



فصلنامه زمین ساخت

زمستان ۱۴۰۰، سال پنجم، شماره ۲۰

doi 10.22077/JT.2022.3067.1049

بررسیهای دورسنجی و ژئوشیمیایی به منظور بارز سازی نقش عناصر ساختاری در الگوی توزیع عناصر مرتبط با ذخایر مس پورفیری با مطالعه موردی کهنک

مریم فرمهینی فراهانی

گروه زمین شناسی، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۲۷

چکیده:

ذخایر مس و مولیبدن پورفیری در کمرندهای متالوژنی، متعاقب نفوذ سیالات گرمابی مستعد در راستای ساختارهای تکتونیکی ثانویه ایجاد می شوند. از اینرو در این تحقیق به منظور نشان دادن نقش و اهمیت این کنترل کننده های ساختاری در تشکیل ذخیره و نحوه توزیع سیالات کانه زا، به موازات بررسی های پتروگرافی و ژئوشیمیایی از روش های متنوع دورسنجی استفاده شد بدین منظور در مطالعه موردی معدن مس کهنک ابتدا با کمک تصاویر دورسنجی، گسلهای اصلی و ریز ساختارهای تکتونیکی موثر بر نحوه توزیع عناصر مرتبط با معدن بارز شدند همچنین با بررسی نتایج آنالیز ۱۷۴ نمونه از خاکهای برجای منطقه حضور چهار پاراژنز ژئوشیمیایی درهاله های ثانویه محدوده معدنی تشخیص داده شد. نحوه گروه بندی عناصر و مقادیر حاصل از نسبت هاله های مرکب مربوط به افق های مختلف بیانگر تطابق توزیع محوری با راستای قائم بود که این مسئله خود نشانگر نقش گسلهای با شیب تند در توزیع سیال کانه زا در منطقه است بطوریکه عناصر کانساری مس و مولیبدن بیشترین تمرکز را در مرکز سیستم و عناصر فوق کانساری در راستای گسل های طی و در حاشیه منطقه نشان می دهند از طرفی حضور قابل توجه درزه ها و ریز ساختارهای تکتونیزه در قسمت غربی شرایط را برای تاثیر عوامل کانه زا و همچنین فرسایش، مستعد نموده بطوریکه شاهد تمرکز بیشتر آنومالی های عنصر عمقی تر مولیبدن نسبت به مس در نیمه غربی هستیم این مسئله برای پاراژنز ژئوشیمیایی عناصر سرب و روی نسبت به آرسنیک و آنتیموان نیز صادق است نتایج حاصله، در کنار مسئله تبعیت نواحی آنومالی از عناصر ساختاری، مبین شیب تند گسل ها در عمق است.

کلیدواژه ها: کنترل کننده های ساختاری، گسل ها، پاراژنز ژئوشیمیایی، دورسنجی، کانسار مس کهنک

Remote sensing and geochemical investigations to highlight the role of structural elements in the distribution pattern of elements related with porphyry copper deposits with a case study Kahang

Maryam Farmahini Farahani

Department of Geology, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran

Abstract

Porphyry copper and molybdenum deposits in metallogenic belts are formed following the infiltration of susceptible hydrothermal fluids in the direction of secondary tectonic structures. Therefore, in this study, in order to show the role and importance of these structural controllers in the formation of storage and distribution of mineralizing fluids, in parallel with petrographic and geochemical studies, various Remote sensing methods were used. For this purpose, in the case study of Kahang copper mine, first, with the help of telemetry images, the main faults and tectonic microstructures affecting the distribution of elements related to the mine were revealed. Also, by examining the results of analysis of 174 soil samples in the region, the presence of four geochemical paragenesis in the secondary halos of the mineral block was detected. The way of grouping the elements and the values obtained from the ratio of compound halos related to different horizons indicated the correlation of the axial distribution with the vertical direction. This indicates the role of steeply sloping faults in the distribution of mineralizing fluid in the region as copper and molybdenum deposit elements show the highest concentration in the center of the system and super-deposit elements in the direction of faults and in the periphery of the region. On the other hand, the significant presence of tectonized joints and microstructures in the western part has prepared the conditions for the impact of mineralizing factors as well as erosion. As we see more concentrated anomalies of deeper element molybdenum than copper in the western half. This is also true for the geochemical paragenesis of lead and zinc elements relative to arsenic and antimony. The results, along with the problem of adherence of anomalous areas to structural elements, show the steep slope of deep faults.

Key words: Structural controllers, faults, geochemical paragenesis, remote sensing, Kahang copper deposit

مقدمه

قسمت‌های مرکزی سن واسیدیت‌ه سنگ‌ها در حال تغییر است (فرم‌هینی فراهانی، ۱۳۹۳) گدازه‌های آندزیتی با سن ائوسن قدیمی‌ترین واحد سنگی اندیس کهننگ (اسدی هارونی، ۱۳۸۵) عمدتاً در حاشیه محدوده اکتشافی قرار داشته و تحت تاثیر دگرسانی پروپلیتیک واقع شده‌اند. در قسمت‌های داخلی تر منطقه واحدهای آندزیت پورفیری حضور دارند و بعد از آن سنگهای آتشفشانی برشی شده با سن میوسن پایینی دیده می‌شود. در قسمت‌های داخلی تر واحد داسیت پورفیری را داریم که از لحاظ سنی در حد میوسن میانی است و نهایتاً در مرکزی‌ترین قسمت‌های محدوده اکتشافی کهننگ توده‌های نفوذی نیمه عمیق میکرودیوریت و کوارتز مونزونیت مشهود است.

این واحدهای سنگی با سن میوسن بالایی جوان‌ترین واحدهای سنگی منطقه محسوب می‌شوند (اسدی هارونی، ۱۳۸۵) و مانند دیگر واحدهای مذکور تحت تاثیر دگرسانی قرار گرفته‌اند.

محدوده کهننگ یک منطقه آلتزه شده و تکتونیزه بوده بطوریکه حدود ۹۰٪ سنگهای این محدوده تحت تاثیر سیالات هیدروترمال به مقدار کم تا زیاد دگرسان شده‌اند. وسعت قابل توجه آلتراسیون در محدوده مطالعاتی مبین حجم بالای سیالات گرمابی، عناصر ساختاری اولیه و ثانویه مناسب و در نهایت شرایط مستعد کانه سازی در منطقه است.

در این تحقیق مطالعه موردی بر روی کانسار مس پورفیری کهننگ با مساحت تقریبی ۱۰ کیلومتر مربع در ۷۳ کیلومتری شمال شرق اصفهان بین طول‌های جغرافیایی و عرض‌های جغرافیایی و صورت گرفته است. لازم به ذکر است در این محدوده سه اندیس شرقی، مرکزی و غربی وجود دارد (اسدی هارونی، ۱۳۸۵).



شکل ۱- موقعیت محدوده اکتشافی در ایران و استان اصفهان و راههای ارتباطی محدوده مورد بررسی

زمین‌شناسی منطقه

مطالعات سنگ‌نگاری در کهننگ مبین حضور طیفی از سنگ‌های حدواسط آتشفشانی تا اسیدی نیمه عمیق بوده به طوریکه از نواحی حاشیه‌ای به سمت

جدول ۱. موقعیت و مشخصات اینسلیبرگ‌های منطقه مورد مطالعه.

ردیف	موقعیت نسبی اینسلیبرگ	مختصات جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	ارتفاع محلی (متر)	ارتفاع مطلق
۱	جنوب بکر آباد	N۳۶-۵۱-۳۲/۵۶ E۵۷-۴۸-۱۸/۱۴	۱۵۹۷	۱۴۱۶	۱۸۱
۲	جنوب خاوری اردین	N۳۶-۵۱-۰۵/۰۹ E۵۷-۴۹-۵۶/۶۶	۱۶۸۳	۱۴۶۱	۲۲۲۲
۳	جنوب اردین	N۳۶-۵۱-۰۰/۵۵	۱۶۶۸	۱۴۶۵	۲۰۳
۴	جنوب اردین	N۳۶-۵۱-۳۰/۶۴ E۵۷-۵۱-۳۰/۶۹	۱۵۹۷	۱۴۸۸	۱۰۹
۶	جنوب باختری بکر آباد	N۳۶-۵۰-۴۵/۵۲ E۵۷-۵۲-۳۵/۰۹	۱۶۶۵	۱۴۹۱	۱۷۲
۷	شمال باختری الست	N۳۶-۴۴-۱۸/۹۵ E۵۷-۵۲-۵۳/۲۲	۱۲۸۰	۱۲۴۰	۴۰



روش و مراحل کار

میزان اطلاعات را بارز نموده و بیشترین رتبه را به خود اختصاص داد (جدول ۴) در مرحله بعد از تصویر لندست منطقه و از باندهای معادل ۷۴۲ بر اساس (شکل ۲) استفاده شد.

جدول ۲- ماتریس همبستگی باندهای VNIR و SWIR استر محدود

Co.	b1	b2	b3	b4	b5	B6	b7	b8	b9
B 1	۱								
B 2	۰٫۹۷	۱							
B 3	۰٫۷۷	۰٫۸۱	۱						
B 4	۰٫۷۲	۰٫۷۸	۰٫۸۴	۱					
B 5	۰٫۷۴	۰٫۸۱	۰٫۷۹	۰٫۹۷	۱				
B 6	۰٫۷۵	۰٫۸۲	۰٫۸۱	۰٫۹۶	۰٫۹۹	۱			
B 7	۰٫۷۶	۰٫۸۳	۰٫۸۰	۰٫۹۷	۰٫۹۹	۰٫۹۹	۱		
B 8	۰٫۷۷	۰٫۸۴	۰٫۸۰	۰٫۹۵	۰٫۹۸	۰٫۹۸	۰٫۹۹	۱	
B 9	۰٫۷۷	۰٫۸۸	۰٫۷۹	۰٫۹۴	۰٫۹۸	۰٫۹۸	۰٫۹۸	۰٫۹۹	۱

جدول ۳- اطلاعات آماری باندهای VNIR و SWIR استر محدود

Stats	Min	Max	Mean	ز
b 1	۰٫۰۳۶۶	۰٫۲۷۶۳	۰٫۱۴۲۳۶۴	۰٫۰۲۵۴۶۶
B2	۰٫۰۵۶۱	۰٫۳۷۳۵	۰٫۱۹۸۵۱۹	۰٫۰۳۵۹۱۸
B3	۰٫۰۸۳۳	۰٫۵۰۲۱	۰٫۲۳۶۹۳۵	۰٫۰۴۱۹۸۷
b 4	۰٫۰۹۰۵	۰٫۴۴۱۹	۰٫۲۴۳۱۵۶	۰٫۰۴۶۰۳۲
b 5	۰٫۰۹۳۲	۰٫۳۶۱۲	۰٫۲۲۰۰۳۳	۰٫۰۳۵۰۶۶
b6	۰٫۰۷۸۶	۰٫۳۶۷۴	۰٫۲۱۴۸۳۸	۰٫۰۳۶۰۵۴
b 7	۰٫۰۸۸۲	۰٫۳۵۰۳	۰٫۲۱۷۸۱۴	۰٫۰۳۶۷۶
b 8	۰٫۰۷۸۳	۰٫۳۶۶۵	۰٫۲۲۵۵۸۲	۰٫۰۳۹۲۱
b 9	۰٫۱۷۹۷	۰٫۶۲۲۱	۰٫۴۰۷۶۷۵	۰٫۰۵۹۶۱۴

جدول ۴- مقادیر شاخص فاکتور بهینه بر اساس ترکیب باندهای

ASTER (VNIR-WIR)	OIF	Rank
۹۳۱	۲٫۲۲۵	۱
۹۲۱	۱٫۸۸۱	۲
۴۲۱	۱٫۸۲۴	۳
۵۴۳	۱٫۷۶۱	۴
۷۴۲	۱٫۷۳۸	۵
۷۳۱	۱٫۶۵۹	۶
۶۳۱	۱٫۶۵۴	۷
۵۳۱	۱٫۶۴۳	۸
۴۳۱	۱٫۶۲۴	۹
۷۴۱	۱٫۵۸۷	۱۰

• بازدید های اولیه زمین شناسی از منطقه

• بررسی و پردازش تصاویر ماهواره ای استر و لندست منطقه با هدف استخراج گسل ها و خطواره ها با استفاده از نرم افزار ENVI

• برداشت بیش از ۷۲ نمونه سنگی جهت تهیه مقاطع نازک و صیقلی

• آماده سازی، آنالیز و پردازش داده های حاصل از ۱۷۴ نمونه از خاک برجا

• محاسبات زمین آماری داده های حاصل از نمونه ها

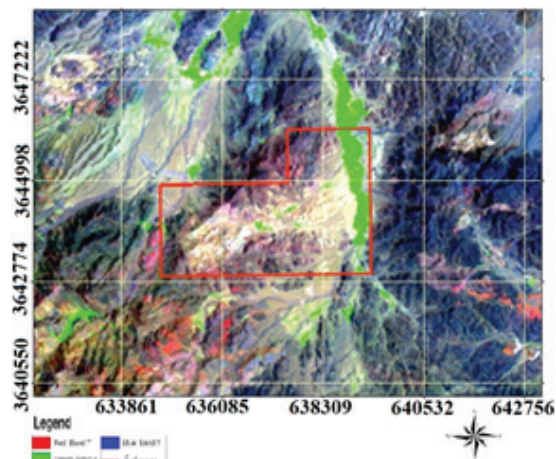
• تهیه نقشه های ژئوشیمیایی به منظور بررسی نحوه توزیع عناصر

• تجزیه و تحلیل و نتیجه گیری نهایی با استفاده از کل داده ها

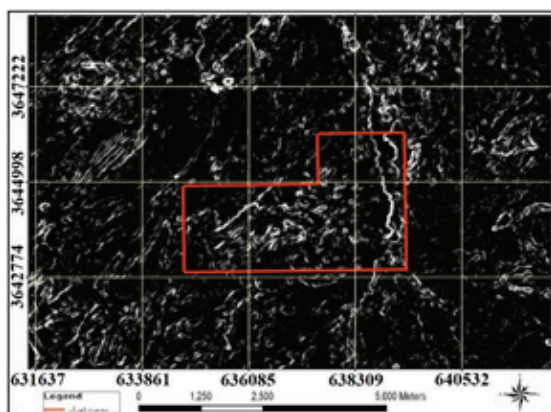
بررسی الگوی ساختاری منطقه با استفاده از روشهای متنوع دورسنجی

باتوجه به مقیاس و بازه دید تصاویر ماهواره‌ای، به سادگی می‌توان با اشراف کامل به محدوده مورد مطالعه، ساختارهای خطی را استخراج نمود در این تحقیق به منظور تشخیص دقیق تر ساختارهای اولیه و ثانویه ابتدا محدوده مطالعاتی از تصاویر ماهواره ای برش داده شد. این امر ضمن کاهش اثرات طیفی عوارض غیر مرتبط، موجب افزایش سرعت عملیات پردازش می شود (Mars and Rowan, 2010). پس از مراحل پیش پردازش و اعمال Sharpening، به منظور بارز نمودن عناصر ساختاری از روشهای متنوع ترکیب رنگی مجازی (RGB)، تحلیل مؤلفه های اصلی (Prin-Components Analysis) ، نسبت باندهای و RBD استفاده شد.

به منظور حصول بهترین نتیجه با بیشترین میزان تمایز عارضه های سطحی از روش شاخص فاکتور بهینه OIF استفاده شد (Kujjo, 2010)) شاخص OIF از طریق تقسیم مجموع مقادیر انحراف معیار ۳ باندهای ضریب همبستگی آن ها حاصل می گردد (جدول ۳ و ۴) که با محاسبه ۱۰ شاخص طیفی که قبلا برای مناطق دیگر بهترین نتایج را حاصل نموده بود ترکیب ۹۳۱ بالاترین



شکل ۴- تصویر استر بر اساس ترکیب رنگی مجازی با استفاده از باندهای ۹۳۱ (محدوده کهنک درون کادر قرمز)

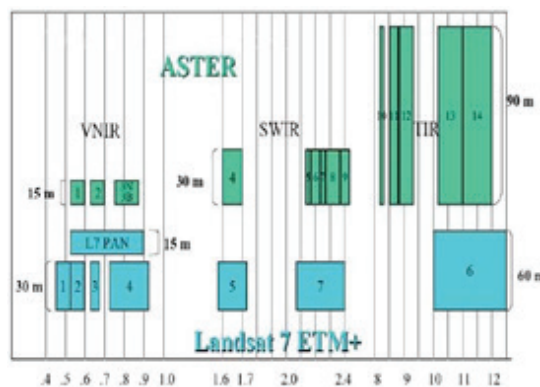


شکل ۵- تصویر خطواره های منطقه بر اساس روش تحلیل مولفه های اصلی و با استفاده از فیلتر Sobel (محدوده معدنی درون کادر قرمز رنگ) حضور سه گسل حلقوی در قسمت های مرکزی تر سیستم و گسل خطی حاشیه منطقه در تصویر بارز است.

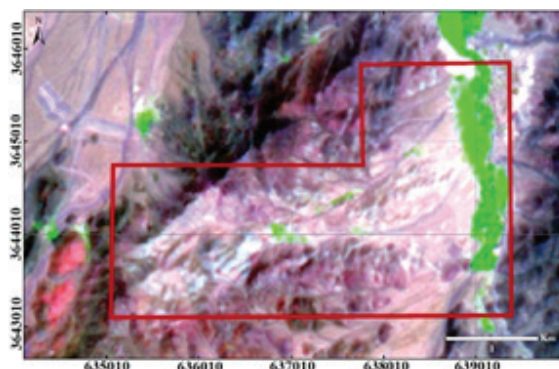
در مرحله بعد با اعمال فیلتر جهتی و با استفاده از تصویر استر اقدام به بارزسازی خطواره های موجود در منطقه معدنی نمودیم (شکل ۶) از آنجا که محدوده تحت بررسی در زون ارومیه دختر واقع شده (آقا نباتی، ۱۳۸۵) و پدیده کانه زایی مرتبط و متعاقب پلوتونیزم و حرکات تکتونیکی مرتبط صورت گرفته اعمال فیلتر، با راستای شمال شرق- جنوب غرب بهترین نتیجه را در بر خواهد داشت البته جهت نشان

دادن این مسئله از فیلتر جهتی شمال غرب- جنوب شرق نیز استفاده شد که همانطور که در تصویر شماره ۶ مشهود است هیچ کدام از عناصر ساختاری و

تصاویر حاصله به نحو مطلوبی گسل اصلی منطقه با روند شمال شرق- جنوب غرب را بارز می نمایند (اشکال ۳ و ۴). سپس به منظور ارائه الگوی ساختاری منطقه از روش تحلیل مولفه های اصلی (Asadi Haroni, H., Lavafan, A., 2007) و تصویر ETM استفاده شد باندهای ۱ تا ۵ و باند ۷ بعنوان مولفه های ورودی معرفی شدند.



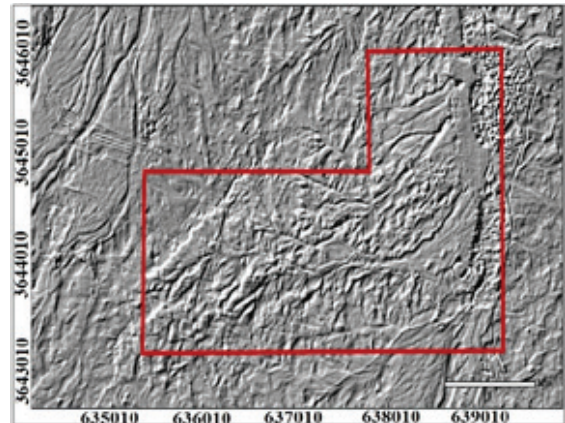
شکل ۲- نمودار مقایسه محدوده طیفی باندهای استر با لندست



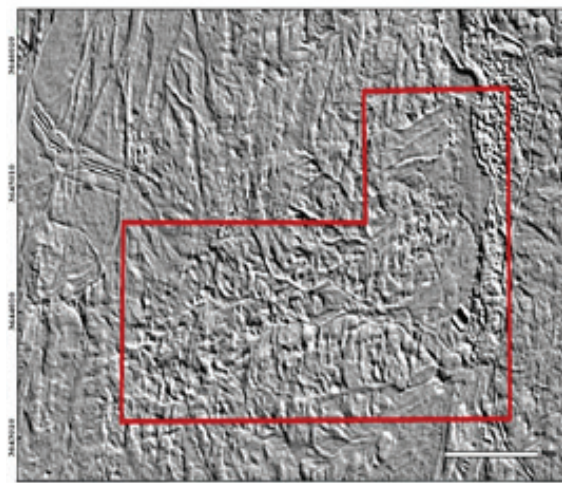
شکل ۳- تصویر لندست بر اساس ترکیب رنگی مجازی با استفاده از باندهای ۷۴۲ (محدوده کهنک درون کادر قرمز)

خروجی این پردازش شش PC بود از آنجا که PC شماره ۱ حاوی بیشترین اطلاعات بود. به منظور استخراج خطواره ها، فیلترهای مناسب بر روی این PC اعمال شد. در نهایت فیلتر Sobel به طرز مطلوبی ساختارهای موجود را نمایان کرد (شکل ۵) در این تصویر گسل اصلی منطقه به همراه سه گسل حلقوی در مرکز سیستم بارز شدند.

حتی گسل اصلی منطقه را بارز نکرده است.

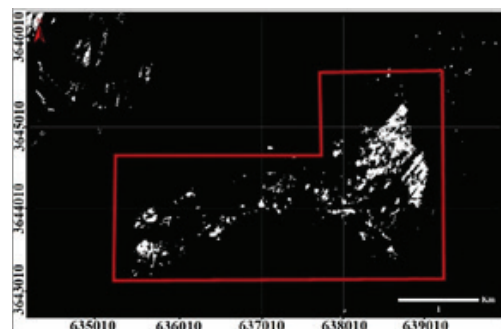


شکل ۵- تصویر استر - خطوطاره های محدوده معدنی کهنک بر اساس روش اعمال فیلتر عمود بر نیروهای تکتونیکی منطقه (جهت شمال شرق- جنوب غرب)



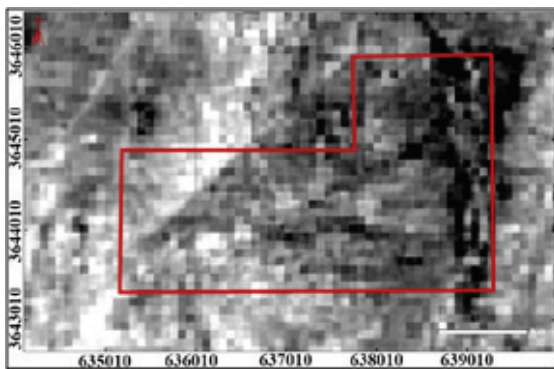
شکل ۶- تصویر استر بر اساس روش اعمال فیلتر جهتی هم راستا با نیروهای تکتونیکی منطقه (شمال غرب- جنوب شرق)

در مرحله بعد به منظور بارز نمودن ریز ساختارهای تکتونیزه حاوی هیدروکسیدهای آهن از روش نسبت بانندی و باندهای ۴ و ۲ تصاویر استراستفاده شد (شکل ۷).



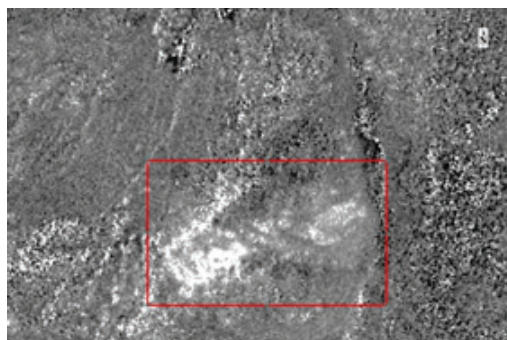
شکل ۸- محدوده های سفیدرنگ معرف محدوده های حاوی ریز درزه های حاوی هیدروکسید آهن است (همانطور که در تصویر مشهود است بیشترین تمرکز این نوع ریز درزه ها مربوط به حواشی منطقه و منطبق با واحدهای آندزیتی می باشد)

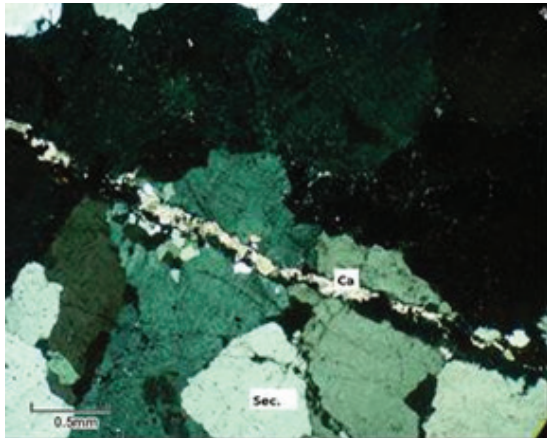
پس به منظور بارز نمودن نواحی با بیشترین تاثیر پذیری ریزساختارهای ثانویه و نواحی برشی از روش RBD و نسبت بانندی استفاده نمودیم. در روش نسبت بانندی با استفاده از باندهای حرارتی محدوده های متاثر از سیال سیلیسی بارز شدند (شکل ۸) و با روش RBD اقدام به تفکیک و تمایز برونزدهای زون فلیک نمودیم (فراهانی، ۱۳۹۶) (شکل ۹) بر این اساس مشخص شد اندیس غربی کهنک بیشترین تاثیر پذیری از ساختارهای ثانویه را نشان می دهد.



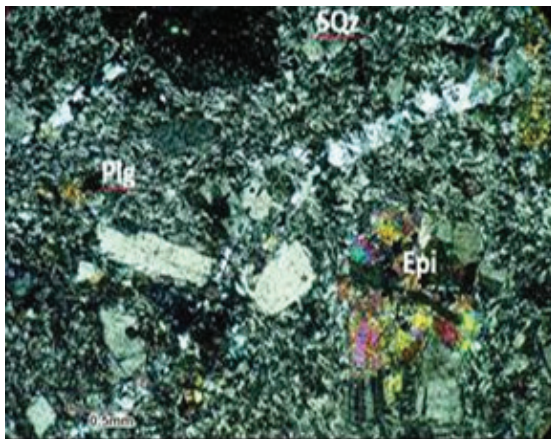
شکل ۹- محدوده سیلیسی با استفاده از باندهای حرارتی و براساس روش نسبت بانندی

حضور قابل توجه ریز ساختارهای تکتونیزه در محدوده اندیس غربی (اشکال ۱۰ تا ۱۲) را می توان دلیلی بر فشار بالای بخار آب در سیال ماگمایی دانست (علیرضایی، ۱۳۷۸) از طرفی بر اساس بررسی تصاویر استر بیشترین تمرکز زون دگرسانی سیلیسی نیز در محدوده اندیس غربی اتفاق افتاده که حاکی از نقش و تاثیر بیشتر سیال درونزاد سیلیسی در این محدوده است.

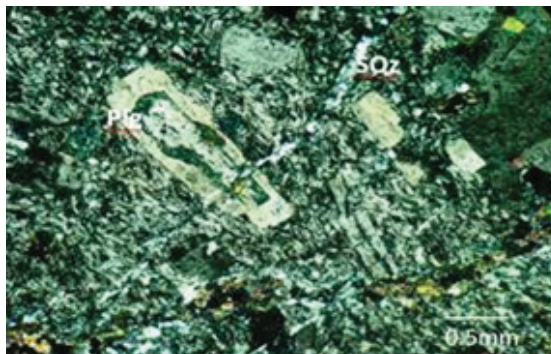




شکل ۱۲- این مقطع معرف یک سنگ سیلیسی حاوی رگچه کربنات به همراه اکسید و هیدروکسید آهن می باشد که از سنگهای سیلیسی شده منطقه برداشت شده و نشان دهنده التراسیون سیلیسی می باشد.



شکل ۱۳- مقطعی از سنگ های آندزیت پورفیری در حاشیه شمال شرق محدوده معدنی (تاثیر پذیری ضعیف این نواحی از ریز درزه های سیلیسی در شکل مشهود است).



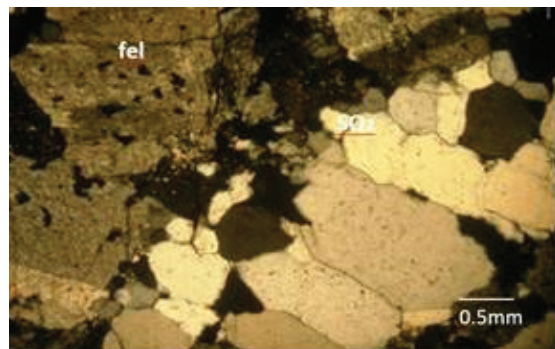
شکل ۱۴- مقطعی از سنگ های آندزیت پورفیری در حاشیه شمالی محدوده معدنی (حضور ضعیف ریز درزه های سیلیسی در شکل مشهود است)

شکل ۱۰- محدوده های فیلک بر اساس روش RBD (محدوده معدنی کهنگ درون کادر قرمز)

سیلیسی شدن باعث افزایش شکنندگی سنگ و متعاقب آن تاثیر بیشتر عملکرد فرسایش شده و این مسائل در نحوه توزیع عناصر و چگونگی تجمع آنومالی ها در سطح موثر بوده بطوریکه آنومالیهای عنصر مولیبدن (که عنصر عمقی تری محسوب می شود) در نقشه های شاخص غنی شدگی، نسبت به مس تمایل بیشتری رابه سمت جنوب غرب منطقه نشان می دهد.



شکل ۱۰- استوک ورک های سیلیسی کانه دار در سنگهای شدیداً آلتزه داسیت پورفیری در غرب محدوده



شکل ۱۱- مقطع میکروسکوپی از ریز ساختارهای تکتونیزه حاوی سیلیس در واحدهای داسیت پورفیری در اندیس غربی کهنگ



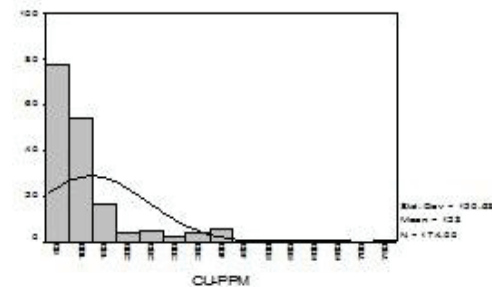
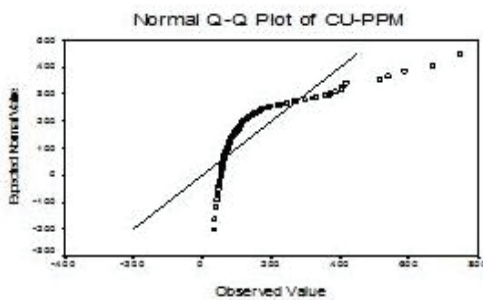
بررسی نحوه همبستگی عناصر و تشخیص پارائزهای ژئوشیمیایی

با هدف بررسی ارتباط ساختارهای تکنیکی با نحوه توزیع عناصر در هاله های ثانویه، ۱۷۴ نمونه به روش سیستماتیک از خاک های برجا برداشت شد. سپس تمام نمونه های برداشت شده جهت آنالیز چندعنصری به آزمایشگاه Amdel استرالیا فرستاده شدند. و به روش ICP-MS مورد تجزیه قرار گرفتند جهت اطمینان از صحت نتایج آنالیز تعدادی نمونه تکراری نیز ارسال گردید. پس از حصول اطمینان از صحت و دقت نتایج

آنالیز ابتدا به محاسبات زمین آماری داده ها پرداخته پارامترهای میانگین، میانه، پراش، انحراف معیار، چولگی، کشیدگی و مقادیر حداقل و حداکثر مربوط به هر عنصر محاسبه شد (جدول ۵) سپس هیستوگرام ها و نمودارهای تجمعی عناصر را ترسیم نمودیم (شکل های ۱۵ و ۱۶) و بر همین اساس مشخص شد که تابع توزیع عناصر تا حدودی متأثر از سنگ میزبان و شرایط محیطی از خود ناپیوستگی نشان می دهند بطوریکه هریک معرف چند جامعه آماری بوده و چولگی مثبت از خود نشان می دهند (حسینی پاک، ۱۳۸۹).

جدول ۵- پارامترهای زمین آماری عنصر مس براساس مقادیر داده های خام

تعداد نمونه	میانگین	میانه	حداقل	حداکثر	انحراف معیار	واریانس	کشیدگی	چولگی
۱۷۴	۱۲۷/۳	۷۷/۶۵	۳۴	۷۴۸/۷	۱۲۰/۵۳	۱۴۵۲۸/۶۸	۸/۱۵	۲/۷۴



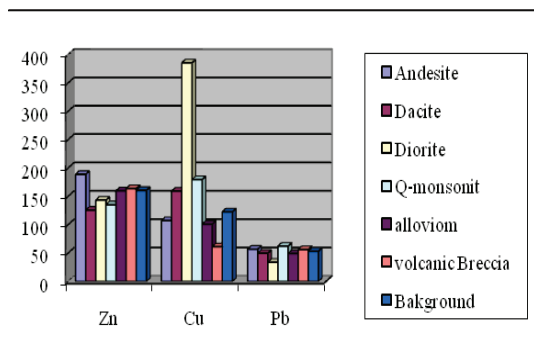
شکل ۱۵- هیستوگرام فراوانی تجمعی مس براساس داده های خام شکل ۱۶- نمودار Q-Q عنصر مس براساس داده های خام

جدول ۶- مقادیر میانگین داده های خام عناصر تحت بررسی به تفکیک جوامع سنگی

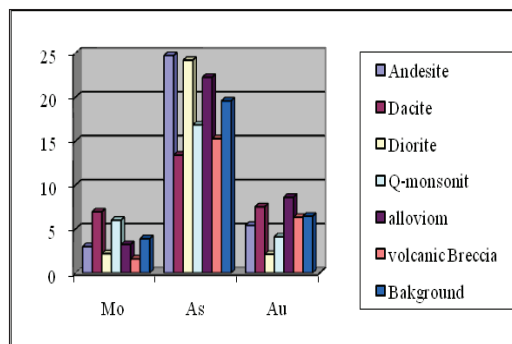
آندزیت	داسیت پورفیری	میکرودیوریت	کوارتز مونزونیت	آبرفت	آتشفشانی برشی	زمینه
۱۰۷/۲۳	۱۵۹/۲۶	۳۸۵/۴	۱۷۹/۶۳	۱۰۰/۹۵	۶۱/۲۴	۱۲۲/۷۴
۳/۱۷	۴/۰۴	۲/۵۰	۲/۸۵	۳/۹۶	۲/۷۸	۳/۴۱
۲۴/۷۳	۱۳/۴۱	۲۴/۲۰	۱۶/۸۴	۲۲/۲۵	۱۵/۲۸	۱۹/۵۸
۱۸۸/۲	۲۶۵/۶	۱۵۶/۸	۱۹۶	۲۳۸/۲	۱۶۷/۱	۲۱۱/۳
۰/۳	۰/۳۲	۰/۲۵	۰/۴۶	۰/۳۱	۰/۲۶	۰/۳۱
۹۷۸/۹	۶۷۶/۶۷	۱۰۸۹/۲	۷۴۳/۷۵	۷۹۰/۲۹	۹۶۷/۱۴	۸۶۴/۲۶
۱۸۸/۸۹	۱۲۵/۷۴	۱۴۳/۴۰	۱۳۵/۲۵	۱۵۹/۶۸	۱۶۳/۹	۱۶۰/۶۴
۵۶/۸۳	۴۹/۸۶	۳۳/۸	۶۲/۰۸	۴۹/۴۸	۵۶/۲۱	۵۳/۴۰
۵/۴۲	۷/۵۲	۲/۱۲	۴/۱	۸/۶۱	۶/۳۲	۶/۴۵
۳/۰۱	۶/۹۵	۲/۲	۶	۳/۲۳	۱/۶	۳/۹

و پی بردن به چگونگی ارتباط آن با عناصر ساختاری از داده های شاخص غنی شدگی و مقادیر نرمال استفاده شود (حسینی پاک و شرف الدین، ۱۳۸۰) (اشکال ۱۹ و ۲۰).

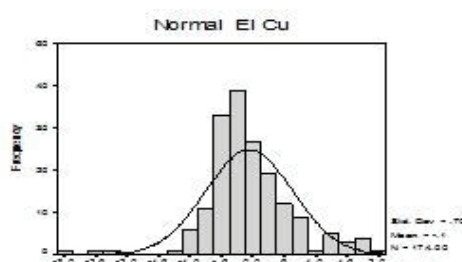
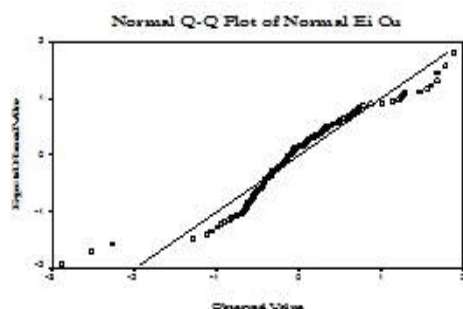
به منظور بررسی نحوه توزیع عناصر در جوامع سنگی مختلف مقادیر میانگین داده های خام به تفکیک جوامع سنگی محاسبه شده (جدول ۶) و نمودار ستونی آنها ترسیم گردید (شکل های ۱۷ و ۱۸) براین اساس مشخص شد که بایستی جهت بارزسازی الگوی توزیع عناصر



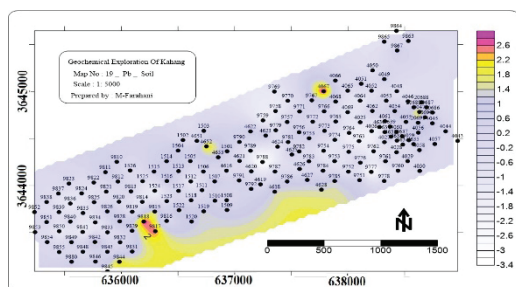
شکل ۱۸- نمودار ستونی عناصر روی، مس و سرب



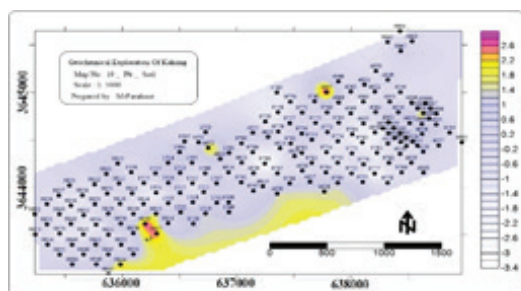
شکل ۱۷- نمودار ستونی عناصر مولیبدن، آرسنیک و طلا



شکل ۱۹- هیستوگرام فراوانی مس بر اساس داده های شاخص غنی شدگی شکل ۲۰- نمودار Q-Q عنصر مس بر اساس داده های شاخص غنی شدگی



شکل ۲۱- نقشه آنومالی عنصر سرب (بیشترین تمرکز این عنصر مربوط به حواشی جنوب منطقه است)



شکل ۲۲- نقشه آنومالی منگنز (همخوانی نواحی آنومالی عنصر منگنز با عناصر سرب و روی موید تجمع این عنصر در افق دوم خاک های برجای منطقه می باشد).

ترسیم نقشه های آنومالی

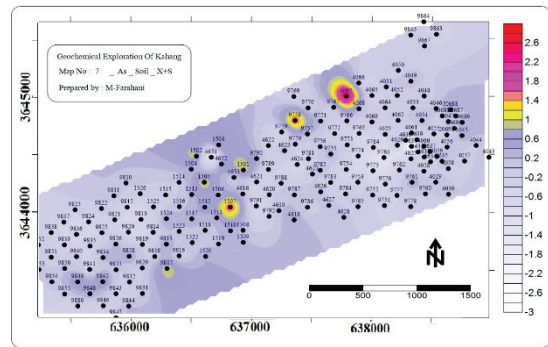
به منظور کشف و ثبت هاله های ثانویه مرتبط با ذخیره و تشخیص الگوهای منطقه بندی عناصر، ابتدا نقشه های ژئوشیمیایی به صورت تک عنصری و در مرحله بعد بر اساس پارامترهای ژئوشیمیایی ترسیم شدند.

در ترسیم نقشه های توزیع عناصر از روش حد آستانه ای به اضافه مقادیری از انحراف معیار استفاده شد در این روش مقادیر حدفاصل $\bar{X} + S$ تا $\bar{X} + 2S$ را منطبق با مقدار حد آستانه و داده های بیشتر از $\bar{X} + 2S$ را به عنوان محدوده های آنومالی در نظر گرفته ایم.

در ترسیم نقشه ها از روش کریجینگ استفاده شده و تغییرات عیار متغیرهای ژئوشیمیایی با رنگهای متفاوت از مینیمم (به رنگ آبی) تا ماکزیمم (به رنگ قرمز) با تغییرات تدریجی در نقشه ها مشخص شده است (اشکال ۲۱ تا ۲۳).

بر اساس روش‌های خطی و ماتریس رتبه ای (روش های پیرسون و اسپیرمن) مشخص شد بیشترین تطابق و همسویی به ترتیب بین عناصر منگنز-روی، سرب - روی، مس-مولیبدن و آرسنیک-آنتیموان برقرار است.

در مرحله بعد جهت تشخیص پاراژنهای ژئوشیمیایی از روش تجزیه عاملی استفاده شد (حسنی پاک، ۱۳۸۰) بر اساس نتایج حاصله مشخص شد که متغیرهای ژئوشیمیایی مرتبط با کانسار، در چهار مجموعه قرار می‌گیرند بطوریکه عناصر Sb, As, Ag در یک گروه و عناصر Pb, Zn, Mn, در گروه دوم قرار می‌گیرند (شکل ۲۴). پاراژنز سوم شامل عناصر کانساری Cu, Mo و گروه چهارم دربر دارنده عناصر طلا و باریم می‌باشد. البته با توجه به تغییر زیادی که مسئله چرخش محورها در نتایج فاکتور آنالیز ایجاد کرده نتایج از جدول Rotated Component Matrix برداشت شده است. (جدول ۷)



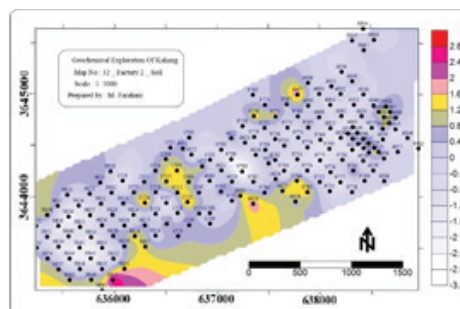
شکل ۲۳- نقشه آنومالی آرسنیک (بیشترین تمرکز این عنصر با حاشیه شمالی محدوده و نواحی با کمترین میزان تاثیر پذیری فرسایش تطابق دارد)

تشخیص و شناسایی عناصر همسو و پاراژنهای ژئوشیمیایی

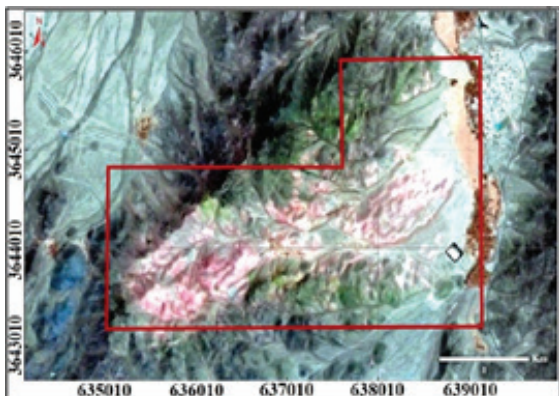
در این تحقیق از روش های زمین آماری دو متغیره و چند متغیره جهت تشخیص میزان همبستگی عناصر هدف و تیپومورفیک استفاده شد (حسنی پاک، ۱۳۷۷).

جدول ۷- نتایج آنالیز فاکتوری داده های نرمال و معرفی پاراژن‌ها

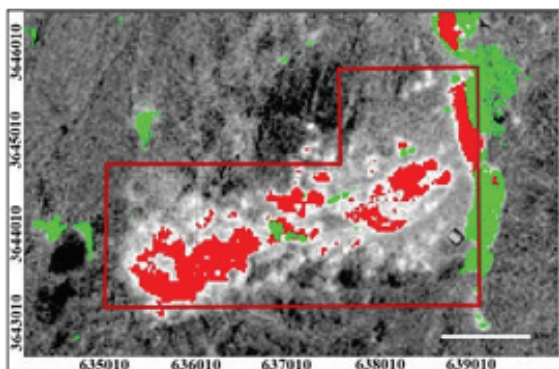
عناصر	پاراژنز اول	پاراژنز دوم	پاراژنز سوم	پاراژنز چهارم
مولیبدن			۰/۸۶۲	
مس			۰/۷۶۶	
طلا				۰/۸۴۲
منگنز		۰/۸۴۴		
سرب		۰/۵		
باریم				۰/۴۸۵
نقره	۰/۷۷۶			
آرسنیک	۰/۶۷۶			
آنتیموان	۰/۸۶۷			
روی		۰/۸۶۶		



شکل ۲۴ - نقشه آنومالی عناصر فوق کانساری سرب و روی و منگنز

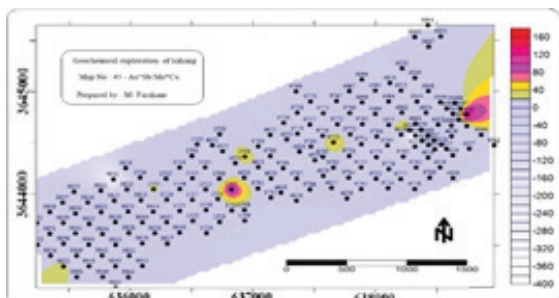


شکل ۲۵- تصویر استر کهنک به روش ترکیب رنگی (در این تصویر محدوده زون پروپیلیتیک که معرف نواحی با کمترین میزان فرسایش به رنگ سبز مشخص شده که با نواحی آنومالی عناصر فوق کانساری همخوانی دارد



شکل ۲۶- تصویر استر کهنک براساس روش RBD نواحی قرمز رنگ معرف دگرسانی فیلیک و نواحی متاثر از فرسایش بیشتر (نزدیک به کانسار)

در این تحقیق با توجه به تبعیت توزیع محوری عناصر کانساری و فوق کانساری از راستای قائم، به منظور معرفی نزدیکترین نواحی، به کانسار فلزی از نسبت هاله های ضربی متعلق به افق های مختلف خاک استفاده شد. (شکل ۲۷)



شکل ۲۷ - نقشه آنومالی منطقه بر اساس نسبت داده های هاله های ضربی عناصر فوق کانساری به عناصر کانساری

بررسی ارتباط پهنه بندی محوری و عناصر ساختاری

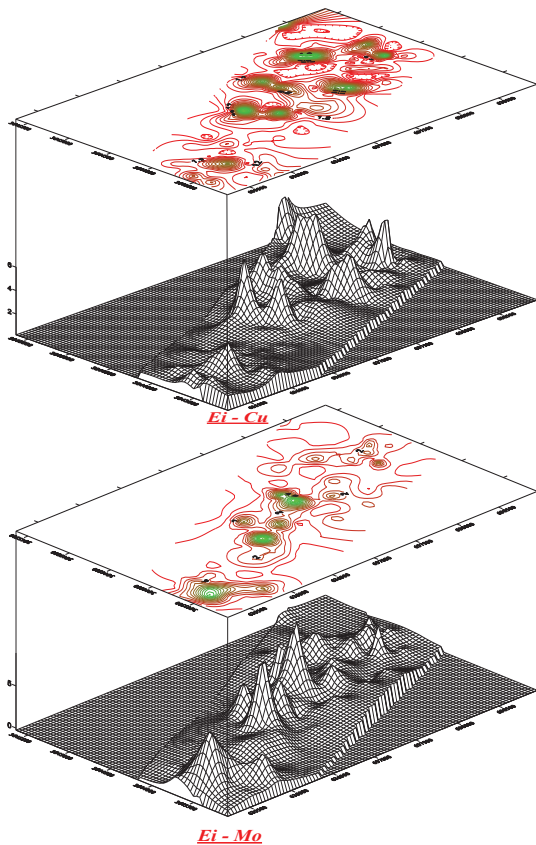
نقشه های ژئوشیمیایی عناصر نقره، روی، سرب، آرسنیک و آنتیموان مبین غنی شدگی این عناصر در نواحی حاشیه ای (اشکال ۲۱ تا ۲۳) و عناصر کانساری در نواحی مرکزی می باشد (اشکال ۲۸ و ۲۹) براساس مقایسه نقشه های حاصله با تصاویر دورسنجی (اشکال ۴، ۵، ۲۵ و ۲۶) مشخص شد مناطق برخوردار از بالاترین میزان چگالی خطواره و گسلهای حلقوی از مستعد ترین نواحی جهت عناصر کانساری محسوب می شوند. از طرفی تطابق نواحی آنومالی با گسلها، خوددلیلی بر نقش موثر عناصر ساختاری در نفوذ ماگما و تشکیل استوک های کانه دار در منطقه است (کریم پور، ۱۳۸۴).

همچنین بر اساس بررسی های ژئوشیمیایی و ترسیم نقشه پاراژنهای ژئوشیمیایی در منطقه مشخص شد شاخص منطقه بندی محوری مبین تجمع بیشتر مقادیر آرسنیک و آنتیموان در افق های سطحی و سرب و روی، در عمق بیشتر و مس و مولیبدن در قسمت های مرکزی می باشد بطوریکه در نواحی سطحی با کمترین میزان تاثیر پذیری فرسایش در حاشیه شمالی منطقه، شاهد آنومالی های آرسنیک و آنتیموان و نقره هستیم حال آنکه پاراژنهایی که متعلق به اعماق بیشتر هستند در حاشیه جنوب و غرب با تاثیر پذیری بیشتر فرسایش برونزد نشان می دهند

این مسئله بر اساس محاسبه شاخص جمعی داده های مربوط به افق های مختلف، نسبت به عناصر کانساری نیز تایید می شود (جدول ۸).

جدول ۸- مقادیر نسبت شاخص جمعی عناصر فوق کانساری به عناصر کانساری (تفاوت در این نسبت ها دلیلی بر تبعیت توزیع محوری از راستای قائم است)

نسبت مقادیر شاخص جمعی در افق های مختلف		مقادیر داده ها
Pb+Zn/Cu+Mo	As+Sb/Cu+Mo	۸/۵۱۷ ۹/۳۸۰۴



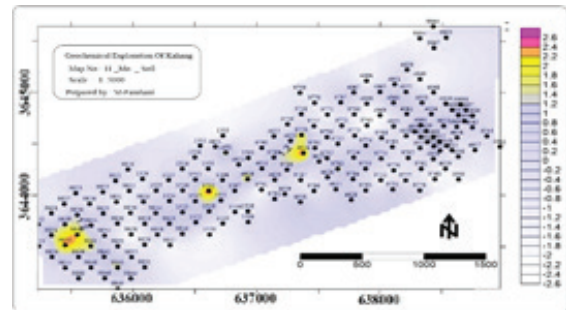
شکل ۳۰- تلفیق نقشه های سه بعدی و شاخص غنی شدگی عناصر کانساری مس و مولیبدن (در این شکل تمایل آنومالی های عنصر مولیبدن به سمت جنوب غرب و اندیس غربی کهنک بارز است)

جمع بندی و نتیجه گیری

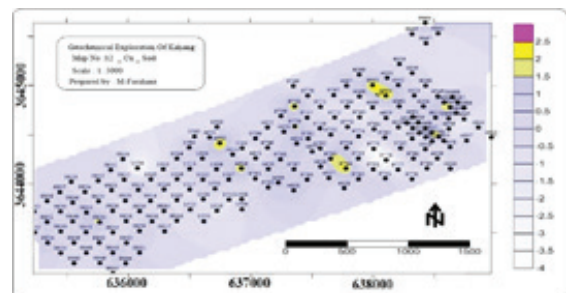
در این تحقیق جهت بارز نمودن نقش عناصر ساختاری اولیه و ثانویه در توزیع عناصر درافق های مختلف خاک از روش های متعدد دورسنجی، نتایج و متدهای گوناگون ژئوشیمیایی از جمله آنالیز چند فاکتوری و نسبت شاخص جمعی افق های مختلف و هاله های ضریبی استفاده شد.

با هدف بارزسازی گسل های اصلی منطقه از روشهای متنوع ترکیب رنگی، نسبت باندی، RBD و PCA استفاده شد و در نهایت مشخص شد مهم ترین گسل منطقه با راستای شمال شرق-جنوب غرب که نقش کلیدی در جابجایی سیالات کانه زا داشته در تمامی تصاویر دورسنجی به خوبی بارز است ولی گسل های حلقوی در تصویر لندست و با کمک روش PCA بارز شدند.

حضور قابل توجه ریز ساختارهای تکتونیزه و عناصر ساختاری ثانویه در غرب منطقه باعث افزایش درصد شکنندگی سنگ ها و متعاقب آن افزایش تاثیر عملکرد فرسایش شده در نقشه های ژئوشیمیایی منطقه باعث تمایل آنومالی های عناصر عمقی تر به سمت اندیس غربی کهنک شده بطوریکه تمایل آنومالی های عنصر مولیبدن (شکل ۲۸) نسبت به مس (شکل ۲۹) در نیمه غربی نمود بیشتری دارد این مسئله برای پاراژنز ژئوشیمیایی عناصر سرب و روی (عناصر عمقی تر و متعلق به افق دوم خاک) نسبت به آرسنیک و آنتیموان (عناصر سطحی) نیز صادق است.



شکل ۲۸- نقشه آنومالی عنصر مولیبدن



شکل ۲۹- نقشه آنومالی عنصر کانساری مس

مقایسه نقشه های آنومالی مس و مولیبدن موید تمایل ناهنجاری های عنصر تحت کانساری مولیبدن به سمت غرب منطقه است (شکل ۳۰).

با راستای قائم را تایید می‌کنند این مسئله خود موید نفوذ استوک های کانه دار با شیب تند در راستای گسل های حلقوی در منطقه می باشد.

در این تحقیق جهت بارز نمودن نوع پهنه‌بندی محوری، در کنار ترسیم نقشه‌های ژئوشیمیایی عنصری و پاراژنهای ژئوشیمیایی اقدام به ترسیم نقشه های ژئوشیمیایی نسبت هاله‌های ضربی عناصر متعلق به اقله های مختلف نمودیم.

نحوه توزیع کلی آنومالی ها و روند آنها در نقشه های ژئوشیمیایی باروند شمال شرق - جنوب غرب، متأثر از روند گسل اصلی منطقه با همین راستا می باشد.

ریز ساختارهای ثانویه موجود در منطقه عاملی موثر در میزان متفاوت عملکرد فرسایش در منطقه معدنی می باشند.

فراوانی بیشتر ریزساختارهای تکتونیزه و متعاقب آن عملکرد بیشتر فرسایش در قسمت غربی محدوده معدنی باعث تمایل آنومالی های عناصر عمقی تر به سمت اندیس غربی کهننگ شده است.

علیرغم نقش مفید و موثر ریز ساختارهای تکتونیزه در نهشت کانه ها، این عناصر ساختاری، در مراحل بعدی به عنوان عاملی منفی در حفظ سنگ های کانه دار عمل نموده اند بطوریکه بر اساس تصاویر دورسنجی و نقشه های ژئوشیمیایی مشخص شد که نواحی غنی از این ریز ساختارها تطابق خوبی با آنومالی های عناصر عمقی تر نشان می دهند.

به دلیل نقش ضعیف ساختارهای ثانویه و متعاقب آن عملکرد ضعیف تر عامل فرسایش تمام آنومالی های مهم عناصر فوق کانساری در حاشیه شمالی منطقه و در زون دگرسانی پروپلیتیک اتفاق افتاده است این مسئله براساس نتایج حاصل از تصاویر استر در روش نسبت باندی و ترکیب رنگی مجازی نیز تایید می شوند.

تطابق مکانی نواحی آنومالی با عناصر ساختاری و همچنین تبعیت نحوه توزیع عناصر از الگوی منطقه بندی قائم نشانگر شیب تند استوک های کانه دار در محدوده معدنی است. بررسیهای ژئوشیمیایی حضور

علیرغم قدرت تفکیک طیفی بهتر تصاویر استر، مشخص شد که تصاویر لندست در بارزسازی خطواره های منطقه پس از اعمال فیلترینگ کارایی بهتری دارند.

در هنگام بارز نمایی گسل های منطقه با استفاده از تصاویر استر، فیلتر جهتی بایستی عمود بر نیروهای اصلی منطقه اعمال گردد تا به نتایج بهتری برسیم.

بر اساس تلفیق داده های حاصل از روش های دورسنجی، صحرایی و ژئوشیمیایی مشخص شد که گسل های حلقوی در مرکز سیستم نقش موثر در نفوذ استوک های ماگمایی و متعاقب آن سیالات ماگمایی کانه زارا داشته اند و گسل اصلی با طول ۷۰۰ متر و روند شمال شرق جنوب غرب نقش موثری در توزیع عناصر فوق کانساری از جمله آنتیموان، آرسنیک و نقره ایفاد نموده است.

از آنجا که در محدوده معدنی کهننگ بافت ذخیره به صورت افشان و استوک ورک بوده و سنگ های کانه دار تکتونیزه نیز هستند بنابراین جهت بارز نمودن عوامل موثر در ایجاد ساختارهای ثانویه از روش نسبت باندی و باند های حرارتی و روش RBD استفاده شد بر این اساس مشخص شد، سنگهای محدوده غربی کهننگ متأثر از نفوذ بیشتر سیال درونزاد سیلیسی و فشار بالای بخار آب با شدت بیشتری تکتونیزه شده اند و این مسئله شکنندگی بیشتر سنگ ها و متعاقب آن برونزد بیشتر محدوده های دگرسانی فلیک را در پی داشته است. لازم به ذکر است در این تحقیق جهت بارز نمودن خطواره ها و ریز درزه های حاوی هیدروکسیدهای آهن از روش نسبت باندی استفاده شد.

وسعت هاله های ژئوشیمیایی ثانویه و شعاع انتشار عناصر تیپومورفیک در کهننگ نشانگر غنای ذخیره و شرایط مستعد زمین ساختاری در منطقه است. همچنین بررسی پهنه بندیهای محوری موید روند توزیع سیالات کانه زا از مرکز به سمت حاشیه است بطوریکه بیشترین تمرکز عناصر کانساری در نواحی مرکزی و عناصر فوق کانساری در حاشیه منطقه اتفاق افتاده است.

نوع پاراژنهای شناسایی شده، نحوه توزیع آنومالی ها و تبعیت آنها از عناصر ساختاری، تطابق توزیع محوری



data quality, Theme: Modelling qualities in space and time.

Sarp, G., 2005, Lineament analysis from satellite images, north-west of Ankara, 91p.

Kaufman, H., 1988- Mineral exploration along the Aqaba-Levanat structure by use of TM data, concepts, processing and results. International Journal of Remote Sensing, 9, 1630-1658.

Kujjo, C.P., (2010). Application of remote sensing for gold exploration in the Nuba Mountains, Sudan. Bowling Green State University, Master of Science Thesis, 99 pp.

Kariuki P.C, Woldai T and 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.

حداقل سه آنومالی با اهمیت مس با مخزن ماگمایی مشترک را تایید می کنند.

منابع

اسدی هارونی، ه.، ۱۳۸۵، گزارش کار ارائه شده توسط شرکت درسازپردازه در مورد محدوده اکتشافی کهننگ.

آقانباتی، ع.، ۱۳۸۵، زمین شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین شناسی ایران.

فرمehنی فراهانی، م.، ۱۳۹۶ مقایسه عملکرد روشهای SAM- RBD-DPCA و LA در تشخیص و تفکیک هاله های دگرسانی ذخایر مس پورفیری (منطقه میدوک- استان کرمان)، مجله روشهای تحلیلی و عددی معدن.

فرمehنی فراهانی، م.، ۱۳۹۳، بررسی پهنه های دگرسانی و آمیختگی ماگمایی در محدوده معدنی کهننگ، فصلنامه علوم زمین، شماره ۹۳.

کریم پور، م.ح. و س. سعادت، ۱۳۸۴، زمین شناسی اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد.

حسینی پاک، ع.ا.، ۱۳۸۹، زمین آمار، انتشارات دانشگاه تهران.

حسینی پاک، ع.ا. و م. شرف الدین، ۱۳۸۰، تحلیل داده های اکتشافی، انتشارات دانشگاه تهران.

علیرضایی، س.، ۱۳۷۸، ترجمه، زمین شناسی کانسارها، انتشارات امیر کبیر.

References

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

Mars, J. C., and L. C. Rowan. (2010). Spectral Assessment of New ASTER SWIR Surface Reflectance Data Products for Spectroscopic Mapping of Rocks and Minerals. Remote Sensing of Environment 114:2011–2025

Asadi Haroni, H., Lavafan, A., 2007. "Integrated Analysis of ASTER and Landsat ETM Data To Map Exploration Targets In The Muteh Gold-Mining Area, Iran", 5th international symposium spatial