

بررسی زیست‌محیطی برخی از عناصر سنگین در توده‌ی نفودی معدن مس سونگون ورزقان، شمال غرب ایران

علی شاهی^۱

محمد پوستی^{۲*}

m.poosti@hormozgan.ac.ir

غلامرضا قدمی^۳

محمد فدائیان^۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۳/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۸/۲۳

زمینه و هدف: از مهمترین آلاینده‌های زیست‌محیطی، فلزات سنگین هستند که از فعالیت‌های صنعتی نظیر معدن‌کاری، تولید سوخت و انرژی، کاربرد علف‌کشها، پاک‌کننده‌ها و تولید ضایعات شهری وارد محیط‌زیست می‌شوند. مهم‌ترین و باارزش‌ترین زیستگاه طبیعی در منطقه‌ی مورد مطالعه، ذخیره‌گاه زیست‌کره‌ی ارسباران است. هدف از این پژوهش، تعیین غلظت عناصر سنگین در معدن مس سونگون است که پتانسیل آلودگی زیست‌محیطی را دارند.

روش بررسی: نمونه‌های جمع‌آوری شده پس از آماده‌سازی، توسط روش ICP-MS مورد تجزیه قرار گرفتند. سپس داده‌های ژئوشیمیایی توسط نرم‌افزاری چون SPSS تحلیل آماری شد. محاسبات تک‌متغیره و چندمتغیره‌ی زیادی از جمله: هم‌بستگی خطی، آنالیز خوشه‌ای و آنالیزهای فاکتوری بر روی پایگاه داده‌ها انجام شد.

یافته‌ها: بررسی‌ها نشان می‌دهد که سنگ‌های این منطقه از عناصر Cu, Mo, Te, S, Ag, W, Bi, Sb, As, U, Tl, Pb و Sn غنی شده‌اند. در بین آنها، غنی‌شدگی Cu, Mo, Te و S خیلی چشم‌گیر است. سه گروه در نمودار آنالیز خوشه‌ای قابل تشخیص است: ۱- Sc, Ti, V, Cr, Ni, Be, U, Tl, Co و Fe - ۲. Bi, W, Ag, Sn, Cu و As - ۳. Sb, Zn, Mn, Pb, Mo و Te. بیشترین مقادیر هم‌بستگی بین عناصر Sc-Ti-V, Cr-Ni, Be-U, Co-Fe, Ag-Sn و Sb-Zn مشاهده می‌شود. عیار استخراجی مس و مولیبدن در

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده‌ی علوم، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.

۲- دانشیار، دانشکده‌ی علوم، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران. * (مسئول مکاتبات).

۳- استادیار، دانشکده‌ی علوم، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.

۴- استادیار، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

مجتمع سونگون، به ترتیب ۰/۶۱ و ۰/۰۱ درصد می باشد در حالی که متوسط آن ها در سنگ های مورد مطالعه، به ترتیب ۰/۷۳ و ۰/۱۱۳ درصد است که نزدیک به یکدیگر می باشند.

بحث و نتیجه گیری: تشکیل کانی های سولفیدی، عاملی برای بالا بودن مقدار عناصر کالکوفیل در سنگ های توده ی نفوذی معدن مس سونگون است. با توجه به این که فعالیت های معدن کاری ممکن است سبب رهاسازی عناصر سنگین و سمی به چرخه های ژئوشیمیایی شوند، طراحی در امر استخراج مواد معدنی بسیار مهم بوده و باید با حساسیت و ارزیابی صحیح و دقیق زیست محیطی، انجام شود. بنابراین چنانچه سایت معدنی مورد بازسازی قرار نگیرد به زمین های آلوده تبدیل شده و این آلودگی سبب تغییرات فراوان در خواص فیزیکوشیمیایی و pH خاک می شوند. مدیریت صحیح، کارآمد و پویای زیست محیطی، به طور مداوم باید در مورد فعالیت های معدن کاری، اعمال شود تا مبادا این فعالیت ها از مسیر توسعه ی پایدار و سالم، منحرف گردد.

واژه های کلیدی: فلزات سنگین، ذخیره گاه زیست کره ی ارسباران، معدن مس سونگون، غنی شدگی.

Environmental investigation of some heavy elements in the intrusive mass of Soungoun copper mine in Varzaqan, North-West of Iran

Ali Shahi¹

Mohammad Poosti^{2*}

m.poosti@hormozgan.ac.ir

Gholamreza Ghadami³

Mohammad Fadaeian⁴

Admission Date: May 31, 2023

Date Received: November 14, 2022

Abstract

Background and Objective: Among the most important environmental pollutants are heavy metals that enter the environment from industrial activities such as mining, fuel and energy production, the use of herbicides, cleaners, and urban waste production. The most important and valuable natural habitat in the study area is Arasbaran Biosphere Reserve. The purpose of this research is to determine the concentration of heavy elements in Soungoun copper mine, which have the potential of environmental pollution.

Material and Methodology: The collected samples after preparation were analyzed by ICP-MS method. Then the geochemical data were statistically analyzed by software such as SPSS. Many univariate and multivariate calculations including: linear correlation, cluster analysis and factor analysis were performed on the database.

Findings: Investigations show that the rocks of this area are enriched with elements Te, Mo, Cu, S, As, Sb, Bi, W, Ag, Tl, U, Sn and Pb. Among them, the enrichment of Te, Mo, Cu and S is very impressive. Three groups can be distinguished in the cluster analysis diagram: 1- Sc, Ti, V, Cr, Ni, Be, U, Tl, Co and Fe. 2- Bi, W, Ag, Sn, Cu and As. 3- Sb, Zn, Mn, Pb, Mo and Te. The highest correlation values are observed between Sc-Ti-V, Cr-Ni, Be-U, Co-Fe, Ag-Sn and Sb-Zn elements. The extracted grade of copper and molybdenum in Soungoun complex is 0.61% and 0.01%, respectively, while their average in the studied rocks is 0.73% and 0.0113%, respectively, which are close to each other.

Discussion and Conclusion: The formation of sulphide minerals is a factor for the high amount of chalcophile elements in the intrusive mass rocks of Soungoun copper mine. Due to the fact that mining activities may cause the release of heavy and toxic elements into geochemical cycles, design is very important in the matter of extracting minerals and should be done with sensitivity and correct and

1- PhD student, Faculty of Science, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.

2- Associate Professor, Faculty of Science, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran. **(Corresponding Author)*

3- Assistant Professor, Faculty of Science, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.

4- Assistant Professor, Payame Noor University, Tehran, Iran.

accurate environmental assessment. Therefore, if the mining site is not restored, it will turn into polluted land and this pollution will cause many changes in the physicochemical properties and pH of the soil. Correct, efficient and dynamic management of the environment must be continuously applied to mining activities so that these activities do not deviate from the path of sustainable and healthy development.

Keywords: Heavy metals, Arasbaran biosphere reserve, Soungoun copper mine, Enrichment.

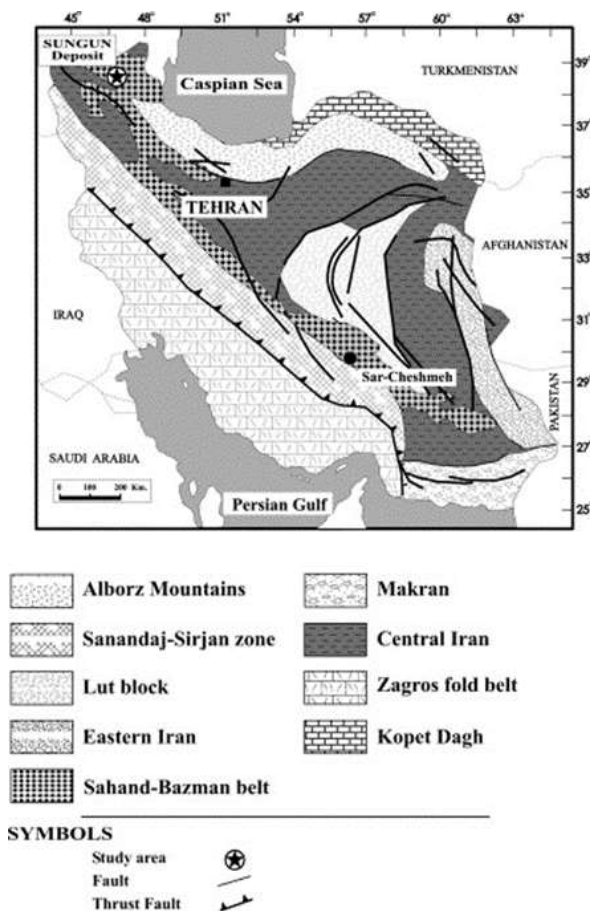
مقدمه

این اثرات نامطلوب، در سطوح بسیار پایین، برخی از فلزات، نقش‌های فیزیولوژیکی اساسی به‌عنوان ریزمغذی‌ها دارند. فلزات سنگین مانند کروم، منگنز، آهن، کبالت، مولیبدن، نیکل، وانادیم، مس و سلنیم به مقدار کم برای انجام عملکردهای مهم بیوشیمیایی در سیستم‌های گیاهی و جانوری مورد نیاز هستند. در غلظت‌های بالاتر، آنها می‌توانند سمی باشند، اما معمولاً برخی مکانیسم‌های تنظیمی بیولوژیکی موجود است که به‌وسیله‌ی آن، حیوانات می‌توانند دفع آنها را تسریع کنند یا جذب مقادیر بیش از حد را به تأخیر بیندازند. در مقابل، فلزات سنگین غیرضروری عمدتاً در سیستم‌های زمینی و آبی نگران‌کننده هستند، زیرا سمی هستند و در سیستم‌های زنده باقی می‌مانند. یون‌های فلزی معمولاً با گروه‌های اسید سولفیدریل (-SH) و کربوکسیلیک (-COOH) اسیدهای آمینه که اجزای پروتئین‌ها (آنزیم‌ها) یا پلی‌پپتیدها هستند، پیوند می‌خورند. این پیوند، باعث افزایش تجمع‌زیستی آن‌ها و مهار دفعشان می‌شود. به‌عنوان مثال: فلزات سنگین مانند سرب، کادمیم و جیوه به‌شدت با گروه‌های -SH و $-SCH_3$ موجود در سیستم‌های متیونین متصل می‌شوند و بنابراین متابولیسم آنزیم‌های متصل را مهار می‌کنند. علاوه بر این، سایر فلزات سنگین ممکن است جایگزین یک عنصر ضروری شوند و در دسترس بودن آن را کاهش دهند و علائم کمبود را ایجاد کنند (۱۳). آلودگی خاک به فلزات سنگین مشکلی به‌مراتب جدی‌تر از آلودگی هوا یا آب است، زیرا فلزات سنگین معمولاً توسط اجزای آلی لایه‌های سطحی خاک به‌شدت متصل می‌شوند و بسته به شرایط ممکن است برای قرن‌ها یا هزاره‌ها باقی بمانند. در نتیجه، خاک یک مخزن مهم ژئوشیمیایی است که فلزات سنگین را به سرعت انباشته می‌کند و معمولاً در سفره‌های آب زیرزمینی یا تجمع‌زیستی در گیاهان، آنها را بسیار آهسته

امروزه آلودگی محیط زیست از مسائل مهمی است که جوامع بشری با آن روبه‌رو هستند (۱). توسعه‌ی شهرها، گسترش صنایع و دخالت بی‌رویه‌ی بشر در طبیعت منجر به تخریب محیط‌زیست شده است (۲). انسان در اثر فعالیت‌های روزمره‌ی خود، مقادیر قابل توجهی از آلاینده‌های مختلف را به منابع آب، خاک و هوا وارد می‌کند (۳). از مهمترین آلاینده‌های زیست‌محیطی، فلزات سنگین هستند که از فعالیت‌های صنعتی نظیر معدن‌کاری، تولید سوخت و انرژی، کاربرد علف‌کش‌ها، پاک‌کننده‌ها و تولید ضایعات شهری وارد خاک می‌شوند. جیوه، آرسنیک، کادمیم، سرب و کبالت از مهمترین فلزات آلاینده‌ی محیط‌زیست می‌باشند که باعث تأثیرات نامطلوب بر سلامت اکوسیستم می‌شوند (۴ و ۵). فعالیت‌های گرمایی مرتبط با آتشفشان، مقادیر زیادی فلزات سنگین را وارد محیط می‌کند و در برخی موارد، این فعالیت‌ها حتی می‌توانند ذخایر سنگ معدنی ایجاد کنند. نمونه‌های کلاسیک، مس پورفیری و ذخایر طلائی‌تری‌مال هستند (۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲ و ۱۳). فلزات سنگین، سمی هستند و ممکن است در پوشش گیاهی، حیوانات، ماهی‌ها و صدف‌ها تجمع یابند. برخی از آنها مانند سرب، جیوه، کادمیم و بریلیم، نقشی در متابولیسم انسان ندارند و در غلظت‌های بسیار پایین مهارکننده‌ی آنزیم‌ها هستند. به‌عنوان سم، می‌توانند بر عملکرد اندام‌های مختلف برای مثال: کلیه، کبد و مغز تأثیر بگذارند و به سیستم عصبی مرکزی، سیستم قلبی-عروقی و دستگاه گوارش آسیب بزنند (۱۴). مطالعات نشان می‌دهد که مناطق غنی از کادمیم-روی با مناطقی با مرگ و میر بالای سرطان پروستات هم‌پوشانی دارند. سرطان مثانه و پانکراس با نواحی غنی از سرب-آنتیموان در ارتباط است، در حالی که سرطان برونشیت-نای-ریه با نواحی غنی از سرب، کادمیم و آرسنیک هم‌بستگی دارد (۱۵). با وجود

شده است (۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱ و ۲۲). مختصات جغرافیایی کانسار، ۴۶ درجه و ۴۳ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی می‌باشد. راه‌های دسترسی به معدن از طریق جاده‌ی تبریز-ورزقان-سونگون می‌باشد (۱۷، ۱۸، ۲۲، ۲۳، ۲۴ و ۲۵). مس پورفیری سونگون، به‌صورت نفوذی‌های نیمه‌آتش‌فشانی الیگوسن-میوسن در داخل سنگ‌های کربناته‌ی آهکی کرتاسه بالایی، سنگ‌های تخریبی ائوسن و برش‌های داسیتی، توفها و گدازه‌های تراکی آندزیت الیگوسن، نفوذ کرده است (۲۰، ۲۶ و ۲۷).

تخلیه می‌کند. با این حال، فلزات سنگین هم‌چنین می‌توانند به‌سرعت در محیط زیست با فرسایش ذرات خاکی که به آن جذب یا متصل شده‌اند، جابه‌جا شوند و در جای دیگری از زمین رسوب کنند یا در رودخانه‌ها، دریاچه‌ها یا اقیانوس‌ها وارد شوند (۱۶). کانسار مس پورفیری سونگون در استان آذربایجان شرقی در ۱۲۰ کیلومتری شمال شرق تبریز و ۲۵ کیلومتری شمال ورزقان در یک ناحیه‌ی کوهستانی بر روی کمر بند ماگمایی سهند-بزمان به سن سنوزوئیک واقع شده (۱۷) و معدن آن توسط رودخانه‌های «سونگون چای» و «پخیرچای» محاصره



شکل ۱- نقشه‌ی زمین‌شناسی ایران و موقعیت معدن مس سونگون در کمر بند ارومیه-دختر (۱۷، ۱۸، ۳۱ و ۳۲).

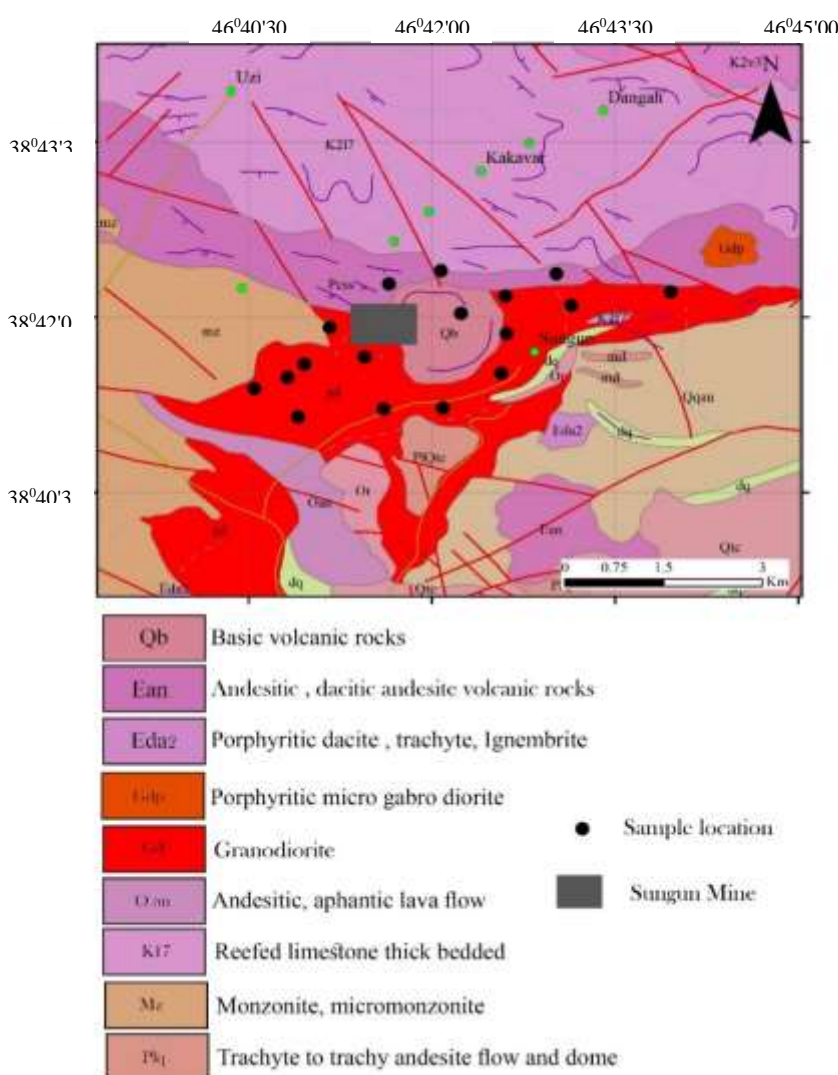
Figure 1. Geology map of Iran and the location of Songoun copper mine in Urmia-Dokhtar belt (17, 18, 31 & 32)

۲۷ و ۲۸). عناصر مس، بیسموت، مولیبدن و تنگستن، در منطقه-ی غنی‌شدگی ثانویه‌ی سولفیدی و فروشست-اکسیدی و عناصر مس، نقره، بیسموت، مولیبدن و تنگستن، در واحد ژرف‌زاد، با گسترش هاله‌ی وسیع، حضور دارند. هم‌پستگی بالا بین مس، نقره، مولیبدن، اکسیدآلومینیوم، اکسیدپتاسیم، بیسموت، کبالت،

کانسار سونگون دارای ۷۹۶ میلیون تن ذخیره‌ی سولفیدی با عیار ۰/۷۶ درصد مس، ۰/۰۱ درصد مولیبدن، ۲/۲ گرم بر تن نقره و ۱۷ میلی‌گرم بر تن طلا می‌باشد. کانسار مس سونگون، سرچشمه و دیگر کانسارهای مس پورفیری ایران، مرتبط با نفوذی‌های دیوریت-گرانودیوریت تا مونزونیت-کوارتزمونزونیت هستند (۲۶)،

ارسباران (منطقه‌ی حفاظت شده‌ی ارسباران) مهم‌ترین و باارزش‌ترین زیستگاه طبیعی منطقه می‌باشد. مساحت این ذخیره‌گاه با ۷۲۴۶۵ هکتار است که در شمال غربی معدن مس سونگون و در فاصله‌ی ۷ کیلومتری آن قرار دارد. این زیستگاه دارای اهمیت اکولوژیکی ویژه می‌باشد که باعث گردید سازمان حفاظت محیط‌زیست آن را در سال ۱۳۵۰ تحت حفاظت و حمایت قرار بگیرد و برنامه‌ی انسان و کره‌ی مسکون یونسکو نیز آن را در سال ۱۹۷۲ به‌عنوان «ذخیره‌گاه زیست‌کره» به ثبت برساند (۱۷، ۱۸، ۲۳ و ۳۳).

کروم، نیکل و وانادیوم، در واحد ژرف‌زاد و مس، اکسید آهن، نقره و L.O.I در بخش اسکارنی، وجود دارد (۲۹). هاله‌های ژئوشیمیایی مس به‌همراه مولیبدن در مناطق مرکزی کانسار، گسترش یافته‌اند و هاله‌های مولیبدن برخلاف مس، تنها به مرکز محدود می‌شوند. هاله‌های سرب و روی اطراف کانسار را احاطه کرده‌اند. آرسنیک و آنتیموان، مناطق مرکزی را شامل می‌شوند. هاله‌های عناصر طلا و نقره، هم در مناطق مرکزی با مس و مولیبدن و هم در مناطق حاشیه‌ای با سرب و روی هم‌نشینی دارند. آرسنیک با آنتیموان، روی با سرب، طلا با نقره و مس با مولیبدن، هم‌بستگی بالایی دارند (۳۰). ذخیره‌گاه زیست‌کره‌ی



شکل ۲- نقشه‌ی زمین‌شناسی معدن مس سونگون و محل‌های نمونه‌برداری در آن (۱۷، ۱۸، ۲۷، ۳۴ و ۳۵) (با تغییرات).

Figure 2. Geological map of Sounگون copper mine and its sampling location (17, 18, 27, 34 & 35) (with modifications).

روش مطالعه (مواد و روش‌ها)

مطالعات کتابخانه‌ای انجام شد که این مطالعات شامل کتاب‌ها، پایان‌نامه‌ها، رساله‌ها، منبع‌ها و مقاله‌های داخلی و خارجی در ارتباط با موضوع تحقیق بود. هم‌چنین نقشه‌های زمین‌شناسی و عکس‌های هوایی و ماهواره‌ای مرتبط با منطقه‌ی مورد مطالعه، بررسی و تجزیه و تحلیل شد. مشاهدات صحرایی و میدانی از منطقه به‌عمل آمد و ۴۰ نمونه به روش تصادفی از منطقه و پله‌های استخراج معدن برداشت شدند. آلوده نشدن نمونه‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است، به همین منظور، دستکش‌های مقاوم پلاستیکی به‌طور جداگانه برای برداشت هر نمونه مورد استفاده قرار گرفت. برای انتخاب نمونه‌های مناسب به‌منظور آنالیز شیمیایی، نمونه‌ها مورد بررسی دقیق قرار گرفتند. نمونه‌های انتخاب‌شده درون کیسه‌های نایلونی مقاوم با استحکام بالا قرار داده شدند، برچسب‌های مخصوص بر آن‌ها زده شد و شماره‌ای نیز به هر یک از آن‌ها اختصاص یافت. نمونه‌های مناسب آماده شده برای تجزیه شیمیایی به آزمایشگاه شرکت "زرآما" ارسال گردیدند. در آزمایشگاه شرکت مزبور از روش طیف‌سنجی جرمی-پلاسمای جفت‌شده‌ی القایی (Inductively coupled plasma mass spectrometry: ICP-MS) برای آنالیز نمونه‌ها استفاده شده بود. برای پردازش، تفسیر و تحلیل آماری داده‌های ژئوشیمیایی، نرم‌افزاری چون SPSS به‌کار گرفته شد، نمودارهای لازم رسم گردید، کارهای آماری متناسب انجام شد، نقشه‌ها، تصویرها و جدول‌های عنصری تهیه شدند، گروه-بندی عناصر با توجه به شاخص‌ها و پارامترهای آماری به‌همراه رسم گراف‌های پراکندگی عناصر صورت گرفت، محاسبات تک-متغیره و چندمتغیره‌ی بسیاری بر روی پایگاه داده‌ها انجام شد از جمله: هم‌بستگی خطی، آنالیز خوشه‌ای و آنالیزهای فاکتوری، و براساس آن‌ها، نتایج پژوهش به‌دست آمد.

بحث

داده‌های ژئوشیمیایی عناصر (جدول ۱)، نشان می‌دهد که در سنگ‌های توده‌ی نفوذی معدن مس سونگون، مقدار میانگین عناصر U, Tl, Te, Sn, Sb, S, Pb, Mo, Cu, Bi, As, Ag و W از مقدار کلارک بیشتر است. در بین عناصر، مقدار میانگین

Cu, Mo, S و Te خیلی زیادتر از مقدار کلارک است. دامنه‌ی تغییرات عناصر نیز بالاست که در این میان بیشترین دامنه‌ی تغییرات را Cu, Mn, Mo, S و Sb دارند. نتایج داده‌ها، نشان می‌دهد که عناصر Ag, As, Bi, Cu, Mo, Pb, S, Sb, Sn, Te, Tl و W در سنگ‌های توده‌ی نفوذی معدن مس سونگون، غنی‌شدگی دارند. برای این که میزان غنی‌شدگی و روند آن در بین عناصر، بهتر مشخص شود، از رابطه‌ی زیر، فاکتور غنی‌شدگی (Enrichment Factor) را برای هر عنصر در تمام نمونه‌ها در مقایسه با مقدار کلارک محاسبه کرده و نمودار لگاریتمی-جعبه‌ای فاکتور غنی‌شدگی را رسم نمودیم:

غلظت عنصر در متوسط پوسته / غلظت عنصر در نمونه = EF

نمودار فوق (شکل ۳)، غنی‌شدگی عناصر Ag, As, Bi, Cu, Mo, Pb, S, Sb, Sn, Te, Tl, U و W را در سنگ‌های توده‌ی نفوذی معدن مس سونگون، تأیید می‌کند. هم‌چنین مشخص می‌شود که در بین این‌ها، Cu, Mo, S و Te بیشترین غنی‌شدگی را دارند. نمودارهای ستونی، جعبه‌ای و Q-Q Plot (شکل‌های ۴ تا ۹)، غنی‌شدگی و تمرکز بالای عناصر Ag, As, Bi, Cu, Mo, Pb, S, Sb, Sn, Te, Tl, U و W را در سنگ‌های توده‌ی نفوذی معدن مس سونگون نشان می‌دهند. چولگی مثبت عناصر در نمودارهای ستونی و پراکنش مقادیر عناصر در اطراف خط رگرسیون نمودار Q-Q Plot مخصوصا در مورد عناصر As, Bi, Cr, Mn, Mo, Pb, Sb, W و Zn، حکایت از توزیع آماری غیرعادی محیط دارند. ضرایب هم‌بستگی (جدول ۲) و آنالیز خوشه‌ای (شکل ۱۰)، هم‌بستگی عناصر Sc, Ti, V, Cr و Ni را با هم‌دیگر و هم‌چنین عناصر Bi, W, Ag, Sn, Cu و As را با یکدیگر نشان می‌دهند. به ویژه Sc با Ti و V، Cr با Ni، Be با U، Co با Fe، Ag با Sn و Sb با Zn از هم‌بستگی بیشتری برخوردارند که رفتار ژئوشیمیایی مشابه این عناصر نیز، همین امر را تأیید می‌کند. آنالیز خوشه‌ای نیز این عناصر را در ۳ گروه قرار داده است: گروه اول: اسکاندیم، تیتانیوم، وانادیم، کروم، نیکل، برلیوم، اورانیم، تالیم، کبالت، آهن، آلومینیم و گوگرد با زیرگروه‌های: (۱- ۱) اسکاندیم، تیتانیوم و وانادیم، ۱-

(۲) کروم و نیکل، (۳-۱) بریلیم، اورانیم و تالیوم و (۴-۱) کبالت و آهن. گروه دوم: بیسموت، تنگستن، نقره، قلع، مس و آرسنیک با زیرگروه‌های: (۲-۱) بیسموت و تنگستن و (۲-۲) نقره، قلع و مس. گروه سوم: آنتیموان، روی، منگنز، سرب، مولیبدن و تلوریم.

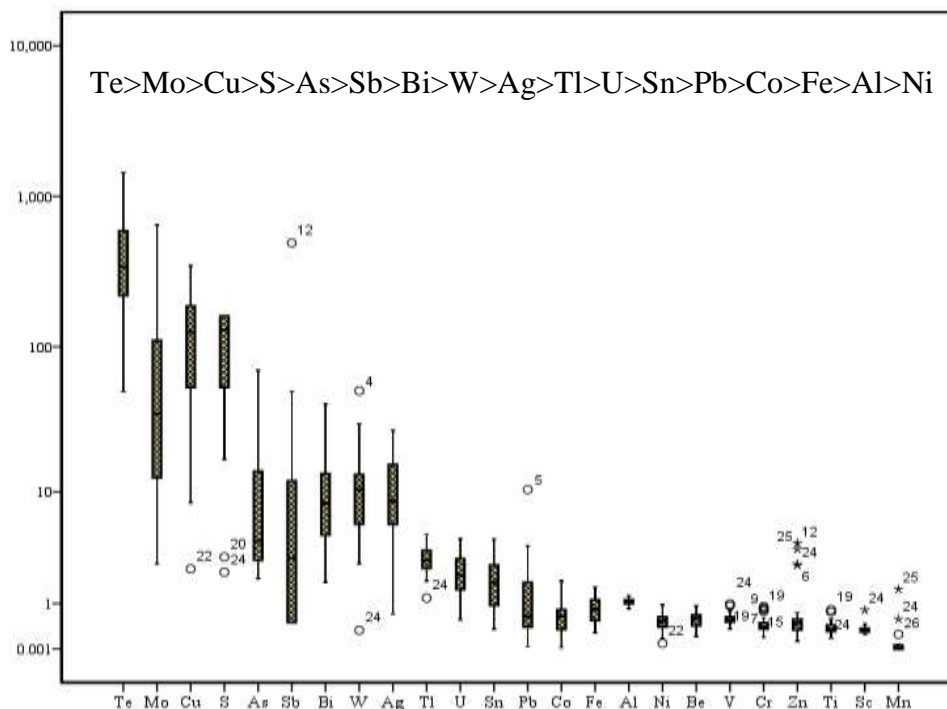
جدول ۱- خلاصه‌ی مقادیر آماری عناصر در سنگ‌های توده‌ی نفوذی معدن مس سونگون و مقایسه‌ی غلظت آن‌ها با کلارک (برحسب ppm) (۳۶).

Table 1. Summary of statistical values of elements in the intrusive mass rocks of Soungoun copper mine and comparison of their concentration with Clark (in ppm) (36).

	Ag	Al	As	Be	Bi	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni
میانگین توده نفوذی	۰/۸	۷۵۶۵۴	۱۱/۷	۱/۶	۲	۱۷/۹	۴۶	۷۲۸۶	۳۲۶۵۴	۱۰۳	۱۱۳	۴۰
کمینه توده نفوذی	۰/۲	۶۰۵۹۶	۳/۵	۰/۶	۰/۳	۵/۲	۲۰	۱۳۲	۱۰۸۱۶	۱	۴	۷
بیشینه توده نفوذی	۱/۹	۸۹۴۳۱	۵۵/۳	۲/۶	۷	۴۵/۸	۹۱	۱۹۰۰۶	۵۹۴۸۸	۱۴۱۴	۹۷۴	۷۲
کلارک	۰/۰۷	۷۱۰۰۰	۱/۸	۲/۸	۰/۱۷	۲۵	۱۰۰	۵۵	۳۸۰۰۰	۹۵۰	۱/۵	۷۵
	Pb	S	Sb	Sc	Sn	Te	Ti	Tl	U	V	W	Zn
میانگین توده نفوذی	۲۰	۲۶۵۰۱	۵/۶	۵/۷	۳/۹	۰/۵	۲۲۱۴	۱/۳۳	۶	۷۹	۱۸	۶۰
کمینه توده نفوذی	۲	۵۵۸	۰/۱	۴	۰/۷	۰/۱۳	۱۰۰۷	۰/۵۳	۱/۵	۴۹	۴	۹
بیشینه توده نفوذی	۱۳۰	۴۰۰۰۰	۹۸/۲	۱۲/۹	۸/۷	۱/۴۴	۴۶۶۸	۲/۱۳	۱۱/۸	۱۳۴	۷۵/۷	۲۸۳
کلارک	۱۲/۵	۲۵۰	۰/۲	۱۶	۲	۰/۰۰۱	۵۷۰۰	۰/۴۵	۲/۷	۱۳۵	۱/۵	۷۰

خوشه‌ای در یک زیرگروه قرار گرفته‌اند که بر جایگزینی کبالت به جای آهن در ساختار کانی پیریت تأکید دارد. عیار استخراجی مس در مجتمع سونگون، ۰/۶۱ درصد می‌باشد درحالی‌که متوسط آن در سنگ‌های مورد مطالعه (۰/۷۳ درصد)، بیشتر از عیار استخراجی آن در سنگ معدن و نزدیک به آن است که تأییدی بر داده‌های فوق می‌باشد. نمودار Q-Q Plot، سه جمعیت متفاوت را برای مس نشان می‌دهد که جمعیت با مقادیر زیاد، مربوط به کانی‌های سولفیدی و سولفات‌های مس است. ضریب همبستگی مثبت آهن با عناصر کبالت، گوگرد و نیکل، به دلیل حضور پیریت، سولفات‌های آهن و سولفیدهای دیگر در سنگ‌های توده‌ی نفوذی معدن مس سونگون و جایگزینی عناصر با شعاع مشابه (کبالت و نیکل) در ساختار کانی پیریت به جای آهن می‌باشد.

تشکیل کانی‌های سولفیدی، عاملی برای بالا بودن مقدار عناصر کالکوفیل در سنگ‌های توده‌ی نفوذی معدن مس سونگون است. معمولاً عناصری که مقدار میانگین بالایی دارند، دارای دامنه‌ی تغییرات زیادتری هم هستند. ضریب همبستگی مثبت زیاد نقره با آرسنیک، بیسموت، مس و قلع، بیانگر جانشینی آن در کالکوپیریت و کاسیتیریت است. ضریب همبستگی منفی قابل توجه نقره با Al، Be و Ti نیز با عنایت به خاصیت لیتوفیلی و ماهیت سیلیکاتی این سه عنصر و از طرفی به دلیل کمبود کانی‌های بریلیم و تیتانیم در کانسارهای پورفیری مس می‌باشد. آلومینیم، افزودگی و تغییرات زیادی را در سنگ‌های توده‌ی نفوذی معدن مس سونگون ندارد که مبین غیرمحلول بودن این عنصر است. همبستگی مثبت زیاد آرسنیک با عناصر نقره، بیسموت، مس، آنتیموان و قلع، بیانگر حضور آن در سولفوسالت‌های کانسار مس پورفیری سونگون است. کبالت و آهن در آنالیز

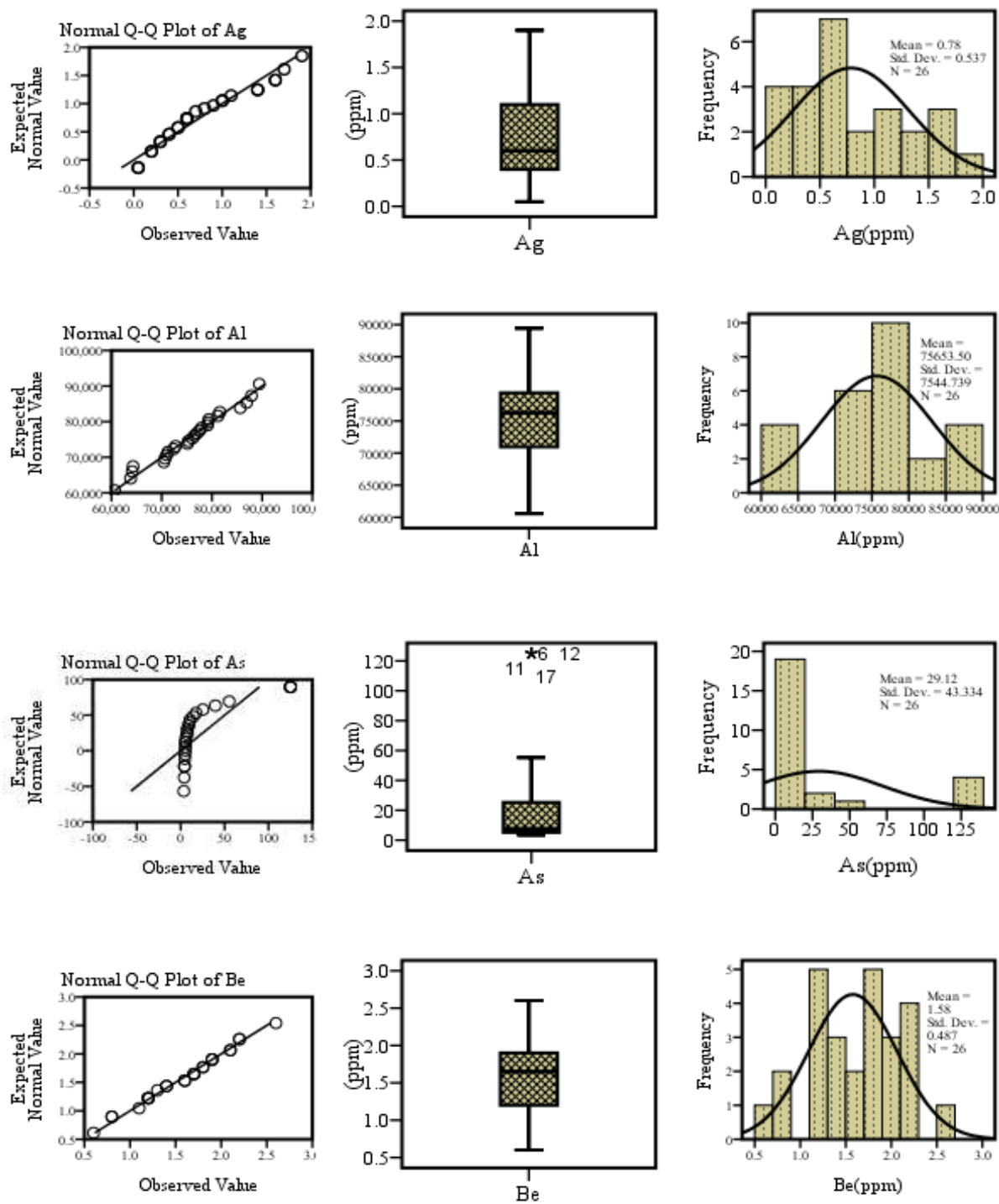


شکل ۳- نمودار لگاریتمی-جعبه‌ای فاکتور غنی‌شدگی در مقایسه با مقدار متوسط سنگ‌های پوسته

Figure 3. Logarithmic-box diagram of enrichment factor compared to the average value of crustal rocks

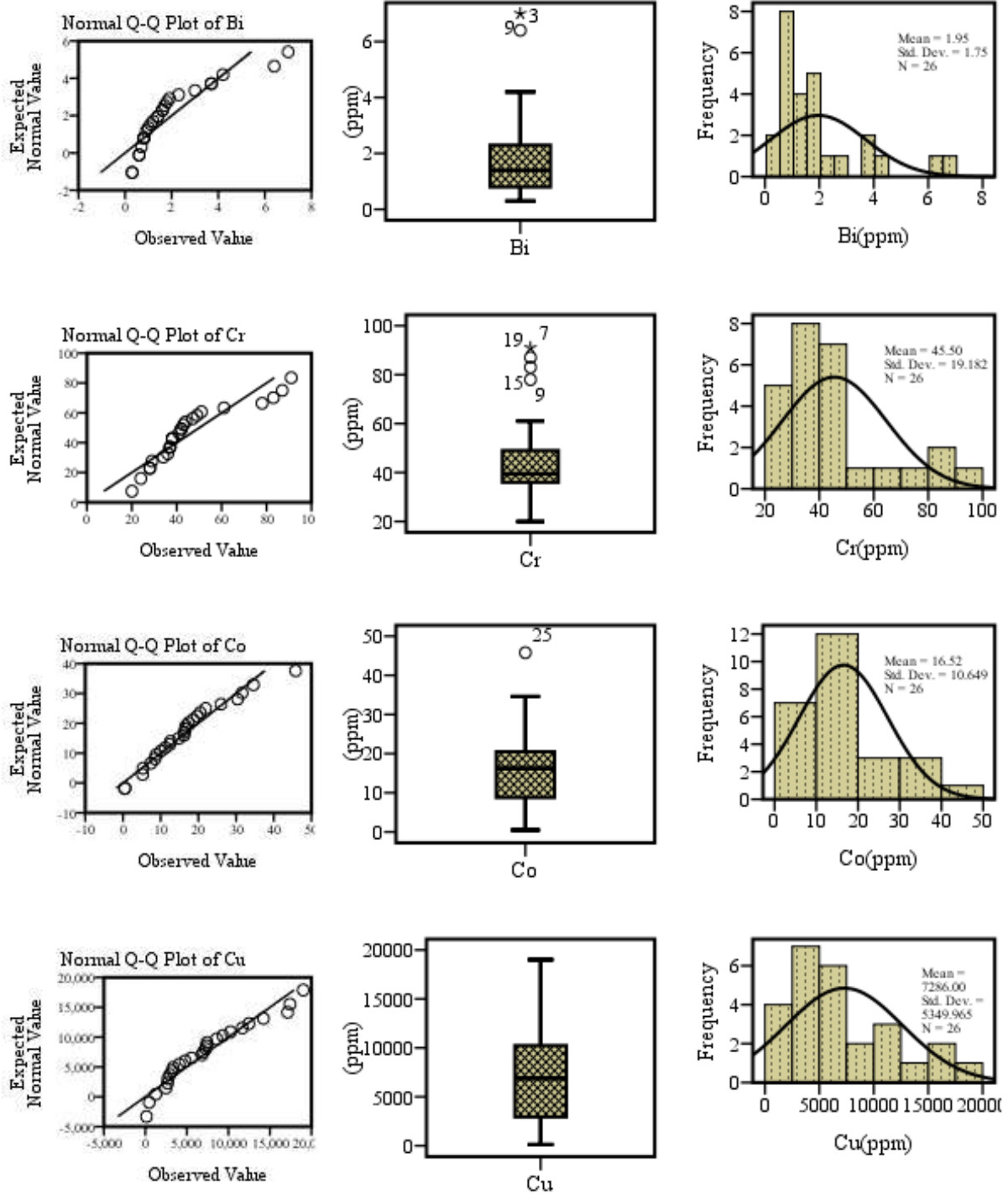
نشان می‌دهد که عناصری که ویژگی‌های ژئوشیمیایی مشابه دارند معمولاً غنی‌شدگی یا فقیرشدگی مشابهی هم نشان می‌دهند و دارای ضریب هم‌بستگی مثبت با هم‌دیگر می‌باشند. برای مثال: طباطبایی‌رضایی و آفتابی (۲۹)، غنی‌شدگی عناصر مس، نقره، بیسموت، مولیبدن و تنگستن را مورد تأکید قرار می‌دهند که داده‌های این مطالعه نیز آن را تأیید می‌نماید. هم‌چنین به هم‌بستگی بالا بین عناصر مس، نقره، مولیبدن، بیسموت، کبالت، کروم، نیکل و وانادیوم اشاره می‌کنند که ضرایب هم‌بستگی این تحقیق نیز با تفاوت‌های اندکی همین هم‌بستگی را نشان می‌دهد. اسماعیل‌نژاد و دلشاد (۳۰) نیز هم‌بستگی بالای آرسنیک با آنتیموان، روی با سرب، طلا با نقره و مس با مولیبدن را اظهار می‌نمایند که به داده‌های پژوهش ما نزدیک می‌باشد.

نمودار ستونی، دو جمعیت متفاوت را برای مولیبدن نشان می‌دهد که اولی بیانگر مقادیر عادی و دومی نشان‌دهنده‌ی کانی‌زایی مولیبدن (مولیبدنیت) می‌باشد. میانگین مولیبدن استخراجی در سنگ معدن سونگون، ۰/۰۱ درصد و متوسط مولیبدن در سنگ‌های مورد مطالعه‌ی منطقه، ۰/۰۱۱۳ درصد است که نزدیک به یک‌دیگر می‌باشند. دو جمعیت متفاوت برطبق نمودار ستونی برای سرب قابل تشخیص می‌باشد که جمعیت با مقادیر زیاد، مربوط به تمرکز سرب در سولفیدها و احتمالاً گالن می‌باشد. براساس آنالیز خوشه‌ای، تیتانیوم به‌همراه اسکاندیم و وانادیم در یک زیرگروه قرار گرفته‌اند که به‌دلیل ماهیت سیلیکاتی و اکسیدی این عناصر است. تنگستن و بیسموت معمولاً باهم یافت می‌شوند و تنگستن و قلع می‌توانند در اکسیدها (شئلیت و کاسیتريت) و مقدار کمی در سولفیدهای فلزی، جایگزین شوند. مقایسه‌ی داده‌های این تحقیق با داده‌های پژوهش‌های پیشین



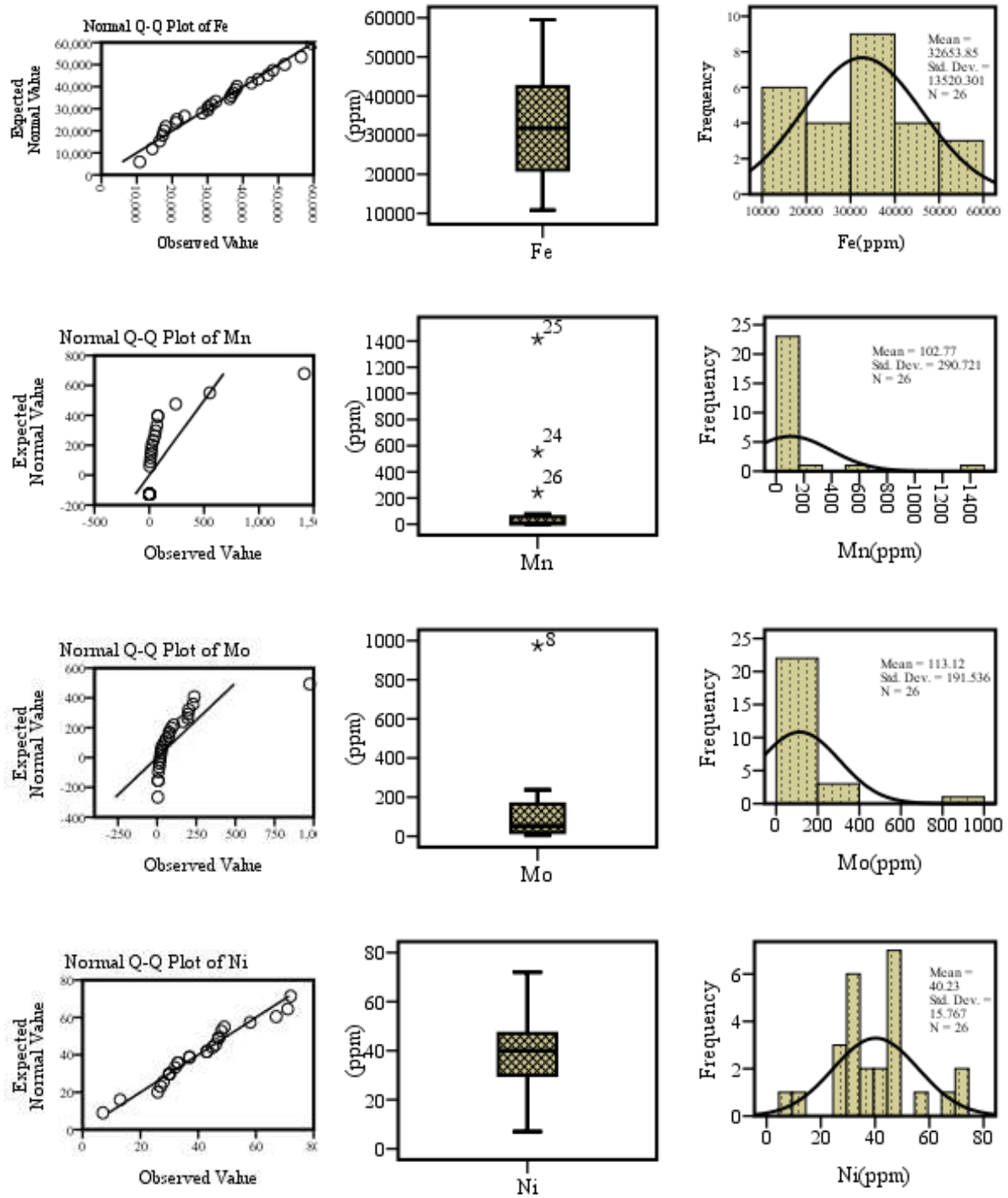
شکل ۴- نمودار ستونی، جعبه ای و Q-Q Plot نقره، آلومینیم، آرسنیک و بریلیم

Figure 4. Histogram, box & Q-Q plot diagram of Ag, Al, As & Be



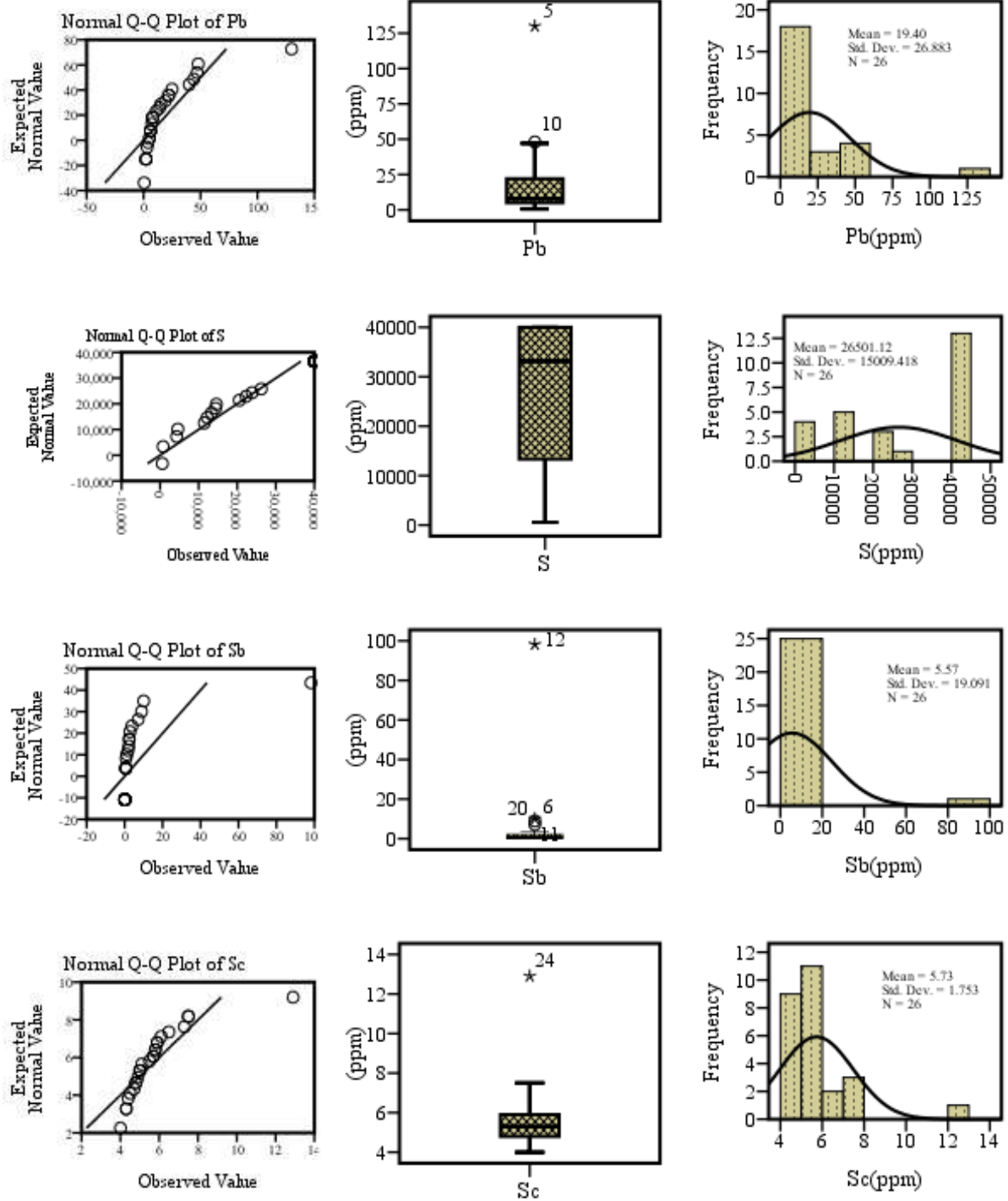
شکل ۵- نمودار ستونی، جعبه ای و Q-Q Plot بیسموت، کروم، کبالت و مس

Figure 5. Histogram, box and Q-Q plot diagram of Bi, Cr, Co & Cu



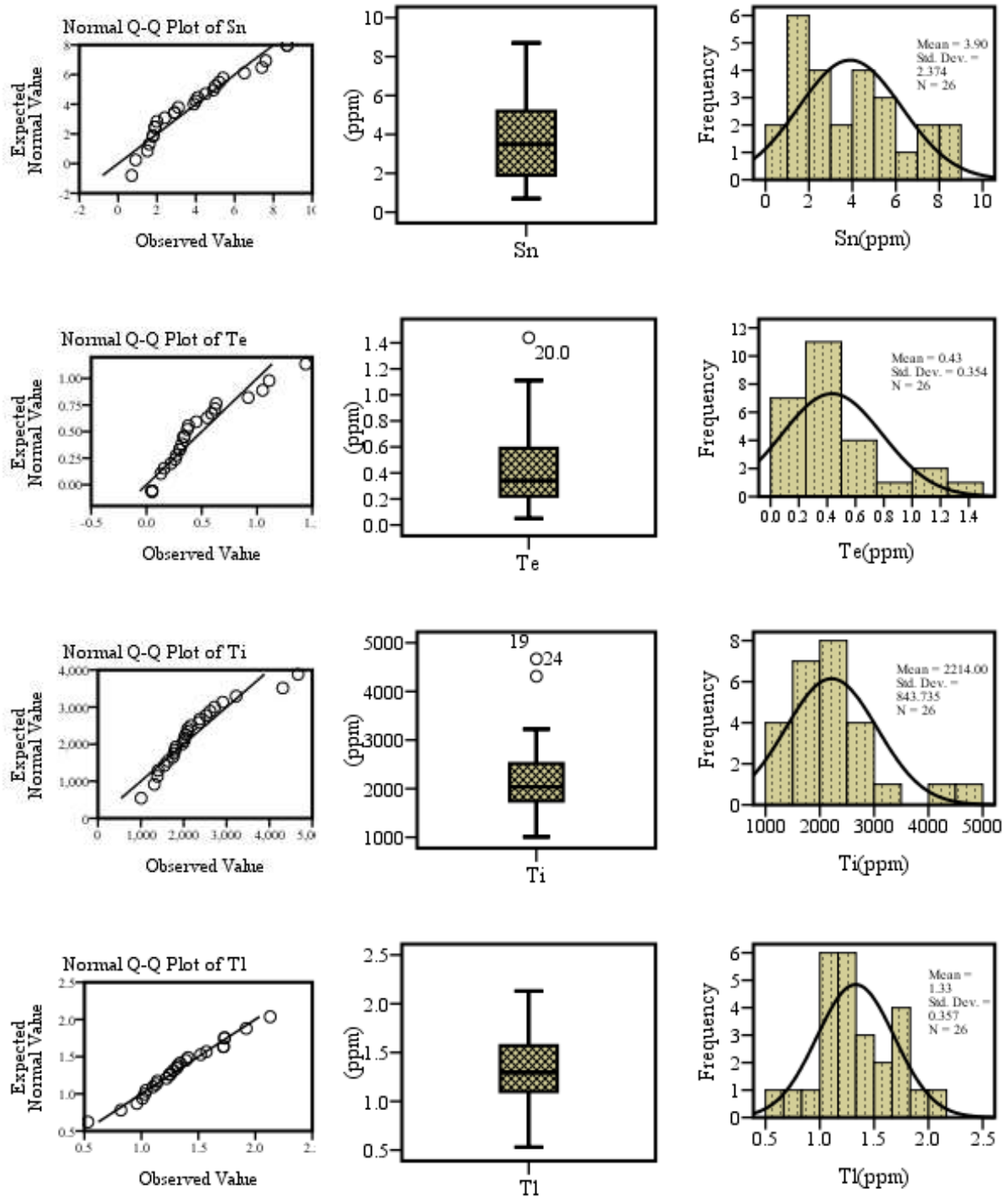
شکل ۶- نمودار ستونی، جعبه ای و Q-Q Plot آهن، منگنز، مولیبدن و نیکل

Figure 6. Histogram, box and Q-Q plot diagram of Fe, Mn, Mo & Ni



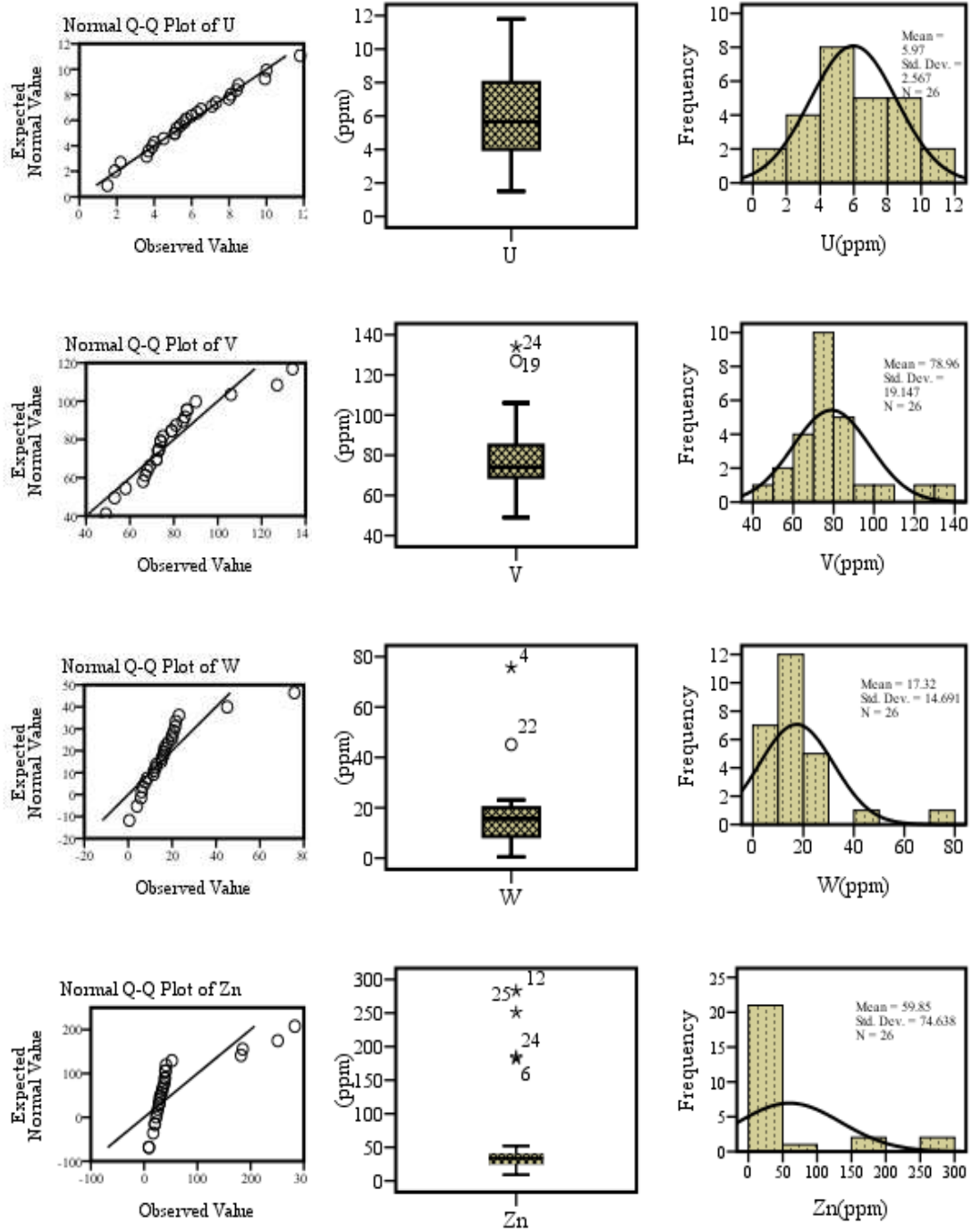
شکل ۷- نمودار ستونی، جعبه ای و Q-Q Plot سرب، گوگرد، آنتیموان و اسکاندیم

Figure 7. Histogram, box and Q-Q Plot diagram of Pb, S, Sb & Sc



شکل ۸- نمودار ستونی، جعبه ای و Q-Q Plot قلع، تلوریم، تیتانیوم و تالیم

Figure 8. Histogram, box and Q-Q Plot diagram of Sn, Te, Ti & Tl



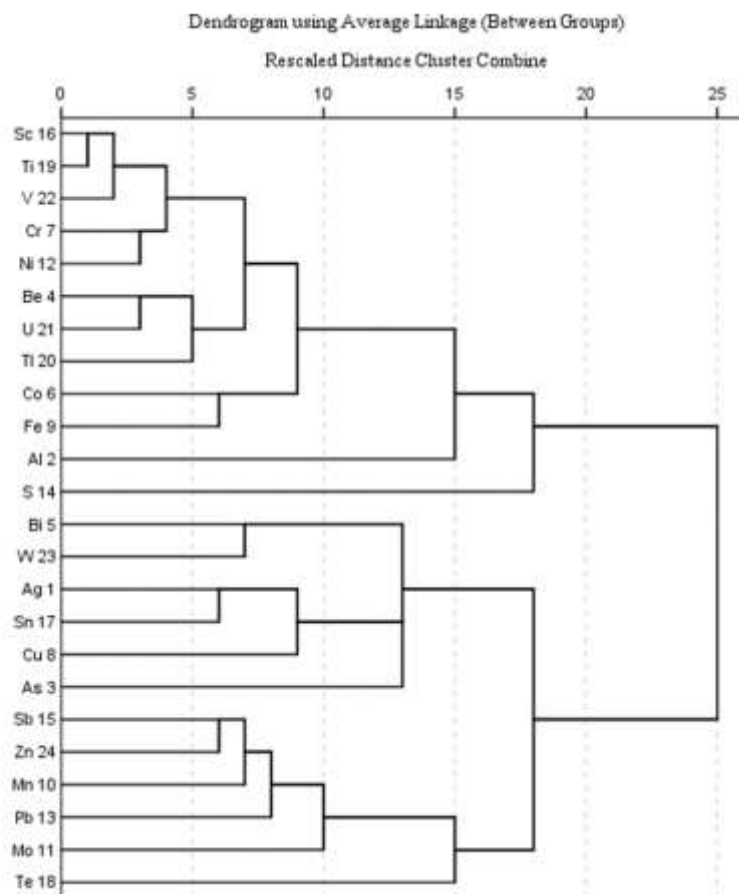
شکل ۹- نمودار ستونی، جعبه ای و Q-Q Plot اورانیم، وانادیم، تنگستن و روی

Figure 9. Histogram, box and Q-Q plot diagram of U, V, W and Zn

جدول ۲- ضریب همبستگی پیرسون بین عناصر در سنگ‌های توده‌ی نفوذی معدن مس سونگون

Table 2. Pearson's correlation coefficient between elements in the intrusive mass rocks of Soungoun copper mine

	Ag	Al	As	Be	Bi	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Pb	S	Sb	Se	Sn	Te	Ti	Tl	U	V	W	Zn	
Ag	1																								
Al	-0.49	1																							
As	0.55	-0.06	1																						
Be	-0.39	0.56	-0.28	1																					
Bi	0.48	-0.25	0.45	-0.01	1																				
Co	-0.22	0.18	-0.28	0.31	0.07	1																			
Cr	-0.15	0.30	0.14	0.36	0.26	-0.01	1																		
Cu	0.47	-0.33	0.50	-0.44	0.19	-0.18	0.02	1																	
Fe	-0.09	0.09	0.06	0.24	0.41	0.31	0.23	0.09	1																
Mn	-0.30	0.14	-0.18	-0.17	0.29	0.54	-0.15	-0.21	0.21	1															
Mo	-0.19	-0.08	-0.13	-0.22	-0.19	-0.13	-0.27	0.34	-0.04	-0.13	1														
Ni	-0.35	0.28	-0.12	0.39	0.02	0.54	0.67	0.02	0.51	-0.08	0.01	1													
Pb	0.24	-0.01	0.04	-0.14	0.22	0.01	-0.21	-0.05	0.14	-0.14	0.01	-0.08	1												
S	0.13	-0.02	0.31	0.42	0.54	0.26	0.43	0.33	0.57	-0.26	0.40	-0.19	0.01	1											
Sb	0.25	0.17	0.55	0.06	0.02	-0.11	-0.03	0.40	0.01	-0.07	-0.07	-0.06	0.18	0.01	1										
Se	-0.27	0.23	-0.17	-0.09	0.19	0.30	0.30	0.05	0.17	0.48	-0.24	0.29	-0.37	-0.01	0.01	1									
Sn	0.61	-0.34	0.59	-0.24	0.62	-0.24	0.09	0.38	0.22	-0.42	0.01	-0.37	0.34	0.02	0.18	-0.29	1								
Te	-0.11	0.38	-0.16	0.15	-0.07	-0.02	0.07	-0.03	0.07	-0.31	0.01	-0.31	-0.32	0.02	0.32	-0.20	0.01	1							
Ti	-0.39	0.43	-0.21	0.09	-0.33	0.07	0.48	-0.12	0.40	-0.28	0.38	0.42	-0.41	-0.06	0.78	-0.43	0.41	0.01	1						
Tl	0.25	0.22	-0.07	0.40	0.05	-0.01	0.17	-0.25	-0.13	-0.29	-0.06	-0.28	0.17	0.02	0.17	-0.41	0.20	-0.01	-0.11	1					
U	-0.41	0.51	-0.21	0.33	-0.07	0.42	0.14	-0.25	0.28	-0.08	0.07	0.28	0.46	-0.03	-0.29	-0.28	0.01	-0.10	-0.16	0.30	1				
V	-0.07	0.22	0.13	-0.07	-0.01	-0.06	0.58	0.22	0.05	0.19	-0.37	0.39	-0.17	0.12	0.78	0.01	0.24	0.10	-0.16	0.81	0.01	1			
W	-0.01	-0.22	-0.12	0.30	0.27	-0.01	-0.27	-0.30	-0.23	-0.25	0.01	-0.43	0.11	-0.15	-0.15	-0.35	0.17	-0.39	-0.49	0.01	0.09	-0.48	0.01	1	
Zn	0.01	0.25	0.42	-0.09	-0.12	0.33	-0.09	0.18	0.29	0.59	-0.14	0.31	0.28	-0.10	0.64	0.41	-0.17	0.08	0.33	-0.38	-0.03	0.37	-0.31	0.01	1



شکل ۱۰- نمودار آنالیز خوشه‌ای عناصر در سنگ‌های توده‌ی نفوذی معدن مس سونگون

Figure 10. Cluster analysis diagram of elements in the intrusive mass rocks of Soungoun copper mine

نتیجه‌گیری

زیست‌محیطی زیادی را به دنبال خواهد داشت و با توجه به این که فعالیت‌های معدن‌کاری ممکن است سبب رهاسازی عناصر سنگین و سمی به چرخه‌های ژئوشیمیایی شوند، طراحی در امر استخراج مواد معدنی بسیار مهم بوده و باید با حساسیت و ارزیابی صحیح و دقیق زیست‌محیطی، انجام شود و هرگونه برنامه‌ریزی بدون طراحی صحیح، مسلماً هزینه‌های زیادی را در امر بهره‌برداری ایجاد خواهد کرد. بنابراین چنانچه سایت معدنی مورد بازسازی قرار نگیرد به زمین‌های آلوده تبدیل شده و این آلودگی سبب تغییرات فراوان در خواص فیزیکی‌وشیمیایی و pH خاک می‌شوند. مدیریت صحیح، کارآمد و پویای زیست‌محیطی، به‌طور مداوم باید در مورد فعالیت‌های معدن‌کاری، اعمال شود تا مبادا این فعالیت‌ها از مسیر توسعه‌ی پایدار و سالم، منحرف گردد.

در این پژوهش، اثرات زیست‌محیطی عناصر Ag, Al, As, Be ، $Bi, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, S, Sb, Sc, Sn$ ، Te, Ti, Tl, U, V, W, Zn در سنگ‌های توده‌ی نفوذی معدن مس سونگون مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج به دست آمده، حاکی از تمرکز بالای عناصر $Ag, As, Bi, Cu, Mo, Pb, S$ ، Sb, Sn, Te, Tl, U, W در سنگ‌های فوق می‌باشد. داده‌های آماری نمونه‌ها، نمودارهای ستونی، جعبه‌ای و $Q-Q$ Plot، آنالیز خوشه‌ای و نمودار لگاریتمی فاکتور غنی‌شدگی نیز افزودگی عناصر مذکور را در سنگ‌های توده‌ی نفوذی معدن مس سونگون، تأیید می‌کنند که در این میان، افزودگی زیاد Cu و Mo و هم‌چنین S و Te ، قابل توجه و تأمل است. هم‌بستگی این عناصر با همدیگر به‌ویژه Sc با Ti و V ، Cr با Ni ، Be با U ، Co با Fe ، Ag با Sn و Sb با Zn نیز مؤید رفتار ژئوشیمیایی مشابه آنهاست. از آنجائی که تخریب در چهره‌ی زمین، آلودگی‌های

specialized conference on environmental engineering.

6. Bodnar, R. J., 1995, Fluid inclusion evidence for magmatic source of metals in porphyry copper deposits. *Miner. Assoc. Canada, Short Course Series 23*, 139–152.
7. Hedenquist, J. W., Lowenstern, J. B., 1994, The role of magmas in the formation of hydrothermal ore deposits. *Nature* 370, 519–527.
8. Belkin, H. E., De Vivo, B., Lima, A., and Torok, K., 1996, Magmatic silicate/saline/sulphur rich/ CO₂ immiscibility and zirconium and REE enrichment from alkaline magma chamber margins evidence from Ponza island, Pontine archipelago, Italy. *Eur. J. Miner.* 8, 1401–1420.
9. De Vivo, B., Torok, K., Ayuso, R. A., Lima, A., and Lirer, L., 1995, Fluid inclusion evidence for magmatic silicate/saline/CO₂ immiscibility and geochemistry of alkaline xenoliths from Ventotene island, *Geochim. Cosmochim. Acta* 59, 2941–2953.
10. De Vivo, B., Lima, A., Kamenetsky, V. S., and Danyushevsky, L. V., 2006, Fluid and melt inclusions in the sub-volcanic environments from volcanic systems: Examples from the Neapolitan area and Pontine islands, In “Melt Inclusions in Plutonic Rocks” (J. D. Webster, ed.), pp. 211–237., Mineralogical Association of Canada Short Course 36, Montreal, Quebec.
11. Fedele, L., Tarzia, M., Belkin, H. E., De Vivo, B., Lima, A., and Lowenstern, J. B., 2006, Magmatic hydrothermal fluid interaction and mineralization in alkali-syenite nodules from the Breccia Museo pyroclastic deposit, Naples, In “Volcanism in the Campania Plain: Vesuvius, Campi Flegrei and

سپاسگزاری

از امور تحقیق و توسعه مجتمع مس سرچشمه و مجتمع مس سونگون به خاطر حمایت‌های مالی و فکری، ممنون و سپاسگزار هستیم.

References

1. Adami Ghamsari, Fatemeh, Hosseini, Farzaneh, Khanafari, Anita, 2015, Isolation of Lipolytic Bacteria from Environmental Resources for Biodegradation Polysorbates in Industrial Wastewater, *Bimonthly Journal of Sabzevar University of Medical Sciences*, Volume 22, Number 4.
2. Emami, Shermin, Khodadadi Darban, Ahmad, Jamshidi Zanjani, Ahmad, 2017, Investigating the removal of arsenic and cyanide from aqueous solutions using graphene nanocomposites, *Tarbiat Modares University, Technical and Engineering Faculty*.
3. Seyed Alipour, Seyedeh Fatemeh, Yousefi Kebria, Dariush, Dehestani, Mehdi, 2012, The use of cardboard factory waste in the production of lightweight concrete, *Babol Noshirvani University of Technology, Faculty of Civil Engineering*.
4. Fakhmanesh, Jafar & Naebi, Amir, 2016, Evaluation of effective factors on performance of phytoremediation of contaminated soils with heavy metals, *9th National Conference on Environmental Health*.
5. Shahsavaripour, Nahid, TaheriAzad, Leila, Shahsavaripour, Mahmoud, NazemRoaya, Samira, 2015, Investigation of environmental effects caused by the presence of some heavy elements on soil quality, the first

- Shahid Bahonar University of Kerman, 316 p.
18. Shahi, Ali, Aftabi, Alijan, Esmaeilzadeh, Esmat, mazaheri, nader, Sheikhfakhradini, Sara, 2012, Environmental impact assessment of heavy metals in the waste rocks of Soungoun mine, 31st meeting of earth sciences, Tehran, Iran.
 19. Khoi, N., Ghorbani, M., TajBakhsh, P., 1378, Copper deposits in Iran, publications of geological survey & exploration of Iran, 421 p.
 20. Calagari, A., A., 2004, Fluid inclusion studies in quartz veinlets in the porphyry copper deposit at Sungun, east-azarbaidjan, iran, Journal of Asian Earth Science, V.23, pp.179-189.
 21. Stocklin, J., Setudenia, A., 1991, Stratigraphic lexicon of Iran, Geological Survey of Iran, Report NO. 18, 376 p.
 22. Aghajari, Jhaleh, Abdolahi Sharif, Jafar, Nourizadeh, Hadi, 2012, Investigating the feasibility of changing the wastewater disposal method of Soungoun copper processing plant from the current system to the PPSM method, Urmia University, Technical and Engineering Faculty.
 23. Hoseinzadeh, MohammadReza, Alavi, SeyedGhafour, Moayed, Mohsen, 2013, Petrography and petrology of the porphyry mass of Songun copper deposit and post-mineralization dykes, with an attitude on accompanying skarn (North Varzaqan-East Azerbaijan), Petrology, 5(17), pp. 17-32.
 24. Aghazadeh, Azizeh, Moore, Farid, 2009, Biogeochemistry and origin of selenium, arsenic and mercury elements in the deposit and ecosystem of the Soungoun copper system, Ignimbrites'' (B. De Vivo, ed.). Developments in Volcanology, 9, pp. 125-161. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
 12. Tarzia, M., Lima, A., De Vivo, B., and Belkin, H. E., 1999, Uranium, zirconium and rare earth element enrichment in alkali syenite nodules from the Breccia Museo deposit, Naples, Geol. Soc. Amer. Annual Meeting, Abstracts with Programs, Vol. 31, n. 7, p. A-69.
 13. Tarzia, M., De Vivo, B., Somma, R., Ayuso, R. A., McGill, R. A. R., & Parrish, R. R., 2002, Anthropogenic vs. natural pollution: An environmental study of an industrial site under remediation, Geochem. Explor. Environ. Anal. 2, 45-56.
 14. Nelson L. Nemerow, Franklin J. Agardy, Patrick Sullivan, and Joseph A. Salvato, 2009, Environmental Engineering: Prevention and Response to Water-, Food-, Soil-, And Air-Borne Disease and Illness, Sixth Edition Edited by Copyright © 2009 by John Wiley & Sons, Inc. ISBN: 978-0-470-08304-8.
 15. Benedetto De Vivo, Harvey E. Belkin, Annamaria Lima, 2008, Environmental Geochemistry, Site Characterization, Data Analysis and Case Histories, 429 p.
 16. Marci Bortman, Peter Brimblecombe, Mary Ann Cunningham, William P. Cunningham, & William Freedman, 2003, Environmental Encyclopedia, Third Edition, 1641 p.
 17. Shahi, Ali, Aftabi, Alijan, 2013, Investigation on the toxic and heavy elements in waste rocks at Soungoun porphyry copper mine, Master's thesis,

- copper grade in Sungun ore deposit by use of statistical based methods, The 10th National Conference of the Economic Geology Association of Iran.
32. Stocklin J, Setudehnia A, 1972, Lexique Stratigraphique International Volume III, ASIE centnational de la Recherche scientifique. 15 quai Anodle-France 75 (Paris-VII). Geological Survey of Iran, Report no. 18, second edition, 376 pp.
33. Faridi, Ebrahim, ValizadehKamran, Khalil, Rezvani, Mohammad, 2017, Ecological land capability evaluation of Arasbaran protected area using Boolean multi-criteria evaluation method and weighted linear combination techniques in Geographic Information System, Environmental Science and Technology Quarterly, 20(3), pp. 127-141.
34. Mehrpartou, M., 1993, Contributions to the geology, geochemistry, ore genesis and fluid inclusion investigation on Soungoun Cu – Mo porphyry deposit, North-west of Iran, Doctoral thesis, Hamburg University, 245 p.
35. Mehrpartou, M., 1996, Geological map of varzaghan (1:100000). Geol. Surv. Of Iran, World Metal statistics, 1996-published by Bureau of Metal statistics, USA.
36. Levinson, A.A., 1980, Introduction to exploration geochemistry, Second Edition, Applied Publishing Company Ltd., 924 p.
- Master's thesis, Shiraz University, 248 pages.
25. Rahimi, Erfan, 2016, Investigation of mining process in Soungoun copper mine, National Conference of Engineering Sciences.
26. Asghari, O., Hezarkhani, A., Soltani, F., 2009, The comparison of alteration zones in the Soungoun porphyry copper deposit, Iran (based on fluid inclusion studies), Acta Geologica Polonica, V. 59, pp. 93 – 109.
27. Mehrpartou, M., AminiFazl, A., Radfar, J., 1992, Geological map of one hundred thousand sheet of Varzaqan along with report, number 5367, Geological survey & exploration of Iran.
28. Hezarkhani, A., 2006, Petrology of the intrusive rocks within the Soungoun Porphyry Copper Deposit, Azerbaijan, Iran, Journal of Asian Earth Sciences, V. 28, pp. 409 – 422.
29. Tabatabai-Rezaei, M.D., Aftabi, A., 2001, geochemical investigation on the exploratory significance of lithochemical halos in Soungoun porphyry (copper-molybdenum)-skarn (copper-silver-gold) mine, Ahar, Azerbaijan, Master's thesis in Economic Geology, Shahid Bahonar University, Kerman, 400 p.
30. EsmailNejad, A., Delshad, M., 2006, Analysis of geochemical data of Soungoun porphyry copper deposit, 5th Mining Engineering Student Conference, Isfahan University of Technology, Iran.
31. Daya, AliAkbar, 2018, Geological studies, modeling and estimation of