



Research Article

## Health and Ecological Risk Assessment of Heavy Metal Pollution in Esfarayen Surface Soils

Hossein Kamani <sup>1</sup> , Ali Paseban <sup>2,\*</sup> , Morteza Ahmadabadi <sup>3</sup> 

<sup>1</sup> Health Promotion Research Center, Zahedan University of Medical Sciences, Zahedan, Iran

<sup>2</sup> Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, North Khorasan University of Medical Sciences, Bojnurd, Iran

<sup>3</sup> Department of Environmental Health Engineering, Torbat Jam Faculty of Medical Sciences, Torbat Jam, Iran

\* **Corresponding author:** Ali Paseban, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, North Khorasan University of Medical Sciences, Bojnurd, Iran. E-mail: [alipaseban@gmail.com](mailto:alipaseban@gmail.com)

DOI: [10.29252/nkjmd-12013](https://doi.org/10.29252/nkjmd-12013)

### How to Cite this Article:

Kamani H, Paseban A, Ahmadabadi M. Health and Ecological Risk Assessment of Heavy Metal Pollution in Esfarayen Surface Soils. *J North Khorasan Univ Med Sci.* 2020;**12**(1):18-26. DOI: 10.29252/nkjms-12013

Received: 23 Oct 2019

Accepted: 06 May 2020

### Keywords:

Heavy Metal Pollution  
Health Risk Assessment  
City of Esfarayen

### Abstract

**Introduction:** Due to the continued urbanization and industrialization in most parts of the world, metals are constantly being introduced into the soil environment and posing a major threat to human health. The purpose of this study was to investigate the contamination of Esfarayen surface soils with heavy metals and its hazards to human health.

**Methods:** Surface soil samples were collected from 5 areas with different land uses in Esfarayen. The concentration of heavy metals in the soil was measured by ICP-OES. Contamination factors (Geoaccumulation Index and Pollution Load Index) and health hazards (carcinogenic and non-carcinogenic) of heavy metals in surface soils were evaluated.

**Results:** The results showed that the mean concentrations of cadmium (Ca), chromium (Cr), copper (Cu), nickel (Ni), lead (Pb) and zinc (Zn) in Esfarayen soil were 0.21, 33.27, 39.91, 32.25, 25.17 and 25.52 mg/kg, respectively. It was much higher than the natural background values. The highest and the least carcinogenic risk were related to chromium and lead, respectively. Soil health risk assessment for the pediatric group showed that the soil did not pose a risk to children and adults.

**Conclusions:** The contamination factor (Cf) values showed that the heavy metal contamination levels were Zn > Cr > Ca > Cu > Ni > Pb, respectively. These results are important in developing appropriate management strategies to reduce pollutant resources in Esfarayen.



## ارزیابی خطر بهداشتی و اکولوژیکی ناشی از آلودگی فلزات سنگین در خاکهای سطحی

### اسفراین

حسین کمانی<sup>۱</sup>، علی پاسبان<sup>۲\*</sup>، مرتضی احمد آبادی<sup>۳</sup> 

<sup>۱</sup> گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی زاهدان، زاهدان، ایران

<sup>۲</sup> گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی خراسان شمالی، بجنورد، ایران

<sup>۳</sup> عضو هیأت علمی دانشکده علوم پزشکی تربت جام، تربت جام، ایران

\* نویسنده مسئول: علی پاسبان، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی خراسان شمالی، بجنورد،

ایران. ایمیل: alipaseban@gmail.com

DOI: 10.29252/nkjms-12013

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۸/۰۱	چکیده
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۱۷	مقدمه: به علت استمرار شهرنشینی و صنعتی شدن در بیشتر بخشهای جهان فلزات به طور مداوم به محیط زیست خاکی وارد می شوند و به عنوان تهدید بزرگی برای سلامت انسان مطرح می شوند. هدف از انجام این مطالعه، بررسی آلودگی خاکهای سطحی اسفراین با فلزات سنگین و بررسی خطرات آن بر سلامت انسانی می باشد.
واژگان کلیدی: آلودگی فلزات سنگین ارزیابی خطر بهداشتی شهر اسفراین	روش کار: نمونه های خاکهای سطحی از ۵ منطقه با کاربری های مختلف از شهر اسفراین جمع آوری گردید و غلظت فلزات سنگین به وسیله ICP-OES آنالیز گردید. فاکتورهای آلودگی (شاخص های زمین انباشتگی Igeo و بار آلودگی PLI) و خطرات بهداشتی (خطرات سرطانزایی و غیر سرطانزایی) ناشی از فلزات سنگین در خاک سطحی ارزیابی گردید.
	یافته ها: نتایج نشان داد که میانگین غلظت کادمیوم، کروم، مس، نیکل، سرب و روی در خاک اسفراین به ترتیب ۰/۲۱، ۳۳/۲۷، ۳۹/۹۱، ۲۵/۳۲، ۲۵/۱۷ و ۱۰۵/۵۲ میلی گرم در کیلوگرم بود که نسبت به مقادیر پس زمینه طبیعی خیلی بالاتر می باشد. بیشترین کمترین خطر سرطانزایی به ترتیب مربوط به فلز کروم و فلز سرب بود. نتایج نشان داد که خطر سرطانزایی و غیر سرطانزایی برای کودکان بیشتر از بزرگسالان بود. ارزیابی خطر بهداشتی خاک برای گروه سنی کودکان و بزرگسالان نشان داد که خاک مذکور برای این گروه های سنی خطری ندارد.
	نتیجه گیری: مقادیر فاکتور آلودگی (Cf) نشان داد که سطح آلودگی فلزات سنگین به ترتیب روی < کروم < کادمیوم < مس < نیکل < سرب بودند که در گروه آلودگی زیاد قرار می گیرند. این نتایج از نظر توسعه راهکارهای مدیریتی مناسب جهت کاهش منابع آلاینده در اسفراین دارای اهمیت می باشند.

### مقدمه

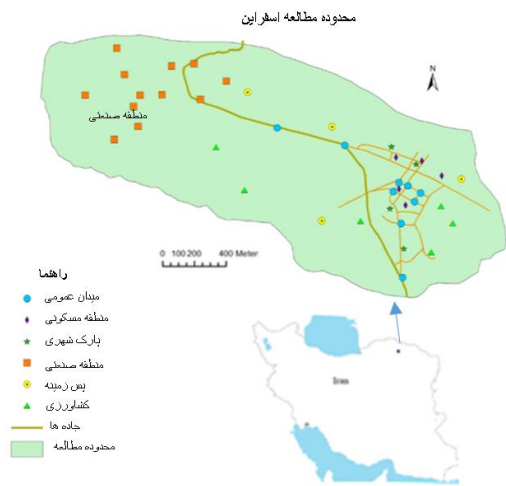
زیست محیطی از خطرات ویژه ای برخوردار هستند [۶، ۷]. ورود بیش از حد فلزات سنگین و مواد شیمیایی سنتتیک به خاکهای شهری می تواند منجر به بدتر شدن خواص فیزیکی شیمیایی و سایر مشکلات زیست محیطی گردد [۸]. در مناطق مسکونی و صنعتی، تجمع بیش از حد فلزات سنگین در خاکهای سطحی می تواند به طور مستقیم، سلامتی ساکنان در معرض آلودگی را از طریق بلع، استنشاق و تماس پوستی تهدید کند [۹، ۱۰].

به دلیل پتانسیل سمیت، پایداری و غیر قابل برگشت بودن فلزات سمی از قبیل کادمیوم، کروم، آرسنیک، جیوه، سرب، مس، روی و نیکل توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا جزء آلاینده های دارای اولویت کنترل شناخته می شوند و توجه بیشتری در بسیاری از نقاط مختلف جهان به خود معطوف نموده است [۵، ۱۱]. حضور مکرر فلزات سنگین در خاک به عنوان شاخص کیفیت محیط خاک شهری گزارش شده است [۱۲]. مطالعات زیادی در خصوص آلودگی های فلزات سنگین در

به دلیل اهمیت آلودگی خاک آلودگی فلزات سنگین در خاکهای شهری، به دلیل گستردگی منابع، سمیت، ویژگی های تجزیه ناپذیری و رفتارهای تجمع، دارای پیامدهای نگران کننده بزرگی می باشد. خاکهای شهری عموماً در معرض آلودگی فلزات سنگین و سایر آلودگی های ناشی از منابع مختلف فعالیت های صنعتی، زغال و احتراق سوخت، انتشارات از وسایط نقلیه و دفع زائدات شهری می باشند [۱-۴]. خاکهای شهری معمولاً به عنوان یک پذیرنده پیوسته فلزات سنگین و سایر آلاینده ها در نظر گرفته می شوند. منابع اصلی فلزات سنگین فعالیت های صنعتی، زغال سنگ و احتراق سوخت، انتشار از وسایط نقلیه و دفع زائدات شهری هستند [۲، ۵]. امروزه خاک یکی از مهمترین بخش های در معرض خطر محیط زیست است، زیرا بسیاری از آلاینده ها می توانند در خاکهای سطحی تجمع پیدا نموده و بنابراین تهدید بالقوه ای برای سلامتی انسان به شمار می روند [۶]. فلزات سنگین از قبیل کروم، نیکل، سرب و کادمیوم عملاً در بین انواع آلاینده های

### نمونه‌برداری و آنالیز

تعداد ۴۰ نمونه خاک (۰-۲ سانتی متر) از بخش‌های با کاربری‌های مختلف شامل مناطق مسکونی، صنعتی، حاشیه جاده‌ها، پارک‌ها و زمین‌های کشاورزی در اسفراین در شهریور ماه ۱۳۹۴ برداشته شد. پنج نمونه تصادفی از هر محل نمونه‌برداری (تقریباً ۲ × ۲ متر) برداشته شد و به‌منظور ایجاد یک نمونه ترکیبی با هم مخلوط شدند. محل‌های نمونه‌برداری در شکل ۱ نشان داده شده است. در محل‌هایی که حفر امکان‌پذیر نبود، نمونه‌برداری با استفاده از جارو کردن یک مترمربع از سطح زمین و جمع‌آوری خاک آن انجام گرفت [۲]. موقعیت نقطه مرکزی هر محل نمونه‌برداری با استفاده از GPS ثبت گردید. به‌منظور تعیین غلظت فلزات سنگین زمینه در حاشیه‌های شهر، نمونه‌برداری از عمق یک متری زمین انجام گرفت [۱۲]. نمونه‌ها از خاک سطحی جمع‌آوری شدند و سپس با استفاده از نایلون‌های پلی‌اتیلنی به آزمایشگاه منتقل شدند. به‌منظور جلوگیری از افت ترکیبات فلزی فرار، نمونه‌ها در دمای اتاق به مدت ۱۰ روز خشک شدند و با استفاده از یک الک استیل ضدزنگ به‌منظور حذف ذرات، بزرگ‌تر از ۲ میلی‌متر الک شدند. یک گرم از هر نمونه خشک شده هر یک گرم خاک با افزودن ۱۵ میلی‌لیتر مخلوط‌تری اسید (اسید نیتریک، اسید سولفوریک و اسید کلریدریک به نسبت ۵:۱:۱) در ۸۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد تا یک محلول شفاف حاصل شود. فیلتراسیون نمونه‌های فیلتر شده با استفاده از فیلتر واتمن ( $2.5 \mu m$ ) شماره ۴۲ و با افزودن آب مقطر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد [۲۰، ۲۱]. و غلظت فلزات سنگین با استفاده از دستگاه ICP-OES اندازه‌گیری شد.



شکل ۱. نقاط نمونه‌برداری در محدوده مورد مطالعه

### ارزیابی آلودگی فلزات سنگین

شاخص زمین‌انباشتگی ( $I_{geo}$ ): سطوح آلودگی فلزات سنگین در نمونه‌های خاک‌های سطحی با استفاده از شاخص زمین‌انباشتگی پیشنهاد شده توسط مولر ارزیابی می‌شود. زمین‌انباشتگی توسط معادله ۱ محاسبه می‌گردد.

$$I_{geo} = \log_2(C_n/1.5B_n) \quad (1)$$

خاک‌های شهری در سراسر جهان گزارش شده است [۱۳، ۱۴]. فلزات سنگین بسیار سمی، دارای قابلیت تجمع زیستی، و مقاوم به تجزیه بیوشیمیایی و دارای پتانسیل تهدید برای سلامت انسان می‌باشند [۲]. مقادیر جزئی فلزات سنگین از قبیل کادمیوم و سرب برای سلامتی انسان خطرناک هستند. عموماً فلزات سنگین می‌توانند باعث مشکلات بهداشتی مختلفی در انسان شوند. مثلاً تجمع کادمیوم در بدن انسان باعث عملکرد بد کلیه، سرطان و سرب در بدن باعث آسیب‌های عصبی، کم‌خونی و آسیب‌های کلیوی می‌گردد [۱۵].

فلزات سنگین در خاک‌های شهری از طریق بلع، تنفس، یا جذب پوستی به آسانی می‌تواند به انسان منتقل شود و در بافت‌های چربی تجمع یابد و سپس روی سیستم عصبی، سیستم غدد درون‌ریز، سیستم ایمنی، عملکرد خون‌سازی، متابولیسم سلول‌های طبیعی و غیره تأثیر بگذارد [۱۶، ۱۷]. این فلزات می‌توانند مشکلات قلبی عروقی را افزایش دهند و باعث افزایش موارد ناهنجاریها و سرطان‌ها شوند [۲، ۱۸]. برخی مطالعات نشان‌دهنده آلودگی خاک‌های سطحی شهری با فلزات سنگین بوده‌اند. نتیجه مطالعات جاویدانه و همکاران بر روی گرد و غبار خیابانی در مسجد سلیمان نشان داد که منطقه عمدتاً تحت تأثیر آلودگی‌های نفتی و فعالیت‌های صنعتی قرار دارد [۱۹]. ارزیابی آلودگی خاک‌های سطحی با فلزات سنگین و اثرات بهداشتی آنها در شهرهای پرجمعیت و صنعتی یک نگرانی عمده در فیلد بهداشت عمومی بوده که در سالهای اخیر مورد توجه قرار گرفته است. شاخص‌های زیادی برای ارزیابی سطح آلودگی فلزات سنگین و خطرات بهداشتی آنها وجود دارند که از قبیل شاخص تجمع در زمین ( $I_{geo}$ ) فاکتور آلودگی ( $C_f$ )، سهم خطر (HQ) و شاخص خطر (HI) می‌باشند. این شاخص‌ها به آسانی درجه آلودگی یا غنی‌شدگی را در خاک‌ها، ته‌نشست‌ها و گردوغبار و اندازه خطر بهداشتی فلزات سنگین را در انسان نشان می‌دهند.

شهر اسفراین یک منطقه صنعتی مهم در شمال شرق ایران می‌باشد که در مجاورت آن صنایع مختلفی از قبیل مجتمع صنعتی اسفراین، لوله گستر اسفراین و سایر صنایع کوچک قرار دارند. فلزات سنگین ناشی از فعالیت‌های صنایع، ترافیک و مصرف سوخت در مناطق مسکونی، محیط‌زیست و سلامت انسان را در این منطقه تهدید می‌کند. افزایش آلودگی فلزات سنگین در خاک ناشی از صنایع فلزی و ترافیک مشکل جدی می‌باشد که اثرات زیانباری در بهداشت عمومی شهرها دارد. با توجه به بررسی‌های انجام شده تاکنون هیچ مطالعه‌ای در خصوص فلزات سنگین و اثرات بهداشتی آنها در این شهر انجام نشده است؛ بنابراین اهداف این مطالعه: (۱) تعیین غلظت فلزات سنگین (کادمیوم، کروم، مس، نیکل، سرب و روی) و (۲) ارزیابی سطح آلودگی و پتانسیل خطرات بهداشتی ناشی از فلزات سنگین در خاک‌های سطحی شهری اسفراین و نواحی صنعتی و کشاورزی اطراف آن می‌باشد.

### روش کار

این مطالعه در شهر اسفراین انجام گرفت. این شهر در استان خراسان شمالی می‌باشد. این شهر ۵۰۱۹ کیلومتر مربع مساحت و ۱۵۶ هزار نفر جمعیت دارد. منطقه دارای آب‌وهوای معتدل کوهستانی با متوسط دمای سالیانه  $13-8^{\circ}C$  و متوسط بارش سالیانه ۲۱۲ میلی‌متر می‌باشد. بادهای غالب در طول سال از شمال غربی به جنوب شرقی می‌وزند و میانگین سرعت باد ۴-۶ متر در ثانیه می‌باشند.

مربوطه در محل‌های کنترل می‌باشد. مقادیر PLI بزرگ‌تر از یک، نشانه‌هایی از افزایش آلودگی انسان‌ساخت عناصر چندگانه را انعکاس می‌دهد [۲۲].

### ارزیابی خطر بهداشتی

میانگین دوز دریافتی روزانه (ADD) برحسب (میلی گرم/کیلوگرم. روز) از سه مسیر اصلی بلع (ADD<sub>ing</sub>)، استنشاق (ADD<sub>inh</sub>) و تماس پوستی (ADD<sub>derm</sub>) با استفاده از معادلات ۳ تا ۵ برآورد گردید.

$$ADD_{Ing} = C \times \frac{IngR \times ED \times EF}{BW \times AT_{nc}} \times 10^{-6} \quad (3)$$

$$ADD_{Inh} = c \times \frac{InhR \times ED \times EF}{PEF \times BW \times AT_{nc}} \quad (4)$$

$$ADD_{Derm} = C \times \frac{SA \times AF \times ED \times EF \times ABS}{BW \times AT_{nc}} \times 10^{-6} \quad (5)$$

که C غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های خاک بر حسب میلی گرم در کیلوگرم می‌باشد و مقادیر و تعاریف سایر پارامترهای بکار رفته در فرمول‌های فوق در جدول ۱ ذکر شده است. مقادیر این پارامترها بر مبنای مقادیر پیشنهادی توسط USEPA می‌باشند [۲۳].

که C<sub>n</sub> غلظت فلز سنگین در نمونه خاک سطحی و B<sub>n</sub> مقدار زمینه زمین‌شیمیایی فلز در خاک است. مقدار ۱/۵ فاکتور تصحیح اثرات لیتوزونیک می‌باشد.

در این مطالعه میانگین ترکیب لایه بالایی پوسته به‌عنوان مقدار زمینه استفاده گردید. شاخص زمین‌انباشتی یک معیار ژئوشیمیایی برای ارزیابی آلودگی خاک است و به‌صورت زیر طبقه‌بندی می‌شود. غیر آلوده (I<sub>geo</sub> < ۰)، آلودگی متوسط (۰ < I<sub>geo</sub> < ۱)، آلودگی زیاد (۱ < I<sub>geo</sub> < ۲)، آلودگی شدید (۲ < I<sub>geo</sub> < ۳)، آلودگی بسیار شدید (۳ < I<sub>geo</sub> < ۴)، آلودگی فوق‌العاده شدید (۴ < I<sub>geo</sub> < ۵) (I<sub>geo</sub> > ۵).

**شاخص بار آلودگی (PLI):** شاخص بار آلودگی عناصر چندگانه برای هر نقطه نمونه‌برداری در محل‌های مختلف محاسبه گردید (۲۲). شاخص بار آلودگی (PLI) به‌وسیله معادله ۲ محاسبه گردید.

$$PLI = (C_{f1} \times C_{f2} \times C_{f3} \times \dots \times C_{fi})^{1/i} \quad (2)$$

که C<sub>fi</sub> فاکتور آلودگی، نسبت غلظت‌های فلزات سنگین به دست آمده در نمونه خاک سطحی در هر محل به میانگین غلظت فلزات سنگین

جدول ۱. تعریف و مقدار مرجع برخی پارامترها برای ارزیابی خطر بهداشتی ناشی از فلزات سنگین در خاکهای شهری اسفراین

فاکتور	تعریف	واحد	مقدار
IngR	میزان بلع خاک	میلی گرم / روز	۱۰۰
EF	فرکانس در معرض قرار گیری	روز/سال	۳۵۰
ED	دوره در معرض قرار گیری	سال	۲۴
BW	وزن بدن	کیلوگرم	۷۰
AT <sub>nc</sub>	میانگین زمان غیر سرطانزایی	روز	ED × ۳۶۵
AT <sub>ca</sub>	میانگین زمان سرطانزایی	روز	ED × ۳۶۵ × ۷۰
InhR	میزان استنشاق خاک	مترمکعب/روز	۷/۶۳
PEF	فاکتور انتشار ذرات	مترمکعب/روز	۱/۳۶ × ۱۰ <sup>۹</sup>
SA	سطح تماس پوست در معرض	سانتی متر مربع	۵۷۰۰
AF	ضریب چسبندگی پوستی	میلی گرم / سانتی متر روز	۲ × ۱۰ <sup>-۱۰</sup>
ABS	ضریب جذب پوستی	بدون واحد	۱ × ۱۰ <sup>-۱۰</sup>

شاخص خطر (HI) به بیش از یک HQ برای چندین ماده و / یا مسیرهای مواجهه چندگانه اشاره دارد. HI ≤ ۱ نشان دهنده عدم وجود هیچ گونه عوارض جانبی برای سلامتی می‌باشد، در حالی که HI > ۱ نشاندهنده وجود اثرات منفی بر سلامتی می‌باشد [۲۵، ۲۶]. دوز قرار گرفتن در معرض هر عنصر برای خطر سرطانزا (CR) با توجه به معادلات زیر در یک فاکتور شیب سرطانزا (SF) (میلی گرم / کیلوگرم. روز) ضرب می‌شود [۲۶]:

$$CR_{Ing} = ADD_i \times SF_i \quad (8)$$

$$CR_{Total} = \sum CR \quad (9)$$

مقادیر SF در جدول ۲ آورده شده است طبق توصیه USEPA مقادیر خطر سرطانزایی (CR) پایین‌تر از ۱۰<sup>-۶</sup> قابل اغماض تلقی شود و مقادیر خطر سرطانزایی (CR) بالاتر از ۱۰<sup>-۴</sup> احتمالاً برای انسان مضر است، مقادیر خطر سرطانزایی (CR) در محدوده‌ای از ۱۰<sup>-۶</sup> تا ۱۰<sup>-۴</sup> بیانگر یک خطر قابل قبول یا قابل تحمل برای اهداف نظارتی می‌باشد [۲۴].

اثرات غیر سرطان‌زایی فلزات می‌تواند با استفاده از نسبت خطر (HQ) ارزیابی گردد که نسبت متوسط دوز دریافتی روزانه (ADD) یک فلز سنگین به دوز مرجع (RfD) آن فلز از همان مسیر تماس می‌باشد. نسبت خطر (HQ) با استفاده از معادله ۶ محاسبه می‌گردد [۲۳].

$$HQ = \frac{ADD_i}{RfD_i} \quad (6)$$

$$HI = \sum HQ \quad (7)$$

میانگین دوز دریافتی روزانه (ADD) کمتر از دوز مرجع (RfD)، ۱ < HI ≤، به این معنی است که اثرات بهداشتی مضر وجود نخواهد داشت، در حالیکه اگر میانگین دوز دریافتی روزانه (ADD) بیشتر از دوز مرجع ۱ > HI، احتمال که یک اثر مضر بهداشتی وجود خواهد داشت [۲۴]. که در آن میزان دوز مرجع (RfD) (میلی گرم/کیلوگرم/روز) میزان دوزی است که حداکثر خطرات قابل قبول برای جمعیت انسانی را از طریق قرار گرفتن در معرض روزانه در طول زندگی برآورد می‌نماید [۲۵]. مقادیر RfD در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. مقادیر دوز مرجع و فاکتور شیب برای فلزات سنگین مورد بررسی

عامل (میلی گرم / کیلوگرم. روز)	کادمیوم	کروم	مس	نیکل	سرب	روی
دوز مرجع بلع (RfD <sub>ing</sub> )	1 × 10 <sup>-۱۰</sup>	3 × 10 <sup>-۱۰</sup>	4 × 10 <sup>-۱۰</sup>	2 × 10 <sup>-۱۰</sup>	3/5 × 10 <sup>-۱۰</sup>	3 × 10 <sup>-۱۰</sup>
دوز مرجع استنشاق (RfD <sub>inh</sub> )	1 × 10 <sup>-۱۰</sup>	2.86 × 10 <sup>-۱۰</sup>	4.02 × 10 <sup>-۱۰</sup>	0.206	3.52 × 10 <sup>-۱۰</sup>	3 × 10 <sup>-۱۰</sup>
دوز مرجع تماس پوستی (RfD <sub>derm</sub> )	1 × 10 <sup>-۱۰</sup>	6 × 10 <sup>-۱۰</sup>	1/2 × 10 <sup>-۱۰</sup>	5.4 × 10 <sup>-۱۰</sup>	5.3 × 10 <sup>-۱۰</sup>	6 × 10 <sup>-۱۰</sup>
فاکتور شیب (SF <sub>ing</sub> )	۶,۳	۴۲	-	۸/۴ × 10 <sup>-۱۰</sup>	۴/۲ × 10 <sup>-۱۰</sup>	-
فاکتور شیب (SF <sub>derm</sub> )	-	5 × 10 <sup>-۱۰</sup>	-	-	۸/5 × 10 <sup>-۱۰</sup>	-

۳۲/۲۵، ۲۹/۷۴ و ۱۰۵/۵۲ میلی گرم/کیلوگرم بود. میانگین غلظت‌های فلزات سنگین در تمام مناطق نمونه‌برداری با کاربری‌های مختلف به ترتیب کاهشی به صورت  $\text{روی} < \text{مس} < \text{کروم} < \text{نیکل} < \text{سرب} < \text{کادمیوم}$  بودند. میانگین غلظت‌های کادمیوم، کروم، مس، نیکل، سرب و روی در مناطق با کاربری‌های مختلف بالاتر از مقادیر زمینه طبیعی مربوطه به هر فلز سنگین در خاک اسفراین بودند. با مقایسه میانگین فلزات سنگین و مقادیر رهنمودی کیفیت خاک کانادا و استانداردهای کیفیت خاک هلند، مشخص گردید که میانگین تمام فلزات سنگین در خاک از مقدار رهنمودی کانادا کمتر بود. برخی عناصر از قبیل مس از مقدار استاندارد کیفیت خاک هلند (مقادیر هدف) بیشتر بود. غلظت‌های فلزات سنگین در منطقه صنعتی بالاتر از سایر مناطق کاربری اسفراین بودند. در بین کاربری‌های مختلف، اختلاف آماری معنی داری برای غلظت فلزات سنگین مشاهده گردید ( $P < 0.05$ ).

### تجزیه و تحلیل داده‌ها

داده‌های آماری با استفاده از بسته آماری SPSS 19 تجزیه و تحلیل شد. آنالیز ضریب همبستگی پیرسون برای تعیین رابطه بین فلزات سنگین در خاک شهری و منابع آنها استفاده گردید. جهت محاسبات مربوط به مدل‌های ارزیابی از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

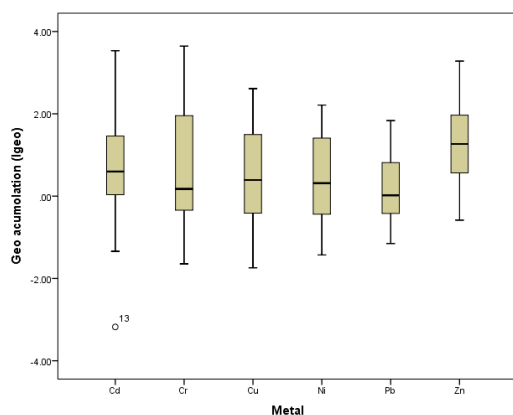
### نتایج

#### غلظت فلزات

آمار توصیفی فلزات سنگین خاک‌های شهری در جدول ۳ نشان داده شده است. خاک‌های شهری تغییرات مشخص در غلظت‌های فلزات سنگین نشان دادند. متوسط غلظت‌های فلزات سنگین برای کادمیوم، کروم، مس، نیکل، سرب و روی به ترتیب ۰/۲۱، ۳۳/۲۷، ۳۹/۷۶، ۳۳/۲۷، ۰/۲۱ و ۰/۲۲ می‌باشد.

جدول ۳. آمار توصیفی غلظت‌های فلزات سنگین (میلی گرم/کیلوگرم) در خاک‌های محدوده مورد مطالعه و ارتباط با مقادیر رهنمودی پارامتر

پارامتر	کادمیوم	کروم	مس	نیکل	سرب	روی
میانگین	۰/۲۱	۳۳/۲۷	۳۹/۹۱	۳۲/۲۵	۲۵/۱۷	۱۰۵/۵۲
انحراف معیار	۰/۲۲	۳۷/۰۷	۳۳/۲۶	۲۳/۰۶	۱۵/۲۲	۷۴/۱۲
ضریب تغییرات (CV)	۱۰۳/۸۸	۱۱۱/۴	۸۳/۹۴	۷۱/۴۹	۶۲/۴۴	۷۰/۲۴
میانه	۰/۱۳	۱۳/۵	۲۶/۹۵	۲۳/۶۳	۱۹/۳۳	۸۳/۷۵
کمترین	۰/۰۱	۳/۸۲	۶/۱۴	۷/۰۵	۸/۵۸	۲۳/۲
بیشترین	۱	۱۴۹/۴۷	۱۲۵/۴۷	۸۷/۸۸	۶۷/۹۵	۳۳۸/۲۷
مقدار زمینه	۰/۰۶	۷/۹۷	۱۳/۷	۱۲/۶۶	۱۲/۷	۲۳/۱۹
رهنمود کیفیت خاک کانادا	۲۲	۸۷	۹۱	۵۰	۶۰۰	۳۶۰
استاندارد کیفیت خاک هلند (مقادیر هدف)	۰/۸	۱۰۰	۳۶	۳۵	۸۵	۱۴۰
استاندارد کیفیت خاک هلند (مقادیر مداخله‌ای)	۱۲	۳۸۰	۱۹۰	۲۱۰	۵۳۰	۲۷۰



شکل ۲. شاخص زمین انباشتگی (I<sub>geo</sub>) فلزات سنگین خاک‌های سطحی در منطقه مورد مطالعه

#### ارزیابی شاخص‌های اکولوژیکی

شاخص زمین انباشتگی (I<sub>geo</sub>): مقادیر I<sub>geo</sub> برای فلزات سنگین در مناطق کاربری در شکل ۲ نشان داده شده است. در مجموع خاک سطحی مناطق مختلف مقادیر I<sub>geo</sub> متفاوت داشتند. دسته‌بندی بر اساس مقادیر میانگین I<sub>geo</sub> هر فلز به این ترتیب،  $\text{روی} < \text{کروم} < \text{کادمیوم} < \text{مس} < \text{نیکل} < \text{سرب}$  بود. میانگین مقادیر I<sub>geo</sub> برای فلز روی ۱/۲۸ بود که در دسته «آلودگی متوسط» قرار می‌گیرد و نشان می‌دهد که خاک سطحی به وسیله فلز روی آلوده شده است. میانگین I<sub>geo</sub> برای فلزات (کادمیوم، کروم، مس، نیکل و سرب)  $1 < I_{geo} < 0$  بود که در دسته «غیر آلوده تا آلودگی متوسط» قرار می‌گیرد.

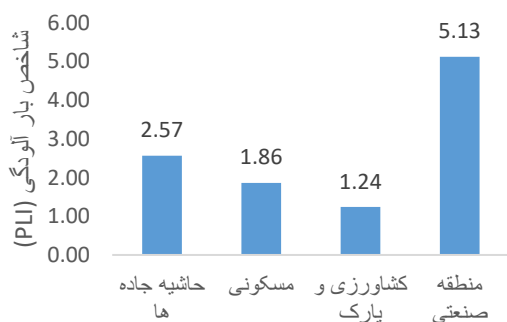
### فاکتور آلودگی و شاخص بار آلودگی ( $C_f, PLI$ )

فاکتور آلودگی ( $C_f$ )، محاسبه شده با توجه به مقادیر زمینه فلزات سنگین در خاک اسفراین به طور قابل ملاحظه‌ای در بین فلزات مختلف و خاک‌های مختلف تفاوت داشت. به طور کلی فلزات سنگین بر اساس فاکتور آلودگی ( $C_f$ ) به این ترتیب دسته‌بندی می‌شوند: روی < کروم < کادمیوم < مس < نیکل < سرب. میانگین فاکتور آلودگی ( $C_f$ ) برای کادمیوم، کروم و روی در رده «آلودگی قابل توجه» ( $3 < C_f < 6$ ) می‌باشد و میانگین غلظت‌ها برای فلزات مس، نیکل و سرب در رده

«آلودگی متوسط» ( $1 < C_f < 3$ ) قرار دارند. میانگین غلظت‌های کادمیوم، کروم و روی در خاک مناطق صنعتی، «آلودگی بالایی» را نشان داد و میانگین غلظت‌ها برای کادمیوم، مس و سرب در خاک پارک‌های شهری «آلودگی کم» را نشان دادند. بر اساس ارزیابی کلی نتایج آلودگی خاک بر مبنای درجه آلودگی ( $C_d$ )، منطقه صنعتی «آلودگی بالایی» نشان داد ( $C_d > 20$ )، حاشیه جاده‌ها و مسکونی «آلودگی قابل توجه» ( $10 < C_d < 20$ ) نشان داد و مناطق کشاورزی و پارک‌های شهری درجه «آلودگی متوسط» ( $5 < C_d < 10$ ) نشان داد (جدول ۴).

جدول ۴. فاکتور آلودگی ( $C_f$ )، درجه آلودگی ( $C_d$ ) و سطح آلودگی فلزات سنگین در خاک منطقه مورد مطالعه

کاربری زمین	کادمیوم	کروم	مس	نیکل	سرب	روی	فاکتور آلودگی $C_f$	
							درجه آلودگی ( $C_d$ )	سطح آلودگی
حاشیه جاده‌ها	۲/۵۳	۱/۶۱	۳/۱۱	۳/۱۹	۲/۰۲	۴/۵	۱۶/۹۷	قابل ملاحظه
مسکونی	۲/۴۸	۱/۳۱	۲/۱۴	۱/۶۷	۱/۱۲	۳/۸۷	۱۲/۵۹	قابل ملاحظه
کشاورزی و پارک	۱/۳۴	۱/۴	۱/۱۱	۱/۱۲	۱/۱۴	۱/۷۵	۷/۸۷	متوسط
مناطق صنعتی	۶/۹۹	۹/۶	۴/۵۸	۳/۶	۳	۷/۱۷	۳۴/۹۵	زیاد
کمترین	۰/۱۷	۰/۴۸	۰/۴۵	۰/۵۶	۰/۶۱	۱	۴/۸۸	کم
بیشترین	۱۷/۳۷	۱۸/۷۵	۹/۱۶	۶/۹۴	۵/۳۵	۱۴/۵۹	۵۶/۳۷	زیاد
میانگین	۳/۶۹	۴/۱۸	۲/۹۱	۲/۵۵	۱/۹۸	۴/۵۵	۱۹/۸۶	قابل ملاحظه



شکل ۳. مقایسه شاخص بار آلودگی (PLI) برای فلزات سنگین در خاک مناطق با کاربری‌های مختلف

### همبستگی بین فلزات سنگین

معمولاً در بین فلزات سنگین در خاک روابط پیچیده‌ای وجود دارند. فاکتورهای متعددی این روابط را کنترل می‌کنند، مثلاً فاکتورهایی از قبیل مقدار اولیه فلزات سنگین در صخره‌ها و مواد اصلی، فرایندهای مختلف تشکیل خاک و فاکتورهای انسان‌ساخت از قبیل آلودگی به وسیله فعالیت‌های انسانی می‌باشند [۲۹]. جدول ۵ ماتریس ضرایب همبستگی پیرسون را نشان می‌دهد.

مقادیر شاخص بار آلودگی، (PLI) معادل صفر، نشان‌دهنده عدم آلودگی، مقادیر معادل یک نشان‌دهنده آلودگی در حد قابل قبول و مقادیر بالاتر از یک نشان‌دهنده تخریب پیش‌رونده خاک از نظر آلودگی فلزات سنگین خطرناک می‌باشد [۲۷]. افزایش مقدار آلودگی، مقادیر عددی PLI را افزایش می‌دهد. شاخص بار آلودگی (PLI)، محاسبه شده برای مناطق با کاربری‌های مختلف در شکل ۳ نشان داده شده است. با توجه به نتایج بررسی حاضر، میانگین مقادیر PLI در تمام مناطق مورد مطالعه بیشتر از یک بوده و به طور قابل توجهی آلوده بودند، و PLI با توجه به کاربری‌های مختلف به صورت منطقه صنعتی < حاشیه جاده‌ها < منطقه مسکونی < کشاورزی و پارک‌های شهری دسته‌بندی می‌شود. مقادیر PLI نمونه‌های خاک سطحی در محدوده ۰/۶۹ تا ۸/۶۱ بوده و دارای میانگین ۲/۸۹ می‌باشد. به طوری که ۱۲/۱۲ درصد نمونه‌ها با  $PLI < 5$  و ۴ درصد با  $PLI > 5$  به ترتیب در دسته‌های آلودگی با سطح بالا و آلودگی فوق‌العاده بالا بیانگر این موضوع است که نمونه‌های خاک سطحی با فلزات سنگین آلوده شده‌اند و نشانه وجود نقش آلودگی انسان‌ساخت می‌باشد. در مطالعه‌ای که توسط محسنی و همکاران در سال ۱۳۹۵ انجام شد مشخص شد که میانگین پتانسیل خطر اکولوژیکی (PER) برابر ۱۵۸/۸ (پتانسیل خطر اکولوژیکی قابل ملاحظه) بود و ۱۶/۷ درصد از نمونه‌های مورد بررسی در دسته دارای پتانسیل خطر اکولوژیکی بالا طبقه بندی شدند [۲۸].

جدول ۵. ضرایب همبستگی بین فلزات سنگین مختلف ( $n = 40$ )

فلز سنگین	کادمیوم	کروم	مس	نیکل	سرب	روی
کادمیوم	۱					
کروم	۰/۱۷۶	۱				
مس	۰/۱۶۳	۰/۶۲	۱			
نیکل	۰/۱۴۸	۰/۵۵	۰/۴۹	۱		
سرب	۰/۱۸۴	۰/۷۱	۰/۶۸	۰/۶۵	۱	
روی	۰/۱۶۷	۰/۷۱	۰/۵۱	۰/۵۹	۰/۶۲	۱

Levels of significance:  $P < 0.05$

گروه سنی کودکان به صورت کروم < سرب < روی < نیکل < مس < کادمیوم و برای گروه بزرگسالان به صورت کروم < سرب < کادمیوم < نیکل < مس < روی دسته بندی می‌شود. بنابراین فلز کروم بیشترین پتانسیل ایجاد خطر را در گروه سنی کودکان و بزرگسالان نشان می‌دهد. مقایسه مقدار شاخص خطر غیر سرطانزایی (HI) تمام فلزات برای گروه سنی کودکان (۰/۲۹۵) و بزرگسالان (۰/۰۴۶) نشان می‌دهد که به طور کلی پتانسیل ایجاد خطر غیر سرطانزایی در گروه سنی کودکان بیشتر از بزرگسالان می‌باشد.

نتایج ارزیابی خطر سرطانزایی (CR) فلزات سنگین برای کودکان و بزرگسالان در جدول ۶ ذکر شده است. خطر سرطانزایی (CR) برای کودکان و بزرگسالان به صورت کروم < سرب < کادمیوم < نیکل دسته بندی می‌شود. مقادیر خطر سرطانزایی (CR) سرب و کروم در کودکان بیشتر از خطر آن در بزرگسالان است. خطر سرطانزایی (CR) تمام فلزات سنگین برای کودکان و بزرگسالان کمتر از  $1 \times 10^{-6}$  (احتمال یک سرطان در یک میلیون نفر) است. این مسئله نشان‌دهنده قابل اغماض بودن خطر سرطان این فلزات در خاک‌های سطحی می‌باشد.

بر اساس نتایج، رابطه معنی‌داری بین بیشتر این عناصر مخصوصاً بین سرب و کادمیوم، کروم و کادمیوم، سرب و کروم، روی و کروم و سرب و مس در سطح ۰/۰۱ وجود داشت، ولی مقادیر نیکل همبستگی مثبت ضعیفی با کادمیوم و نیکل با مس نشان دادند.

### ارزیابی خطر بهداشتی

میزان سهم خطر (HQ) از سه مسیر اصلی برای فلزات سنگین مورد بررسی در کودکان و بزرگسالان در جدول ۵ نشان داده شده است. سهم خطر (HQ) فلزات سنگین برای هر دو گروه کودکان و بزرگسالان به ترتیب کاهشی از مسیر بلع < جذب پوستی < استنشاق بود. همچنین بیشترین سهم خطر (HQ) از مسیر بلع برای کودکان و بزرگسالان به ترتیب کاهشی کروم < سرب < نیکل < مس < روی < کادمیوم < قرار داشتند. سهم خطر (HQ) فلزات سنگین از سه مسیر بلع، استنشاق و جذب پوستی، کمتر از ۱ بود. بنابراین اثر سوئی برای انسان ایجاد نمی‌نمایند. نتایج بدست آمده از جدول ۵ نشان می‌دهد که خطر غیر سرطانزایی تمام فلزات سنگین مورد بررسی برای کودکان بیشتر از بزرگسالان بود. خطر غیر سرطانزایی (HI) کل مسیرهای جذب در

جدول ۶. جدول فاکتورهای خطر بهداشتی ناشی از فلزات سنگین در خاک سطحی منطقه مورد بررسی اسفراین

پارامتر	کادمیوم	کروم	مس	نیکل	سرب	روی
میزان دریافت روزانه (ADD) (میلی گرم اکیلوگرم. روز)	$3 \times 10^{-1}$	$4/78 \times 10^{-1}$	$5/71 \times 10^{-1}$	$4/6 \times 10^{-1}$	$3/6 \times 10^{-1}$	$1/5 \times 10^{-1}$
کودکان						
سهم خطر بلع (HQ)	$2/7 \times 10^{-1}$	$1/41 \times 10^{-1}$	$1/27 \times 10^{-1}$	$2/06 \times 10^{-1}$	$9/19 \times 10^{-1}$	$4/5 \times 10^{-1}$
سهم خطر تماس پوستی (HQ)	$6/6 \times 10^{-1}$	$1/73 \times 10^{-1}$	$1/04 \times 10^{-1}$	$1/86 \times 10^{-1}$	$1/5 \times 10^{-1}$	$5/5 \times 10^{-1}$
سهم خطر استنشاق (HQ)	$7/62 \times 10^{-1}$	$4/17 \times 10^{-1}$	$3/56 \times 10^{-1}$	$6/61 \times 10^{-1}$	$2/56 \times 10^{-1}$	$1/26 \times 10^{-1}$
شاخص خطر (HI)	$3/38 \times 10^{-1}$	$1/59 \times 10^{-1}$	$1/28 \times 10^{-1}$	$2/08 \times 10^{-1}$	$9/34 \times 10^{-1}$	$4/55 \times 10^{-1}$
خطر سرطانزایی (CR)	$2/6 \times 10^{-1}$	$7/3 \times 10^{-1}$	۰	$3/4 \times 10^{-1}$	$1/2 \times 10^{-1}$	۰
بزرگسالان						
سهم خطر بلع (HQ)	$3 \times 10^{-1}$	$1/58 \times 10^{-1}$	$1/43 \times 10^{-1}$	$2/3 \times 10^{-1}$	$1/02 \times 10^{-1}$	$5 \times 10^{-1}$
سهم خطر تماس پوستی (HQ)	$9/03 \times 10^{-1}$	$5/7 \times 10^{-1}$	$1/3 \times 10^{-1}$	$3/2 \times 10^{-1}$	$2/3 \times 10^{-1}$	$1/8 \times 10^{-1}$
سهم خطر استنشاق (HQ)	$2/74 \times 10^{-1}$	$1/5 \times 10^{-1}$	$1/2 \times 10^{-1}$	$2/01 \times 10^{-1}$	$9/22 \times 10^{-1}$	$4/53 \times 10^{-1}$
شاخص خطر (HI)	$9/34 \times 10^{-1}$	$2/17 \times 10^{-1}$	$1/44 \times 10^{-1}$	$2/34 \times 10^{-1}$	$1/051 \times 10^{-1}$	$5 \times 10^{-1}$
خطر سرطانزایی (CR)	$3/71 \times 10^{-1}$	$3/2 \times 10^{-1}$	۰	$5 \times 10^{-1}$	$5/3 \times 10^{-1}$	۰

### بحث

بر اساس نتایج غلظت‌های فلزات سنگین در منطقه صنعتی نسبت به سایر مناطق کاربری اسفراین بالاتر بود. در بین کاربری‌های مختلف، اختلاف آماری معنی‌داری برای غلظت فلزات سنگین مشاهده گردید ( $P < 0/05$ ). فعالیت‌های کارخانجات صنعتی شامل مجتمع صنعتی اسفراین و لوله‌گستر دلیل اصلی برای انتشار فلزات سنگین در این مناطق صنعتی و غلظت‌های بالای آن‌ها بودند. بعد از منطقه صنعتی، حاشیه جاده‌ها، غلظت‌های فلزات سنگین بالاتر از سایر مناطق کاربری داشتند. حاشیه جاده‌های اصلی که محل عبور و مرور وسایط نقلیه موتوری است باعث انتشارات فلزات سنگین و آلودگی فلزات سنگین می‌شوند. لو و بای گزارش کردند که خاک‌های حاشیه جاده‌ها با سرب و سایر فلزات سنگین آلوده شده بودند که از طریق آگروز اتومبیل‌ها می‌باشد، بنابراین جاده‌ها پتانسیل ایجاد سطوح بالای آلودگی با فلزات

سنگین برای استفاده کنندگان از جاده‌ها و کسانی که در نزدیکی این مناطق زندگی می‌کنند، را دارند [۳۰]. چندین مطالعه نشان داده‌اند که غلظت‌های مس و روی می‌توانند در اثر خوردگی ترمز در محیط شهری ایجاد شوند [۳۱-۳۳]. غلظت‌های فلزات سنگین در زمین‌های کشاورزی و پارک‌های شهری نسبت به غلظت آن در سایر مناطق کاربری کمتر بود.

با توجه به نتایج بررسی حاضر، میانگین مقادیر شاخص بار آلودگی (PLI) در تمام مناطق مورد مطالعه بیشتر از یک بوده و به‌طور قابل توجهی آلوده بودند، و PLI با توجه به کاربری‌های مختلف به صورت منطقه صنعتی < حاشیه جاده‌ها < منطقه مسکونی < کشاورزی و پارک‌های شهری دسته بندی می‌شود. در یک مطالعه مشابه در سنگاپور Yuen و همکاران دریافتند که مقادیر شاخص بار آلودگی (PLI) در مناطق صنعتی نسبت به مناطق مسکونی بالاتر بود [۲۲]. همچنین در مطالعه مشابه Rout و همکاران دریافتند که آلودگی‌های انسان‌ساخت عموماً در مناطق مسکونی (۱/۰۵۳۴) نسبت به مناطق

سلامتی کودکان و بزرگسالان خطری محسوب نمی‌شود. بر اساس نتایج HI، پتانسیل ایجاد خطر غیر سرطانزایی در گروه سنی کودکان بیشتر از بزرگسالان می‌باشد. برخی مطالعات نشان دادند که به دلیل اختلاف فیزیولوژیکی بین بزرگسالان و کودکان، از جمله مکیدن انگشت دست و فعالیت‌های بازی در فضای باز، میانگین خطر غیر سرطانزایی کودکان بیشتر از بزرگسالان بود [۴۱، ۴۲]. بر اساس نتایج، خطر سرطانزایی (CR) فلزات سنگین برای کودکان و بزرگسالان به صورت کروم < سرب < کادمیوم < نیکل دسته بندی می‌شود. مقادیر خطر سرطانزایی (CR) سرب و کروم در کودکان بیشتر از خطر آن در بزرگسالان است. مطالعات دیگری هم نشان‌دهنده بالا بودن خطر سرطانزایی فلز کروم در خاکهای سطحی می‌باشند از جمله یافته‌های مطالعه Chabukdhara و همکاران نشان داد که در یک نمونه خاک صنعتی، بالاترین مقدار CR مربوط به کروم بود و پس از آن به ترتیب عناصر نیکل، سرب و کادمیوم قرار داشتند [۴۳].

### نتیجه‌گیری

نتایج بررسی نمونه‌های خاک حاصل از مناطق مختلف اسفراین، تجمع کروم و روی را نشان داد. میانگین غلظت‌های کادمیوم، کروم، مس، نیکل، سرب و روی به ترتیب ۰/۲۱، ۳۳/۲۷، ۳۹/۷۶، ۳۲/۳۵، ۲۹/۷۴ و ۱۰۵/۵۲ میلی‌گرم/کیلوگرم بودند. در بین مناطق مختلف، منطقه صنعتی و حاشیه جاده‌ها آلودگی جدی با فلزات سنگین داشتند. رابطه همبستگی فلزات سنگین، نشان داد که آلودگی فلزات سنگین در اسفراین می‌تواند منشاء انسان ساخت (فعالیت‌های صنعتی و ترافیک) داشته باشد. بر اساس برآوردهای  $C_d$ ،  $C_n$  و  $C_d$  می‌توان نتیجه‌گیری نمود که خاک‌های مورد بررسی از نظر آلودگی با فلزات سنگین آلودگی متوسط تا قابل ملاحظه‌ای داشته‌اند و حداقل در بعضی از نقاط نمونه‌برداری می‌توانند خطر اکولوژیکی قابل توجهی را به اکوسیستم وارد نمایند. نتایج ارزیابی خطر بهداشتی فلزات سنگین نشان داد که میانگین روزانه دریافتی فلزات سنگین مورد مطالعه در کودکان و بزرگسالان از طریق مسیرهای بلع، استنشاق و جذب پوستی کمتر از مقدار استاندارد بود و لذا وجود این مقادیر از فلزات سنگین در خاک‌های سطحی از نظر خطر سرطانزایی و غیر سرطانزایی برای کودکان و بزرگسالان خطر بهداشتی محسوب نمی‌گردد.

### تشکر و قدردانی

نویسندگان از معاونت تحقیقات دانشگاه علوم پزشکی خراسان شمالی، به خاطر حمایت‌های مالی جهت انجام این تحقیق (۹۳/۷۴۶/پ) تقدیر و تشکر می‌نمایند. همچنین از کارکنان آزمایشگاه دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران به خاطر همکاری صمیمانه‌شان تشکر می‌گردد.

تجاری (۱/۳۶۶) بیشتر است [۳۴]. مقادیر بالای PLI در مناطق صنعتی (۵/۱۳) را می‌توان به حضور چندین صنعت فلزی در این منطقه نسبت داد. مقادیر PLI (۲/۵۷) در حاشیه جاده‌های اصلی نیز بالا بود. فرسوده بودن ناوگان حمل‌ونقل با افزایش مصرف بنزین با کیفیت پایین و کارایی پایین احتراق ارتباط داشته و از اینرو انتشارات ناشی از آگزوز، مواد ذره‌ای حاوی فلزات سنگین و سایر ترکیبات سمی را افزایش می‌دهد [۳۵]. مناطق مسکونی، کشاورزی و پارک‌های شهری سطوح PLI نسبتاً پایینی داشتند و می‌توانند به‌عنوان آلودگی متوسط دسته‌بندی شوند ( $PLI < 2$ ). در این مناطق آلودگی فلزات سنگین را می‌توان به ریزش ذرات از اتمسفر به سطح زمین نسبت داد. در مطالعه‌ای که توسط ونگ و کوین انجام شد، مشخص شد که غلظت سرب در مناطق با کاربری‌های مختلف شهر شین یانگ اختلاف داشت و از نظر آلودگی به ترتیب مناطق صنعتی < تجاری < مسکونی < حاشیه شهر قرار داشتند [۳۶]. که با مطالعه حاضر همخوانی دارد. غلظت بالای فلزات سنگین فلزات سنگین و بالا بودن شاخص بار آلودگی (PLI) در مناطق با کاربری‌های صنعتی و حاشیه جاده‌های اصلی مبین آلودگی های انسان ساخت می‌باشند که عمدتاً ناشی از فعالیت مراکز صنعتی و ترافیک می‌باشد.

بر اساس نتایج، رابطه معنی‌داری بین بیشتر عناصر مورد بررسی وجود دارد. مخصوصاً بین سرب و کادمیوم، کروم و کادمیوم، سرب و کروم، روی و کروم و سرب و مس در سطح ۰/۰۱ وجود داشت. وجود همبستگی بالا بین فلزات سنگین خاک، ممکن است نشان‌دهنده این باشد که فلزات سنگین سطوح آلودگی مشابه و منابع آلودگی مشابه داشته‌اند که با تحقیق ارائه‌شده به‌وسیله لی همخوانی دارد [۳۷]. به‌طور کلی عناصر کادمیوم، سرب، کروم و روی در یک گروه قرار می‌گیرند و منابع انسان‌ساز این فلزات در خاک این منطقه به‌طور نزدیکی باهم ارتباط دارند، این نتایج با نتایج تحقیق رومیک و لی همخوانی دارد [۲۹، ۳۸].

سهم خطر (HQ) فلزات سنگین برای هر دو گروه کودکان و بزرگسالان به ترتیب کاهشی از مسیر بلع < جذب پوستی < استنشاق بود. مقادیر سهم خطر (HQ) برای تمام عناصر در سطح ایمن (۱ <)، نشان‌دهنده عدم وجود خطرات ناشی از این فلزات می‌باشد که با نتایج تحقیق گزارش شده توسط جعفری و همکاران همخوانی دارد. در این مطالعه گزارش داد که مقدار سهم خطر (HQ) تمام فلزات در تمام نقاط نمونه برداری کمتر از ۱ بود [۳۹]. ونگ و همکاران در سال ۲۰۱۴ شاخص‌های خطر بزرگ‌تر از سطح ایمن (۱=)، برای کروم (۵/۷۱) و برای سرب (۴/۷) و شاخص خطر (HI) نزدیک به ۱ برای آرسنیک را مشاهده کردند [۴۰].

مقدار شاخص خطر غیر سرطانزایی (HI) تمام فلزات برای گروه سنی کودکان (۰/۲۹۵) و بزرگسالان (۰/۰۴۶) بود، چون مقادیر HI کوچک‌تر از ۱ است، لذا فلزات سنگین در غلظت‌های موجود در خاک برای

### References

- Luo XS, Yu S, Zhu YG, Li XD. Trace metal contamination in urban soils of China. *Sci Total Environ*. 2012;421-2:17-30. doi: 10.1016/j.scitotenv.2011.04.020 pmid: 21575982
- Wei BG, Yang LS. A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China. *Microchem J*. 2010;94(2):99-107. doi: 10.1016/j.microc.2009.09.014
- Poggio L, Vrscaj B, Schulin R, Hepperle E, Ajmone Marsan F. Metals pollution and human bioaccessibility of topsoils in Grugliasco (Italy). *Environ Pollut*. 2009;157(2):680-9. doi: 10.1016/j.envpol.2008.08.009 pmid: 18835073
- Wong CS, Li X, Thornton I. Urban environmental geochemistry of trace metals. *Environ Pollut*. 2006;142(1):1-16. doi: 10.1016/j.envpol.2005.09.004 pmid: 16297517
- Li F, Cai Y, Zhang JJS. Spatial characteristics, health risk assessment and sustainable management of heavy metals and metalloids in soils from central China. *Sustainabil*. 2018;10(1):91. doi: 10.3390/su10010091
- T. M, S. M, A. S, Masihabadi MHJH. Journal ERAaI. Heavy metals contamination and human health risk assessment in soils of an industrial area, Bandar Abbas-South Central Iran. *Hum Ecol Risk Assess*. 2018;24(4):1058-73. doi: 10.1080/10807039.2017.1405723



7. Luo XS, Xue Y, Wang YL, Cang L, Xu B, Ding J. Source identification and apportionment of heavy metals in urban soil profiles. *Chemosphere*. 2015;127:152-7. **doi:** [10.1016/j.chemosphere.2015.01.048](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.01.048) **pmid:** 25698100
8. Papa S, Bartoli G, Pellegrino A, Fioretto A. Microbial activities and trace element contents in an urban soil. *Environ Monit Assess*. 2010;165(1-4):193-203. **doi:** [10.1007/s10661-009-0938-1](https://doi.org/10.1007/s10661-009-0938-1) **pmid:** 19444636
9. Liu L, Zhang X, Zhong T. Pollution and health risk assessment of heavy metals in urban soil in China. *Hum Ecol Risk Assess*. 2016;22(2):424-34. **doi:** [10.1080/10807039.2015.1078226](https://doi.org/10.1080/10807039.2015.1078226)
10. Shi G, Chen Z, Bi C, Wang L, Teng J, Li Y. A comparative study of health risk of potentially toxic metals in urban and suburban road dust in the most populated city of China. *Atmos Environ*. 2011;45(3):764-71. **doi:** [10.1016/j.atmosenv.2010.08.039](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.08.039)
11. Rodrigues SM, Cruz N, Coelho C, Henriques B, Carvalho L, Duarte AC, et al. Risk assessment for Cd, Cu, Pb and Zn in urban soils: chemical availability as the central concept. *Environ Pollut*. 2013;183:234-42. **doi:** [10.1016/j.envpol.2012.10.006](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2012.10.006) **pmid:** 23194645
12. Morton-Bermea O, Hernández-Álvarez E, González-Hernández G, Romero F, Lozano R, Beramendi-Orosco L. Assessment of heavy metal pollution in urban topsoils from the metropolitan area of Mexico City. *J Geochem Explor*. 2009;101(3):218-24. **doi:** [10.1016/j.gexplo.2008.07.002](https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2008.07.002)
13. Sun Y, Zhou Q, Xie X, Liu R. Spatial, sources and risk assessment of heavy metal contamination of urban soils in typical regions of Shenyang, China. *J Hazard Mater*. 2010;174(1-3):455-62. **doi:** [10.1016/j.jhazmat.2009.09.074](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.09.074) **pmid:** 19825507
14. Shi G, Chen Z, Xu S, Zhang J, Wang L, Bi C, et al. Potentially toxic metal contamination of urban soils and roadside dust in Shanghai, China. *Environ Pollut*. 2008;156(2):251-60. **doi:** [10.1016/j.envpol.2008.02.027](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2008.02.027) **pmid:** 18703261
15. Haidar K, Schaffer A. *Soil Biochemistry*. Enfield, USA: Science Publishers; 2009.
16. Feng H, Jiang H, Gao W, Weinstein MP, Zhang Q, Zhang W, et al. Metal contamination in sediments of the western Bohai Bay and adjacent estuaries, China. *J Environ Manage*. 2011;92(4):1185-97. **doi:** [10.1016/j.jenvman.2010.11.020](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.11.020) **pmid:** 21183272
17. Ghanavati N, Nazarpour A, De Vivo B. Ecological and human health risk assessment of toxic metals in street dusts and surface soils in Ahvaz, Iran. *Environ Geochem Health*. 2019;41(2):875-91. **doi:** [10.1007/s10653-018-0184-y](https://doi.org/10.1007/s10653-018-0184-y) **pmid:** 30209637
18. Saeedi M, Li LY, Salmanzadeh M. Heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons: pollution and ecological risk assessment in street dust of Tehran. *J Hazard Mater*. 2012;227-8:9-17. **doi:** [10.1016/j.jhazmat.2012.04.047](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.04.047) **pmid:** 22647232
19. Javidaneh Z, Zarsevandi A, Rast Manesh F. Determination of geo-environmental factors and source of heavy metals in street dust, Masjed-e-Soleiman city, Khouzestan province. *J Iranian J Health Environment*. 2016;9(2):155-70.
20. Mehmood A, Aslam Mirza M, Aziz Choudhary M, Kim KH, Raza W, Raza N, et al. Spatial distribution of heavy metals in crops in a wastewater irrigated zone and health risk assessment. *Environ Res*. 2019;168:382-8. **doi:** [10.1016/j.envres.2018.09.020](https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.09.020) **pmid:** 30384232
21. USEPA. *Soil screening guidance: User's guide*. Washington, DC: US: Environmental protection agency, Response OoSwaE; 1996.
22. Yuen JQ, Olin PH, Lim HS, Benner SG, Sutherland RA, Ziegler AD. Accumulation of potentially toxic elements in road deposited sediments in residential and light industrial neighborhoods of Singapore. *J Environ Manage*. 2012;101:151-63. **doi:** [10.1016/j.jenvman.2011.11.017](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.11.017) **pmid:** 22410188
23. USEPA. *Exposure Factors Handbook*: USEPA; 2011.
24. EPAU. *Risk assessment guidance for Superfund: volume III part A, process for conducting probabilistic risk assessment*. Washington, DC: US: Environmental Protection Agency; 2001.
25. EPAU. *Exposure factors handbook 2011 Edition (Final)*. Washington, DC, EPA/600/R-09/052F: US Environmental Protection Agency; 2011.
26. Means B. *Risk-assessment guidance for superfund. Volume 1. Human health evaluation manual. Part A. Interim report (Final)*. Washington, DC (USA): Environmental Protection Agency; 1989.
27. Islam MS, Ahmed MK, Habibullah-Al-Mamun M, Hoque MF. Preliminary assessment of heavy metal contamination in surface sediments from a river in Bangladesh. *Environ Earth Sci*. 2014;73(4):1837-48. **doi:** [10.1007/s12665-014-3538-5](https://doi.org/10.1007/s12665-014-3538-5)
28. Mohseni-Bandpei A, Ashrafi SD, Kamani H, Paseban AJH. Contamination and ecological risk assessment of heavy metals in surface soils of Esfarayen City, Iran. *Jhealthscope*. 2017;6(2). **doi:** [10.5812/jhealthscope.39703](https://doi.org/10.5812/jhealthscope.39703)
29. Li C, Lu F, Zhang Y, Liu T, Hou W. Spatial distribution characteristics of heavy metals in street dust in Shenyang city. *Ecol Environ*. 2008;17(2):560-4.
30. Essumang DK, Dodoo DK, Obiri S, Oduro AK. Analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons in street soil dust in Kumasi Metropolis of Ghana. *Environ Monit Assess*. 2006;121(1-3):401-8. **doi:** [10.1007/s10661-005-9137-x](https://doi.org/10.1007/s10661-005-9137-x) **pmid:** 16738775
31. Duong TT, Lee BK. Determining contamination level of heavy metals in road dust from busy traffic areas with different characteristics. *J Environ Manage*. 2011;92(3):554-62. **doi:** [10.1016/j.jenvman.2010.09.010](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.09.010) **pmid:** 20937547
32. Thorpe A, Harrison RM. Sources and properties of non-exhaust particulate matter from road traffic: a review. *Sci Total Environ*. 2008;400(1-3):270-82. **doi:** [10.1016/j.scitotenv.2008.06.007](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.06.007) **pmid:** 18635248
33. Roubicek V, Raclavska H, Juchelkova D, Filip P. Wear and environmental aspects of composite materials for automotive braking industry. *Wear*. 2008;265(1-2):167-75. **doi:** [10.1016/j.wear.2007.09.006](https://doi.org/10.1016/j.wear.2007.09.006)
34. Rout TK, Mastro RE, Padhy PK, Ram LC, George J, Joshi G. Heavy metals in dusts from commercial and residential areas of Jharia coal mining town. *Environ Earth Sci*. 2015;73(1):347-59. **doi:** [10.1007/s12665-014-3429-9](https://doi.org/10.1007/s12665-014-3429-9)
35. Batjargal T, Otgonjargal E, Baek K, Yang JS. Assessment of metals contamination of soils in Ulaanbaatar, Mongolia. *J Hazard Mater*. 2010;184(1-3):872-6. **doi:** [10.1016/j.jhazmat.2010.08.106](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.08.106) **pmid:** 20888123
36. Wang XS, Qin Y. Spatial distribution of metals in urban topsoils of Xuzhou (China): controlling factors and environmental implications. *Environ Geol*. 2006;49(6):905-14. **doi:** [10.1007/s00254-005-0122-z](https://doi.org/10.1007/s00254-005-0122-z)
37. Li FY, Fan ZP, Xiao PF, Oh K, Ma XP, Hou W. Contamination, chemical speciation and vertical distribution of heavy metals in soils of an old and large industrial zone in Northeast China. *Environ Geol*. 2009;57(8):1815-23. **doi:** [10.1007/s00254-008-1469-8](https://doi.org/10.1007/s00254-008-1469-8)
38. Romic M, Romic D. Heavy metals distribution in agricultural topsoils in urban area. *Environ Geol*. 2003;43(7):795-805. **doi:** [10.1007/s00254-002-0694-9](https://doi.org/10.1007/s00254-002-0694-9)
39. Jafari A, Ghaderpoori M, Kamarehi B, Abdipour HJEES. Soil pollution evaluation and health risk assessment of heavy metals around Douroud cement factory, Iran. *Environ Earth Sci*. 2019;78(8):250. **doi:** [10.1007/s12665-019-8220-5](https://doi.org/10.1007/s12665-019-8220-5)
40. Wang L, Lu X, Ren C, Li X, Chen C. Contamination assessment and health risk of heavy metals in dust from Changqing industrial park of Baoji, NW China. *Environ Earth Sci*. 2014;71(5):2095-104. **doi:** [10.1007/s12665-013-2613-7](https://doi.org/10.1007/s12665-013-2613-7)
41. Ihedioha JN, Ukoha PO, Ekere NR. Ecological and human health risk assessment of heavy metal contamination in soil of a municipal solid waste dump in Uyo, Nigeria. *Environ Geochem Health*. 2017;39(3):497-515. **doi:** [10.1007/s10653-016-9830-4](https://doi.org/10.1007/s10653-016-9830-4) **pmid:** 27170184
42. Chen H, Teng Y, Lu S, Wang Y, Wang J. Contamination features and health risk of soil heavy metals in China. *Sci Total Environ*. 2015;512-3:143-53. **doi:** [10.1016/j.scitotenv.2015.01.025](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.025) **pmid:** 25617996
43. Chabukdhara M, Nema AK. Heavy metals assessment in urban soil around industrial clusters in Ghaziabad, India: probabilistic health risk approach. *Ecotoxicol Environ Saf*. 2013;87:57-64. **doi:** [10.1016/j.ecoenv.2012.08.032](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2012.08.032) **pmid:** 23116622