

بررسی پراکنش عنصر مس در خاک تحت تاثیر فعالیت های معدن مس میدوک (شهر بابک)

محمد صادق غضنفری مقدم^{۱*}

s.ghazanfari@kgut.ac.ir

جواد اورعی^۲

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۵/۲۵

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۸/۱۸

چکیده

زمینه و هدف: افزایش فعالیت های صنعتی توأم با تولید آلاینده ها از جمله فلزات سنگین یکی از عوامل اصلی آلاینده ی آب و خاک به شمار می رود. یکی از فعالیت های بشری که باعث آلودگی منابع طبیعی از جمله خاک می شود فعالیت های معدنی است.

روش بررسی: در این پژوهش پهنه بندی غلظت عنصر مس به عنوان آلودگی خاک در اطراف معدن مس میدوک مورد مطالعه قرار گرفت. دو مسیر نمونه برداری با توجه به موقعیت روستا های اطراف در نظر گرفته شد. نمونه برداری به صورت سیستماتیک از ۳۶۰ نقطه نمونه گیری انجام شد. هضم نمونه ها و اندازه گیری غلظت در آزمایشگاه و به روش جذب اتمی انجام شد. در این پژوهش از شاخص زمین انباشتگی مولر برای بررسی درجه ی آلودگی خاک به فلزات سنگین استفاده شد. در نهایت با استفاده از روش کریجینگ نرمال غلظت عنصر مس و درجه آلودگی خاک پهنه بندی شد.

یافته ها: نتایج نشان داد که غلظت عنصر مس در مسیر نمونه برداری D در نقطه نمونه برداری D_۲ و برابر ۶۹۷/۵ میلی گرم بر کیلوگرم بوده و کمترین غلظت عنصر مس در این مسیر در نقطه D_{۱۱} برابر با ۶/۳۵ میلی گرم بر کیلوگرم بوده است. شاخص زمین انباشتگی نشان می دهد که آلودگی عنصر مس در مسیر نمونه D (جنوب معدن) بیش تر است، که می تواند به دلیل قرار گرفتن این مسیر در راستای معدن و بر روی شیب در جهت باد غالب جنوبی باشد.

بحث و نتیجه گیری: نتایج نشان می دهد بافاصله گرفتن از معدن از درجه آلودگی مس در هر دو مسیر کاسته می شود که می تواند نشان دهنده نقش معدن در ایجاد آلودگی عنصر مس در خاک های منطقه باشد.

واژه های کلیدی: آلودگی خاک، معدن مس، پهنه بندی، شاخص زمین انباشتگی.

۱- استادیار پژوهشکده انرژی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران.

۲- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد، مهندسی خاکشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

Distribution of Copper Concentration in Soil affected by Meyduk Mining Activities (Shahr-Babak)

Mohammad Sadegh Ghaznfari Moghaddam^{1*}

s.ghazanfari@kgut.ac.ir

Javad Oraee²

Admission Date: August 16, 2017

Data Received: November 8, 2016

Abstract

Background and Objective: Increasing industrial activities associated with the production of pollutants, including heavy metals, is one of the main causes of water and soil pollution. Mineral activities are one of the human activities that cause pollution of the natural resources such as soil.

Method: In this study, the zoning concentration of copper as soil contamination around Meyduk copper mine was investigated. The direction samples were taken according to the situation of surrounding villages. Systematic sampling of 360 samples had been collected through the directions. Measuring the concentration of sample was done using atomic absorption method in the laboratory. To indicate the degree of soil pollution with heavy metals, Muller's geoaccumulation index was used. Finally, in order to estimate the normal concentration of Cu and pollution of soil, Kriging method was used.

Results: Results showed that the maximum amount of Cu concentration is 697.5 mg/kg and the minimum is 6.35 mg/kg. The Cu concentration trend in direction D was more than direction M due to the direction of local dominant wind.

Discussion and Conclusion: By receding from location of mine, the overall trend of Cu concentration decreased. This indicated the role of mine activities on soil pollution.

Keywords: Soil pollution, Copper mine, Zoning, Geoaccumulation index.

1- Assistant Professor of Energy Research Institute, Advanced Science and Technology Institute of Environmental Science, Kerman Industrial and Advanced Studies University, Iran. * (Corresponding Author)
2- Graduated MSc. Soil Science, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran.

مقدمه

افزایش فعالیت‌های صنعتی توأم با تولید آلاینده‌ها از جمله فلزات سنگین یکی از عوامل اصلی آلاینده‌ی آب و خاک به شمار می‌رود (۱). در این بین، آلودگی‌ها می‌تواند هم به‌طور طبیعی و هم از طریق فعالیت‌های انسانی سبب ورود فلزات سنگین به خاک شود (۲). به‌طور کلی حدود ۱۱۵۰ میلیون تن از فلزات سنگین (نظیر مس، سرب، کبالت، روی، کادمیوم) تاکنون توسط بشر استخراج شده‌اند. تخمین زده می‌شود که برداشت سالانه ۱۴ میلیون تن فلزات سنگین از معادن، با رشد حدود ۳/۴٪ همراه باشد (۳). پیشرفت، صنعتی شدن و نیاز فزاینده به انرژی و مواد معدنی، منجر به افزایش استخراج از معادن شده است که همین امر باعث ایجاد عدم توازن در تعادل اکولوژی شده و همچنین خطرهای محیط زیستی بسیاری را به وجود آورده است (۴، ۵، ۶). تمامی فلزات سنگین در غلظت‌های بالا دارای اثر سمی فوق‌العاده قوی هستند و به‌نوعی، آلاینده‌های محیط زیستی تلقی می‌گردند (۷، ۸، ۹، ۱۰).

فلزات سنگین جزء مواد شیمیایی غیر آلی موجود در آب دسته‌بندی می‌شوند و با بررسی آن‌ها، کیفیت شیمیایی آب موردبررسی قرار می‌گیرد (۱۱). فلزات سنگین به علت دارا بودن خصوصاتی نظیر سمیت، پایداری و غیرقابل فرسایش بودن در محیط زیست، به‌عنوان آلاینده‌های مهم مطرح هستند (۱۲). با توجه به مراحل مختلف استخراج و استحصال مس، گردوغبار ناشی از عملیات استخراج (خرد کردن و آسیاب کردن)، دود خارج‌شده از دودکش‌ها حاصل از فعالیت کارخانه تغلیظ، دوغاب جمع‌آوری شده حاصل از باطله تولیدی کارخانه تغلیظ و زه آب حاصل از ته‌نشینی باطله در سه رسوب‌گیر، هریک می‌توانند سبب ورود آلودگی به هوا، خاک و آب‌های سطحی (سفره‌های آب زیرزمینی) شوند که نقش هریک از این عوامل در آلوده کردن محیط زیست می‌تواند موردبررسی قرار گیرد (۷).

دانشمندان زیادی بر روی آلودگی‌های ناشی از فعالیت‌های صنعتی و معدنی بر روی خاک تحقیق کرده‌اند. یانزاهو و همکاران (۲۰۰۵) امکان استفاده از انعکاس طیفی را به‌عنوان روشی سریع در ارزیابی عناصر آلاینده‌ی Cu, Pb, Hg, Zn

Cr, Ni, As در حومه شهر نانجینگ در چین مورد تحقیق قرار دادند. در گزارشی که آن‌ها ارائه دادند، روش انعکاس طیفی غلظت Cu, Cr, Ni, Pb نسبت به Hg, Zn, As با دقتی بیش‌تر پیش‌بینی نمود (۱۳). بهویان و همکاران (۲۰۱۰) آلودگی فلزات سنگین را در خاک‌های کشاورزی با استفاده از چندین شاخص فاکتور غنی شدگی (CF) شاخص زمین انباشتگی (Igeo) و شاخص بار آلودگی (PLI) موردبررسی قرار دادند. نتایج ایشان حاکی از غنی شدگی معدنی خاک‌ها با فلزات تیتانیوم، منگنز، روی، سرب، آرسنیک، آهن، استرانسیم و آنتی‌مرال حاصل از فعالیت‌های معدنی می‌باشد (۱۴). وانگ و همکاران (۲۰۰۲) در مطالعات خود به بررسی پتانسیل تجمع فلزات سنگین در خاک‌های کشاورزی در اثر کاربرد مواد شیمیایی پرداخته و به این نتیجه رسیدند که استفاده‌ی روزافزون از این مواد، موجب افزایش غلظت فلزات سنگین در محیط زیست می‌شود (۱۵). شفیع‌ی و شیرانی (۱۳۹۲) به پهنه‌بندی غلظت مس و بررسی همبستگی PH و BC با عنصر مس در خاک‌های اطراف مجتمع مس سرچشمه پرداختند که در نتیجه‌ی تحقیقات خود دریافتند PH همبستگی معنادار و منفی و BC همبستگی مثبت و معناداری با غلظت مس قابل جذب دارد (۱۶). شفیع‌ی و همکاران (۱۳۹۱) با اندازه‌گیری غلظت آرسنیک و سلنیم در ۶۰ نمونه از خاک‌های اطراف معدن مس سرچشمه با استفاده از روش اسپکتروفتومتری به این نتیجه رسیدند که غلظت این عناصر در نزدیکی معدن بیش‌تر بوده و بافاصله گرفتن از معدن، غلظت آن‌ها کاهش می‌یابد همچنین عنصر سلنیم در محدوده‌ی غیر آلوده و عنصر آرسنیک در محدوده کمی آلوده تا شدیداً آلوده قرار می‌گیرد (۱۷). کمپر و سومر (۲۰۰۲) در مطالعه خود، غلظت عناصر سنگین را در اطراف معدنی در شمال اسپانیا با استفاده از میزان انعکاس مادون قرمز پهنه‌بندی کرد. نتایج آنالیزهای شیمیایی او نشان داد که غلظت Cu, Fe, As, Cd, Zn, Hg, Pb بالاتر از مقادیر معمول بوده است (۱۸). ویترز و لرد (۲۰۰۲) ورود مواد مغذی استفاده‌شده در فعالیت‌های کشاورزی را به منابع آب‌های

روش پهنه بندی

روش زمین آمار کریجینگ برای توزیع مکانی فلزات سنگین خاک، پتانسیل بالایی دارد و هم چنین به عنوان روش مناسبی برای درون یابی و تهیه نقشه های آلاینه ها پیشنهاد شده است (۲۰). جیاکن و همکاران (۲۰۰۷)، در مطالعه‌ی خود از تکنیک‌های کریجینگ معمولی و کریجینگ لگاریتم نرمال برای تهیه‌ی نقشه‌های الگوی مکانی عناصر (کروم، جیوه، سرب، آرسنیک، کادمیوم و مس) استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که کادمیوم با مدل خطی، کروم با مدل نمایی و دیگر فلزات سنگین با مدل کروی منطبق هستند. در این پژوهش تغییرات مکانی عناصر Hg, Cd, Pb, Cu, As, Cr را برای چانگزینگ در استان ژيجانگ چین با بررسی ۶۵۵ نمونه خاک تعیین شد. آن‌ها فنون زمین‌آمار و GIS را به کار بردند و از کریجینگ نرمال و کریجینگ عمومی جهت تهیه نقشه و توزیع مکانی Cu, As, Hg, Pb استفاده کردند (۲۱، ۲۲، ۲۳). در این تحقیق برای پهنه بندی غلظت فلزات سنگین و بررسی تغییرات مکانی از روش کریجینگ معمولی استفاده شد.

نمونه برداری

نمونه برداری به روش سیستماتیک به محوریت معدن مس میدوک در دو جهت جنوب غربی معدن به سمت شهر بابک و جنوب شرقی معدن به سمت روستای هرتاسک انجام شد. برای این کار ابتدا منطقه مورد مطالعه با استفاده از نرم افزار GIS شبکه بندی شد. محل اتصال شبکه‌ها به عنوان نقاط نمونه برداری تعیین شد. نمونه برداری در اوایل تیرماه انجام گرفت. در نمونه برداری، پس از نقطه یابی، در محل نقطه، یک پلات 20×20 متر (ماکرو پلاست) در نظر گرفته شد و داخل آن به صورت 7×7 شکل سه پلات 3×3 متر (میکرو پلات) قرار داده شد. سپس از داخل هر میکرو پلات تعداد ۵ نمونه خاک به صورت ضرب-دری از عمق ۲۰-۰ سانتی متری خاک برداشت شد و پس از مخلوط کردن آن‌ها، یک نمونه‌ی مرکب به وزن حدود ۲ کیلوگرم برداشت شد. در مجموع ۲۴ نمونه خاک برداشت شدند که سهم هر یک از دو مسیر نمونه برداری ۱۲ نمونه خاک مرکب شد (۲۴).

سطحی و زیرزمینی انگلستان بررسی کردند. مطابق بررسی‌های انجام شده، رهاسازی نیتروژن و فسفر در پساب‌های کشاورزی می‌تواند منجر به کاهش کیفیت آب این منابع و نیز افزایش خطر برای سلامتی انسان‌ها گردد (۱۹).

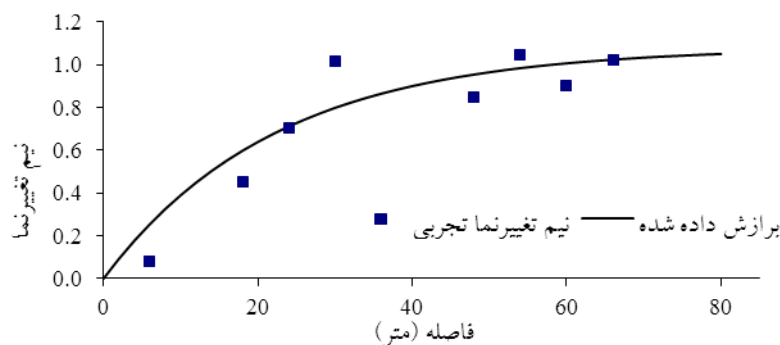
در این راستا، با توجه به وجود ذخایر عظیم مس در دنیا به خصوص در ایران، و درآمد هنگفت ناشی از اکتشاف و استحصال مس، از دیرباز استخراج و فرآوری مس مورد توجه قرار گرفته است که این امر سبب شده است که استخراج مس از معادن، نقش پر رنگی در افزایش غلظت فلزات سنگین به محیط زیست داشته باشند و به همین جهت آگاهی از روش‌های تغلیظ و استحصال مس می‌تواند دید بهتری را جهت بررسی نقش معادن مس در ورود فلزات سنگین به محیط زیست به ما می‌دهد. لذا آشنایی با مراحل مختلف استخراج، استحصال و تغلیظ مس از نقطه نظر راه‌های ورود آلودگی از طریق معدن به محیط زیست حایز اهمیت است. این موضوع نشان‌گر اهمیت تحقیق و پژوهش در مورد تأثیر معادن مس در آلوده کردن محیط زیست اطرافشان به فلزات سنگین را می‌باشد. هدف از انجام این پژوهش، بررسی میزان غلظت فلز سنگین مس (Cu) و پهنه بندی آلودگی آن با استفاده از نرم افزار GIS در دشت شهر بابک در اثر فعالیت معدن مس میدوک است.

منطقه‌ی مطالعاتی

معدن مس میدوک در ۴۲ کیلومتری شمال شرق شهرستان شهر بابک و ۱۴۲ کیلومتری شمال غرب معدن مس سرچشمه در استان کرمان واقع شده است و دارای مختصات جغرافیایی ۵۵ درجه و ۱۰ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۲۵ دقیقه عرض شمالی می‌باشد. سیمای ظاهری میدوک به صورت تپه‌های نسبتاً گرد و با شیب ملایم و دره‌های کم عمق است که بالاترین ارتفاع آن از سطح دریا ۲۸۴۲ متر می‌باشد.

محدوده معدن مس میدوک دو توده نفوذ کم عمق مس پورفیری را در بر می‌گیرد که هریک از این دو توده نام محلی خاص خود را دارا می‌باشند. یکی از آن‌ها میدوک (لاچاه) و دیگری سارا می‌باشد. کارگاه اصلی در محل معدن میدوک است. که در هفت کیلومتری شمال غرب روستای میدوک واقع شده است.

توانی، نمایی و گوسی استفاده شد. با توجه به نتایج برآزش هر یک از این روش‌ها، در نهایت مدل واریوگرام نمایی بهترین برآزش را نشان داد. از نرم افزار Variowin2.2 برای برآزش داده‌های غلظت آلودگی استفاده شده است. در شکل ۱ واریوگرام آن برای غلظت آلودگی ارایه شده که دامنه تاثیر آن برابر شش کیلومتر، سقف آن ۱/۰۸ برحسب واحد بدون بعد، اثر قطعه‌ای آن صفر و معیار RMSE برابر ۰/۰۳۸ بدست آمده است.



شکل ۱- برآزش واریوگرام غلظت آلودگی

Figure1- Variogram of pollution concentration fitting

برآزش واریوگرام

برای برآزش واریوگرام تجربی از انواع متداول آن مانند خطی،

شاخص زمین‌انباشت

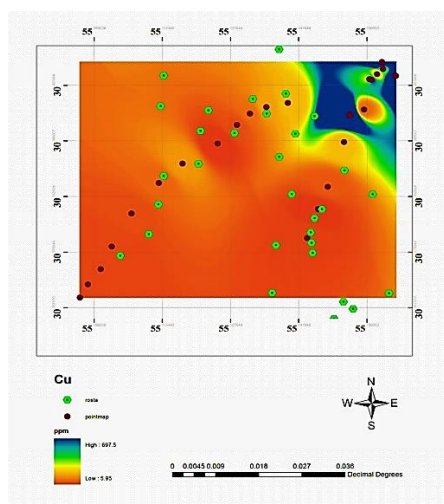
بر اساس شاخص زمین‌انباشتگی (Igeo) مولر، c_n غلظت اندازه‌گیری شده فلز امتحان شده در خاک، \log_2 لگاریتم بر پایه‌ی دو، B_n غلظت زمینه ژئوشیمی در فلز امتحان مشابه است. ضریب ۱/۵، ضریب تصحیح زمینه، ناشی از اثرات لیتولوژیکی است. به عبارت دیگر در این رابطه برای اینکه اثرات مواد مادری خاک و نوسانات طبیعی محتوای ماده داده شده در اثر فعالیت‌های انسانی تصحیح شود، از ضریب ۱/۵ استفاده می‌شود (۲۷) اصطلاح زمینه ژئوشیمیایی به عنوان فراوانی نرمال یک عنصر در یک زمین بایر یا خاک بدون اثر فعالیت‌های انسانی گفته می‌شود (۲۸). غلظت زمینه برای عنصر مس ۸/۲۷۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شد. در این پژوهش، غلظت زمینه برای عنصر مس از میانگین ۱۲ نمونه خاک که به‌طور تصادفی از مناطقی که تحت هیچ‌گونه فعالیت انسانی قرار نداشتند محاسبه شد (۲۹). به این ترتیب، غلظت زمینه برای Cu

در مطالعات محیط زیستی، زمانی که توزیع زمین‌شناسی عناصر در محیط حاصل، ترکیبی از عوامل انسان‌زاد و طبیعی باشد روند تغییرات با استفاده از شاخص‌های آلودگی مورد مطالعه قرار می‌گیرد. جهت تعیین میزان آلودگی خاک به فلزات سنگین در یک منطقه، بایستی میزان غلظت عناصر در آن منطقه با یک استاندارد شناخته شده مقایسه شود (۲۶). در این پژوهش از شاخص زمین‌انباشتگی برای بررسی درجه‌ی آلودگی خاک به فلزات سنگین استفاده شد. شاخص زمین‌انباشتگی که توسط مولر معرفی شده است (مولر و همکاران، ۱۹۶۹)، شاخصی است که می‌تواند درجه‌ی آلودگی خاک را تعیین کند و از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود (۲۷).

$$I_{geo} = \log_2 \left(\frac{C_n}{1.5B_n} \right) \quad (1)$$

مس میدوک به صورت گستره وسیعی از رنگ نارنجی نشان داده شده است. از مقایسه غلظت‌های مس در مسیر نمونه برداری D با مسیر نمونه برداری M با توجه به جدول ۲ مشخص می شود که بیشترین غلظت‌های عنصر مس در مسیر نمونه برداری D قرار گرفته است زیرا مسیر نمونه برداری D، در راستای معدن (جنوب معدن) قرار دارد. با توجه به شکل ۲، ۸ نقطه نمونه برداری از مسیر D، در غلظت‌های بالای مس که با رنگ آبی در نقشه مشخص شده است، قرار گرفته‌اند. این در حالی است که هیچ یک از نقاط نمونه برداری M در این محدوده قرار ندارد.

شکل ۳ نمودار تغییرات غلظت عنصر مس در مسیر نمونه برداری D را نشان می‌دهد. این نمودار بیان میکند که بافاصله گرفتن از معدن غلظت عنصر مس کاهش یافته است. در این نمودار در نقطه D_۶ شاهد افزایش غلظت مس برخلاف رنگ کاهش غلظت بافاصله گرفتن از معدن هستیم که علت تأثیر باد غالب منطقه است. جهت باد غالب منطقه مورد مطالعه در جهت جنوب است. به نظر می‌رسد باد غالب باعث انتقال مس به نقطه D_۶ و دراپ بیش‌تر ذرات در این فاصله از معدن شده است. مسیر D در جهت جنوب معدن و باد غالب جنوبی در گلباد منطقه قرار دارد.



شکل ۲- نقشه پهنه‌بندی غلظت عنصر مس در

اطراف روستاها و نقاط نمونه برداری

Figure 2- Copper concentration zoning map around villages and sampling points

اندازه‌گیری شد. مولر بر اساس شاخص زمین انباشتگی، خاک‌ها را از نظر درجه آلودگی به هفت گروه طبقه‌بندی کرده است. جدول ۱ طبقه‌بندی مذکور را نشان می‌دهد.

جدول ۱- طبقات شاخص زمین انباشتگی (۳۸)

Table 1-The Geoaccumulation index's classes (38)

شاخص زمین انباشتگی	درجه آلودگی خاک
$0 >$	غیر آلوده
$0-1$	غیر آلوده تا کمی آلوده
$1-2$	کمی آلوده
$2-3$	کمی آلوده، تا خیلی آلوده
$3-4$	خیلی آلوده
$4-5$	خیلی آلوده تا شدید آلوده
$5 <$	شدید آلوده

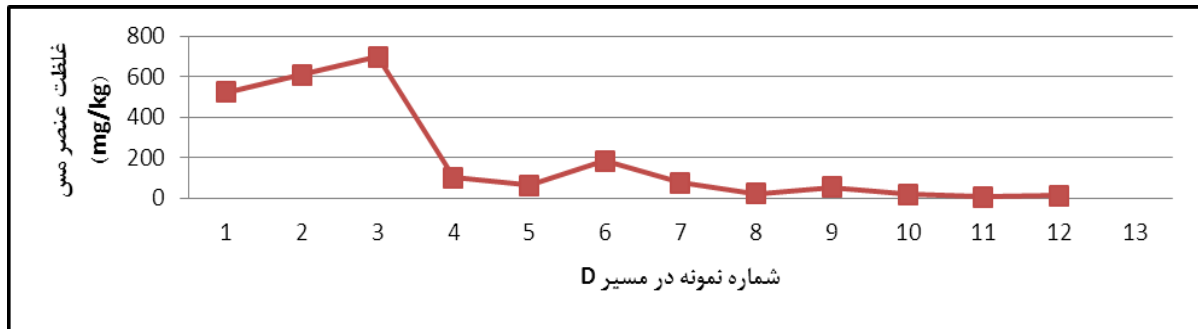
نتایج و بحث

بیشترین غلظت عنصر مس در مسیر نمونه برداری D در نقطه نمونه برداری D_۳ و برابر ۶۹۷/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم به دست آمد و کمترین غلظت عنصر مس در این مسیر در نقطه D_{۱۱} و ۶/۳۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم به دست آمده با این توضیح که در این مسیر نمونه برداری شماره نقاط نمونه برداری با فاصله گرفتن از معدن زیاد می‌شود (D_۱ کمترین فاصله و D_{۱۲} بیشترین فاصله). بیشترین غلظت عنصر مس در مسیر نمونه برداری m_۱ در نقطه m_۱ به مقدار ۵۱/۷۸۵ mg/kg به دست آمد و کمترین غلظت عنصر مس در این مسیر در نقطه m_۵ به مقدار ۵/۹۵ mg/kg (شماره نقاط نمونه برداری بافاصله گرفتن از معدن زیاد می‌شود کمترین فاصله m_۱ و بیش‌تر فاصله m_۵). در مسیر نمونه برداری D، نقطه D_۳ فاصله کمتری را نسبت به D_{۱۱} از معدن مس میدوک را شامل می‌شود.

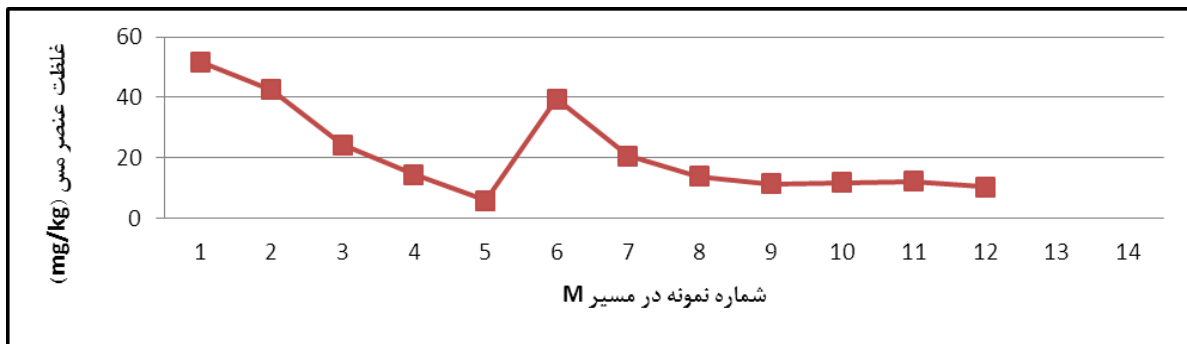
شکل ۲ نقشه تغییرات غلظت عنصر مس را در اطراف روستاها و نقاط نمونه برداری منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد، که با توجه به آن بیشترین غلظت عنصر مس در اطراف معدن مس میدوک در مسیر نمونه برداری D قرار دارد که با رنگ آبی در نقشه مشخص شده است. در شکل ۲ غلظت‌های بالای مس به صورت لکه‌های آبی در اطراف معدن مس میدوک نشان داده شده است و غلظت‌های پایین مس بافاصله گرفتن از معدن

معلق به اين نقطه شده است. مسير نمونه برداری M در جهت جنوب غربی معدن مس میدوک است. شیب شديد جنوب غربی بلافاصله از معدن باعث شده است که ذرات به خوبی در سطح خاک نشست نکنند. همچنين در اثر آب شویی جریانات سطحی به دليل شیب زمین، تا نقطه نمونه برداری ۵ کاهش غلظت مس مشاهده می شود (شکل ۳).

شکل ۴ نمودار تغییرات غلظت عنصر مس را در مسير نمونه برداری M نشان می دهد اين نمودار نشان می دهد بافاصله گرفتن از معدن مس میدوک غلظت عنصر مس در اين مسير کاهش یافته است. در اين نمودار برخلاف روند کاهش در نقطه M_۶ شاهد افزایش غلظت عنصر مس هستیم که اين افزایش احتمالاً تحت تأثير باد جنوب غربی است که باعث انتقال ذرات



شکل ۳- غلظت عنصر مس در مسير نمونه برداری D
Figure 3- Copper concentration in D sampling direction



شکل ۴ - نمودار تغییرات غلظت عنصر مس در مسير نمونه برداری M
Figure 4- Copper concentration in M direction

مسير نمونه برداری D نشان می دهد که درجه آلودگی مس در محدوده خیلی آلوده قرار می گیرد. ۸/۳۳ درصد از نقاط در مسير نمونه برداری M و در محدوده کمی آلوده تا خیلی آلوده قرار دارند (M_۱). ۱۶/۶۶ درصد از نقاط نمونه برداری در مسير نمونه برداری M در محدوده کمی آلوده تا خیلی آلوده قرار دارند (M_۲, M_۳). ۳۳/۳۳ درصد از نقاط در مسير نمونه برداری M در محدوده غير آلوده تا کمی آلوده قرار دارند (M_۴, M_۵, M_۶, M_۷, M_۸). ۴۱/۶۶ درصد از نقاط نمونه برداری در مسير نمونه برداری M در محدوده غير آلوده قرار دارند (M_۹, M_{۱۰}, M_{۱۱}, M_{۱۲}). بر اساس جدول ۳

در جدول ۲ درجه آلودگی عنصر مس در هر نقطه نمونه برداری بر اساس شاخص زمین انباش مولر محاسبه شده است. بر اين اساس ۲۵٪ نقاط در مسير نمونه برداری D در محدوده شدیداً آلوده قرار دارند (D_۱, D_۲, D_۳). ۱۶/۶۶ درصد نقاط نمونه برداری در مسير نمونه برداری D در محدوده خیلی آلوده قرار دارند (D_۴, D_۵). در حدود ۲۵٪ نقاط در مسير نمونه برداری D در محدوده کمی آلوده تا خیلی آلوده قرار دارند (D_۶, D_۷, D_۸). ۱۶/۶۶ درصد نقاط در مسير نمونه برداری D در محدوده غير آلوده قرار دارند (D_۹, D_{۱۰}, D_{۱۱}, D_{۱۲}). بر اساس جدول ۲ شاخص زمین انباشت برای میانگین غلظت مس در

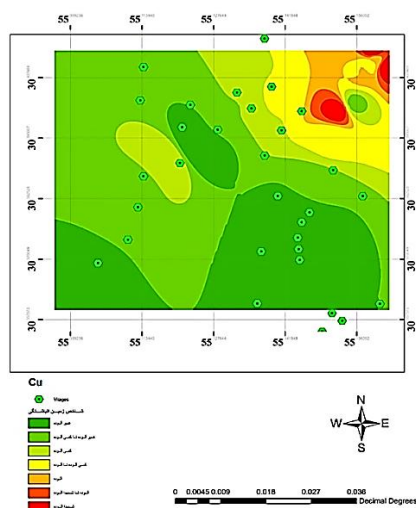
معدن و بر روی شیب در جهت باد غالب جنوبی باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد بافاصله گرفتن از معدن از درجه آلودگی مس در هر دو مسیر کاسته می‌شود که می‌تواند نشان دهند نقش معدن در ایجاد آلودگی عنصر مس در خاک‌های منطقه باشد.

شاخص زمین انباشت برای میانگین غلظت مس در مسیر نمونه‌برداری M نشان می‌دهد که درجه آلودگی مس در محدوده غیر آلوده تا کمی آلوده قرار می‌گیرد. نتایج به‌دست‌آمده از شاخص زمین انباشت نشان می‌دهد که آلودگی عنصر مس در مسیر نمونه D (جنوب معدن) بیش‌تر است، که می‌تواند به‌دلیل قرار گرفتن این مسیر در راستای

جدول ۲ - درجه آلودگی نقاط نمونه‌برداری بر اساس شاخص زمین انباشت مولر

Table 2- Pollution classes in sampling point based on Muller geoaccumulation index

درجه آلودگی	مقدار شاخص	نقاط نمونه	درجه آلودگی	مقدار	نقاط نمونه
کمی آلوده تا خیلی	۲/۰۶	۱M	شدید آلوده	۵/۳۹	D _۱
کمی آلوده	۱/۷۷	۲M	شدید آلوده	۵/۶۲	D _۲
غیر آلوده تا کمی	۰/۹۷	۳M	شدید آلوده	۵/۸۱	D _۳
غیر آلوده تا کمی	۰/۲۱	۴M	خیلی آلوده	۳/۰۱	D _۴
غیر آلوده	-۱/۰۶	۵M	کمی آلوده تا خیلی	۲/۳۶	D _۵
کمی آلوده	۱/۶۷	۶M	خیلی آلوده	۳/۸۹	D _۶
غیر آلوده تا کمی	۰/۷۳	۷M	کمی آلوده تا خیلی	۲/۵۷	D _۷
غیر آلوده تا کمی	۰/۱۶	۸M	غیر آلوده تا کمی	۰/۸۱	D _۸
غیر آلوده	-۰/۱۱	۹M	کمی آلوده تا خیلی	۲/۰۹	D _۹
غیر آلوده	-۰/۰۷	۱۰M	غیر آلوده تا کمی	۰/۴۶	D _{۱۰}
غیر آلوده	-۰/۰۲	۱۱M	غیر آلوده	-۰/۹۶	D _{۱۱}
			غیر آلوده	-۰/۲۲	D _{۱۲}



شکل ۵- نقشه پهنه بندی آلودگی عنصر مس براساس

شاخص زمین انباشت مولر

Figure 5- Copper pollution zoning map based on Muller geoaccumulation index

شکل ۵ نقشه پهنه‌بندی آلودگی عنصر مس بر اساس شاخص زمین انباشت مولر در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد، در این نقشه محدوده شدیداً آلوده با رنگ قرمز مشخص شده است که محدوده اطراف معدن را شامل می‌شود. مواد مادری عامل اصلی غلظت بالای مس در این محدوده است و منشاء زمین شناختی دارد. با توجه این نقشه تنها یک روستا در محدوده آلوده قرار گرفته است که با رنگ قهوه‌ای در نقشه مشخص شده است محدوده غیر آلوده با کمی آلوده با رنگ سبز کم‌رنگ مشخص شده است که بیشتر روستاهای موجود در منطقه مورد مطالعه در این منطقه قرار گرفته‌اند. شکل ۴ به خوبی نشان می‌دهد با فاصله گرفتن از معدن از درجه آلودگی مس کاسته شده است.

Assessment and veclamition of contaminated land, Hester R.E, and , Harrison R.M, (Bds), Royal society of chemistry, Cambridge. pp. 85-102

8. Welch RM. 1995. Micronutrient Nutrition of plants, Critical Review inplant sciences. 14: 49-82.
9. Nedel kosku TV., Doran PM. 2000. Hypera ccumulation of cadmium by hairy roots of IhlaspI cuerulescent, Biotechnolgy and Bioenginzering. 67 (5) 607-615
10. Pal R., Rai JPN. 2010. Phytochelatins: peptides involed inheavy metal detox:fication, Applized Biochemistry Biotechnolgy. 160-945-963.
11. Bakker M. 2004. Transient analytic elements for periodic Dupuit-Forchheimer flow, Adv Water Resour. pp. 312.
12. Nwachukwu, M. A, Feng H, Alinnor J. 2010. Assessment of heavy metal pollution in soil and their implications within and around mechanic villages. Int. J. Environ. Sci. Tech. 7 (2), 347-358.
13. Yanzaho W., Jun C., Xinmin W., Quingjia T. 2005. Possibliteis of reflectance spectroscopy for assemseent of contaminazation element in suburban soil. Applied Geochemistry. 20: 1051-1059.
14. Bhuiyan M A H., Parvez L., Islam MA., Dampare SB., Suzukia S. 2010. Heavy metal pollution of coal mine-affected agricultural soils in the northern part of Bangladesh. J. Hazard. Mater. 173: 384-392
15. Wong SC., Li HD., Zhang G., Qi SH., Min YS. 2002. Heavy metals in agricultural soils of the pearl River Delta, south china, Environmental pollution. 119 : 33-44.

تشکر و قدردانی

هزینه های مربوط به این پژوهش در قالب طرح تحقیقاتی به شماره ۹۴/۰۵/۱۸ مورخ ۷/۹۴/۲۶۴۰ از طرف پژوهشگاه علوم و تحقیقات پیشرفته و علوم محیطی در دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و علوم پیشرفته کرمان پرداخت شده است که نویسندگان از این دانشگاه تشکر می نمایند.

Reference

1. Torabian, A., Mahjori, M. 2002. Heavy metals uptake by vegetable crops irrigated with wastewater in south Tehran. Journal of water and soil science. 16 (2) : 189 – 196 (In Persian).
2. Hansen, E., Lassen, C., Stuer, E., Laur, D., Kjolholt, F. 2002. Heavy metals in waste, European Commission DG FNV. E3, project ENV. E.3 , ETU/ 200/005 & , Final
3. Matagi SVS, wai D, Mugabe R. 1998. A review of heavy metal removal mechanisms in wet lands, African Journal tropical Hydrobiology Fish. 823-35.
4. Vamerali T., Marrianna B, Mosca G. 2010. Field crops for phytoremediation of metal – contaminated of metal contaminated land: A review Environmental chemistry letters. 8: 1-17
5. Wong MH. 2003. Bcological restoration of mine degraded soil, with emphasis on metal contaminated soil, Chemosphere. 50 : 775-780.
6. Nriagu jo, Pacyna JM. 1988. Quantitative assessment of worldwide contamination of air water and soils by trace metals. Nature 333 (6169) 134-139 .
7. Nathanarl CP, Earl N. 2001. Human health risk assessment: guidelines values and magic numbers, in:

- Geo chemical data base, Geo derma. 148: 189-199.
23. Rodriguez L., Ruiz E., Azcarate LA., Rincon J. 2009. Heavy metal distribution and Chemical Speciation in tailing and Soils around a pb-Zinc mine in Spain. *J. Environ. Manage.* 90: 1106-1116
24. Babaei. Y., Alavi, M., Qasemzadeh, M., Arbabzavar, F. 2008. Investigation of Surface Water Pollution of the Mountain Range of Kashmar to Arsenic. *Journal of Environmental Science and Technology.* Volume 10, Issue 3, Page 29-36 (In Persian).
25. Cao HF., Chang AC., page AL. 1984. Heavy metal contents of sludge-treated soils at determined by three extraction procedures, *J Environ aul.* 13(4): 632-634.
26. Muller G. 1979. schwer metalle in densdimenten des rheins veränderungen seit 1971. *Umschau* 79 (24). Pp. 778-783.
27. Muller G. 1969. index of geoaccumulation in sediments of the Rhine river. *Geojournal.* 2:108-118.
28. Mc Groth SP., Chaudri AM., Giller K.E. 1995. long term effects of metals in sewage sludge on soils, micro-organisms and plants, *j. ind. Microbiol.* 14 (2): 94-104.
29. Shahbazi, A. 2011. Evaluation of the Effects of Agricultural Activities on the Accumulation of Heavy Metals in Some Agricultural Soils in Hamedan Province. Master Thesis. Technical University of Isfahan (In Persian).
16. Shafiei, N., Shirani, H., Esfandiarpour, A. 2012. The enrichment of arsenic and selenium in the soils around the Sarcheshmeh copper mine. *Journal of soil management.* Is. 2. No. 2 (In Persian).
17. Sattari, M., Nayebzadeh, M., Najafabadi, R. 2013. Surface water quality prediction using decision tree method. *Journal of Iran Irrigation and water engineering.* No. 15. 76-88 (In Persian).
18. Kemper T., sommer S. 2002. Estimate Heavy metal contamination in soil after a mining accident using reflectance, Spectroscopy. *Environ Sci. Technol.* 36 : 2742-2747
19. Withers P J A., Lord E I. 2002. Agricultural Nutrient Inputs to Rivers and Groundwaters in the UK: Policy, Environmental Management and Research Needs. *The Science of the Total Environment.* 282-283.
20. Juang KW., Lee D Y., Ellsworth TR. 2001. Using rank order geostatistics for spatial interpolation of highly skewed data in heavy metal contaminated site, *J. Environ. Qual.* 30: 844-903.
21. Jiachan S., Haizhen W., Jianming W., Jianjan W., Xingmei L., halping Z. 2007. Spatial distribution for heavy metal in soil : A case study of changing, China, *environ geol.* 52:11 - 10.
22. Lado L.R., Hengl T., Reuter HR. 2008. Heavy metals in European soils: A geostatistical analysis of the FOREGS