Original article

Risk Analysis Of Atmospheric Heavy Metals In Industrial, Traffic, And Residential Areas Of Ahvaz City

Gholamreza Goudarzi[1,2]
Zeynab Baboli[3*]
Ruhollah Khodadadi[1]**
Mohammad Sohrabi[4]
Yaser Tahmasebi Birgani[1]
Ali Akbar Babaei[1]
Abdolkazem Nisi[1]
Maryam Dastoorpoor[2]
Stefano Loppi[5]

1. Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran
2. Air Pollution and Respiratory Diseases Research Center, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran
3. Department of Environmental Health Engineering, Behbahan Faculty of Medical Sciences, Behbahan, Iran
4. Department of Biotechnology, Iranian Scientific and Industrial Research Organization, Tehran, Iran
5. Department of Life Sciences, Sinai University, Sinai, Italy

***Corresponding author:** Zeinab Baboli, Department of Environmental Health Engineering, Behbahan School of Medical Sciences, Behbahan, Iran; Email:
Email: Baboliz87@gmail.com
***Corresponding author**:**Ruhollah Khodadadi, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran
Email: rkhodadadi7712@gmail.com
Received: 21 July 2025
Accepted: 16 September 2025

ABSTRACT

Introduction and purpose: Nowadays, the use of biomonitoring to determine air quality is continuously increasing. Heavy metals are of interest among air pollutants due to their detrimental effects on health. The present study aimed to biomonitor heavy metals from the ambient air of Ahvaz, Iran, using lichen for six months from June to December 2019.

Methods: Heavy metals, including arsenic, cadmium, chromium, nickel, and lead, were adsorbed on lichens cultivated at 26 sampling stations with residential, industrial and traffic occupancy in the desired locations. For each sample, cleaning, drying, extraction, and digestion were performed, and then the concentration of heavy metals was determined by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES) with three repetitions. Afterward, the data were analyzed using Excel software, and the non-cancer and cancer risk for adults and children from the ingestion, inhalation, and dermal exposure routes was calculated and evaluated.

Results: The highest concentrations of heavy metals were recorded in industrial and then traffic occupancies. The most important heavy metals in the ambient air in industrial sites were nickel, chromium, and arsenic, with average concentrations of 141, 87.27, and 103.33 mg/kg DW, respectively. Moreover, in traffic occupancy, the most important heavy metals in the ambient air were nickel, chromium, and cadmium with average concentrations of 87.35, 41.24, and 2.48 mg/kg DW, respectively.

Conclusion: Heavy metals affected by industrial and then traffic activities indicated a potential carcinogenic risk. The potential carcinogenic risk of heavy metals for children from the route of exposure to digestion in industrial and traffic areas of Ahvaz should be considered by the authorities to provide management solutions and reduce the concentration of pollutants, as well as to reduce the exposure of residents to these contaminants.

Keywords: Ahvaz, Biomonitoring, Heavy metals, Lichen, Risk assessment

▶ **Citation:** Goudarzi Gh, Baboli Z, Khodadadi R, Sohrabi M, Tahmasebi Birgani Y, Babaei AA, Nisi A, Dastoorpoor M, Loppi S. Risk Analysis Of Atmospheric Heavy Metals In Industrial, Traffic, And Residential Areas Of Ahvaz City. Journal of Health Research in Community. Summer 2025;11(2): 32-46

Copyright© 2025, Published by Mazandaran University of Medical Sciences. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY) License (http://creativecommons.org/) which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made.

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2025-12-26]
[DOR: 20.1001.1.24236772.1404.11.2.8.4]

مقاله پژوهشی

تحلیل خطر فلزات سنگین هوای آزاد در مناطقی با کاربری های صنعتی، ترافیکی و مسکونی شهر اهواز

غلامرضا گودرزی[۱،۲]
زینب بابلی[۳*]
روح الله خدادادی[۱*]
محمد سهرابی[۴]
یاسر طهماسبی بیرگانی[۱]
علی اکبر بابایی[۱]
عبدالکاظم نیسی[۱]
مریم دستورپور[۲]
استفانو لاپی[۵]

۱. گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران
۲. مرکز تحقیقات آلودگی هوا و بیماری‌های تنفسی، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران
۳. گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده علوم پزشکی بهبهان، بهبهان، ایران
۴. گروه بیوتکنولوژی، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، تهران، ایران
۵. گروه علوم زیستی، دانشگاه سینا، سینا، ایتالیا

* نویسنده مسئول: زینب بابلی، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده علوم پزشکی بهبهان، بهبهان، ایران
Email: Baboliz87@gmail.com
*نویسنده مسئول دوم: روح الله خدادادی، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران
Email: rkhodadadi7712@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۲۵

چکیده

مقدمه و هدف: امروزه استفاده از پایش زیستی جهت تعیین کیفیت هوا به طور پیوسته در حال افزایش است. از بین آلاینده‌های هوا، فلزات سنگین به دلیل اثرات مخربی که بر روی سلامتی دارند، به منظور بررسی، مورد توجه محققین می‌باشد. هدف مطالعه‌ی حاضر پایش زیستی پنج فلز سنگین در هوای آزاد شهر اهواز با استفاده گلسنگ به مدت شش ماه از خرداد تا آذر سال ۱۳۹۸ می‌باشد.

روش کار: فلزات سنگین شامل آرسنیک، کادمیوم، کروم، نیکل و سرب در ۲۶ ایستگاه نمونه‌برداری با کاربری‌های مسکونی، صنعتی و ترافیکی بر روی گلسنگ‌های کشت‌شده در نقاط مورد نظر جذب گردید. برای هر نمونه، عملیات پاک‌سازی، خشک‌کردن، استخراج و هضم انجام شد. سپس تعیین غلظت فلزات سنگین با سه بار تکرار و با استفاده از طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت‌شده القایی (ICP-MS) صورت گرفت. در ادامه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Excel مورد آنالیز قرار گرفت و شاخص‌های خطر غیرسرطانی و سرطانی برای بزرگسالان و کودکان از سه مسیر مواجهه‌ی بلع، استنشاق و تماس پوستی محاسبه و ارزیابی شدند.

یافته‌ها: بیشترین غلظت فلزات سنگین در کاربری‌های صنعتی و پس از آن در کاربری‌های ترافیکی مشاهده شد. در کاربری صنعتی، عمده‌ترین فلزات سنگین شامل نیکل، کروم و آرسنیک بودند که به‌ترتیب با میانگین غلظت‌های ۱۴۱، ۸۷/۲۷ و ۱۰۳/۳۳ (mg/kg WD) اندازه‌گیری شدند. در کاربری ترافیکی نیز نیکل، کروم و کادمیوم بیشترین سهم را داشتند و میانگین غلظت آن‌ها به‌ترتیب ۸۷/۳۵، ۴۱/۲۴ و ۲/۴۸ (mg/kg WD) برآورد گردید.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که فلزات سنگین متأثر از فعالیت‌های صنعتی و به‌دنبال آن فعالیت‌های ترافیکی، دارای خطر بالقوه سرطان‌زایی هستند. خطر سرطان‌زایی فلزات سنگین برای کودکان از مسیر مواجهه بلع در مناطق صنعتی و ترافیکی شهر اهواز، موضوعی مهم است که باید مورد توجه مسئولان قرار گیرد. ارائه راهکارهای مدیریتی به‌منظور کاهش غلظت آلاینده‌ها و نیز کاهش میزان مواجهه ساکنان شهر اهواز با این آلاینده‌ها، از اولویت‌های اساسی در حوزه سلامت عمومی محسوب می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پایش زیستی، گلسنگ، فلزات سنگین، ارزیابی خطر، اهواز

◀ **استناد:** گودرزی، غلامرضا؛ بابلی، زینب؛ خدادادی، روح الله؛ سهرابی، محمد؛ طهماسبی بیرگانی، یاسر؛ بابایی، علی اکبر؛ نیسی، عبدالکاظم؛ دستورپور، مریم؛ لاپی، استفانو. تحلیل خطر فلزات سنگین هوای آزاد در مناطقی با کاربری های صنعتی، ترافیکی و مسکونی شهر اهواز. مجله تحقیقات سلامت در جامعه، تابستان ۱۴۰۴؛۱۱(۲): ۴۶-۳۲

مقدمه

استفاده از گلسنگ‌ها به‌عنوان ابزاری برای پایش زیستی فلزات سنگین در هوا، یکی از روش‌های مؤثر و مقرون به صرفه

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2025-12-26]
[DOR: 20.1001.1.24236772.1404.11.2.8.4]

در مطالعات آلودگی محیط زیست است. گلسنگ‌ها به دلیل ویژگی‌های منحصربه‌فرد خود، از جمله توانایی بالای جذب آلاینده‌ها از هوا و خاک، حساسیت به تغییرات محیطی و عمر طولانی، به‌عنوان شاخص‌های زیستی مناسب برای ارزیابی آلودگی هوا به فلزات سنگین مورد استفاده قرار می‌گیرند. مزایای استفاده از گلسنگ‌ها در پایش زیستی فلزات سنگین، متعدد است. این موجودات آلاینده‌ها را به‌صورت غیرفعال و مستقیماً از هوا و بارش جذب می‌کنند؛ بنابراین، غلظت فلزات سنگین در بافت آن‌ها بازتابی از میزان آلودگی هوا محسوب می‌شود. حساسیت بالای گلسنگ‌ها به آلودگی نیز ناشی از متابولیسم کند و فقدان سیستم‌های دفع مؤثر است، که سبب تجمع فلزات سنگین در بافت‌های آن‌ها و انعکاس دقیق تغییرات آلودگی می‌گردد. افزون بر این، گلسنگ‌ها در اکوسیستم‌های متنوعی نظیر شهری، جنگلی و کوهستانی پراکنش دارند و امکان پایش در گستره‌های وسیع جغرافیایی را فراهم می‌سازند. از سوی دیگر، نمونه‌برداری و آنالیز گلسنگ‌ها نسبت به روش‌های فیزیکی و شیمیایی پایش هوا (مانند ایستگاه‌های سنجش آلودگی) مقرون‌به‌صرفه‌تر بوده و به دلیل رشد کند، قابلیت ارزیابی تجمع آلاینده‌ها در بازه‌های زمانی طولانی و در نتیجه پایش بلندمدت را فراهم می‌کنند. بر این اساس، در سال‌های اخیر استفاده از پایش زیستی با گلسنگ‌ها به‌عنوان روشی کارآمد برای ارزیابی کیفیت هوا، به‌ویژه در مناطق شهری، صنعتی و حتی محیط‌های بسته، مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است [۱-۴]. درتکنیک‌های استفاده از فلور محلی، از گونه‌های گلسنگ موجود در محل، به‌عنوان شاخص پایش زیستی استفاده می‌کنند؛ این در حالی است که روش فراکاشت گلسنگ، یک روش پایش زیستی است که از گونه‌های گلسنگ از مناطق بکر و دست‌نخورده و معمولاً دوردست استفاده می‌کند تا پایش زیستی را در مناطق دیگر انجام دهد (معمولاً برای مناطق آلوده‌تر). این روش معمولاً در مناطقی انجام می‌شود که قبلاً تحت تأثیر آلودگی هوا قرار گرفته است. این روش در حال حاضر در بسیاری از مطالعات استفاده می‌شود. روش آویزان‌کردن نمونه‌های فراکاشت در مکان‌های در معرض آلودگی داخل کیسه‌های توری مشبک نایلونی (تقریباً سه متر بالاتر از سطح زمین) به‌عنوان «روش کیسه‌ای» شناخته می‌شود [۵-۷].

یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های هوا، فلزات سنگین هستند که از طریق منابع طبیعی و فعالیت‌های انسانی مانند صنعت، حمل و نقل، معدن کاری و سوزاندن سوخت‌های فسیلی وارد محیط می‌شوند. این فلزات می‌توانند اثرات مخرب سلامتی از جمله بیماری‌های سرطانی و غیرسرطانی ایجاد کنند. برخی فلزات سنگین به دلیل توانایی ایجاد تغییرات ژنتیکی و اختلال در مکانیسم‌های ترمیم DNA، سرطان‌زا هستند. سازمان جهانی بهداشت (WHO) و آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان (IARC) برخی از این فلزات را به‌عنوان عوامل قطعی سرطان‌زا مانند آرسنیک، کادمیوم، کروم و سرب یا سرطان‌زای احتمالی مانند نیکل طبقه‌بندی کرده‌اند [۸-۱۰]. همچنین، فلزات سنگین علاوه بر سرطان، می‌توانند باعث طیف گسترده‌ای از بیماری‌های غیرسرطانی یا مزمن شوند؛ که این اثرات شامل اثرات عصبی همانند کاهش ضریب هوش در کودکان، اختلالات یادگیری، بیماری آلزایمر، آسیب به مغز و سیستم عصبی (بیماری میناماتا)، لرزش عضلات پارکینسون، اختلالات حرکتی، بیماری‌های تنفسی و قلبی-عروقی همانند بیماری مزمن انسدادی ریه، فیبروز ریوی، بیماری‌های عروق و آسم، التهاب ریه، آسیب به کلیه و کبد و اختلالات غدد درون‌ریز و تولید مثل مانند ناباروری در مردان و یائسگی زودرس زنان می‌باشد [۸، ۱۱، ۱۲]. بنابراین، حضور فلزات سنگین در مناطق شهری و صنعتی و انتقال از طریق هوا امری مهم می‌باشد. به منظور دستیابی به غلظت واقعی فلزات سنگین در هوای آزاد و بررسی اثرات آن بر جوامع انسانی، نیاز به روش‌های نمونه‌برداری دقیق وجود دارد. دستورپور و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند که آلاینده‌های هوا در اهواز شامل ذرات NO_2، SO_2 و CO باعث افزایش مرگ‌ومیر تنفسی می‌شوند [۱۳]. نتایج مطالعه‌ی مرادی و همکاران (۲۰۲۱) در شهر اهواز نشان داد

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2025-12-26]

[DOR: 20.1001.1.24236772.1404.11.2.8.4]

که مواجهه با $PM_{2.5}$ منجر به کاهش میانگین امید به زندگی در کل جمعیت، گروه سنی ۰ تا ۶۴ سال و افراد بالای ۶۵ سال به‌ترتیب به میزان ۲/۵، ۳ و ۱/۶ سال می‌شود. همچنین، یافته‌های مطالعه‌ی نیسی و همکاران (۲۰۱۶) در همین شهر بیانگر پتانسیل قابل توجه سرطان‌زایی فلزات سنگین به‌ویژه در کودکان در معرض هوای آلوده بود [۱۴]. در پژوهش دیگری، محمدی و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که حدود ۴ درصد از موارد بستری ناشی از بیماری مزمن انسدادی ریه (COPD) زمانی رخ داده است که غلظت دی‌اکسید نیتروژن بیش از ۱۰ میکروگرم بر متر مکعب بوده است [۱۵]. به‌طور کلی، نتایج مطالعات متعدد در اهواز نشان می‌دهد که آلاینده‌های مختلف هوا با افزایش خطرات بهداشتی، مرگ‌ومیر و مراجعات بیمارستانی ارتباط مستقیم دارند [۱۴, ۱۶-۱۹].

هدف این مطالعه بررسی غلظت پنج فلز سنگین هوای آزاد شهر اهواز، به‌عنوان یکی ازآلوده‌ترین شهرهای جهان به دلیل فعالیت گسترده‌ی انسانی از جمله صنایع مختلف نفت و گاز، صنایع پتروشیمی، صنایع بزرگ فلزی و غیر فلزی، سلولزی و برق، ترافیک، فعالیت‌های کشاورزی و از طرفی وقوع پدیده گرد و غبار می‌باشد. از این‌رو، با روش پایش زیستی از یک نوع گلسنگ جهت نمونه‌برداری و دستیابی به غلظت واقعی فلزات سنگین هوای آزاد اهواز استفاده شد تا درنهایت با ارزیابی خطر غیرسرطانی و سرطانی به بررسی کیفیت هوای اهواز دست یابیم.

روش کار

منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری

در این مطالعه، ۲۶ نقطه با کاربری‌های ترافیکی، صنعتی و مسکونی در شهر اهواز انتخاب شدند و با استفاده از روش فراکاشت گلسنگ، جذب زیستی فلزات سنگین هوای آزاد به مدت شش ماه از خرداد تا آذر سال ۱۳۹۸ صورت گرفت. مطالعه‌ی حاضر در ادامه‌ی مطالعه‌ی پایش زیستی فلزات سنگین هوای آزاد شهر اهواز با استفاده از گلسنگ که توسط خدادادی و همکاران از آبان ۱۳۹۷ تا اردیبهشت ۱۳۹۸ انجام پذیرفت، صورت گرفته است [۲۰].

فراکاشت گلسنگ، جمع‌آوری و آماده‌سازی نمونه‌ها برای سنجش و تعیین غلظت فلزات سنگین

در ابتدا فراکاشت گلسنگ به نام Usnea articulata (L.) Hoffm در ۲۶ نقطه موردنظر با کاربری‌های مختلف انجام شد. گلسنگ‌ها در اندازه‌های مشابه در شرایط کاملا استریل به مقدار تقریبی شش گرم در کیسه‌های توری نایلونی مخصوص (تورهای مشبک ماهی‌گیری با سایز مش ۰/۳ سانتی‌متر) که از قبل طراحی و دوخته شده‌بودند، قرار داده شد. کیسه‌های گلسنگ بر روی لوله‌های پلی‌پروپیلن سفید که قبلاً برای این هدف طراحی شدند، در فاصله ۲/۵ تا ۳ متر بالاتر از سطح زمین نصب و آویزان شدند. نمونه‌های فراکاشت‌شده پس از مدت زمان مورد نظر (شش ماه) از سطح شهرستان اهواز جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل شدند تا مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گیرند. قبل از تجزیه و تحلیل شیمیایی، در محیط آزمایشگاه تمام نمونه‌های گلسنگی از مواد بیرونی با استفاده از موچین نایلونی و یک برس نرم تمیز شدند و سپس در محیط آزمایشگاه، نمونه‌های گلسنگ در یک اتاق بسته هوا خشک شدند [۲۱]. پس از مراحل تمیزکردن، آسیاب‌کردن، محلول‌سازی و هضم نمونه‌ها، تجزیه و تحلیل طیف‌سنجی‌جرمی پلاسمای جفت‌شده القایی براساس روش ارائه‌شده در مراجع معتبر انجام شد [۲۲, ۲۳]. تمامی مواد شیمیایی و اسیدهای مصرفی از شرکت مرک آلمان (Merck, Germany) تهیه و استفاده شد. مقدار فلزات سنگین شامل آرسنیک (As)، کادمیوم (Cd)، کروم (Cr)، نیکل (Ni) و سرب (Pb) در نمونه‌ها با استفاده از دستگاه ICP-MS (Agilent ۷۵۰۰, USA, ۲۰۰۱) و طبق مشخصات کیفی (AQ/CQ) در آزمایشگاه شرکت دانش‌بنیان آریا شیمی (کرج، ایران)

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2025-12-26]

[DOR: 20.1001.1.24236772.1404.11.2.8.4]

سنجش شد. در این آزمایش، سرعت جریان گاز آرگون در محدوده ۱۲/۲ لیتر بر دقیقه و سرعت جریان هوا در محدوده ۰/۸ لیتر بر دقیقه تنظیم گردید. مقادیر حد تشخیص (LOD) و حد تعیین (LOQ) برای فلزات سنگین مورد بررسی به‌ترتیب به‌شرح زیر بود: کادمیوم ۰/۰۰۷ و ۰/۰۲۵، آرسنیک ۰/۰۱ و ۰/۰۴، کروم ۰/۰۸ و ۰/۲۹، نیکل ۰/۰۱ و ۰/۰۵ و سرب ۰/۰۱ و ۰/۰۶۲.

تبدیل غلظت فلزات سنگین بافت خشک گلسنگ به غلظت هوای آزاد

برای مقایسه‌ی غلظت فلزات سنگین مورد مطالعه در هوای آزاد شهر اهواز با استانداردهای موجود، لازم بود ابتدا غلظت فلزات که با روش پایش زیستی بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک گلسنگ (mg/kg dw) به‌دست آمده بود، به غلظت جرمی-حجمی در هوای آزاد تبدیل شود. دلیل این امر آن است که استانداردهای مربوط به فلزات سنگین در هوای آزاد بر حسب واحد جرمی-حجمی بیان می‌شوند. بر این اساس، غلظت استاندارد فلزات آرسنیک، نیکل و سرب در هوای آزاد بر حسب ng/m^3 و غلظت استاندارد فلزات کادمیوم و کروم بر حسب $\mu g/m^3$ گزارش شده است. نتایج تبدیل واحد غلظت فلزات سنگین در جدول شماره ۵ ارائه شده و برای این منظور از معادله‌ی ۱ استفاده گردید.

$$BAF = \frac{\text{غلظت فلز در بافت زیستی } (\frac{mg}{g} WD)}{\text{غلظت فلز سنگین در هوا } (\frac{mg}{m^3})} \quad (۱)$$

در این معادله BAF (Bioaccumulation Factor) بیانگر نسبت غلظت یک آلاینده (مثلاً فلز سنگین) در بافت یک ارگانیسم زیستی به غلظت آن در هوای آزاد است. غلظت فلزات سنگین در گلسنگ‌ها به دلیل توانایی بالا در جذب و انباشت آن‌ها، معمولا چندین برابر بیشتر از غلظت فلز سنگین در هوا می‌باشد. مقادیر BAF بسته به نوع فلز سنگین، منبع آلودگی، گونه گلسنگ و شرایط آب و هوایی منطقه مورد مطالعه، متفاوت می‌باشد و از آن‌جایی‌که این مقدار برای غلظت فلزات سنگین در هوای شهر اهواز توسط گلسنگ‌ها در هیچ مطالعه‌ای گزارش نشده بود، از مطالعات دیگر استفاده شد [۲۶-۲۴]. به این منظور مقدار BAF از دیگر مطالعات که از پایش زیستی فلزات سنگین هوای آزاد استفاده کرده‌بودند، استخراج شد و در این مطالعه عدد کمتر از ۱۰۰۰ مورد استفاده قرار گرفت.

ارزیابی خطر فلزات سنگین هوا

در این مطالعه، ریسک سلامت انسان ناشی از مواجهه با فلزات سنگین موجود در هوا، مطابق با دستورالعمل‌های آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده (US EPA) ارزیابی شد. سه مسیر اصلی مواجهه انسان با آلاینده‌های هوای آزاد شامل بلع (ingestion)، استنشاق (inhalation) و جذب پوستی (dermal absorption) می‌باشد. در ابتدا، میانگین دوز روزانه دریافتی (ADD) از طریق هر مسیر، شامل بلع (ADD_ing)، استنشاق (ADD_inh) و تماس پوستی (ADD_der)، با استفاده از معادلات ۲ تا ۴ محاسبه شد [۲۹-۲۷].

$$\mathrm{ADD_{ing}} = \mathrm{C} * \frac{\mathrm{ing\ R \times EF \times ED}}{\mathrm{BW \times AT}} \times 10^{-6} \quad (۲)$$

$$\mathrm{ADD_{inh}} = \mathrm{C} * \frac{\mathrm{inh\ R \times EF \times ED}}{\mathrm{PEF \times BW \times AT}} \quad (۳)$$

$$\mathrm{ADD_{dermal}} = \mathrm{C} * \frac{\mathrm{SA \times AF \times ABS \times EF \times ED}}{\mathrm{BW \times AT}} \times 10^{-6} \quad (۴)$$

در معادلات ۲ تا ۴ ، C با واحد mg/kg بیانگر غلظت فلزات سنگین اندازه گیری‌شده در بافت گلسنگ می‌باشد. ABS ضریب جذب پوستی است که برای تمام عناصر ۰/۰۰۱ در نظر گرفته شده و برای آرسنیک ۰/۰۳ است. AT میانگین زمان مواجهه است که برای عناصر سرطان‌زا ۲۵۵۵۰ روز و برای عناصر غیرسرطان‌زا از طریق ضرب پارامتر ED در عدد ۳۶۵ روز سال، محاسبه می‌گردد. دیگر ضرایب و پارامترهای معادلات ۲ تا

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2025-12-26]

[DOR: 20.1001.1.24236772.1404.11.2.8.4]

جدول ۱: ضرایب و مقادیر ضرایب استفاده شده در معادلات ۱ تا ۳ ارزیابی خطر بهداشتی [۱۸, ۲۰, ۳۰, ۳۱]

ضرایب	تعاریف	واحد	بزرگسالان	کودکان
Age	سن	Year	۷-۳۱	۱-۶
BW	وزن بدن	Kg	۷۰	۱۵
AF	فاکتور جذب	mg cm^{-2}	۰/۰۷	۰/۲
ED	مدت زمان مواجهه	Year	۲۵	۶
IR	نرخ بلع	mg day^{1}	۱۰۰	۲۰۰
	نرخ استنشاق	m^3 day^{1}	۲۰	۸
AT_{CAR}	میانگین مدت زمان سرطان‌زایی ۷۰*۳۶۵	Days	۲۵۵۵۰	۲۵۵۵۰
$AR_{NON-CAR}$	میانگین مدت زمان غیرسرطان‌زایی *۳۶۵ED		۹۱۲۵	۲۱۹۰
EF	فراوانی مواجهه	Days $year^{1}$	۱۸۰	۱۸۰
SA	سطح تماس	cm^2 day^{1}	۵۷۰۰	۲۸۰۰
PEF	ضریب انتشار ذرات	m^3 kg^{1}	۱/۳۶×۱۰^۹	۱/۳۶×۱۰^۹
ABS	ضریب جذب پوستی	-	۰/۱۳	۰/۱۳

۴ در جدول ۱ ارائه شده است [۱۸, ۳۰-۳۲].

ارزیابی خطر غیرسرطانی (Hazard Quotient)

بر اساس ضرایب ارائه‌شده در جدول ۱ و پس از محاسبه‌ی دوز روزانه دریافتی (ADD)، خطر غیرسرطانی (HQ) برای هر سه مسیر مواجهه (بلع، استنشاق و تماس پوستی) با استفاده از معادلات ۵ تا ۷ محاسبه شد (US EPA, ۲۰۰۱) دوز مرجع (RfD_0)با واحد $mg.kg^{-1}.day^{-1}$ ، حداکثر مقدار جذب روزانه مجاز در طول عمر انسان را نشان می‌دهد و برای هر فلز سنگین و مسیر مواجهه، در جدول ۲ ارائه شده است. در صورتی که مقدار HQ< ۱ باشد، این موضوع نشان‌دهنده‌ی آن است که خطر غیرسرطانی قابل چشم‌پوشی است، و اگر HQ≥ ۱ باشد، بیانگر نیاز به اقدامات کاهش مواجهه می‌باشد [۱۱, ۲۹, ۳۲, ۳۳]. مقادیر RfD_0 برای هر سه مسیر مواجهه و برای تمامی فلزات سنگین مورد مطالعه، در جدول ۲ ارائه شده است.

$$HQ_{ing} = \frac{ADD_{ing}}{RfD_{ing}} \quad (۵)$$

$$HQ_{inh} = \frac{ADD_{inh}}{RfD_{inh}} \quad (۶)$$

$$HQ_{der} = \frac{ADD_{der}}{RfD_{der}} \quad (۷)$$

شاخص خطر ترکیبی (Hazard Index)

طبق معادله ۸ شاخص خطر(HI) از مجموع HQ فلزات سنگین مختلف در هر سه مسیر مواجهه برای آلاینده‌های مختلف به دست می‌آید. چنان‌چه مقدار HI > ۱ باشد این مفهوم را می‌رساند که خطر کل غیرسرطانی قابل قبول بوده و چنانچه مقدار HI ≤ ۱ باشد، بیانگر تأثیر مضر بهداشتی بر سلامت انسان و نیاز به مداخله فوری می‌ب

$$HI = \sum_{i=1}^{n} HQ \quad (۸)$$

خطر سرطانی (Cancer Risk Assessment)

برای عناصر سرطان‌زا، خطر سرطان‌زایی (CR) با ضرب دوز روزانه دریافتی (ADD) در ضریب شیب سرطان‌زایی فلزات سنگین (SF) بر اساس معادله ۹ ارزیابی می‌شود. مقادیر ضریب شیب (SF) برای هر فلز در جدول ۳ ارائه شده است. سطح قابل‌قبول خطر سرطان طبق استانداردهای EPA و WHO

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2025-12-26]

[DOR: 20.1001.1.24236772.1404.11.2.8.4]

جدول ۲: مقادیر دوز مرجع برای ارزیابی نسبت خطر HQ فلزات سنگین [۱۶, ۲۰]

فلزات سنگین	RFD		
	مسیر بلع	مسیر استنشاق	مسیر پوستی
As	۳×۱۰^{-۴}	$۳/۱\times۱۰^{-۴}$	$۱/۲۳\times۱۰^{-۴}$
Cd	۳×۱۰^{-۴}	۱×۱۰^{-۳}	۱×۱۰^{-۵}
Cr	۳×۱۰^{-۳}	$۲/۸۶\times۱۰^{-۴}$	۶×۱۰^{-۵}
Ni	۲×۱۰^{-۲}	$۲/۰۶\times۱۰^{-۲}$	$۵/۴۰\times۱۰^{-۳}$
Pb	۳×۱۰^{-۳}	$۳/۵۲\times۱۰^{-۳}$	$۵/۲۵\times۱۰^{-۴}$

به این صورت تعریف می‌شود: $CR \leq ۱\times۱۰^{-۶}$ نشان‌دهنده خطر بالقوه شدید سرطان‌زایی، $CR = ۱\times۱۰^{-۵}$ حد آستانه اقدام یا خطر متوسط/احتمالی و $CR= ۱\times۱۰^{-۴}$ بیانگر مقدار قابل قبول یا خطر بالقوه کم است [۱۸, ۳۴].

$$CR = LADD * sf \quad (۹)$$

یافته‌ها

غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های فراکاشت گلسنگ

جدول ۴ غلظت میانگین فلزات سنگین اندازه‌گیری شده در نقاط مختلف را به تفکیک نوع کاربری نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود بیشترین غلظت فلزات سنگین مربوط به کاربری صنعتی می‌باشد. همچنین بیشترین غلظت در کاربری صنعتی مربوط به کروم، آرسنیک و نیکل و در کاربری مسکونی و ترافیکی مربوط

جدول ۴: غلظت فلزات سنگین اندازه‌گیری شده در بافت خشک گلسنگ (mg/kg, wd)

فلزات سنگین در بافت گلسنگ	Mean±SD		
	ترافیکی	صنعتی	مسکونی
As	۱/۰۱±۱/۱۷	۱۰/۳۳±۰/۲۵	۱/۰۷±۰/۵۹
Cd	۲/۴۸±۰/۴۶	۳/۸۵±۰/۵۰	۰/۰۷±۰/۲۱
Cr	۴۱/۲۴±۱/۹۰	۸۷/۲۷±۲/۴۷	۸/۸۶±۱/۶۸
Ni	۸۷/۳۵±۱/۲۰	۱۴۱/۰۰±۱/۵۸	۱۰/۸۱±۶/۸۸
Pb	۰/۷۶±۹۸/۱۵	۲/۲۱±۱۷/۶۱	۰/۱۰±۱۱/۷۰

جدول ۳: مقادیر ضرایب شیب SF برای محاسبه ی خطر سرطان‌زایی فلزات سنگین [۱۸, ۲۰]

فلز سنگین	As	Cd	Cr	Ni	Pb
ضریب شیب (*sf*)	$۱/۵۱\times۱۰$	۶/۳۰	$۴/۲۰\times۱۰$	$۸/۴۰\times۱۰^{-۱}$	$۴/۲۰\times۱۰^{-۲}$

به نیکل و کروم می‌باشد. همان‌طور که واضح می‌باشد غلظت فلزات سنگین کروم و نیکل در همه‌ی نقاط نمونه‌برداری از جمله ترافیکی، مسکونی و صنعتی بالاتر از بقیه فلزات می‌باشد. بیشترین غلظت فلزات سنگین هوای آزاد شهر اهواز متأثر از کاربری صنعتی بوده و می‌توان نتیجه گرفت که فعالیت‌های صنعتی از جمله صنعت فولاد بیشترین نقش را در انتشار فلزات سنگین هوای آزاد شهر اهوز دارند.

با مقایسه‌ی غلظت فلزات سنگین اندازه‌گیری شده با روش پایش زیستی و تبدیل آن به غلظت هوای آزاد براساس معادله ۱ که در روش کار توضیح داده شد و همان‌طور که در جدول ۵ نشان داده شده است، می‌توان نتیجه گرفت غلظت آرسنیک، کروم، کادمیوم و نیکل در مناطق صنعتی بالاتر از حد مجاز هوای آزاد می‌باشد. همچنین غلظت کروم و نیکل در کاربری صنعتی و ترافیکی و مسکونی از حد مجاز بیشتر می‌باشد.

ارزیابی اثرات سرطانی و غیرسرطانی

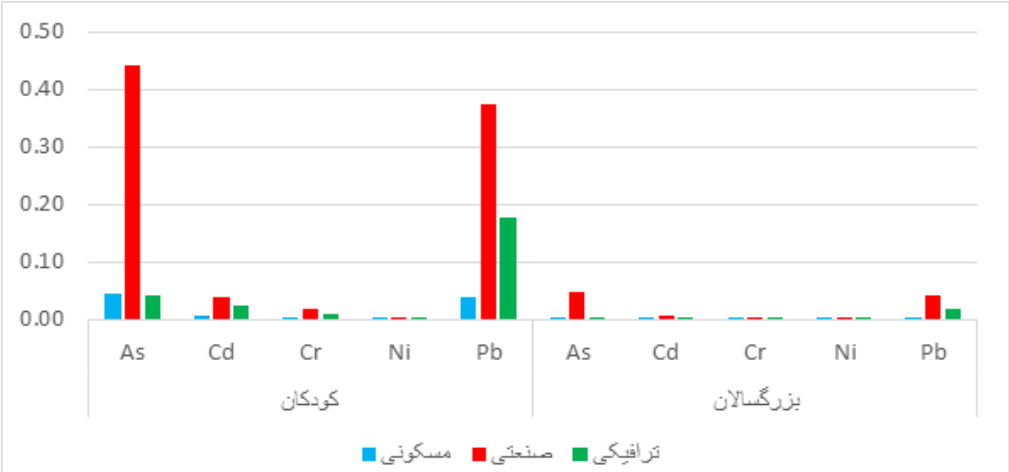
شکل شماره ۱ مقدار نسبت خطر (HQ) را براساس کاربری‌های

جدول ۵: میانگین غلظت فلزات سنگین هوای نقاط مختلف نمونه‌برداری براساس نوع کاربری و مقایسه با استاندارد

میانگین غلظت فلزات سنگین هوا	واحد	ترافیکی	صنعتی	مسکونی	استاندارد ملی ایران و سازمان جهانی بهداشت
As	$ng.m^3$	۲/۵۳	۲۵/۸۱	۲/۶۸	۶
Cd	$ng.m^3$	۶/۲۰	۹/۶۳	۰/۱۷	۵
Cr	$\mu g.m^3$	۰/۱۰	۰/۲۲	۰/۰۲	۰/۰۰۱
Ni	$ng.m^3$	۲۱۸/۳۷	۳۵۲/۵۰	۲۷/۰۳	۲۰
Pb	$\mu g.m^3$	۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۶	۰/۰۰۰۳	۰/۵

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2025-12-26]

[DOR: 20.1001.1.24236772.1404.11.2.8.4]

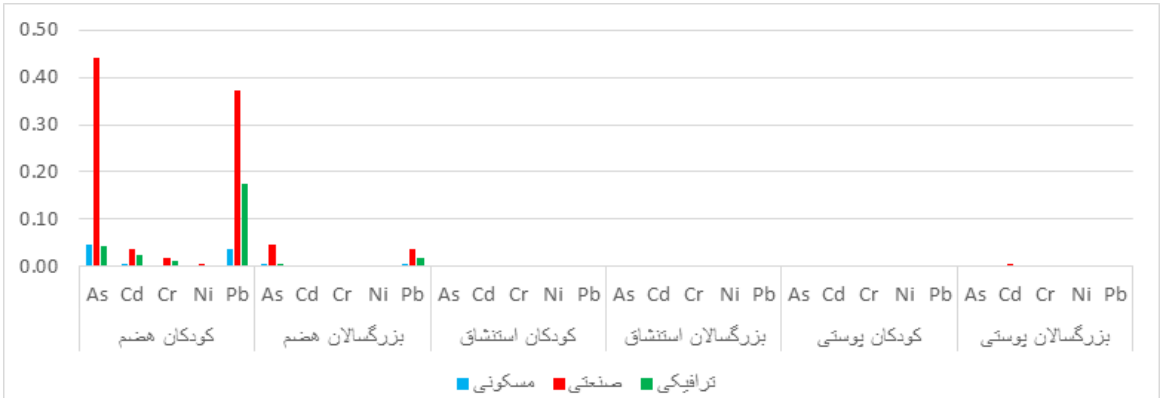


شکل ۱: نسبت خطر (HQ) محاسبه شده برای فلزات سنگین در کاربری‌های مختلف در دو بازه ی سنی کودک و بزرگسال از سه مسیر مواجهه

صنعتی، مسکونی و ترافیکی در دو بازه‌ی سنی کودک و بزرگسال برای فلزات سنگین مختلف نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که در نسبت خطر برای همه‌ی فلزات سنگین در تمام نقاط نمونه‌برداری با کاربری‌های مختلف و در دو بازه‌ی سنی کودک و بزرگسال از سه مسیر هضم، استنشاقی و پوستی کمتر از «۱» بوده و بیانگر عدم اثر منفی بهداشتی بر افراد می‌باشد.

شکل شماره ۲ مقدار نسبت خطر HQ را براساس کاربری‌های صنعتی، مسکونی و ترافیکی در دو بازه‌ی سنی کودک و بزرگسال برای مجموع مسیرهای انتقال نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که نسبت خطر کودکان‌از بزرگسالان بزرگ‌تر بوده و در هر دو بازه‌ی سنی فلز سنگین آرسنیک و سرب بیشترین نقش را در افزایش نسبت خطر داشته‌اند. همان‌طور که مشخص می‌باشد بیشترین غلظت آرسنیک مربوط به کاربری صنعتی و بیشترین غلظت سرب مربوط به کاربری صنعتی و سپس ترافیکی می‌باشد.

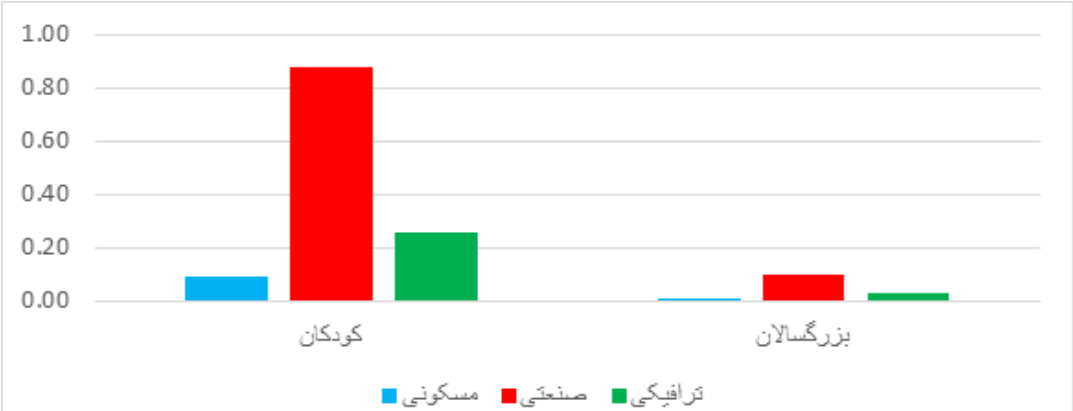
شکل شماره ۳ مقدار خطرتجمعی (HI) هر سه مسیر مواجهه را براساس کاربری‌های صنعتی ، مسکونی و ترافیکی در دو بازه‌ی سنی کودک و بزرگسال نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که مقدار خطر تجمعی (HI) در هر سه کاربری صنعتی ، ترافیکی و مسکونی و در دو بازه‌ی سنی کودک و بزرگسال کمتر از «۱» می‌باشد و این مفهوم را می‌رساند که غلظت فلزات سنگین هوای آزاد روی سلامتی انسان اثر منفی بهداشتی نمی‌گذارد و خطر کل



شکل ۲: نسبت خطر (HQ) محاسبه شده برای فلزات سنگین در کاربری‌های مختلف در دو بازه‌ی سنی کودک و بزرگسال

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2025-12-26]

[DOR: 20.1001.1.24236772.1404.11.2.8.4]



شکل ۳: خطرتجمعی (HI) هر سه مسیر مواجهه براساس کاربری‌های صنعتی ، مسکونی و ترافیکی در دو بازه‌ی سنی کودک و بزرگسال

جدول ۶: مقدار خطر سرطان‌زایی (CR) براساس محدوده‌ی بالقوه خطرناک (**)، خطرناک (*) و ایمن

ریسک سرطان‌زایی	فلزات سنگین	ترافیکی	صنعتی	مسکونی
	As	*۱/۹۵×۱۰$^{-۵}$	**۱/۹۸×۱۰$^{-۴}$	*۲/۰۵×۱۰$^{-۵}$
	Cd	**۱/۴۳×۱۰$^{-۴}$	**۲/۱۷×۱۰$^{-۴}$	*۳/۰۴×۱۰$^{-۵}$
کودکان	Cr	**۱/۳۰×۱۰$^{-۳}$	**۲/۰۲×۱۰$^{-۳}$	*۳/۵۰×۱۰$^{-۵}$
	Ni	*۵/۴۴×۱۰$^{-۵}$	*۹/۲۸×۱۰$^{-۵}$	*۹/۴۸×۱۰$^{-۶}$
	Pb	*۲/۲۲×۱۰$^{-۵}$	*۴/۶۹×۱۰$^{-۵}$	*۴/۷۶×۱۰$^{-۶}$
	As	*۴/۳۶×۱۰$^{-۶}$	*۴/۴۴×۱۰$^{-۵}$	*۴/۶۰×۱۰$^{-۶}$
	Cd	*۱/۴۹×۱۰$^{-۵}$	*۲/۲۵×۱۰$^{-۵}$	*۳/۱۶×۱۰$^{-۶}$
بزرگسالان	Cr	**۱/۳۵×۱۰$^{-۴}$	**۲/۱۰×۱۰$^{-۴}$	*۳/۶۴×۱۰$^{-۶}$
	Ni	*۵/۶۶×۱۰$^{-۶}$	*۹/۶۴×۱۰$^{-۶}$	۹/۸۵×۱۰$^{-۷}$
	Pb	*۲/۳۰×۱۰$^{-۶}$	*۴/۸۸×۱۰$^{-۶}$	۴/۹۵×۱۰$^{-۷}$
	As	*۲/۱۴×۱۰$^{-۵}$	**۲/۱۸×۱۰$^{-۴}$	*۲/۲۶×۱۰$^{-۵}$
	Cd	**۱/۵۸×۱۰$^{-۴}$	**۲/۳۹×۱۰$^{-۴}$	*۳/۳۵×۱۰$^{-۵}$
هضم	Cr	**۱/۴۳×۱۰$^{-۳}$	**۲/۲۳×۱۰$^{-۳}$	*۳/۸۵×۱۰$^{-۵}$
	Ni	۶/۰۰×۱۰$^{-۵}$	**۱/۰۲×۱۰$^{-۴}$	*۱/۰۴×۱۰$^{-۵}$
	Pb	۲/۴۴×۱۰$^{-۵}$	۵/۱۷×۱۰$^{-۵}$	*۵/۲۵×۱۰$^{-۶}$
	As	۱/۱۴×۱۰$^{-۹}$	۱/۱۶×۱۰$^{-۸}$	۱/۲۱×۱۰$^{-۹}$
	Cd	۸/۴۱×۱۰$^{-۹}$	۱/۲۷×۱۰$^{-۸}$	۱/۷۹×۱۰$^{-۹}$
استنشاق	Cr	۷/۶۵×۱۰$^{-۸}$	۱/۱۹×۱۰$^{-۷}$	۲/۰۶×۱۰$^{-۹}$
	Ni	۳/۲۰×۱۰$^{-۹}$	۵/۴۵×۱۰$^{-۹}$	۵/۵۷×۱۰$^{-۱۰}$
	Pb	۱/۳۰×۱۰$^{-۹}$	۲/۷۶×۱۰$^{-۹}$	۲/۸۰×۱۰$^{-۱۰}$
	As	*۲/۳۸×۱۰$^{-۶}$	*۲/۴۲×۱۰$^{-۵}$	*۲/۵۱×۱۰$^{-۶}$
	Cd	۳/۰۸×۱۰$^{-۷}$	۴/۶۶×۱۰$^{-۷}$	۶/۵۴×۱۰$^{-۸}$
پوستی	Cr	*۲/۸۰×۱۰$^{-۶}$	*۴/۳۴×۱۰$^{-۶}$	۷/۵۲×۱۰$^{-۸}$
	Ni	۱/۱۷×۱۰$^{-۷}$	۱/۹۹×۱۰$^{-۷}$	۲/۰۴×۱۰$^{-۸}$
	Pb	۴/۷۷×۱۰$^{-۸}$	۱/۰۱×۱۰$^{-۷}$	۱/۰۲×۱۰$^{-۸}$

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2025-12-26]

[DOR: 20.1001.1.24236772.1404.11.2.8.4]

غیرسرطانی قابل قبول می‌باشد.

جدول شماره ۶ مقدار خطر سرطان‌زایی (CR) را بر اساس کاربری‌های صنعتی، مسکونی و ترافیکی در دو بازه‌ی سنی کودک و بزرگسال برای هر سه مسیر مواجهه نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص می‌باشد خطر سرطان‌زایی فلزات سنگین هوای اهواز در محدوده‌ی سنی کودکان، خطرناک‌تر از محدوده‌ی سنی بزرگسالان می‌باشد و بیشترین خطر سرطان‌زایی در مسیر مواجهه بلع و سپس پوستی می‌باشد.

بحث و نتیجه‌گیری

غلظت فلزات سنگین و منشایابی آن

مقایسه روند انباشت عناصر در گلسنگ U-articulata در مطالعه حاضر با نتایج انباشت عناصر متعدد در گونه‌های مختلف گلسنگ و گونه‌های مختلف گیاهی به‌عنوان پایشگر زیستی عناصر کمیاب در سایر مطالعات مطابقت داشت [۳۵-۴۳]. نتایج جدول ۴ و ۵ نشان می‌دهد بیشترین غلظت فلزات سنگین مربوط به فلز سنگین کروم، آرسنیک و نیکل در کاربری صنعتی می‌باشد و بیشترین غلظت در کاربری مسکونی و ترافیکی مربوط به نیکل و کروم می‌باشد. نتایج مطالعه‌ی حاضر مطابق با نتایج دیگر مطالعات که سطوح بالای فلزات سنگین هوا برای چندین شهر صنعتی را گزارش دادند و بیانگر آن بودند که سطوح بالای فلزات سنگین موجود در هوا مربوط به منابع انسانی، از جمله فعالیت‌های صنعتی است [۱۲, ۱۴, ۱۶, ۲۰, ۳۰, ۴۴, ۴۵] و فلزات سنگین با غلظت نسبتاً بالا مانند کروم، آرسنیک، سرب و نیکل ممکن است منشأ صنعتی متنوعی داشته باشند [۴۶]. نتایج مطالعه‌ی خدادادی و همکاران (۲۰۲۴) بیانگر آن بود که در منطقه صنعتی کارخانه فولاد خوزستان، شرکت‌ها با فعالیت‌های فرآوری یا تولید بخش فلز در ارتباط هستند و بنابراین صنایع آهن-فولاد و آلیاژهای دیگر به‌عنوان منبع اصلی انتشار فلزات سنگین هوای اهواز می‌باشند [۲۰]. غلظت کادمیوم به نظر می‌رسد به آلودگی‌های منتشرشده از نواحی صنعتی، فعالیت کارخانجات لوله‌سازی، کربن بلاک، همچنین فعالیت‌های بازار آهن‌آلات و تاثیر سینرژیستی باد غالب و گردوغبار ارتباط داشته باشد [۴۷]. غلظت کروم در کاربری‌های صنعتی، ترافیکی و مسکونی بالا بود که می‌تواند ناشی از فعالیت صنعتی صنایع آب‌کاری و فولاد و همچنین متأثر از شهرک صنعتی شماره دو، کمربند ترافیکی منطقه باشد و همچنین مقادیر بالاتر می‌تواند منشأ طبیعی داشته و به دلیل محتوای بیشتر کروم در خاک این منطقه باشد [۴۸]. لازم به ذکر است که مطالعات مختلفی نیز بر نقش فعالیت‌های انسانی به ویژه ترافیک وسایل نقلیه در انتشار کروم تاکید کرده‌اند [۴۹, ۵۰]. غلظت بالای نیکل هوای آزاد به صنایع ذوب آهن و سوخت مایع نسبت داده شده است و یکی از عمده ترین کاربردهای نیکل در صنعت فولاد بوده که به‌عنوان یکی از اجزا سازنده فولاد و سایر محصولات فلزی استفاده می‌شود [۵۱, ۵۲]. بنابراین، غلظت نیکل هوای آزاد شهر اهواز متأثر از صنعت فولاد و صنعت نفت و گاز بوده که در جوار مناطق مسکونی شهر اهواز قرار دارند و موجب انتشار فلزات سنگین و انتقال این آلودگی به دیگر مناطق از جمله مناطق مسکونی خواهد شد.

تحلیل ارزیابی خطر غیرسرطانی فلزات سنگین

نتایج شکل ۱ نشان می‌دهد که نسبت خطر (HQ) برای تمامی فلزات سنگین در کلیه نقاط نمونه‌برداری با کاربری‌های مختلف و در هر دو گروه سنی کودک و بزرگسال، از سه مسیر مواجهه بلع، استنشاق و جذب پوستی کمتر از عدد «۱» بوده است. این موضوع بیانگر آن است که غلظت فلزات سنگین در هوای آزاد شهر اهواز طی بازه نمونه‌برداری تأثیر منفی قابل‌توجهی بر سلامت انسان نداشته و خطر غیرسرطانی در سطح قابل چشم‌پوشی قرار دارد. مطابق با نتایج این پژوهش، سایر مطالعات نیز مقادیر HQ را برای کودکان و بزرگسالان کمتر از حد بحرانی گزارش کرده‌اند و بنابراین خطری برای سلامت ساکنان نشان نداده‌اند [۱۸, ۲۰, ۳۴,

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2025-12-26]

[DOR: 20.1001.1.24236772.1404.11.2.8.4]

۵۳]. اما آنچه در شکل ۱ و۲ مورد توجه می‌باشد این است که نسبت خطر فلزات سنگین از مسیر بلع نسبت به مسیر استنشاقی و پوستی دارای مقادیر بسیار بالاتری می‌باشد. همچنین نسبت خطر از مسیر بلع در کودکان نسبت به بزرگسالان بزرگتر می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که نسبت خطر کودکان از بزرگسالان بیشتر بوده و در هر دو بازه‌ی سنی، فلز سنگین آرسنیک و سرب بیشترین نقش را در افزایش نسبت خطر داشته‌اند. به طور کلی، ریسک‌های بهداشتی تخمین زده‌شده برای مناطق کلان‌شهری در ایران، معمولاً پایین‌تر از آستانه تعیین‌شده برای قرارگرفتن در معرض عناصر خطرناک است و در بیشتر موارد، مطابق با یافته‌های این مطالعه، مسیر بلع به عنوان مسیر غالب قرارگرفتن در معرض شناخته شده است [۲۰, ۵۴]. میزان بلع به مقدار غذا، آب، خاک وگرد و غبار حاوی آلاینده است که یک فرد در یک دوره زمانی خاص بلعیده است؛ بنابراین، دلیل غالب بودن خطر مسیر بلع نسبت به مسیرهای استنشاقی و پوستی، وسیع‌تر بودن مسیر بلع می‌باشد. زیرا در این مسیر آلودگی‌های محیطی مختلف مستقیما از طریق خوردن انواع غذاها و محصولات کشاورزی و منابع آب آشامیدنی آلوده یا تماس غیرمستقیم از طریق تماس مکرر با خاک آلوده، گرد و غبار و سایر سطوح رخ می‌دهد .[۵۵] نتایج شکل ۳ نشان می‌دهد که مقدار خطر تجمعی (HI) در هر سه کاربری صنعتی ، ترافیکی و مسکونی و در دو بازه‌ی سنی کودک و بزرگسال کمتر از «۱» می‌باشد و این مفهوم را می‌رساند که غلظت فلزات سنگین هوای آزاد روی سلامتی انسان اثر منفی بهداشتی نمی‌گذارد و هیچ اثر نامطلوبی از نظر شاخص تجمعی غیرسرطان‌زایی بر سلامت انسان ایجاد نمی‌کند. مطابق با نتایج این مطالعه، مطالعه‌ی گودرزی و همکاران(۲۰۱۸)، در بررسی ریسک سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی فلزات سنگین در $PM_{۱۰}$ در هوای کلان‌شهر اهواز، مشاهده کردند که سطوح HQ و HI پایین‌تر از آستانه خطر هستند [۱۸]. همچنین، مطالعه‌ی خدادادی و همکاران (۲۰۲۴) نشان داد که خطر غیرسرطانی فلزات سنگین هوای آزاد اهواز از طریق پایش زیستی کمتر از «۱» می‌باشد [۲۰].

تحلیل ارزیابی خطر سرطان‌زایی فلزات سنگین

طبق نتایج به دست آمده که در جدول ۵ گزارش شده است، بیشترین خطر سرطان‌زایی در مسیر مواجهه بلع و سپس پوستی می‌باشد. در مسیر مواجهه‌ی تنفسی تمامی مقادیر در محدوده‌ی ایمن هستند. همچنین، خطر سرطان‌زایی فلزات سنگین هوای اهواز در محدوده‌ی سنی کودکان، خطرناک‌تر از محدوده‌ی سنی بزرگسالان می‌باشد. مضرترین فلز سنگین از نظر خطر سرطان‌زایی در محدوده‌ی سنی کودکان، کادمیوم، کروم و آرسنیک و در محدوده‌ی سنی بزرگسالان کروم می‌باشد. همچنین خطر سرطان‌زایی فلزات سنگین هوای اهواز بیشتر متأثر از کاربری صنعتی و سپس ترافیکی می‌باشد.

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، فلزات سنگین کادمیوم، کروم و آرسنیک در هوای شهر اهواز، به‌ویژه در مجاورت مناطق صنعتی، تهدیدی جدی برای سلامت ساکنان محسوب می‌شوند. کودکان به دلیل حساسیت بیشتر، در معرض بالاترین خطر سرطان‌زایی قرار داشته و در نتیجه، آلودگی هوای محلی می‌تواند نقش مهمی در ایجاد شرایط نامطلوب زندگی برای آنان ایفا کند [۴۴, ۵۶]. مشابه با نتایج این مطالعه، خدادادی و همکاران که از آبان ۱۳۹۷ تا اردیبهشت ۱۳۹۸ به بررسی اثرات سرطانی فلزات سنگین هوای آزاد اهواز پرداختند به این نتیجه رسیدند که خطر سرطان‌زایی فلزات آرسنیک و کروم در مناطق صنعتی برای کودکان در محدوده‌ی بالقوه خطر قرار دارد [۲۰]. سرطان‌زایی آرسنیک و کروم در مطالعات مختلف ثابت شده است، حتی مقادیر کمی از این عناصر که از طریق مسیرهای مختلف وارد بدن انسان می‌شوند، می‌توانند باعث تشکیل سلول‌های بنیادی سرطانی شوند[۴۵, ۵۷]. نیسی و همکاران (۲۰۱۶) نیز اثرات گرد و غبار داخلی بر سلامت کودکان در اهواز را بررسی کردند و نتایج نشان داد خطرات بالقوه سرطان‌زایی ناشی از کروم و نیکل در مناطق صنعتی قابل توجه بوده است [۱۴].

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2025-12-26]

[DOR: 20.1001.1.24236772.1404.11.2.8.4]

جمعیت ساکن در مجاورت کاربری صنعتی شهر اهواز -به ویژه صنایع فولاد و شهرک‌های صنعتی- در بلندمدت می‌تواند نشانه هشداردهنده‌ای از وجود خطر بالقوه سرطان‌زا در منطقه مورد مطالعه باشد که نیازمند بررسی دقیق‌تر است. صنعت فولاد اهواز که در بخش جنوبی شهر واقع شده است، مهم‌ترین نگرانی در خصوص انتشار فلزات سنگین در هوا به شمار می‌رود [۴۶, ۵۳] . بنابراین، جهت پایش مستمر این آلاینده‌ها، ضروری است مقامات محلی نسبت به وضعیت موجود آگاه شده و صنایع ملزم به به‌کارگیری روش‌های کنترلی مؤثر شوند.

در مطالعه حاضر، گلسنگ فراکاشت‌شده برای پایش زیستی غلظت فلزات سنگین و تغییرات مکانی آن‌ها در شهر اهواز، به‌عنوان یکی از آلوده‌ترین شهرهای جهان استفاده شده است. بیشترین غلظت فلزات سنگین در نقاط نمونه‌برداری با کاربری صنعتی و سپس ترافیکی مشاهده شد. اگرچه خطر غیرسرطانی فلزات سنگین اهواز کوچکتر از «۱» بود و نشان‌دهنده عدم وجود خطر قابل توجه است، اما خطر سرطان‌زایی کادمیوم، کروم، آرسنیک و نیکل برای کودکان از مسیر بلع به ویژه در کاربری‌های صنعتی و سپس ترافیکی در اهواز در محدوده‌ی خطربالقوه می‌باشد. از این‌رو، نیاز است اقدامات احتیاطی بیشتری برای کاهش منابع انتشار فلزات سنگین متأثر از فعالیت‌های مختلف صنعتی و ترافیکی در شهر اهواز انجام گردد. یافته‌ها نشان می‌دهد گلسنگ یک پایشگر زیستی مناسب برای بیان تغییرات مکانی فلزات سنگین می‌باشد و پیشنهاد می‌شود برای پایش زیستی آلودگی هوا در برنامه‌های نگرش «سبز» در مناطق شهری استفاده شود؛ زیراکه جایگزینی مناسب، دقیق و مقرون به صرفه نسبت به سایر روش‌های پایش آلاینده‌های هوا در مقیاس بزرگ می‌باشد.

قدردانی

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه دکتری روح الله خدادادی با شماره APRD-۹۸۱۲ است که توسط دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز حمایت مالی شده است.

تضاد در منافع

تضاد منافعی وجود ندارد.

مشارکت نویسندگان

روح‌الله خدادادی، غلامرضا گودرزی و محمد سهرابی این مطالعه را طراحی کردند. نگارش نسخه اولیه مقاله توسط روح‌الله خدادادی و زینب بابلی انجام شد. غلامرضا گودرزی مدیریت پروژه، ارائه تجهیزات، روش‌شناسی، نمونه‌برداری و تأمین بودجه را بر عهده داشت. زینب بابلی، یاسر طهماسبی بیرگانی و علی‌اکبر بابایی مسئول جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها بودند. مریم دستورپور، عبدالکاظم نیسی و استفانو لوپی بر نتایج پژوهش نظارت و آن‌ها را اعتبارسنجی کردند. تمامی نویسندگان متن نهایی مقاله را بررسی، ویرایش و تأیید کردند.

حمایت مالی

این مطالعه با حمایت مالی و پشتیبانی دانشگاه علوم پزشکی جندی‌شاپور اهواز (شماره APRD-۹۸۱۲) انجام شد. همچنین، تأییدیه اخلاق پژوهش از کمیته اخلاق دانشگاه علوم پزشکی جندی‌شاپور اهواز با کد اخلاق (IR.UMA.REC.۱۳۹۸.۸۰۴) دریافت گردید.

دسترسی داده ها

جهت دسترسی به داده‌ها می‌توان با نویسنده مسئول مکاتبه کرد.

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2025-12-26]

[DOR: 20.1001.1.24236772.1404.11.2.8.4]

References

1. Abas A. A systematic review on biomonitoring using lichen as the biological indicator: A decade of practices, progress and challenges. Ecol Indicat. 2021;121:107197.
2. Varrica D, Lo Medico F, Alaimo MG. Air quality assessment by the determination of trace elements in lichens (Xanthoria calcicola) in an industrial area (Sicily, Italy). Int J Environ Res Public Health. 2022;19(15):9746.
3. Brunialti G, Frati L. Biomonitoring with lichens and mosses in forests. MDPI; 2023;14(11):2265.
4. Paoli L, Bandoni E, Sanità Di Toppi L. Lichens and mosses as biomonitors of indoor pollution. Biology. 2023;12(9):1248.
5. Petrova S, Yurukova L, Velcheva I. Lichen bags as a biomonitoring technique in an urban area. Appl Ecol Environ Res. 2015;13(4):915-23.
6. Caggiano R, Trippetta S, Sabia S. Assessment of atmospheric trace element concentrations by lichen-bag near an oil/gas pre-treatment plant in the Agri Valley (southern Italy). Nat Hazard Earth Sys Sci. 2015;15(2):325-33.
7. Adamo P, Bargagli R, Giordano S, Modenesi P, Monaci F, Pittao E, et al. Natural and pre-treatments induced variability in the chemical composition and morphology of lichens and mosses selected for active monitoring of airborne elements. Environ Pollut. 2008;152(1):11-9.
8. Turner MC, Cogliano V, Guyton K, Madia F, Straif K, Ward EM, et al. Research recommendations for selected IARC-classified agents: impact and lessons learned. Environ Health Perspect. 2023;131(10):105001.
9. Cardoso E, Librelotto L, Bandini V. IRIS. 2023.
10. Jafari K, Ghalhari MR, Hayati R, Baboli Z, Zeider K, Ramírez-Andreotta MD, et al. Using date palm (Phoenix dactylifera L.) as bio-monitors of environmental quality for exposure assessment and pollution source tracking. Atmos Environ. 2023;313:120055.
11. Kong S, Lu B, Ji Y, Zhao X, Chen L, Li Z, et al. Levels, risk assessment and sources of PM10 fraction heavy metals in four types of dust from a coal-based city. Microchem J. 2011;98(2):280-90.
12. Salih Z, Aziz F. Heavy metal accumulation in dust and workers' scalp hair as a bioindicator for air pollution from a steel factory. Polish J Environ Stud. 2020;29(2):1805-13.
13. Dastoorpoor M, Khanjani N, Bahrampour A, Goudarzi G, Aghababaeian H, Idani E. Short-term effects of air pollution on respiratory mortality in Ahvaz, Iran. Medical journal of the Islamic Republic of Iran. 2018;32:30.
14. Neisi A, Goudarzi G, Akbar Babaei A, Vosoughi M, Hashemzadeh H, Naimabadi A, et al. Study of heavy metal levels in indoor dust and their health risk assessment in children of Ahvaz city, Iran. Toxin Rev. 2016;35(1-2):16-23.
15. Mohammadi MJ, Godini H, Khak MT, Daryanoosh SM, Dobaradaran S, Goudarzi G. An association between air quality and COPD in Ahvaz, Iran. Jundishapur J Chronic Dis Care. 2015;4(1):e26621.
16. Goudarzi G, Baboli Z, Moslemnia M, Tobekhak M, Tahmasebi Birgani Y, Neisi A, et al. Assessment of incremental lifetime cancer risks of ambient air PM10-bound PAHs in oil-rich cities of Iran. J Environ Health Sci Eng. 2021;19(1):319-30.
17. Moradi M, Hadei M, Yazdani M, Goudarzi M, Baboli Z, Tahmasebi Birgani Y, et al. Effect of long-term exposure to PM2. 5 on years of life lost in a populated Middle Eastern city. Environ eochem Health. 2021;43(8):3229-35.
18. Goudarzi G, Alavi N, Geravandi S, Idani E, Behrooz HRA, Babaei AA, et al. Health risk assessment on human exposed to heavy metals in the ambient air PM10 in Ahvaz, Southwest Iran. Int J Biometeorol. 2018;62(6):1075-83.
19. Maleki H, Goudarzi G, Baboli Z, Khodadadi R, Yazdani M, Babaei AA, et al. Temporal profiles of ambient air pollutants and associated health outcomes in two polluted cities of the Middle East. J Environ Health Sci Eng. 2022;20(1):347-61.
20. Khodadadi R, Sohrabi M, Loppi S, Tahmasebi Birgani Y, Babaei AA, Neisi A, et al. Atmospheric pollution by potentially toxic elements: Measurement and risk assessment using lichen transplants. Int J Environ Health Res. 2024;34(3):1270-83.
21. De La Cruz ARH, De La Cruz JKH, Tolentino DA, Gioda A. Trace element biomonitoring in the Peruvian andes metropolitan region using Flavoparmelia caperata lichen. Chemosphere. 2018;210:849-58.
22. Garty J. Biomonitoring heavy metal pollution with

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2025-12-26]

[DOR: 20.1001.1.24236772.1404.11.2.8.4]

lichens. In: Protocols in lichenology: Springer; 2002:458-82.
23. Kranner I, Beckett R, Hochman A, Nash Iii TH. Desiccation-tolerance in lichens: a review. Bryol. 2008;111(4):576-93.
24. Agarwal S, Albeshr MF, Mahboobb S, Atique U, Pramanick P, Mitra A. Bioaccumulation Factor (BAF) of heavy metals in green seaweed to assess the phytoremediation potential. J King Saud Uni Sci. 2022;34(5):102078.
25. Çobanoğlu G, Kaan T. Biomonitoring of atmospheric heavy metals in native lichen Xanthoria parietina around Salda Lake (Burdur–Turkey), a special environmental protection area. Air Qual Atmos Health. 2024;17(12):2789-800.
26. Dziurowicz P, Fałowska P, Waszkiewicz K, Kamiński A, Nicia P, Zadrożny P, et al. Metal bioaccumulation and physiological responses of Arctic lichens under climate change and pollution. Ecol Indicat. 2025;178:113959.
27. Khare S, Latifi H, Khare S. Vegetation growth analysis of UNESCO World Heritage Hyrcanian forests using multi-sensor optical remote sensing data. Remote Sens. 2021;13(19):3965.
28. Mohammadyan M, Naderi H, Mousavinasab SN, Rafiei A, Dasturani M. Health risk assessment of occupational exposure to BTEX in the painting unit of a bicycle industry in Quchan, Iran. J Health Res Commun. 2020;6(3):43-54.
29. Nezamodini Z, Jafari B, Sari H, Jazayeri SA. Hazard identification and risk assessment using hazard analysis method in facilities zone of a steel industry in Khuzestan, Iran. J Health Res Commun. 2020;6(3):33-42.
30. Behrooz RD, Kaskaoutis D, Grivas G, Mihalopoulos N. Human health risk assessment for toxic elements in the extreme ambient dust conditions observed in Sistan, Iran. Chemos. 2021;262:127835.
31. 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.
32. Tabatabaei Z, Baghapour MA, Hoseini M, Shamsedini N. Carcinogenic and non-carcinogenic risk assessment of exposure of housewives to volatile organic compounds (benzene, toluene, ethylbenzene, and xylenes) in the indoor air of houses. J Health Res Commun. 2021;6(4):51-62.
33. Mohammadian M, Babanezhad E, Esfandiari Y, Ramzani S. Concentration evaluation and health risk assessment of welders' exposure to total fumes and manganese during welding at metal industry. J H Res Commun. 2020;5(4):45-56.
34. Zhaoyong Z, Xiaodong Y, Simay Z, Mohammed A. Health risk evaluation of heavy metals in green land soils from urban parks in Urumqi, Northwest China. Environ Sci Pollut Res. 2018;25(5):4459-73.
35. Garty J. Biomonitoring atmospheric heavy metals with lichens: theory and application. Critic rev Plant Sci. 2001;20(4):309-71.
36. Kłos A, Ziembik Z, Rajfur M, Dołhańczuk-Śródka A, Bochenek Z, Bjerke JW, et al. Using moss and lichens in biomonitoring of heavy-metal contamination of forest areas in southern and north-eastern Poland. Sci Total Environ. 2018;627:438-49.
37. Paoli L, Vannini A, Monaci F, Loppi S. Competition between heavy metal ions for binding sites in lichens: Implications for biomonitoring studies. Chemos. 2018;199:655-60.
38. Demková L, Bobul'ská L, Árvay J, Jezný T, Ducsay L. Biomonitoring of heavy metals contamination by mosses and lichens around Slovinky tailing pond (Slovakia). J Environ Sci Health, Part A. 2017;52(1):30-6.
39. Salo H, Bućko MS, Vaahtovuo E, Limo J, Mäkinen J, Pesonen LJ. Biomonitoring of air pollution in SW Finland by magnetic and chemical measurements of moss bags and lichens. J Geochem Explor. 2012;115:69-81.
40. Ataabadi M, Hoodaji M, Najafi P. Biomonitoring of some heavy metal contaminations from a steel plant by above ground plants tissue. African J Biotechnol. 2011;10(20):4127-32.
41. KiliÇ DD. Investigation of heavy metal accumulation and biomonitoring of Calepina irregularis species growing in Amasya (Turkey) province. Anatolian J Botany. 2013;3(2):44-50.
42. Alaqouri HaA, Genc CO, Aricak B, Kuzmina N, Menshikov S, Cetin M. The possibility of using scots pine needles as biomonitor in determination of heavy metal accumulation. Environ Sci Pollut Res. 2020;27(16):20273-80.
43. Fang T, Jiang T, Yang K, Li J, Liang Y, Zhao X, et al. Biomonitoring of heavy metal contamination with roadside trees from metropolitan area of Hefei, China. Environ Monit Assess. 2021;193(3):151.
44. Narsimha A. Heavy metals pollution assessment and its associated human health risk evaluation of urban soils from Indian cities: a review. Environ Geochem Health. 2020;42(1):173-90.

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2025-12-26]

[DOR: 20.1001.1.24236772.1404.11.2.8.4]

45. Balali-Mood M, Naseri K, Tahergorabi Z, Khazdair MR, Sadeghi M. Toxic mechanisms of five heavy metals: mercury, lead, chromium, cadmium, and arsenic. Front Pharmacol. 2021;12:643972.
46. Urrutia-Goyes R, Hernandez N, Carrillo-Gamboa O, Nigam K, Ornelas-Soto N. Street dust from a heavily-populated and industrialized city: Evaluation of spatial distribution, origins, pollution, ecological risks and human health repercussions. Ecotoxicol Environ Safety. 2018;159:198-204.
47. Li Z, Feng X, Li G, Bi X, Zhu J, Qin H, et al. Distributions, sources and pollution status of 17 trace metal/metalloids in the street dust of a heavily industrialized city of central China. Environ Pollut. 2013;182:408-16.
48. Vučković I, Špirić Z, Stafilov T, Kušan V. Moss biomonitoring of air pollution with chromium in Croatia. J Environ Sci Health, Part A. 2013;48(7):829-34.
49. Li H, Shi A, Li M, Zhang X. Effect of pH, temperature, dissolved oxygen, and flow rate of overlying water on heavy metals release from storm sewer sediments. J Chem. 2013;2013(1):434012.
50. Qing X, Yutong Z, Shenggao L. Assessment of heavy metal pollution and human health risk in urban soils of steel industrial city (Anshan), Liaoning, Northeast China. Ecotoxicol Environ Safety. 2015;120:377-85.
51. Panahpour E. The study on the level of pollution and spatial distribution of concentrations of heavy metals (Cr, Ni, Cu, Pb and Zn) in the Industrial City of Mah-Shahr. J Nat Environ. 2018;71(3):399-412.
52. Odabasi M, Tolunay D, Kara M, Falay EO, Tuna G, Altiok H, et al. Investigation of spatial and historical variations of air pollution around an industrial region using trace and macro elements in tree components. Sci Total Environ. 2016;550:1010-21.
53. Mateos AC, Amarillo AC, Carreras HA, Gonzalez CM. Land use and air quality in urban environments: Human health risk assessment due to inhalation of airborne particles. Environ Res. 2018;161:370-80.
54. 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 Engineering. 2019;17(1):467-77.
55. Assessment E. Guidelines for exposure assessment. Federal Register. 1992;57(104):22888-938.
56. Jiang Y, Shi L, Guang A-L, Mu Z, Zhan H, Wu Y. Contamination levels and human health risk assessment of toxic heavy metals in street dust in an industrial city in Northwest China. Environ Geochem Health. 2018;40(5):2007-20.
57. Nazarpour A, Watts MJ, Madhani A, Elahi S. Source, spatial distribution and pollution assessment of Pb, Zn, Cu, and Pb, isotopes in urban soils of Ahvaz City, a semi-arid metropolis in southwest Iran. Sci Rep. 2019;9(1):5349.

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2025-12-26]

[DOR: 20.1001.1.24236772.1404.11.2.8.4]