

Application of Geochemical and Statistical Methods for Prospecting of Ore Deposits in North - East of Khorasan.

Saadat, S.

Department of Geology, Faculty of Sciences, Open University of Mashhad

Shahabpour, J.

*Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Shahid
Bahonar, Kerman*

Adabi, M. H.

Faculty of Earth Sciences, University of Shahid Beheshti, Tehran

Key Words: *Gold, Nickel, Cobalt, Statistical analyses, prospecting.*

Abstract: For evaluation of the mineral potential of Sirzar area in the north east of Khorasan, 140 stream sediment samples were analyzed for Ni, Co, Ag, Sb, Hg and Au. Results of these analyses indicate an unusual assay for most of these elements, especially for gold and antimony. Statistical analyses and comparison of geologic map with the surface anomaly maps indicate a positive relationship between Ni and Co with mafic and ultramafic rocks in the area; while the unusual distribution of gold, antimony and to a lesser extent mercury can be related to the hydrothermal processes. From this study it is concluded that the statistical analyses along with the geological and geochemical studies are very useful in recognition of the mineralized areas and understanding of the mineralizing processes.

پژوهشی

استفاده از روشهای ژئوشیمیایی و آماری در پی جویی نهشته‌های کانساری در شمال شرق خراسان

سعید سعادت

(دانشگاه آزاد اسلامی مشهد، دانشکده علوم، بخش زمین شناسی)

جمشید شهاب پور

(دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشکده علوم، بخش زمین شناسی)

محمد حسین آدابی

(دانشگاه شهید بهشتی تهران، دانشکده علوم زمین)

چکیده: برای بررسی قابلیت‌های معدنی منطقه سیرزار در شمال شرق خراسان، ۱۴۰ نمونه از رسوبهای رودخانه‌ای این منطقه برای تعیین عیار عناصر نیکل، کبالت، نقره، آنتیموان، جیوه و طلا تجزیه شیمیایی شدند. نتایج این آزمایش‌ها حاکی از عیار غیرعادی اکثر این عناصر به ویژه طلا و آنتیموان است. بررسیهای آماری و مقایسه نقشه زمین شناسی منطقه با نقشه‌های پراکندگی سطحی نشان می‌دهد که ارتباط عیار غیرعادی عناصر نیکل و کبالت به علت حضور سنگهای مافیک و الترامافیک در منطقه است؛ در حالیکه توزیع غیرعادی عناصر طلا، آنتیموان و تا حدی جیوه می‌تواند با پدیده‌های کانسار سازی منطقه در ارتباط باشد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که انجام بررسیهای آماری همراه با مطالعات زمین شناسی و ژئوشیمیایی به ویژه در مراحل مقدماتی اکتشاف، می‌تواند نقش به سزایی در شناخت عوامل مؤثر در ایجاد فرایندهای کانی زایی و نهایتاً دستیابی به مواد معدنی ایفا نماید.

واژه‌های کلیدی: طلا، نیکل، کبالت، بررسی‌های آماری، اکتشاف

مقدمه

نتایج مثبتی که از بکارگیری روشهای اکتشاف ژئوشیمیایی در دهه‌های اخیر به دست آمده است، اهمیت استفاده از اینگونه روشها را در پی جویی نهشته‌های کانساری (به ویژه در انواع کم عیار)، بیش از پیش آشکار ساخته است [۱ و ۲].

در این تحقیق با استفاده از نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌های برداشت شده از رسوبهای رودخانه‌ای، نحوه پراکندگی عناصر طلا، نقره، جیوه، آنتیموان، کبالت و نیکل در منطقه مورد مطالعه قرار گرفت. علاوه بر این، با بررسی آماری اطلاعات به دست آمده و مقایسه نقشه پراکندگی سطحی عناصر فوق الذکر با نقشه زمین شناسی منطقه، ارتباط این عناصر با یکدیگر و نیز رابطه عیار غیر عادی آنها با واحدهای مختلف سنگی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

روش مطالعه

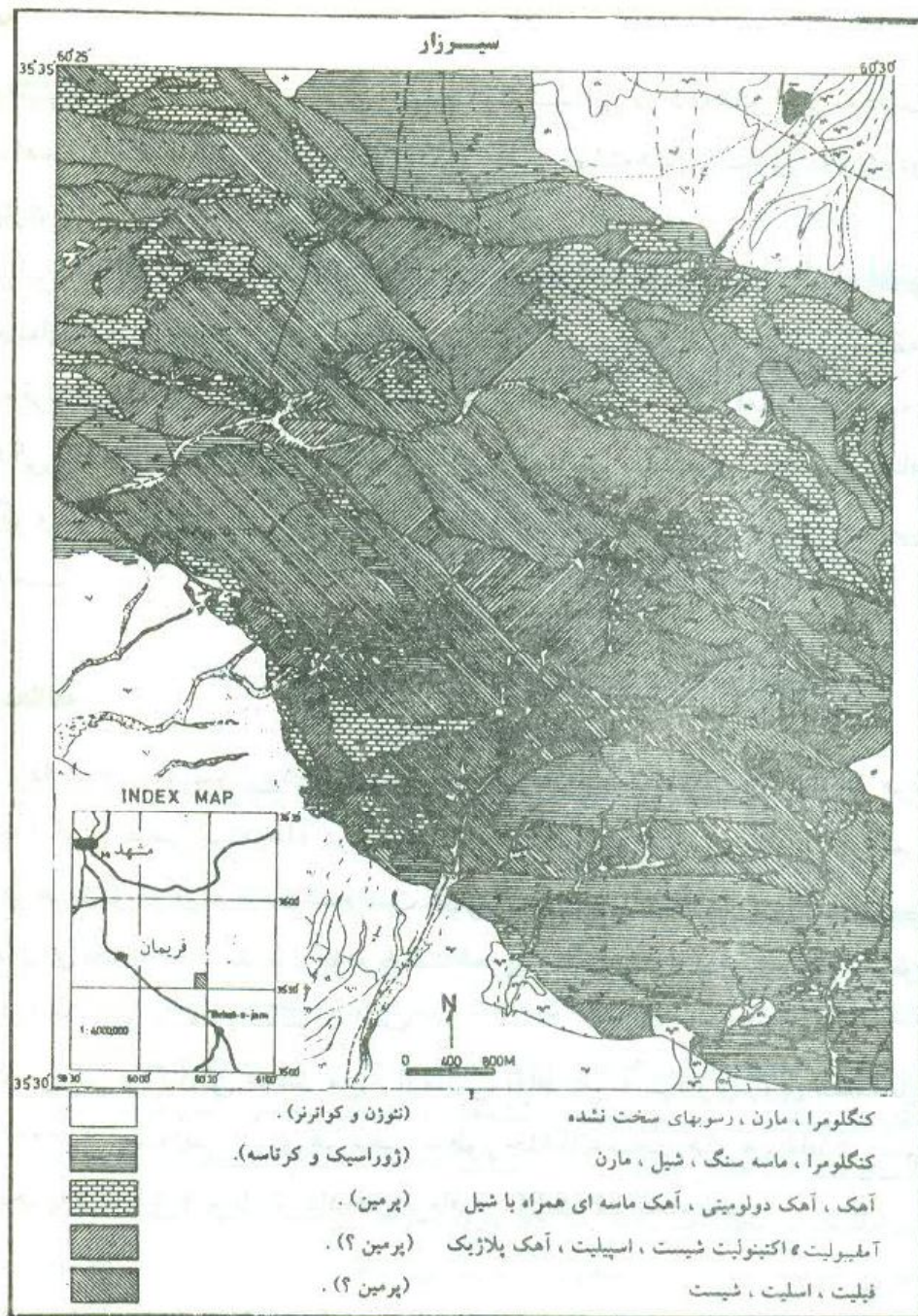
نمونه برداری از رسوبهای رودخانه‌ای در منطقه‌ای به وسعت تقریبی ۷۰ کیلومتر مربع، با توجه به الگوی خاص آبراهه‌ها و در نظر گرفتن شرایط زمین شناسی منطقه، با تراکم ۱ تا ۶ نمونه در هر کیلومتر مربع انجام شده است. تجزیه نمونه‌ها با استفاده از دستگاه جذب اتمی (AAS) برای عناصر طلا، نقره، نیکل و کبالت (هر یک ۱۴۰ نمونه)، جیوه (۱۲۵ نمونه) و آنتیموان (۱۱۸ نمونه) صورت گرفته است.

برای بررسی پراکندگی عناصر مورد آزمایش، نقاط نمونه برداری روی نقشه‌هایی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ مشخص و برای هر عنصر به طور جداگانه منحنی‌های هم غلظت رسم شده است. تجزیه و تحلیل و پردازش داده‌ها با نرم‌افزار SPSS/PC انجام شد.

موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی عمومی منطقه

منطقه مورد مطالعه در شمال شرق ایران و در محدوده‌ای بین $25^{\circ} 60'$ الی $30^{\circ} 60'$ طول شرقی و $30^{\circ} 35'$ الی $35^{\circ} 35'$ عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱).

قدیمیترین واحدهای سنگی موجود در منطقه، مجموعه درهم ریخته‌ای از سنگهای آذرین با ترکیب مافیک نظیر گابرو، بازالت و اسپیلیت و به مقدار کم سنگهای اولترامافیک



شکل ۱ نقشه زمین شناسی و موقعیت جغرافیایی منطقه سیروزار.

بهمراه سنگهای رسوبی نظیر آهکهای پلاژیک، چرت‌های رادیولر دار، شیل و ماسه سنگ است (شکل ۱).
مجموعه فوق الذکر که با یک ارتباط گسلی در زیر آهکهای پرمین قرار گرفته است،

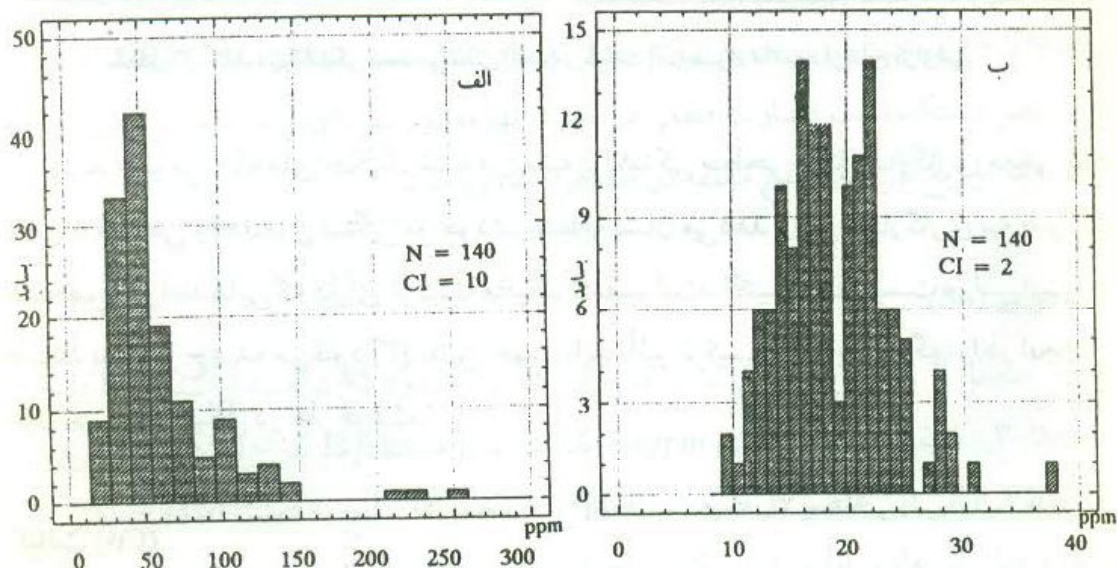
عمدتاً تا رخساره شیست‌های سبز و برخی تا آمفیبولیت دگرگون شده است. از دیگر واحدهای سنگی موجود در منطقه می‌توان از سنگهای رسوبی (شیل، ماسه سنگ، کنگلومرا، آهک و مارن) با سن ژوراسیک و کرتاسه، کنگلومرای نئوژن و رسوبهای سخت نشده کواترن نام برد [۳].

بررسی پراکندگی عناصر

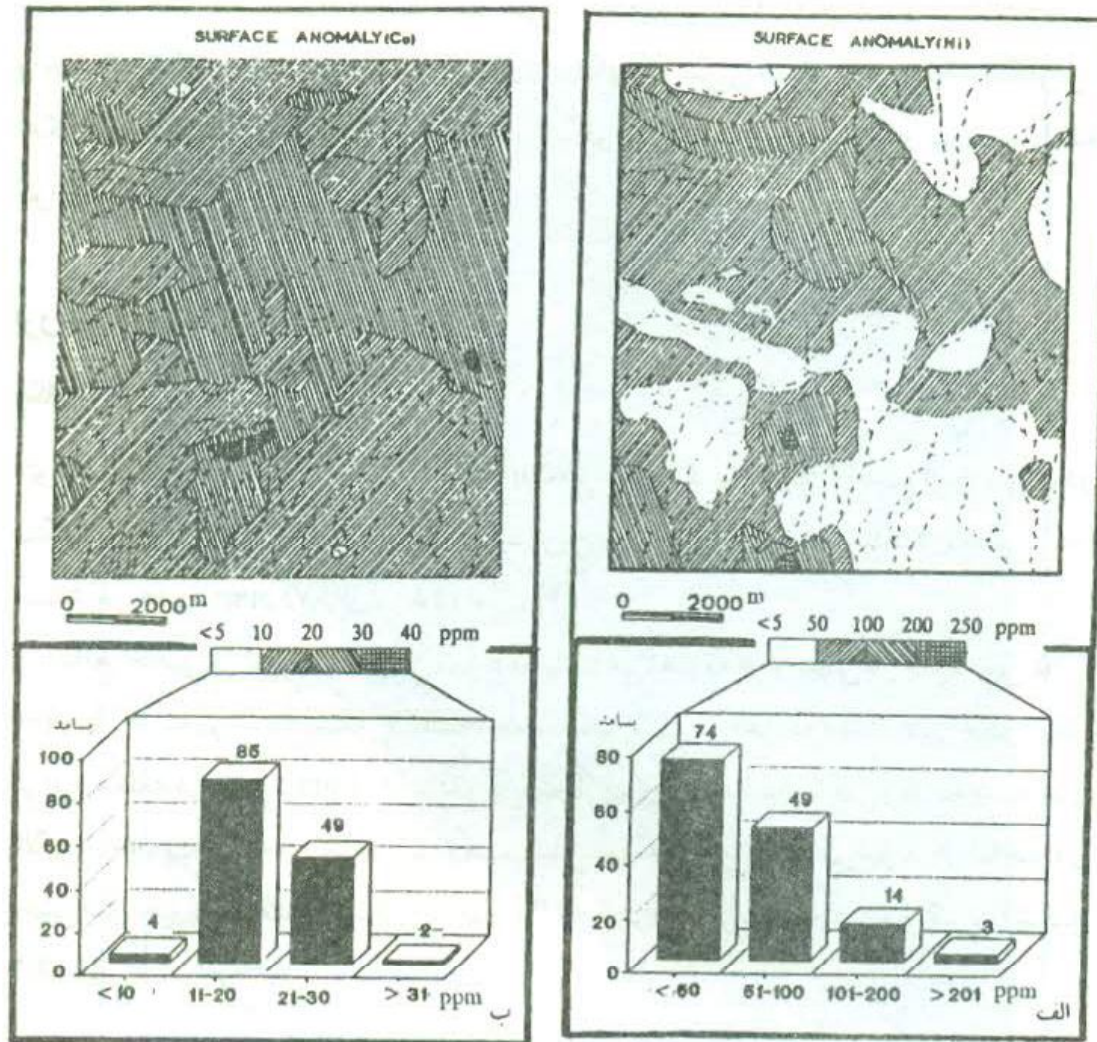
نیکل (Ni)

متوسط فراوانی نیکل در پوسته زمین ۷۵ppm و در خاکها ۳۰ppm است. این میزان در سنگهای مافیک ۱۵۰ppm و در شیلها که بیشترین مقدار نیکل را در بین سنگهای رسوبی دارا هستند در حدود ۷۰ppm گزارش شده است [۴].

نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی نمونه‌ها نشان می‌دهد که عیار نیکل در منطقه بین ۱۵ تا ۲۵۰ppm در تغییر است (شکل ۲-الف). محاسبات نشان می‌دهد که مقدار عیار عادی نیکل در این منطقه در حدود ۶۰ppm است و بی‌هنجاریهای (آنومالیهای) مربوط به عیارهای بالاتر از ۱۸۰ppm که در حدود ۵ درصد کل نمونه‌ها را شامل می‌شوند دو ناحیه در بخش‌های جنوبی منطقه با وسعتی به اندازه ۰٫۱۶ کیلومتر مربع را در بر می‌گیرند (شکل ۳-الف).



شکل ۲ نمودار ستونی توزیع نیکل (الف) و کبالت (ب).



شکل ۳ نقشه پراکندگی سطحی نیکل (الف) و کبالت (ب) همراه با نمودارهای فراوانی.

روند عمومی هاله‌های تفکیک شده در نقشه پراکندگی سطحی نیکل سازگاری معینی را با روند عمومی واحدهای سنگی موجود در منطقه نشان می‌دهد و این سازگاری به طور مشخص با واحدهایی که دارای ترکیب مافیک (آمفیبولیت، اکتینولیت شیست و اسپیلیت) هستند به وضوح دیده می‌شود [۳]. بدین جهت باید تأثیر ترکیب شیمیایی سنگها را در ایجاد عیار غیر عادی نیکل در نظر گرفت.

کبالت (Co)

متوسط فراوانی کبالت در پوسته زمین ۲۵ppm است که بیشترین مقدار مربوط به سنگهای

اولترامافیک با حدود 150 ppm است، متوسط فراوانی کبالت برای خاکها به طور متوسط $10-1$ گزارش شده است [۴].

نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی نمونه‌های مورد مطالعه برای عنصر کبالت، حاکی از فراوانی نسبی این عنصر در تمامی نمونه‌هاست. میزان عیار عادی این عنصر در منطقه حدود 18 ppm است و قریب به 60 درصد نمونه‌ها عیاری در همین حد و یا کمتر دارند. تنها 2 نمونه، عیاری بین $30-40 \text{ ppm}$ دارند و عیار بقیه نمونه‌ها (54 مورد) بین $30-18 \text{ ppm}$ تغییر می‌کند (شکل ۲-ب).

با توجه به نقشه پراکندگی سطحی کبالت (شکل ۳-ب)، سازگاری مشخصی بین محدوده‌های تفکیک شده برای این عنصر و نقشه مربوط به توزیع نیکل در منطقه وجود دارد. بنابراین توزیع غیر عادی کبالت نیز همانند نیکل می‌تواند در ارتباط با ترکیب شیمیایی سنگهای موجود در منطقه باشد.

نقره (Ag)

نقره عنصری کالکوفیل است که متوسط فراوانی آن در پوسته زمین 0.07 و در خاکها 0.1 ppm گزارش شده است [۴].

از مجموع 140 نمونه مورد مطالعه، در حدود 75 درصد از نمونه‌ها کمتر و یا در حد تشخیص دستگاه (0.1 ppm) نقره داشته و در بقیه نمونه‌ها نیز میزان نقره به ندرت بیشتر از 0.12 ppm بوده است. با توجه به اینکه مقدار نقره در اکثر نمونه‌ها بسیار نزدیک به حد تشخیص دستگاه است قضاوت قطعی در مورد آنها مقدور نبود؛ ولی در مجموع می‌توان گفت که توزیع نقره در سطح منطقه در حد عیار عادی است.

آنتیموان (Sb)

نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی نشان می‌دهد که در حدود 95 درصد از نمونه‌ها دارای $0.3-5 \text{ ppm}$ و بقیه نمونه‌ها دارای $5-65 \text{ ppm}$ آنتیموان هستند [۵]. گرچه با در نظر گرفتن متوسط فراوانی این عنصر در طبیعت (0.2 ppm)، مجموعه نتایج به دست آمده حاکی از وجود عیار غیر عادی آنتیموان در کل ناحیه مورد مطالعه است، ولی با توجه به نقشه پراکندگی این عنصر، دو منطقه با بی‌هنجاری بسیار بالا، یکی در جنوب شرقی با وسعتی

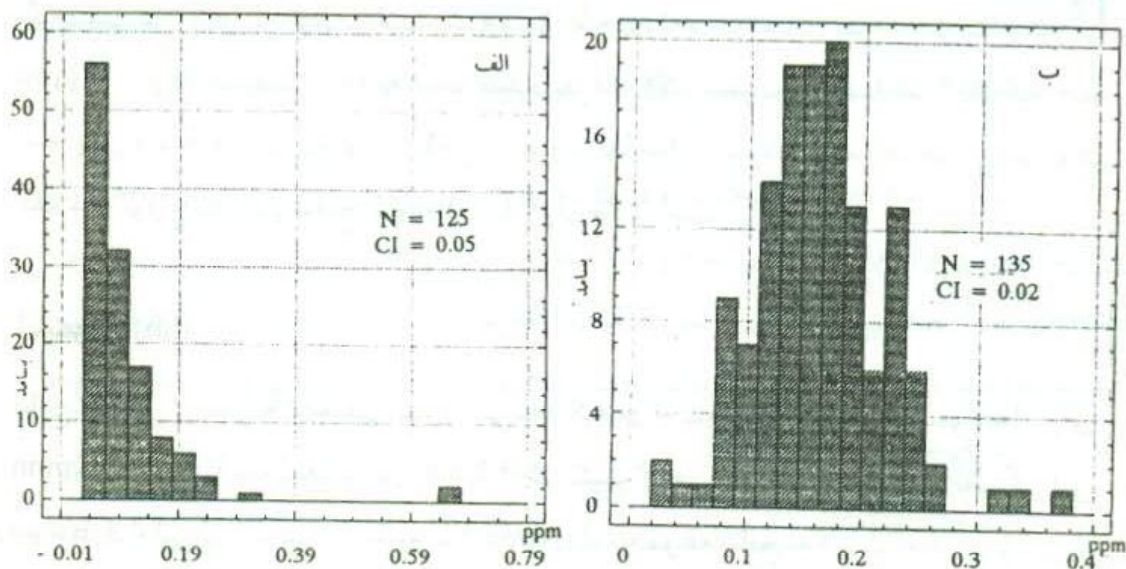
معادل ۱٫۰۴ کیلومتر مربع و دیگری در جنوب نقشه با وسعتی معادل ۰٫۱۴ کیلومتر مربع قابل تشخیص است [۵].

جیوه (Hg)

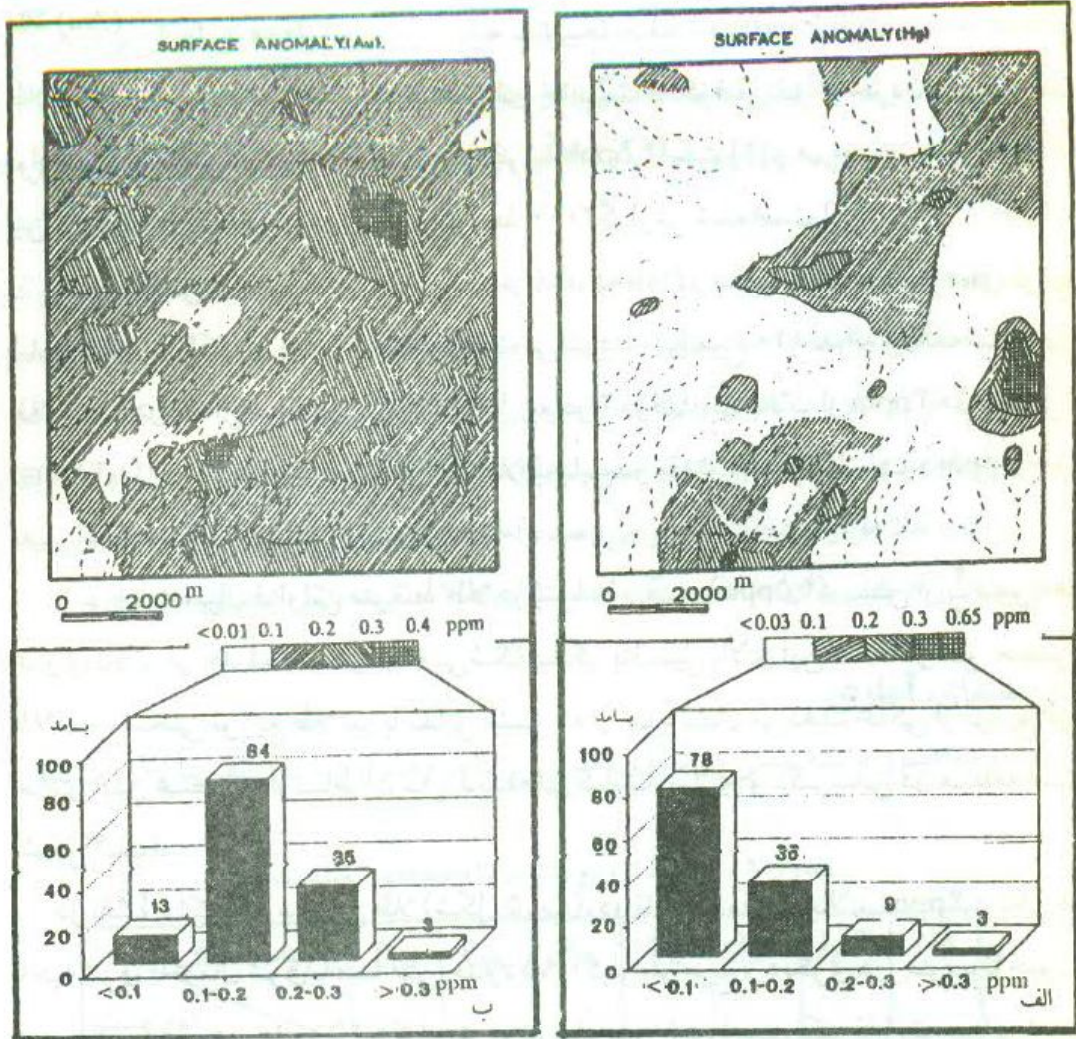
جیوه عنصری کالکوفیل است و متوسط فراوانی آن در پوسته زمین ۰٫۰۸ppm است [۴]. با توجه به فراوانی حدود ۰٫۰۳ppm جیوه در رسوبهای رودخانه‌ای، مقادیر بیش از ۰٫۰۹ppm می‌تواند غیرعادی تلقی شود.

بر اساس نتایج به دست آمده از مجموع ۱۲۵ نمونه مورد مطالعه، حدود ۴۰ درصد از نمونه‌ها حاوی بیش از ۰٫۱ppm جیوه هستند و در حدود ۳ درصد از نمونه‌ها بیشترین مقدار جیوه یعنی ۰٫۳-۰٫۶۵ppm را به خود اختصاص می‌دهند (شکل‌های ۴ و ۵ الف). منحنی فراوانی جیوه در منطقه دارای یک توزیع غیرعادی با تمایل مثبت است که جمعیت‌های متفاوتی را هر چند با تعداد کم نمونه‌ها، نشان می‌دهد (شکل ۴- الف). اینگونه نمودارها می‌توانند بیانگر تأثیر پدیده‌های دگرسانی و کانسارسازی در منطقه باشند.

بر اساس مقادیر مختلف جیوه، محدوده‌هایی بر روی نقشه پراکندگی سطحی جیوه تفکیک شده‌اند که بیشترین بی‌هنجاری مربوط به ناحیه‌ای به وسعت ۰٫۶ کیلومتر مربع در



شکل ۴ نمودار ستونی توزیع جیوه (الف) و طلا (ب).



شکل ۵ نقشه پراکندگی سطحی جیوه (الف) و طلا (ب) همراه با نمودارهای فراوانی.

شرق منطقه است (شکل ۵-الف). در این ناحیه مقدار جیوه 0.65 ppm است. در این نقشه مناطقی با وسعت 1.16 کیلومتر مربع نیز در جنوب با حداکثر 0.3 ppm جیوه و دو منطقه نیز در مرکز و شمال شرق نقشه با مقادیری در حدود 0.25 ppm مشخص شده است که مجموعاً وسعتی معادل 0.7 کیلومتر مربع را در بر می گیرند (شکل ۵-الف).

مقایسه نقشه پراکندگی سطحی جیوه با نیکل، به ویژه در نواحی جنوبی منطقه، سازگاری کاملاً نزدیکی بین این دو عنصر را نشان می دهد. چنین ارتباطی هر چند به میزان کمتر با نقشه پراکندگی سطحی کبالت هم مشاهده می شود.

طلا (Au)

طلا عنصری سیدروفیل است که تا اندازه‌ای خاصیت کالکوفیلی نیز از خود نشان می‌دهد. فراوانی این عنصر در پوسته جامد زمین تقریباً $4/5 \text{ppb}$ است [۴] و ضریب پرعیارسازی آن بین ۲۰۰ تا ۴۰۰۰ متغیر بوده و بطور متوسط ۲۰۰۰ گزارش شده است [۶].

نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی نشان می‌دهد که طلا در منطقه به طور گسترده‌ای توزیع شده است و در اکثر آبراهه‌های منطقه یافت می‌شود. از مجموع ۱۴۰ نمونه مطالعه شده، عیار طلا در ۱۰ درصد از نمونه‌ها کمتر از $0/1 \text{ppm}$ و در ۲ درصد آنها بالاتر از $0/3 \text{ppm}$ (حداکثر تا $0/38 \text{ppm}$) است و در بقیه نمونه‌ها عیار طلا بین این دو مقدار (با متوسط حدود $0/2 \text{ppm}$) در تغییر است (شکل ۴ ب).

با توجه به میزان فراوانی متوسط طلا در پوسته زمین ($4/5 \text{ppb}$)، بیش از $2/3$ نمونه‌ها عیاری بالاتر از حد آستانه دارند که بی‌شک بیانگر پتانسیل بالای این منطقه از نظر حضور طلاست. منحنی توزیع طلا نیز با تمایل مثبتی که از خود نشان می‌دهد، حاکی از توزیع غیر عادی این عنصر و ارتباط آن با پدیده‌های کانسارسازی و دگرسانی در منطقه است (شکل ۴ ب).

در نقشه پراکندگی سطحی طلا (شکل ۵-ب)، دو ناحیه با مقادیر بالای $0/3 \text{ppm}$ ، یکی در ناحیه شرق تا شمال شرق با مساحتی حدود $0/95$ کیلومتر مربع و دیگری در جنوب تا جنوب غرب با مساحتی در حدود $0/25$ کیلومتر مربع مشخص شده است. نکته قابل توجه این است که الگوی پراکندگی سطحی طلا هر چند در نواحی جنوبی منطقه، سازگاری بسیار نزدیکی با محدوده‌های مشابه در نقشه‌های پراکندگی آنتیموان و جیوه نشان می‌دهد، ولی پراکندگی طلا منحصر به این مناطق نیست و دارای گسترش بیشتری است. این امر می‌تواند نشانگر تأثیر فرایندهای مختلف در کانه زایی طلا باشد.

انطباق نقشه‌های پراکندگی سطحی عناصر با نقشه زمین شناسی منطقه

برای شناخت بهتر ارتباط بین پراکندگی عناصر و نوع واحدهای مختلف سنگی موجود در منطقه، نقشه‌های مربوطه با مقیاس مشابه مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به اینکه ارتباط بین اکثر واحدهای سنگی در این منطقه گسلی است (شکل ۱) و از سوی دیگر نمونه برداری نیز از رسوبهای رودخانه‌ای صورت گرفته است، برای تعیین ارتباط بین بی‌هنجاریهایی

ایجاد شده و لیتولوژی‌های مختلف، تغییرات عیار در مسیر آبراهه‌های اصلی و فرعی، مرز لایه‌ها و جنس واحدهای مختلف سنگی در حوضه‌های آبریز و مکان‌هایی که آبراهه‌ها از آن تغذیه می‌شوند، مورد بررسی قرار گرفته‌اند. نتیجه این بررسیها در جدول ۱ ارائه گردیده است.

با توجه به جدول ۱ می‌توان گفت که واحدهای P_{mf} و P_{am} که بیشتر از سنگهای با ترکیب مافیک تشکیل یافته‌اند، بیشترین نقش را در ایجاد بی‌هنجاری برای عناصر طلا، جیوه، کبالت، نیکل و نقره داشته‌اند و P_{li} که واحدی رسوبی است و بیشتر از آهک تشکیل یافته و P_{sh} که شامل پلیت‌ها، فیلیت‌ها و شیست‌های منطقه است نیز در ایجاد بی‌هنجاریهای آنتیموان و طلا مؤثر بوده‌اند. به نظر می‌رسد واحدهای رسوبی مربوط به ژوراسیک و نئوژن در ایجاد بی‌هنجاریهای عناصر دیگر، به استثنای طلا و نقره، تأثیر کمتری داشته‌اند.

بررسیهای آماری

گرچه مفاهیم و هسته اصلی روشهای آماری در قلمروهای گوناگون تقریباً یکی است، ولی

جدول ۱ ارتباط توزیع عناصر با واحدهای مختلف سنگی.

نوع واحد سنگی / نوع عنصر	P_{mf}	P_{am}	P_{sh}	P_{li}	J_k^c	J_k^{sm}	Ng
Au	xxxxx	xxxx	xxx	xxxxx	xx	xx	xxx
Sb			xxx	xx	xx		
Hg	xxxx	xxx	x				x
Ag	xxx	xx	xxxx		xx	xx	xxx
Co	xxxx	xx					
Ni	xxxx	xx	x				x

P_{mf} , P_{am} : بازالتها، اسپیلیت‌ها، آمفیبولیت‌ها و شیستهای سبز.

P_{sh} : اسلیت، فیلیت و شیست. P_{li} : سنگهای کربناته.

J_k^c , J_k^{sm} : کنگلومرا و ماسه سنگ. Ng: کنگلومرا، شیل و مارن.

علامت ضربدر و تعداد آن بیانگر وجود و شدت رابطه بین نوع عنصر و واحد سنگی است.

ممکن است در هر قلمرویی برخی از روشها، نسبت به روشهای دیگر مفیدتر باشند و مورد تأکید بیشتری قرار گیرند. در همین رابطه، برای بررسی ارتباط داده‌ها، از سه روش مختلف آماری یعنی جدول توافقی^۱، تجزیه و تحلیل رگرسیون^۲ و رگرسیون چندگانه^۳ استفاده شد.

در جدول توافقی، توزیع توأم دو متغیر که دارای مقادیر متمایز عددی هستند، نشان داده می‌شود. آنچه در این عملیات حائز اهمیت است، مقادیری است که در خروجی برنامه تحت عنوان «Significance» محاسبه می‌شود. در جدول توافقی (جدول همبستگی) سطح معنی دار آزمون برابر ۰/۰۵ در نظر گرفته شده است (سطح اطمینان ۹۵ درصد). در این جدول عبارت «دو متغیر وابسته» زمانی بکار رفته است که مقدار «Significance» کمتر از ۰/۰۵ و عبارت «دو متغیر مستقل» در زمانی بکار گرفته شده است که این مقدار بزرگتر از ۰/۰۵ بوده است. نتایج به دست آمده از این روش آماری در جدول ۲ آمده‌اند.

جدول ۲ نتایج محاسبات مربوط به جدول توافقی برای منطقه مورد مطالعه.

متغیر سطر - متغیر ستون	Significance	تعبیر و تفسیر
Au By Ag	۰/۸	دو متغیر مستقل
Au By Co	۰/۰۰۳	دو متغیر وابسته
Au By Ni	۰/۰۰۶	دو متغیر وابسته
Au By Hg	۰/۱۹	دو متغیر مستقل
Au By Sb	۰/۸	دو متغیر مستقل
Ag By Co	۰/۳۱	دو متغیر مستقل
Ag By Ni	۰/۴۵	دو متغیر مستقل
Ag By Hg	۰/۱۶	دو متغیر مستقل
Ag By Sb	۰/۹۹	دو متغیر مستقل
Co By Ni	۰/۰۰۰	دو متغیر وابسته
Co By Hg	۰/۰۰۶	دو متغیر وابسته
Co By Sb	۰/۰۰۰	دو متغیر وابسته
Ni By Hg	۰/۰۲	دو متغیر وابسته
Ni By Sb	۰/۲۰	دو متغیر مستقل
Hg By Sb	۰/۰۰۰	دو متغیر وابسته

برای درک بهتر روابط بین عناصر و ارزیابی از نتایج به دست آمده، روش تجزیه و تحلیل رگرسیون نیز مورد استفاده قرار گرفت. پارامتری که در محاسبات مربوط به تجزیه و تحلیل رگرسیون برای نتیجه گیری در مورد معنی دار بودن همبستگی دو متغیر مورد توجه قرار می گیرد، در خروجی برنامه «سطح احتمال» نامیده می شود و چنانچه مقدار این پارامتر کمتر از ۰٫۰۵ باشد، می تواند به عنوان معنی دار بودن دو متغیر از نظر همبستگی تفسیر شود. جدول ۳، نوع متغیرها، میزان سطح احتمال و ارتباط بین عناصر را براساس این روش آماری نشان می دهد.

چنانکه ملاحظه می شود، نتایج به دست آمده از این روش، علیرغم شباهت زیادی که با نتایج به دست آمده از روش جدول توافقی نشان می دهد، در مواردی نیز با آن متفاوت است.

جدول ۳ خلاصه محاسبات تجزیه و تحلیل رگرسیون برای منطقه مورد مطالعه.

تفسیر	سطح احتمال Prob.Level	نوع متغیرها	
		مستقل	وابسته
دو متغیر مستقل از هم	۰٫۵۱	نقره	طلا
دو متغیر مستقل از هم	۰٫۰۸	کبالت	طلا
دو متغیر از نظر همبستگی معنی دار	۰٫۰۳	نیکل	طلا
دو متغیر مستقل از هم	۰٫۲۲	جیوه	طلا
دو متغیر از نظر همبستگی تا حدی معنی دار	۰٫۰۵	آنتیموان	طلا
دو متغیر مستقل از هم	۰٫۳۲	کبالت	نقره
دو متغیر مستقل از هم	۰٫۰۷	نیکل	نقره
دو متغیر مستقل از هم	۰٫۴۲	جیوه	نقره
دو متغیر مستقل از هم	۰٫۰۳	آنتیموان	نقره
دو متغیر از نظر همبستگی معنی دار	۰	نیکل	کبالت
دو متغیر از نظر همبستگی معنی دار	۰٫۰۱	جیوه	کبالت
دو متغیر از نظر همبستگی تا حدی معنی دار	۰٫۰۵	آنتیموان	کبالت
دو متغیر از نظر همبستگی معنی دار	۰٫۰۲۹	جیوه	نیکل
دو متغیر مستقل از هم	۰٫۶۴	آنتیموان	نیکل
دو متغیر مستقل از هم	۰٫۱۸	آنتیموان	جیوه

لذا برای اطمینان بیشتر، از روش تجزیه و تحلیل رگرسیون چندگانه که بسیار پیچیده‌تر و در عین حال کاربردی‌تر از روش قبلی است نیز استفاده گردید.

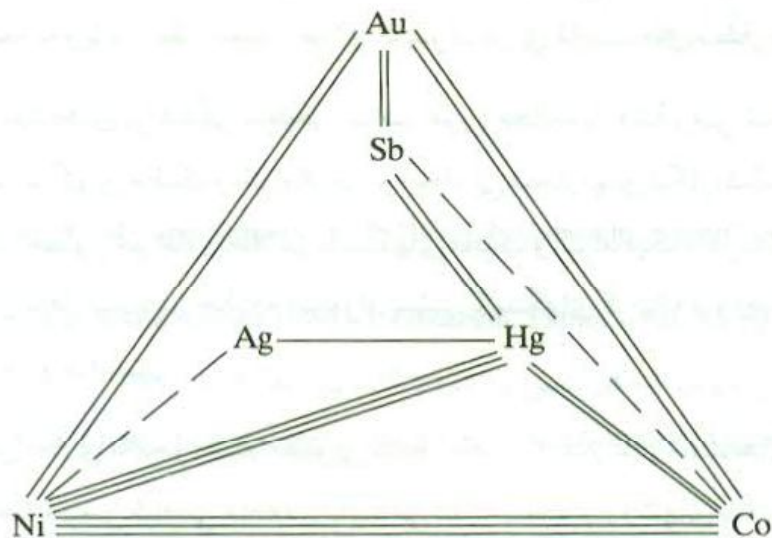
در روش تجزیه و تحلیل رگرسیون چندگانه، مقداری از متغیرهای مستقل (بعضی از مقادیر ژئوشیمیایی) به یک متغیر وابسته دلخواه ربط داده می‌شود و سپس براساس مدلی که بهترین برازش را با مقادیر مشاهده شده داشته باشد، می‌توان مشخص کرد که کدام یک از متغیرهای مستقل بهتر می‌تواند تغییرات بعضی از متغیرهای دیگر را توجیه کند.

در عملیات رگرسیون چندگانه ارتباط هر یک از عناصر به طور همزمان با پنج عنصر دیگر مورد بررسی قرار گرفت. برای انجام این امر از روش پسرو^۱ استفاده شد که اساس آن خارج کردن تدریجی متغیرها از معادله رگرسیون است و نهایتاً متغیرهایی که در معادله رگرسیون وجودشان ضروری است (به عبارت دیگر معنی دار هستند) معرفی می‌شوند. نتایج عملیات بالا در جدول ۴ آمده‌اند.

برای درک آسانتر و بهتر از نتایج عملیات مختلف آماری، خلاصه بررسیها به صورت شکل ۶ نشان داده شده است. در این شکل عناصر مورد بررسی به صورت یک مثلث در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند. خطوط بین عناصر به مفهوم وجود رابطه مثبت و تعداد خطوط نشان دهنده تأیید این مطلب در یک، دو و یا سه روش آماری است. نبودن خط بیانگر نبودن رابطه و وجود خط چین بیانگر رابطه منفی بین عناصر است.

جدول ۴ نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل رگرسیون چندگانه.

متغیرهای غیر ضروری	متغیرهایی که وجودشان در معادله رگرسیون ضروری است	سایر متغیرها	متغیر وابسته
Ag, Ni, Hg	Sb, Co	Sb, Ni, Ag, Hg, Co	Au
Au, Co, Sb	Ni, Hg	Sb, Ni, Hg, Au, Co	Ag
Ag, Hg	Sb, Ni, Au	Sb, Ni, Ag, Hg, Au	Co
Au, Ag, Sb	Hg, Co	Sb, Hg, Ag, Au, Co	Ni
Au, Co, Sb	Ni, Ag	Sb, Ni, Ag, Au, Co	Hg
Ag, Ni	Hg, Au, Co	Hg, Au, Ag, Co, Ni	Sb



شکل ۶ ارتباط عناصر اندازه گیری شده با یکدیگر. روابط خطی منفرد، دوگانه و سه گانه بین عناصر، بیانگر وجود رابطه در یک یا همه روشهای آماری بکار رفته است و عدم وجود خط، بیانگر عدم رابطه و وجود خط چین بیانگر رابطه منفی است.

همانطور که از این تصویر استنباط می شود، عناصری نظیر کبالت و نیکل در هر سه روش آماری ارتباط نشان می دهند. ارتباط تنگاتنگ این دو عنصر، ضمن آنکه تأییدی است بر نتایج به دست آمده از بررسیهای ژئوشیمیایی و زمین شناسی، خود گواهی است بر قابل اعتماد بودن بررسیهای آماری. در نمودار مثلثی شاهد هستیم که بین طلا و نقره و نیز آنتیموان و نقره در هیچیک از روشها، ارتباطی وجود ندارد که این امر با توجه به متفاوت بودن افق تشکیل این عناصر می تواند امری طبیعی تلقی شود. از سوی دیگر وجود رابطه مثبت بین طلا با آنتیموان و آنتیموان با جیوه و عدم ارتباط یا رابطه منفی آنتیموان با نیکل و کبالت از یکسو و رابطه مثبت بین طلا و جیوه با نیکل و کبالت از سوی دیگر، احتمال تمرکز طلا را نه تنها در رگهای حاوی آنتیموان، بلکه به صورت تمرکز در جایگاههای خاصی از سنگهای مافیک و الترامافیک (تحت تأثیر فرایندهای لیستونیته شدن)، قوت می بخشد.

نتیجه

۱. نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی رسوبهای رودخانه ای حاکی از عیار غیر عادی عناصر

- طلا، جیوه، آنتیموان، کبالت و نیکل در منطقه است. این نتایج نشان می‌دهد که منطقه مورد مطالعه به ویژه از نظر حضور طلا و آنتیموان دارای قابلیت‌های بسیار بالایی است.
۲. سازگاری نقشه‌های پراکندگی سطحی عناصر مورد مطالعه با نقشه زمین‌شناسی منطقه، بیانگر تأثیر سنگهای مافیک و الترامافیک در ایجاد بی‌هنجاریهای نیکل، کبالت و تا حدی جیوه است. حضور غیرعادی طلا نیز با سنگهای مافیک و الترامافیک و کربناته موجود در منطقه در ارتباط است؛ در حالیکه آنتیموان بیشتر با سنگهای کربناته و واحدهای فیلیتی مجاور آن مربوط است.
۳. بررسی‌های آماری به نحو بسیار مطلوبی نتایج حاصل از سازگاری نقشه‌های پراکندگی سطحی با نقشه زمین‌شناسی منطقه را تأیید می‌کند. استفاده از روشهای مختلف آماری و مقایسه نتایج به دست آمده در تعبیر و تفسیر داده‌ها و درک بهتر روابط بین عناصر بسیار مؤثر بوده است. بر این اساس توصیه می‌شود در تعبیر و تفسیر داده‌ها از تلفیق چند روش آماری استفاده شود.
۴. با توجه به بررسی‌های آماری وجود رابطه مثبت بین طلا با آنتیموان و آنتیموان با جیوه و عدم ارتباط آنتیموان با نیکل و رابطه منفی آن با کبالت از یکسو و رابطه مثبت بین طلا و جیوه با نیکل و کبالت از سوی دیگر، می‌تواند بیانگر وجود فرایندهای متفاوت کانی‌زایی در منطقه باشد. این امر امکان تمرکز طلا را نه تنها در رگه‌های حاوی آنتیموان، بلکه در جایگاههای خاصی از سنگهای مافیک و الترامافیک (تحت تأثیر فرایندهای لیستونیتی شدن)، در ذهن تداعی می‌کند.
۵. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که انجام بررسیهای آماری در کنار مطالعات زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی به ویژه در مراحل مقدماتی پی‌جویی، به خوبی می‌تواند در شناخت عوامل مؤثر در ایجاد فرایندهای کانی‌زایی و نهایتاً دستیابی به نهشته‌های کانساری مفید واقع گردد.

تشکر و قدردانی

از مسئولین اتاق کامپیوتر گروه آمار دانشگاه فردوسی، بویژه جناب آقای مهندس وطن‌دوست به خاطر راهنمایی و همکاری در محاسبات آماری و از کارشناسان

سازمان زمین شناسی و اداره کل معادن و فلزات خراسان به خاطر مساعدت‌های بی دریغشان صمیمانه سپاسگزاریم.

مراجع

1. Konstantinov, K. M., and Strajkov, F. S. (1995) J. Geochem. Explor. , vol. 54, pp. 1-17.
2. Xie Xuejing and Wang Xueqiu (1991) J. Geochem. Explor. , vol. 40, pp. 25 - 48.
۳. سعادت، س. ، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۳۷۶.
4. Levinson, A. A. (1980) Introduction to exploration geochemistry, Applied Pub. Co., 924 p.
۵. سعادت، س. و شهاب پور، ج. ، مجله بلور شناسی و کانی شناسی ایران، ۱۳۷۶، ۵، ۴۵.
۶. آفتابی، ع. ، شاه‌پسندزاده، م. ، انوری، م. ، فصلنامه معادن و فلزات، ۱۳۷۴، ۵۷-۵۵، ۱۹.