

آلودگی زیست بوم، سلامت انسان و زیست پالایی

توزیع مکانی و ارزیابی میزان آلودگی فلزات سنگین بر سلامت انسان در خاک‌های مناطق صنعتی اراک

عباس طاعتی^{۱*}، محمد حسن صالحی^۲، جهانگرد محمدی^۳، رضا مهاجر^۴^۱دانشجوی دکتری مهندسی علوم خاک دانشگاه شهرکرد^۲ و ^۳ استادان گروه مهندسی علوم خاک دانشگاه شهرکرد^۴ استادیار گروه کشاورزی دانشگاه پیام نور شهرکرد

چکیده

این مطالعه به منظور توزیع مکانی و ارزیابی میزان آلودگی فلزات سنگین بر سلامت انسان در خاک‌های مناطق صنعتی اراک واقع در غرب ایران انجام شد. بدین منظور ۲۳۵ نمونه خاک سطحی از عمق ۵-۱۰ سانتی متری جمع‌آوری شد. غلظت کل سرب و روی نمونه‌های خاک بعد از هضم توسط اسید نیتریک ۴ نرمال توسط دستگاه جذب اتمی تعیین شد. همچنین سطح آلودگی خاک‌های منطقه با استفاده از شاخص‌های آلودگی شامل شاخص زمین انباشتگی و فاکتور غنی‌شدگی محاسبه شد. نتایج نشان داد که توزیع مکانی آلودگی سرب و روی دارای الگوی مشابهی است، به طوری که بیشترین غلظت این عناصر در قسمت جنوب منطقه بود. مقادیر شاخص زمین انباشتگی نشان داد که منطقه مورد مطالعه دارای سطح بدون آلودگی تا آلودگی شدید است و فاکتور غنی‌شدگی در این خاک‌ها نیز نشان داد که منطقه مورد مطالعه دارای غنی‌شدگی کم تا قابل توجه است که منشأ این عناصر عمدتاً فعالیت‌های انسانی در منطقه است.

کلمات کلیدی: شاخص آلودگی، زمین انباشتگی، فاکتور غنی‌شدگی، فعالیت‌های انسانی

مقدمه

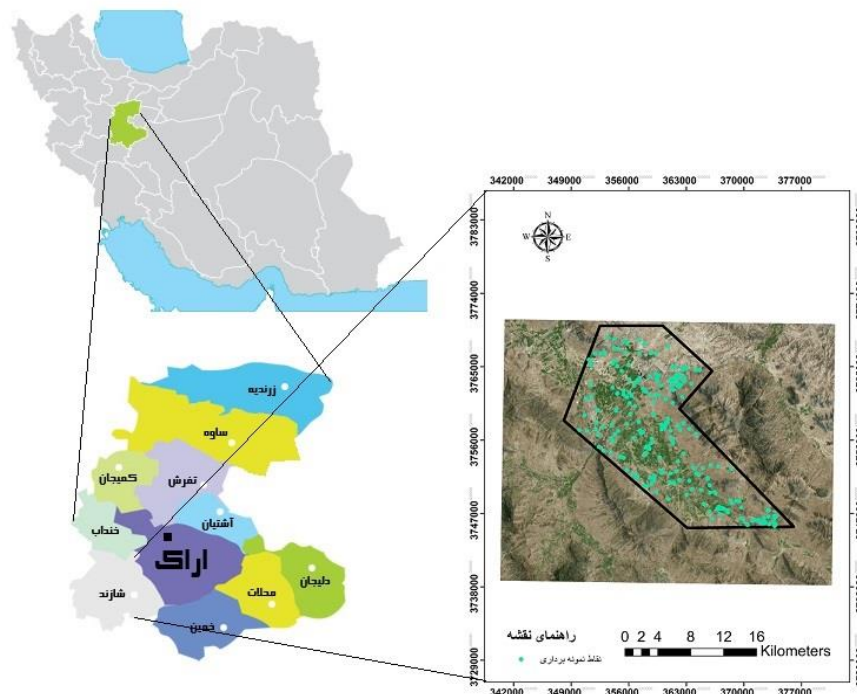
آلودگی خاک با فلزات سنگین به علت صنعتی شدن و گسترش شهرنشینی یکی از مشکلات زیست محیطی عمده در جوامع بشری است و افزایش مقدار این عناصر در خاک به دلیل غیر قابل تجزیه بودن توسط میکروارگانیسم‌های خاک، تجمع زیستی در بافت جانداران، ورود به زنجیره غذایی به یکی از نگرانی‌های بزرگ در سطح جهان تبدیل شده است و در دهه‌های اخیر مورد توجه محققان مختلفی قرار گرفته‌اند (Chen و همکاران، ۲۰۱۶). در میان فلزات سنگین، سرب، کادمیم، نیکل، آرسنیک، کبالت، جیوه، کروم، مس و روی بیشترین اثر سمی و مخرب را بر روی اکوسیستم می‌گذارند (Oves و همکاران، ۲۰۱۲). غلظت‌های بالای فلزات سنگین در خاک اثرات نامطلوبی بر سلامت انسان‌ها دارد زیرا به آسانی می‌تواند از طریق گرد و غبار یا تماس مستقیم به انسان انتقال پیدا کند (Krishna and Mohan, 2016). همچنین از طریق جذب توسط گیاهان مختلف، وارد زنجیره غذایی شده و یا از طریق نوشیدن آب‌های آلوده سلامتی انسان را به مخاطره می‌اندازد. به منظور بررسی آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از غلظت فلزات سنگین، شاخص‌های مختلفی همچون فاکتور غنی‌شدگی و شاخص زمین انباشتگی پیشنهاد شده است. Wang و همکاران (۲۰۱۶) با بررسی شاخص‌های آلودگی و پتانسیل خطر زیست محیطی در خاک‌های سطحی اطراف صنعت پتروشیمی در شینجیانگ چین بیان کردند که این خاک‌ها توسط فلزات سنگین آلوده بوده و خطر زیست محیطی بالا را نشان می‌دهند. استان مرکزی علاوه بر موقعیت خاص جغرافیایی، به سبب وجود کارخانه‌های صنعتی از جمله پالایشگاه، پتروشیمی، نیروگاه، آلومینیوم و بسیاری از شرکت‌ها و کارخانه‌های صنعتی و تولیدی، یکی از قطب‌های اصلی صنعتی کشور محسوب می‌شود و به سبب وجود صنایع فوق جزء هشت شهر آلوده کشور می‌باشد. این مطالعه با هدف توزیع مکانی و ارزیابی میزان آلودگی فلزات سنگین بر سلامت انسان در خاک‌های مناطق صنعتی اراک انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه به وسعت ۳۴۰۰۰ هکتار بخشی از اراضی اطراف مجموعه صنایع پالایشگاه امام خمینی (ره)، پتروشیمی، نیروگاه حرارتی برق و معدن سرب و روی عمارت در منطقه شازند است که در ۲۵ کیلومتری غرب شهرستان اراک واقع شده است. این منطقه در محدوده‌ی طول جغرافیایی ۲۲° ۴۹' تا ۳۷° ۴۹' شرقی و عرض جغرافیایی ۵۰° ۳۳' تا ۰۳' ۳۴° شمالی قرار دارد. که در سیستم UTM در زون ۳۹ قرار گرفته است. متوسط ارتفاع از سطح دریا ۱۹۰۰ متر و متوسط بارندگی منطقه طبق آمار ایستگاه هواشناسی شازند ۴۲۷ میلی‌متر گزارش شده است. میانگین دمای

* ایمیل نویسنده مسئول: taatyabbas@yahoo.com

سالیانه نیز ۱۲/۱ درجه سانتیگراد است. رژیم رطوبتی منطقه زیریک و رژیم حرارتی مزیک است. از نظر پتروگرافی و چینه‌شناسی، رخنمون‌های قابل مشاهده شامل دو نوع سازندهای آذرین و سازندهای رسوبی می‌باشد. در این تحقیق از روش نمونه‌برداری تصادفی طبقه‌بندی شده استفاده شد. در مجموع تعداد ۲۳۵ نمونه خاک سطحی از عمق ۵-۰ سانتی‌متری جمع‌آوری شد. پراکنش نقاط نمونه برداری در شکل ۱ نشان داده شده است نمونه‌های خاک پس از انتقال به آزمایشگاه، هواخشک شده و از الک دو میلی‌تر عبور داده شد و مقدار کل فلزات سنگین به روش هضم با اسید نیتریک ۴ نرمال عصاره‌گیری (Sposito و همکاران، ۱۹۸۲) و مقادیر سرب، کادمیم توسط دستگاه جذب اتمی مدل GBC 932plus قرائت شد. تمامی تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS 22.0 صورت گرفت. برای تهیه نقشه توزیع مکانی فلزات سنگین از روش کریجینگ معمولی در نرم افزار 10.3 ArcGIS استفاده شد.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه و پراکنش نقاط نمونه‌برداری

شاخص‌های ارزیابی آلودگی

فاکتور غنی‌شدگی (EF)

این فاکتور به طور گسترده‌ای برای مشخص کردن میزان تأثیر فعالیت‌های انسانی استفاده می‌شود. فاکتور غنی‌شدگی با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$EF = \frac{(C_n/C_{ref})_{sample}}{(B_n/B_{ref})_{background}} \quad (1)$$

در این رابطه C_n غلظت عنصر در نمونه مورد مطالعه و C_{ref} غلظت عنصر مرجع در نمونه مورد مطالعه، که معمولاً از آهن و آلومینیوم که کمترین سطح آلودگی انسانی را دارند استفاده می‌شوند. و B_n و B_{ref} به ترتیب غلظت عنصر مورد نظر و مرجع در زمینه (خاک یا پوسته زمین) می‌باشند. EF بیشتر از

۱۰ منشأ عناصر از منابع غیر طبیعی و انسان‌زاد را بیان می‌کند (Wang و همکاران، ۲۰۱۵). پنج گروه آلودگی بر اساس میزان فاکتور غنی‌شدگی بیان شده است. اگر $EF < 2$ (غنی‌شدن کم)، $EF = 2-5$ (غنی‌شدن متوسط)، $EF = 5-20$ (غنی‌شدن قابل توجه)، $EF = 20-40$ (غنی‌شدن خیلی زیاد)، $EF > 40$ (غنی‌شدن فوق العاده زیاد).

شاخص زمین انباشتگی (Igeo)

این شاخص به طور گسترده‌ای برای اندازه‌گیری درجه آلودگی فلزات سنگین در خاک مورد استفاده قرار گرفته است (Yuan و همکاران، ۲۰۱۷). این شاخص با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Muller, 1969).

$$I_{geo} = \log_2 \left[\frac{C_n}{1.5B_n} \right] \quad (2)$$

در این رابطه C_n غلظت اندازه‌گیری شده عنصر در نمونه‌های خاک و B_n غلظت زمینه‌ای ژئوشیمیایی همان عنصر می‌باشد. به منظور تصحیح و کاستن اثرات مواد مادری خاک و نوسانات طبیعی و همچنین برای تعیین اثرات انسان‌زاد بسیار کوچک، از ضریب ۱/۵ در معادله استفاده می‌شود. طبقه‌بندی مقادیر شاخص زمین انباشتگی در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- طبقات آلودگی بر اساس شاخص زمین انباشتگی

کلاس	مقدار	درجه آلودگی
۰	$I_{geo} < 0$	غیر آلوده
۱	۱-۰	غیر آلوده تا آلودگی متوسط
۲	۲-۱	آلودگی متوسط
۳	۳-۲	آلودگی متوسط تا شدید
۴	۴-۳	آلودگی شدید
۵	۵-۴	آلودگی شدید تا خیلی شدید
۶	$I_{geo} > 5$	آلودگی خیلی شدید

در این مطالعه به دلیل عدم ارائه مقدار زمینه عناصر در منطقه مورد مطالعه و حتی در کشور، از مقادیر متوسط پوسته زمین استفاده شد (Rodríguez و همکاران، ۲۰۰۹).

نتایج و بحث

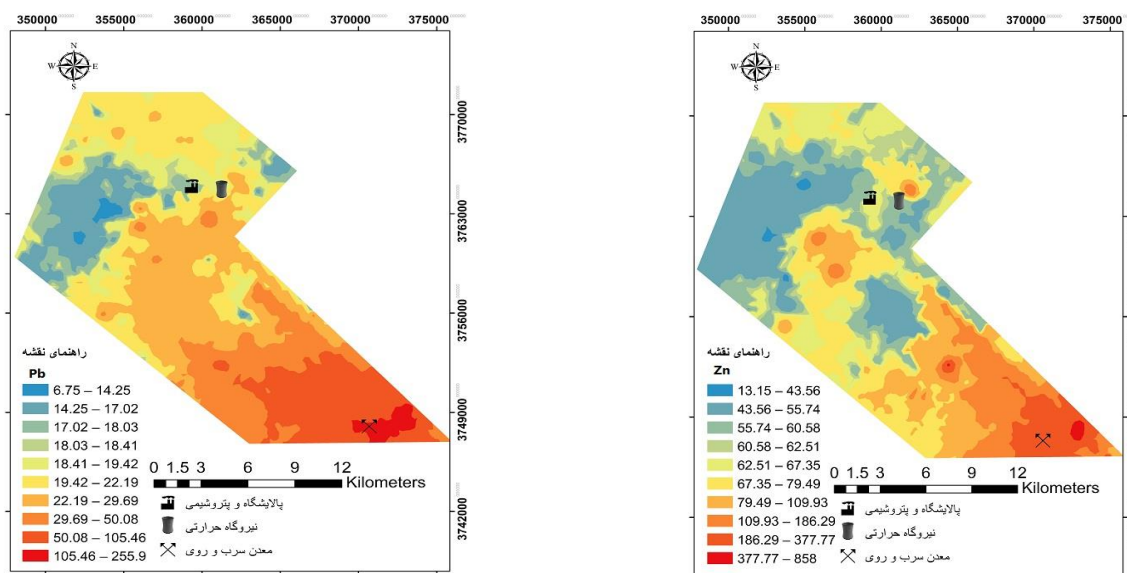
غلظت سرب و روی همراه با استاندارد کشور سوئد و متوسط پوسته زمین در جدول ۲ آمده است. با توجه به این که کشور سوئد استانداردهای سخت‌گیرانه‌تری برای غلظت فلزات سنگین نسبت به سایر کشورها دارد در این مطالعه از این استاندارد استفاده شد. غلظت سرب و روی به ترتیب ۶/۷۵ تا ۲۵۵/۹ و ۱۳/۱۵ تا ۸۵۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر است. با مقایسه میانگین غلظت کل فلزات با استاندارد کشور سوئد مشاهده می‌شود که غلظت سرب و روی کمتر از استاندارد این کشور و بیشتر از پوسته زمین می‌باشد. درصد ضریب تغییرات عناصر سرب و روی به ترتیب ۱۱۲/۱۹ و ۱۲۵/۶ است.

جدول ۲- خلاصه آماری غلظت کل فلزات سنگین منطقه مورد مطالعه، استاندارد سوئد و متوسط پوسته زمین (میلی گرم بر کیلوگرم)

Zn	Pb	
۱۳/۱۵	۶/۷۵	حداقل
۸۵۸	۲۵۵/۹	حداکثر
۱۰۳/۰۱	۳۷/۳۳	میانگین
۱۲۹/۳۸	۴۱/۸۹	انحراف معیار
۱۲۵/۶	۱۱۲/۱۹	درصد ضریب تغییرات
۳۵۰	۸۰	استاندارد سوئد
۹۵	۲۰	متوسط پوسته زمین

نقشه توزیع مکانی فلزات سنگین

نقشه توزیع مکانی غلظت فلزات سنگین به منظور تشخیص منابع احتمالی آلاینده‌ها و مشخص کردن مناطق بالای غلظت بالای فلزات سنگین مفید می‌باشد (Martín و همکاران، ۲۰۰۶). با توجه به شکل ۲، نقشه توزیع مکانی عناصر سرب و روی از الگوی مشابهی پیروی می‌کنند. Zhang و همکاران (۲۰۱۶) بیان کردند عناصری که الگوی تغییرات مکانی مشابهی را نشان می‌دهند، به احتمال زیاد دارای منشأ یکسانی هستند. الگوی توزیع مکانی سرب و روی از قسمت جنوب (معدن سرب و روی) به سمت مرکز منطقه (پالایشگاه و نیروگاه) کاهش می‌یابد. بیشترین غلظت سرب و روی با مقدار ۲۵۵/۹ و ۸۵۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم در قسمت جنوبی منطقه، جایی که بیشترین فعالیت معدن است مشاهده می‌شود که در مقایسه با استاندارد کشور سوئد به ترتیب ۲/۵ و ۳/۲ برابر بیشتر است که این امر از لحاظ سلامتی برای افراد ساکن در منطقه خطرناک می‌باشد. Hu و همکاران (۲۰۱۸) نیز با ارزیابی فلزات سنگین در خاک‌های کشاورزی اطراف معدن سرب و روی دکسینگ چین بیشترین غلظت سرب و روی را در اطراف معدن مشاهده کردند.



شکل ۲. نقشه توزیع مکانی فلزات سنگین مورد مطالعه

مقادیر فاکتور غنی‌شدگی و شاخص زمین انباشتگی فلزات سرب و روی در جدول ۳ نشان داده شده است. شاخص زمین انباشتگی برای عنصر سرب نشان دهنده این است که منطقه مورد مطالعه در محدوده بدون آلودگی تا آلودگی شدید (۱۵/۲- تا ۳/۱) و برای روی در محدوده بدون آلودگی تا آلودگی متوسط تا شدید (۰/۹۷- تا ۲/۵۹) تغییر می‌کند. فاکتور غنی‌شدگی نیز برای عنصر سرب بین ۴/۶۹ تا ۹/۹۷ و برای روی بین ۰/۱۷ تا ۷/۰۴ تغییر می‌کند. بر اساس طبقه‌بندی Wang و همکاران (۲۰۱۵) خاک‌های منطقه مورد مطالعه دارای غنی‌شدگی کم تا قابل توجه می‌باشند. EF نزدیک به ۱ نشان می‌دهد که عناصر از منابع طبیعی منشأ گرفته‌اند. در حالیکه EF بین ۱ تا ۱۰ منشأ عناصر از منابع طبیعی و تا حدودی منابع انسان‌زاد و EF بیشتر از ۱۰ منشأ عناصر از منابع غیر طبیعی و انسان‌زاد را بیان می‌کند (Wang و همکاران، ۲۰۱۵). بر این اساس با توجه به اینکه میانگین فاکتور غنی‌شدگی عناصر سرب و روی بیشتر از یک می‌باشد می‌توان بیان کرد منشأ عناصر مورد مطالعه از منابع طبیعی (مواد مادری) و غالباً انسانی (معدن کاری در قسمت جنوب و فعالیت‌های صنعتی (پالایشگاه، پتروشیمی و نیروگاه در قسمت مرکزی منطقه است). Nekoeinia و همکاران (۲۰۱۶) با بررسی شاخص آلودگی زمین انباشتگی فلزات سنگین (مس، روی، سرب، کادمیم و نیکل) خاک‌های کشاورزی اطراف معدن سرب و روی ایرانکوه اصفهان بیان کردند که خاک‌های مورد مطالعه دارای آلودگی متوسط تا زیاد بودند.

جدول ۳- مقادیر شاخص زمین انباشتگی و فاکتور غنی‌شدگی

شاخص	مقادیر	سرب	روی
	میانگین	۰/۱۶-	۰/۹۷-
Igeo	حداقل	۲/۱۵-	۳/۴۴-
	حداکثر	۳/۱۰	۲/۵۹
	میانگین	۱/۸۱	۱/۱۵
EF	حداقل	۴/۶۹	۰/۱۷
	حداکثر	۹/۹۷	۷/۰۴

نتیجه‌گیری

ارزیابی میزان آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های مناطق صنعتی اراک نشان داد در خاک‌های این منطقه، غلظت سرب و روی کمتر از استاندارد سوئد و بیشتر از پوسته زمین است. الگوی توزیع مکانی سرب و روی نیز از قسمت جنوب (معدن سرب و روی) به سمت مرکز منطقه (پالایشگاه و نیروگاه) کاهش می‌یابد. مقادیر شاخص زمین انباشتگی نشان داد که منطقه مورد مطالعه دارای سطح بدون آلودگی تا آلودگی شدید است و میانگین فاکتور غنی‌شدگی در این خاک‌ها نشان داد که منشأ این عناصر عمدتاً فعالیت‌های انسانی در منطقه است. با توجه به غنی‌شدگی قابل توجه سرب و ورود آن از طریق زنجیره غذایی یا تنفس غبارات حاوی این عنصر به سیستم متابولیسمی انسان، در نتیجه آسیب به سیستم ایمنی، عصبی و گردش خون، پایش منظم ارزیابی آلودگی سایر فلزات در خاک منطقه به منظور کنترل انتشارات منابع آلاینده ضروری است. بنابر این پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در غبار و گیاهان موجود در منطقه، همچنین ارزیابی خطرات بهداشتی انسانی فلزات، و استفاده از شاخص‌های دیگر آلودگی انجام شود.



منابع

- Chen, H., Teng, Y., Lu, S., Wang, Y., Wu, J. and Wang, J. 2016. Source apportionment and health risk assessment of trace metals in surface soils of Beijing metropolitan, China. *Chemosphere* 144, 1002-1011.
- Hu, J., Lin, B., Yuan, M., Lao, Z., Wu, K., Zeng, Y., Liang, Z., Li, H., Li, Y., Zhu, D. and Liu, J. 2018. Trace metal pollution and ecological risk assessment in agricultural soil in Dexing Pb/Zn mining area, China. *Environmental geochemistry and health*. 41, 967-980.
- Krishna, A.K. and Mohan, K.R.. 2016. Distribution, correlation, ecological and health risk assessment of heavy metal contamination in surface soils around an industrial area, Hyderabad, India. *Environmental Earth Sciences*. 75, 1-17.
- Martín, J.A.R., Arias, M.L. and Corbí, J.M.G., 2006. Heavy metals contents in agricultural topsoils in the Ebro basin (Spain). Application of the multivariate geochemical methods to study spatial variations. *Environmental pollution*. 144, 1001-1012.
- Muller, G. 1969. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *GeoJournal*, 2, 108–118.
- Nekoeinia, M., Mohajer, R., Salehi, M.H. and Moradlou O. 2016. Multivariate statistical approach to identify metal contamination sources in agricultural soils around Pb–Zn mining area, Isfahan province, Iran. *Environmental Earth Sciences*. 75, 1-10.
- Oves, M., Khan, M.S., Zaidi, A. and Ahmad E. 2012. Soil contamination, nutritive value, and human health risk assessment of heavy metals: an overview. 1-27.
- Rodríguez, L., Ruiz, E., Alonso-Azcárate, J. and Rincón J. 2009. Heavy metal distribution and chemical speciation in tailings and soils around a Pb–Zn mine in Spain. *Journal of Environmental Management*. 90, 1106-1116.
- Sposito, G., Land, L.J., and Chang A.C. 1982. Trace metal chemistry in air-zone field soils amended with sewage sludge: I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd and Pb in solid phases. *Soil Science Society of American Journal*, 46: 260-264.
- Wang, R., Zou, X., Cheng, H., Wu, X., Zhang, C. and Kang L. 2015. Spatial distribution and source apportionment of atmospheric dust fall at Beijing during spring of 2008–2009. *Environmental Science and Pollution Research*. 22, 3547-3557.
- Wang, W., Lai, Y., Ma, Y., Liu, Z., Wang, S. and Hong C. 2016. Heavy metal contamination of urban topsoil in a petrochemical industrial city in Xinjiang, China. *Journal of Arid Land*. 8, 871-880.
- Yuan, Z., Yao, J., Wang, F., Guo, Z., Dong, Z., Chen, F., Hu, Y. and Sunahara G. 2017. Potentially toxic trace element contamination, sources, and pollution assessment in farmlands, Bijie City, southwestern China. *Environmental Monitoring and Assessment*. 189, 1-125.
- Zhang, J., Wang, Y., Liu, J., Liu, Q. and Zhou Q. 2016. Multivariate and geostatistical analyses of the sources and spatial distribution of heavy metals in agricultural soil in Gongzhuling, Northeast China. *Journal of Soils and Sediments*. 16, 634-644.



16th Iranian Soil Science Congress

University of Zanjan, Iran, August 27-29, 2019



Topic for submission: Ecosystem Pollution, Human Health and Bioremediation

Spatial Distribution and assessment of Heavy Metals Contamination on Human Health in Soils of Arak Industrial areas

Taati^{*1}, A., Salehi², M.H., Mohammadi, J.³ Mohajer, R³

¹ PhD Student, Department of Soil Science Engineering, University of Shahrekord, Iran

^{2,3} Professor, Department of Soil Science Engineering, University of Shahrekord, Iran

⁴ Assistant Department of Agriculture, Payame Noor University, Shahrekord, Iran

Abstract

This study was conducted to assess the spatial distribution and assessment of heavy metal contamination on human health in the soils of industrial areas of Arak, western Iran. For this purpose, 235 soil samples from a depth of 0-5 cm were collected. The concentration of total lead and zinc in soil samples were determined by an atomic absorption spectrometer following the digestion with 4 N nitric acid solution. The degree of Soil contaminationl was calculated using pollution indices including geo-accumulation index and enrichment factor. The results showed that spatial distribution of Pb and Zn contamination was similar, with the highest concentrations of these elements in the south of the region. The values of geo-accumulation index showed that the study area had a level of unpolluted to highly polluted, and the enrichment factor in these soils showed that the study area had minimal to significant enrichment that the source of these elements was mainly Human activities are in the region.

Keywords: Pollution Index, geo-accumulation, enrichment factor, Human activities

* Corresponding author, Email: taatyabbas@yahoo.com