

## ارزیابی ریسک سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی در مواجهه با فلزات سنگین هوا

سید رضا کریمی<sup>۱</sup>

نبی اله منصوری<sup>۲\*</sup>

[nmansouri@srbiau.ac.ir](mailto:nmansouri@srbiau.ac.ir)

لعبت تقوی<sup>۳</sup>

مظاهر معین‌الدینی<sup>۴</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۴/۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱/۲۱

### چکیده

**زمینه و هدف:** برخی از فلزات سنگین هوا به دلیل ویژگی‌های بزرگنمایی زیستی، پایداری و اثرات مخرب بر روی سلامت انسان اهمیت بسیار زیادی دارند. هدف اصلی از پژوهش حاضر شناسایی و ارزیابی ریسک فلزات سنگینی است که پتانسیل سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی را برای مردم منطقه ۲۱ به همراه دارد.

**روش بررسی:** منطقه ۲۱ تهران به دلیل داشتن کاربری‌های صنعتی و نیمه‌صنعتی به‌عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شد. طبق استاندارد EPA و ASTM با استفاده از پمپ حجم بالا ۵۰ نمونه از هوا به کمک فیلترهای فایبرگلاس از کاربری‌های مختلف منطقه ۲۱ در سال ۱۴۰۰ برداشت شد. تعیین غلظت فلزات سنگین با استفاده از دستگاه ICP-OES صورت گرفت. همچنین با استفاده از روش سیستم اطلاعات یکپارچه ریسک IRIS ارزیابی ریسک سرطان و غیر سرطان محاسبه شد.

**یافته‌ها:** میانگین غلظت فلزات سنگین به ترتیب روند کاهشی شامل  $Li < Ti < W < Pb < Sr < Mg < Fe < Zn < Cr < Al$  است که آلومینیوم با  $58/87 \mu g/m^3$  بیشترین غلظت و لیتیم با  $0/01 \mu g/m^3$  کمترین غلظت را دارد. همچنین نتایج ارزیابی ریسک تنفسی بیانگر آن است که HQ آلومینیوم با  $0/1 + 1/13 E$  ریسک غیر سرطانی و Cr سرب با  $0/5 - 1/49 E$  ریسک سرطانی دارد.

**بحث و نتیجه‌گیری:** مقایسه میزان سرب با استاندارد ملی آمریکا نشان می‌دهد که غلظت سرب در سطح مناسبی قرار ندارد. یافته‌های این پژوهش می‌تواند در تدوین استراتژی‌های مناسب توسط مدیران شهری و اولویت‌بندی کنترل ریسک فلزات سنگین هوا کمک شایانی کند.

**واژه‌های کلیدی:** فلزات سنگین، اتمسفر، مواجهه، ارزیابی ریسک بهداشتی، سرطان‌زایی.

۱ - دکترای گروه علوم محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.  
۲ - استاد گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. \* (مسئول مکاتبات)

۳ - دانشیار گروه علوم محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۴ - دانشیار گروه علوم محیط‌زیست، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

## **Carcinogenicity and non-carcinogenicity Risk Assessment encounter of air heavy metals**

**Seyyed Reza Karimi**  
**Nabiollah Mansouri**<sup>2 \*</sup>  
[Farzam.babaei@gmail.com](mailto:Farzam.babaei@gmail.com)  
**Lobat Taghavi**<sup>3</sup>  
**Mazaher moeinaddini**<sup>f</sup>

Admission Date: June 27, 2022

Date Received: April 10, 2022

### **Abstract**

**Background and Objective:** Some heavy metals in the air are very important due to their biomagnification properties, persistence and harmful effects on human health. The main goal of this research is to identify and assess the risk of heavy metals that have carcinogenic and non-carcinogenic potential for the people of Region 21.

**Material and Methodology:** District 21 of Tehran was selected as the study area due to its industrial and semi-industrial uses. According to ASTM and EPA standards, 50 air samples were taken from different uses of Region 21 in 2021 using high volume pumps with the help of fiberglass filters. The concentration of heavy metals was determined using ICP-OES. Cancer and non-cancer risk assessments were also calculated using the IRIS integrated information system method.

**Findings:** The average concentration of heavy metals in the decreasing trend is Li < Ti < W < Pb < Sr < Mg < Fe < Zn < Cr < Al, respectively, with aluminum having the highest concentration of 58.87 µg/m<sup>3</sup> and lithium with 0.01 µg/m<sup>3</sup> has the lowest concentration. In addition, the results of respiratory risk assessment indicate that HQ aluminum with 1/13E+01 has a non-cancer risk and Cr lead with 1/49E-05 has a cancer risk.

**Discussion and Conclusion:** Comparing the amount of lead with the US national standard shows that the concentration of lead is not at the appropriate level. The findings of this study can help in formulating appropriate strategies by city managers and prioritizing the control of heavy metals in the air.

**Key words:** Heavy Metals, Atmosphere, Exposure, Health Risk Assessment, Carcinogenicity.

---

1- PhD Student, Department of Environmental Science and Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran.

2- Professor, Department of Environmental Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran. *\*(Corresponding Author)*

3- Associate Professor, Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources and Environment, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran.

4- Associate Professor, Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj Campus of Agriculture and Natural Resources, Iran.

## مقدمه

مختلف فقط سرب در هر دو مکان مسکونی و صنعتی، دو برابر حد مجاز<sup>۲</sup> WHO است (16). همچنین پژوهش بلو و همکاران (۲۰۱۹) در برآورد خطرات بهداشتی ناشی از فلزات سنگین بر روی کودکان و بزرگسالان ساکن در مجاورت معادن طلای نیجریه نشان داد که خطر ابتلا به سرطان مطابق با USEPA<sup>۳</sup> برای ریسک غیر سرطان‌زا و سرطان‌زا زیر خط آستانه تحمل بود (17).

ارزیابی ریسک سلامت فرآیندی است که به تخمین ریسک اندام موردنظر، سیستم یا جمعیت می‌پردازد (۱۸). مطالعه و استفاده از فن‌های ارزیابی ریسک سلامت، به‌منظور درک مواجهه با فلزات سنگین و سایر آلاینده‌های مضر بسیار مهم است (۱۹). ارزیابی ریسک سلامت به‌عنوان توصیف اثرات نامطلوب بالقوه سلامت انسان در نتیجه مواجهه با خطرات زیست‌محیطی در نظر گرفته می‌شود (۲۰). این فرآیند از ابزارهای علم، مهندسی و آمار برای شناسایی و اندازه‌گیری یک خطر، تعیین مسیرهای احتمالی مواجهه و درنهایت استفاده از آن اطلاعات برای محاسبه یک مقدار عددی برای نشان دادن پتانسیل ریسک احتمالی استفاده می‌کند (۲۱). ارزیابی<sup>۴</sup> IRIS شامل دو مرحله اول فرآیند ارزیابی ریسک است: ۱- شناسایی خطر: که خطرات بهداشتی مواجهه با یک ماده شیمیایی را شناسایی می‌کند ۲- ارزیابی دوز-پاسخ: رابطه کمی بین مواجهه مواد شیمیایی و هر یک از خطرات بهداشتی معتبر را مشخص می‌کند (شکل ۱). از این روابط کمی برای استخراج مقادیر سمیت استفاده می‌شود. سپس ارزیابی مواجهه را با اطلاعات خطر و مقادیر سمیت از IRIS ترکیب شود تا خطرات بالقوه سلامت عمومی مشخص گردد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که مطالعه جامعی در خصوص ارزیابی غلظت فلزات سنگین هوا و ارزیابی ریسک سلامت انسان در مناطق صنعتی تهران صورت نگرفته و خلأ پژوهشی در این زمینه وجود دارد. بنابراین هدف اصلی این پژوهش تعیین میانگین غلظت فلزات سنگین هوا و

امروزه افزایش غلظت فلزات سنگین (HMs) هوا یکی از نگرانی‌های مهم بهداشتی است (۱، ۲). چندین آلاینده شیمیایی سمی مانند فلزات سنگین، منابع اصلی آلودگی هستند (۳، ۴). آلودگی فلزات سنگین تأثیرات نامطلوبی را بر محیط‌زیست و سلامت انسان می‌گذارد (۵، ۶). در سال‌های اخیر، آلودگی فلزات سنگین به دلیل مسمومیت زیاد، ماندگاری طولانی و ویژگی‌های بزرگنمایی زیستی به یک مشکل غیرقابل چشم‌پوشی در محیط‌زیست تبدیل شده است (۷). فلزات سنگین در محیط جوی همه‌جا حضور دارند و می‌توانند از منابع انسانی متعددی مانند آلودگی خودروها، احتراق سوخت‌های فسیلی، انتشارات صنعتی، فعالیت‌های ساختمانی، گردوغبار یا حمل‌ونقل منشأ بگیرند (۸، ۹). فلزات سنگین عمدتاً با استخراج معدن، ذوب فلزات، فعالیت‌های کشاورزی و رسوب جوی آزاد می‌شوند (۱۰). سرطان‌زایی و اثرات کشنده در مواجهه با فلزات سنگین به عوامل مختلفی مانند سمیت، غلظت ماده شیمیایی، زمان مواجهه، سن و وزن بدن افراد در معرض وابسته است (۱۱). به‌طورکلی افزایش مواجهه با استنشاق فلزات سنگین رابطه معنی‌داری بالایی با کاهش عملکرد ریه در بزرگسالان دارد (۱۲). اثرات سمی فلزات سنگین شامل بیماری‌های خونی، قلبی عروقی، تولیدمثل و ژنتیک بوده (۱۳) و همچنین درمانیت، آسم، برونشیت و آسیب به عملکرد کبد و کلیه را به همراه دارد (۱۴). از عوارض نامطلوب ورود و حضور آن‌ها در بدن انسان می‌توان به اسهال، شکم‌درد و استفراغ شدید، شکستگی استخوان، عقیم شدن، آسیب به سیستم عصبی مرکزی، آسیب به سیستم ایمنی، ناهنجاری‌های روانی و آسیب احتمالی به DNA و سرطان اشاره نمود (۱۵).

مطالعات محدودی در خصوص غلظت فلزات سنگین هوا و اثرات بهداشتی آن بر روی سلامت انسان انجام شده است. در این راستا مطالعه خان و همکاران (۲۰۲۰) باهدف بررسی فلزات سنگین متصل به ذرات معلق هوا در مناطق مسکونی و صنعتی اسلام‌آباد پاکستان نشان داد که از بین انواع فلزات سنگین

2- World Health organization

3- U.S. Environmental Protection Agency

4- Integrated Risk Information System

1- Heavy Metals

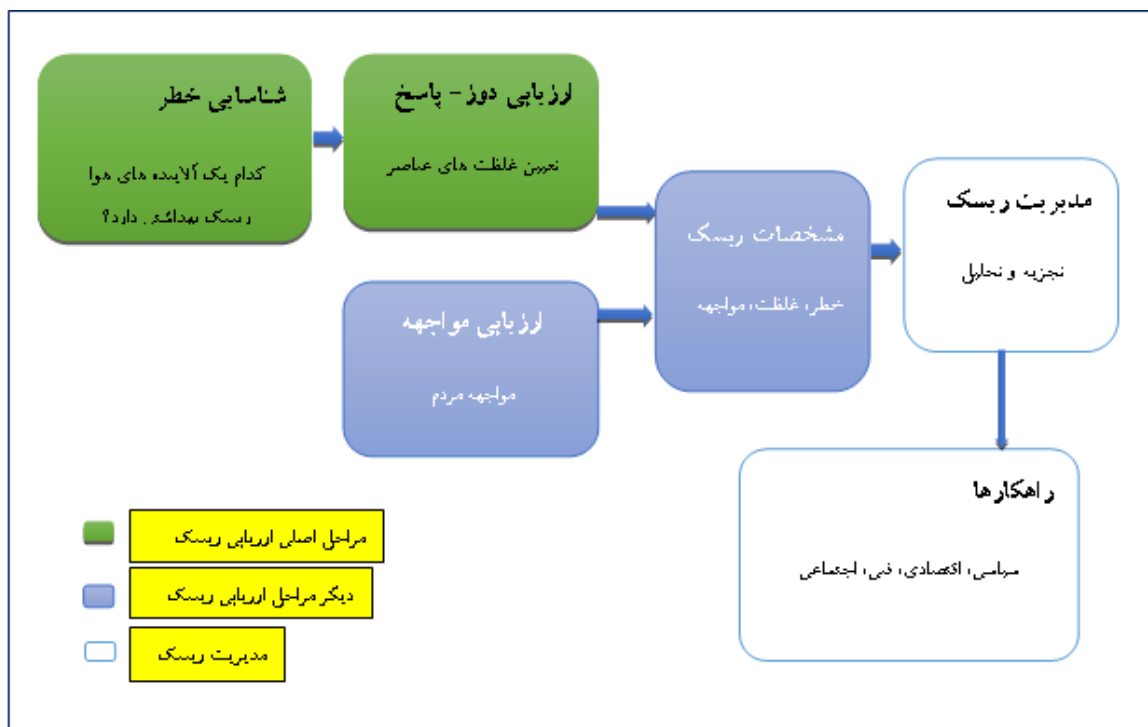
شهریار هم‌جوار است. مساحت محدوده منطقه ۲۱ بالغ بر ۵۱۵۶ هکتار است که ۸/۷ درصد مساحت کل مناطق شهر تهران بوده و در قیاس با مساحت سایر مناطق در زمره بزرگ‌ترین مناطق تهران قرار دارد. این منطقه در اولین طرح جامع شهر تهران به‌عنوان پهنه اصلی استقرار کارخانه‌های صنعتی و فعالیت‌های وابسته به آن در نظر گرفته شده است. طبق آخرین سرشماری مرکز آمار ایران در سال ۱۳۹۵ تعداد جمعیت این منطقه ۱۸۶۸۲۱ نفر بوده که ۲/۱ درصد از جمعیت تهران را تشکیل داده است.

ارزیابی ریسک بهداشتی با استفاده از روش IRIS در منطقه ۲۱ شهر تهران است.

## روش کار

### مکان مورد مطالعه

منطقه ۲۱ در منتهی‌الیه غرب استان تهران و در امتداد جاده‌های ارتباطی تهران - کرج با مختصات جغرافیایی  $35^{\circ}41'31.33''\text{N}$  و  $51^{\circ}16'25.16''\text{E}$  و با ارتفاع ۱۲۱۱ متر از سطح دریا گسترده شده است. این محدوده از شمال با منطقه ۲۲، از شرق با مناطق ۵، ۹ و ۱۸ از غرب با شهرستان کرج و از جنوب با کمر بند سبز جنوب تهران و شهرستان



شکل ۱- فرآیند ارزیابی IRIS و مدیریت ریسک

Figure 1. IRIS assessment process and risk management

## نمونه برداری و آنالیز آزمایشگاهی

برای سنجش و اندازه‌گیری فلزات سنگین از استانداردهای EPA<sup>۳</sup> Compendium Method و ASTM<sup>۲</sup> D4096 IO-2.1 (۲۲) استفاده شد. نمونه‌برداری با استفاده از پمپ

پژوهش حاضر در دو بخش میدانی و آزمایشگاهی انجام شد. طبق استاندارد EPA<sup>۱</sup> ایستگاه‌های نمونه‌برداری باید طوری انتخاب شود که ذرات جمع‌آوری شده نماینده مناطق تحت نظارت باشد. پنج ایستگاه نمونه‌برداری شامل کاربری‌های مسکونی، نیمه مسکونی، صنعتی، نیمه‌صنعتی و بوستان به‌عنوان محل نمونه‌برداری از منطقه ۲۱ انتخاب شد (نقشه ۱).

2- Standard Test Method for Determination of Total Suspended Particulate Matter in the Atmosphere (High-Volume Sampler Method)

3- Sampling of Ambient Air for Total Suspended Particulate Matter (SPM) and PM10 Using High Volume (HV) Sampler

4 Environmental Protection Agency

گردید. در مرحله اول میزان دریافت روزانه آلاینده<sup>۲</sup> CDI از طریق تنفس با استفاده از معادله ۱ برای حالت غیر سرطانی و معادله ۲ برای حالت سرطانی به دست آمد.

$$CDI_{inhal} = \frac{C \times EF \times ED \times ET}{AT \times ED} \quad \text{معادله ۱:}$$

$$CDI_{inhal} = \frac{C \times EF \times ED \times ET}{AT \times LT} \quad \text{معادله ۲:}$$

مقادیر ورودی و واحد اندازه‌گیری متغیرهای مورد استفاده در معادله‌ها به شرح جدول ۱ است.

**ارزیابی ریسک سرطانی:** باید توجه کرد که در بخش ارزیابی ریسک سرطانی حتی کمترین مقدار تماس انسان با آلاینده باعث افزایش ریسک بروز سرطان خواهد شد. در نتیجه ریسک سرطان با معادله ۳ محاسبه شد.

$$\text{Cancer Risk} = CDI \times URF \quad \text{معادله ۳:}$$

در این معادله<sup>۳</sup> URF: واحد ریسک فاکتور برای تخمین ریسک سرطان در طول عمر در مواجهه با یک ماده سرطان‌زا استفاده می‌شود.

**ارزیابی ریسک غیر سرطانی:** اگر مقدار مواجهه انسان با آلاینده از حد آستانه بیشتر نباشد احتمال بروز عوارض بهداشتی غیر سرطانی وجود نداشته و یا احتمال آن ضعیف خواهد بود. جهت محاسبه ریسک غیر سرطانی ابتدا RFC برای هر کدام از فلزات سنگین محاسبه می‌شود. مقدار RFC نمایانگر مواجهه با آلاینده‌ها از طریق استنشاق است که از مطالعات پیشین و یا پایگاه اطلاعاتی<sup>۴</sup> RAIS به دست می‌آید. بنابراین ریسک خطر<sup>۵</sup> HQ با معادله ۴ محاسبه شد:

$$HQ = \frac{CDI}{RFC} \quad \text{معادله ۴:}$$

در این معادله<sup>۶</sup> (RFC): غلظت مرجع تنفسی با تخمین مواجهه مداوم جمعیت انسانی در طول عمر می‌باشد.

حجم بالا و فیلترهای فایبرگلاس جمع‌آوری شد (۲۳). برای نمونه‌برداری از فیلتر فایبرگلاس کروی MN<sup>۱</sup> 85/90 با قطر 110 mm ساخت کشور آلمان استفاده شد. به‌طور کلی ۵۰ نمونه در سال ۱۴۰۰ برداشت شده و آنالیز بر روی آن‌ها صورت گرفت. جهت تعیین غلظت فلزات، نصف فیلتر به قطعات خیلی ریز خرد و در داخل تفلونی ریخته شد و سپس ۳ میلی‌لیتر اسید نیتریک، ۱ میلی‌لیتر اسید پرکلرات و ۰/۱ میلی‌لیتر اسید هیدروفلوئوریک به آن اضافه و به مدت ۴ ساعت در دمای ۱۷۰ درجه سلسیوس در داخل فور قرار گرفت.

پس از سرد شدن محلول بر روی بخاری برقی در دمای ۹۵ درجه سلسیوس خشک و ۱ میلی‌لیتر اسید کلریدریک به آن افزوده و سپس به‌وسیله آب مقطر دو بار تقطیر شده به حجم ۱۰ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس محلول از فیلترهای واتمن عبور داده شده و در داخل ظروف پلاستیکی در یخچال تا زمانی که قرائت فلزات انجام گیرد نگهداری شد (۲۴). در این پژوهش از طیف‌سنج پلاسمای جفت شده القایی مدل Agilent 5110 ICP-OES (ساخت کشور استرالیا) در آزمایشگاه مرکز پژوهش‌های صنعتی و معدنی تهران برای تعیین غلظت فلزات سنگین استفاده شد. تجزیه و تحلیل آماره‌های توصیفی فلزات سنگین با استفاده از نرم‌افزار Spss نسخه ۲۶ صورت گرفت.

#### محاسبه ارزیابی ریسک سلامت

یکی از ابزارهای مفید در تعیین میزان ریسک ابتلا انسان به بیماری‌های سرطانی و غیر سرطانی ارزیابی ریسک بهداشتی است (۲۵). در این پژوهش ارزیابی ریسک سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی با استفاده از روش (IRIS) آژانس حفاظت از محیط‌زیست ایالات متحده محاسبه شد (26). با توجه به نتایج اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین نسبت به ارزیابی ریسک سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی اقدام شد. آلاینده‌هایی که طبق نتایج اندازه‌گیری شده و جدول پیشنهادی IRIS پتانسیل ایجاد خطر داشتند جهت ارزیابی ریسک سرطانی و غیر سرطانی انتخاب شدند. برای انجام محاسبات از میانگین کل غلظت‌های به‌دست‌آمده در طول کل مدت نمونه‌برداری استفاده

1- MACHERREY-NAGEL

2- Chronic Daily Intake

3- Unit Risk Factor

4- The Risk Assessment Information System

5- Hazard Quotient

6- Reference Concentration

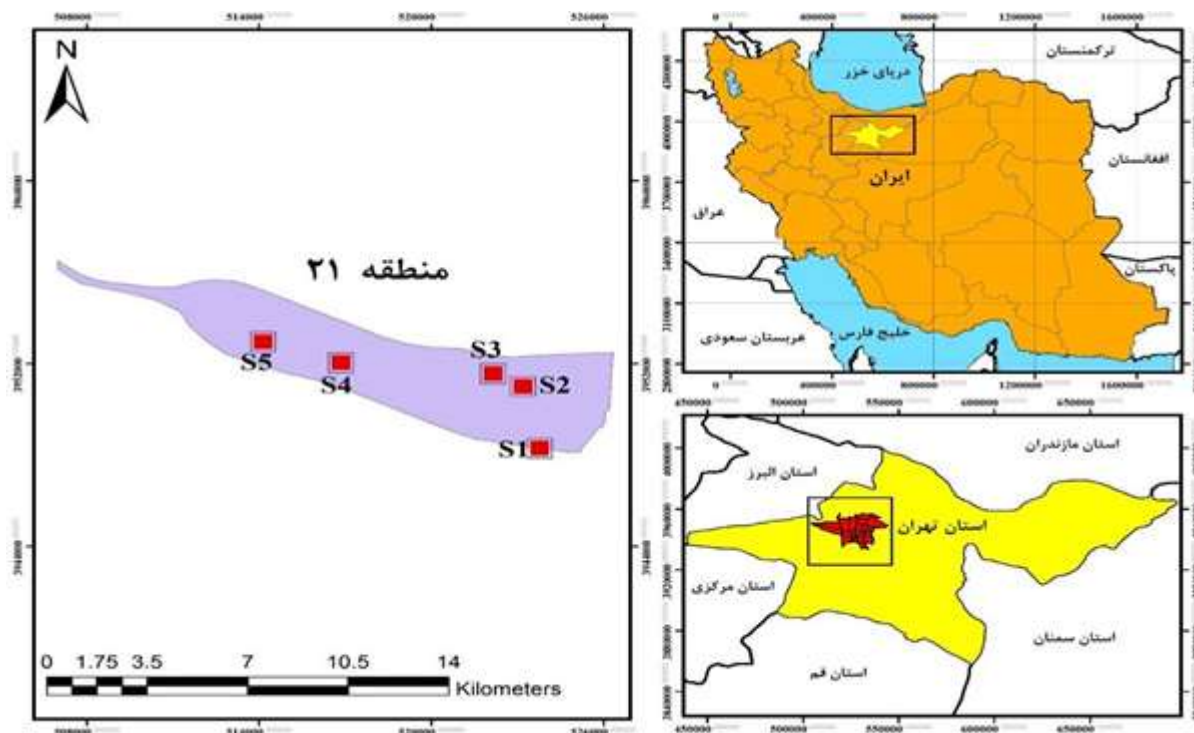
## یافته‌ها

هست. میانگین غلظت فلزات سنگین در سال ۱۴۰۰ به ترتیب  
روند کاهشی شامل

$Li < Ti < W < Pb < Sr < Mg < Fe < Zn < Cr < Al$  است (نمودار

(۱).

نتایج غلظت فلزات سنگین هوا در ایستگاه‌های مورد مطالعه  
منطقه ۲۱ در جدول ۲ نشان داده شده است. آماره توصیفی  
اشاره شده مربوط به ۵۰ نمونه اندازه‌گیری شده از منطقه ۲۱



نقشه ۱- موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری شده در منطقه ۲۱ تهران

Map1. Location of sampled stations in District 21 of Tehran

جدول ۱- مقادیر ورودی و واحد اندازه‌گیری متغیرهای IRIS برای شهروندان ساکن در منطقه

Table 1. Input values and unit of measurement of IRIS variables for citizens living in the region

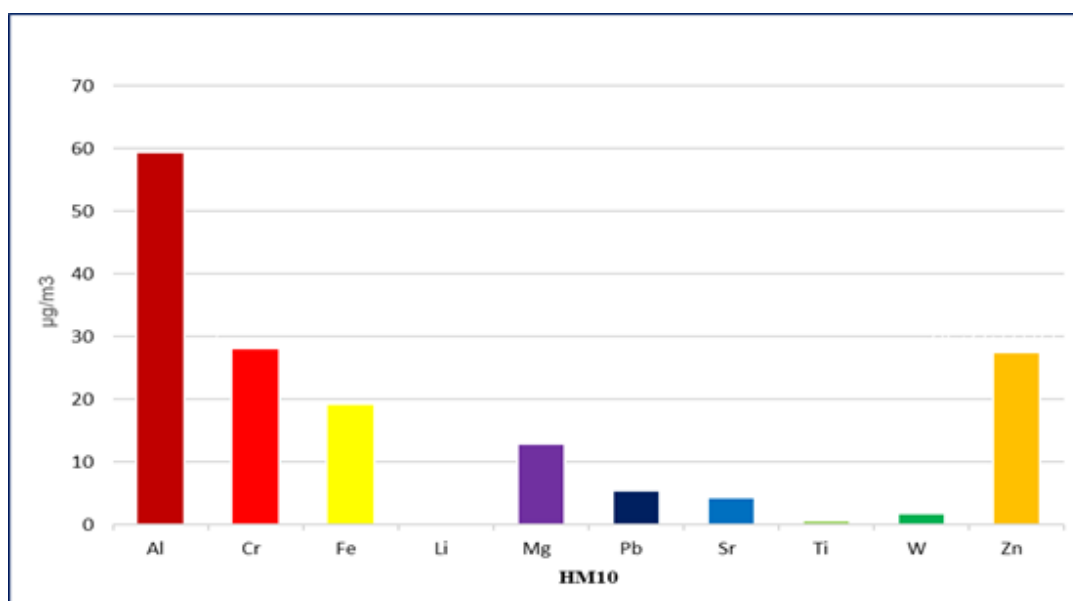
| مقادیر IRIS برای شهروندان ساکن | واحدها      | متغیرها                         |                     |
|--------------------------------|-------------|---------------------------------|---------------------|
|                                |             | مرحله مواجهه                    |                     |
| مطابق جدول ۲ برای هر عنصر      | $\mu g/m^3$ | غلظت عناصر اندازه‌گیری شده      | C                   |
|                                | years       | دوره مواجهه                     | ED <sub>res</sub>   |
| ۲۶                             | years       | فاز اول دوره مواجهه جهش‌زا      | ED <sub>0-2</sub>   |
| ۲                              | years       | فاز دوم دوره مواجهه جهش‌زا      | ED <sub>2-6</sub>   |
| ۴                              | years       | فاز سوم دوره مواجهه جهش‌زا      | ED <sub>6-16</sub>  |
| ۱۰                             | years       | فاز چهارم دوره مواجهه جهش‌زا    | ED <sub>16-26</sub> |
| ۱۰                             | years       | فاز سوم دوره مواجهه جهش‌زا      | ED <sub>6-16</sub>  |
| ۳۵۰                            | days/year   | فراوانی مواجهه                  | EF <sub>res</sub>   |
| ۳۵۰                            | days/year   | فاز اول فراوانی مواجهه جهش‌زا   | EF <sub>0-2</sub>   |
| ۳۵۰                            | days/year   | فاز دوم فراوانی مواجهه جهش‌زا   | EF <sub>2-6</sub>   |
| ۳۵۰                            | days/year   | فاز سوم فراوانی مواجهه جهش‌زا   | EF <sub>6-16</sub>  |
| ۳۵۰                            | days/year   | فاز چهارم فراوانی مواجهه جهش‌زا | EF <sub>16-26</sub> |
| ۲۴                             | hours/day   | زمان مواجهه                     | ET <sub>res</sub>   |
| ۲۴                             | hours/day   | فاز اول زمان مواجهه جهش‌زا      | ET <sub>0-2</sub>   |
| ۲۴                             | hours/day   | فاز دوم زمان مواجهه جهش‌زا      | ET <sub>2-6</sub>   |
| ۲۴                             | hours/day   | فاز سوم زمان مواجهه جهش‌زا      | ET <sub>6-16</sub>  |
| ۲۴                             | hours/day   | فاز چهارم زمان مواجهه جهش‌زا    | ET <sub>16-26</sub> |
| ۷۰                             | years       | متوسط عمر انسان                 | LT                  |
| ۳۶۵ED*                         | hr          | متوسط زمان                      | AT                  |

جدول ۲- آماره توصیفی فلزات سنگین منطقه ۲۱ تهران در سال ۱۴۰۰

Table 2. Descriptive statistics of heavy metals in region 21 of Tehran in 1400

| عناصر | تعداد | تغییرات    | حداقل      | حداکثر     | میانگین    | انحراف معیار |
|-------|-------|------------|------------|------------|------------|--------------|
|       |       | $g/m^3\mu$ | $g/m^3\mu$ | $g/m^3\mu$ | $g/m^3\mu$ |              |
| Al    | ۵۰    | ۶۸/۰۴      | ۲۱/۶۱      | ۸۹/۶۶      | ۵۸/۸۷      | ۱۹/۷۲        |
| Cr    | ۵۰    | ۵۷/۵۳      | ۵/۴۷       | ۶۳         | ۲۷/۴۸      | ۱۹/۶۰        |
| Zn    | ۵۰    | ۲۷/۳۵      | ۱۱/۶۴      | ۳۳/۹۸      | ۲۳/۹۹      | ۸/۱۳         |
| Fe    | ۵۰    | ۳۱/۱۱      | ۵/۴۶       | ۳۶/۵۷      | ۱۵/۷۰      | ۱۰/۵۰        |
| Mg    | ۵۰    | ۱۲/۲۱      | ۳/۶۷       | ۱۵/۸۸      | ۱۰/۷۰      | ۳/۹۴         |

|      |      |      |      |      |    |    |
|------|------|------|------|------|----|----|
| ۱/۴۸ | ۳/۵۳ | ۵/۹۰ | ۱/۲۹ | ۴/۶۰ | ۵۰ | Sr |
| ۳/۷۶ | ۳/۴۹ | ۹/۷۰ | ۰/۱۳ | ۹/۵۷ | ۵۰ | Pb |
| ۱/۲۲ | ۱/۲۶ | ۳/۸۵ | ۰/۱۴ | ۳/۷۲ | ۵۰ | W  |
| ۰/۲۴ | ۰/۵۵ | ۰/۹۴ | ۰/۲۴ | ۰/۷۱ | ۵۰ | Ti |
| ۰    | ۰/۰۱ | ۰/۰۲ | ۰    | ۰/۰۲ | ۵۰ | Li |



نمودار ۱- مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین هوا در منطقه ۲۱

Diagram 1. Comparison of average concentrations of heavy metals in air in region 21

غیر سرطانی در عناصر کروم، آهن، لیتیم، منیزیم، استرانسیم، تیتانیوم، تنگستن و روی وجود ندارد. میزان HQ آلومینیوم با  $1.13 E + 01$  بیشتر از ۱ بوده که نشان از خطر بیماری‌های غیر سرطانی دارد. ریسک غیر سرطانی به علت غلظت قابل توجه آلومینیوم نسبت به سایر عناصر در اتمسفر منطقه ۲۱ محتمل است. همچنین CR سرب با  $1.49 E - 05$  بیشترین ریسک بیماری سرطان را دارد. به عبارت دیگر عناصر آلومینیوم و سرب به ترتیب کل ریسک غیر سرطانی و سرطانی را در بین عناصر اندازه‌گیری شده دارند (جدول ۴).

حداکثر غلظت و تغییرات عنصر آلومینیوم  $89.68 \pm 68.04$   $\mu\text{g}/\text{m}^3$  حداقل غلظت و تغییرات عنصر لیتیم  $0.02 \pm 0.02$   $\mu\text{g}/\text{m}^3$  می باشد. همچنین آلومینیوم و کروم به ترتیب با  $19.72$  و  $19.60$  بیشترین انحراف معیار را داشته و احتمالاً بیانگر آن است که از منابع متفاوتی توزیع شده‌اند.

#### نتایج ارزیابی ریسک سلامت

به‌طور کلی نتایج حاصل از ارزیابی ریسک سلامت در مواجهه با فلزات سنگین هوا برای شهروندان منطقه ۲۱ تهران در جدول ۳ ارائه شده است. بر اساس جدول ۳ ریسک تنفسی سرطانی و



جدول ۳- نتایج ارزیابی ریسک سلامت در مواجهه با فلزات سنگین هوا در منطقه مورد مطالعه

Table 3. Results of health risk assessment in the face of heavy metals in the air in the study area

| Inhalation Risk | Inhalation HQ | Inhalation Carcinogenic CDI (ug/m <sup>3</sup> ) | Inhalation No carcinogenic CDI(mg/m <sup>3</sup> ) | Air Concentration (ug or fibers/m <sup>3</sup> ) | RfC (mg/m <sup>3</sup> ) | IUR Ref | IUR (ug/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup> | فلزات سنگین |
|-----------------|---------------|--|--|--|--------------------------|---------|--|-------------|
| -               | ۱/۱۳E+۰۱      | ۲/۱۰E+۰۱   | ۵/۶۵E-۰۲   | ۵/۸۹E+۰۱   | ۵/۰۰E-۰۳                 |         | -                                      | آلومینیوم   |
| -               | -             | ۹/۷۹E+۰۰   | ۲/۶۴E-۰۲   | ۲/۷۵E+۰۱   | -                        |         | -                                      | کروم        |
| -               | -             | ۵/۵۹E+۰۰   | ۱/۵۱E-۰۲   | ۱/۵۷E+۰۱   | -                        |         | -                                      | آهن         |
| ۱/۴۹E-۰۵        | -             | ۱/۲۴E+۰۰   | ۳/۳۵E-۰۳   | ۳/۴۹E+۰۰   | -                        | U       | ۱/۲۰E-۰۵                               | سرب         |
| -               | -             | ۳/۹۷E-۰۳   | ۱/۰۷E-۰۵   | ۱/۱۱E-۰۲   | -                        |         | -                                      | لیتیم       |
| -               | -             | ۳/۸۱E+۰۰   | ۱/۰۳E-۰۲   | ۱/۰۷E+۰۱   | -                        |         | -                                      | منیزیم      |
| -               | -             | ۱/۲۶E+۰۰   | ۳/۳۹E-۰۳   | ۳/۵۴E+۰۰   | -                        |         | -                                      | استرانسیم   |
| -               | -             | ۱/۹۹E-۰۱   | ۵/۳۶E-۰۴   | ۵/۵۹E-۰۱   | -                        |         | -                                      | تیتانیوم    |
| -               | -             | ۴/۴۹E-۰۱   | ۱/۲۱E-۰۳   | ۱/۲۶E+۰۰   | -                        |         | -                                      | تنگستن      |
| -               | -             | ۸/۵۵E+۰۰   | ۲/۳۰E-۰۲   | ۲/۴۰E+۰۱   | -                        |         | -                                      | روی         |
| ۱/۴۹E-۰۵        | ۱/۱۳E+۰۱      | -  | -  | -  | -                        |         | -                                      | کل ریسک     |

جدول ۴- درصد ریسک سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی در مواجهه با فلزات سنگین هوا

Table 4. Percentage of carcinogenic and non-carcinogenic risks in the presence of heavy metals in the air

| ریسک بیماری سرطان | ریسک بیماری غیر سرطان | فلزات سنگین |
|-------------------|-----------------------|-------------|
| -                 | ۱۰۰٪                  | آلومینیوم   |
| -                 | -                     | کروم        |
| -                 | -                     | آهن         |
| ۱۰۰٪              | -                     | سرب         |
| -                 | -                     | لیتیم       |
| -                 | -                     | منیزیم      |
| -                 | -                     | استرانسیم   |
| -                 | -                     | تیتانیوم    |

|      |      |         |
|------|------|---------|
| -    | -    | تنگستن  |
| -    | -    | روی     |
| ۱۰۰٪ | ۱۰۰٪ | کل ریسک |

## بحث

به‌طور کلی هدف اصلی این پژوهش بررسی غلظت فلزات سنگین و ارزیابی ریسک بهداشتی ناشی از مواجهه مردم ساکن در منطقه ۲۱ تهران بود. ارزیابی ریسک سلامت برخی فلزات سنگین با استفاده از شاخص آژانس حفاظت از محیط‌زیست از اهمیت بالایی برخوردار بوده (۲۷) و بهره‌گیری از روش‌های نوین ارزیابی مواجهه و انجام مدل‌های محاسباتی در تخمین بهتر مواجهه افراد با عوامل خطر محیطی ضروری است (۲۸). بنابراین در مطالعه حاضر از روش نوین سیستم اطلاعات یکپارچه ریسک که مورد پذیرش EPA بوده جهت محاسبه ارزیابی ریسک تنفسی استفاده شده است.

نتایج سنجش غلظت فلزات سنگین هوا در منطقه ۲۱ نشان داد که میانگین غلظت فلزات سنگین هوا در منطقه ۲۱ تهران به ترتیب روند کاهشی شامل  $Li < Ti < W < Pb < Sr < Mg < Fe < Zn < Cr < Al$  بود. غلظت عنصر آلومینیوم قابل توجه بوده و اختلاف معنی‌داری را با سایر عناصر دارد. به‌طور طبیعی مقدار آلومینیوم در طبیعت از فراوانی بیشتری برخوردار است، اما احتمال دخالت منشأ انسانی از قبیل فعالیت کارخانه‌های صنعتی و نیمه‌صنعتی در منطقه ۲۱ در توزیع آلومینیوم وجود دارد. پژوهش مختار و همکاران (۲۰۱۹) نیز نشان می‌دهد که آلومینیوم گسترده در محیط‌زیست از منابع طبیعی منشأ گرفته و مواجهه در زندگی روزمره اجتناب‌ناپذیر است (۳۴). همچنین یافته‌های پژوهش وزیری و همکاران (۱۳۹۹) نیز نشان می‌دهد که غلظت بالای فلزات سنگین و میانگین‌های بالاتر از حد معمول، نشان‌دهنده تأثیرپذیری از فعالیت‌های انسانی منطقه است (۲۹). آلومینیوم یک عنصر غیرضروری برای بدن انسان است که انسان در تماس با آن قرار دارد. مقدار آلومینیوم در رژیم غذایی پایین است و مقدار ناچیزی از آن از طریق دستگاه گوارش جذب می‌شود. با این حال انسان از راه‌های متعدد در معرض این عنصر قرار

می‌گیرد. گزارش‌هایی در مورد مسمومیت از راه غذا برای این عنصر وجود ندارد ولی ورود آلومینیوم زیاد به بدن می‌تواند اثرات سمی به دنبال داشته باشد (۳۰). نتایج ارزیابی ریسک مطالعه حاضر نشان داد که آلومینیوم تنها عنصر موجود است که ریسک بالایی در بیماری‌های غیر سرطانی دارد. در این راستا یافته‌های مطالعه توماس و همکاران (۲۰۱۹) در خصوص ارزیابی خطر آلومینیوم برای جمعیت عمومی نشان داد که بیماری‌های غیر سرطانی مانند مسمومیت، اختلال دستگاه ادراری و سیستم عصبی از اثرات شناخته‌شده آلومینیوم و ترکیبات آن است (۳۱). همچنین پژوهش علمداری و همکاران (۱۳۹۹) بیانگر آن است که آلومینیوم می‌تواند عامل بسیاری از بیماری‌ها در انسان و حیوانات باشد و اثرات مضر بر روی ریشه گیاهان نیز دارد (۳۲). شواهد نشان می‌دهد که اثر سمی و اختلال عصبی-عضلانی بر روی کارگران شاغل در کارخانه‌های مختلف مرتبط با آلومینیوم از جمله صنایع ذوب آلومینیوم وجود دارد (۳۰).

همچنین یافته‌های پژوهش حاضر نشان می‌دهد که مواجهه مردم منطقه ۲۱ با عنصر سرب ریسک بالایی را در ابتلا به بیماری‌های سرطانی دارد. در مطالعه عقیلی و بقایی (۲۰۱۹) نیز خطرات بیماری‌های سرطانی در مواجهه با سرب برای کودکان و بزرگسالان بالاتر از مقدار آستانه ( $10^{-6} \times 1$ ) بود (۳۳). در پژوهش پرداختی و صالحی (۱۴۰۰) باهدف ارزیابی ریسک فلزات سنگین در منطقه ۶ مقدار HQ برای هر دو آلاینده (سرب و کادمیوم) کمتر از یک به دست آمد. در نتیجه افراد ساکن در منطقه ۶ به دلیل غلظت قابل قبول فلزات سنگین در معرض خطرهای سرطانی ناشی از سرب و کادمیوم نیستند (۳۴). مطالعه خاکپور و پرداختی (۱۴۰۰) نیز نشان می‌دهد که در گروه سنی کودکان مؤلفه HQ در فصل بهار و در مورد فلز سرب عدد  $1/49$  است که بالاتر از حد مجاز است (۳۵). غلظت

## تشکر و قدردانی

این پژوهش قسمتی از رساله دکتری با عنوان مدل‌سازی تعیین سهم منابع، سنجش و ارزیابی ریسک سلامت ذرات معلق حاوی فلزات سنگین در منطقه ۲۱ تهران است که با حمایت دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران انجام گرفت. نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند مراتب تشکر و قدردانی خود را به عمل آورند.

## References

1. Mohammadi M, Yari A, Saghzadeh M, Sobhanardakani S, Geravandi S, Afkar A, et al. A health risk assessment of heavy metals in people consuming Sohan in Qom. Iran. *Toxin Rev.* 2017.
2. Wu H, Lai C, Zeng G, Liang J, Chen J, Xu J, et al. The interactions of composting and biochar and their implications for soil amendment and pollution remediation: a review. *Critical reviews in biotechnology.* 2017;37(6):754-64.
3. Ye S, Zeng G, Wu H, Zhang C, Liang J, Dai J, et al. Co-occurrence and interactions of pollutants, and their impacts on soil remediation—a review. *Critical reviews in environmental science and technology.* 2017;47(16):1528-53.
4. Dobaradaran S, Soleimani F, Nabipour I, Saedi R, Mohammadi MJ. Heavy metal levels of ballast waters in commercial ships entering Bushehr port along the Persian Gulf. *Marine pollution bulletin.* 2018;126:74-6.
5. Li Z, Ma Z, van der Kuijp TJ, Yuan Z, Huang L. A review of soil heavy metal pollution from mines in China: Pollution and health risk assessment. *Science of The Total Environment.* 2014;468-469:843-53.

سرب منطقه ۲۱ تقریباً ۷ برابر استاندارد کیفیت هوای آزاد (۰/۵)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  NAAQS<sup>۱</sup> آمریکا است. منابع احتمالی سرب شامل تردد وسایل نقلیه سبک و سنگین در مسیر اتوبان‌های تهران-کرج، فتح و لشگری در مجاورت منطقه ۲۱ و استقرار صنایع است. در پژوهش منصوری و همکاران (۱۴۰۰) نیز آلودگی سرب در ذرات معلق داخل و خارج ساختمان‌های مسکونی، اداری، تجاری در کلان‌شهر کرج بررسی شده و نتایج نشان می‌دهد که در مناطق با بار ترافیکی بالاتر میزان سرب در نمونه‌های گردوغبار جمع‌آوری شده بیشتر از سایر ایستگاه‌های اندازه‌گیری شده است (۳۶). بنابراین نوع مکان، میزان بار ترافیکی و استقرار صنایع از جمله پارامترهای اثرگذار در افزایش یا کاهش ریسک سرطانی سرب است. در مطالعه حاضر محدودیت‌هایی از قبیل کالیبره نمودن تجهیزات اندازه‌گیری و آزمایشگاهی وجود داشته است.

## نتیجه‌گیری

یافته‌ها نشان می‌دهد عناصر آلومینیوم و سرب به ترتیب ریسک بیماری‌های غیر سرطانی و سرطانی دارد. سایر عناصر موجود در اتمسفر منطقه ۲۱ به دلیل قرار داشتن در بین عناصر ضروری بدن و یا غلظت پایین ریسک بهداشتی ندارند. پیشنهادهای پژوهشی به پژوهشگران حوزه سلامت می‌تواند ارزیابی غلظت فلزات سنگین به صورت دوره‌ای و ارزیابی ریسک تنفسی، گوارشی و پوستی در مواجهه با فلزات سنگین باشد. در آخر پیشنهاد می‌شود مسئولان برنامه‌ریزی شهری از نتایج کاربردی پژوهش حاضر و تحقیقات مشابه جهت تدوین استراتژی‌های مناسب و اولویت‌بندی فلزات سنگین برای کنترل ریسک بهداشتی فلزات سنگین استفاده نمایند.

## تضاد در منافع

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند. همچنین هرگونه تضاد منافع حقیقی یا مادی که ممکن است بر نتایج یا تفسیر مقاله تأثیر بگذارد را رد می‌کنند.

1- National Ambient Air Quality Standards

12. Kastury F, Smith E, Karna RR, Scheckel KG, Juhasz AL. An inhalation-ingestion bioaccessibility assay (IIBA) for the assessment of exposure to metal(loid)s in PM10. *Science of The Total Environment*. 2018;631-632:92-104.
13. Shaik A, Sultana S, Alsaed A. Lead exposure: a summary of global studies and the need for new studies from Saudi Arabia. *Disease markers*. 2014;2014.
14. Pandey M, Pandey AK, Mishra A, Tripathi BD. Speciation of carcinogenic and non-carcinogenic metals in respirable suspended particulate matter (PM10) in Varanasi, India. *Urban Climate*. 2017;19:141-54.
15. Keshavars Lelekami A, Shakerian A. Assessment of Some Heavy Metals in Broken Dark Tea in Alborz Province and Estimation of Consumer Health Risk at 2019. *Journal of Health*. 2021;12(2):167-77.
16. Khan SA, Muhammad S, Nazir S, Shah FA. Heavy metals bounded to particulate matter in the residential and industrial sites of Islamabad, Pakistan: Implications for non-cancer and cancer risks. *Environmental Technology & Innovation*. 2020;19:100822.
17. Bello S, Nasiru R, Garba NN, Adeyemo DJ. Carcinogenic and non-carcinogenic health risk assessment of heavy metals exposure from Shanono and Bagwai artisanal gold mines, Kano state, Nigeria. *Scientific African*. 2019;6:e00197.
18. Shojaee Barjoe S, Azimzadeh HR, Talebi Varaoon V, Abbasi MJ, Sodaiezadeh H. Modeling of PM10 Pollution Range of Meybod-Ardakan and Ardakan-Nain Highways and
6. Wang P, Li Z, Liu J, Bi X, Ning Y, Yang S, et al. Apportionment of sources of heavy metals to agricultural soils using isotope fingerprints and multivariate statistical analyses. *Environmental Pollution*. 2019;249:208-16.
7. Xiao R, Guo D, Ali A, Mi S, Liu T, Ren C, et al. Accumulation, ecological-health risks assessment, and source apportionment of heavy metals in paddy soils: A case study in Hanzhong, Shaanxi, China. *Environmental Pollution*. 2019;248:349-57.
8. Dias GM, Edwards GC. Differentiating Natural and Anthropogenic Sources of Metals to the Environment. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. 2003;9(4):699-721.
9. Suvarapu LN, Baek S-O. Determination of heavy metals in the ambient atmosphere: A review. *Toxicology and Industrial Health*. 2016;33(1):79-96.
10. Gelly R, Fekiacova Z, Guihou A, Doelsch E, Deschamps P, Keller C. Lead, zinc, and copper redistributions in soils along a deposition gradient from emissions of a Pb-Ag smelter decommissioned 100 years ago. *Science of The Total Environment*. 2019;665:502-12.
11. Olawoyin R, Schweitzer L, Zhang K, Okareh O, Slaters K. Index analysis and human health risk model application for evaluating ambient air-heavy metal contamination in Chemical Valley Sarnia. *Ecotoxicol Environ Saf*. 2018;148:72-81.

- Industries. Journal of Health. 2020;11(2):144-55.
26. Khrantsov P, Kalashnikova T, Bochkova M, Kropaneva M, Timganova V, Zamorina S, et al. Measuring the concentration of protein nanoparticles synthesized by desolvation method: Comparison of Bradford assay, BCA assay, hydrolysis/UV spectroscopy and gravimetric analysis. International Journal of Pharmaceutics. 2021;599:120422.
  27. Sinkakarimi R, Mahdi Nejad, Mohammad Hadi, Hatami Manesh. Health risk assessment of some heavy metals in groundwater resources of Birjand plain using the index of Environmental Protection Agency. Journal of Health. 2020;11(2):183-93.
  28. Aghaei M, Yunesian M. Exposure Assessment to Environmental Pollutants in Human Health Risk Assessment Studies; Overview on New Approaches. Journal of Health. 2019;10(2):138-55.
  29. Vaziri A, Ghanavati N, Nazarpour A, Babaenejad T. Status, Source and Environmental Pollution Assessment of Some Heavy Metals in Surface Soils of Khuzestan Province. Journal of Health. 2021;11(5):664-78.
  30. Toxic effect of Aluminum. Pejouhesh dar Pezeshki (Research in Medicine). 2003;27(4):331-41.
  31. Tietz T, Lenzner A, Kolbaum AE, Zellmer S, Riebeling C, Gürtler R, et al. Aggregated aluminium exposure: risk assessment for the general population. Archives of Toxicology. 2019;93(12):3503-21.
  32. Saberi H., Golchin A., Alamdari P. Assessment of contamination of soils Health Risk Assessment of Surrounding Residents Using IVE and AERMOD Models. Journal of Health. 2021;12(2):178-97.
  19. Koki IB, Bayero AS, Umar A, Yusuf S. Health risk assessment of heavy metals in water, air, soil and fish. African journal of pure and applied chemistry. 2015;9(11):204-10.
  20. USEPA. Waste and cleanup risk assessment. 2012.
  21. Lushenko MA. A Risk Assessment for Ingestion of Toxic Chemicals in Fish from IMPERIAL Beach, California: San Diego State University; 2010.
  22. Epa U. SAMPLING OF AMBIENT AIR FOR TOTAL SUSPENDED PARTICULATE MATTER (SPM) AND PM10 USING HIGH VOLUME (HV) SAMPLER. Center for Environmental Research Information Office of Research and Development. 1999.
  23. Castilho INB, Welz B, Vale MGR, de Andrade JB, Smichowski P, Shaltout AA, et al. Comparison of three different sample preparation procedures for the determination of traffic-related elements in airborne particulate matter collected on glass fiber filters. Talanta. 2012;88:689-95.
  24. Hosseini G, Teymouri P, Giahhi O, Maleki A. Health Risk Assessment of Heavy Metals in Atmospheric PM10 in Kurdistan University of Medical Sciences Campus. Journal of Mazandaran University of Medical Sciences. 2016;25(132):136-46.
  25. Shojaee Barjoe S, Azimzadeh HR, Hosseini Sangchi SZ. Study of Suspended Air Particles and Health Risk Assessment of Exposure to PM10 and PM2.5 in One of the Textile

34. Khakpour R, payment of A. Cancer and non-cancer risk assessment of heavy metals of copper, zinc, cadmium and lead of Abshineh river for drinking water consumption in Hamadan. Sixth International Conference on Modern Studies in Civil Engineering, Architecture, Urban Planning and Environment in the 21st Century: 1400. (In Persian)
35. Former Sajedi, Mansouri Na, Taghavi L, Haji Seyed Mirza Hosseini S. Investigation of lead pollution in suspended particles inside and outside residential, office and commercial buildings in Karaj metropolis. 1400. (In Persian)
- around Arak Aluminum Plant with elements of aluminum, iron, manganese and lead. Environmental science and technology. 1399; 22 (2) Baghaie AH, Aghili F. Health risk assessment of Pb and Cd in soil, wheat, and barley in Shazand County, central of Iran. J Environ Health Sci Eng. 2019;17(1):467-77. (In Persian)
33. Salehi, payment of A. Heavy metal risk assessment in Tehran air (Case study: District 6 of Tehran Municipality). Sixth International Conference on Research in Science and Engineering and Third International Congress on Civil Engineering, Architecture and Urban Planning in Asia: 1400. (In Persian)