



University of Tehran Press

**Journal of Environmental Studies**  
Vol. 49, No. 3, Autumn 2023

Journal Homepage: [www.Jes.ut.ac.ir](http://www.Jes.ut.ac.ir)  
Print ISSN: 1025-8620 Online ISSN 2345-6922

## Investigating the Relationship Between Bioavailability of Heavy Metals with Physical, Chemical, and Biological Characteristics of Soil in Different Land Uses

Fouzieh Beigmohammadi<sup>1</sup>, Eisa Solgi<sup>2</sup>, Mohsen Soleimani<sup>3</sup>, Aliasghar Besalatpour<sup>4</sup>

1. Department of Environment, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran, Email: [fouzieh.b.36@gmail.com](mailto:fouzieh.b.36@gmail.com)
2. Department of Environment, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran, Email: [e.solgi@malayeru.ac.ir](mailto:e.solgi@malayeru.ac.ir)
3. Department of Environment, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran, Email: [m.soleimani@iut.ac.ir](mailto:m.soleimani@iut.ac.ir)
4. Department of Soil and Water resources management, inter 3 - Institut für Ressourcenmanagement, Berlin, Germany, Email: [besalatpour@inter3.de](mailto:besalatpour@inter3.de)

### Article Info

**Research Article:**  
**Research Paper**

#### Article history:

Received 6 August 2023  
Received in revised form  
21 October 2023  
Accepted 27 October 2023  
Publish online 6 November  
2023

#### Keywords:

Arak city, Bioavailability,  
Soil land uses,  
Soil properties.

### ABSTRACT

Evaluating the bioavailability of heavy metals and determining the effective parameters of bioavailability play a key role in the management and remediation of contaminated soils. In various land uses with different soil properties (physical, chemical, and biological), there were different factors affecting heavy metals' bioavailability. The present study was conducted in order to investigate the relationship between the heavy metal's bioavailability with the physical, chemical, and biological properties of soil in agricultural, industrial, and urban land uses in Arak city. One hundred surface soil samples were randomly collected from these three land uses, and their physical, chemical, and biological parameters were measured. By statistical methods, soil properties were compared for agricultural, industrial, and urban land uses. The correlation between heavy metal bioavailability and soil properties was calculated using Spearman's test. Based on the obtained results, there was a statistically significant difference between different land uses in terms of CEC, microbial respiration, CaCO<sub>3</sub> and organic matter ( $p < 0.05$ ). Also, there was a statistically significant difference between different land uses in terms of the bioavailability of cobalt, manganese, zinc, copper, nickel and lead and the total amounts of copper, lead and zinc ( $p < 0.05$ ). In agricultural land use, clay percentage, soil pH and EC; for industrial land use, EC, the percentage of clay, sand, silt, carbonate, organic matter, CEC, and microbial respiration, and in urban land use, the percentage of silt, organic matter, microbial respiration, carbonate, CEC, and EC have a significant correlation with the metal's bioavailability. In all three investigated land uses, EC has a significant correlation with the bioavailability of heavy metals and EC is an effective parameter in all three land uses. Meanwhile, EC, CEC, soil texture, microbial respiration, carbonate, and organic matter are effective parameters in the bioavailability of heavy metals in different land uses and these parameters should be managed in order to remediate the contaminated soils. For this purpose, considering the negative correlation between carbonate and pH and the bioavailability of heavy metals, it is possible to suggest the use of lime for the remediation of the studied soils.

**Cite this article:** Beigmohammadi, F., Solgi, E., Soleimani, M., Besalatpour, A. (2023). Investigating the Relationship Between Bioavailability of Heavy Metals with Physical, chemical, and Biological Characteristics of Soil in Different Land Uses. *Journal of Environmental Studies*, 49 (3), 373- 388.  
DOI: <http://doi.org/10.22059/JES.2023.364084.1008439>

© The Author(s).

**Publisher:** University of Tehran Press.



DOI: <http://doi.org/10.22059/JES.2023.364084.1008439>

---

**Extended Summary****Introduction**

The bioavailability of heavy metals determines their toxicity (Miranda et al., 2020). Several factors, such as the type and amount of soil colloids, pH, solution ion concentration, metal cation concentration, the presence of competing metal cations, and the presence of organic and inorganic ligands are effective factors on the absorption of metals and as a result their bioavailability (Zan et al., 2013). Investigating the relationship between the bioavailability of heavy metals with the physical and chemical properties of soil can be effective in managing these parameters in order to reduce the bioavailability of heavy metals. Based on this, the current research was conducted with the aim of comparing different uses in terms of the bioavailability of heavy metals, and the relationship between the physical and chemical properties of the soil and the bioavailability of heavy metals was investigated.

**Materials and Methods****Sampling and analysis of samples**

In this study 39, 32 and 39 soil samples were collected randomly from industrial, agricultural, and urban land uses in Arak city, respectively. Soil samples were collected from depth 0 - 20 cm in urban and agricultural land uses and 0 to 15 cm in industrial land use. After air-drying and sieving the samples, soil texture (Jacob and Clarke, 2002), soil pH and EC (Rowell, 1994), organic matter (Walkley and Black, 1934), calcium carbonate (Allison and Moodie, 1965), Cation exchange capacity (Bower et al., 1952), microbial respiration (Anderson, 1982), bioavailability (Lindsay and Norvell, 1978) and total heavy metals (Solgi et al., 2020) were measured.

**Statistical analysis of data**

Kruskal-Wallis tests and One-Way analysis of variance (ANOVA) were used to compare different land uses in terms of physical and chemical properties and bioavailability of heavy metals. Spearman's tests were used to investigate the relationship between physical and chemical properties of soil and bioavailability of heavy metals.

**Discussion of Results**

The results of One-way- ANOVA test showed that there is no statistically significant difference between different land uses in terms of clay percentage, silt percentage, sand percentage and pH ( $p>0.05$ ). These results showed that there is a statistically significant difference between different land uses in terms of CEC and microbial respiration ( $p<0.05$ ). Based on the results of the Kruskal-Wallis test, there was a statistically significant difference between different land uses in terms of EC,  $\text{CaCO}_3$  and organic matter ( $p<0.05$ ). The results of the Kruskal-Wallis test showed that there was a statistically significant difference between different land uses in terms of the bioavailability of heavy metals such as cobalt, manganese, zinc, copper, nickel, and lead ( $p>0.05$ ). Also, there was a statistically significant difference in the total amounts of copper, lead and zinc between different land uses ( $p>0.05$ ), while this difference was not significant in the case of manganese, nickel, and cobalt ( $p<0.05$ ).

In agricultural land use, clay percentage, soil pH and EC have a significant relationship with the bioavailability of heavy metals. For industrial land use, the bioavailability of heavy metals has a significant correlation with soil characteristics including EC, percentage of clay, sand, silt, carbonate, organic matter, CEC and microbial respiration. In urban land use, the bioavailability of heavy metals has a significant correlation with the percentage of silt, organic matter, microbial respiration, carbonate, CEC and EC. The amount of bioavailability of cobalt, manganese and lead has a positive and significant correlation with soil EC. The city of Arak is one of the industrial cities of the country, where there are many large and pollutants industries, which are the source of the many pollutants, including heavy metals. As a result, in this study, the industrial soil shows higher concentrations of heavy metals.

One of the effective parameters on the stabilization of heavy metals in soil is organic matter; So, the mechanism of using modifiers such as biochar is to stabilize heavy metals, increase organic matter and change soil pH (Liu et al., 2022). Patterns of mobility and bioavailability in soil are different for each metal and are strongly influenced by soil parameters such as soil pH, organic matter content, mineralogy, and concentration and composition of metals in soil (de Santiago-Martín et al., 2014).

**Conclusion**

The bioavailability of heavy metals had a negative relationship with soil pH in all three land uses. Generally, due to the key role of pH in metal transfer processes, pH is mentioned as the most important factor affecting metal bioavailability in soil. Therefore, changing the pH soil is a suitable management option to improve polluted soils. Based on this, it is suggested to investigate the effect of biochar made from organic materials on pH changes and bioavailability of heavy metals in soils with different pH in this research, it is necessary to pay attention to other soil characteristics and their relationships.



## بررسی رابطه بین دستیابی زیستی فلزات سنگین با ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک در کاربری‌های مختلف

فوزیه بیگ‌محمدی<sup>۱</sup>، عیسی سلگی<sup>۲</sup>، محسن سلیمانی<sup>۳</sup>، علی اصغر بسالت پور<sup>۴</sup>

۱. گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران، رایانامه: [fouzieh.b.36@gmail.com](mailto:fouzieh.b.36@gmail.com)

۲. گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران، رایانامه: [e.solgi@malayeru.ac.ir](mailto:e.solgi@malayeru.ac.ir)

۳. گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران، رایانامه: [m.soleimani@iut.ac.ir](mailto:m.soleimani@iut.ac.ir)

۴. گروه مدیریت منابع آب و خاک، موسسه علمی پژوهشی مدیریت منابع 3 inter، برلین، آلمان، رایانامه: [besaltpour@inter3.de](mailto:besaltpour@inter3.de)

### چکیده

### اطلاعات مقاله

ارزیابی میزان دستیابی زیستی فلزات سنگین و تعیین پارامترهای موثر در دستیابی زیستی در مدیریت و اصلاح خاک‌های آلوده نقش کلیدی دارد. به نظر می‌رسد در کاربری‌های مختلف با توجه به ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی متفاوت در خاک، عوامل تاثیرگذار در میزان دستیابی زیستی فلزات سنگین در این کاربری‌ها متفاوت خواهد بود. در مطالعه حاضر که به منظور بررسی رابطه بین میزان دستیابی زیستی فلزات سنگین با خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک در کاربری‌های کشاورزی، صنعتی و شهری انجام شده است؛ شهر اراک به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شد. تعداد ۱۱۰ نمونه خاک سطحی به صورت تصادفی از این سه کاربری برداشت شد و پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی در آنها سنجش گردید. کاربری‌های کشاورزی، صنعتی و شهری با استفاده از روش‌های آماری از نظر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی مقایسه شدند. بررسی ارتباط بین میزان دستیابی زیستی فلزات سنگین با این خصوصیات به کمک آزمون اسپیرمن انجام شد. بر اساس نتایج به دست آمده بین کاربری‌های مختلف از نظر CEC، تنفس میکروبی،  $\text{CaCO}_3$  و ماده آلی اختلاف آماری معنی‌دار وجود داشت ( $p < 0.05$ ). همچنین بین کاربری‌های مختلف از نظر میزان دستیابی زیستی کبالت، منگنز، روی، مس، نیکل و سرب و مقادیر کل مس، سرب و روی اختلاف آماری معنی‌داری وجود داشت ( $p < 0.05$ ). در کاربری کشاورزی درصد رس، pH و EC خاک؛ برای کاربری صنعتی، EC، درصد رس، شن، سیلت، کربنات، ماده آلی، CEC و تنفس میکروبی و در کاربری شهری درصد سیلت، ماده آلی، تنفس میکروبی، کربنات، CEC و EC دارای همبستگی معنی‌داری با میزان دستیابی زیستی فلزات سنگین بودند. در هر سه کاربری مورد بررسی EC با میزان دستیابی زیستی فلزات سنگین دارای همبستگی معنی‌داری می‌باشد و پارامتر تاثیرگذار در هر سه کاربری می‌باشد. این در حالی است که در کاربری‌های مختلف EC، CEC، بافت خاک، تنفس میکروبی، کربنات و ماده آلی پارامترهای موثر در دستیابی زیستی فلزات سنگین هستند و جهت اصلاح خاک‌های آلوده باید مدیریت شوند. به همین منظور با توجه به ارتباط منفی بین کربنات و همچنین pH با دستیابی زیستی فلزات سنگین می‌توان استفاده از آهک و بیوچار را برای اصلاح خاک‌های مورد بررسی پیشنهاد داد.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۱۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۷/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۰۵

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۸/۱۵

### کلیدواژه‌ها:

اراک، خصوصیات خاک، دستیابی زیستی، کاربری‌های خاک.

**استناد:** بیگ‌محمدی، فوزیه؛ سلگی، عیسی؛ سلیمانی، محسن؛ بسالت پور، علی اصغر. (۱۴۰۲). بررسی رابطه بین دستیابی زیستی فلزات سنگین با ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک در کاربری‌های مختلف. نشریه محیط‌شناسی، ۴۹(۳)، ۳۸۸-۲۷۳.

DOI: <http://doi.org/10.22059/JES.2023.364084.1008439>

DOR: 20.1001.1.10258620.1402.49.3.7.1



**۱. مقدمه**

کیفیت خاک به عنوان توانایی خاک در انجام وظایف و ارائه خدمات اکوسیستمی تعریف می‌شود (Morel et al., 2014). به طور کلی، سطح حاصل‌خیزی و آلودگی خاک به عنوان دو جنبه از کیفیت خاک در نظر گرفته می‌شود (Joimel et al., 2016). خاک نقش مهمی در اکوسیستم‌ها ایفا می‌کند و منبع اصلی برای تولید مواد غذایی است، با این حال، سلامت خاک توسط آلاینده‌های زیادی از جمله فلزات سنگین تهدید می‌شود (Peng et al., 2019). بنابراین مطالعه فیزیکی و شیمیایی خاک به خاطر نقشی که ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بر بهره‌وری خاک دارند، مهم است (Kekane et al., 2015). فلزات سنگین نه تنها ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک را تحت تاثیر قرار می‌دهند بلکه فعالیت‌های زیستی و همچنین دسترسی مستقیم به تغذیه در خاک را کاهش می‌دهند (Mohammadhosseini et al., 2014). تغییر شکل شیمیایی فلزات سنگین با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک ارتباط تنگاتنگ دارد، به طوری که قابلیت دستیابی زیستی فلزات سنگین به طور عمده به شکل شیمیایی آنها در خاک بستگی دارد، در واقع شکل‌های مختلف شیمیایی فلزات سنگین در خاک؛ پایداری شیمیایی، قابلیت‌زیستی و خطرات بهداشتی متفاوت را به دنبال دارد و از طرفی ویژگی‌های خاک به طور مستقیم بر دستیابی زیستی آنها در خاک تاثیرگذار است (Tang et al., 2018). در واقع دستیابی زیستی فلزات سنگین سمیت آنها را تعیین می‌کند (Miranda et al., 2020). عوامل متعددی از جمله نوع و مقدار کلئیدهای خاک، pH، غلظت یونی محلول، غلظت کاتیونی فلز، حضور کاتیون‌های فلزی رقابت‌کننده و وجود لیگاندهای آلی و معدنی بر جذب فلزات و در نتیجه دستیابی زیستی آنها موثر می‌باشد (Zan et al., 2013). هر یک از خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک نقش مشخصی در خاک دارد به طوری که اگر خاک از نظر مواد آلی فقیر باشد، فرآیند فرسایش و آبشویی خاک افزایش می‌یابد (Tale and Ingole, 2015). pH مهم‌ترین ویژگی فیزیکی خاک است که تاثیر زیادی بر غلظت و جذب فلزات در خاک دارد (Akpoveta et al., 2010). نوع کاربری زمین، نقش مهمی در تغییرات مکانی و زمانی ویژگی‌ها و کیفیت خاک دارد (Zhao et al., 2013). مطالعه اثر نوع کاربری اراضی بر ویژگی‌های خاک از اهمیت زیادی در برنامه‌ریزی و مدیریت عرصه‌های طبیعی برخوردار است زیرا، تغییر کاربری اراضی منابع مغذی خاک را در طول یک دامنه یا منطقه تغییر می‌دهد (Jafarian et al., 2011). خاک‌های شهری اغلب با مقادیر pH بالا و همچنین مقدار زیادی مواد درشت دانه و مواد آلی بالا مشخص می‌شوند که بر دینامیک و تخلخل تاثیر می‌گذارد (Nehls et al., 2006). بنابراین تمامی کاربری‌ها تاثیر یکسانی بر کیفیت خاک ندارند (Joimel et al., 2016). خاک‌های کشاورزی در بسیاری از نقاط جهان، دارای آلودگی متوسط به فلزات سنگین مانند Ni، Zn، Cu، Cd، Pb، Cr، Co هستند. آلودگی فلزات سنگین در اکوسیستم‌های تولیدکننده مواد غذایی ناشی از کوددهی طولانی مدت و سایر فرآیندهای کشاورزی به دلیل پتانسیل خطر آن برای سلامت انسان و ارگانسیم‌ها نگرانی عمده‌ای را ایجاد کرده است (Mirzaei et al., 2020). فلزات سنگین موجود در خاک‌های سطحی شهرها ناشی از منابع مختلف (مانند ترافیک، انتشارات صنعتی و فرسایش ناشی از ساختمان‌ها) می‌تواند از طریق تنفس، بلع و جذب پوستی در بدن انسان تجمع یافته و برای سلامتی خطرساز باشد (Solgi et al., 2016). با توجه به این که بیشتر مردم در سراسر جهان در شهرها زندگی می‌کنند کیفیت محیط شهری از اهمیت حیاتی برخوردار است و آلودگی محیط‌زیست این مناطق نیاز به نظارت دقیق دارد (Solgi and Konani, 2016). بررسی ارتباط بین میزان دستیابی زیستی فلزات سنگین با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک می‌تواند در تعیین پارامترهای موثر بر دستیابی زیستی فلزات سنگین و مدیریت این پارامترها به منظور کاهش دستیابی زیستی فلزات سنگین موثر باشد.

**۲. پیشینه پژوهش**

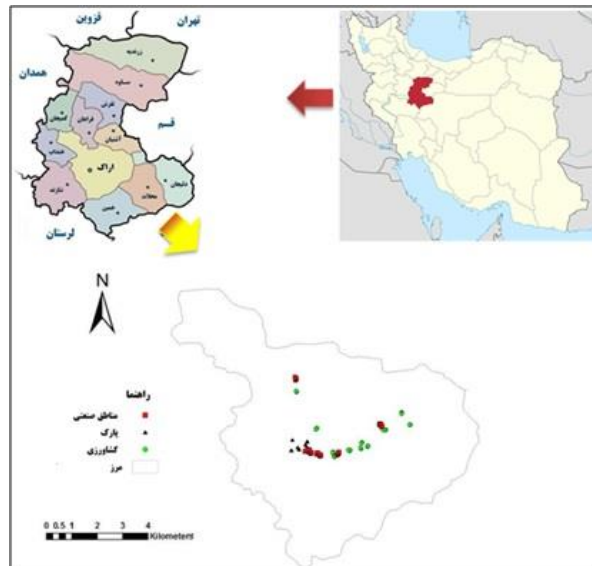
در این خصوص مطالعات زیادی انجام شده است که می‌توان به این موارد اشاره کرد. مطالعه Behbahaninia و Salmasi (۱۳۹۵) در شهرستان هشتگرد که بر اساس نتایج آن بین خصوصیات خاک کربنات کلسیم معادل همبستگی منفی معنی‌داری با دستیابی زیستی کادمیوم داشت، مطالعه Hosseini و همکاران (۱۳۹۷) در شهر یاسوج که نتایج آن حاکی از آن بود که مس با کربن آلی و آلومینیوم، کروم، منگنز با درصد رس نمونه‌های خاک همبستگی مثبت داشته‌اند، در بررسی Sungur و همکاران (۲۰۱۵) نتایج نشان داد

CaCO<sub>3</sub> pH و محتوای ماده آلی نمونه‌های خاک بیشترین همبستگی را با فلزات سنگین در اشکال مختلف داشتند و بر اساس مطالعه Yan و همکاران (۲۰۱۹) مقادیر EC، CEC و Pb به طور قابل توجهی با قابلیت دسترسی به Pb ارتباط داشتند. مطالعه حاضر با هدف مقایسه کاربری‌های مختلف از نظر میزان دستیابی زیستی فلزات سنگین و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و همچنین بررسی ارتباط بین این پارامترها انجام شد تا با تعیین پارامترهای موثر و تغییر آنها بتوان خاک‌های آلوده را اصلاح کرد.

### ۳. روش شناسی پژوهش

#### ۳-۱. منطقه مورد مطالعه

اراک به عنوان یکی از شهرهای صنعتی مهم در سطح کشور، در این پژوهش به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شد. با توجه به موقعیت صنایع در این شهرستان و نزدیک بودن آنها به مراکز مسکونی و کشاورزی، آلودگی خاک در کاربری‌های مختلف این منطقه در پژوهش‌های مختلف نشان داده شده است (Taati et al., 2020; Ghadimi, 2014). در این مطالعه کاربری‌های کشاورزی، صنعتی و شهری مورد نمونه‌برداری قرار گرفتند. شهر اراک از نظر موقعیت جغرافیایی در عرض جغرافیایی "۳۵/۴۳' ۴۶" تا "۱۲/۱۶' ۳۹" و ۴۹ طول جغرافیایی "۳۴' ۳" تا "۲۷' ۵۰" واقع شده است. در شکل ۱ موقعیت نقاط نمونه‌برداری نشان داده شده است.



شکل ۱: موقعیت نقاط نمونه برداری

#### ۳-۲. نمونه برداری و آماده سازی نمونه‌ها

در کاربری‌های صنعتی، کشاورزی و شهری به ترتیب ۳۹، ۳۲ و ۳۹ نمونه به صورت تصادفی برداشت شد. عمق نمونه‌برداری در کاربری شهری و کشاورزی ۰ تا ۲۰ سانتی‌متر و در کاربری صنعتی ۰ تا ۱۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. جهت نمونه‌برداری از هر نقطه یک پلات ۵×۵ متر در نظر گرفته شد و نمونه‌برداری به صورت مرکب انجام شد. ابتدا سطح خاک از گیاهان و علف‌ها پاکسازی و نمونه‌ها از عمق موردنظر برداشت شدند.

نمونه‌های برچسب‌گذاری و در شرایط استاندارد به آزمایشگاه منتقل شدند. پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، نمونه‌های مربوط به سنجش ویژگی‌های زیستی خاک تا زمان آنالیز در یخچال و دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. نمونه‌های مورد استفاده برای آنالیز خصوصیات فیزیکی و شیمیایی به مدت چند روز متوالی در دمای اتاق قرار گرفتند تا خشک شوند. پس از آن نمونه‌های خاک از الک مش ۱۰ برای خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و به منظور سنجش مقادیر کل فلزات سنگین از الک مش ۱۰۰ عبور داده شدند (Solgi & Khodabandelo, 2016).

### ۳-۳. بررسی خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک

در این پژوهش بافت خاک (Jacob and Clarke, 2002)، pH و EC خاک (Rowell, 1994)، ماده آلی (Walkley & Black, 1934)، کربنات کلسیم (Allison & Moodie, 1965)، ظرفیت تبادل کاتیونی (Bower et al, 1952)، تنفس میکروبی (Anderson, 1982)، مقادیر دستیابی زیستی فلزات سنگین (Lindsay & Norvell, 1978) و مقادیر کل فلزات سنگین (Solgi et al., 2020) با استفاده از دستگاه ICP-OES (مدل Agilent 735) در نمونه‌های برداشت شده اندازه‌گیری شد.

### ۳-۴. آنالیز آماری داده‌ها

پس از ورود داده‌ها به SPSS آماره‌های توصیفی برای داده‌ها محاسبه شد. پس از بررسی توزیع نرمال داده‌ها از طریق آزمون کلموگروف اسمیرنوف، به منظور مقایسه کاربری‌های مختلف از نظر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و میزان دستیابی زیستی فلزات سنگین بر اساس نرمال بودن و یا نبودن داده‌ها از آزمون‌های کروسکال والیس و تجزیه واریانس یک طرفه استفاده شد. جهت بررسی رابطه بین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک با میزان دستیابی زیستی فلزات سنگین از آزمون اسپیرمن استفاده شد.

### ۴. یافته‌های پژوهش

در جدول ۱ میانگین و انحراف معیار خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک به تفکیک کاربری‌های مورد بررسی ارائه شده است.

جدول ۱: میانگین و انحراف معیار خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک به تفکیک کاربری

خصوصیات خاک	واحد	کاربری شهری	کاربری صنعتی	کاربری کشاورزی
pH	-	۷/۸۲ ± ۰/۲۶	۷/۷۲ ± ۰/۳۱	۷/۶۵ ± ۰/۳۹
EC	μs/cm	۳۶۵/۱۰ ± ۱۴۲/۳۴	۷۷۸/۶۱ ± ۱۱۴۹/۸۳	۱۰۶۹/۵۳ ± ۱۰۹۴/۹۵
CaCO <sub>3</sub>	%	۲۳/۴۸ ± ۱۳/۱۷	۳۰/۳۳ ± ۱۵/۲۷	۳۲/۹۸ ± ۱۳/۶۸
ماده آلی	%	۳/۱۴ ± ۱/۷۲	۲/۹۷ ± ۲/۰۴	۱/۴۰ ± ۰/۶۲
شن	%	۶۴/۵۴ ± ۷/۶۵	۶۱/۴۰ ± ۱۱/۴۵	۶۱/۴۴ ± ۸/۶۶
رس	%	۱۹/۴۷ ± ۶/۶۵	۲۱/۵۳ ± ۷/۱۵	۲۱/۶۷ ± ۷/۷۶
سیلت	%	۱۵/۹۸ ± ۳/۵۰	۱۷/۰۶ ± ۵/۷۹	۱۶/۸۷ ± ۴/۶۳
CEC	mq/100g Soil	۲۹/۳۳ ± ۳/۲۰	۲۸/۲۲ ± ۵/۱۷	۳۱/۰۱ ± ۴/۵۸
تنفس میکروبی	Mg CO <sub>2</sub> /g Soil*day	۰/۸۸ ± ۰/۱۸	۰/۷۱ ± ۰/۱۶	۰/۷۸ ± ۰/۲۳

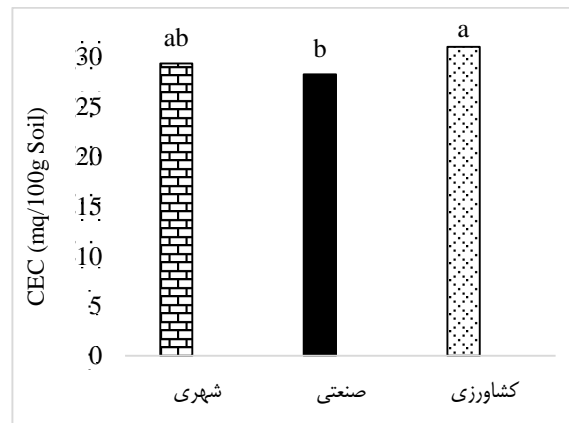
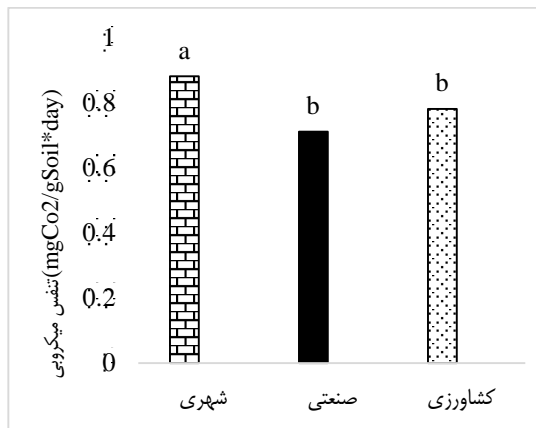
نتایج توصیفی مقادیر کل و میزان دستیابی زیستی فلزات سنگین در خاک‌های مورد بررسی به تفکیک کاربری در جدول ۲ ارائه شده است. بر اساس این نتایج دستیابی زیستی کبالت و مس در کاربری صنعتی، منگنز و نیکل در کاربری شهری و سرب و روی در کاربری کشاورزی بیشتر از سایر کاربری‌ها بود.

### ۴-۱. مقایسه کاربری‌های مختلف از نظر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک

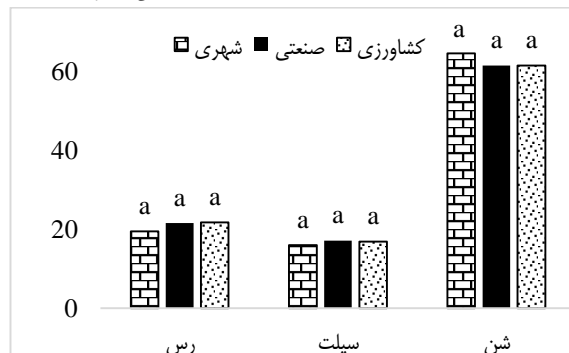
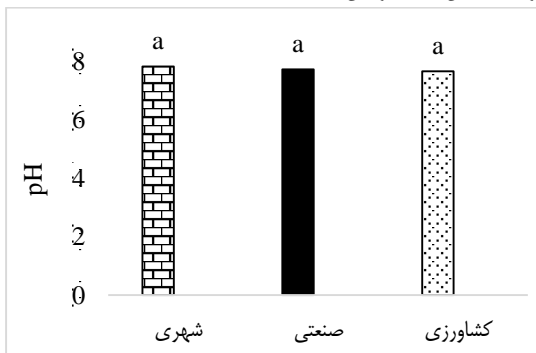
در مورد پارامترهای درصد رس، درصد سیلت و درصد شن و pH نتایج آزمون One-Way-ANOVA نشان داد. بین کاربری‌های مختلف اختلاف آماری معنی‌داری وجود نداشت ( $P > 0/05$ ). همچنین این نتایج حاکی از اختلاف آماری معنی‌داری بین کاربری‌های مختلف از نظر CEC و تنفس میکروبی بود ( $P < 0/05$ ). نتایج مقایسه میانگین در شکل ۲ ارائه شده است.

جدول ۲: میانگین و انحراف معیار مقادیر کل و میزان دستیابی زیستی فلزات سنگین خاک به تفکیک کاربری (mg/kg)

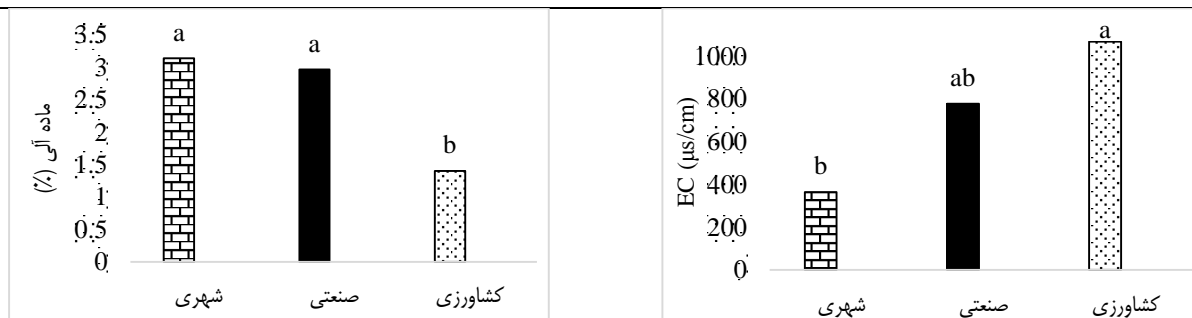
کاربری کشاورزی	کاربری صنعتی	کاربری شهری	فلزات سنگین	میزان دستیابی زیستی فلزات سنگین
۰/۲۲ ± ۰/۲۱	۰/۲۲ ± ۰/۲۳	۰/۱۹ ± ۰/۰۸	Co	میزان دستیابی زیستی فلزات سنگین
۴/۶۹ ± ۵/۹۹	۵/۳۲ ± ۹/۱۴	۲/۴۴ ± ۰/۹۸	Cu	
۱۵/۲۳ ± ۸/۸۶	۱۵/۸۴ ± ۹/۳۱	۲۰/۸۴ ± ۱۰/۲۴	Mn	
۰/۹۲ ± ۰/۸۲	۰/۸۷ ± ۰/۴۸	۱/۳۲ ± ۰/۵۳	Ni	
۴/۴۸ ± ۶/۴۱	۳/۶۳ ± ۲/۹۷	۲/۷۲ ± ۱/۵۶	Pb	
۲۴/۳۸ ± ۵۹/۰۴	۱۴/۷۳ ± ۱۶/۹۵	۵/۷۲ ± ۵/۲۰	Zn	
۱۱/۶۰ ± ۲/۹۸	۱۳/۵۵ ± ۳/۴۳	۱۱/۷۶ ± ۱/۹۸	Co	غلظت کل فلزات سنگین
۶۰/۳۱ ± ۶۵/۰۸	۶۹/۲۳ ± ۱۱۹/۰۵	۳۰/۸۳ ± ۱۰/۰۰۹	Cu	
۴۶۹/۲۵ ± ۹۶/۸۳	۵۵۲/۲۷ ± ۱۵۱/۳۴	۵۲۴/۰۳ ± ۷۳/۹۳	Mn	
۴۵/۳۱ ± ۱۰/۹۸	۵۷/۶۲ ± ۵۸/۳۴	۴۵/۲۲ ± ۸/۷۴	Ni	
۴۴/۶۰ ± ۴۹/۹۹	۴۲/۶۲ ± ۳۶/۱۰	۲۱/۱۲ ± ۱۰/۰۴	Pb	
۴۲۱/۱۰ ± ۷۴/۶۵	۲۴۱/۱۸ ± ۲۵/۳۰	۱۶۲/۷۵ ± ۴۲/۴۰	Zn	



الف: مقایسه میانگین کاربری‌های مختلف از نظر pH و درصد رس، سیلت و شن خاک



ب: مقایسه میانگین کاربری‌های مختلف از نظر pH و درصد رس، سیلت و شن خاک



ج: مقایسه میانگین کاربری‌های مختلف از نظر ماده آلی و EC خاک



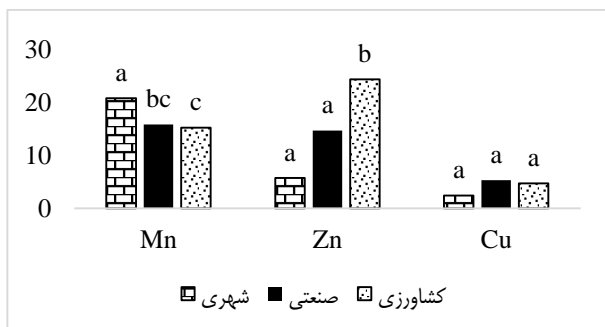
د: مقایسه میانگین کاربری‌های مختلف از نظر کربنات

شکل ۲: مقایسه میانگین کاربری‌های مختلف از نظر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

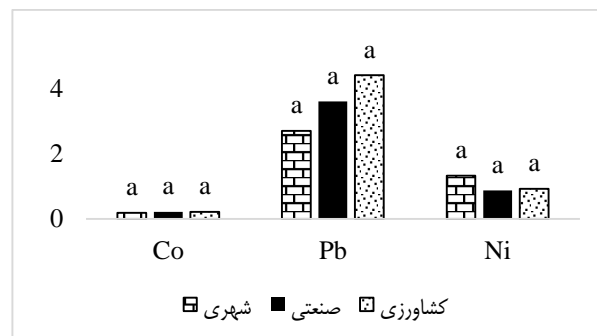
بر اساس نتایج آزمون کروסקال والیس بین کاربری‌های مختلف از نظر EC،  $\text{CaCO}_3$  و ماده آلی اختلاف آماری معنی‌دار وجود داشت ( $p < 0.05$ ). نتایج مقایسه میانگین دو به دو توسط آزمون من ویتنی یو برای این پارامترها در کاربری‌های مختلف در شکل ۲ ارائه شده است.

#### ۲-۴. مقایسه کاربری‌های مختلف از نظر مقادیر کل و میزان دستیابی زیستی فلزات سنگین

نتایج آزمون کروסקال والیس نشان داد بین کاربری‌های مختلف از نظر میزان دستیابی زیستی فلزات سنگین کبالت، منگنز، روی، مس، نیکل و سرب اختلاف آماری معنی‌داری وجود داشت ( $p < 0.05$ ). همچنین در مورد مقادیر کل مس، سرب و روی بین کاربری‌های مختلف اختلاف آماری معنی‌داری وجود داشت ( $p < 0.05$ ) در حالی که این اختلاف در مورد منگنز، نیکل و کبالت معنی‌دار نشد ( $p < 0.05$ ). نتایج آزمون من ویتنی یو جهت مقایسه کاربری‌های مختلف از نظر دستیابی زیستی فلزات سنگین در شکل ۳ ارائه شده است.

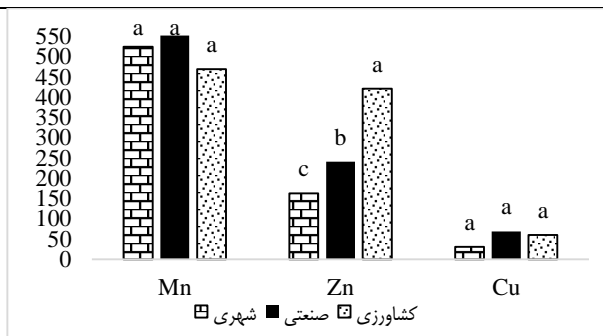


ب: مقایسه میانگین کاربری‌های مختلف از نظر دستیابی زیستی Mn و Zn، Cu

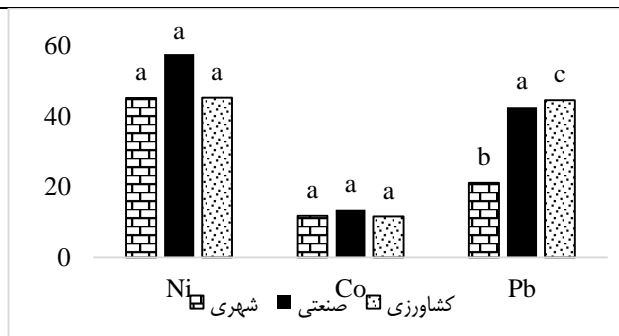


الف: مقایسه میانگین کاربری‌های مختلف از نظر دستیابی زیستی Co و Pb، Ni





د: مقایسه میانگین کاربری‌های مختلف از نظر میزان کل Mn و Zn



ج: مقایسه میانگین کاربری‌های مختلف از نظر میزان کل Ni، Co و Pb

شکل ۴: مقایسه کاربری‌های مختلف از نظر غلظت کل فلزات سنگین در خاک

### ۳-۴. بررسی ارتباط بین خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک با میزان کل و دستیابی زیستی فلزات سنگین

به منظور بررسی ارتباط و همبستگی بین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک با میزان کل و دستیابی زیستی فلزات سنگین از آزمون اسپیرمن استفاده شد. این نتایج به تفکیک کاربری در جدول‌های ۳ تا ۵ ارائه شده است. بر اساس یافته‌های به دست آمده در هر یک از کاربری‌ها میزان دستیابی زیستی فلزات سنگین با ویژگی‌های مختلفی از خاک دارای همبستگی هستند. همچنین میزان دستیابی زیستی فلزات سنگین با مقدار کل در خاک دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری هستند.

جدول ۳: همبستگی بین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک با میزان دستیابی زیستی فلزات سنگین در کاربری کشاورزی

	pH	EC	Clay	Sand	Silt	OM	CaCO <sub>3</sub>	CEC	MR	Co	Co total	Zn	Zn total	Mn	Mn total	Cu	Cu total	Ni	Ni total	Pb	Pb total
pH	۱																				
EC	-۰/۳۲	۱																			
Clay	۰/۱۷	-۰/۰۴	۱																		
Sand	۰/۱۴	-۰/۰۶	-۰/۵۵**	۱																	
Silt	-۰/۳۹*	۰/۰۳	-۰/۱۱	-۰/۷۱**	۱																
OM	-۰/۱۰	۰/۲۲	۰/۲۹	-۰/۲۰	-۰/۰۴	۱															
CaCO <sub>3</sub>	-۰/۰۲	۰/۲۲	-۰/۳۰	۰/۲۸	-۰/۱۳	-۰/۰۱	۱														
CEC	۰/۰۶	-۰/۰۲	۰/۱۳	-۰/۱۲	-۰/۰۳	-۰/۰۷	-۰/۴۰*	۱													
MR	۰/۱۹	-۰/۵۳**	۰/۲۲	-۰/۱۲	-۰/۰۴	-۰/۱۴	-۰/۳۴	۰/۲۱	۱												
Co	-۰/۳۵*	-۰/۰۵	-۰/۵۱**	۰/۰۹	۰/۳۲	-۰/۲۱	۰/۱۶	۰/۰۲	-۰/۰۳	۱											
Co total	-۰/۱۷	-۰/۰۱	-۰/۱۷	-۰/۲۹	۰/۵۰**	-۰/۱۵	-۰/۳۱	۰/۱۴	-۰/۰۳	۰/۰۹	۱										
Zn	-۰/۴۳*	۰/۳۸*	-۰/۲۸	۰/۰۲	۰/۲۵	۰/۰۲	۰/۱۴	۰/۰۵	-۰/۰۴	۰/۳۸*	-۰/۰۲	۱									
Zn total	-۰/۳۶*	۰/۱۵	-۰/۱۹	-۰/۰۵	۰/۲۹	۰/۱۶	-۰/۱۱	۰/۱۰	-۰/۱۹	۰/۴۳*	۰/۳۲	۰/۵۰**	۱								
Mn	-۰/۲۷	-۰/۰۳	-۰/۳۴	۰/۱۴	۰/۱۴	-۰/۲۷	۰/۰۶	۰/۳۹*	۰/۱۶	۰/۶۰**	۰/۱۰	۰/۵۴**	۰/۳۸*	۱							
Mn total	-۰/۴۹**	۰/۳۲	-۰/۲۴	-۰/۲۷	۰/۵۱**	۰/۰۳	-۰/۱۶	۰/۲۲	-۰/۱۵	۰/۳۴	۰/۷۲**	۰/۴۵**	۰/۶۵**	۰/۳۷*	۱						
Cu	-۰/۲۶	۰/۱۴	-۰/۱۱	۰/۰۸	۰/۰۵	-۰/۰۹	۰/۱۱	۰/۱۵	۰/۲۹	۰/۲۸	-۰/۲۷	۰/۶۱**	۰/۰۵	۰/۵۹**	۰/۰۶	۱					
Cu total	-۰/۳۶*	۰/۰۹	-۰/۱۲	-۰/۱۴	۰/۳۲	-۰/۱۹	-۰/۳۳	۰/۴۱*	۰/۲۲	۰/۳۲	۰/۵۶**	۰/۳۳	۰/۴۳*	۰/۶۰**	۰/۶۸**	۰/۴۰*	۱				
Ni	-۰/۳۲	۰/۲۰	-۰/۲۰	۰/۱۰	۰/۰۹	۰/۰۶	۰/۱۶	۰/۳۰	-۰/۰۴	۰/۳۸*	-۰/۰۵	۰/۵۹**	۰/۵۲**	۰/۷۷**	۰/۴۰*	۰/۶۴*	۰/۴۵**	۱			
Ni total	-۰/۰۱	-۰/۲۰	۰/۳۶*	-۰/۴۳*	۰/۳۱	-۰/۱۰	-۰/۵۵**	۰/۲۸	۰/۳۰	-۰/۰۴	۰/۵۸**	-۰/۲۴	۰/۰۶	۰/۱۳	۰/۲۹	-۰/۰۳	۰/۵۰**	-۰/۰۵	۱		
Pb	-۰/۲۸	۰/۳۸*	-۰/۱۸	۰/۰۳	۰/۱۲	۰/۳۳	-۰/۰۶	۰/۰۱	-۰/۱۶	۰/۲۰	۰/۱۰	۰/۵۴**	۰/۴۷**	۰/۰۸	۰/۳۳	-۰/۰۸	۰/۰۲	۰/۰۶	-۰/۲۹	۱	
Pb total	۰/۰۱	۰/۱۸	-۰/۳۴	۰/۰۷	۰/۱۴	۰/۱۵	-۰/۱۰	-۰/۰۷	-۰/۳۳*	۰/۰۶	۰/۱۴	۰/۲۲	۰/۵۶**	-۰/۰۲	۰/۲۷	-۰/۲۷	۰/۰۱	۰/۸۷	-۰/۲۷	۰/۵۷**	۱

در کاربری کشاورزی درصد رس، pH و EC خاک دارای ارتباط معنی‌داری با دستیابی زیستی فلزات سنگین هستند. به طوری که میزان دستیابی زیستی کبالت و روی با pH خاک دارای همبستگی منفی و معنی‌دار، در مورد روی و سرب این میزان با EC دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری است. همچنین میزان دستیابی زیستی کبالت دارای همبستگی منفی و معنی‌داری با درصد رس است. برای کاربری صنعتی میزان دستیابی زیستی فلزات سنگین با خصوصیات خاک شامل EC، درصد رس، شن، سیلت، کربنات، ماده آلی، CEC و تنفس میکروبی دارای همبستگی معنی‌داری است. میزان دستیابی زیستی روی، مس، نیکل و سرب با درصد شن دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار و برای مس، روی و سرب میزان دستیابی زیستی با درصد سیلت دارای همبستگی منفی و معنی‌داری است. همچنین همبستگی منفی و معنی‌داری بین میزان دستیابی زیستی نیکل با EC و کربنات خاک وجود دارد. برای CEC میزان دستیابی زیستی نیکل با این پارامتر دارای همبستگی منفی و معنی‌دار و برای سرب این همبستگی مثبت معنی‌دار به دست آمد. در مورد تنفس میکروبی نیز همبستگی بین میزان دستیابی زیستی سرب با این پارامتر منفی و معنی‌دار برآورد شد.

جدول ۴: همبستگی بین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک با میزان دستیابی زیستی فلزات سنگین در کاربری صنعتی

	pH	EC	Clay	Sand	Silt	OM	CaCO <sub>3</sub>	CEC	MR	Co	Co total	Zn	Zn total	Mn	Mn total	Cu	Cu total	Ni	Ni total	Pb	Pb total	
pH	۱																					
EC	-۰/۲۳	۱																				
Clay	-۰/۴۵**	-۰/۲۶	۱																			
Sand	-۰/۱۷	-۰/۳۳*	-۰/۷**	۱																		
Silt	-۰/۲۲	-۰/۱۹	-۰/۱۳	-۰/۷**	۱																	
OM	-۰/۴۱**	-۰/۳۰	-۰/۳*	-۰/۳۱	-۰/۰۱	۱																
CaCO <sub>3</sub>	-۰/۱۴	-۰/۶۳**	-۰/۵۷**	-۰/۴**	-۰/۰۴	-۰/۱۲	۱															
CEC	-۰/۱۵	-۰/۵۸**	-۰/۰۶	-۰/۱۳	-۰/۱۱	-۰/۰۶**	-۰/۰۴**	۱														
MR	-۰/۲۷	-۰/۲۱	-۰/۵**	-۰/۲۴	-۰/۲۱	-۰/۴۰*	-۰/۰۴**	-۰/۰۰۷	۱													
Co	-۰/۱۶	-۰/۱۶	-۰/۱۲	-۰/۰۴	-۰/۰۲	-۰/۱۳	-۰/۱۵	-۰/۱۶	-۰/۰۱	۱												
Co total	-۰/۱۷	-۰/۳۵*	-۰/۰۷	-۰/۱۲	-۰/۳۴*	-۰/۰۵**	-۰/۱۳	-۰/۰۶**	-۰/۰۲۷	-۰/۰۰۷	۱											
Zn	-۰/۱۰	-۰/۰۹	-۰/۲۱	-۰/۴۵**	-۰/۰۵**	-۰/۲۷	-۰/۰۶	-۰/۲۶	-۰/۱۷	-۰/۱۵	-۰/۲۳	۱										
Zn total	-۰/۱۳	-۰/۱۶	-۰/۱۶	-۰/۴۳**	-۰/۰۶**	-۰/۱۰	-۰/۱۰	-۰/۱۴	-۰/۰۲۸	-۰/۰۰۳	-۰/۰۶**	-۰/۰۴**	۱									
Mn	-۰/۱۵	-۰/۲۵	-۰/۰۷	-۰/۱۰	-۰/۱۴	-۰/۲۷	-۰/۲۷	-۰/۲۸	-۰/۰۰۴	-۰/۰۶**	-۰/۱۱	-۰/۴۷**	-۰/۲۳	۱								
Mn total	-۰/۲۷	-۰/۴۳**	-۰/۰۶	-۰/۱۵	-۰/۳۵*	-۰/۰۴**	-۰/۱۸	-۰/۰۶**	-۰/۰۲۲	-۰/۰۰۳	-۰/۰۸۷**	-۰/۲۸	-۰/۴۷**	-۰/۱۶	۱							
Cu	-۰/۲۴	-۰/۰۰۲	-۰/۳۱*	-۰/۵۵**	-۰/۰۴**	-۰/۲۱	-۰/۱۴	-۰/۱۴	-۰/۰۰۴	-۰/۱۵	-۰/۲۷	-۰/۴۴**	-۰/۴۰*	-۰/۲۱	-۰/۲۸	۱						
Cu total	-۰/۱۳	-۰/۲۲	-۰/۱۹	-۰/۴۵**	-۰/۰۵**	-۰/۱۷	-۰/۲۰	-۰/۰۴۵**	-۰/۰۱۵	-۰/۰۰۲	-۰/۰۶۷**	-۰/۳۲*	-۰/۶۶**	-۰/۰۹	-۰/۵۲**	-۰/۷۵**	۱					
Ni	-۰/۱۲	-۰/۵۹**	-۰/۳۶*	-۰/۴۴**	-۰/۰۲۳	-۰/۱۹	-۰/۰۷**	-۰/۰۷**	-۰/۰۱۱	-۰/۰۰۶	-۰/۰۵۷**	-۰/۱۰	-۰/۳۵*	-۰/۱۹	-۰/۵۶**	-۰/۵۰**	-۰/۶۰**	۱				
Ni total	-۰/۲۶	-۰/۲۸	-۰/۳۴*	-۰/۲۹	-۰/۰۵	-۰/۳۵*	-۰/۰۴**	-۰/۱۵	-۰/۰۴۵**	-۰/۰۳۱	-۰/۰۰۳	-۰/۰۰۲	-۰/۰۰۵	-۰/۰۴۱**	-۰/۱۲	-۰/۴۰*	-۰/۲۰	-۰/۴۱**	۱			
Pb	-۰/۰۸	-۰/۲۳	-۰/۰۷	-۰/۳۶*	-۰/۰۵**	-۰/۰۴*	-۰/۲۲	-۰/۰۵۲**	-۰/۰۳۵*	-۰/۰۱۷	-۰/۰۰۷	-۰/۰۶۸**	-۰/۵۲**	-۰/۳۶*	-۰/۰۰۸	-۰/۳۲*	-۰/۱۷	-۰/۲۴	-۰/۱۱	۱		
Pb total	-۰/۱۲	-۰/۰۲	-۰/۱۱	-۰/۴۴**	-۰/۰۶**	-۰/۰۰۲	-۰/۰۰۳	-۰/۰۰۳	-۰/۰۳۲*	-۰/۰۰۶	-۰/۰۵۲**	-۰/۰۶۲**	-۰/۰۸۲**	-۰/۱۱	-۰/۳۷*	-۰/۰۵۱**	-۰/۰۷**	-۰/۲۵	-۰/۱۲	-۰/۶۵**	۱	

در کاربری شهری میزان دستیابی زیستی فلزات سنگین با درصد سیلت، ماده آلی، تنفس میکروبی، کربنات، CEC و EC دارای همبستگی معنی‌دار می‌باشد. میزان دستیابی زیستی کبالت، منگنز و سرب با EC خاک دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری است. بر اساس این نتایج دستیابی زیستی کبالت، روی، منگنز، نیکل و سرب دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با درصد ماده آلی در خاک و دستیابی زیستی فلزات سنگین کبالت، روی، منگنز، نیکل و سرب با CEC خاک دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری است. تنفس میکروبی با میزان دستیابی زیستی کبالت، منگنز و نیکل دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری می‌باشد. در مورد درصد سیلت نیز همبستگی مس مثبت و معنی‌دار ارزیابی شد.

جدول ۵: همبستگی بین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک با میزان دستیابی زیستی فلزات سنگین در کاربری شهری

	pH	EC	Clay	Sand	Silt	OM	CaCO <sub>3</sub>	CEC	MR	Co	Codatal	Zn	Zntotal	Mn	Mntotal	Cu	Cu total	Ni	Nitotal	Pb	Pbtotal	
pH	۱																					
EC	-۰/۴۴**	۱																				
Clay	-۰/۱۵	-۰/۱۲	۱																			
Sand	-۰/۰۲	-۰/۱۶	-۰/۷۸**	۱																		
Silt	-۰/۱۹	-۰/۲۲	-۰/۰۸	-۰/۶۵**	۱																	
OM	-۰/۱۰	-۰/۴۰**	-۰/۰۲	-۰/۰۲	-۰/۰۳	۱																
CaCO <sub>3</sub>	-۰/۰۵	-۰/۲۶	-۰/۱۸	-۰/۰۴	-۰/۱۷	-۰/۱۲	۱															
CEC	-۰/۱۷	-۰/۳۶*	-۰/۳۶*	-۰/۲۳	-۰/۰۴	-۰/۵۴**	-۰/۱۶	۱														
MR	-۰/۰۱	-۰/۱۳	-۰/۰۲	-۰/۰۲	-۰/۱۳	-۰/۲۳	-۰/۰۲	-۰/۱۵	۱													
Co	-۰/۱۱	-۰/۳۸*	-۰/۰۷	-۰/۰۲	-۰/۰۹	-۰/۵۷**	-۰/۰۱	-۰/۵۷**	-۰/۴۷**	۱												
Co total	-۰/۲۱	-۰/۳۴*	-۰/۴۵**	-۰/۰۸	-۰/۳۳*	-۰/۴۱**	-۰/۰۷	-۰/۴۲**	-۰/۳۱	-۰/۳۱	۱											
Zn	-۰/۰۸	-۰/۲۶	-۰/۱۷	-۰/۲۰	-۰/۰۰۲	-۰/۴۰*	-۰/۱۴	-۰/۳۴*	-۰/۲۰	-۰/۳۸*	-۰/۱۲	۱										
Zn total	-۰/۱۴	-۰/۳۱	-۰/۲۹	-۰/۲۳	-۰/۰۴	-۰/۱۶	-۰/۴۱**	-۰/۱۶	-۰/۰۳	-۰/۲۲	-۰/۱۰	-۰/۵۳**	۱									
Mn	-۰/۰۱	-۰/۳۶*	-۰/۱۷	-۰/۱۳	-۰/۰۹	-۰/۶۳**	-۰/۰۶	-۰/۵۶**	-۰/۴۷**	-۰/۷۷**	-۰/۱۰	-۰/۵۸**	-۰/۰۷	۱								
Mn total	-۰/۱۱	-۰/۳۳*	-۰/۲۸	-۰/۳۳*	-۰/۱۱	-۰/۲۵	-۰/۵۴**	-۰/۱۹	-۰/۱۸	-۰/۳۴*	-۰/۸۴**	-۰/۰۲	-۰/۲۳	-۰/۰۱	۱							
Cu	-۰/۱۶	-۰/۰۷	-۰/۲۹	-۰/۰۱	-۰/۳۹*	-۰/۲۲	-۰/۴۲**	-۰/۰۹	-۰/۲۷	-۰/۱۷	-۰/۰۷	-۰/۶۳**	-۰/۵۶**	-۰/۳۵*	-۰/۱۲	۱						
Cu total	-۰/۱۷	-۰/۳۳*	-۰/۱۸	-۰/۰۱	-۰/۱۲	-۰/۱۲	-۰/۶۷**	-۰/۱۴	-۰/۰۱	-۰/۲۲	-۰/۲۹	-۰/۳۸*	-۰/۸۳**	-۰/۰۲	-۰/۴۷**	-۰/۶۵**	۱					
Ni	-۰/۲۲	-۰/۳۱	-۰/۱۲	-۰/۰۵	-۰/۲۶	-۰/۶۲**	-۰/۳۳*	-۰/۳۸*	-۰/۴۴**	-۰/۵۵**	-۰/۱۲	-۰/۴۶**	-۰/۱۰	-۰/۷**	-۰/۰۰۶	-۰/۴۴**	-۰/۲۴	۱				
Ni total	-۰/۰۱	-۰/۵۱**	-۰/۱۳	-۰/۱۶	-۰/۰۴	-۰/۴*	-۰/۵۶**	-۰/۲۶	-۰/۳۱*	-۰/۳۵*	-۰/۶۶**	-۰/۲۵	-۰/۳۰	-۰/۲۸	-۰/۵۲**	-۰/۰۴	-۰/۵۱**	-۰/۰۴	۱			
Pb	-۰/۲۰	-۰/۳۸*	-۰/۲۱	-۰/۲۹	-۰/۱۱	-۰/۳۳*	-۰/۱۷	-۰/۳۵*	-۰/۱۰	-۰/۲۵	-۰/۳۷*	-۰/۶۸**	-۰/۳۸*	-۰/۳۵*	-۰/۲۶	-۰/۵۰**	-۰/۱۲	-۰/۲۵	-۰/۴۴**	۱		
Pb total	-۰/۲۴	-۰/۰۲	-۰/۲۳	-۰/۳۱*	-۰/۱۹	-۰/۰۵	-۰/۰۸	-۰/۰۶	-۰/۰۳	-۰/۰۷	-۰/۲۷	-۰/۴۶**	-۰/۷**	-۰/۰۳	-۰/۲۰	-۰/۴۷**	-۰/۴۳**	-۰/۰۰۶	-۰/۰۸	-۰/۷۴**	۱	

## ۵. بحث

بر اساس نتایج به دست آمده بین درصد ماده آلی در خاک کشاورزی و شهری اختلاف آماری معنی داری وجود داشت که با نتایج Naghibi و همکاران (۲۰۲۳) همخوانی دارد. ماده آلی در خاک کشاورزی کمتر از دو کاربری دیگر بود. سطح ماده آلی در یک خاک به کمک فرآیندهایی همچون فرسایش، شستشو و توازن بین ورودی و خروجی ماده آلی کنترل می شود (Paustian et al., 2019). در خاک‌های کشاورزی بخش زیادی از ماده آلی از طریق محصولات زراعی خارج می شود. همچنین فرسایش و شستشو ناشی از آبیاری بیشتر از خاک سایر کاربری‌ها است. در نتیجه در بررسی حاضر درصد ماده آلی در خاک کاربری کشاورزی کمتر از دو کاربری دیگر بود.

خاک در کاربری کشاورزی و شهری دارای اختلاف آماری معنی داری از نظر هدایت الکتریکی است که با نتایج Naghibi و همکاران (۲۰۲۳) و Taati و همکاران (۲۰۲۳) همخوانی دارد. در کاربری کشاورزی میانگین EC بالاتر است. هدایت الکتریکی خاک که نشان دهنده شوری خاک است تحت تاثیر فرآیندهایی مانند آبشویی قرار دارد. کوددهی یکی از عوامل تاثیرگذار در خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های کشاورزی از جمله هدایت الکتریکی است (Salem et al., 2020). افزون بر این از نظر تنفس میکروبی خاک شهری با دو کاربری دیگر اختلاف آماری معنی داری داشت و میزان تنفس میکروبی در خاک شهری بیشتری برآورد شد. میکروبیوتا در فضاهای سبز شهری زیربنای خدمات اکوسیستمی است که برای سلامت محیط زیست و رفاه انسان ضروری است. با این حال، عوامل شکل دهنده جوامع میکروبی در فضاهای سبز شهری، به ویژه آن‌هایی که با فیلوسفر چمن زار مرتبط هستند، هنوز به خوبی شناخته نشده اند (Yan et al., 2020). استفاده از پساب و کودهای آلی و حیوانی یکی از عوامل آلودگی میکروبی در خاک فضاهای سبز شهری است (Khamisabadi et al., 2019). همچنین بین درصد کربنات در خاک کشاورزی با کاربری شهری تفاوت آماری معنی داری وجود دارد و میزان کربنات در خاک کشاورزی بیشتر از کاربری صنعتی و پارک شهری است. در خاک کشاورزی به دلیل آبیاری احتمال کربناته شدن بیشتر وجود دارد که شامل انحلال دی اکسید کربن در آب است. در این فرآیند ابتدا اسید کربنیک  $H_2CO_3$  از واکنش  $H_2O$  با  $CO_2$  تشکیل

می‌شود و با تنفس ریشه یا فعالیت میکروبی در محلول خاک آزاد می‌شود. سپس اکسیدهای بازی از طریق واکنش با اسید کربنیک به کربنات تبدیل می‌شوند که نقش موثری در حل کردن برخی از مواد معدنی سنگ‌ها مانند کربنات‌های کلسیم و منیزیم به اشکال محلول در آب دارد (Hartemink, 2018). خاک کاربری کشاورزی و صنعتی از نظر CEC دارای اختلاف آماری معنی‌داری است و مقدار آن در خاک کشاورزی بیشتر می‌باشد که با نتایج Gabarron و همکاران (۲۰۱۹) همخوانی دارد. CEC می‌تواند تحت تاثیر ویژگی‌های خاک از جمله بافت خاک، pH، کانی شناسی و مواد آلی خاک باشد (Khaledian et al., 2017) و بر ویژگی‌های خاک اثر بگذارد از جمله می‌تواند مستقیماً بر تغییرات pH خاک تاثیرگذار باشد، زیرا هر بار که ذرات رس کاتیون‌ها را جذب می‌کنند یون‌های  $H^+$  و  $Al^{3+}$  را آزاد می‌کنند که در غلظت‌های بالا خاک را اسیدی می‌کند. به طور کلی، خاک‌های با درصد شنی بالا و pH پایین دارای CEC پایین هستند (Lorandi and Aprile, 2012). بخش زیادی از تغییرات ظرفیت تبادل کاتیونی به مقدار رس خاک وابسته است و با وجود مقدار رس بالاتر سطح ویژه و ظرفیت تبادل کاتیونی افزایش می‌یابد (Mozaffari et al., 2020). در خاک‌های کشاورزی مورد مطالعه در این پژوهش درصد رس بالاتر از سایر کاربری بود و در نتیجه انتظار می‌رود ظرفیت تبادل کاتیونی خاک کشاورزی نیز مقدار بالاتری باشد. بین کاربری‌های مورد بررسی از نظر میزان دستیابی زیستی روی و منگنز اختلاف آماری معنی‌داری وجود دارد. بر اساس نتایج حاصل، میزان دستیابی زیستی منگنز در خاک کاربری شهری با دو کاربری دیگر دارای اختلاف آماری معنی‌داری هستند. در مورد روی، خاک کشاورزی با دو کاربری دیگر اختلاف آماری معنی‌داری داشت. همچنین مقادیر کل فلزات سنگین در کاربری صنعتی بیشتر از دو کاربری دیگر است. به جز سرب که در کاربری کشاورزی بالاتر است. شهر اراک یکی از شهرهای صنعتی کشور است که صنایع بزرگ و آلاینده زیادی در آن وجود دارد که منبع تولید آلاینده‌های مختلف از جمله فلزات سنگین است. در نتیجه خاک صنعتی در این مطالعه از نظر آلودگی فلزات سنگین مقادیر بالاتر را در خود جای داده است. مطالعات مختلف Taati و همکاران (۲۰۲۰)؛ Solgi، (۲۰۱۵)؛ Solgi و همکاران (۲۰۱۲)، منبع آلودگی فلزات سنگین در خاک اراک را حضور صنایع در نزدیکی مراکز مسکونی گزارش کردند. از جمله هر یک از صنایع به عنوان منبع آلودگی یکی از فلزات سنگین محسوب می‌شوند؛ به عنوان مثال فلزات مختلفی مانند Cu، Pb، Cr، Cd، Ni، Zn در تولید آلیاژها و فولادها مورد استفاده قرار می‌گیرند (Li et al., 2009). مقادیر کل سرب و روی در این کاربری‌ها، دارای اختلاف آماری معنی‌داری می‌باشد که با نتایج Afshari و همکاران (۲۰۱۶) همخوانی دارد و مخالف با نتایج Taati و همکاران (۲۰۲۳) است که به بررسی مقایسه میانگین غلظت فلزات در کاربری‌های مختلف پرداختند و نتایج نشان از تاثیر یکسان کاربری اراضی بر تجمع و غلظت As، Pb، Cu و Zn دارد، ولی در مورد Cd و Ni بیان‌کننده تاثیر متفاوت کاربری اراضی بر تجمع این فلزات بود. بخش زیادی از زمین‌های کشاورزی شهر اراک در حاشیه صنایع و بزرگراه اراک- قم قرار دارند و به همین جهت از نظر آلودگی سرب ظرفیت بالقوه‌ای برای خاک این کاربری وجود دارد. Khaleghi و همکاران (۲۰۱۹) نیز در بررسی خود روی خاک زمین‌های کشاورزی بزرگراه اراک- قم به این نتیجه رسیدند و عنوان کردند که، از عوامل موثر بر آلودگی سرب در حاشیه جاده‌ها نوع وسیله نقلیه، مقدار سرب افزایشی به بنزین، اقلیم (جهت باد و میزان بارندگی)، نزدیکی به سایر منابع آلاینده، عمر جاده و تراکم ترافیک جاده ذکر شده است. فلز سرب یکی از فلزات سنگینی است که تحت تاثیر باد انتشار می‌یابد و جریان ترافیکی و خودروها مهم‌ترین عامل انتشار آن هستند (Tabibian et al., 2019). نتایج بررسی Taghizadeh و Taghizadeh (۲۰۱۹) در پهنه‌بندی آلودگی‌های فلزی شهر اراک نشان دادند که توزیع اغلب آلودگی‌های فلزی از جمله سرب در خارج از محدوده مناطق صنعتی عمده است. که این مناطق در اطراف شهر و زمین‌های کشاورزی است.

بر اساس نتایج آزمون اسپیرمن بین میزان دستیابی زیستی فلزات سنگین و درصد ماده آلی در خاک همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت. مواد آلی یکی از پارامترهای موثر بر تثبیت فلزات سنگین است و معمولاً مکانیسم استفاده از اصلاح‌کننده‌هایی مانند بیوجار برای تثبیت فلزات سنگین افزایش ماده آلی خاک و تغییر در پارامترهایی چون pH در خاک است (Liu et al., 2022). فلزات متصل به بخش آلی ممکن است بسته به نوع ماده آلی که به آن متصل هستند، کم و بیش در دسترس زیستی باشند، مانند اسید فولویک (FA) که بسیار محلول است و اسیدهای هیومیک که کمتر محلول هستند (Kaninga et al., 2020). Wang و همکاران (۲۰۱۰) در ارزیابی خود از تاثیر وزن مولکولی مواد آلی محلول بر دستیابی زیستی مس به این نتیجه رسیدند که مواد آلی با وزن مولکولی بالا کمپلکس‌های پایدار را با یون‌های مس تشکیل می‌دهند که به آسانی در دسترس گیاهان نیستند. در واقع ماده آلی می‌تواند فلزات را از طریق تشکیل

کمپلکس‌های پایدار فلز- هوموس بی حرکت کند و همچنین می‌تواند با افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک و فراهم کردن کلات‌های فلزی و افزایش حلالیت فلز در محلول خاک، دسترسی آنها به گیاهان را افزایش دهد (de Santiago-Martín et al., 2014). این نقش دوگانه به ترکیب ماده آلی، ویژگی‌های فلز و غلظت آن بستگی دارد (Cattani et al., 2006). هدایت الکتریکی برای تخمین غلظت نمک محلول در خاک استفاده می‌شود و معمولاً به عنوان معیار شوری استفاده می‌شود (Tale and Ingole, 2015). در خاک کشاورزی و شهری ارتباط مثبت و معنی‌داری بین هدایت الکتریکی خاک و میزان دستیابی زیستی سرب، روی و منگنز وجود داشت که با نتایج Salem و همکاران (۲۰۲۰) همخوانی دارد. در حالی که این ارتباط برای نیکل در خاک صنعتی منفی و معنی‌دار بود. Salmasi و Pyrowan (۲۰۲۱) و همچنین Mico و همکاران (۲۰۰۶) نیز در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که نیکل با هدایت الکتریکی خاک دارای همبستگی منفی و معنی‌داری است. الگوهای تحرک و دستیابی زیستی در خاک برای هر فلز متفاوت است و به شدت تحت تاثیر پارامترهای خاک مانند pH خاک، محتوای مواد آلی، کانی‌شناسی و غلظت و ترکیب فلزات در خاک است (de Santiago-Martín et al., 2014). به طور کلی شوری در خاک منجر به تشکیل کمپلکس‌های آلی فلزی محلول مربوط می‌شود که به تحرک فلزات و افزایش میزان دستیابی زیستی فلزات سنگین کمک می‌کند (Gabarron et al., 2019). در هر سه کاربری مورد بررسی همبستگی منفی و معنی‌داری بین کربنات و میزان دستیابی زیستی برخی از فلزات سنگین مشاهده شد. کربنات کلسیم موجب تثبیت فلزات سنگین و کاهش دستیابی زیستی آنها در خاک می‌شود و در برخی خاک حتی به عنوان اصلاح‌کننده به خاک اضافه می‌شود (Xu et al., 2021). همان‌گونه که حضور فلزات سنگین در خاک بر فعالیت میکروارگانیسم‌ها تاثیرگذار است، فعالیت میکروارگانیسم نیز بر تحرک فلزات سنگین تاثیر دارد. برخی باکتری‌ها کلسیم را به شکل  $\text{CaCO}_3$  رسوب می‌دهند، بنابراین می‌توان از آنها به طور موثر برای به دام انداختن سایر فلزات سنگین و تشکیل ترکیب فلزات سنگین- کربنات استفاده کرد که موجب تثبیت فلزات سنگین می‌شود (Li et al., 2014). بنابراین در خاکی که تنفس میکروبی بالاتر باشد دستیابی زیستی فلزات سنگین کمتر است که در کاربری صنعتی و کشاورزی با دستیابی زیستی برخی فلزات سنگین دارای همبستگی منفی و معنی‌داری است. این هم بستگی در کاربری شهری که مقدار کربنات کلسیم در آن پایین است مثبت می‌باشد. میزان دستیابی زیستی فلزات سنگین با pH خاک در هر سه کاربری دارای ارتباط منفی بود که این ارتباط در مورد روی و کبالت در کاربری کشاورزی منفی و معنی‌دار می‌باشد که با نتایج Ali و همکاران (۲۰۱۹) و Salem و همکاران (۲۰۲۰) همخوانی دارد. در مقادیر pH پایین میزان دستیابی زیستی فلزات سنگین افزایش می‌یابد (Xu et al., 2021). غالباً به دلیل نقش کلیدی pH در فرآیندهای انتقال فلزات‌ها، pH به عنوان مهمترین عامل موثر بر فراهمی زیستی فلز در خاک ذکر می‌شود (Kaninga et al., 2020). بین میزان دستیابی زیستی فلزات سنگین با CEC رابطه مثبت و معنی‌داری در هر سه کاربری وجود دارد که با نتایج Gabarrón و همکاران (۲۰۱۹) همخوانی دارد. CEC اندازه‌گیری توانایی خاک در اتصال یا نگهداری کاتیون‌های قابل تعویض است (Olorunfemi et al., 2018). بنابراین در خاک‌های با CEC بالاتر میزان دستیابی زیستی کاتیون‌ها از جمله فلزات سنگین افزایش می‌یابد به طوری که میزان پایین ظرفیت تبادل کاتیونی خاک در گیاه پالایی یک عامل محدودکننده است و مقدار بالای آن موجب افزایش دستیابی زیستی فلزات سنگین برای گیاه می‌شود (Cui et al., 2021). در کاربری صنعتی دستیابی زیستی فلزات سنگین (روی، مس، نیکل و سرب) با شن دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری است. به طور کلی، خاک‌های درشت دانه تمایل کمتری به جذب عناصر کمیاب نسبت به خاک‌های ریزدانه دارند (Hooda, 2010).

## ۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش در هر سه کاربری کشاورزی، شهری و صنعتی pH خاک بیشترین همبستگی را با میزان دستیابی زیستی فلزات سنگین داشت بنابراین به منظور اصلاح خاک‌های آلوده در کاربری‌های مورد بررسی بیش از سایر پارامترها pH خاک باید مورد توجه قرار گیرد. به طوری که به نظر می‌رسد با تغییر در pH خاک و افزایش آن از تغییر افزودن مواد آلی مانند بیوجار می‌توان دستیابی زیستی فلزات سنگین را در خاک کاهش داد. بر این اساس پیشنهاد می‌گردد در خاک‌هایی با pH متفاوت و تحت تیمار با بیوجار

ساخته شده از مواد آلی این موضوع بررسی شود. در این پژوهش‌ها لازم است به ارتباط بین ویژگی‌های خاک با یکدیگر نیز توجه شود.

## ۷. تشکر و قدردانی

این اثر تحت حمایت مادی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (INSF) برگرفته شده از طرح شماره ۴۰۰۱۹۱۷ انجام شده است و مستخرج از رساله دکتری است.

## ۸. منابع

- Afshari, A., Khademi, H., & Ayoubi, S. (2016). The Fractionation of Some Heavy Metals in Calcareous Soils Affected by Land Uses of Central Area of Zanjan Province (Northwest of Iran). *Water and Soil*, 30(5), 1489-1501. (inPersian).
- Akpoveta, O. V., Osakwe, S. A., Okoh, B. E., & Otuya, B. O. (2010). Physicochemical characteristics and levels of some heavy metals in soils around metal scrap dumps in some parts of Delta State, Nigeria. *Journal of applied sciences and environmental management*, 14(4).
- Ali, A., Guo, D., Jeyasundar, P. G. S. A., Li, Y., Xiao, R., Du, J., ... & Zhang, Z. (2019). Application of wood biochar in polluted soils stabilized the toxic metals and enhanced wheat (*Triticum aestivum*) growth and soil enzymatic activity. *Ecotoxicology and environmental safety*, 184, 109635.
- Allison, L.E., & Moodie, C.D. (1965). Carbonat. In *Methods of Soil Analysis, Part 2*, Black, C.A.(ed), American Society of Agronomy:Madison ,Wisc,1379-1396.
- Anderson, J. P. E. (1982). Soil Respiration. Part 2. In: *Method of Soil Analysis: Chemical Analysis*, (Eds.): Miller, R. H. and Keeney, D. R. Soil Science Society of America, Madison, WI. PP. 831-872.
- Aprile, F., & Lorandi, R. (2012). Evaluation of cation exchange capacity (CEC) in tropical soils using four different analytical methods. *Journal of Agricultural Science*, 4(6), 278.
- Behbahaninia, A., Salmasi, R. (2016). Investigation on Heavy Metals Concentrations and Determination of Their Relations with Soil Properties around Hashtrood Town, East Azerbaijan Province. *Journal of Environmental Science and Technology*, 18(2), 59-69. (inPersian).
- Bower, C.A., Reitmeir, R.F., & Fireman, M. (1952). Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. *Soil Science*, 73, 251-261.
- Cattani, I., Fragoulis, G., Boccelli, R., & Capri, E. (2006). Copper bioavailability in the rhizosphere of maize (*Zea mays* L.) grown in two Italian soils. *Chemosphere*, 64(11), 1972-1979.
- Cui, X., Mao, P., Sun, S., Huang, R., Fan, Y., Li, Y., ... & Li, Z. (2021). Phytoremediation of cadmium contaminated soils by *Amaranthus Hypochondriacus* L.: The effects of soil properties highlighting cation exchange capacity. *Chemosphere*, 283, 131067.
- de Santiago-Martín, A., Valverde-Asenjo, I., Quintana, J. R., Vázquez, A., Lafuente, A. L., & González-Huecas, C. (2014). Carbonate, organic and clay fractions determine metal bioavailability in periurban calcareous agricultural soils in the Mediterranean area. *Geoderma*, 221, 103-112.
- Gabarrón, M., Zornoza, R., Martínez-Martínez, S., Muñoz, V. A., Faz, Á., & Acosta, J. A. (2019). Effect of land use and soil properties in the feasibility of two sequential extraction procedures for metals fractionation. *Chemosphere*, 218, 266-272.
- Ghadimi, F. (2014). Assessment of heavy metals contamination in urban topsoil from Arak industrial City, Iran. *Journal of Tethys*, 2(3), 196-209.
- Hartemink, A. E. (2018). *World Soils Book Series. The Soils of Iran. Switzerland: Springer Nature.*
- Hooda, P. S. (Ed.). (2010). *Trace elements in soils* (Vol. 618). Chichester: Wiley.
- Hosseini, M., Adhami, E., Owliaie, H R. (2018). Changes of Available Cadmium Over time and its Relationship with Soil Properties in Highly Calcareous Soils. *Water and soil sciences*. 22 (1),127-142. (inPersian).
- Jacob, H & Clarke, G. (2002). No Title. Edited by Jacob H. Dane and G. Clarke Topp. SSSA Book Series. Madison, WI, USA: Soil Science Society of America. <https://doi.org/10.2136/SSSABOOKSER5.4>.
- Jafarian, Z., Shabanzadeh, S., Kavian, A., & Shokri, M. (2011). Study Changes of Soil Physical and Chemical Characteristics in Three Adjacent Land Use Including Forest, Rangeland and Agricultural Land. *Renewable Natural Resources Research*, 2(2), 71-90. (inPersian).
- Joimel, S., Cortet, J., Jolivet, C. C., Saby, N. P. A., Chenot, E. D., Branchu, P., ... & Schwartz, C. (2016). Physico-chemical characteristics of topsoil for contrasted forest, agricultural, urban and industrial land uses in France. *Science of the Total Environment*, 545, 40-47.

- Kaninga, B. K., Chishala, B. H., Maseka, K. K., Sakala, G. M., Lark, M. R., Tye, A., & Watts, M. J. (2020). mine tailings in an African tropical environment—mechanisms for the bioavailability of heavy metals in soils. *Environmental geochemistry and health*, 42, 1069-1094.
- Kekane, S. S., Chavan, R. P., Shinde, D. N., Patil, C. L., & Sagar, S. S. (2015). A review on physico-chemical properties of soil. *International Journal of Chemical Studies*, 3(4), 29-32.
- Khaledian, Y., Brevik, E. C., Pereira, P., Cerdà, A., Fattah, M. A., & Tazikeh, H. (2017). Modeling soil cation exchange capacity in multiple countries. *Catena*, 158, 194-200.
- Khaleghi, S., Safadoust, A., & Kolahchi, Z. (2019). Pollution Status of Some Heavy Metals in an Agricultural Land Along Arak-Qom Highway. *Iranian Journal of Soil Research*, 33(3), 387-400. (inPersian).
- Khamisabadi, A., Parvanak, K., & Nasrabadi, M. (2019). Effect of the Use Treated Wastewater on Microbial Contamination of Soils of Urban Landscapes. *Environmental Health Engineering*, 7 (1), 42-52. (inPersian).
- Li, F., Fan, Z., Xiao, P., Oh, K., Ma, X., & Hou, W. (2009). Contamination, chemical speciation and vertical distribution of heavy metals in soils of an old and large industrial zone in Northeast China. *Environmental geology*, 57, 1815-1823.
- Li, Q., Csetenyi, L., & Gadd, G. M. (2014). Biomineralization of metal carbonates by *Neurospora crassa*. *Environmental science & technology*, 48(24), 14409-14416.
- Lindsay, W. L., & Norvell, W. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil science society of America journal*, 42(3), 421-428.
- Liu, M., Zhu, J., Yang, X., Fu, Q., Hu, H., & Huang, Q. (2022). Biochar produced from the straw of common crops simultaneously stabilizes soil organic matter and heavy metals. *Science of the Total Environment*, 828, 154494.
- Micó, C., Recatalá, L., Peris, M., & Sánchez, J. (2006). Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area by multivariate analysis. *Chemosphere*, 65(5), 863-872.
- Miranda, L. S., Ayoko, G. A., Egodawatta, P., Hu, W. P., Ghidan, O., & Goonetilleke, A. (2021). Physico-chemical properties of sediments governing the bioavailability of heavy metals in urban waterways. *Science of the Total Environment*, 763, 142984.
- Mirzaei, M., Marofi, S., Solgi, E., Abbasi, M., Karimi, R., & Riyahi Bakhtyari, H. R. (2020). Ecological and health risks of soil and grape heavy metals in long-term fertilized vineyards (Chaharmahal and Bakhtiari province of Iran). *Environmental Geochemistry and Health*, 42, 27-43.
- Mohammadosseini, M., Bahmanpour, H., & Lotfi, S. (2018). Investigation and identification of types and amounts of heavy metals in soil of an industrial area. *Journal of Chemical Health Risks*, 4(4).
- Morel, J. L., Chenu, C., & Lorenz, K. (2015). Ecosystem services provided by soils of urban, industrial, traffic, mining, and military areas (SUITMAs). *Journal of soils and sediments*, 15, 1659-1666.
- Mozaffari, H., Moosavi, S. A. A., & Sepaskhah, A. (2020). Effect of Land Use on of Some Physical and Chemical Properties of a Calcareous Soil. *Iranian Journal of Soil Research*, 33(4), 525-540. (inPersian).
- Naghibi, J., Baghernejad, M., Abtahi, A., Mousavi, A.A., & Zarei, M. (2023). Evaluation of the effect of different land uses and soil physical and chemical characteristics on the amount of Lead in Shiraz urban watershed soils using geostatistics and digital soil mapping. *Watershed research*. doi: 10.22092/wmrj.2023.361155.1519 (inPersian).
- Nehls, T., Jozefaciuk, G., Sokołowska, Z., Hajnos, M., & Wessolek, G. (2006). Pore- system characteristics of pavement seam materials of urban sites. *Journal of plant nutrition and soil science*, 169(1), 16-24.
- Olorunfemi, I. E., Fasinmirin, J. T., & Akinola, F. F. (2018). Soil physico-chemical properties and fertility status of long-term land use and cover changes: A case study in Forest vegetative zone of Nigeria. *Eurasian Journal of Soil Science*, 7(2), 133-150.
- Paustian, K., Collier, S., Baldock, J., Burgess, R., Creque, J., DeLonge, M., ... & Jahn, M. (2019). Quantifying carbon for agricultural soil management: from the current status toward a global soil information system. *Carbon Management*, 10(6), 567-587.
- Peng, J., Biswas, A., Jiang, Q., Zhao, R., Hu, J., Hu, B., & Shi, Z. (2019). Estimating soil salinity from remote sensing and terrain data in southern Xinjiang Province, China. *Geoderma*, 337, 1309-1319.
- Rowell, D.L. (1994). *Soil science: Method and application*. Longman Group, London, p 345.
- Salem, M. A., Bedade, D. K., Al-Ethawi, L., & Al-Waleed, S. M. (2020). Assessment of physiochemical properties and concentration of heavy metals in agricultural soils fertilized with chemical fertilizers. *Heliyon*, 6(10).
- Salmasi, R., & Pyrowan, H. (2021). Soil Pollution to Some Heavy Metals and Their Relation with Soil Properties in Sareskand, East Azarbayjan. *Journal of Environmental Science and Technology*, 23(4), 97-106. (inPersian).
- Solgi, E. (2015). Assessment of copper and zinc contamination in soils of industrial estates of Arak region (Iran). *Iranian Journal of Toxicology*, 9, 1277-1283.
- Solgi, E., & Khodabandelo, H. (2016). Cadmium and lead disruption in soils around the hegmatan cement factory, Iran. *Health Scope*, 5(2).

- Solgi, E., & Konani, R. (2016). Assessment of lead contamination in soils of urban parks of Khorramabad, Iran. *Health Scope*, 5(4).
- Solgi, E., Esmaili-Sari, A., Riyahi-Bakhtiari, A., & Hadipour, M. (2012). Soil contamination of metals in the three industrial estates, Arak, Iran. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 88, 634-638.
- Solgi, E., Keramaty, M., & Solgi, M. (2020). Biomonitoring of airborne Cu, Pb, and Zn in an urban area employing a broad leaved and a conifer tree species. *Journal of Geochemical Exploration*, 208, 106400.
- Solgi, E., Roohi, N., & Kouroshi-Gholampour, M. (2016). A comparative study of metals in roadside soils and urban parks from Hamedan metropolis, Iran. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 6,
- Sungur, A., Soylak, M., & Ozcan, H. (2015). Investigation of Heavy Metal Mobility and Availability by the BCR Sequential Extraction Procedure: Relationship between Soil Properties and Heavy Metals Availability. *Chemical Speciation & Bioavailability*. 26 (4), 219-30.
- Taati, A., Salehi, M. H., Mohammadi, J., & mohajer, R. (2023). Investigating the origin and potential ecological risk of heavy metals in different land-uses in West of Arak, Markazi Province. *Applied Soil Research*, 10(4), 120-135. (inPersian).
- Taati, A., Salehi, M. H., Mohammadi, J., Mohajer, R., & Díez, S. (2020). Pollution assessment and spatial distribution of trace elements in soils of Arak industrial area, Iran: Implications for human health. *Environmental Research*, 187, 109577.
- Tabibian, S., Bidarigh, S., & Torabian, S. Y. (2019). Investigation on the adsorption of heavy metal in lead in a plane species in traffic areas in Rasht. *Human & Environment*, 17(4), 39-46.
- Taghizadeh, M., & Taghizadeh, M. (2019). Investigation of Bioaccumulation of Heavy Metals Concentration in Arak Metropolitan. *Journal of Research in Environmental Health*, 5(1), 31-42. (inPersian).
- Tale, K. S., & Ingole, S. (2015). A review on role of physico-chemical properties in soil quality. *Chemical Science Review and Letters*, 4(13), 57-66.
- Tang, W., Xia, Q., Shan, B., & Ng, J. C. (2018). Relationship of bioaccessibility and fractionation of cadmium in long-term spiked soils for health risk assessment based on four in vitro gastrointestinal simulation models. *Science of the Total Environment*, 631, 1582-1589.
- Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science*, 37(1), 29-38.
- Wang, X., Chen, X., Liu, S., & Ge, X. (2010). Effect of molecular weight of dissolved organic matter on toxicity and bioavailability of copper to lettuce. *Journal of Environmental Sciences*, 22(12), 1960-1965.
- Xu, D. M., Fu, R. B., Wang, J. X., Shi, Y. X., & Guo, X. P. (2021). Chemical stabilization remediation for heavy metals in contaminated soils on the latest decade: Available stabilizing materials and associated evaluation methods-A critical review. *Journal of Cleaner Production*, 321, 128730.
- Yan, K., Dong, Z., Wijayawardena, M. A., Liu, Y., Li, Y., & Naidu, R. (2019). The source of lead determines the relationship between soil properties and lead bioaccessibility. *Environmental Pollution*, 246, 53-59.
- Yan, Z. Z., Chen, Q. L., Zhang, Y. J., He, J. Z., & Hu, H. W. (2020). Industrial development as a key factor explaining variances in soil and grass phyllosphere microbiomes in urban green spaces. *Environmental Pollution*, 261, 114201.
- Zan, N. R., Datta, S. P., Rattan, R. K., Dwivedi, B. S., & Meena, M. C. (2013). Prediction of the solubility of zinc, copper, nickel, cadmium, and lead in metal-contaminated soils. *Environmental monitoring and assessment*, 185, 10015-10025.
- Zhao, G., Mu, X., Wen, Z., Wang, F., & Gao, P. (2013). Soil erosion, conservation, and eco- environment changes in the Loess Plateau of China. *Land Degradation & Development*, 24(5), 499-510.