رنگ با قطعات گرد شده آتشفشانی و نفوذی در ابعاد میلی‌متری تا بولدر ۸۰ سانتی‌متری (متوسط ۵ تا ۱۵ سانتی‌متر) و سیمان کربناتی، در شمال باختر نقشه رخمنون تپه ماهوری دارد.

واحد به شدت دگرسان جدا نشده در مرکز و شمال منطقه، که به علت شدت بالای دگرسانی و هوازدگی (آرزلیلیک و پروپلیتیک، رسی برونزاد)، سنگ اولیه قابل تشخیص نیست ولی به احتمال زیاد، آتشفشان آندزیتی است. در این واحد، بافت و کانی‌های اولیه سنگ کاملاً از بین رفته‌اند و سنگ حالت سست و نرم دارد. شدت دگرسانی تا به آن اندازه بالاست که در نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ بیرجند و ۱:۱۰۰۰۰۰ مختاران، توف مارنی نامگذاری شده است.

در منطقه کوه‌شاه توده‌های نفوذی نیمه‌ژرف بسیاری با نفوذهای تلسکوپی در یکدیگر و در واحدهای آتشفشانی دیده می‌شود که سن تشریری (پس از نوژن) دارند (شکل ۲). این توده‌ها طیف سنگی میان دیوریت تا مونزوگرنایت دارند و بر پایه ویژگی‌های صحرایی و میکروسکوپی، مانند نوع رخمنون سنگی (صخره‌ای یا کم ارتفاع)، نوع فرسایش، بافت، رنگ در سطح رخمنون و تازه،

را تشکیل می‌دهند. کانی‌های فرعی زیرکن و آپاتیت نیز در این توده دیده می‌شود. کانی‌های کدر مگنتیت در حدود ۲ درصد که اکسید شده‌اند. این واحد دگرسانی خفیف پروپلیتیک نشان می‌دهد که توسط رگچه‌های تاخیری کلسیت-اکسید آهن قطع و دگرسان شده است.

**پیروکسن-بیوتیت-هورنبلند-کوارتز مونوزودبوریت پورفیری:** با رنگی خاکستری در بخش میانه منطقه مورد مطالعه رخنمونی کم ارتفاع دارد. بافت پورفیری با زمینه دانه متوسط فلدسپاری در آن دیده می‌شود که درشت بلورها شامل پلاژیوکلاز ۳۰ درصد با منطقه بندی که در حاشیه آرژیلی-کلینوزوئیت-سرسیتی شده و میانبراهای سیال مستطیلی فروان (کریستال منفی) دارند، فلدسپار قلیایی ۱۰ درصد که گاه ماکل کارلسباد دارند، هورنبلند پهنه دار ۲۰ درصد که در حاشیه به اکسید آهن و اپیدوت و در مرکز به بیوتیت دگرسان شده اند و پهنه‌های رشدی آن با اکسید آهن مشخص می‌شوند، کوارتز ۱۲ درصد، بیوتیت ۱۰ درصد و پیروکسن پهنه دار ۵ تا ۸ درصد که به کرنات، اپیدوت و زوتزیت دگرسان شده‌اند. کانی‌های کدر مگنتیت و آپاتیت از دیگر کانی‌های دیده شده هستند. این واحد دگرسانی پروپلیتیک شدید دارد.

**هورنبلند-بیوتیت-پیروکسن-کوارتز دیوریت نا دیوریت پورفیری:** خاکستری رنگ با بافت پورفیری و گلوپورفیری است و در باختر و میانه منطقه، رخنمون صخره‌ای به رنگ قهوه‌ای-خاکستری و ارتباط نزدیکی با پهنه‌های کانی سازی دارد. درشت بلورهای آن بیشتر پلاژیوکلاز (۱۵ درصد، پهنه دار که به کلینوزوئیت، سرسیت و کرنات دگرسان شده و یا با سیلیس دانه ریز جانشین شده‌اند)، فلدسپار قلیایی (۵ تا ۱۰ درصد که کمی در حاشیه به کلینوزوئیت دگرسان و یا سیلیسی شده‌اند)، کوارتز (۱۰ درصد، کمتر اسفروئیتی)، کلینوپیکروکسن (۸ درصد که کرناتی شده‌اند و حاشیه کانی‌های کدر دارند و یا در حاشیه با اکسید آهن و در مرکز با سیلیس دانه ریز جانشین شده‌اند)، بیوتیت (۴ درصد کلریتی شده) و هورنبلند (۲ تا ۳ درصد بلورهای رمبونداری و سوزنی با حاشیه کانی‌های کدر و مرکز بیوتیتی و یا در حاشیه به اکسید آهن قهوه‌ای تیره و در مرکز سیلیسی شده‌اند) است. کانی‌های کدر بی شکل به صورت مجتمع و پراکنده (۲ درصد)، دیده می‌شوند. کانی فرعی آپاتیت نیز در زمینه دیده می‌شود. این توده نیمه ژرف دگرسانی‌های پروپلیتیک شدید (با زمینه میکروولیتی کلریتی-آرژیلی-کرناتی) و یا سیلیسی نشان می‌دهد که دارای پهنه‌های سیلیسی بسیار با دیواره دگرسان آرژیلیک و پهنه‌های برش گسلی است.

**پیروکسن-بیوتیت-هورنبلند-کوارتز دیوریت پورفیری:** خاکستری-آبی تیره و به نسبت تازه است و تنها کمی کلریتی شده است و به شکل آپوفیز و دایک در محدوده دگرسان مرکزی رخنمون دارد. این توده پهنه‌های کانی سازی را قطع می‌کند و از آنها کمی جوان تر است. این توده بافت پورفیری با زمینه دانه ریز میکروولیتی دارد. درشت بلورها بیشتر پلاژیوکلاز (۳۵ درصد، پهنه دار که گاه کلریتی-کلینوزوئیتی شده‌اند)، کوارتز (۱۲ درصد)، هورنبلند (۸ تا ۱۰ درصد که به کلریت و اپیدوت دگرسان شده‌اند)، بیوتیت (۶ درصد بلورهای منشوری که به کلریت دگرسان شده‌اند) و پیروکسن (۴ تا ۵ درصد بیشتر کرناتی-کلریتی)، هستند. کانی‌های فرعی زیرکن و آپاتیت در آن دیده می‌شود. این توده دگرسانی پروپلیتیک شدید تا متوسط نشان می‌دهد.

**هورنبلند-بیوتیت-پیروکسن مونوزودبوریت پورفیری نا بیوتیت-پیروکسن-کوارتز مونوزونیت پورفیری:** با رنگ خاکستری-بنفش تیره در شمال باختری مرکز منطقه و در دامنه شمالی کوه شاه رخنمون صخره‌ای دارد. این توده بافت پورفیری در زمینه دانه متوسط تا ریز میکروولیتی دارد که درشت بلورهای آن فلدسپار، پیروکسن، بیوتیت و هورنبلند است. پلاژیوکلاز ۱۵ تا ۲۵ درصد پهنه دار، که کمی سرسیتی-آرژیلی شده‌اند. فلدسپار قلیایی ۱۰ درصد که با

کانی‌های کدر جانشین شده است. کانی‌های کدر، ۲ درصد که شامل مگنتیت و پیریت است. کانی فرعی آپاتیت در آن دیده می‌شود. این واحد نفوذی نیمه ژرف، دارای پهنه‌های برش گسلی-گرماپی با سیمان قهوه‌ای سیلیسی-اکسید آهن بسیاری به پهنای چند سانتی متر تا چند متر است و بدین دلیل، دگرسانی سیلیسی-کرناتی-آرژیلی نشان می‌دهد.

**پیروکسن-کوارتز مونوزودبوریت پورفیری:** خاکستری روشن که در خاور منطقه رخنمون دارد و در همبری کمی ریز بلورتر است. بافت پورفیری با درشت بلورهای فلدسپار، کوارتز، پیروکسن و بیوتیت دارد. پلاژیوکلازها منطقه بندی دارند و در حدود ۳۰ درصد درشت بلورها را تشکیل می‌دهند. فلدسپار قلیایی و میکروکلین، در حدود ۲۵ درصد درشت بلورها را شامل می‌شوند. کوارتز، بی شکل میان ۱۰ تا ۲۵ درصد متغیر است. کلینوپیکروکسن ۱۵ درصد است که با کرنات جانشین شده‌اند. بیوتیت به رنگ قهوه‌ای تیره با تجمع کانی‌های کدر در حاشیه در حدود ۸ درصد در سنگ حضور دارد. کانی‌های کدر مگنتیت در حدود ۳ درصد در آن دیده می‌شود. این توده در سطح هوازدگی دارد و بلورهای فلدسپار و زمینه، رسی شده‌اند.

**بیوتیت-پیروکسن مونوزونیت-دیوریت پورفیری:** شتری رنگ است و با بافت پورفیری در زمینه دانه ریز تا متوسط در باختر منطقه گستره زیاد و ارتفاع ساز دارد و از توده‌های مرتبط با کانی سازی است. درشت بلورها شامل پلاژیوکلاز (۴۰ درصد، در وسط مقداری اپیدوتی)، فلدسپار قلیایی (۱۰ درصد، بلورهای ابری)، کلینوپیکروکسن (۱۵ درصد به شکل باقی مانده در وسط بلور که در حاشیه به کلریت و کرنات دگرسان شده است)، بیوتیت (۴ درصد، پولک‌های قهوه‌ای با تجمع کانی‌های کدر در حاشیه که گاه کلریتی شده‌اند) و کانی‌های کدر (۲ درصد، بلورهای بی شکل) است. آپاتیت نیز به عنوان کانی فرعی در آن شناسایی شد. بافت سنگ توسط رگچه‌های اپیدوتی قطع شده است و دگرسانی شدید پروپلیتیک و گاه پهنه‌ها و رگه‌های توده‌های سیلیسی نشان می‌دهد.

**هورنبلند-پیروکسن-کوارتز مونوزونیت-مونوزوگرانیت پورفیری:** کرم رنگ است و با بافت پورفیری در زمینه دانه متوسط در شمال باختری میانه منطقه گستره به نسبت زیاد و صخره‌ای داشته و ارتباط نزدیکی با کانه‌زایی دارد. درشت بلورها شامل پلاژیوکلاز ۲۰ درصد، پهنه دار که در حاشیه سرسیتی شده‌اند، فلدسپار قلیایی ۱۵ درصد، کوارتز ۲۰ درصد بی شکل، پیروکسن ۱۵ درصد، هورنبلند ۱۰ درصد با ماکل کارلسباد و حاشیه کانی‌های کدر و بیوتیت ۷ درصد پولکی و گاه با ماکل دولوبی به رنگ قهوه‌ای-سبز است. کانی‌های کدر فراوان (مگنتیت و پیریت) و همچنین کانی‌های فرعی زیرکن و آپاتیت در آن دیده می‌شود. این واحد دارای پهنه‌ها و رگه‌های توده‌های سیلیسی با سولفید پراکنده در آن است که در حاشیه آن برش گسلی دیده می‌شود و سنگ‌های اطراف خود را سیلیسی-آرژیلی کرده است و همچنین رگچه‌های تاخیری کلسیت-اکسید آهن آن را قطع می‌کند.

**پیروکسن-هورنبلند-کوارتز مونوزونیت پورفیری بیوتیت دار:** کرم-قهوه‌ای رنگ است و در نزدیکی باختر مرکز منطقه، گستره کمی دارد. بافت پورفیری با زمینه میکروولیتی دانه ریز با درشت بلورهای فلدسپار، کوارتز، پیروکسن، هورنبلند و بیوتیت دارد. پلاژیوکلاز با منطقه بندی که در سطح کمی آرژیلی است، در حدود ۲۰ درصد درشت بلورها را تشکیل می‌دهد. فلدسپار قلیایی که گاه بافت راپاکیوی و پرتیت نشان می‌دهند و میکروکلین با ماکل تارتن، ۱۵ درصد درشت بلورها را شامل می‌شوند. کوارتز در حدود ۱۰ درصد دیده می‌شود. کلینوپیکروکسن ۱۰ درصد با حاشیه اکسید آهن و گاه کرناتی-کلریتی، هورنبلند ۸ درصد که به مجموعه بیوتیت، کلریت، کرنات و آلپیت تبدیل شده و بیوتیت ۳ درصد با چند رنگی (پلی کروئیسیم) قهوه‌ای کدر، دیگر درشت بلورها

این بررسی شامل سیلیس، سرسیت، آلونیت، کائولینیت، مونت‌موریونیت، ایلیت، پیروفیلیت، دیکیت، لیمونیت، ژاروسیت، گوتیت، اپیدوت، کلریت، زونریت و ژیس است. شدت و گستره پراکندگی این کانی‌ها، به شناسایی و جدایش دگرسانی‌های مختلف انجامیده است (شکل‌های ۳ و ۴).

دگرسانی آرژیلیک (کانی‌های کائولینیت، پیروفیلیت، دیکیت، ایلیت، مونت‌موریونیت)، که گستره زیادی از منطقه را در بر می‌گیرد و در دو روند شمال خاوری - جنوب باختری که از مرکز منطقه می‌گذرد و روند خاوری - باختری مشخص شده است. این دگرسانی بیشترین گسترش را در مرکز تصویر دارد. دگرسانی آلونیت (کانی‌های آلونیت و کوارتز)، در مرکز منطقه دیده می‌شود و با وجود آن که گسترش بالایی ندارد، ولی اهمیت به سزایی دارد. حضور این دگرسانی و مجاورت آن با دگرسانی آرژیلیک به‌ویژه حضور کانی‌های پیروفیلیت، دیکیت (کانی‌های دگرسانی آرژیلیک پیشرفته) و ژیس، همانند با سامانه‌های کانی‌سازی نوع اپی‌ترمال با سولفید بالاست و حضور این نوع نهشته‌ها را در این منطقه، محتمل می‌شمارد. دگرسانی سرسیتیک (کانی سرسیت)، در شمال باختر مرکز منطقه گستره فراوانی دارد که همراه با کانی ژاروسیت است. گاه در مجاورت این دگرسانی کانی‌های پیروفیلیت و بخش‌های سیلیسی دیده می‌شود که همراهی این مجموعه کانی‌ها با یکدیگر می‌تواند نشان‌دهنده دگرسانی کوارتز - سرسیت - پیریت (QSP) باشد که نشانگر استعداد این منطقه برای پی‌جویی کانی‌سازی پورفیری است (شکل ۳). گستره آشکار شده متعلق به اکسیدهای آهن (لیمونیت، ژاروسیت و گوتیت)، احتمال کانی‌سازی سولفیدی را در منطقه، نمایان می‌سازد (شکل ۴) کانی‌های اپیدوت، کلریت و زونریت که ویژگی دگرسانی پروپلیتیک هستند، در این پردازش، شناسایی نشدند. علت این امر با داده‌های صحرایی و مطالعات سنگ‌نگاری - دگرسانی بررسی شده است.

مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی مشخص ساخت که واحدهای آتشفشانی شمال - شمال باختر منطقه و برخی توده‌های نیمه‌آتشفشان موجود در این محدوده، تحت تأثیر فرایند دگرسانی گرمایی قرار گرفته و دگرسان شده‌اند. از دگرسانی‌های منطقه می‌توان به دگرسانی‌های گسترده پروپلیتیک با دو شدت زیاد و کم، آرژیلیک شدید، آرژیلیک پیشرفته، سیلیسی و به‌طور محدود کوارتز - سرسیت - پیریت، گوسن اشاره کرد (شکل‌های ۵ و ۶).

**۴-۱. پروپلیتیک:** دگرسانی پروپلیتیک بر حسب شدت و نوع کانی‌های دگرسانی خود به دو بخش با شدت‌های بالا و پایین تقسیم می‌شود. دگرسانی پروپلیتیک با شدت بالا در بخش‌های میانی و باختری منطقه گستره بالایی دارد و متشکل از کانی‌های کلریت، کلسیت، اپیدوت، کلینوزونریت و رگچه‌های اپیدوت است که در زمینه و درشت‌بلورهای مافیک و بخشی از بلورهای فلدسپار دیده می‌شود. دگرسانی پروپلیتیک با شدت پایین در شمال باختری منطقه گستره فراوانی دارد و در بخش‌های میانه و شمال منطقه نیز دیده می‌شود. مجموعه کانی‌های دگرسانی این پهنه به ترتیب شدت شامل کلسیت، کلریت، آلپیت، کانی‌های رسی، به‌طور محلی سرسیت، پیریت و اکسیدهای آهن است.

**۴-۲. آرژیلیک شدید:** این پهنه به علت شدت بالای کانی‌های رسی با تخریب بافتی همراه است و نقاط کم‌ارتفاع و تپه‌ماهوری را شامل می‌شود. کانی‌های رسی ریز بلور، بیشتر محصول دگرسانی هستند. از دیگر کانی‌های دگرسانی این پهنه می‌توان از مقادیر متوسط تا کم سرسیت، سیلیس و سولفید و پهنه‌های اسیدشویی نام برد. در بررسی مقاطع نازک این پهنه در برخی محدوده‌ها، مناطق کانی‌های کلریت و اپیدوت با شدت کم مشخص شد که می‌تواند نشانه‌ای از تداخل (overprint) این پهنه دگرسانی با پهنه پروپلیتیک باشد. همچنین هوازگی برون‌زاد سبب شدت کانی‌های رسی و تشکیل کانی‌های لیمونیت و ژیس شده است.

بلورهای تازه بدون ماکل مشخص می‌شوند. کوارتز در زمینه سنگ حضور دارد. بیوتیت ۳ تا ۸ درصد، که در حاشیه تجمع کانی‌های کدر دانه‌ریز دیده می‌شود. کلینوپیروکسن ۵ تا ۱۰ درصد، که به صورت باقیمانده در مرکز بلور است و بیشتر بلورها کربناتی - کلریتی و یا خالی شده‌اند. هورنبلند ۴ درصد، که بیشتر بیوتیتی شده‌اند. کانی‌های کدر مگنتیت و پیریت و کانی فرعی آپاتیت نیز در آن دیده می‌شود. این توده گاه دارای درزه - شکستگی‌های پر شده با کوارتز با پهنه‌های میانبار سیال متعدد است و به‌طور محلی به کلریت - کربنات (پروپلیتیک متوسط تا ضعیف) دگرسان شده است.

**-دایک هورنبلند - بیوتیت - پیروکسن کوارتز مونوزودوریت پورفیری:** سیاه‌رنگ و تازه است و بیشتر به شکل دایک و آپوفیز، نفوذهای کوچک در باختر مرکز محدوده، در دامنه شمالی کوه‌شاه، رخنمون دارد و از کانه‌زایی جوان‌تر است. این آپوفیزها، بافت پورفیری در زمینه بسیار دانه‌ریز میکروولیتی دارند. درشت‌بلورها شامل: پلاژیوکلاز (۳۰ درصد، پهنه‌دار)، فلدسپار قلیایی (۱۰ درصد، کمی آرژیلی)، کوارتز (۸ درصد)، کلینوپیروکسن (۱۵ درصد از نوع دیوپسید)، بیوتیت (۵ درصد) گاه در حاشیه تیره‌تر) و هورنبلند (۳ درصد) که گاه تبدیل به بیوتیت شده‌اند) است. این توده گاه درزه‌های کربناتی دارد.

**-پیروکسن دیوریت پورفیری:** سیاه - سبز با سطح هوازده قهوه‌ای و درشت بلورهای بزرگ پیروکسن (تا ۱ سانتی‌متر) که کاملاً تازه هستند، نفوذهای پراکنده‌ای در مرکز و باختر مرکز محدوده مورد مطالعه دارد و بیشتر در حاشیه پهنه‌های دگرسان شده و به شکل تأخیری، نفوذ کرده است. این توده بافت پورفیری به‌ویژه گلومروپورفیری با تجمع بلورهای پیروکسن دارد. زمینه آن دانه متوسط فلدسپاری است. درشت‌بلورها شامل پلاژیوکلاز ۳۰ تا ۴۰ درصد و پهنه‌دار و پیروکسن ۲۵ تا ۳۰ درصد و بیشتر به صورت گلومروپورفیری و از نوع دیوپسید-اوژیت لاملار است. کانی‌های کدر مگنتیت و پیریت (۳ تا ۴ درصد)، و کانی فرعی آپاتیت در آن مشخص شد.

سنگ‌های آذرین این منطقه مربوط به سری ساب‌آلکان و کالک‌آلکان هستند. همچنین حضور کانی مگنتیت در این توده‌ها و داده‌های پذیرفتاری مغناطیسی (جدول ۱)، نمایانگر ماهیت اکسیدان آنهاست و می‌توان آنها را جزو گرانیتوئیدهای نوع I در نظر گرفت.

واحدهای کواترنری شامل واحد رسوبات رودخانه‌ای غیرعادی، پادگانه‌ها (تراس) و رسوبات رودخانه‌ای عهد حاضر است. واحد رسوبات رودخانه‌ای غیرعادی، در واقع رسوبات آبراهه‌ای هستند که توسط گسل‌های عادی جابه‌جا و گاه تا چند ده متر بالا آورده شده‌اند و سطح روی تپه‌ها را می‌پوشانند.

## ۴-دگرسانی

بررسی دگرسانی در منطقه مورد مطالعه شامل دو بخش است که در بخش اول، مطالعات دورسنجی برای شناسایی پهنه‌های دگرسانی، پیش از کار صحرایی و در بخش بعدی مطالعات صحرایی و میکروسکوپی صورت گرفته است.

مطالعات دورسنجی و به‌کارگیری داده‌های ماهواره‌ای برای شناسایی پهنه‌های دگرسانی، در دهه‌های اخیر مورد توجه بسیاری قرار گرفته است. گستره استفاده از این روش در اکتشاف کانسارهای مختلفی همچون پورفیری و اپی‌ترمال، نشانه‌ای از مؤثر بودن آن، در این امر است (Adams, 1985). منطقه کوه‌شاه جزو مناطق خشک و کویری است که به دلیل نداشتن پوشش گیاهی، برای پردازش تصاویر ماهواره‌ای و مشخص کردن مناطق احتمالی دگرسان در کمترین زمان ممکن، مناسب است. بررسی‌های دورسنجی در این منطقه به کمک داده‌های ماهواره ASTER انجام گرفت. برای پردازش این تصاویر از روش جدایش SAM (Spectral Angle Mapper) استفاده شده است. کانی‌های شناسایی شده از نتایج

عنصر Au با روش طیف‌نگاری (اسپکتروگراف) نشری و بقیه عناصر با دستگاه XRF پرتابل (Minimate) تجزیه شده‌اند. موقعیت نمونه‌های برداشت شده روی نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰ شیخ آباد در (شکل ۲) مشخص شده است. همان‌گونه که در شکل ۲ مشخص است موقعیت برداشت نمونه‌ها نشان از پوشش مناسب بخش اصلی کانه‌زایی در منطقه دارد.

به منظور بررسی خطای آزمایشگاهی از نمودار کنترلی تامسون و نمونه‌های تکراری (۲۰ نمونه تکراری) استفاده شد که برای همه عناصر دقت تجزیه شرایط قابل قبول و در زیر خط ۱۰ درصد قرار دارد.

پیش از پرداختن به تجزیه‌های چندمتغیره متغیرهای میانگین، میان (X)، انحراف معیار (S) محاسبه و مقادیر حد زمینه (معادل میان)، بی‌هنجاری‌های ممکن ( $X+2S$  و  $X+3S$ ) و احتمالی ( $>X+3S$ ) تعیین شد (جدول ۲).

گفتنی است داده‌های سنسورد به روش جایگزینی ساده اصلاح (حسنی پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰) و عادی‌سازی داده‌ها روی همه نمونه‌ها (سنسورد و غیر سنسورد) انجام شده است.

در این پژوهش به منظور تحلیل داده‌های رسوب آبراهه‌ای از روش آماری چندمتغیره تحلیل فاکتوری یا تجزیه عاملی استفاده شده است. تجربه نشان داده است چنانچه ترکیبی از متغیرها به جای یک متغیر به کار گرفته شوند و از نتایج ترکیبی آنها استفاده شود امکان تشخیص هاله‌های مرکب ژئوشیمیایی در پیرامون توده‌های کانساری و مشخص کردن بی‌هنجاری‌های مرتبط با کانه‌زایی به مراتب افزایش می‌یابد و از سوی دیگر اثرات خطاهای تصادفی در به کارگیری ترکیبی متغیرها به نسبت کاهش می‌یابد (حسنی پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰).

تجزیه عاملی نامی عمومی است که به گروهی از روش‌های آماری چندمتغیره گفته می‌شود و هدف اولیه آن تفسیر ساختار ماتریس واریانس - کواریانس مجموعه‌ای از داده‌های چندمتغیره است. تجزیه عاملی بین مجموعه‌ای متشکل از متغیرهای گوناگون که به ظاهر بی‌ارتباط هستند، رابطه خاصی را در یک مدل فرضی برقرار می‌کند. فرق میان این روش و رگرسیون چندگانه در این است که: متغیرها به طور مستقیم در ساختار مدل ارتباطی نمایان نمی‌شوند.

شمار و تعداد عامل‌ها (ترکیبی خطی از متغیرهای اصلی که ویژگی خاصی از ارتباط بین متغیرها را بیان می‌کند) به مراتب کمتر از شمار متغیرهای اصلی هستند. بنابراین یکی از اهداف اصلی روش تجزیه عاملی، کاهش ابعاد داده‌هاست. فرض بنیادین در به کارگیری این روش، وجود الگویی زیربنایی یا مدلی خطی در تعیین مفاهیم پیچیده ارتباطی بین متغیرهاست. این ارتباط در قالب یک عامل در این مدل فرضی نمایان می‌شود. به طور کلی اهداف از تجزیه عاملی عبارت است از:

تعیین متغیرهای کنترل‌کننده اصلی در بین یک سری داده ژئوشیمیایی است. یا به عبارت دیگر یافتن کمترین تعداد متغیرهایی که بیشتر مشاهدات را در بین سری داده‌ها نشان بدهند (Reimann et al, 2000).

تعیین سهم نسبی هر یک از متغیرها در به وجود آمدن تغییرات توزیع عناصر. برای مشخص کردن درستی و تأیید تجزیه عاملی، ضریب KMO (Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy) همراه با آزمون مربع کای ( $\chi^2$ ) محاسبه شده است (Garrett, 1989). مقدار KMO برابر با ۰/۹۱ با توجه به اعتبار آزمون مربع کای که سطح اعتماد آن کاملاً معتبر و درجه آزادی آن برابر با ۲۵۳ است (مقدار ۲۵۳ برابر با مجموع داده‌های ماتریس همبستگی جزئی است) تجزیه عاملی بالا را در رده بسیار مناسب قرار می‌دهد.

درصد مشارکت (Communalities) برای هر عنصر به طور جداگانه محاسبه شده است. با توجه به جدول ۳ بیشترین درصد مشارکت با ضرایب بالای ۰/۹ به عناصر Zn, Ag, Ti, Sr, Sn, Sc, Sb, Pb, Ni, Ba, Mn, Hg, Fe, Cu, Cr, Co, Cd, Bi

**۴-۳. آرژلیک پیشرفته:** پهنه دگرسانی آرژلیک پیشرفته که در بالای دگرسانی آرژلیک قرار دارد، ارتفاع‌ساز و شامل کانی‌های رسی به‌ویژه کائولینیت و بخش‌های سیلیسی، سریستی، سولفید اکسیده، لیمونیت و ژاروسیت است. در برخی مناطق پهنه‌های باریکی از کائولینیت و آلونیت به نسبت خالص وجود دارد. در مرتفع‌ترین بخش این پهنه، رگچه‌های استوک ورکی از کوارتز و لیمونیت (ژاروسیت) و برش گرمایی، دیده می‌شود که موجب تشکیل کلاهک‌های گوسن شده است.

**۴-۴. سیلیسی:** سیلیسی شدن بر حسب شدت به دو حالت دیده می‌شود که شامل سیلیس دانه‌ریز سفید-خاکستری به صورت رگه‌های توده‌ای-پهنه‌های سیلیسی با حاشیه‌رسی-سیلیسی با گستره زیاد و سیلیس نهران بلورین (کریپتو کریستالین) خاکستری با حفرات بسیار کوچک با شدت بالا و به صورت محدود در برخی مناطق است. از دیگر دگرسانی‌های دیده‌شده در این منطقه رگچه‌های تأخیری کلسیت-اکسید آهن، درزه و شکستگی‌های کوارتزی و پهنه‌های برش گسلی با سیمان سیلیس-کربنات دارای سولفید دانه پراکنده، است.

دگرسانی در این محدوده در ارتباط با توده‌های نفوذی نیمه‌زرف بسیاری با نفوذهای تلسکوپ در یکدیگر است که در این منطقه، گستره زیادی را به خود اختصاص داده‌اند و مسبب گوناگونی و تداخل (overprint) پهنه‌های دگرسانی بر روی یکدیگر هستند. همچنین هوازدگی شدید در این منطقه، پهنه‌های دگرسانی اولیه را متأثر ساخته و موجب تشدید یا تبدیل دگرسانی به آرژلیک برون‌زاد شده است. تداخل (overprint) دگرسانی آرژلیک اولیه و همچنین هوازدگی شدید بر روی دگرسانی پروپلیتیک، به نمایش این دگرسانی به شکل پهنه‌های کلریتی-آرژلی-کلسیت (کمتر اپیدت-ژوئزیت) انجامیده است. همین امر سبب شده است تا پهنه‌بندی مشخص پروپلیتیک در پردازش تصاویر ماهواره‌ای به راحتی قابل جدایش نباشد.

## ۵- کانه‌زایی

در این منطقه کانی‌سازی به دو شکل سولفیدی و اکسیدهای آهن دیده می‌شود (شکل ۷). پیریت و مقدار جزئی کالکوپیریت، کانه‌های سولفیدی اولیه هستند که به شکل دانه پراکنده در متن سنگ و به مقدار کمتر در درزه‌ها تشکیل شده‌اند. سولفید اولیه به صورت بلورهای کوچک تا ۱ درصد، منطبق بر دگرسانی‌های سیلیسی شدید، رگه‌های توده‌ای سیلیسی و برش گرمایی دیده می‌شود. به دلیل شدت زیاد اکسایش در منطقه، بیشتر کانی‌سازی سولفیدی به اکسیدهای آهن ثانویه مانند گوتیت، هماتیت، لیمونیت و ژاروسیت اکسیده شده است. میزان اکسیدهای آهن در پهنه‌های دگرسان میان ۰ تا ۸ درصد متغیر است. بیشترین میزان آن منطبق بر کلاهک‌های گوسن و بخش استوکورک سیلیس-لیمونیت دگرسانی آرژلیک پیشرفته است و کمترین میزان آن در پهنه سیلیسی دیده می‌شود.

در بخش میانه باختری منطقه مورد مطالعه درزه‌هایی سیلیسی با آثار مالاکیت دیده می‌شود (شکل ۷)، که نشانه‌ای از حضور مس در منطقه است. در بخش میانی منطقه تا خاور آن، پهنه‌های گسلی بسیاری در ابعاد سانتی متری تا چند متری یافت می‌شود که سیمان سیلیسی-کربناتی با سولفید پراکنده (پیریت) دارند.

## ۶- پردازش داده‌های ژئوشیمی

در این مقاله از داده‌های اکتشاف ژئوشیمیایی رسوبات رودخانه‌ای سازمان زمین‌شناسی کشور (۱۳۸۲) استفاده شده است. داده‌های یادشده شامل تجزیه شیمیایی ۲۳ عنصر (Zn, W, V, Ti, Sr, Sn, Sc, Sb, Pb, Ni, Mo, Mn, Hg, Fe, Cu) و عناصر Ba, Au, As, Ag, Cr, Co, Cd, Bi و W و Mo با روش پلاروگرافی،

وابسته‌اند یا مستقل از آنها هستند این امر سبب ساده تر شدن تعبیر عامل‌ها خواهد شد. مؤلفه‌های چرخش یافته جدید که بدین ترتیب به دست می‌آید، مؤلفه‌های اصلی برای محاسبه امتیازات (scores) هستند. مؤلفه‌های خام و چرخش یافته در جدول ۴ آورده شده است. با استفاده از جدول عاملی مقادیر چرخش یافته، مقادیر ضریب چرخش یافته بالای ۰/۵، پایه انتخاب هر متغیر در هر عامل است. گفتنی است که اعداد مثبت رابطه وارونی با اعداد منفی خواهند داشت، با توجه به مطالب یادشده ۵ عامل برگزیده شامل عناصر زیر است:

– عامل یک: این عامل شامل Zn, Cr, Ni, Sc, Co, V, Hg, Fe, Mn, Ti با امتیاز مثبت و Ag, As, Sn با امتیاز منفی است. عدم ارتباط زایشی خاص و گوناگونی یادشده به همراه نقشه پراکندگی این عامل نشان‌دهنده تأثیر سنگ‌شناسی بر روی این عناصر، غنی‌شدگی برخی عناصر و تهی‌شدگی برخی دیگر از عناصر است که هیچ‌گونه ارتباط ژنتیکی از دید کانه‌زایی با هم ندارند. در مجموع این عامل مربوط به تأثیر سنگ‌شناسی روی عناصر است.

– عامل دوم: این عامل شامل Cu و Cd با امتیاز مثبت و Ba با امتیاز منفی است. با توجه به اینکه مس راحت‌تر از طلا شسته می‌شود در عاملی جدا قرار می‌گیرد.

– عامل سوم: این عامل شامل امتیاز مثبت برای عناصر W, Mo و Au در منطقه است که با توجه به همبود عناصر، نقشه پراکندگی این عامل و گسترش دگرسانی در منطقه می‌تواند نشان‌دهنده سامانه طلای پورفیری و کانه‌زایی اصلی در منطقه باشد. شکل ۹ نمودار ستونی میزان مؤلفه چرخش یافته عامل ۳ را به نمایش می‌گذارد. همان‌گونه که در نمودار مشخص است عناصر طلا، تنگستن و مولیبدن بیشترین امتیاز را در این عامل دارند. شکل ۱۰ نمودار سه بعدی نمایش میزان این ۳ عنصر را نسبت به هم نمایش می‌دهد که نشان‌دهنده همبستگی مثبت این سه عنصر است.

– عامل چهارم: این عامل شامل امتیاز مثبت برای عناصر Sr و Sb است که نشان از ارتباط ژنتیکی این عناصر و شسته شدن این عناصر طی فرایندهای ثانویه از کانه‌زایی اصلی در منطقه دارد.

– عامل پنجم: این عامل شامل امتیاز مثبت Bi در منطقه است که ظاهراً قرارگیری آن در این عامل ارتباطی با کانه‌زایی طلا در منطقه ندارد.

## ۷- بحث و نتیجه‌گیری

جایگاه زمین‌ساختی مناسب، وجود توده‌های نفوذی نیمه‌ژرف با ترکیب حدواسط، فعالیت ماگمایی با ماهیت کلسیمی-قلیایی و اکسیدان شرایط لازم برای کانه‌زایی نوع پورفیری و اپی‌ترمال طلا را در منطقه ایجاد کرده است. گسترش پهنه‌های دگرسانی در منطقه و به ویژه وجود پهنه‌های سیلیسی، کلاهدک گوسن، آرژیلیک پیشرفته، آرژیلیک و سریستی در مرکز منطقه، همانند مجموعه کلاهدک سنگی (Sillitoe 1993 & 1995; Sillitoe et al., 1998) است که در بالای سامانه‌های پورفیری و اپی‌ترمال دیده می‌شود. نمونه‌هایی از این دست کانی‌سازی در باختر و جنوب باختری منطقه مورد مطالعه (ماهرآباد و خویپیک) وجود دارد.

حضور بی‌هنجاری‌های طلا در سطح منطقه که توسط رسوبات آبراهه‌ای به تأیید رسیده است نشان از پتانسیل بالای منطقه برای سامانه‌های طلا دار است. کانی‌سازی به شکل دانه‌پراکنده در واحد به‌شدت دگرسان و رگه‌های سیلیسی-اکسید آهن-سولفید به همراه اکسیدهای آهن ثانویه فراوان پراکنده در سنگ‌های دگرسان است که خود شاهدهی از وجود سولفید اولیه بالا در منطقه است.

تمایز بالای عامل سوم تجزیه عاملی برای عناصر طلا، مولیبدن و تنگستن و انطباق مناطق بی‌هنجار عامل سوم با بی‌هنجاری‌های طلا (شکل ۱۱)، مناطق دارای بیشترین میزان سولفید اولیه و اکسیدهای آهن ثانویه (شکل ۱۲) و مناطق دارای دگرسانی‌های سریستی و سیلیسی در منطقه، نشان‌دهنده آن است که

می‌گیرد. پس از این عناصر، رده دوم عناصر دارای درصد مشارکت بالا (ضریب بالای ۰/۸)، V و As هستند. در رده بعدی با ضریب مشارکت بالای ۰/۷ عناصر Mo و W قرار دارند و کمترین مشارکت مربوط به طلا با ضریب بالای ۰/۵ است. بیان این نکته ضروری است که هر چه درصد مشارکت یک عنصر بالا باشد نشان از مشارکت بالای این عناصر در تحلیل واریانس عمومی داده‌ها دارد. تحلیل داده‌ها در ادامه علت این نوع مشارکت را مشخص خواهد کرد.

مقادیر ویژه، درصد واریانس و درصد تجمعی واریانس هر مؤلفه به‌طور جداگانه محاسبه شده است (جدول ۳).

متغیر مقادیر ویژه، حاصل جمع ستون بارهای (Loadings) توان دوم برای هر عامل است، که بیانگر مقدار واریانس محاسبه شده برای هر کدام از عامل‌ها است. بیشترین مقدار این متغیر مربوط به طلاست و علت آن عدم وابستگی این عنصر به واحدهای سنگی منطقه و شاهدهی است مبنی بر اینکه تغییرات این عنصر مربوط به عاملی غیر از سنگ‌شناسی و در حقیقت مربوط به کانه‌زایی خواهد بود (حسنی‌پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰).

درصد واریانس، بیانگر مقدار تغییرپذیری محاسبه شده برای هر مؤلفه است که طبیعتاً بیشترین تغییرپذیری مربوط به طلاست.

با توجه به جدول ۳ و نمودار صخره‌ای (Scree Plot) شکل ۸، مؤلفه انتخاب شده است. علت انتخاب این ۵ مؤلفه به ۲ متغیر بستگی دارد؛ اول اینکه درصد تجمعی واریانس بالای ۹۰ درصد از یک جامعه ژئوشیمیایی می‌تواند نشان‌دهنده تقریبی همه جامعه باشد. حال با در نظر گرفتن ۵ مؤلفه، تقریباً ۹۰ درصد واریانس تجمعی جامعه پوشش داده می‌شوند که برای تجزیه و تحلیل مؤلفه‌ها مناسب به نظر می‌رسد. دوم اینکه در بررسی‌های آماری ژئوشیمیایی از نمودار صخره‌ای (Scree Plot) استفاده می‌شود که در آن مقادیر ویژه بر حسب اهمیت آنها از بزرگ‌ترین تا کوچک‌ترین مقدار ردیف شده‌اند، با توجه به این نمودار مقادیر بالای دومین شکست معتبر (مقادیر ویژه بالای یک) برای انتخاب مؤلفه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل ۸).

با توجه به جدول ۴ مقدار ویژه خام مؤلفه اول ۱۳/۵، مؤلفه دوم ۳/۱، مؤلفه سوم ۲/۰، مؤلفه چهارم ۱/۲۴ و مؤلفه پنجم ۱/۰۶ و مقادیر چرخش مؤلفه اول ۱۲/۵، مؤلفه دوم ۳/۱۱، مؤلفه سوم ۲/۱۲ و مؤلفه چهارم ۱/۹۷، مؤلفه پنجم ۱/۳۰ است و درصد واریانس مؤلفه اول ۵۸/۹۲، مؤلفه دوم ۱۳/۷۵، مؤلفه سوم ۸/۷۲، مؤلفه چهارم ۵/۴۱ و مؤلفه پنجم ۴/۶۲ و واریانس چرخش یافته مؤلفه اول ۵۴/۳۶، مؤلفه دوم ۱۳/۵۵، مؤلفه سوم ۹/۲۳، مؤلفه چهارم ۸/۵۹ و مؤلفه پنجم ۱/۳۰ است. پس از این ۵ مؤلفه مقادیر ویژه واریانس به‌شدت نزول پیدا می‌کند. بنابراین ۵ مؤلفه اول برای تجزیه و تحلیل عاملی انتخاب می‌شود.

پس از انتخاب مؤلفه‌ها، باید در نظر داشت که مؤلفه‌های خام (غیر چرخشی) نمی‌توانند همه تغییرپذیری واقعی جامعه را نشان دهند، چون در بسیاری از موارد شماری از متغیرها به یک عامل ویژه یا حتی به شماری از عامل‌ها بستگی دارند و در نتیجه تعبیر عوامل را با مشکل روبرو خواهد کرد. از این رو روش‌هایی به‌وجود آمده است که بدون تغییر میزان اشتراک، سبب تعبیر ساده عوامل می‌شوند، این روش‌ها همان دوران عاملی‌ها هستند. بنابراین مؤلفه‌های خام باید در تابع مشخصی چرخش داده شوند، تا بهترین واریانس جامعه عمومی به‌دست آید. در بررسی‌های ژئوشیمیایی بیشتر از تابع چرخش وریمکس (Rotation Varimax) استفاده می‌شود. با انتخاب تابع وریمکس، دورانی متعامد بر روی ضرایب عامل صورت می‌گیرد. با این دوران تغییرات مربعات عناصر ستونی، برآورد ضرایب عامل‌ها را بیشینه می‌کند، این روش مقادیری به نسبت بزرگ (از دید قدر مطلق) یا صفر به ستون‌های ماتریسی ضرایب عامل‌ها اختصاص می‌دهد، در نتیجه عواملی ایجاد می‌شود که با به‌شدت به متغیرها

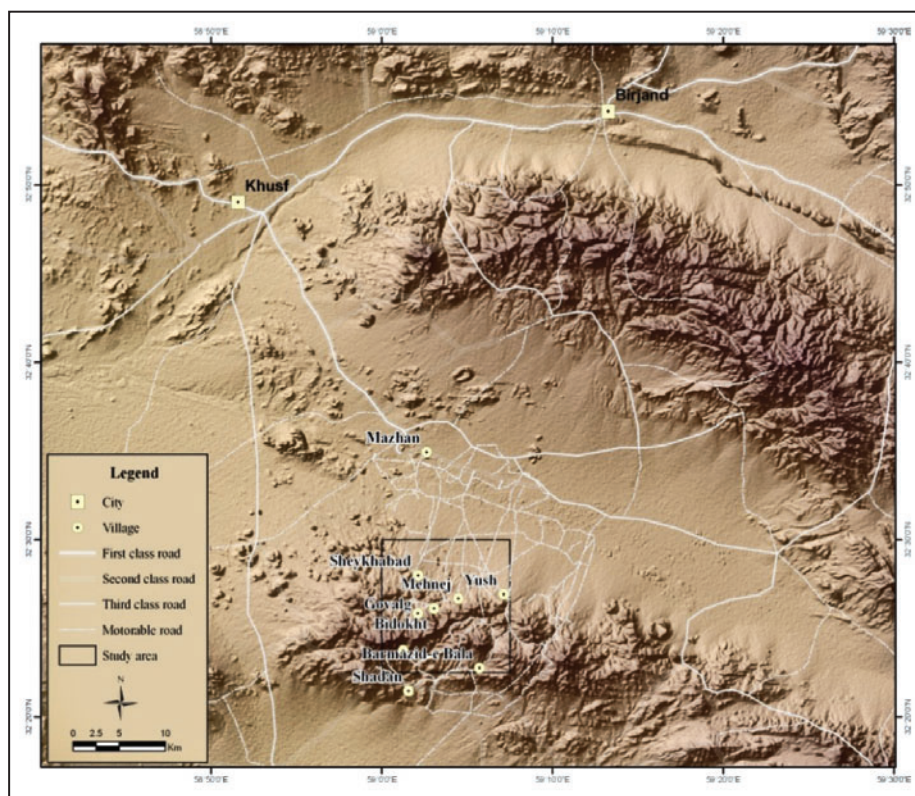
لیتوژئوشیمیایی قرار گرفته است پس از به دست آمدن نتایج در اختیار پژوهشگران محترم قرار خواهد گرفت.

### سپاسگزاری

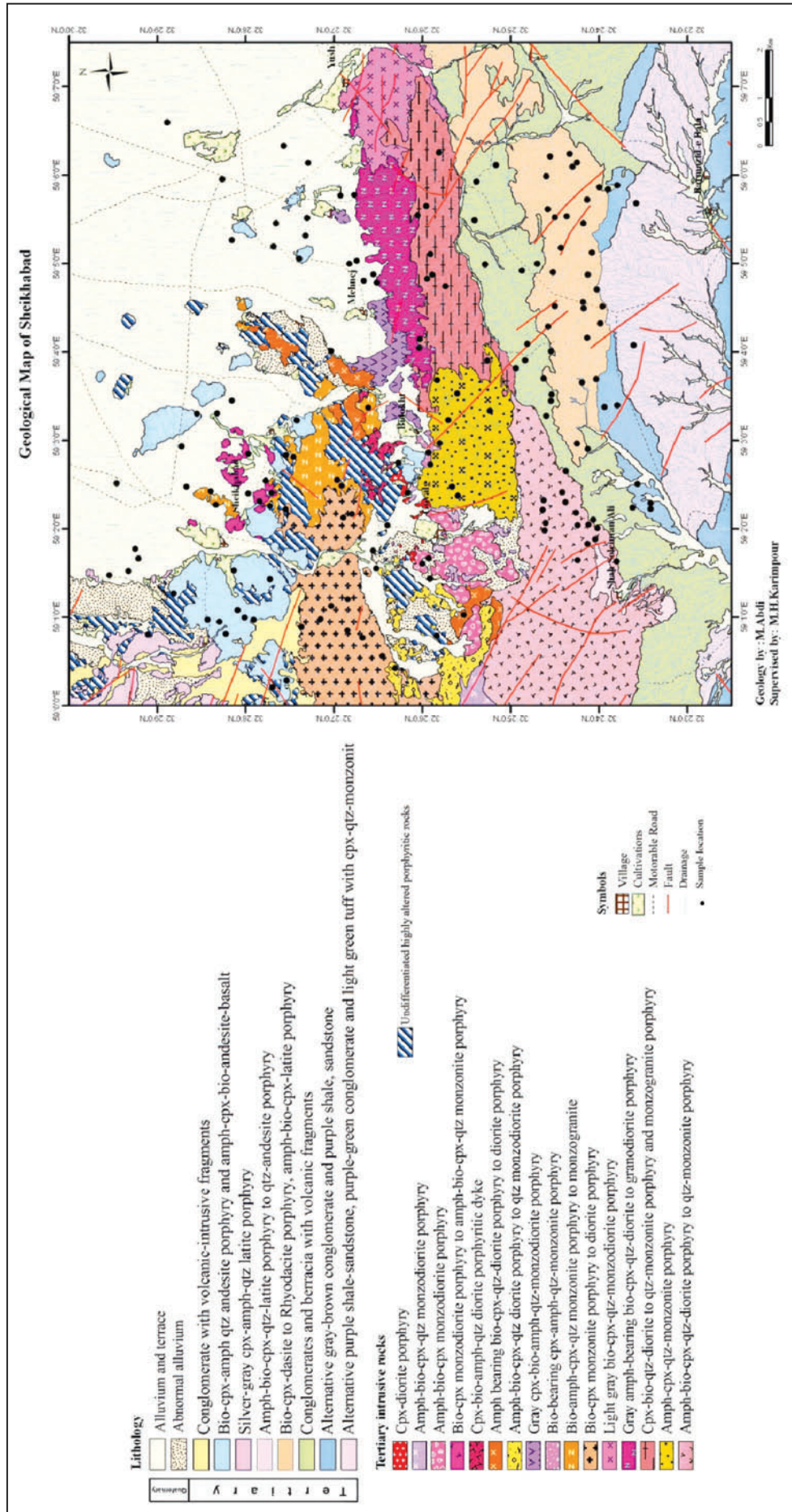
مجموعه مطالعات این پژوهش با حمایت سازمان زمین شناسی کشور در قالب تهیه نقشه زمین شناسی ۱/۲۵۰۰۰ شیخ آباد صورت پذیرفته است. بدین وسیله از معاونت وقت زمین شناسی و مدیریت وقت زمین شناسی منطقه ای سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور آقایان دکتر محمدرضا قاسمی، دکتر جلیل قلمقاش و دکتر خلیل بهارفیروزی به دلیل همراهی و حمایت های بی دریغ شان سپاسگزاری می شود.

عامل سوم به عنوان عامل کانه زایی در مشخص کردن بی هنجاری های طلا کاملاً مناسب است و بی هنجاری های تنگستن و مولیبدن نیز می تواند به عنوان ردیاب مورد توجه قرار گیرد.

چگونگی گسترش دگرسانی ها (رخمون کم پهنه های سریستی) و دیده نشدن رگچه های کوارتز- سولفید به صورت استوک ورک می تواند نشانه آن باشد که کانه زایی در منطقه کوه شاه در بخش های بالایی سامانه قرار دارد و انتظار وجود یک سامانه پورفیری در ژرفا می رود با توجه به نتایج به دست آمده، محل انطباق بی هنجاری های عامل سوم که با مناطق بی هنجاری طلای رسوبات رودخانه ای و دگرسانی های سریستی، سیلیسی و کلاهیگ گوسن، در برنامه نمونه برداری

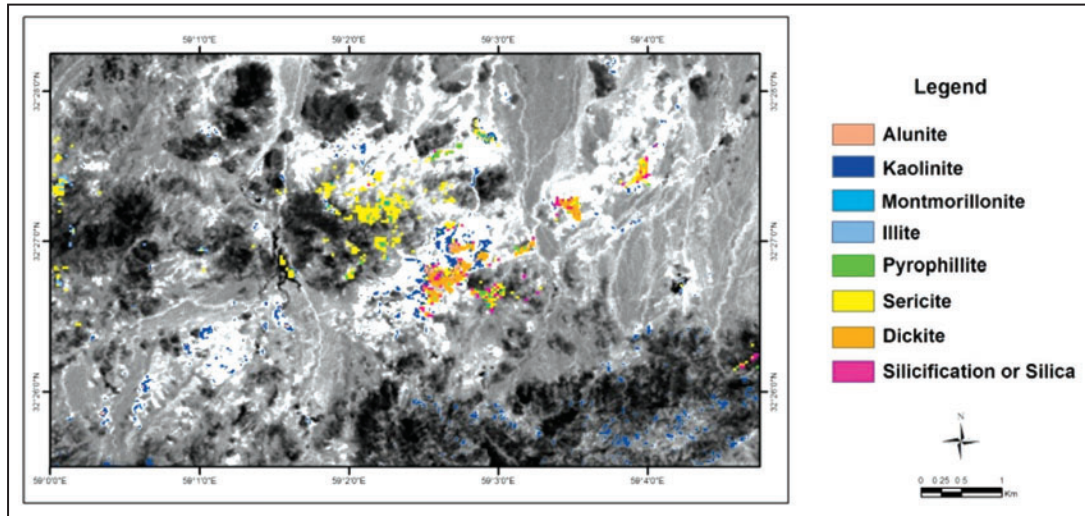


شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و راه های دسترسی به منطقه مورد مطالعه.

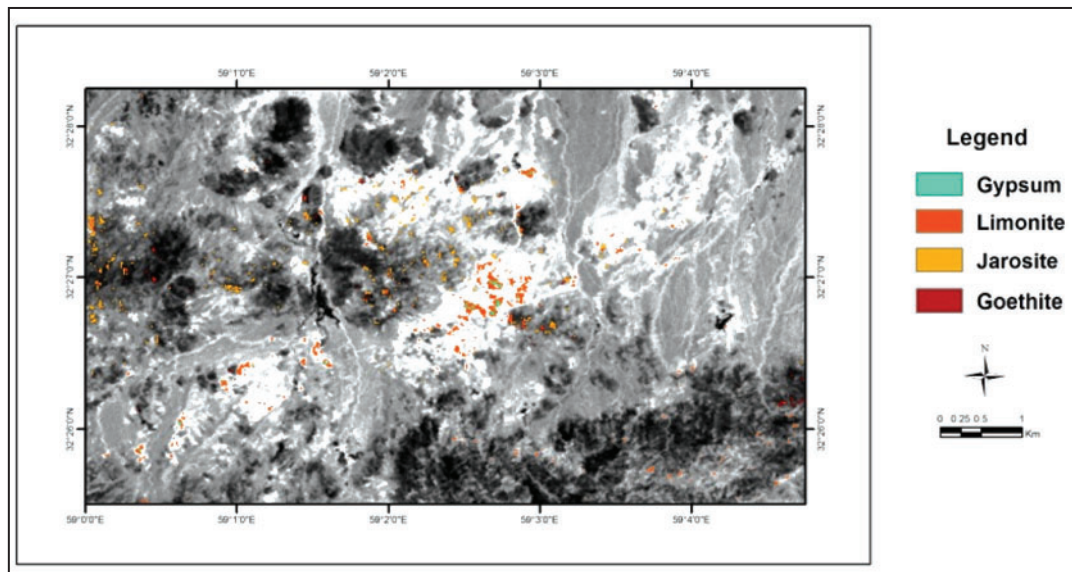


شکل ۲- نقشه زمین شناسی به همراه موقعیت نقاط نمونه برداری رسوب رودخانه‌ای





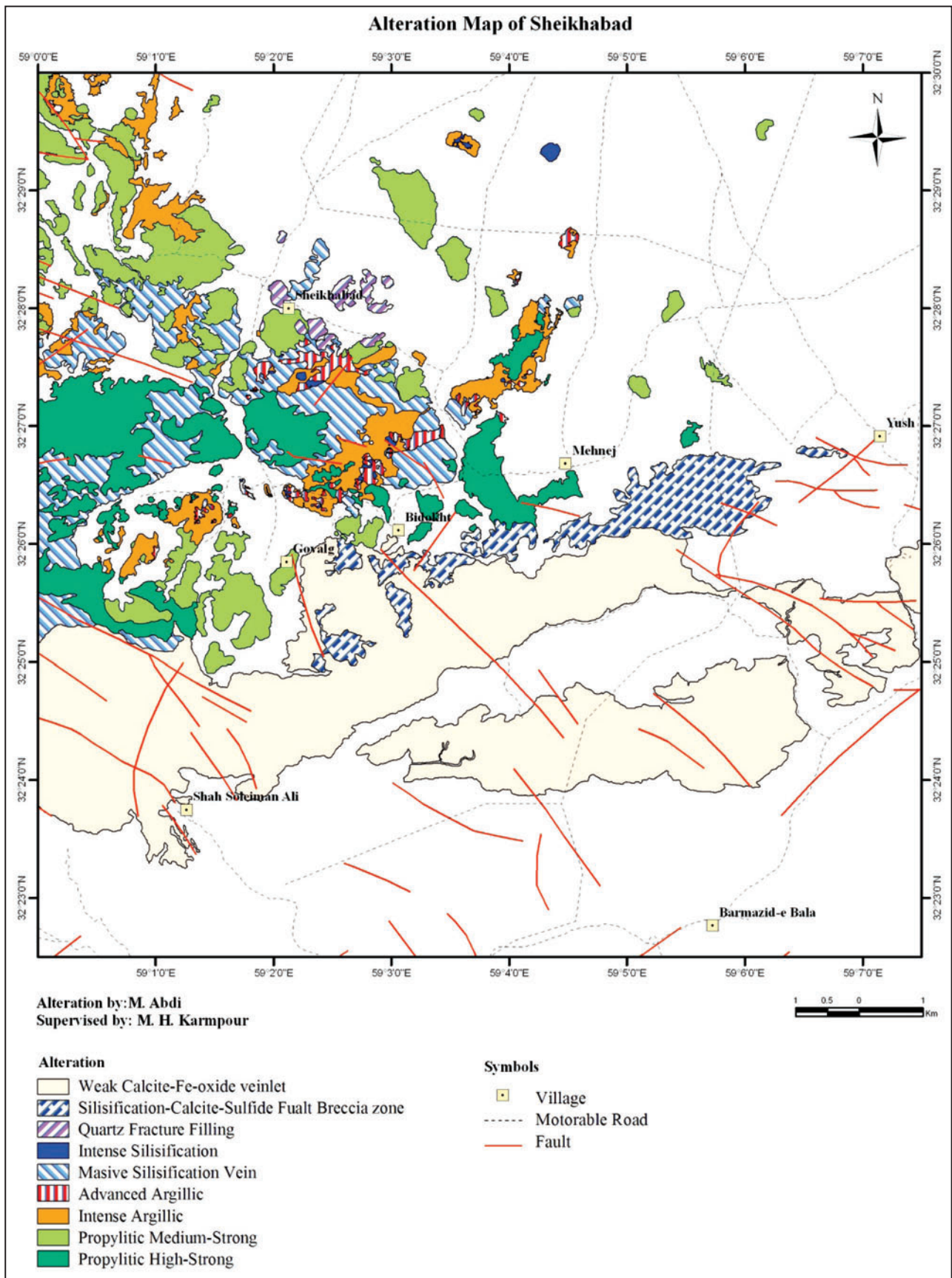
شکل ۳- نتایج اجرای روش SAM برای کانی‌های پهنه سریسیتی و آرژلیک، نمایش روی باند ۱.



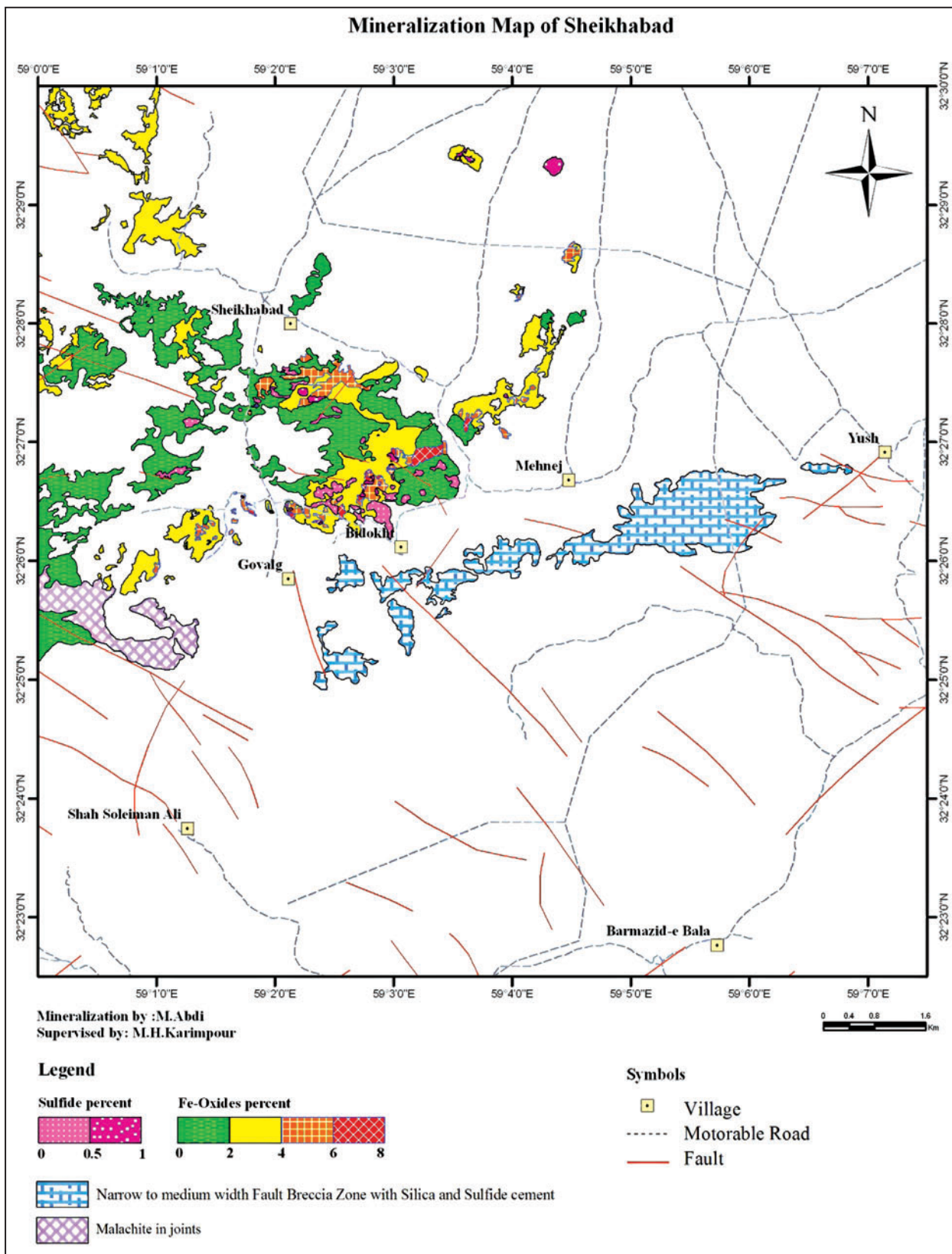
شکل ۴- نتایج اجرای روش SAM برای کانی‌های ثانویه، نمایش روی باند ۱.



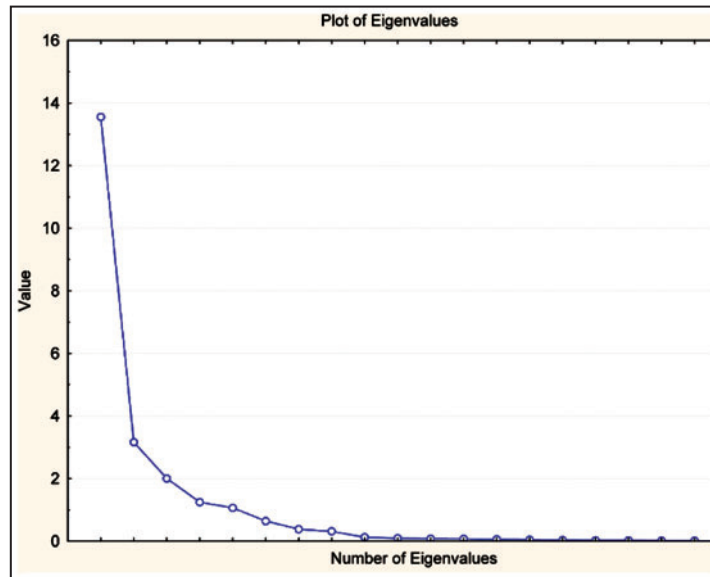
شکل ۵- گسترش پهناور دگرسانی در منطقه (دید به سوی جنوب خاور، از روی قله کوه شاه).



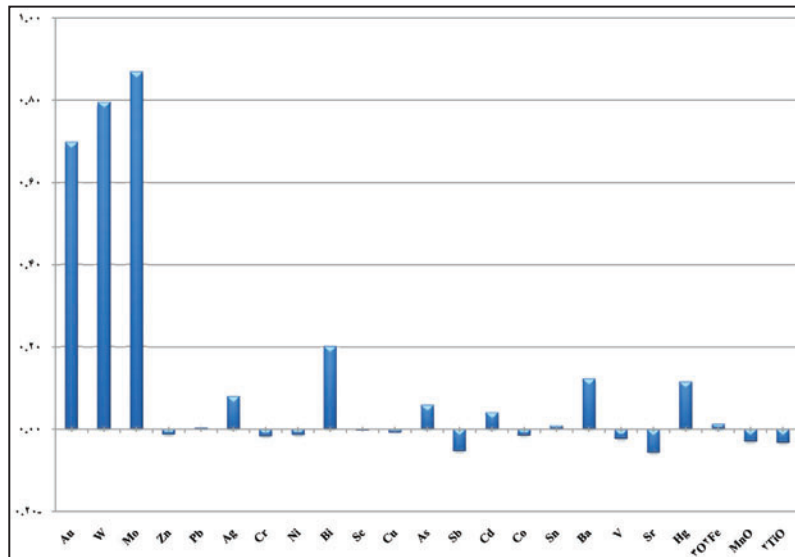
شکل ۶- نقشه دگرسانی منطقه مورد مطالعه.



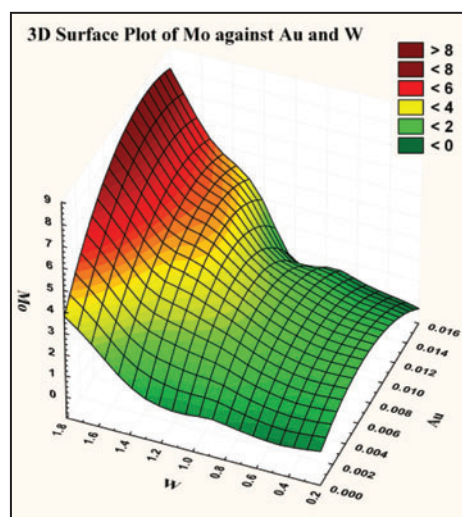
شکل ۷- نقشه کانی سازی منطقه مورد مطالعه.



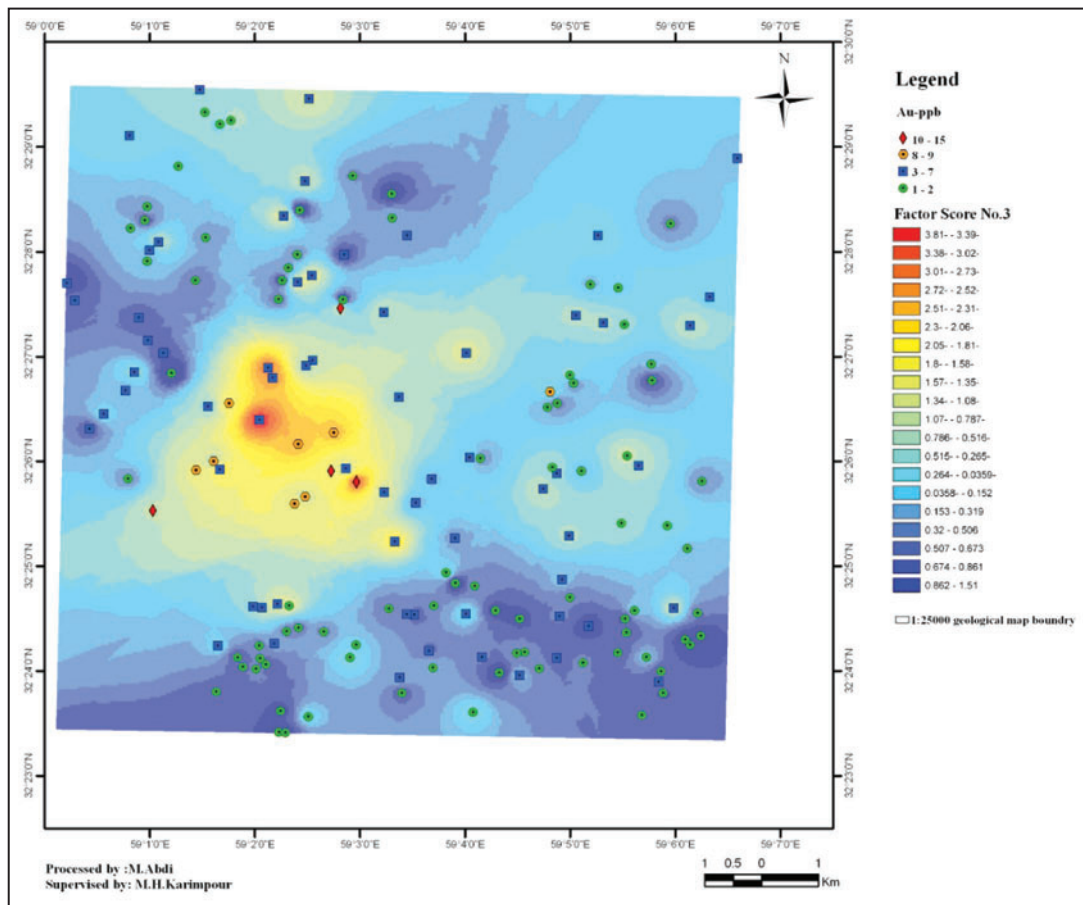
شکل ۸- نمودار صخره‌ای مقادیر ویژه.



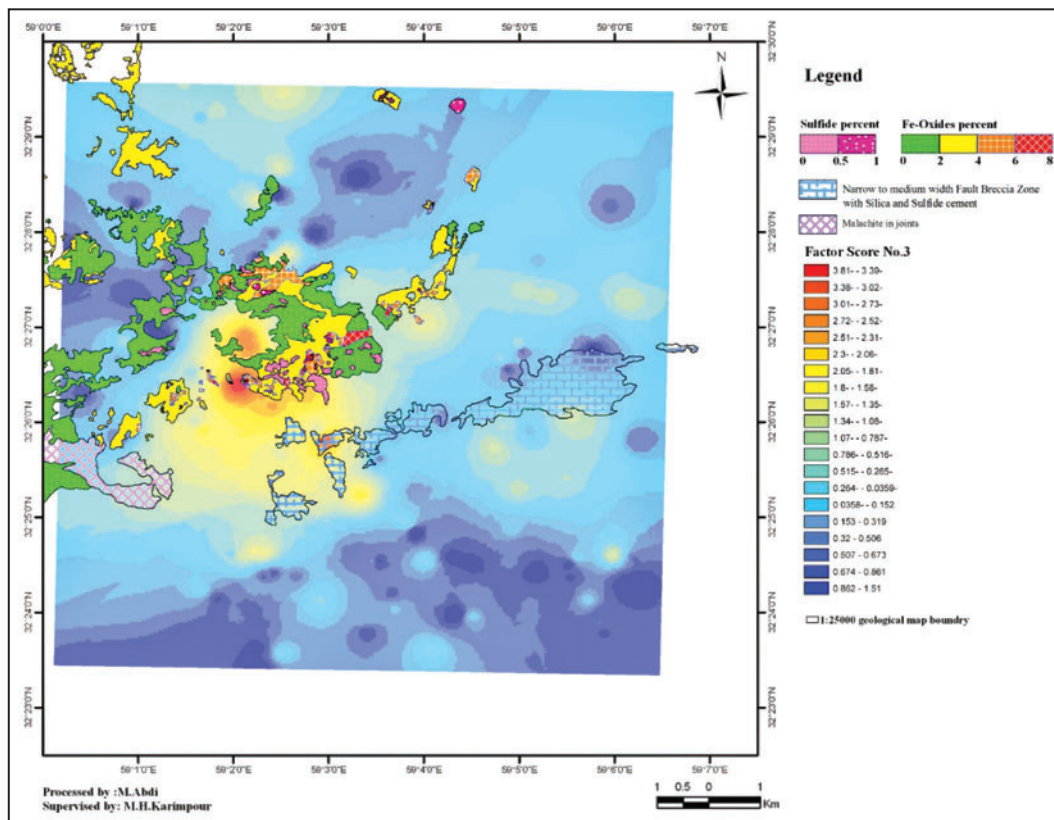
شکل ۹- نمودار ستونی میزان مؤلفه چرخش یافته عامل سوم.



شکل ۱۰- نمودار سه‌بعدی میزان طلا، تنگستن و مولیبدن.



شکل ۱۱- انطباق مناطق بی هنجار عامل سوم با بی هنجاری های طلا.



شکل ۱۲- انطباق مناطق بی هنجار عامل سوم با مناطق کانه زایی.

جدول ۱- مقادیر اندازه‌گیری شده پذیرفتاری مغناطیسی شماری از توده‌های نفوذی در منطقه مورد مطالعه.

شماره نمونه	پذیرفتاری مغناطیسی (SI)	جنس واحد سنگی
Gv5	$2565 \times 10^{-5}$	پیروکسن دیوریت پورفیری
G34	$2013 \times 10^{-5}$	پیروکسن دیوریت پورفیری
Gv1	$640 \times 10^{-5}$	دایک هورنبلند-بیوتیت-پیروکسن کوارتز مونوزودیوریت پورفیری
Gv2	$1553 \times 10^{-5}$	هورنبلند-بیوتیت-پیروکسن مونوزودیوریت پورفیری تا بیوتیت-پیروکسن-کوارتز مونزونیت پورفیری
Sh1	$2730 \times 10^{-5}$	هورنبلند-بیوتیت-پیروکسن مونوزودیوریت پورفیری تا بیوتیت-پیروکسن-کوارتز مونزونیت پورفیری
Sh15	$1274 \times 10^{-5}$	هورنبلند-بیوتیت-پیروکسن مونوزودیوریت پورفیری تا بیوتیت-پیروکسن-کوارتز مونزونیت پورفیری
G33	$1815 \times 10^{-5}$	دایک پیروکسن-بیوتیت-هورنبلند-کوارتز دیوریت پورفیری
Gv8	$1013 \times 10^{-5}$	هورنبلند-بیوتیت-پیروکسن-کوارتز دیوریت تا دیوریت پورفیری
Km16	$908 \times 10^{-5}$	هورنبلند-بیوتیت-پیروکسن-کوارتز دیوریت تا دیوریت پورفیری
Bd1	$290 \times 10^{-5}$	پیروکسن-هورنبلند-کوارتز مونزونیت پورفیری بیوتیتار
G15	$2821 \times 10^{-5}$	بیوتیت-هورنبلند-پیروکسن-کوارتز مونزونیت-مونوگرانیت پورفیری
Sh5	$1131 \times 10^{-5}$	بیوتیت-هورنبلند-پیروکسن-کوارتز مونزونیت-مونوگرانیت پورفیری
Sh13	$2035 \times 10^{-5}$	بیوتیت-هورنبلند-پیروکسن-کوارتز مونزونیت-مونوگرانیت پورفیری
SA1	$922 \times 10^{-5}$	بیوتیت-پیروکسن مونزونیت-دیوریت پورفیری
SA4	$2281 \times 10^{-5}$	بیوتیت-پیروکسن مونزونیت-دیوریت پورفیری
Km17	$3004 \times 10^{-5}$	هورنبلند-بیوتیت-پیروکسن-کوارتز دیوریت پورفیری تا کوارتز مونزونیت پورفیری (توده کوه شاه)

جدول ۲- نتایج محاسبات آماری بر روی داده‌های ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای.

	Mean	Median	.Std.Dev	X+S	X+2S	X+3S
Au	0.0029	0.002	0.002	0.004	0.007	0.009
W	0.7962	0.750	0.234	0.984	1.218	1.452
Mo	1.6891	1.310	1.129	2.439	3.567	4.696
Zn	114.4475	100.195	40.002	140.197	180.199	220.202
Pb	25.0759	27.010	6.374	33.384	39.757	46.131
Ag	0.0376	0.040	0.009	0.049	0.058	0.066
Cr	197.8868	168.191	86.983	255.174	342.157	429.140
Ni	80.2926	55.892	60.909	116.801	177.710	238.619
Bi	0.1924	0.189	0.043	0.232	0.274	0.317
Sc	33.8262	31.135	7.959	39.094	47.053	55.013
Cu	32.0187	31.978	6.285	38.263	44.548	50.833
As	1.3715	1.555	0.555	2.110	2.664	3.219
Sb	0.5411	0.537	0.055	0.592	0.647	0.701
Cd	0.3294	0.329	0.062	0.391	0.452	0.514
Co	37.1061	26.440	27.016	53.456	80.472	107.488
Sn	4.3798	4.644	0.763	5.407	6.169	6.932
Ba	378.9742	374.918	43.199	418.117	461.317	504.516
V	137.6764	117.650	48.383	166.033	214.415	262.798
Sr	219.7975	214.843	23.020	237.863	260.882	283.902
Hg	0.0221	0.021	0.006	0.027	0.033	0.039
Fe2O3	9.6806	8.356	3.869	12.225	16.093	19.962
MnO	0.1206	0.107	0.037	0.144	0.182	0.219
TiO2	0.7253	0.625	0.285	0.910	1.196	1.481

جدول ۳- متغیرهای محاسبه شده برای تجزیه عاملی.

Total Variance Explained											
Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings			Communalities		
	Total	% Variance	% .Cum	Total	% Variance	% .Cum	Total	% Variance	% .Cum		Extraction
Au	13.5536	58.9286	58.9286	13.5536	58.9286	58.9286	12.5048	54.3688	54.3688	Au	0.594
W	3.1634	13.7538	72.6824	3.1634	13.7538	72.6824	3.1183	13.5576	67.9265	W	0.723
Mo	2.0056	8.7202	81.4025	2.0056	8.7202	81.4025	2.1238	9.2337	77.1602	Mo	0.776
Zn	1.2462	5.4181	86.8206	1.2462	5.4181	86.8206	1.9765	8.5936	85.7538	Zn	0.952
Pb	1.0641	4.6263	91.4469	1.0641	4.6263	91.4469	1.3094	5.6931	91.4469	Pb	0.986
Ag	0.6460	2.8086	94.2555							Ag	0.943
Cr	0.3827	1.6640	95.9195							Cr	0.937
Ni	0.3153	1.3707	97.2902							Ni	0.970
Bi	0.1256	0.5460	97.8363							Bi	0.913
Sc	0.0944	0.4106	98.2468							Sc	0.928
Cu	0.0824	0.3582	98.6051							Cu	0.971
As	0.0757	0.3291	98.9342							As	0.864
Sb	0.0593	0.2577	99.1919							Sb	0.986
Cd	0.0459	0.1996	99.3915							Cd	0.952
Co	0.0339	0.1474	99.5389							Co	0.972
Sn	0.0273	0.1185	99.6574							Sn	0.971
Ba	0.0234	0.1018	99.7592							Ba	0.956
V	0.0200	0.0871	99.8464							V	0.857
Sr	0.0153	0.0666	99.9129							Sr	0.985
Hg	0.0092	0.0400	99.9530							Hg	0.958
Fe2O3	0.0059	0.0255	99.9785							Fe2O3	0.943
MnO	0.0048	0.0209	99.9994							MnO	0.957
TiO2	0.0001	0.0006	100							TiO2	0.938

KMO	0.907
Bartlett's Test	8495.899
df	253

جدول ۴- مؤلفه‌های اصلی خام و چرخش یافته.

Rotated Component Matrix										
	Factor1	Factor2	Factor3	Factor4	Factor5	Factor1	Factor2	Factor3	Factor4	Factor5
Au	-0.1002	-0.0123	0.6991	0.0736	-0.2998	-0.1208	0.1067	0.6383	0.3994	-0.0359
W	0.0802	0.0327	0.7969	-0.0616	0.2767	0.0725	0.0188	0.8012	-0.0855	0.2608
Mo	-0.0660	-0.0345	0.8704	-0.1073	-0.0370	-0.1167	0.0886	0.8585	0.1226	0.0498
Zn	0.9432	-0.0042	-0.0138	0.1172	0.2193	0.9527	0.0480	0.0434	-0.1991	-0.0147
Pb	-0.9823	0.0340	0.0038	-0.1298	-0.0529	-0.9746	-0.0891	-0.0467	0.0838	0.1368
Ag	-0.8067	-0.1361	0.0802	-0.5148	-0.0520	-0.9259	-0.0094	0.1296	-0.2078	-0.1616
Cr	0.8593	0.2629	-0.0173	0.3589	0.0165	0.9413	-0.1425	-0.0237	0.1649	0.0523
Ni	0.9719	0.0534	-0.0144	0.1122	0.1005	0.9726	-0.0028	0.0443	-0.1105	-0.1011
Bi	0.5471	-0.3827	0.2023	0.1146	0.6430	0.5757	0.4030	0.2216	-0.4881	0.3634
Sc	0.8440	0.1648	-0.0035	0.4251	0.0879	0.9420	-0.0338	-0.0285	0.1411	0.1366
Cu	0.1798	0.9642	-0.0079	-0.0462	-0.0809	0.2380	-0.9318	0.0474	0.2087	0.0009
As	-0.9155	-0.0700	0.0594	-0.1302	-0.0196	-0.9182	0.0165	0.0103	0.0402	0.1369
Sb	0.3139	-0.5430	-0.0538	0.7660	0.0581	0.4613	0.7146	-0.2279	0.2864	0.3591
Cd	0.1069	0.9674	0.0412	-0.0223	-0.0492	0.1770	-0.9276	0.0841	0.2209	0.0647
Co	0.9720	0.0693	-0.0155	0.1102	0.1001	0.9735	-0.0187	0.0443	-0.1084	-0.1005
Sn	-0.9537	0.0455	0.0087	-0.1234	-0.2108	-0.9598	-0.0905	-0.0460	0.1983	0.0245
Ba	-0.2001	-0.7386	0.1233	0.0128	-0.5962	-0.3132	0.7460	0.0552	0.3165	-0.4455
V	0.9097	0.0815	-0.0238	0.1485	0.0198	0.9179	-0.0198	0.0195	-0.0187	-0.1167
Sr	0.4282	0.0323	-0.0580	0.8928	-0.0207	0.6481	0.1987	-0.2371	0.5307	0.4335
Hg	0.8546	-0.1834	0.1159	0.1202	-0.4073	0.7904	0.2582	0.1337	0.2390	-0.4375
Fe2O3	0.9305	0.0843	0.0126	0.2024	0.1700	0.9658	-0.0116	0.0483	-0.0844	0.0236
MnO	0.9574	0.1488	-0.0306	0.1297	0.0227	0.9649	-0.0888	0.0237	-0.0257	-0.1304
TiO2	0.9197	0.2479	-0.0334	0.1699	-0.0161	0.9448	-0.1737	0.0101	0.0525	-0.1095

## کتابنگاری

- افتخارنژاد، ج.، ۱۳۶۹- نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ بیرجند، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- آفانیاتی، ع.، ۱۳۸۳- زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ ص.
- امامی، م.، ۱۳۵۲- بررسی‌های زمین‌شناسی و پترولوژی سنگ‌های آتشفشانی منطقه کوه‌شاه (جنوب بیرجند)، پایان‌نامه (کارشناسی ارشد)، دانشگاه تهران، ص. ۱۸۶.
- حسنی‌پاک، ع. و شرف‌الدین، م.، ۱۳۸۰- تحلیل داده‌های اکتشافی، ۹۸۷ ص.
- ذبیحی، ر.، ابراهیمی، خ. و زرین‌کوب، م. ح.، ۱۳۸۸- بررسی سنگ‌شناسی، ژئوشیمی و مغناطیس‌سنجی سنگ‌های منطقه شیخ‌آباد واقع در جنوب باختر بیرجند، هفدهمین همایش انجمن بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران.
- رسا، ا.، وثوقی‌عابدینی، م.، محمدی، س. و نخعی، م.، ۱۳۸۳- آلتراسیون آلونیتی به عنوان کلیدی جهت اکتشاف طلای اپیترمال در زون دگرسانی شیخ‌آباد (کوه‌شاه- جنوب باختر بیرجند)، دوازدهمین همایش بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، ۱۵-۱۴ بهمن ۱۳۸۳، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۸۲- گزارش اکتشافات ژئوشیمیایی نیمه تفصیلی محدوده آنومالی ۱:۲۰۰۰۰ شیخ‌آباد.
- کریم‌پور، م. ح.، ملک‌زاده شفاوردی، ا.، مظاهری، س. ا. و حیدریان، م. ر.، ۱۳۸۶- ماگماتیزم و انواع کانی‌سازی مس، طلا، قلع و تنگستن در بلوک لوت، مجموعه مقالات پانزدهمین همایش انجمن بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، ص. ۵۹۸ تا ۶۰۴.

## References

- Adams, S. S., 1985- Using Geological Information to Develop Exploration Strategies For Epithermal Deposits, *Reviews in Economic Geology*, v. 2, p. 273-298.
- Berberian, M. & King, G. C. P., 1981- Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth sciences*. v.18, p.210-265.
- Eftekhhar-Nezhad, J., Stocklin, J., Movahed-e-Avval, H. & Emami, M. H., 1978- Mokhtaran Geological Map, scale: 1:100000, Sheet 7854, Geological Survey of Iran.
- Garrett, R. G., 1989-The chi-square plot: a tool for multivariate outlier recognition. *Journal of Geochemical Exploration* 32 (1/3), 319-341.
- Reimann, C., Filzmoser, P. & Garrett, R. G., 2002- Factor analysis applied to regional geochemical data: Problems and possibilities. *Applied Geochemistry* 17 (2), 185-206.
- Sillitoe, R. H., 1993- Epithermal models: Genetic types, geometrical controls and shallow features, *Geological Association of Canada, Special Paper*, v. 40, p. 403-417.
- Sillitoe, R. H., 1995- Exploration of porphyry copper lithocaps. In: Mauk, J. L., St George, J. D., (eds) *Proc Pacrim Congress 95*, Auckland 1995, *Australas Inst Mining Metall Publ Ser 9/95*, 527-532.
- Sillitoe, R. H., Steele, G. B., Thompson, J. F. H. & Lang, J. R., 1998- Advanced argillic lithocaps in the Bolivian tin-silver belt, *Mineralium Deposita*, 33: 539-546.
- Tirrul, R., Bell, I. R., Griffis, R. J. & Camp, V. E., 1983- The Sistan Suture Zone of eastern Iran, *Geol. Soc. Amer. Bull.* v. 94, p. 134-150.



# The Interpretation of Factor Analysis Results of Stream Sediment Geochemical Data by Utilization of Geological, Alteration and Mineralization Data in Kooh-Shah, Birjand, South Khorasan

M. Abdi <sup>1\*</sup>, M. H. Karimpour <sup>2</sup> & M. H. Zarinkoob <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ph.D. Student, Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

<sup>2</sup> Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

<sup>3</sup> Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Birjand University, Birjand, Iran

Received: 2010 October 30

Accepted: 2012 April 18

## Abstract

The main purpose of this study is processing of raw data by factor analysis method and having interpretation and integration them by geological, alteration and mineralization data. The distinctiveness of third factor of factor analysis for Au, Mo and W and the coincidence of third factor anomalies by gold, high primary sulfide bearing area, secondary iron oxide and sericitic and silicic alteration revealed that the third factor of factor analysis is the agent of mineralization in the study area. The suitable tectonic setting, shallow depth intrusives with intermediate composition, calc-alkaline and oxidant magmatism, anomaly of gold and disseminated mineralization in the host rock and sulfide veinlet accompanied by abundant secondary iron oxide provided proper conditions for porphyry and epithermal type gold mineralization in the study area.

**Keywords:** Factor analysis, Geochemistry, Alteration, Mineralization, Porphyry, Epithermal, Kooh-Shah, Birjand.

For Persian Version see pages 23 to 38

\*Corresponding author: M. Abdi; E-mail: Abdi78\_82@yahoo.com