

ارزیابی زیست محیطی آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های منطقه شوراب (جنوب کاشمر - خراسان رضوی)

نقیسه ابراهیمی کارگر شیرازی^۱

سعید سعادت^{۲*}

Saeed.saadat@colorado.edu

محمد جوانبخت^۳

تاریخ پذیرش: ۹۷/۹/۱۴

تاریخ دریافت: ۹۷/۱/۱۹

چکیده

زمینه و هدف: در منطقه شوراب واقع در جنوب کاشمر نشانه‌هایی از ذخایر معدنی جیوه، سرب، آهن و مس گزارش شده که می‌تواند زمینه‌ساز آلودگی زیست‌محیطی باشد. هدف این تحقیق بررسی نحوه توزیع فلزات سنگین و ارزیابی فاکتورهای زمین‌انباشت و آلودگی برای این عناصر در رسوبات رودخانه‌ای منطقه شوراب کاشمر است.

روش بررسی: پس از انجام مطالعات کتابخانه‌ای و پردازش تصاویر ماهواره‌ای، بررسی‌های زمین‌شناسی انجام گرفت و نهایتاً ۲۱ نمونه از رسوبات رودخانه‌ای منطقه برداشت گردید. پس از تعیین بافت خاک و پارامترهای شوری، pH، EC، ۱۴ نمونه برای بررسی غلظت فلزات سنگین توسط دستگاه ICP-OS در آزمایشگاه زرآما آزمایش شد. نتایج به‌دست آمده توسط نرم‌افزارهای SPSS, Excel, GIS پردازش و مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: به استثنای عناصر نقره، مس، کادمیوم، کبالت، کروم و نیکل که تا حدی آلودگی نشان می‌دهند، بقیه عناصر در منطقه به‌طور جدی نقش آلوده‌کننده‌ای ندارند. میزان pH از ۷/۵ تا ۸/۲ و میزان EC از ۳ تا ۵ $\mu\text{s}/\text{cm}$ و شوری ۱۵۰ تا ۲۵۰۰ متناسب با هدایت الکتریکی متغیر است.

بحث و نتیجه‌گیری: الگوی پراکندگی عناصر نیکل و کبالت و تا حدودی کروم در رسوبات رودخانه‌ای منطقه انطباق معینی با یکدیگر نشان می‌دهند. این امر می‌تواند با ترکیب سنگ‌شناسی بالادست آبراهه‌ها که عمدتاً سنگ‌های ولکانیکی آندزیتی هستند، مرتبط باشد. عناصر سرب و روی عمدتاً در آبراهه‌ها و رسوبات بخش‌های شمالی و شرقی منطقه و عناصر آرسنیک و آنتیموان نیز در رسوبات شمال و شمال غربی تمرکز بیشتری نشان می‌دهند. این امر ممکن است مرتبط با کانی‌سازی‌های این نواحی باشد که تاکنون مورد توجه قرار نگرفته است.

واژه‌های کلیدی: فلزات سنگین، شاخص زمین‌انباشت، فاکتور آلودگی، منطقه شوراب، کاشمر.

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی و مهندسی نفت، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

۲- دانشیار، گروه زمین‌شناسی و مهندسی نفت، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران* (مسئول مکاتبات)

۳- استادیار، گروه زمین‌شناسی و مهندسی نفت، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

An Environmental Evaluation of Heavy Metals' Soil Contamination of Shourab Region (South Kashmar – Khorasan Razavi)

Nafiseh Ebrahimi Kargarshirazy¹

Saeed Saadat² *

Saeed.saadat@colorado.edu

Mohammad Javanbakht³

Admission Date: December 5, 2018

Date Received: April 8, 2018

Abstract

Background and Objective: The purpose of this research is to investigate the distribution of heavy metals and evaluating geo-accumulation and contamination factors on these elements in the stream sediments of Shourab Kashmar area. There are indications of some elements such as Mercury, Lead, Iron, and Copper that might be the cause for environmental pollution in this area.

Method: After processing of satellite images and performing geological studies, 21 samples of stream sediments were gathered. By determining the salinity, pH, and EC parameters as well as the soil texture of samples, 14 samples were tested in order to study the concentration of heavy metals with the ICP-OS systems in the ZarAzma Laboratory. The collected results were processed and studied using GIS, SPSS, and Excel software.

Findings: With the exception of the Silver, Copper, Cadmium, Cobalt, Chromium, and Nickel elements which show some level of contamination, there is no evidence of environmental pollution, in the stream sediments in this area. The amount of pH from 7.5 to 8.2 and EC from 0.3 $\mu\text{s}/\text{cm}$ to 5 $\mu\text{s}/\text{cm}$ and salinity from 150 to 2500 are varying.

Discussion and Conclusion: There is a similarity between the distribution of the Nickel, Cobalt, and to some degrees, Chromium in the stream sediments of the study area. This can be related to the volcanic rocks which are mainly intermediate in composition. The Lead and Zinc are mainly concentrated on the north and some towards east of the area, and the Arsenic and Antimony elements in the north and north-west of the study area. The origin of these elements could be connected to mineralization in this area, which has not been focused on so far.

Key words: Heavy Metals, Index of Geoaccumulation, Contamination Factor, Shourab, Kashmar.

1- Graduated Master, Department of Geology and Petroleum Engineering, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran

2- Associate Professor, Department of Geology and Petroleum Engineering, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran *(Corresponding Authors)

3- Assistant Professor, Department of Geology and Petroleum Engineering, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran

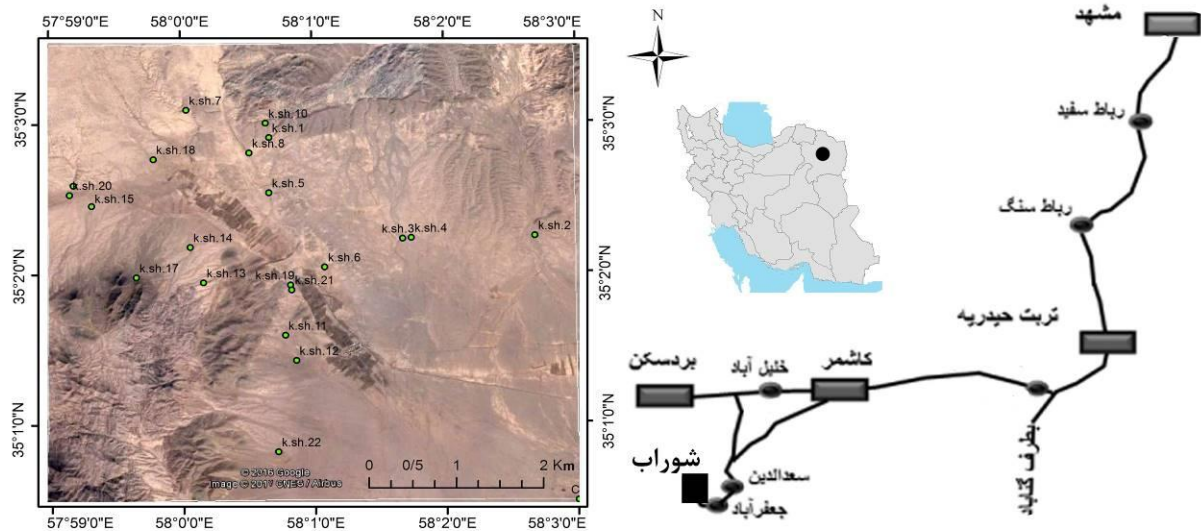
مقدمه

و بردسکن (۵) در استان خراسان رضوی قرار گرفته است (شکل ۱). این منطقه دارای توپوگرافی نسبتاً ملایم است و واحدهای سنگی نظیر ماسه‌سنگ، سیلتستون و اسلیت بخش عمده منطقه را در اشغال خود دارند. در بخش‌هایی از منطقه شواهدی از آغستگی شدید به اکسید آهن و گاه آلتراسیون کلریتی دیده می‌شود. همچنین معادن آهن و مس در حوالی این منطقه دارای فعالیت هستند.

به دلیل وجود سکونتگاه‌ها و مکان‌های مذهبی در منطقه و همچنین فعالیت‌های کشاورزی و دامداری، بررسی‌های زیست محیطی جهت آشکارسازی آلودگی‌های احتمالی در این منطقه امری ضروری است. با درک چنین ضرورتی، در این تحقیق ارزیابی غلظت فلزات سنگین و محاسبه شاخص‌های آلودگی نظیر زمین انباشت و فاکتور آلودگی در رسوبات محدوده مورد مطالعه انجام یافته است.

منطقه کاشمر به دلیل جایگاه ویژه زمین‌شناسی و متالوژنی دارای زمینه‌های لازم برای تمرکز عناصر خاصی است که بعضاً به لحاظ زیست محیطی مشکل آفرین هستند. این امر سبب گردیده که محققان مختلف، نواحی متفاوت این شهرستان به ویژه بخش‌های شمالی را به لحاظ آلودگی‌های منابع آب و خاک مورد توجه قرار دهند (برای مثال ۱-۳). در منطقه شوراب (جنوب کاشمر) که در این تحقیق مورد مطالعه قرار گرفته نیز آثار کانی‌زایی جیوه، آرسنیک، آهن، مس و سرب گزارش شده است (۴-۷). بنابراین زمینه آلودگی‌های زیست محیطی بر اثر فرایندهای کانی‌سازی و معدن‌کاری وجود دارد. لذا انجام مطالعات زیست محیطی در این منطقه در دستور کار قرار گرفت.

منطقه شوراب با مساحتی حدود ۲۵ کیلومتر مربع، بین طول-های شرقی $57^{\circ}59'$ تا $58^{\circ}03'$ و عرض‌های شمالی $35^{\circ}00'$ تا $35^{\circ}30''$ در نقشه‌های زمین-شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کاشمر (۴)



شکل ۱- نقشه راه و تصویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه و محل نقاط نمونه‌برداری

Figure 1. Road map and satellite image of the study area and sampling locations

مواد و روش ها

پس از انجام مطالعات کتابخانه‌ای و پردازش تصاویر ماهواره‌ای، بررسی‌های زمین‌شناسی انجام و محل‌های نمونه‌برداری بر روی نقشه مشخص گردید (شکل ۱). سپس طی عملیات صحرائی در تابستان ۱۳۹۶ از ۲۱ ایستگاه نمونه برداری صورت گرفت. پس از خشک شدن و تقسیم بندی نمونه‌ها، برای تعیین مشخصات فیزیکوشیمیایی، ابتدا عصاره اشباع ۱:۲ تهیه و پس از عبور از فیلتر، میزان شوری، هدایت الکتریکی و pH اندازه‌گیری شد. نهایتاً ۱۴ نمونه برای بررسی غلظت فلزات سنگین توسط دستگاه ICP-OS به آزمایشگاه شرکت مطالعات مواد معدنی زرآرما ارسال شد. نتایج به‌دست آمده برای محاسبه و ارزیابی شاخص‌های آلودگی و تهیه نقشه‌های پراکنده‌گی سطحی عناصر مورد استفاده، توسط نرم‌افزارهای SPSS, Excel, GIS پردازش و مورد بررسی قرار گرفت. در بررسی‌های انجام شده، به منظور بررسی شاخص آلودگی از میانگین شیل جهانی (۸) استفاده شده است. علاوه بر میانگین شیل جهانی، میانگین غلظت عناصر در رسوبات رودخانه‌ای ورقه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کاشمر و بردسکن (۱۰) و میانگین استاندارد خاک

(۹) بر اساس داده‌های موجود ارائه شده است. بافت خاک نیز بر

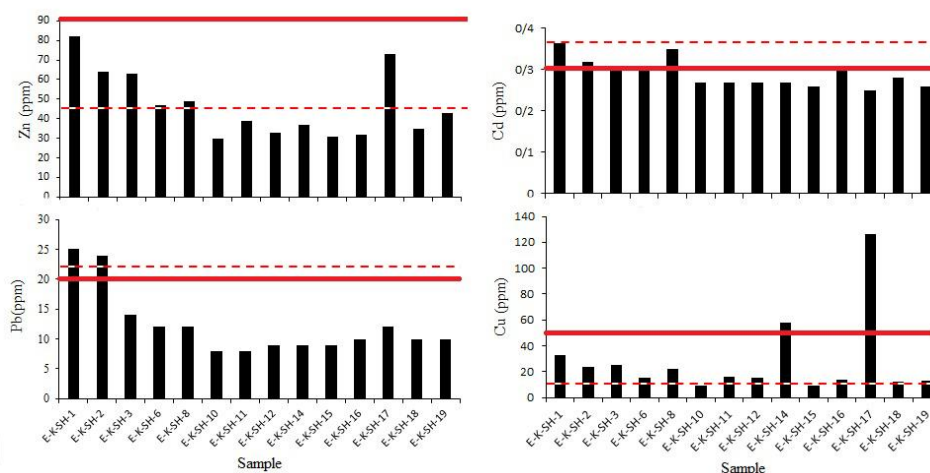
اساس میزان رس، سیلت و ماسه (۱۱) مشخص گردید.

نتایج و بحث

۱- پراکنده‌گی عناصر

بر اساس نتایج به‌دست آمده عنصر روی در رسوبات منطقه مورد مطالعه در مقایسه با میانگین استاندارد خاک (۹) در تعدادی از نمونه‌ها از حد متوسط فراوانی (۴۵ ppm) بالاتر است (شکل ۲). لیکن عنصر کادمیم در بیشتر نقاط پایین‌تر و یا نزدیک به میانگین استاندارد خاک (۰/۳۷ ppm) است. در مورد عنصر سرب نیز حداقل دو ایستگاه حاوی مقادیری بیش‌تر از میانگین استاندارد خاک (۲۲ ppm) می‌باشد. غلظت عنصر مس نیز در بیشتر نمونه‌ها از غلظت استاندارد رسوب و خاک (۱۳ ppm) بالاتر است (شکل ۲).

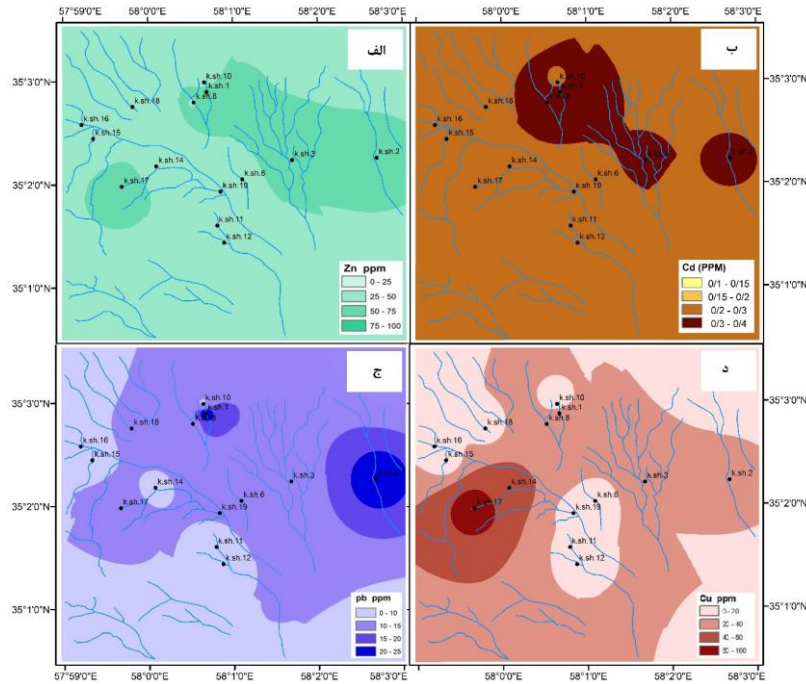
نقشه پراکنده‌گی سطحی عناصر سرب، روی، مس و کادمیم در محدوده مورد مطالعه در شکل ۳ نشان داده شده است. به جز مس، بیشترین حضور این عناصر در بخش‌های شرقی و شمالی منطقه دیده می‌شود.



شکل ۲- مقایسه غلظت عناصر روی، کادمیوم، سرب و مس در مقایسه با شیل جهانی (خط ممتد) و استاندارد جهانی خاک

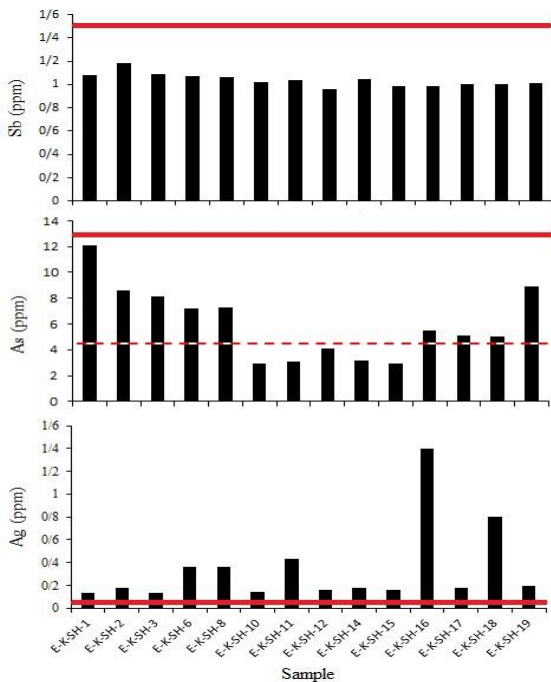
(خط چین)

Figure 2. Comparison of Zinc, Cadmium, Lead and Copper concentration with global shale (Continuous line) and the global soil standard (dashed line)



شکل ۳- نقشه پراکندگی عناصر روی، کادمیوم، سرب و مس در منطقه

Figure 3. Distribution map of Zinc, Cadmium, Lead, and Copper in the area

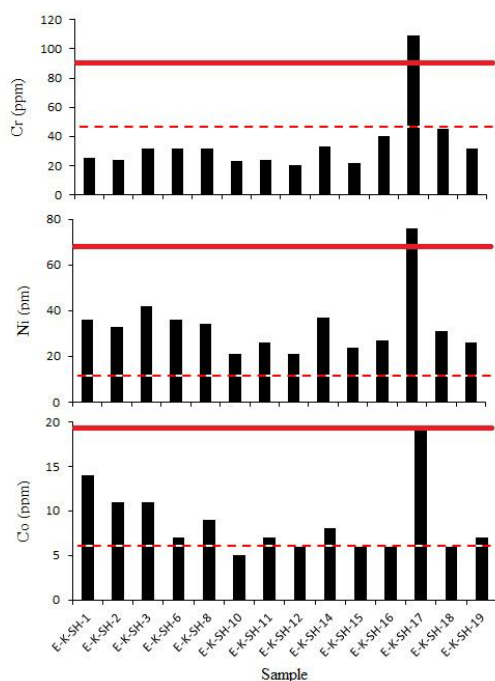


شکل ۴- مقایسه غلظت عناصر آنتیموان، آرسنیک، نقره در مقایسه با شیل جهانی (خط ممتد). خط چین استاندارد جهانی خاک را نشان می‌دهد.

Figure 4. Comparison of Antimony, Arsenic, and Silver concentration with global shale (Continuous line). Dashed line shows the global soil standard.

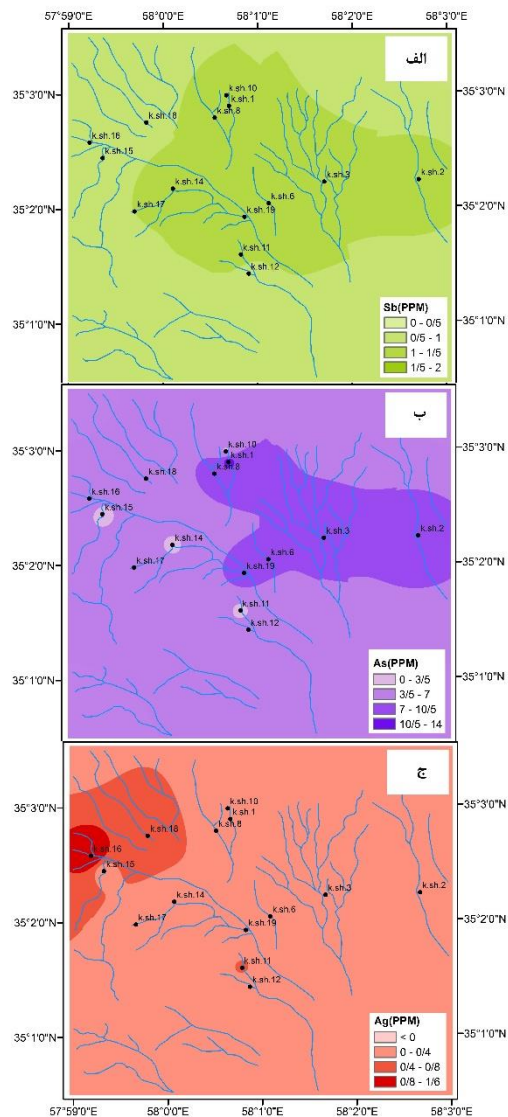
میانگین غلظت آرسنیک در خاک استاندارد ۴/۴ ppm (۹) و غلظت آنتیموان در خاک‌های سطحی حداکثر ۴ ppm (۱۲) گزارش شده است. آرسنیک باعث مسمومیت حاد و مزمن کلیه و کبد و موجب آسیب و کاهش هموگلوبین خون می‌شود و ممکن است موجب سرطان گردد (۱۳). آنتیموان می‌تواند موجب کاهش طول عمر شده و سطح گلوکز و کلسترول خون را در دراز مدت تغییر دهد (۱۳). مقادیر بالای نقره نیز اثرات منفی برای پوست، مشکلات تنفسی، التهاب ریه و گلو و درد معده را به همراه دارد (۱۳، ۱۵). بر اساس نتایج به‌دست آمده عنصر آرسنیک در رسوبات رودخانه‌ای این منطقه در مقایسه با میانگین استاندارد خاک (۹) در اغلب نمونه‌ها از حد متوسط فراوانی (۴/۴ ppm) بالاتر است (شکل ۴). میزان آنتیموان و نقره در رسوبات منطقه بیانگر مقادیر کمتر این عناصر در مقایسه با شیل جهانی است. توزیع این عناصر بیشتر در بخش‌های میانی و شمالی منطقه است که می‌تواند در ارتباط با کانی‌سازی‌های احتمالی و پنهان در این مناطق باشد (شکل ۵).

در مورد نیکل نیز بیماری‌های آلرژیک پوستی مانند خارش، سرطان‌های ریه، بینی، سینوس‌ها و گلو در صورت استنشاق مداوم، همچنین تاثیر بر باروری و ریزش مو گزارش شده است (۱۳، ۱۵). میزان عناصر کروم، نیکل و کبالت در رسوبات رودخانه‌ای منطقه مورد مطالعه همراه با میزان متوسط این عناصر در خاک استاندارد و شیل جهانی، در شکل ۶ ارایه گردیده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده، غلظت عناصر کبالت و نیکل در اکثر نمونه‌ها بیشتر از میانگین غلظت استاندارد جهانی خاک می‌باشد. نقشه پراکندگی سطحی عناصر کروم، نیکل و کبالت در محدوده انطباق معینی با یکدیگر نشان می‌دهند (شکل ۷). این امر می‌تواند با ترکیب سنگ‌شناسی بالا دست آبراهه‌ها که عمدتاً سنگ‌های ولکانیکی دارای ترکیب آندزیتی هستند مرتبط باشد.



شکل ۶- مقایسه غلظت عناصر کروم، نیکل، کبالت در مقایسه با شیل جهانی (خط ممتد) و استاندارد جهانی خاک (خط چین)

Figure 6. Comparison of Chromium, Nickel, and Cobalt concentration with global shale (Continuous line) and the global soil standard (dashed line)



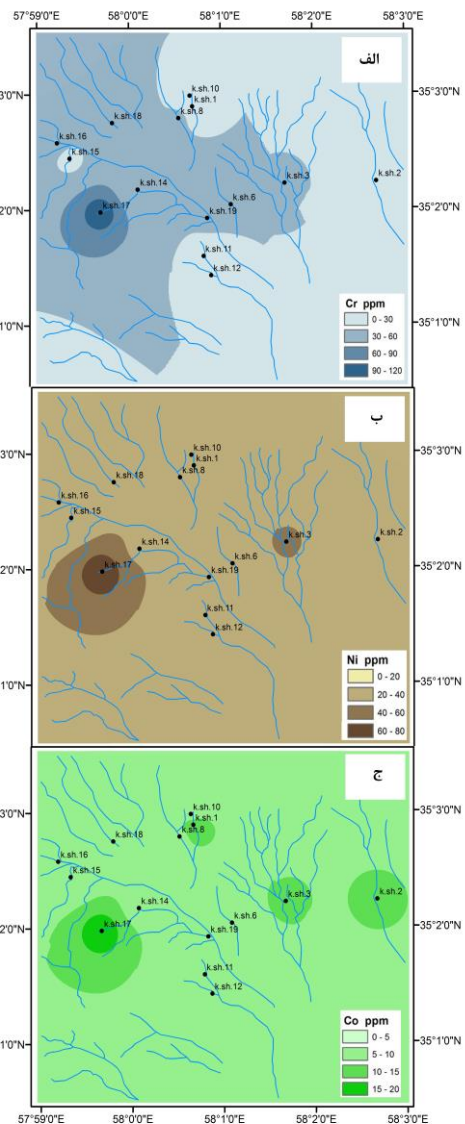
شکل ۵- نقشه پراکندگی عناصر آنتیموان، آرسنیک و نقره در منطقه

Figure 5. Distribution map of Antimony, Arsenic, and Silver in the area

میانگین غلظت کروم ۸۴ ppm، نیکل حداکثر ۴۰ ppm و کبالت ۷۰ ppm در خاک‌ها برآورد شده است (۱۲، ۱۶). در خاک استاندارد میانگین غلظت کروم ۴۷ ppm، نیکل ۱۳ ppm و کبالت ۵/۵ ppm گزارش شده است (۹). آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان (IARC)، کروم شش ظرفیتی را در گروه اول سرطان‌زاهای انسانی و کبالت و ترکیبات آن را در گروه B۲ یعنی عنصری که ممکن است برای انسان سرطان‌زا باشند طبقه‌بندی کرده است (۱۶).

مقادیر کمی مواد آلی (هوموس) دارند و کسر رسی خاک (ذرات کوچکتر از ۲ میکرون) نیز ناچیز است. لذا پارامترهای اصلی حاکم بر جذب و واجذب عناصر نادر در خاک را می‌توان شامل مقادیر pH و EC، اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن، منگنز و آلومینیوم دانست (۱۲). بر اساس نتایج به دست آمده، pH نمونه‌ها بین ۷/۵ تا ۸/۲۳، میزان EC از ۳ تا ۵ $\mu\text{s}/\text{cm}$ و شوری بین ۱۵۰ تا ۲۵۰۰ متناسب با هدایت الکتریکی متغیر است (جدول ۱). همان‌گونه که در شکل ۹ ارائه گردیده، پارامتر pH هیچ‌گونه همبستگی آشکار و معنی‌داری با عناصر مورد بررسی نشان نمی‌دهد. این موضوع می‌تواند ناشی از تغییرات کم این پارامتر در ناحیه مورد مطالعه باشد. به‌طور کلی در خاک‌هایی با pH قلیایی مشابه خاک‌های این منطقه، عناصری نظیر پتاسیم، کلسیم و منیزیم بیشتر در دسترس هستند، لیکن قابلیت دسترسی این عناصر با افزایش اسیدیته خاک کاهش می‌یابد، زیرا ظرفیت تبادل کاتیونی (CFC) کاهش پیدا می‌کند. متقابلاً آهن، منگنز، مس و روی در شرایط اسیدی خاک به-خاطر افزایش حلالیت، امکان دسترسی زیستی بیشتر خواهند داشت (۱۷).

هدایت الکتریکی (EC) شاخص خوبی برای مجموع نمک‌های محلول خاک بوده و علت آن وجود کربنات کلسیم، سولفات کلسیم و املاح شور و سدیمی است. این پارامتر رابطه مستقیمی با میزان شوری خاک دارد. در منطقه مورد مطالعه پارامتر EC و شوری با کادمیوم و آرسنیک رابطه معنی‌دار مثبت نشان می‌دهند. ضمن آن‌که این دو عنصر با یکدیگر نیز همبستگی مثبت دارند که می‌تواند حاکی از وجود یک منشأ مشترک برای این دو عنصر باشد. همبستگی مثبت آرسنیک با آهن و منگنز می‌تواند حاکی از نقش هیدروکسیدهای آهن و منگنز در جذب آرسنیک باشد. افزون بر این سرب ضمن همبستگی با روی، با آرسنیک، کادمیوم، آهن و منگنز نیز همبستگی قوی نشان می‌دهد (شکل ۹). در این بررسی، نیکل با کبالت، کروم، مس و آهن و عنصر وانادیم با کبالت، کروم، مس و نیکل ارتباط معنی‌دار نشان می‌دهند (شکل ۹). همان‌گونه که در بخش‌های قبلی اشاره گردید، نحوه توزیع این عناصر



شکل ۷- نقشه پراکندگی عناصر کروم، نیکل و کبالت در منطقه

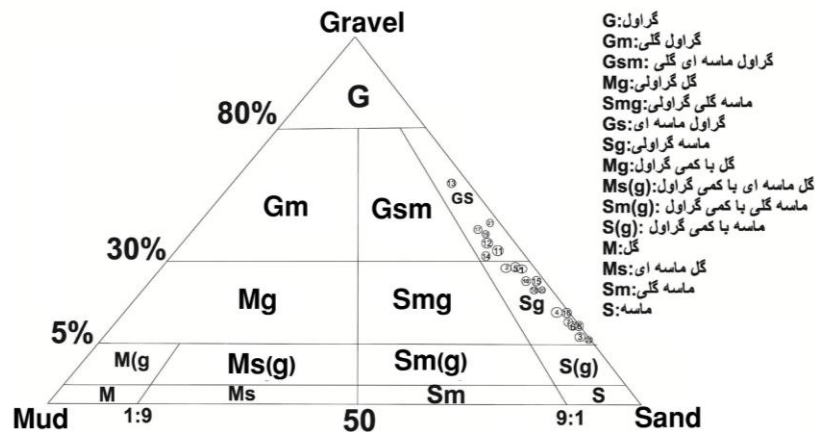
Figure 7. Distribution map of Chromium, Nickel, and Cobalt in the area

۲- بررسی رابطه پارامترهای شیمیایی خاک با عناصر

برخی متغیرهای خاک نظیر بافت خاک، pH، پتانسیل اکسایش و کاهش، ترکیب کانی شناسی، دما و رژیم آب میزان انحلال عناصر و دسترسی زیستی آنها را کنترل می‌کند (۹). معمولاً پایین‌ترین تمرکز عناصر در خاک‌های ماسه‌ای و بیشترین آن در خاک‌های لومی است. بافت خاک نمونه‌های محدوده شوراب اکثراً ماسه گراولی و در بعضی از نقاط گراول ماسه‌ای می‌باشد (شکل ۸). بر اساس این طبقه بندی خاک‌های مورد مطالعه

کانی‌سازی‌های موجود در بالادست نقاط نمونه برداری است.

به‌طور عمده تحت تاثیر ویژگی‌های سنگ‌شناسی سنگ مادر و



شکل ۸- مثلث طبقه‌بندی رسوبات و سنگ‌های آواری رسوبات دانه درشت (۱۱)

Figure 8. Classified triangle of sediments and clastic large coarse sedimentary rocks (11)

جدول ۱- مقادیر شوری، pH و EC در نمونه‌های منطقه مورد مطالعه

Table 1. Salinity, pH and EC in the samples of the study area

Sampl	pH	EC	Salinity	Sampl	pH	EC	Salinity	Sampl	pH	EC	Salinit
Ksh1	۷/۹۴	۳/۶۴	۱۸۷۳	Ksh8	۸/۰۱	۳/۵۱	۱۷۲۴	Ksh16	۷/۸۳	۱/۶۳	۸۵۰
Ksh2	۷/۸۷	۱/۰۱	۵۲۶	Ksh10	۷/۷۸	۰/۵۱	۲۴۶	Ksh17	۷/۹۹	۰/۵۰	۲۴۵
Ksh3	۷/۶۶	۰/۹۲	۴۷۴	Ksh11	۷/۶۷	۱/۹۸	۱۰۲۱	Ksh18	۷/۶۰	۱/۷۷	۹۱۵
Ksh4	۷/۶۱	۴/۹۶	۲۵۶۶	Ksh12	۷/۸۳	۰/۵۳	۲۷۴	Ksh19	۷/۵۰	۲/۰۴	۱۰۵۰
Ksh5	۷/۸۳	۳/۸۱	۱۹۷۱	Ksh13	۷/۹۰	۰/۴۴	۲۳۶	Ksh20	۸/۱۳	۰/۵۱	۲۵۲
Ksh6	۷/۸۲	۳/۸۸	۲۰۰۸	Ksh14	۸/۱۸	۰/۲۹	۱۵۵	Ksh21	۸/۲۳	۰/۴۵	۲۱۸
Ksh7	۷/۶۹	۳/۸۳	۱۹۷۱	Ksh15	۸/۰۹	۰/۴۳	۲۱۸	Ksh22	۷/۷۴	۱/۱۵	۵۷۷

Ag	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	V	Zn	PH	EC	Salinity	
Ag	1																
As	-0.127	1															
Cd	0.040	.741**	1														
Co	-0.325	0.448	0.241	1													
Cr	0.093	-0.059	-0.302	.694**	1												
Cu	-0.226	-0.022	-0.200	.831**	.873**	1											
Fe	-0.330	.666**	.578**	.912**	0.384	.573*	1										
Mn	-0.270	.715**	.748**	.790**	0.266	0.431	.942**	1									
Mo	0.171	0.410	0.491	0.326	0.330	0.154	0.367	0.499	1								
Ni	-0.169	0.170	-0.038	.887**	.896**	.926**	.667**	.562*	0.291	1							
Pb	-0.232	.806**	.736**	.562*	-0.070	0.105	.815**	.824**	0.196	0.217	1						
Sb	-0.291	.555*	.600*	0.318	-0.225	-0.021	.545*	.563*	0.046	0.124	.750**	1					
V	-0.014	0.090	-0.213	.702**	.935**	.809**	0.409	0.310	0.344	.905**	-0.016	-0.082	1				
Zn	-0.368	.746**	.541*	.902**	0.381	.536*	.974**	.903**	0.332	.673**	.809**	.573*	0.469	1			
PH	-0.207	-0.201	0.138	0.277	0.129	0.423	0.260	0.360	-0.055	0.270	0.122	0.066	0.006	0.115	1		
EC	0.169	.619*	.673**	0.037	-0.169	-0.257	0.220	0.401	0.459	-0.060	0.337	0.268	0.036	0.301	-0.157	1	
Salinity	0.175	.623*	.667**	0.032	-0.174	-0.262	0.217	0.394	0.435	-0.065	0.342	0.270	0.032	0.301	-0.168	.999**	1

شکل ۹- ضرایب همبستگی پیرسون به‌دست آمده برای عناصر

Figure 9. Pearson correlation coefficient obtained for elements

۳- مطالعات و بررسی شاخص‌های آلودگی

۳-۱ ضریب غنی‌شدگی (EF):

بر اساس این ضریب، می‌توان مقدار یک عنصر در منطقه مورد مطالعه را نسبت به مقدار طبیعی و یا حد زمینه آن مقایسه کرد (۱۸). محاسبه این ضریب، روشی مناسب جهت تعیین منشأ طبیعی و بشرزاد آلودگی است (۱۹). این ضریب از رابطه زیر (۱۸) محاسبه گردیده است:

$$EF = \frac{\frac{C_{1Me} + n}{C_{1n}}}{\frac{C_{2Me} + n}{C_{2n}}}$$

در این رابطه، (EF) ضریب غنی‌شدگی، (C_{1Me+n}) غلظت فلز در محیط مورد بررسی (خاک)، (C_{1n}) غلظت فلز مبنا (Mo) در محیط مورد بررسی، (C_{2Me+n}) غلظت همان فلز در یک محیط مبنا (پوسته زمین) و (C_{2n}) غلظت فلز مبنا (Mo) در محیط مبنا است. میانگین Mo به عنوان فلز مبنا در پوسته زمین برابر با ۲/۶ ppm در نظر گرفته شده است (۲۰). طبقه بندی وجود یا نبود آلودگی بر اساس ضریب غنی‌شدگی در جدول ۲ ارائه گردیده است.

جدول ۲- طبقه‌بندی نمونه‌های مورد مطالعه بر اساس فاکتور غنی‌شدگی

Table 2. Classification of studied samples based on enrichment factor

عنصر	میانگین ضریب غنی‌شدگی	شدت غنی‌شدگی	عنصر	میانگین ضریب غنی‌شدگی	شدت غنی‌شدگی
Zn	۱/۲۴	اندک	As	۱/۱۴	اندک
Cd	۲/۵	اندک	Ag	۱۲/۱۳	شدید
Pb	۱/۵۵	اندک	Cr	۰/۹۶	بدون غنی‌شدگی
Cu	۱/۵۵	اندک	Ni	۱/۲۵	اندک
Sb	۱/۸۱	اندک	Co	۱/۱۵	اندک

مقادیر شاخص زمین انباشت محاسبه شده در جدول ۳ ارائه گردیده است.

۳-۳- فاکتور آلودگی (CF):

فاکتور آلودگی از تقسیم کردن غلظت عنصر در نمونه برداشت شده به غلظت همان عنصر در نمونه زمینه به دست می‌آید (۲۳). برای کمی‌کردن میزان آلودگی از این شاخص استفاده می‌شود:

$$CF = \frac{C_{Metal}}{C_{Background Value}}$$

که در آن CF: فاکتور آلودگی، C Metal: غلظت فلز در نمونه، C Background Value: غلظت عنصر در نمونه زمینه است. مقادیر طبقه بندی فاکتور آلودگی برای رسوبات غیرآلوده

۳-۲ شاخص زمین انباشت (Igeo):

با استفاده از شاخص زمین انباشت که توسط مولر (۲۱) پیشنهاد شده، می‌توان شدت آلودگی را مشخص کرد. این شاخص با علامت Igeo نشان داده شده و از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Igeo = \text{Log}_2[Cn/1.5Bn]$$

در این رابطه Igeo شاخص زمین انباشت، Cn غلظت عنصر مورد نظر در نمونه خاک، Bn غلظت عنصر مورد نظر در زمینه و ضریب ۱/۵ نیز برای حذف تغییرات احتمالی زمینه به علت تاثیرات زمین‌شناختی اعمال می‌شود. شاخص زمین انباشتگی هفت گروه دارد که بر اساس مقادیر آن، خاک‌ها از غیر آلوده تا به شدت آلوده طبقه‌بندی می‌شوند (۲۲). در محاسبه انجام شده از شیل جهانی (۸) به عنوان نمونه زمینه استفاده شده است.

تا به شدت آلوده در جدول ۳ ارائه گردیده است. در این پژوهش از میانگین شیل جهانی (۸) به عنوان نمونه زمینه استفاده گردیده است.

جدول ۳- مقادیر شاخص زمین انباشت بر اساس طبقه بندی (۲۱) و فاکتور آلودگی بر اساس طبقه بندی (۲۳).

Table 3. Geoaccumulation and contamination factors with respect to (21) and (23) classification.

SH-19	SH-18	SH-17	SH-16	SH-15	SH-14	SH-12	SH-11	SH-10	SH-8	SH-6	SH-3	SH-2	SH-1	Factors	Element
۰/۲۸	۰/۸۸	۰/۲۳	۱/۱۲	۰/۱۸	۰/۲۳	۰/۱۸	۰/۶۱	۰/۱۲	۰/۵۴	۰/۵۴	۰/۰۹	۰/۲۳	۰/۰۹	Igeo	Ag
۲/۸۶	۱۱/۴۳	۲/۵۷	۲۰/۰۰	۲/۲۹	۲/۵۷	۲/۲۹	۶/۱۴	۲/۰۰	۵/۱۴	۵/۱۴	۱/۸۶	۲/۵۷	۱/۸۶	CF	
-۰/۲۴	-۰/۲۱	-۰/۲۶	-۰/۱۸	-۰/۲۴	-۰/۲۲	-۰/۲۲	-۰/۲۲	-۰/۲۲	-۰/۱۱	-۰/۱۸	-۰/۱۶	-۰/۱۵	-۰/۰۹	Igeo	Cd
۰/۸۷	۰/۹۳	۰/۸۳	۱/۰۰	۰/۸۷	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۹۰	۱/۱۷	۱/۰۰	۱/۰۳	۱/۰۷	۱/۲۳	CF	
-۰/۷۲	-۰/۷۵	۰/۳۷	-۰/۶۸	-۰/۸۸	-۰/۱۰۷	-۰/۶۵	-۰/۶۳	-۰/۸۸	-۰/۴۹	-۰/۶۵	-۰/۴۳	-۰/۴۵	-۰/۳۱	Igeo	Cu
۰/۲۹	۰/۲۷	۲/۸۰	۰/۳۱	۰/۲۰	۱/۲۹	۰/۳۳	۰/۳۶	۰/۲۰	۰/۴۹	۰/۳۳	۰/۵۶	۰/۵۳	۰/۷۳	CF	
-۰/۴۸	-۰/۴۸	-۰/۴۰	-۰/۴۸	-۰/۵۲	-۰/۵۲	-۰/۵۲	-۰/۵۷	-۰/۵۷	-۰/۴۰	-۰/۴۰	-۰/۳۳	-۰/۱۰	-۰/۰۸	Igeo	Pb
۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۶۰	۰/۵۰	۰/۴۵	۰/۴۵	۰/۴۵	۰/۴۰	۰/۴۰	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۷۰	۱/۲۰	۱/۲۵	CF	
-۰/۳۵	-۰/۳۵	-۰/۳۵	-۰/۳۶	-۰/۳۶	-۰/۳۳	-۰/۳۷	-۰/۳۴	-۰/۳۴	-۰/۳۳	-۰/۳۲	-۰/۳۱	-۰/۲۸	-۰/۳۲	Igeo	Sb
۰/۶۷	۰/۶۷	۰/۶۷	۰/۶۶	۰/۶۶	۰/۷۰	۰/۶۴	۰/۶۹	۰/۶۸	۰/۷۱	۰/۷۱	۰/۷۳	۰/۷۹	۰/۷۲	CF	
-۰/۶۱	-۰/۶۸	-۰/۱۸	-۰/۶۸	-۰/۶۸	-۰/۵۵	-۰/۶۸	-۰/۶۱	-۰/۷۶	-۰/۵۰	-۰/۶۱	-۰/۴۱	-۰/۴۱	-۰/۳۱	Igeo	Co
۰/۳۷	۰/۳۲	۱/۰۰	۰/۳۲	۰/۳۲	۰/۴۲	۰/۳۲	۰/۳۷	۰/۲۶	۰/۴۷	۰/۳۷	۰/۵۸	۰/۵۸	۰/۷۴	CF	
-۰/۵۲	-۰/۶۱	-۰/۲۹	-۰/۶۵	-۰/۶۶	-۰/۵۹	-۰/۶۴	-۰/۵۶	-۰/۶۸	-۰/۴۶	-۰/۴۸	-۰/۳۵	-۰/۳۵	-۰/۲۴	Igeo	Zn
۰/۴۵	۰/۳۷	۰/۷۷	۰/۳۴	۰/۳۳	۰/۳۹	۰/۳۵	۰/۴۱	۰/۳۲	۰/۵۲	۰/۴۹	۰/۶۶	۰/۶۷	۰/۸۶	CF	
-۰/۳۴	-۰/۵۹	-۰/۵۸	-۰/۵۵	-۰/۸۳	-۰/۷۸	-۰/۶۸	-۰/۱۰۸	-۰/۸۳	-۰/۴۳	-۰/۴۳	-۰/۳۸	-۰/۳۶	-۰/۲۱	Igeo	As
۰/۶۸	۰/۳۸	۰/۳۹	۰/۴۲	۰/۲۲	۰/۲۵	۰/۳۲	۰/۲۴	۰/۲۲	۰/۵۶	۰/۵۵	۰/۶۲	۰/۶۶	۰/۹۳	CF	
-۰/۶۳	-۰/۴۸	-۰/۰۹	-۰/۵۳	-۰/۷۹	-۰/۶۱	-۰/۸۳	-۰/۷۵	-۰/۷۷	-۰/۶۳	-۰/۶۳	-۰/۶۳	-۰/۷۵	-۰/۷۳	Igeo	Cr
۰/۳۶	۰/۵۰	۱/۲۱	۰/۴۴	۰/۲۴	۰/۳۷	۰/۲۲	۰/۲۷	۰/۲۶	۰/۳۶	۰/۳۶	۰/۳۶	۰/۲۷	۰/۲۸	CF	
-۰/۵۹	-۰/۵۲	-۰/۱۳	-۰/۵۸	-۰/۶۳	-۰/۴۴	-۰/۶۹	-۰/۵۹	-۰/۶۹	-۰/۴۸	-۰/۴۵	-۰/۳۹	-۰/۴۹	-۰/۴۵	Igeo	Ni
۰/۳۸	۰/۴۶	۱/۱۲	۰/۴۰	۰/۳۵	۰/۵۴	۰/۳۱	۰/۳۸	۰/۳۱	۰/۵۰	۰/۵۳	۰/۶۲	۰/۴۹	۰/۵۳	CF	

نتیجه گیری

آرسنیک با آهن و منگنز نیز می‌تواند حاکی از نقش هیدروکسیدهای آهن و منگنز در جذب آرسنیک باشد. الگوی پراکندگی عناصر نیکل و کبالت در رسوبات رودخانه‌ای منطقه انطباق معینی با یکدیگر نشان می‌دهند. این امر می‌تواند با ترکیب سنگ‌شناسی بالادست آبراهه‌ها که عمدتاً سنگ‌های ولکانیکی دارای ترکیب آندزیتی هستند مرتبط باشد. عناصر سرب و روی عمدتاً در آبراهه‌ها و رسوباتی که از بخش‌های شمالی و گاه شرقی منطقه منشا می‌گیرند، تمرکز بیشتری نشان می‌دهند. این امر ممکن است مرتبط با کانی‌سازی‌های این نواحی باشد که تاکنون مورد توجه قرار نگرفته است. تجمع عناصر آرسنیک و آنتیموان نیز در رسوبات شمال و شمال غربی

خاک نمونه‌های محدوده شوراب از نظر بافتی اکثراً ماسه گراولی با ترکیب اندکی قلیایی است. با توجه به تغییرات بسیار محدود pH در سطح منطقه، همبستگی آشکار و معنی‌داری بین این پارامتر با توزیع عناصر مورد بررسی مشاهده نگردید و به‌نظر می‌رسد حضور این عناصر به‌طور عمده تحت تاثیر ویژگی‌های سنگ‌شناسی سنگ مادر و کانی‌سازی‌های موجود در بالادست نقاط نمونه‌برداری است. میزان هدایت الکتریکی و متناسب با آن، مقدار شوری رسوبات با توزیع کادمیوم و آرسنیک در منطقه رابطه معنی‌دار مثبت نشان می‌دهند. ضمن آن‌که همبستگی مثبت این دو عنصر با یکدیگر می‌تواند بیانگر وجود یک منشا مشترک برای این دو عنصر باشد. همبستگی مثبت

5. Shahrabi, M., Hosseini, M., Shabani, K., 2006, geology map of 1:100000 Bardaskan, Iran Geological Survey publication. (In Persian)
6. Engineering Company Exploration, 2002, Final report on the semi-specific exploration of mercury in Shahrooz Kashmar. Organization of Industries and Mines of Khorasan Province. (persian)
7. Saadat, S., 2013, Report of the end of exploration operations of the first stage of copper exploration (Shoorab, Kashmar). Khorasan Razavi Mining and Trade Industry Organization. (In Persian)
8. Turekian, K. K., wedepohl, K.H., 1961, Distribution of the elements in major units of the Earth, Geological Society of America Bulletin, Vol. 72, pp. 175-192.
9. Kabata-Pendias, A., Mukherjee, A. B., 2007, Trace Elements from Soil to Human. Springer Science & Business Media, 550 pages.
10. Geological survey of Iran, 1996, Regional geochemical exploration project of stream sediments in Semnan – Kashmar area.
11. Folk, R.L., 1974, Petrology of sedimentary rocks. Hemphill publishing company. Austin. Texas, 182p.
12. Kabata-Pendias, A., Pendias, H., 1992, Trace element in soils and plants. 2 nd edition, CRC press, Boca Raton, FL.
13. USEPA., 2012, Drinking Water Standards and Health Advisories. Washington, DC: Office of Water, United State Environment Protection Agency.

منطقه نیز می‌تواند نشان از کانی‌زایی در بالادست این نواحی باشد که تا کنون مورد شناسایی قرار نگرفته است. منشا تجمع عناصر مس و نقره در رسوبات عمدتاً به نواحی غربی منطقه مرتبط می‌باشد و می‌تواند نشانگر کانی‌سازی‌های شناخته شده این نواحی باشد که هم اکنون مورد توجه مکتشفان قرار گرفته است. با توجه به نتایج به‌دست آمده، به استثنای عناصر نقره، مس، کادمیوم، کبالت، کروم و نیکل که تا حدی آلودگی نشان می‌دهند، حضور بقیه عناصر در منطقه به‌طور جدی نقش آلوده کننده‌ای ندارد. نبود آلودگی‌های قوی در خاک منطقه در زمان فعلی ممکن است به‌دلیل نبود فعالیت‌های معدن‌کاری در غرب منطقه باشد، بدون شک در صورت آغاز فعالیت‌های معدن‌کاری به‌ویژه به‌صورت روباز، امکان پراکنش برخی عناصر بیش از پیش فراهم می‌گردد که با توجه به زمینه‌های موجود، بهتر است پیش از اقدامات معدنی، راهکارهای زیست محیطی مد نظر قرار گیرد.

References

1. Parvaresh, M., Mahdizadeh, H., Saadat, S., 2006, Investigation of origin and distribution of arsenic in water resources of Kuh-shorkh area (Kashmar). 25th Earth Science Congress, Tehran. (In Persian)
2. Alawi Nejad, A., Saadat, S., Ariaee, A.A., 2015, Dispersion of Arsenic in the Chalpo mining Area (Northeastern Iran), 33th national symposium on earth sciences, Tehran. (In Persian)
3. Tabasi, S., Abedi, A., 2012, A medical geology study of an arsenic-contaminated area in Kouhsorkh, NE Iran, Environ Geochem Health, Vol. 34, 171–179.
4. 4-Taheri, J., Shamanian, Gh., 1998, geology map of 1:100000 Kashmar, Iran Geological Survey publication. (In Persian)

19. Adamo, P., Arenzo, M., Imperato, M., Naimo, D., Nardi, G., Stanzione, D., 2005, Distribution and partition of heavy metal in surface and sub-surface sediments of Naplescity Por, Chemosphere, Vol. 61, pp. 800-809.
20. Bowen, H.J.M., 1979, Environmental Chemistry of the Elements, Academic Press, New York, 333p.
21. Müller, G., 1969, Index of geoaccumulation in the sediments of the Rhine River. Geojournal, Vol.2, pp.108-118.
22. Shayeste far, M., R., Rezaei A., 2011, Estimation of Pollution and Distribution of Heavy Metals in Sarcheshmeh Copper Mine Sediments Using Geochemical Data and Statistical Analysis. Journal of Mining Engineering, Sixth Edition, No. 11, pp. 25-34. (In Persian)
23. Bhuiyana, M. A. H., Parvez, L, Islam, M. A., Dampare, S. B., Suzukia, S., 2010, Heavy metal pollution of coal mine affected agricultural soils in the northern part of Bangladesh, Journal of Hazardous Materials, Vol. 173, pp. 384-392.
14. WHO, World Health Report, 2000, Health Systems: Improving Performance. Geneva, World Health Organization.
15. Dixit R, Malaviya D, Pandiyan K, Singh UB, Sahu A, Shukla R, 2015, Bioremediation of heavy metals from soil and aquatic environment: An overview of principles and criteria of fundamental processes. Sustainability, Vol. 7(2), pp. 2189-2212.
16. Ure, A.M. Berrow, M.L., 1982, The elemental constituents of soils; in H.J.M. Bowen (ed.), Environmental Chemistry, Vol. 2: Royal Society of Chemistry, London, pp. 94-204.
17. Foth, H. D., 1990, Fundamentals of soil science, eight edition. Michigan university, by John Wiley & Sons, Inc. ISBN 0-471- 52279-1.
18. Loska, K. Chebual, J. Pleczar, J. Wiechla, D. Kwapulinski, J., 1995, Use of environment and contamination factors togheder with geoaccumulation indexes to elevate the content of Cd, Cu and Ni in the Rybink water reservoir in Poland Water, Air and Soil pollution, 93, P 347-365.