مقاله پژوهشی

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و سوم، شماره هفت، مهرماه ۱۴۰۰(۱۱۳-۹۹)

وضعیت خاک های منطقه ۲۱ شهرداری تهران از نظر آلودگی به برخی فلزات سنگین

فتانه ولی نژاد [۱]

آزاده اربابی سبزواری [۲] *

arbabi@iiau.ac.ir

رضا برنا [۳]

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۱/۲۳ **تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۲/۱۸**

چکیده

زمینه و هدف: افزایش مصرف ترکیبات شیمیایی در فرایندهای صنعتی سبب تجمع آلاینده ها از جمله فلزات سنگین شده است، که حذف آنها از محیط زیست بسیار هزینه بر و سخت می باشد. هدف این پژوهش کاربردی بررسی میزان آلودگی فلزات سنگین کادمیم، کرم و سرب در خاک غرب تهران با استفاده از شاخص های آلودگی، غنی سازی و زمین انباشت و فاکتور آلودگی می باشد.

روش بررسی: به منظور ارزیابی میزان غلظت عناصر سنگین در منطقه مورد بررسی، نمونه برداری در هر سه ناحیه از منطقه ۲۱ شهرداری تهران صورت گرفته و از هر ناحیه ۱۰ نمونه با سه تکرار و در مجموع ۹۰ نمونه در بهار ۱۳۹۹ تهیه شده و غلظت عناصر کادمیم، سرب و کروم در عصاره تیزاب سلطانی و با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه گیری شد. تحقیق حاضر از نوح تحقیقات توصیفی-تحلیلی است و داده‌های آن از نوع اولیه بوده که به دو روش اسنادی و مطالعات میدانی تهیه گردیده است.

یافته ها: نتایج نشان داد که تجمعی از این عناصر در خاک سطحی ایجاد شده است. میانگین غلظت عناصر مورد بررسی در ناحیه دو و سه بیشتر از ناحیه یک بود. خاک سطحی ناحیه سه مقادیر بیشتری سرب، کادمیم و کروم نسبت به دو ناحیه دیگر داشت اما این مقادیر اختلاف معنی داری با ناحیه دو نداشت. میانگین مقدار سرب، کروم و کادمیم برای کل منطقه به ترتیب برابر با ۳۸/۱، ۹/۱ و ۱/۶ میلی گرم بر کیلوگرم بود. شاخص غنی سازی در نواحی دو و سه بیشتر از یک بود اما مقدار عددی این شاخص در ناحیه یک کمتر از یک بود. مقادیر شاخص زمین انباشتگی برای عنصر سرب در هر سه ناحیه کلاس غیر آلوده تا کمی آلوده و برای کادمیم و کروم کلاس غیر آلوده را

۱- دانشجوی دکتری تخصصی آب و هواشناسی، گروه جغرافیا، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲- دانشیار گروه جغرافیا، واحد اسلامشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. *(مسوول مکاتبات)

۳- دانشیار گروه جغرافیا، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

نشان داد. مقدار عددی فاکتور آلودگی به جز در مورد کادمیم و در ناحیه یک، در سایر موارد یک و بیشتر از یک بوده که نشانگر غلظت بالای این عناصر نسبت به غلظت زمینه در منطقه مورد بررسی است.

بحث و نتیجه گیری: در اثر فعالیت های صنعتی و ترافیکی، تجمع مقادیر مازاد عناصر انسان پدید در محدوده مورد مطالعه ایجاد شده است.

واژه های کلیدی: خاک، شاخص های آلودگی، عناصر سنگین، غرب تهران.

J. Env. Sci. Tech., Vol 23, No. 7, October, 2021

District 21 of Tehran Municipality Soil Condition in Terms of Contamination with Some Heavy Metals

Fataneh Valinejad [1]
Azadeh Arbabi Sabzevari [2*]
arbabi@iiau.ac.ir
Reza Borna [3]

Admission Date:March 8, 2021 Date Received: February 11, 2021

Abstract

Background and Objective: Increasing consumption of chemical compounds in industrial processes has led to the accumulation of pollutants, including heavy metals, which are very costly and difficult to absorb from the environment. The purpose of this applied research is to investigate the level of cadmium, chromium and lead contamination in the soil of western Tehran using pollution, enrichment and land geoaccumulation indices and pollution factors.

Material and Methodology: In order to evaluate the concentration of heavy elements in the study area, sampling was done in all three areas of District 21 of Tehran Municipality and 10 samples from each area with three replications and a total of 90 samples were prepared in the spring of 2020 and the concentrations of cadmium, lead and chromium in Soltani acid extract was measured using an atomic absorption spectrometer. The present study is one of the descriptive-analytical researches and its data are of primary type which has been prepared by two methods of documentary and field studies.

Findings: The accumulation of these elements has been created in the surface soil. The mean concentrations of the studied elements in zones two and three were higher than one. The topsoil of area three had higher amounts of lead, cadmium and chromium than the other two areas, but these values were not significantly different from area two. The average amounts of lead, chromium and cadmium for the region were 38.1, 9.1 and 1.6 mg/kg, respectively. The enrichment index in zones two and three was more than one, but the numerical value of this index was less than one in zones one. Geoaccumulation index values for lead element in all three areas showed non-contaminated to slightly contaminated class and for cadmium and chromium showed non-contaminated class. The numerical value of the contamination factor, except for cadmium and in zone one, in other cases is one and more than one, which indicates the high concentration of these elements compared to the background concentration in the study area.

Discussion and Conclusion: As a result of industrial and traffic activities, the accumulation of excess amounts of man-made elements in the study area has been created.

Keywords: Soil, Pollution Indicators, Heavy Elements, West of Tehran.

1- PhD Student in Meteorology, Department of Geography, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2- Associate Professor, Department of Geography, Islamshahr Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran *(Corresponding Author)
3 - Assistant Professor, Department of Geography, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

مقدمه

استفاده بیش از پیش از فلزات و مواد شیمیایی در فرایندهای صنعتی منجر به گسترش پسابهای حاوی فلزات سنگین شده، که از بین بردن آنها در محیط زیست منجر به ایجاد مشکلات زیادی شده است. منابع اولیه ایجاد آلودگی فلزات سنگین فعالیت های صنعتی از قبیل تولید سوخت و انرژی، معدن کاری، ذوب سنگ های فلزدار و استفاده از پساب های حاوی فلزات سنگین است. سه فلز کادمیوم، سرب، جیوه و شبه فلز آرسنیک مشکلات زیادی برای انسان در نقاط مختلف جهان ایجاد کرده است (۱). آلودگی خاک های مناطق شهری با عناصر سنگین بیشتر به دلیل افزایش ایجاد صنایع، ترافیک و استخراج معادن در این مناطق است. به عنوان مثال بیشترین غلظت سرب در خاک ها به طور عمده در مجاورت جاده های پرتردد وجود دارد. سرب عمدتاً به صورت ذرات به هوا منتشر می شود و جذب آن از طریق تنفس و انتقال به خون باعث مسمومیت های زمانی و اثرات طولانی مدت روی طبقات آسیب پذیر جامعه گشته و بخشی از آن نیز وارد خاک می شود (۲).

کادمیم فلزی سنگین، سمی و غیر ضروری برای موجودات زنده بوده و اثر منفی بر محیط زیست دارد. این عنصر می تواند به شکل های مختلف به زنجیره غذایی انسان وارد شود و سلامت انسان را به خطر بیاندازد. کادمیم از جمله عناصری است که توانایی ایجاد اختلال در عملکرد کلیه و استخوان را داشته و منجر به ایجاد سرطان کبد و خون می شود (۳).

براساس گزارش سازمان حفاظت از محیط، کروم بعد از سرب دومین فلز یافت شده در مناطق آلوده است و سالانه حدود ۱۷۰۰۰۰ تن از پساب‌های این فلز، به محیط سرازیر می شود. این فلز در پساب صنایع مرتبط با کروم مانند تهیه آلیاژهای کرومی، آب‌کاری کروم، ترکیبات بازدارنده خوردگی، شیشه‌سازی، تهیه رنگ، صنعت نساجی، صنایع چوب، عکاسی، دباغی، تولید سیمان، فرش، نوارهای مغناطیسی و ساخت اجزای ماشین و هواپیما وجود دارد (۴ و ۵). محدودیت کروم شش ظرفیتی در آب‌های آشامیدنی متجاوز از ۰/۰۵ میلی‌گرم در لیتر و دوز کشنده خوراکی آن ۷۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن بدن است (۶ و ۷).

آلاینده های شهری و صنعتی در کلانشهرها و اطراف آنها، جدا از این که وضعیت و کیفیت هوا را نامطلوب می کنند، با نشست بر روی خاک و سطح زمین، آلودگی خاک را منجر می شوند (۸). حاشیه ها و اطراف شهرهای بزرگ نه تنها از عواقب آلودگی در امان نیستند، بلکه به خاطر داشتن موقعیت خاص و نزدیکی به کلانشهرها، پذیرای بسیاری از صنایع آلاینده هستند. استقرار صنایع آلاینده در حواشی کلانشهرها به یکی از چالش های بزرگ بشری در حال حاضر تبدیل شده است (۹).

از آنجا که فلزات سنگین برای طولانی مدت می توانند در خاک باقی بمانند، ممکن است خطرات زیست محیطی طولانی مدتی را به وجود آوردند (۱۰). بنابراین امکان جذب این فلزات توسط گیاهان وجود دارد که از این راه وارد زنجیره غذایی انسان شده و سلامت انسان را به مخاطره بیاندازد (۱۱ و ۱۲). اطلاع از مقدار و شکل فلزات سنگین موجود در خاک می تواند به اتخاذ یک تصمیم مدیریتی مناسب برای کاهش فلزهای سنگین در خاک کمک کند (۱۳).

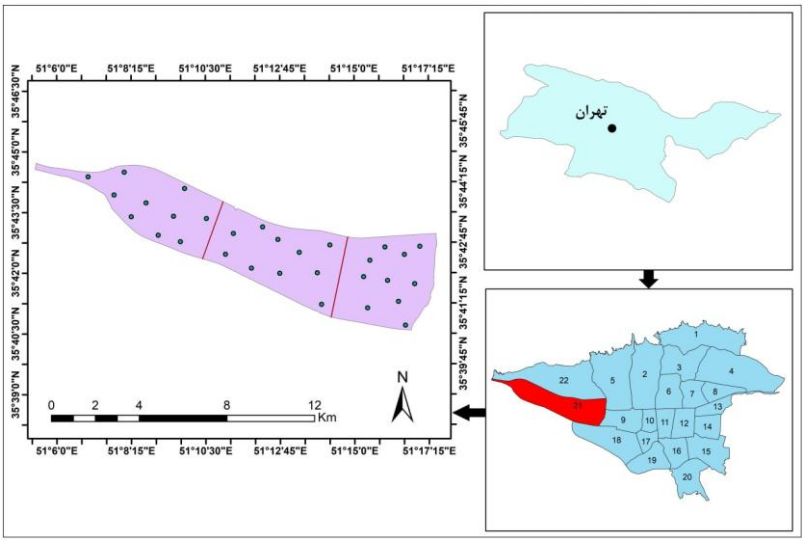
بر اساس جدیدترین گزارش بانک جهانی در سال ۲۰۱۸، تهران در میان ۶۲ شهر بزرگ جهان با شرایط نسبتاً مشابه، به لحاظ آلاینده PM_{10} در رده دوازدهم قرار دارد که رقم تأمل برانگیزی است (۱۴). شاخص عددی ذرات معلق کمتر از ۲/۵ میکرون یکی از شاخص های کاربردی برای سنجش آلودگی هوا است. اگر شاخص عددی ذرات معلق کمتر از ۲/۵ میکرون بین ۵۰ تا ۱۰۰ باشند شرایط کیفیت هوا سالم است و شرایط ناسالم برای گروههای حساس نیز به میانگین عددی ۱۰۰ تا ۱۵۰ تعلق می گیرد اما اگر اعداد از ۱۵۰ تا ۲۰۰ قرار گیرند به این شرایط کیفیت هوا وضعیت قرمز یا شرایط اضطرار گفته می شود و کیفیت هوا در این میانگین برای همه افراد ناسالم خواهد بود (۱۵). منطقه ۲۱ تهران از جمله مناطقی است که عمدتاً شاخص عددی ذرات معلق کمتر از ۲/۵ میکرون بالاتر از ۱۰۰ بوده و گاهی به بالای ۱۵۰ هم می رسد که این امر حاکی از آلوده بودن این منطقه است. این حجم از آلاینده ها در هوای منطقه و وجود صنایع مختلف در آن، احتمال وجود مقادیر بالای فلزات سنگین در خاک منطقه را بالا می برد. با وجود آن

که تحقیقات مختلفی در زمینه آلودگی هوا و آلاینده‌ها در شهرهای آلوده کشور به ویژه تهران انجام گرفته است، لیکن تا به حال تأثیر آلودگی ناشی از صنایع آلاینده موجود در منطقه ۲۱ شهرداری تهران به صورت توام بر مقدار فلزات سنگین موجود در خاک این منطقه تهران، بررسی نشده است. همچنین بررسی ها نشان می دهد که در منطقه ۲۱ شهرداری تهران، پژوهش جامعی در خصوص آلودگی عناصر سمی در خاک انجام نگرفته است. بنابراین با توجه به اهمیت این منطقه از نظر استقرار صنایع، ضروری به نظر میرسد که سطح آلودگی عناصر سرب، کادمیم و کروم در خاک منطقه مورد بررسی قرار گیرد. تا برآورد شود که وضعیت غلظت عناصر در خاک منطقه مورد مطالعه چگونه است؟ لذا هدف از انجام این تحقیق تعیین میزان آلودگی فلزات سنگین کادمیم، سرب و کروم در خاک منطقه ۲۱ شهرداری تهران با استفاده از معیارهای شاخص زمین انباشتگی، فاکتور آلودگی و شاخص آلودگی و همچنین ارزیابی وضعیت آلودگی خاک منطقه مورد مطالعه به این فلزات می-باشد.

روش بررسی

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، منطقه ۲۱ شهرداری تهران بوده که در غرب تهران و در موقعیت تقریبی '۶۸ °۳۵ تا '۷۱ °۳۵ عرض شمالی و '۱۱ °۵۱ تا '۳۱ °۵۱ طول غربی واقع شده است. میانگین ارتفاع از سطح دریا ۱۲۲۰ متر و میانگین دما و بارش سالانه به ترتیب ۱۸ درجه سانتی گراد و ۲۱۰ میلی متر می باشد. جهت باد غالب براساس داده های ایستگاه هواشناسی سینوپتیک شمال غربی است. میانگین سرعت باد در این ایستگاه ۵/۵ متر بر ثانیه می باشد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد بررسی و نقاط نمونه برداری

Figure 1. Location of the study area and sampling points

نمونه برداری و تجزیه خاک

جهت تعیین غلظت عناصر سنگین کادمیم، سرب و کروم در منطقه مورد مطالعه، نمونه برداری در ۳۰ نقطه مختلف با سه تکرار به شکل تصادفی صورت گرفت. در هر ناحیه ۱۰ نمونه از عمق ۲۰-۰ سانتی متری به صورت مرکب برداشته شد. برای این کار ابتدا یک نقطه انتخاب و از چهار نقطه در اطراف آن با فواصل ۱۰۰ متری، نمونه خاک جمع آوری شد. در ادامه همه نمونه ها با هم مخلوط و یک نمونه مرکب به دست آمد. برای انجام آزمایش های فیزیکی و شیمیائی نمونه های خاک هوا خشک شده و پس از گذراندن از الک ۲ میلی متری، آزمایش های مورد نظر روی آنها انجام گرفت (۱۶). غلظت عناصر سنگین توسط تیزاب سلطانی اندازه گیری شد (۱۷). تخمین دقیق غلظت فلزات سنگین در خاک های مختلف جهت تعیین

درجه آلودگی خاک بسیار مهم می باشد. روش تیزآب سلطانی (محلولی از اسید نیتریک غلیظ و اسید هیدروکلریک) به عنوان یک روش روتین و استاندارد برای استخراج و اندازه گیری فلزات سنگین می باشد که در خاک های مختلف کارایی استخراج آن بسیار مناسب است. با در نظر گرفتن همه عوامل مانند کارایی استخراج، حجم اسید مصرفی، تجهیزات مورد نیاز و سهولت انجام عمل هضم، روش تیزآب سلطانی به عنوان روشی مناسب برای مطالعات زیست محیطی در اغلب خاک ها توصیه می شود (۱۸). در پایان غلظت عناصر سنگین کادمیم، سرب و کروم در عصاره های به دست آمده با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل واریان ۲۲۰ اندازه گیری شد. جهت کنترل کیفیت آنالیز تعدادی نمونه استاندارد تهیه و به همراه نمونه های اصلی اندازه گیری شد و میزان بازیابی ۱۰۱-۹۶ درصد به دست آمد. همچنین درصد خطا کمتر از ۵ بود. حد تشخیص دستگاه برای عناصر کادمیم، سرب و کروم به ترتیب برابر با ۰/۰۰۲۸، ۰/۰۱۲ و ۰/۰۰۵ بود (۱۹).

محاسبه شاخص های آلودگی خاک

برای بررسی اثرات زیست محیطی عناصر سنگین بر روی خاکهای موجود در یک منطقه، لازم است که غلظت عناصر موجود در خاک با یک استاندارد شناخته شده مقایسه شود. حالت بهینه این است که با استانداردهای موجود برای همان منطقه مقایسه انجام گیرد چرا که وضعیت زمین‌شناسی و اقلیمی متفاوت در نقاط مختلف دنیا، غلظت‌های گوناگونی از عناصر سنگین ایجاد می‌کند. در ایران به دلیل عدم وجود استانداردی خاص برای درجه آلودگی خاک، بهتر است از سایر معیارها برای بررسی آلودگی خاک به عناصر سنگین استفاده شود. معیارهای متعددی ارائه شده است که به بررسی درجه آلودگی خاک می پردازند و می‌توان بر اساس آن‌ها به وجود یا عدم وجود آلودگی خاک پی برد (۲۰). از جمله این معیارها شاخص های منفرد و تجمعی آلودگی خاک است.

شاخص غنی سازی

این شاخص برای متمایز کردن آلودگی ناشی از فعالیت‌های انسان و آلودگی ناشی از عوامل طبیعی به کار می رود تا از این راه، درجه آلودگی انسان پدید را ارزیابی کند و طبق رابطه ۱ محاسبه می شود (۲۱). شاخص غنی سازی نسبت غلظت عناصر نمونه برداری شده در خاک سطحی به مقادیر میانگین همان عناصر در خاک سطحی منطقه می باشد.

$$EI=[(Pb/mPb) + (Cd/mCd) + (Cr/mCr)]/n \quad (۱)$$

که در اینجا Pb، Cd و Cr به ترتیب غلظت سرب، کادمیم و کروم در یک نقطه معین و mPb، mCd و mCr میانگین غلظت سرب، کادمیم و کروم در منطقه و n تعداد عناصر مورد بررسی است. مناطق دارای شاخص غنی سازی بیشتر از یک، به عنوان مناطق آلوده شده از طریق فعالیت های انسانی مدنظر قرار می گیرند (۲۱).

شاخص زمین انباشت

شاخص زمین انباشت آلودگی، شاخصی است که در آن غلظت فعلی و قبل از فعالیت صنعتی مورد مقایسه و ارزیابی قرار می گیرد. این شاخص می تواند درجه آلایندگی خاک را تعیین کند. این روش برای اولین بار توسط مولر در سال ۱۹۶۹ معرفی و مورد استفاده قرار گرفت و مقدار عددی آن از رابطه ۲ به دست می آید.

$$I_{geo} = \log_2 [C_i/(1.5C_{ri})] \quad (۲)$$

که در آن I_{geo}، شاخص زمین انباشت، C_i غلظت اندازه گیری شده از عنصر i در خاک و همچنین، C_{ri} مقدار غلظت زمینه مورد نظر (میانگین شیل) می باشد. غلظت متوسط عنصر شیل که به عنوان غلظت زمینه برای شاخص زمین انباشت انتخاب شده، برای عناصر سرب، کروم و کادمیم به ترتیب برابر با ۲۰، ۰/۳ و ۹۰ میلی گرم بر کیلوگرم است (۲۲ و ۲۳). ضریب ۱/۵ در مخرج این رابطه برای تاثیر دادن تغییرات احتمالی در غلظت زمینه‌ای فلز معین در محیط و همچنین اعمال اثرات بسیار کم انسان (در نتیجه این ضریب حساسیت را برای انسان پدید بودن مسئله نشان می دهد) به کار رفته است. برای این شاخص شش کلاس (جدول ۱) تعریف شده است.

جدول ۱- کلاس های شاخص زمین انباشت

Table 1. Geoaccumulation index classes

درجه آلودگی خاک	شاخص زمین انباشت	کلاس
غیر آلوده	کمتر از صفر	۰
غیر آلوده تا کمی آلوده	۱-۰	۱
کمی آلوده	۲-۱	۲
کمی آلوده تا خیلی آلوده	۳-۲	۳
خیلی آلوده	۴-۳	۴
خیلی آلوده تا شدیداً آلوده	۵-۴	۵
شدیداً آلوده	بیشتر از ۵	۶

فاکتور آلودگی

از این فاکتور به منظور بیان وضعیت آلودگی محیط نسبت به یک عنصر خاص استفاده می شود (۲۴). این روش برای اولین بار توسط هاکانسون در سال ۱۹۸۰ جهت دستیابی به ارزیابی ریسک آلودگی خاک منطقه، معرفی و مورد استفاده قرار گرفت و مقدار عددی آن از رابطه ۳ به دست می آید.

$$CF = M_x/M_b \quad (۳)$$

در این رابطه M_x میانگین غلظت فلز مورد نظر در خاک نمونه برداری شده و M_b میانگین غلظت فلز مورد نظر در خاک زمینه می باشد. آلودگی خاک مورد نظر ممکن است بر اساس شدت آن، در محدوده ۱ تا ۶ قرار گیرد (جدول ۲).

جدول ۲- کلاس های فاکتور آلودگی

Table 2. Pollution factor classes

درجه آلودگی خاک	فاکتور آلودگی
غیر آلوده	۰
غیر آلوده تا کمی آلوده	۱
کمی آلوده	۲
کمی آلوده تا خیلی آلوده	۳
خیلی آلوده	۴
خیلی آلوده تا شدیداً آلوده	۵
شدیداً آلوده	۶

غلظت زمینه

غلظت زمینه مقدار نرمال یک عنصر در مناطق غیرآلوده را بیان می کند. این غلظت یک دامنه بوده و برای تعیین آن از رابطه (mean±sdev) استفاده می شود. اما غلظت عناصر سنگین فاقد توزیع نرمال بوده و توصیه شده که برای تعیین آن از رابطه (median±2MAD) استفاده شود و مفهوم آن چنین است که در نمونه هایی که مقدار یک عنصر مشخص در آن در این محدوده قرار می گیرد، در محدوده طبیعی آن منطقه قرار می گیرند و مقادیر بیشتر از این محدوده به دلیل آلودگی یا آنومالی (Anomaly) زمین شناختی است (۲۵). حد بالای این محدوده به عنوان غلظت زمینه در نظر گرفته می شود. امروزه از این روش برای تعیین غلظت زمینه استفاده می شود (۲۶). جهت به دست آوردن غلظت زمینه منطقه مورد مطالعه، ۱۵ نمونه خاک شاهد به صورت تصادفی از عمق ۱۵۰ سانتی متری زمین در نقاط مختلف که دارای سازنده های زمین شناسی مشابهی با منطقه مورد مطالعه بوده و تحت هیچ گونه فعالیت انسانی قرار نداشته است، برداشت گردید (۲۷).

تجزیه و تحلیل آماری داده ها

آماره های توصیفی شامل میانگین، انحراف معیار، حداقل، حداکثر و ضریب تغییرات محاسبه شد. مقایسه میانگین بین واحدها بر روی داده های نرمال با استفاده از نرم افزار SAS در سطح احتمال ۵ درصد توسط آزمون دانکن انجام شد. جهت

بررسی نرمال بودن یا نبودن توزیع داده ها از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف در نرم افزار SPSS16 استفاده شد (۱۶).

یافته ها

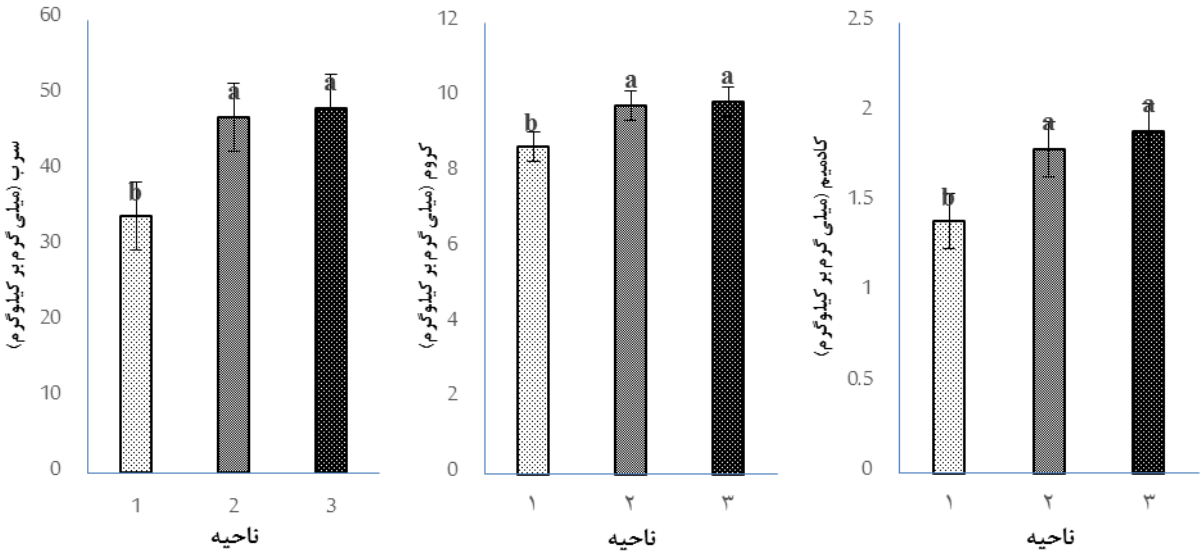
مقدار غلظت عناصر سنگین منطقه مورد بررسی در جدول ۳ آمده است. کمترین، بیشترین و میانگین مقدار سرب برای کل منطقه به ترتیب برابر با ۱۵/۷، ۹۲/۹ و ۳۸/۱ میلی گرم بر کیلوگرم بود. در مورد کروم به ترتیب کمترین، بیشترین و میانگین غلظت برابر با ۶/۴، ۱۴/۴ و ۹/۱ میلی گرم بر کیلوگرم و در مورد کادمیم نیز کمترین، بیشترین و میانگین آن برابر با ۰/۸، ۲/۹ و ۱/۶ میلی گرم بر کیلوگرم بود.

جدول ۳- وضعیت غلظت عناصر ($mg.kg^{-1}$) در منطقه

Table 3. Status of element concentrations ($mg.kg^{-1}$) in the region

ناحیه	وضعیت آماری	سرب	کروم	کادمیم
۱	حداقل	۱۵/۳	۶/۴	۰/۸
	حداکثر	۴۵/۱	۱۰/۱	۲
	میانگین	۳۴	۸/۷	۱/۴
	انحراف معیار	۱۰	۱/۷	۰/۳
۲	حداقل	۱۵/۷	۶/۹	۱/۴
	حداکثر	۷۲/۶	۱۲	۲/۷
	میانگین	۴۷/۱	۹/۸	۱/۸
	انحراف معیار	۱۴/۱	۱/۷	۰/۴
۳	حداقل	۱۶/۹	۷	۱/۴
	حداکثر	۱۰۱	۱۴/۴	۲/۹
	میانگین	۴۸/۲	۹/۹	۱/۹
	انحراف معیار	۲۳/۴	۲	۰/۳
کل منطقه	حداقل	۱۵/۷	۶/۴	۰/۸
	حداکثر	۱۰۱	۱۴/۴	۲/۹
	میانگین	۴۳/۱	۹/۴	۱/۷
	انحراف معیار	۸/۵	۱/۵	۰/۳

در مورد هر سه عنصر، کمترین مقادیر مربوط به ناحیه یک و بیشترین مقادیر مربوط به ناحیه سه بود. همچنین علیرغم بیشتر بودن مقادیر این فلزات در ناحیه سه نسبت به ناحیه دو، با این وجود این دو ناحیه در یک کلاس آماری قرار داشتند.



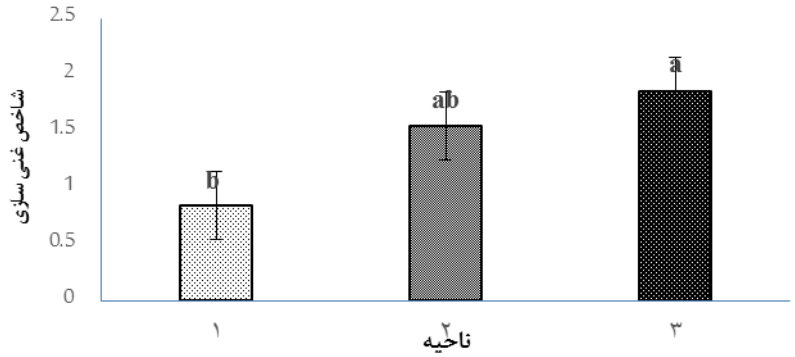
شکل ۲- مقایسه میانگین غلظت عناصر سنگین مورد بررسی در نواحی مختلف منطقه

Figure 2. Comparison mean of studied heavy elements concentrations in different areas of the region

شاخص های آلودگی

شاخص غنی سازی

این شاخص برای بیان میـزان آلـودگی از طریـق فعالیـت هـای انسانی استفاده می شود. میانگین این شاخص برای هـر یـک از نواحی مورد بررسی در شـکل ۳ آمـده اسـت. همـان طـور کـه مشخص است مقدار این شاخص برای نواحی دو و سه بیشـتر از یک است. لذا امکان آلودگی خاک هـای مـورد بررسـی در ایـن نواحی در اثر فعالیت های انسانی وجود دارد.



شکل ۳- میانگین شاخص غنی سازی غلظت عناصر سنگین مورد بررسی در نواحی مختلف منطقه

Figure 3. Enrichment index mean of studied heavy elements concentrations in different areas of the region

شاخص زمین انباشت

جدول ۴ مقادیر محاسبه شده برای شاخص زمین انباشت فلزات سنگین مورد بررسی و تعیین درجه آلودگی آنها در هر یک از نواحی منطقه مورد مطالعه را نشان می دهد. نتایج به دست آمده از این شاخص، براساس طبقه بندی مولر نشان می دهد که در مورد عنصر سرب در هر سه ناحیه، کلاس آلودگی خاک غیر آلوده تا کمی آلوده است (شاخص زمین انباشت صفر تا یک).

جدول ۴- مقادیر شاخص زمین انباشت عناصر سنگین مورد بررسی و تعیین درجه آلودگی آنها

Table 4. Geoaccumulation index values of heavy elements and determine their degree of contamination

عنصر	ناحیه ۱	ناحیه ۲	ناحیه ۳	کلاس آلودگی
سرب	۰/۱۸	۰/۶۵	۰/۶۸	غیر آلوده تا کمی آلوده
کروم	-۳/۹۵	-۳/۷۸	-۳/۷۶	غیر آلوده
کادمیم	-۲/۸	-۰/۲۲	-۰/۱۴	غیر آلوده

در مورد عناصر کادمیم و کروم، خاک های مورد بررسی در هر سه ناحیه از نظر شاخص زمین انباشت در کلاس آلودگی غیر آلوده قرار گرفتند (شاخص زمین انباشت کمتر از صفر).

فاکتور آلودگی

غلظت عناصر سنگین مورد بررسی و محدوده غلظت (median±2MAD) برای نمونه های زمینه در جدول ۵ آمده است. حد بالایی (median±2MAD) به عنوان غلظت زمینه در نظر گرفته شد. غلظت زمینه عناصر سرب، کادمیم و کروم به ترتیب ۲۴، ۱/۶ و ۸/۷ میلی گرم بر کیلوگرم برآورد شد. غلظت زمینه سرب و کادمیم بیشتر و غلظت زمینه کروم خیلی کمتر از مقادیر آنها در بخش بالایی پوسته قاره ای بود. غلظت عناصر در بخش بالایی پوسته قاره ای جهت مقایسه آورده شده است (جدول ۵).

جدول ۵- غلظت عناصر سنگین مورد بررسی و محدوده غلظت زمینه (میلی گرم بر کیلوگرم) آنها در منطقه مورد بررسی

Table 5. Concentration of studied heavy elements and their range of background concentration (mg/kg) in the study area

عنصر	حداقل	حداکثر	میانگین	میانه	انحراف معیار	میانه قدر مطلق انحرافات	median±2MAD	بخش بالایی پوسته قاره ای
سرب	۱۱/۶	۴۴	۲۱/۶	۱۸/۶	۷/۸	۲/۷	۱۳/۲۴-۲	۱۴/۸
کروم	۳/۵	۷/۹	۶	۶/۵	۱/۵	۱/۱	۴/۸-۳/۷	۱۲۶
کادمیم	۰/۸	۱/۶	۱/۳	۱/۵	۰/۳	۰/۰۷	۱/۱-۴/۶	۰/۱

جدول ۶ مقادیر فاکتور آلودگی عناصر سنگین مورد بررسی در نواحی و منطقه مورد بررسی را نشان می دهد. با توجه به نتایج این جدول، به جز در مورد کادمیم و در ناحیه یک، در سایر موارد مقدار عددی فاکتور آلودگی یک و بیشتر از یک می باشد که نشانگر غلظت بالای این عناصر نسبت به غلظت زمینه در منطقه مورد بررسی است.

جدول ۶- مقادیر فاکتور آلودگی عناصر سنگین در نواحی و منطقه مورد بررسی

Table 6. Heavy element pollution factor values in the study area and regions

عنصر	ناحیه ۱	ناحیه ۲	ناحیه ۳	منطقه
سرب	۱/۴۱	۱/۹۶	۲	۱/۷۹
کروم	۱	۱/۱۲	۱/۱۳	۱/۰۸
کادمیم	۰/۸۷	۱/۱۲	۱/۱۸	۱/۰۶

فاکتور آلودگی عناصر مورد بررسی در کل منطقه به شکلی است که آلودگی سرب بیشتر از کروم و آن هم اندکی بیشتر از کادمیم است. همچنین بیشترین فاکتور آلودگی عناصر مورد بررسی مربوط به ناحیه سه می باشد. با توجه به این نتایج می توان اظهار داشت که ناحیه دو و سه خطرپذیری بالاتری نسبت به ناحیه یک داشته و آلاینده های بیشتری (سرب، کروم و کادمیم) به این نواحی حمل شده و در خاک رسوب پیدا کرده اند.

بحث و نتیجه گیری

کادمیم، کروم و سرب از جمله عناصری هستند که غلظت آنها در خاک سطحی مناطق صنعتی و شهری در حال افزایش است. مقدار این عناصر در ناحیه دو و سه از منطقه مورد بررسی بیشتر از ناحیه یک است. در کل منطقه غلظت عناصر کادمیم، کروم و سرب در حال افزایش است که این امر می تواند نشان دهنده نقش فعالیت های انسانی و صنعتی در اضافه شدن این عناصر به خاک باشد. نیک روش و همکاران (۱۹) در سال ۱۳۹۶ به بررسی آلودگی فلزات سنگین در خاک سطحی شهرک صنعتی سمنان و اراضی اطراف آن پرداختند. ایشان منطقه مورد بررسی را براساس میزان فلزات سنگین موجود در خاک به هفت بخش تقسیم کردند و به این نتیجه رسیدند که غلظت آلاینده های موجود در خاک منطقه متفاوت است و این یافته ها با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد. این محققان بیان داشتند که عناصر سرب، روی و کادمیم از عناصری هستند که در محدوده های شهری و صنعتی، غلظت آنها در خاک سطحی افزایش پیدا می کند و تغییرات این سه عنصر تا حد زیادی با یکدیگر هماهنگ است. عظیم زاده و خادمی (۲۰) در سال ۱۳۹۲ به بررسی غلظت زمینه برای ارزیابی آلودگی برخی فلزات سنگین در خاک های سطحی بخشی از استان مازندران پرداختند. ایشان گزارش نمودند که با توجه به کلاس های ارزیابی فاکتور آلودگی، غالب نمونه های مورد مطالعه دارای غلظتی بیش از غلظت زمینه طبیعی بودند که با نتایج حاصل از این تحقیق همخوانی دارد. نقشه پراکنش فاکتور آلودگی فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه این محققین نشان داد که عناصر سرب، روی و مس تحت تاثیر فعالیت های انسانی هستند. نقشه پراکنش شاخص بار آلودگی ترسیم شده توسط این محققین نشان داد که بیشترین نگرانی موجود در ارتباط با فلزات سرب، روی و مس در مناطق شهری و اراضی حاشیه ای آن است و دیگر مناطق مورد مطالعه بار آلودگی قابل ملاحظه ای نشان ندادند. مقتدری و همکاران (۲۸) در سال ۱۳۹۸ در تحقیقی به بررسی ارزیابی آلودگی، ریسک سالمت و شاخص ریسک اکولوژیک عناصر بالقوه سمی در خاکهای سطحی بخش مرکزی شهرستان بندرعباس پرداخته و اظهار داشتند که محاسبه فاکتور غنی شدگی (EF) و نتایج تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) نشان داد که تمرکز عناصر روی، سرب، کادمیم، مس و آرسنیک در خاک های مناطق صنعتی بیشتر ناشی از عوامل انسانزاد است. نتایج مشابهی از منشاء انسان زاد و مشترک عناصر روی، سرب، کادمیم، مس و آرسنیک در خاک های اطراف کارخانه فولاد سازی سربیا گزارش شده است (۲۹). Shi و همکاران (۲۰۰۸) توزیع مکانی برخی عناصر سنگین را در خاک های سطحی شانگهای چین مورد بررسی قرار دادند. ایشان منبع ورود عناصر سنگین سرب، روی و مس را به طور عمده فعالیت های انسانی و صنعتی بیان نمودند. در شهر شانیانگ چین گزارش شده است که مقادیر زیادی آرسنیک، کادمیم و سرب از فعالیت های صنعتی و ترافیکی به خاک اضافه شده اند که این نتایج با یافته های این پژوهش همخوانی دارد (۳۱).

تجمع عناصر سنگین در نواحی دو و سه بیشتر بوده و با افزایش فاصله از محل تجمع صنایع، مقادیر این عناصر کاهش می یابد. این مهم در مقادیر برآورد شده شاخص های آلودگی نیز خود را نشان داده است. در این مطالعه، شاخص های آلودگی نمایانگر غلظت بیشتر عناصر انسان پدید در اثر فعالیت های صنعتی در محدوده منطقه مورد مطالعه می باشد. مقادیر بالاتر از یک شاخص غنی سازی برای نواحی دو و سه نشانگر امکان آلودگی خاک های مورد بررسی در این نواحی در اثر فعالیت های انسانی است. مقادیر شاخص زمین انباشتگی برای عنصر سرب در هر سه ناحیه کلاس غیر آلوده تا کمی آلوده و برای کادمیم

و کروم کلاس غیر آلوده را نشان داد. مقدار عددی فاکتور آلودگی به جز در مورد کادمیم و در ناحیه یک، در سایر موارد یک و بیشتر از یک بوده که نشانگر غلظت بالای این عناصر نسبت به غلظت زمینه در منطقه مورد بررسی است. نیک روش و همکاران (۱۳۹۶) با بررسی میزان آلودگی برخی از عناصر سنگین در خاک سطحی شهرک صنعتی سمنان به این نتیجه رسیدند که فعالیت های صنعتی ناسی از شهرک صنعتی سمنان منجر به افزایش سرب، روی و مس در برخی از نقاط مورد بررسی شده است. ایشان همچنین نشان دادند که عنصر کادمیم در خاک های سطحی شهرک صنعتی بیشترین مقدار را دارد و منشا آن را به فعالیت های صنعتی نسبت دادند. در مطالعه دیگری که بر روی ارزیابی آلودگی فلزات سنگین خاک در اطراف شهرک های صنعتی انجام شد، میزان شاخص زمین انباشتگی برای تمامی نمونه ها از جمله سرب و کروم بین ۰ تا ۱ بوده است که نشان دهنده غیر آلوده تا کمی آلوده بودن خاک ها می باشد (۳۲).

در این مطالعه شاخص های آلودگی نمایانگر غلظت بیشتر عناصر انسان پدید در اثر فعالیت های صنعتی و ترافیکی در محدوده مورد مطالعه می باشند که می توان گفت فعالیت های صنعتی منجر به تجمع مقادیر مازاد این عناصر در خاک های منطقه مورد بررسی شده است. با توجه به توسعه روزافزون شهری و صنعتی غرب تهران، خاک این منطقه شدیداً در معرض ورود عناصر سنگین قرار دارد. بنابراین بررسی منظم خاک منطقه از لحاظ عناصر سنگین و بررسی دقیق منشا این عناصر ضروری به نظر می رسد. پیشنهاد می شود که توجه ویژه به تهیه گزارش و آمار مرتبط با آلودگی خاک و پیامدهای آن در حوزه سلامت صورت پذیرد. همچنین به منظور کاهش آلایندگی خاک در مناطق آلوده تهران سیاست مناسب اتخاذ گردد.

References

1. Sufian, J., Golchin, A., Moradi, S., Jahanban, L., Gheiratie Arani, L. 2019. Growth and nutrients concentration of duckweed (Lemna minor L.) as affected by cadmium and salinity application of aqueous solutions. Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology), 32(3); 582-595. (In Persian).
2. Shayler, H., McBride, M., Harrison, E. 2009. Sources and Impacts of Contaminants in Soils. Cornell Waste Management Institute. Department of Crop and Soil Sciences; Cornell University.
3. Sufian, J. 2013. Investigation of the potential of several aquatic plants for adsorption of heavy metals arsenic and cadmium from contaminated waters with different salinity. in Soil Science, Department of Soil Science, Zanjan University, Zanjan, Iran. (In Persian).
4. Meybodi, S.M., Khorasani Esmaili, H. 2015. Biosorption of chromium by Pseudomonas sp. isolated from oil contaminated soils of Khuzestan. Biological Journal of Microorganism, 4(14); 101-110. (In Persian)
5. Zolfaghari, M., Soleimani Darjagh, M., Masoudikhah, M., Khodadad Motlagh, M., Haidarpour, A. 2012. Prevalence and antibiotic resistance of chromium- bearing microorganisms in industrial wastewaters of Qom. Journal of Qom University of Medical Sciences. 6 (2); 15-23. (In Persian).
6. Cole, P., Brad, R. 2005. Epidemiological Studies of Chrome and Cancer Mortality: A Series of Meta-Analyses. Regulatory Toxicology and Pharmacology, 43(3); 225-231.
7. Kamaludeen, S.P., Arunkumar, K.R., Avudainayagam, S., Ramasamy, K. 2003. Bioremediation of Chromium Contaminated Environments. Indian

Journal Experimental Biology, 41(9); 972-985.

8. Fasihi, H., Hamidi, M., Ostadfarag, S. 2017. Investigation of heavy metals and hydrocarbons contamination in Baghershar, Tehran, Iran. Journal of Natural Environmental Hazards, 6(12); 125-140.
9. Mohammadi, Z., Babaei, Y. 2011. The need to control the pollution of incoming effluents into the Kashfrood in Mashhad and provide appropriate solutions. National Conference on Water with Clean Water Approach, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. 3-2 March 2011.
10. Yari, M., Rahimi, G., Moradi, S., Ebrahimi, E., Sadeghi, S. 2016. Investigation effect Implementation of Municipal Solid Waste Compost on the Fractions of various Heavy Metals in Three Soil Textures. Journal of Soil Research (Soil and Water Sciences), 30(3); 329-341. (In Persian)
11. Perez, D.V., Alcantara, S., Ribeiro, C.C., Pereira, R.E., Fontes, G.C., Wasserman, M.A., Venezuela, T.C., Meneguelli, N.A., de Macedo, J.R., Barradas, C.A.A. 2007. Composted municipal waste effects on chemical properties of a Brazilian soil. Bioresource Technology, 98; 525-533.
12. Jordao, C.P., Nascentes, C.C., Cecon, P.R., Fontes, R.L., Pereira, J.L. 2006. Heavy metals availability in soil amended with composted urban solid wastes. Environmental Monitoring and Assessment, 112; 309-326.
13. Aydinalp, C., Marinova, S. 2003. Distribution and Forms of Heavy Metals in Some Agricultural Soils. Journal of Environmental Studies, 12: 629-633.
14. Heger, M., Sarraf, M. 2018. Air Pollution in Tehran: Health Costs, Sources, and Policies. Environment and Natural Resources Global Practice Discussion Paper. No. 6. World Bank, Washington, DC. © World Bank. https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/29909 License: CC BY 3.0 IGO.
15. Roshani, H., Ahadi, S., Shahbazi, H., Torbatian, S., Karimi, A. 2019. Air and sound quality report of Tehran in 1397. Report code QM98/02/01(U)/1. Air quality control company. Tehran, Iran. (In Persian)
16. Moradi, S., Rasouli-Sadaghiani, M., Sepehr, E., Khodaverdiloo, H., Barin, M. 2019. Soil nutrients status affected by simple and enriched biochar application under salinity conditions. Environmental Monitoring and Assessment. 191(4): 257: 1-13.
17. ISO/CD 11466. 1995. Soil Quality-Extraction of Trace Elements Soluble in Aqua-Regia. Switzerland: The international organization for standardization, 12 p.
18. Shahbazi, K., Beheshti, M. 2019. Study of the lime effect on the soil heavy metals recovery in aqua regia (ISO 11466 method). 16th Iranian Soil Science Congress, Zanjan, Iran. (In Persian)
19. Nikravesh, M., Karimi, A., Esfandyarpur, E., Fotovat, A. 2017. Assessment of surface soil pollution with selected heavy metals in Semnan industrial complex and surrounding areas. Journal of Natural Environment (Iranian Journal of Natural

Resources), 70(1); 211-226. (In Persian).

20. Azimzadeh, B., Khademi, H. 2013. Estimation of Background Concentration of Selected Heavy Metals for Pollution Assessment of Surface Soils of Mazandaran Province, Iran. Journal of Water and Soil, 27(3); 548-559. (In Persian)
21. Kríbek, B., Majer, V., Veselovský, F., Nyambe, I. 2010. Discrimination of lithogenic and anthropogenic sources of metals and sulphur in soils of the central-northern part of the Zambian Copperbelt Mining District: a topsoil vs. subsurface soil concept. Journal of Geochemical Exploration, 104; 69-86.
22. Wedepohl, K.H., Turekian, K.K. 1961. Distribution of the Elements in Some Major Units of the Earth's Crust. GSA Bulletin, 72(2); 175–192.
23. Hołtra, A., Zamorska-Wojdyła, D. 2020. The pollution indices of trace elements in soils and plants close to the copper and zinc smelting works in Poland's Lower Silesia. Environmental Science and Pollution Research, 27; 16086-16099.
24. Rashki, A., Kaskaoutis, D., Francois, P., Kosmopoulos, P., Legrand, M. 2015. Dust- storm dynamics over Sistan region, Iran: Seasonality, transport characteristics and affected areas. Aeolian Research, 16; 35-48.
25. Reimann, C., Filzmoser, P., Garrett, R.G. 2005. Background and threshold: critical comparison of methods of determination. Science of the Total Environment, 346; 1-16.
26. Esmaeili, A., Moor, F., Keshavarzi, B., Jaafarzadeh, N., Kermani, M. 2014. A geochemical survey of heavy metals in agricultural and background soils of the Isfahan industrial zone, Iran. Catena, 121; 88-98.
27. Sayadi, M.H., Rezaei A., Sayyed M.R.G. 2017. Grain size fraction of heavy metals in soil and their relationship with land use. Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences, 7(1); 1-11.
28. Moghtaderi, T., Mahmoudi, S., Shakeri, A., Masihabadi, M.H. 2019. Contamination evaluation, health and ecological risk index assessment of potential toxic elements in the surface soils (case study: Central Part of Bandar Abbas County). Journal of Soil and Water Resources Protection, 8(4); 51-65.
29. Dragović, R., Gajić, B., Dragović, S., Đorđević, M., Đorđević, M., Mihailović, N. 2014. Assessment of the impact of geographical factors on the spatial distribution of heavy metals in soils around the steel production facility in Smederevo (Serbia). Journal of cleaner production, 84; 550-62.
30. Shi, G., Chen, Z., Xu, S., Zhang, J., Wang, L., Bi, C., Teng, J. 2008. Potentially toxic metal contamination of urban soils and roadside dust in Shanghai, China. Environmental Pollution, 156; 251-260.
31. Li, X., Liu, L., Wang, Y., Luo, G., Chen, X., Yang, X., Guo, R., Wang, H., Cui, J., Xingyuan, H. 2013. Heavy metal contamination of urban soil in an old industrial city (Shenyang) in Northeast China. Geoderma, 192; 50-58.
32. Ogunkunle, C.O., Fatoba, P.O. 2013. Pollution loads and the ecological risk assessment of soil heavy metals around a Mega Cement Factory in

Southwest Nigeria. Polish Journal of Environmental Studies, 22; 487- 493.

1.