



Origin and assessment of health risk index of heavy metals (Cadmium and Lead) in the dust of buildings of the Science and Research Unit

Parastou Asgari¹ | Lobat Taghavi² | Ali Mashinchian Moradi³

1. Department of Environmental Science, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. E-mail: parastoo.asgari@srbiau.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Environmental Science, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. E-mail: l.taghavi@srbiau.ac.ir
3. Department of Environmental Science, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. E-mail: mashinchian@srbiau.ac.ir

Article Info	ABSTRACT	
Article type: Research Article	<p>The increase in population and the development of urban and industrial infrastructure have caused an increase in atmospheric pollutants and numerous environmental problems. The aim of this study was to find the origin and measure the health risk index of heavy metals (Cadmium and Lead) in the dust falling from the buildings of science and research unit. For this purpose, the sampling of atmospheric particles (dust) from the interior spaces of the buildings was done in 20 points by passive method. The obtained concentrations of the studied metals were used to calculate various health risk indices, enrichment index, land accumulation index, ecological risk index, carcinogenic risk index and HI risk index. The average concentration of studied metals in different stations for cadmium and lead metals was evaluated as 5.4081 ± 0.85 and 170.9257 ± 71.9418 mg/kg, respectively. There was a statistical difference between the average concentration of metals in such a way that this noticeable difference was observed with lead metal ($P < 0.05$) and cadmium metal ($P < 0.05$). The enrichment factor showed a significant difference between lead ($P < 0.05$) and cadmium ($P < 0.05$). There was a difference between cadmium ($P < 0.05$) and lead ($P < 0.05$) accumulation index. Ecological risk index was evaluated low in all stations except stations 8 and 18. Daily chronic absorption from the gastrointestinal tract for lead metal was calculated at the highest level. The non-carcinogenicity index of the gastrointestinal tract for lead metal was evaluated as high. The respiratory tract also showed a very low risk. In general, the results showed that the studied area has heavy metal pollution, which has the capacity of carcinogenic and non-carcinogenic risk for sensitive groups of the society.</p>	
Article history: Received 17 September 2022 Received in revised form 17 December 2022 Accepted 20 December Published online 22 June 2023		
Keywords: <i>Risk non-carcinogenic risk index,</i> <i>Non-carcinogenic risk,</i> <i>Heavy metal,</i> <i>Educational location.</i>		
Cite this article: Asgari, P., Taghavi, L., & Mashinchian Moradi, A. (2023). Origin and assessment of health risk index of heavy metals (Cadmium and Lead) in the dust of buildings of the Science and Research Unit. <i>Journal Natural Environment</i> , 76 (2), 271-283. DOI: http://doi.org/10.22059/jne.2022.348809.2472		
		© The Author(s). DOI: http://doi.org/10.22059/jne.2022.348809.2472
		Publisher: University of Tehran Press.



انتشارات دانشگاه
تهران

محیط زیست طبیعی

شماره الکترونیکی: ۷۸۱۷-۲۴۲۳

Homepage: <https://jne.ut.ac.ir/>

ارزیابی شاخص‌های ریسک سلامت اکولوژیک و انسانی فلزات (کادمیوم و سرب) در گرد و غبار ریزشی ساختمان‌های دانشگاه علوم و تحقیقات

پرستو عسگری^۱ | لعبت تقوی^۲ | علی ماشینچیان مرادی^۳

۱. گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: parastoo.asgari@srbiau.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: l.taghavi@srbiau.ac.ir
۳. گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: mashinchian@srbiau.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: مقاله پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۲۶</p> <p>تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۹/۲۶</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۲۹</p> <p>تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۴/۰۱</p> <p>کلیدواژه‌ها: شاخص خطر غیر سرطان‌زایی، ریسک غیر سرطان‌زایی، فلز سنگین، مکان آموزشی.</p>	<p>افزایش جمعیت و توسعه زیرساخت‌های شهری و صنعتی موجب افزایش آلاینده‌های جوی و مشکلات محیط زیستی متعددی شده است. هدف از مطالعه حاضر منشاء‌یابی و سنجش شاخص ریسک سلامت فلزات سنگین (کادمیم و سرب) در گرد و غبار ریزشی ساختمان‌های واحد علوم و تحقیقات بود. بدین منظور نمونه‌برداری ذرات رسوب کرده جوی (گرد و غبار) از فضاهای داخلی ساختمان‌ها در ۲۰ نقطه به روش غیر فعال (Passive) انجام شد. غلظت‌های به‌دست آمده فلزات مورد مطالعه برای محاسبه انواع شاخص‌های ریسک سلامت، شاخص غنی‌شدگی، شاخص زمین‌انباشت، شاخص ریسک اکولوژیک، شاخص ریسک سرطان‌زایی و شاخص خطر (Hazard Index) استفاده شدند. میانگین غلظت فلزات مورد مطالعه در ایستگاه‌های مختلف برای فلزات کادمیم و سرب به ترتیب $170/9257 \pm 71/9418$ میلی‌گرم بر کیلوگرم ارزیابی شد. بین غلظت میانگین فلزات از نظر آماری دارای اختلاف بود به نحوی که این اختلاف محسوس با فلز سرب ($P > 0/05$) و فلز کادمیم ($P < 0/05$) مشاهده گردید. فاکتور غنی‌شدگی تفاوت معنی‌داری را بین سرب ($P > 0/05$) با کادمیم ($P < 0/05$) نشان دادند. شاخص زمین‌انباشت بین کادمیم ($P > 0/05$) و سرب ($P < 0/05$) دارای اختلاف بود. شاخص ریسک اکولوژیک در همه ایستگاه‌ها به جز ایستگاه‌های ۸ و ۱۸ پایین ارزیابی شد. جذب مزمن روزانه از مسیر گوارشی برای فلز سرب در بالاترین حد محاسبه گردید. شاخص غیر سرطان‌زایی از مسیر گوارش برای فلز سرب بالا ارزیابی شد. مسیر تنفس نیز ریسک خیلی کم را نشان داد. به‌طور کلی نتایج نشان داد منطقه مورد مطالعه دارای آلودگی‌های فلزات سنگین می‌باشد که برای گروه‌های حساس جامعه دارای ظرفیت ریسک سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی می‌باشد.</p>

استناد: عسگری، پرستو؛ تقوی، لعبت؛ و ماشینچیان مرادی، علی (۱۴۰۲). ارزیابی شاخص‌های ریسک سلامت اکولوژیک و انسانی فلزات (کادمیم و سرب) در گرد و غبار ریزشی ساختمان‌های دانشگاه علوم و تحقیقات. محیط زیست طبیعی، ۷۶ (۲)، ۲۸۳-۲۷۱.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jne.2022.348809.2472>



© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

با افزایش جمعیت و توسعه زیر ساخت‌های شهری از جمله مناطق مسکونی، اداری، کارخانه‌ها، بیمارستان‌ها، بزرگراه‌ها و مراکز صنعتی رفته رفته بر میزان آلاینده‌های محیط زیست افزوده شده است (Naderizadeh *et al.*, 2016). از طرفی، به علت وقوع پدیده‌ها و تغییرات جوی، نظیر وقوع خشکسالی‌های طولانی، افزایش گرمای هوا، طوفان‌های شدید و انتشار ریز گرد‌ها افزایش آلودگی‌های جوی در محیط زیست مشاهده می‌شود که به‌عنوان اصلی‌ترین دلایل آلودگی هوا با منشاء طبیعی شناخته شده‌اند (Ahmadi Dooabi *et al.*, 2016). انسان‌ها و سایر جانداران از جمله حیوانات و گیاهان به‌شدت تحت تأثیر این نوع از آلاینده‌ها قرار دارند. در این بین، انسان با توجه به حساسیت بیشتر و اهمیت بالایی که در بخش سلامت انسان در محیط زیست دارد بیش از سایر جانداران مورد توجه قرار می‌گیرد (Esmaeili Sari *et al.*, 2002). در این خصوص، آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا هر ساله اطلاعات زیادی را در خصوص میزان آلودگی‌های جوی و راه‌های انتقال و اثرگذاری آن‌ها در محیط زیست را منتشر می‌کند. همچنین مدل‌های متعددی برای محاسبه مقادیر و اثرگذاری آلاینده‌ها بر زندگی انسان و محیط زیست ارائه می‌کند. انتشار ذرات گرد و غبار در محدوده‌های شهری به‌تنهایی عامل اصلی بروز بیماری‌ها و مشکلات برای سلامت انسان و محیط زیست شهری نمی‌باشد بلکه این اثرات سمی ترکیبات و آلاینده‌های فلزی است که با ترکیب شدن گرد و غبار می‌تواند به شکل مؤثرتر اثرات سوء خود را بر اکوسیستم شهری بگذارد (Asvad *et al.*, 2019).

ترکیبات گازی شکل و آلاینده‌ها می‌توانند طی فرآیندهای پیچیده، نظیر بارش برف و باران به شکل مایع درآمد و وارد چرخه آبی سطح زمین شوند (Hou *et al.*, 2019). با ظهور انقلاب صنعتی در قرن ۱۸ میلادی و شکل‌گیری جنگ‌های مختلف داخل کشورها و بین ملل مختلف نیز رفته رفته اتمسفر و کیفیت آن بیش از پیش دچار تغییر و دستکاری قرار گرفته است (Naderizadeh *et al.*, 2016). در طی جنگ‌های جهانی اول و دوم حجم زیادی از دود و خاکستر ناشی از انفجار بمب‌ها و آتش‌سوزی‌ها وارد هوا شد (Moayedi *et al.*, 2008). همچنین فعالیت کارخانه‌ها و صنایع شیمیایی، پتروشیمی‌ها، چاه‌های نفت، سکوهای استخراج گاز، نیروگاه‌های حرارتی تولید برق نیز بر تشدید وضع موجود افزودند (Bauer *et al.*, 2019). در این میان نیز، فعالیت‌های طبیعی مانند آتش‌سوزی‌های جنگلی، فعالیت‌های آتش‌فشانی و وقوع طوفان‌های گرد و غبار موجب کاهش شدید کیفیت هوا شده است. این فعالیت‌ها سالانه میلیون‌ها تن ذرات گرد و غبار، دود، خاکستر و انواعی از بخارات شیمیایی و سمی را وارد اتمسفر می‌کند که می‌تواند سلامت انسان و سایر موجودات را به شکل جدی تهدید کند (Ching *et al.*, 2020). با شکل‌گیری جوامع بشری و پیدایش شهرها و ساختمان‌سازی‌ها نیز استفاده از وسایل نقلیه که سوخت‌های فسیلی مصرف می‌کردند افزایش یافته است (Molaei and Esmaeilisari, 2020). وسایل نقلیه موتوری، ماشین‌های سواری، حمل و نقل عمومی، ناوگان ریلی، دریایی و هوایی به نوعی از سوخت‌های فسیلی استفاده می‌کنند که در شهرهای با تراکم بالا باعث افزایش ذرات معلق در هوا می‌شوند (Skřętowicz *et al.*, 2018). هوا به‌عنوان اصلی‌ترین نیاز زیستن برای انسان است که طی عملیات تنفس به شکل دائم وارد بدن شده و در اختیار سلول‌ها و اندام‌های بدن قرار می‌گیرد (Mansouri *et al.*, 2016). کیفیت نامطلوب هوای تنفس شده و وجود ذرات معلق زیاد می‌تواند سلامت دستگاه تنفسی، قلب، کلیه‌ها و مغز را به‌طور جدی تهدید کند (Pega *et al.*, 2020). به‌عنوان مثال در زمستان‌های شهرهای شلوغ و پرجمعیت نظیر تهران که هوا حالت سکون دارد، بدن انسان به‌علت وارونگی هوا در معرض حجم زیادی از آلاینده‌ها و ذرات معلق قرار دارد که موجب بروز مسمومیت‌ها، بیماری‌های سرطانی، تنگی نفس و حتی مرگ می‌شود که آمار مراجعه بیمارستان مؤید این امر می‌باشد (Barzeghar *et al.*, 2020). در این شرایط ذرات معلق موجود در هوا حاوی ترکیبات سمی و فلزات سنگین متعددی هستند که به‌علت داشتن ذرات کوچک بودن و آئروسول به‌راحتی به محیط‌های مختلف منتقل می‌شوند (Zhao *et al.*, 2020).

فلزات سنگین از جمله فلزات بسیار سمی و سرطان‌زا هستند که پس از ورود به بدن باعث ایجاد مسمومیت می‌شوند (Mazloomi, *et al.*, 2017). این ترکیبات تقریباً در همه جای محیط‌های شهری و پر ازدحام و آلوده وجود دارند و به‌راحتی از مسیرهای تنفس و پوست جذب بدن می‌شوند. فلزاتی نظیر سرب، کادمیوم، جیوه، آهن، مس، روی، نیکل، منگنز، کبالت و آرسنیک از مهمترین فلزات سنگین موجود در هوا می‌باشند (Dahmardeh *et al.*, 2021). این ترکیبات حتی به‌راحتی می‌توانند به مکان‌های

بسته نیز منتقل شوند. پنجره‌ها، درب‌ها، کولرها، کانال‌های هواکش، درز شیشه‌ها و کانال‌های هوا از اصلی‌ترین مسیرهای نفوذ ذرات گرد و غبار به داخل فضاهای بسته اداری و مسکونی می‌باشند (Mortazavi et al., 2005).

تهران به‌عنوان یک کلان‌شهر با جمعیت میلیونی انسانی و وسایل نقلیه موتوری و غیر موتوری شرایط بحرانی از نظر آلودگی هوا دارد (Mahmoodi et al., 2011). تقریباً همه مناطق این شهر با آلودگی ذرات گرد و غبار آغشته به فلزات سنگین هستند (Moradi et al., 2016). با توجه به اینکه ساکنین این شهر چه در فضاهای باز و چه در فضاهای بسته اداری و مسکونی در معرض خطر این ترکیبات هستند بنابراین مطالعه حاضر با هدف بررسی ریسک سلامت و منشاء یابی فلزات سنگین موجود در ذرات گرد و غبار جمع‌آوری شده از فضاهای داخلی اداری دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران به‌اجرا درآمد. اهمیت این موضوع توجه به پایداری و نفوذ ذرات گرد و غبار آغشته به فلزات سنگین در فضاهای بسته است که به‌علت ماندگاری بالا می‌تواند به شکل پیوسته سلامت انسان را تهدید نماید.

آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان (IARC) کادمیوم (Cd) و سرب (Pb) را به‌عنوان عناصر سرطان‌زا و غیر سرطان‌زا طبقه‌بندی کرده است. فلزات سنگین Cd و Pb آلاینده‌های محیطی گسترده‌ای هستند که می‌توانند اثرات مضر برای سلامتی مانند انواع مختلف سرطان‌ها ایجاد کنند (Sanborn et al., 2016). طبق گزارش سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (USEPA)، ارزیابی خطر ماهیت سرطان‌زا و غیر سرطان‌زا بودن یک آلاینده، مدلی است که برای برآورد خطر سلامت انسان که توسط آلاینده‌های مختلف ایجاد می‌شود، توسعه یافته است (Tan et al., 2016).

با توجه به تجمع ذرات گرد و غبار در محدوده اماکن شهری از جمله ساختمان‌های مسکونی، اداری، تجاری، بانک‌ها، فضاهای سبز و خیابان‌ها و نقاط پر تردد و نظر به اینکه امروزه در اکثر کلان‌شهرهای بزرگ از جمله تهران موضوع آلودگی هوا به امر جدی و مهم برای سلامت انسانی تبدیل شده است بنابراین این تحقیق می‌تواند با سنجش غلظت فلزات سنگین و سمی موجود در ذرات گرد و غبار درک درست و روشنی از وضعیت این آلاینده‌ها را در محیط زیست شهری ارائه کند. همچنین با انجام ارزیابی ریسک سلامت فلزات سنگین موجود در ذرات گرد و غبار در این محدوده، می‌توان به‌شدت و میزان سمیت این ترکیبات برای گروه‌های مختلف سنی افراد جامعه پی برد. بنابراین در برنامه‌های پایش و مدیریت آلودگی هوا می‌توان تصمیمات دقیق‌تر و مؤثرتری برای کنترل آلاینده‌های هوا و نفوذ آن‌ها به محیط کار و زندگی شهروندان اتخاذ نمود.

روش‌شناسی پژوهش

ایستگاه‌های مورد مطالعه و نمونه‌برداری: تعداد ۲۰ ایستگاه (جدول ۱) برای نمونه‌برداری در ساختمان‌های دانشگاه آزاد واحد علوم تحقیقات تهران انتخاب شد. نمونه‌برداری فقط از فضای داخلی ساختمان صورت گرفت بنابراین مکان‌های نمونه‌برداری که با خارج از فضاهای مورد مطالعه در تماس بودند جهت نمونه‌برداری در نظر گرفته نشدند. تمامی سطوح داخل ساختمان‌ها از جمله قاب پنجره‌ها، چهارچوب درب‌ها، طاقچه‌ها، میز و صندلی‌ها و سطوح داخلی برای نمونه‌برداری گرد و غبار استفاده شدند.

آنالیز شیمیایی نمونه‌ها: لوله‌های هضم جهت هضم اسیدی نمونه‌ها، چشمه توری ۶۳ میکرون، اسید نیتریک ۶۵٪ و اسید پرکلریک ۷۰٪ با درجه خلوص بسیار بالا از شرکت مرک آلمان تهیه گردیدند. قیف پلی‌اتیلنی، کاغذ صافی واتمن ۴۲ و بالن‌های ژوژه ۲۵ میلی‌لیتری برای صاف کردن نمونه‌های هضم شده، کاغذ صافی واتمن ۴۲، نمونه‌بردار (برند آلمان) یک میلی‌لیتری، پیپت و قوطی پلی‌اتیلنی ۱۰۰ میلی‌لیتری جهت نگهداری نمونه‌های هضم شده برای آماده‌سازی نمونه‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

نمونه‌های گرد و غبار پس از ارسال به آزمایشگاه در داخل دسیکاتور قرار داده شدند. سپس با الک اندازه ۶۳ میکرون الک شده و در نهایت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد در آن به‌مدت یک شبانه‌روز (۲۴ ساعت) خشک شدند (Darus et al., 2012; Karakus et al., 2012). پس از خشک شدن نمونه‌های گرد و غبار تقریباً ۰/۲۵ گرم از گرد و غبار الک شده را با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم مدل AAA 250 L شرکت Adam Equipment انگلستان وزن کرده و در داخل لوله‌های پلی‌اتیلنی مخصوص هضم ریخته شد. برای هضم شیمیایی نمونه‌ها از ترکیب اسیدنیتریک و اسید پرکلریک استفاده شد. به‌منظور هضم اسیدی نمونه‌ها، ابتدا مقدار ۱ گرم از نمونه‌های آماده شده توزین و داخل لوله‌های پلی‌اتیلنی ریخته شد و به مقدار ۸ میلی‌لیتر اسیدنیتریک به آن اضافه شد. سپس ۴ میلی‌لیتر اسید پرکلریک به نمونه‌ها اضافه

جدول ۱. ایستگاه‌های نمونه‌برداری

کد ایستگاه	موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری
S1	طبقه هفتم پارکینگ-شمالی
S2	طبقه هفتم پارکینگ-جنوبی
S3	طبقه اول پارکینگ-جنوبی
S4	طبقه اول پارکینگ-شمالی
S5	ساختمان حراست-جنوبی
S6	ساختمان حراست-شمالی
S7	طبقه هفتم بلوک آموزشی ۲-شمالی
S8	طبقه هفتم بلوک آموزشی ۲-جنوبی
S9	طبقه همکف بلوک آموزشی ۲-جنوبی
S10	طبقه همکف بلوک آموزشی ۲-شمالی
S11	ساختمان ابن سینا-همکف جنوبی
S12	ساختمان ابن سینا-همکف شمالی
S13	دانشکده مهندسی مواد همکف جنوبی
S14	دانشکده مهندسی مواد همکف شمالی
S15	مسجد امام علی (ع)-شمالی
S16	مسجد امام علی (ع)-جنوبی
S17	هتل فرهیختگان طبقه همکف جنوبی
S18	هتل فرهیختگان طبقه همکف شمالی
S19	هتل فرهیختگان طبقه ۹ شمالی
S20	هتل فرهیختگان طبقه ۹ جنوبی

شد و لوله‌های پلی‌اتیلنی به مدت ۱ ساعت داخل دستگاه هاضم با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد و مدت زمان ۳ ساعت در دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند تا عمل هضم صورت گیرد (Yap et al., 2008; Wan et al., 2015). پس از اتمام مراحل هضم، محلول با استفاده از کاغذ صافی واتمن ۴۲ و قیف پلی‌اتیلنی در بالن ژوژه ۲۵ میلی‌لیتری صاف و نهایتاً با استفاده از آب دی‌یونیزه، حجم محلول به ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شد. در ادامه برای اندازه‌گیری مقدار عناصر مورد مطالعه از دستگاه ICP-MS مدل HP-4500 (ساخت آمریکا)، مجهز به اتوسمپلر Asx-520 استفاده شد. تمام ظروف مورد استفاده، از قبل به مدت ۲۴ ساعت در اسید نیتریک ۵٪ قرار داده شدند سپس با آب مقطر شستشو و خشک شدند.

ارزیابی شاخص‌های اکولوژیک و انسانی

شاخص غنی‌شدگی (EF) و شاخص زمین‌انباشت (Igeo): در ابتدا فاکتور غنی‌شدگی به منظور بررسی و ارزیابی عناصر در جو، بارش یا آب دریا استفاده می‌شود، اما به تدریج برای مطالعه خاک، رسوبات و سایر موارد محیط زیستی گسترش و توسعه یافت. از این فاکتور جهت غنی‌شدگی تعیین منابع احتمالی طبیعی یا انسانی عناصر موجود در گرد و غبار استفاده می‌شود و نشان‌دهنده میزان و درجه آلودگی عناصر سمی در گرد و غبار می‌باشد. فاکتور غنی‌شدگی یک عنصر با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$EF = \frac{\left(\frac{C_n}{C_{Fe}}\right) \text{ sample}}{\left(\frac{B_n}{B_{Fe}}\right) \text{ background}}$$

EF = ضریب غنی‌شدگی

Cn = میزان فلز مورد بررسی در نمونه رسوب بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم

Bn = میزان پیشینه جهانی ژئوشیمیایی فلز n

CFe = میزان عنصر مرجع در نمونه رسوب بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم

CFe = میزان پیشینه جهانی ژئوشیمیایی عنصر مرجع بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم

شاخص زمین‌انباشت (Geo-accumulation index (I_{geo}): این شاخص که به شاخص مولر نیز معروف می‌باشد در اواخر دهه ۱۹۶۰ به منظور مطالعه غلظت فلزات سنگین موجود در فاکتورهای محیطی خاک و مقایسه آن‌ها با غلظت‌های طبیعی عناصر در پوسته زمین معرفی گردید. این شاخص براساس رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

جدول ۲. طبقات، منشاء و میزان فاکتور غنی‌شدگی و شاخص زمین‌انباشت

شاخص زمین‌انباشت (Igeo)		شاخص غنی‌شدگی			
توصیف شاخص	میزان Igeo	طبقه آلودگی	منشاء بای	میزان غنی‌شدگی	فاکتور غنی‌شدگی
غیر آلوده	≤0	۱	طبیعی	EF<2	کم
آلودگی کم تا متوسط	0-1	۲	طبیعی-انسانی	2≤EF<5	متوسط
آلودگی متوسط	1-2	۳	عمدتاً انسانی	5≤EF<20	قابل توجه
آلودگی متوسط تا زیاد	2-3	۴	انسانی	20≤EF<40	خیلی زیاد
آلودگی زیاد	3-4	۵	فقط انسانی	EF≥40	به شدت زیاد
آلودگی زیاد تا شدید	4-5	۶			
آلودگی شدید	>5	۷			

$$I_{geo} = \log_2 \left(\frac{C_n}{K \times B_n} \right)$$

در این رابطه C_n : غلظت فلز بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم، B_n : مقدار اندازه‌گیری شده فلز در گزارشات قبلی و K : عدد ثابت ۱/۵ برای کاهش اثرات احتمالی تغییرات ژئوژنیک موجود در خاک است.

شاخص ریسک (HQ)^۱: این شاخص به منظور ارزیابی ریسک غیر سرطان‌زایی فلزات مورد بررسی قرار می‌گیرد و بر مبنای عدد ۱ به حالات مختلف گروه‌بندی می‌شود. برای HQ هر ماده آلاینده جداگانه محاسبه می‌شود که کوچکتر یا مساوی عدد یک نشان می‌دهد اثرات مضر قابل انتظار نیست اما بزرگتر از یک احتمال بروز اثرات مضر بر سلامتی فرد توسط آن ماده آلاینده وجود دارد. برای نشان دادن اثرات چند ماده بر یک اندام یا بافت بدن از شاخص خطر^۲ استفاده می‌شود که معادل با مجموع HQ در همه فلزات مورد مطالعه می‌باشد. رابطه شاخص ضریب ریسک غیر سرطان‌زایی HQ برای هر یک از مسیرهای جذب فلزات سنگین به شکل زیر می‌باشد:

$$HQ_{ing} = \frac{D_{ing}}{RfDo}$$

$$HQ_{inh} = \frac{D_{inh}}{RfCi \times 1000 \mu g \text{ mg} - 1}$$

$$HQ_{dermal} = \frac{D_{dermal}}{RfDo \times GIABS}$$

RfD : مقدار مرجع است و به‌عنوان برآوردی از قرار گرفتن روزانه انسان در مسیرهایی است که در معرض فلزات سنگین قرار می‌گیرند.

Ing : نرخ مصرف از طریق بلعیدن

Inh : نرخ استنشاق

D_{ing} : جذب مزمن روزانه آلاینده از طریق بلعیدن

D_{inh} : استنشاق

D_{dermal} : تماس پوستی

شاخص خطر (HI)^۳: در این شاخص، مجموع خطرات سلامتی فلزات در نظر گرفته می‌شود و به شکل زیر تعریف می‌گردد:

$$HI = \sum HQ = HQ_{ingest} + HQ_{inhale} + HQ_{dermal}$$

بر این اساس، اگر THQ یا HI مقادیر کوچکتر یا مساوی یک را نشان دهند هیچ خطری مصرف‌کنندگان را تهدید نمی‌کند ولی برای مقادیر بالای یک، خطر بالقوه بیماری‌های غیر سرطانی سلامت مصرف‌کنندگان را تهدید می‌کند.

^۱Hazard quotient

^۲Hazard index HI

^۳Hazard Index

جدول ۳. مقادیر پارامترهای مورد نیاز در محاسبات و مدل‌های ریسک سلامت

نوع پارامتر	مقدار
RFD (oral) ($\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$)	$0.3E-00/3$
RSC	$0/7$
RBA	$0/6$
IR (L/day)	۲ liters for adults
EF (days/year)	۳۶۵
ED (year)	۷۰ for adults
BW (kg)	۷۲ for adults
AT (day)	Lifetime (۷۰ years) \times ۳۶۵ days per year = ۲۵۵۵۰
CSF (mg/kg/day)	$0/19$

جدول ۴. موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری و میانگین غلظت فلزات سنگین کادمیوم و سرب (mg/kg)

کد ایستگاه	موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری	Cd	Pb
S1	طبقه هفتم پارکینگ-شمالی	$0/38$	۱۴۵/۵۱
S2	طبقه هفتم پارکینگ-جنوبی	$0/47$	۱۶۰/۳۷
S3	طبقه اول پارکینگ-جنوبی	$0/53$	۲۲۷/۰۸
S4	طبقه اول پارکینگ-شمالی	$0/62$	۱۵۳/۷۳
S5	ساختمان حراست-جنوبی	$0/18$	۲۸/۰۶
S6	ساختمان حراست-شمالی	$0/38$	۱۱۲/۳۷
S7	طبقه هفتم بلوک آموزشی ۲ - شمالی	$0/09$	۱۲۸/۲۶
S8	طبقه هفتم بلوک آموزشی ۲ - جنوبی	۳/۳۷	۲۵۸/۲۶
S9	طبقه همکف بلوک آموزشی ۲ - جنوبی	$0/83$	۱۸۳/۳۲
S10	طبقه همکف بلوک آموزشی ۲ - شمالی	$0/53$	۲۴۲/۳۹
S11	ساختمان ابن سینا-همکف جنوبی	$0/32$	۱۰۲/۳۴
S12	ساختمان ابن سینا-همکف شمالی	۱/۳۵	۱۶۱/۴۱
S13	دانشکده مهندسی مواد همکف جنوبی	۷۲/۱۷	۲۰۴/۹۴
S14	دانشکده مهندسی مواد همکف شمالی	$0/91$	۱۰۹/۸۹
S15	مسجد امام علی (ع)-شمالی	۱۷/۵۴	۳۳۹/۸۲
S16	مسجد امام علی (ع)-جنوبی	$0/47$	۱۱۷/۱۰
S17	هتل فرهیختگان طبقه همکف جنوبی	۱/۵۷	۱۲۱/۹۷
S18	هتل فرهیختگان طبقه همکف شمالی	۳/۱۰	۳۵۸/۰۳
S19	هتل فرهیختگان طبقه ۹ شمالی	۱/۵۵	۱۹۹/۴۴
S20	هتل فرهیختگان طبقه ۹ جنوبی	۱/۸۱	۱۶۴/۲۲

یافته‌های پژوهش

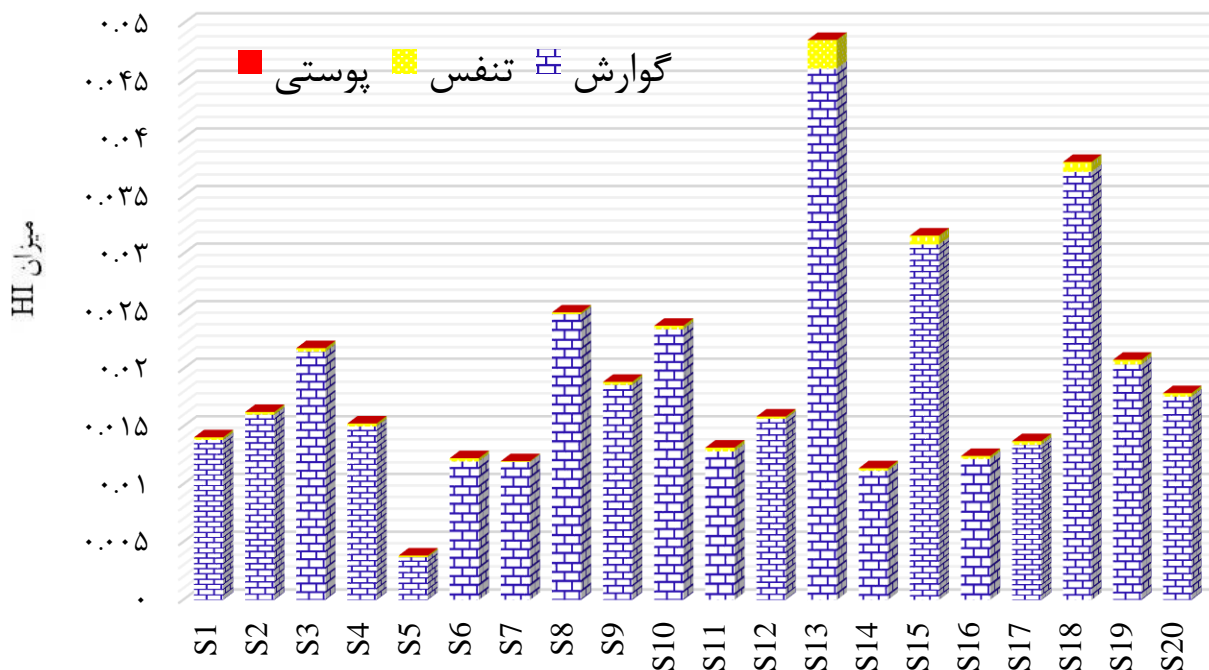
میانگین غلظت فلزات کادمیوم و سرب در نمونه‌های گرد و غبار: نتایج نشان داد که غلظت سرب در ایستگاه‌های ۱۸ و ۵ به ترتیب بالاترین و کمترین مقادیر را در غلظت‌های $358/03$ و $28/06$ میلی‌گرم بر کیلوگرم داشت. کادمیوم در ایستگاه‌های ۱۳ و ۷ به ترتیب بیشترین و کمترین مقادیر ($72/17$ و $0/09$ میلی‌گرم بر کیلوگرم) را نشان داد (جدول ۴) که در مقایسه با استانداردهای بین‌المللی کادمیوم (WHO و USEPA (۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم)) بالاتر بود. فلز سرب نیز در مقایسه با WHO (۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مقدار بیشتر را نشان داد.

ارزیابی شاخص‌های اکولوژیک و انسانی: مقادیر شاخص غنی‌شدگی و زمین‌انباشت (Igeo) فلزات مورد مطالعه در جدول ۵ ارائه شده است. براساس نتایج، فاکتور غنی‌شدگی عنصر سرب در ایستگاه ۸ (طبقه هفتم بلوک آموزشی ۲ جنوبی) و عنصر کادمیوم در ایستگاه‌های

جدول ۵. مقادیر شاخص زمین‌انباشت و فاکتور غنی‌شدگی فلزات مورد مطالعه در ایستگاه‌های مختلف

کد ایستگاه	مقادیر شاخص زمین‌انباشت		مقادیر غنی‌شدگی	
	Cd	Pb	Cd	Pb
S1	۰/۰۷۳۴۳	۰/۶۸۵۷۷۲	۰/۳۲۸۴۲۵	۰/۵۶۸۳۹۱
S2	۰/۰۱۸۸۸۵	۰/۷۲۸۰۰۲	۰/۲۶۹۶۴۵	۰/۴۱۸۸
S3	۰/۰۷۱۰۶۳	۰/۸۷۹۰۵۸	۰/۴۲۰۷۱۵	۰/۸۱۹۹۲۵
S4	۰/۱۳۹۱۷۹	۰/۷۰۹۶۳۷	۰/۴۷۷۹۳۸	۰/۵۳۹۰۴
S5	۰/۳۹۷۹۴	۰/۰۲۹۰۳	۰/۱۴۳۸۵	۰/۰۹۸۹۲۳
S6	۰/۰۷۳۴۳	۰/۵۷۳۵۲۹	۰/۱۵۳۹۰۷	۰/۲۰۳۴۴۷
S7	۰/۶۹۸۹۷	۰/۶۳۰۹۷	۰/۱۰۷۶	۰/۶۷۷۸۲۲
S8	۰/۸۷۴۴۱۷	۰/۹۳۴۹۳۶	۱۰/۳۸۵۴۴	۳/۵۹۹۰۰۳
S9	۰/۲۶۵۸۶۶	۰/۷۸۶۰۸۹	۰/۵۳۶۷۴۶	۰/۵۳۶۷۴۶
S10	۰/۰۷۱۰۶۳	۰/۹۰۷۳۹۳	۰/۳۱۷۰۱۸	۰/۶۵۹۴۶۹
S11	۰/۱۴۸۰۶	۰/۵۳۲۹۲۴	-	-
S12	۰/۴۷۷۱۲۱	۰/۷۳۰۸۰۹	-	-
S13	۲/۲۰۵۱۴۴	۰/۸۳۴۵۰۵	۲۷/۹۱۸۱۶	۰/۳۵۷۹۶۱
S14	۰/۳۰۵۸۲۹	۰/۵۶۳۸۳۷	۰/۶۹۳۴۲	۰/۳۷۹۹۳۵
S15	۱/۵۹۰۸۱۷	۰/۹۰۳۷۶۴	۱۰/۵۱۷۱۴	۰/۶۴۹۳۴۲
S16	۰/۰۱۸۸۸۵	۰/۵۹۱۴۳۶	۰/۲۳۰۱۱۳	۰/۲۵۸۴۵
S17	۰/۵۴۲۶۸۷	۰/۶۰۹۱۳۲	۰/۹۹۰۰۱۲	۰/۳۴۷۰۳۵
S18	۰/۸۳۸۱۴۹	۱/۰۷۶۷۹۸	-	-
S19	۰/۵۳۷۱۱۹	۰/۸۳۲۶۹۱	-	-
S20	۰/۶۰۴۴۶۶	۰/۷۳۸۳۰۵	۰/۹۴۷۳۵۶	۰/۳۸۸۱۰۹

۸ (طبقه هفتم بلوک آموزشی ۲ - جنوبی)، ۱۳ (دانشکده مهندسی مواد همکف جنوبی) و ۱۵ (مسجد امام علی (ع) - شمالی) در محدوده به شدت زیاد و منشاء فقط انسانی می‌باشد همچنین از لحاظ عنصر سرب در بیشتر ایستگاه‌ها در محدوده متوسط تا قابل توجه می‌باشد که می‌تواند بیانگر منشاء انسانی این عنصر باشد. مقادیر شاخص زمین‌انباشت (Igeo) فلز کادمیوم نشان داد که در ایستگاه‌های ۱۳ (دانشکده مهندسی مواد همکف جنوبی) و ۱۵ (مسجد امام علی (ع) - شمالی) در محدوده آلودگی شدید و هیچ ایستگاهی از لحاظ عنصر سرب در این محدوده قرار نگرفت. نتایج نشان داد که فلز سرب در ایستگاه ۵ وضعیت غیر آلوده را در طبقه ۱ نشان داد و بقیه ایستگاه‌ها آلودگی متوسط تا زیاد را نشان دادند. ارزیابی ریسک سلامت انسانی در نمونه‌های گرد و غبار ریزشی در دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات در معرض فلزات از سه مسیر اصلی، گوارش (بلع)، تماس پوستی و تنفس مورد بررسی قرار گرفت. همچنین مقادیر شاخص خطر فلزات مورد مطالعه نیز در ایستگاه‌های مختلف براساس مسیرهای جذب سه‌گانه گوارشی، تنفس و پوستی مورد ارزیابی قرار گرفت. براساس یافته‌ها، همه فلزات و ایستگاه‌های نمونه‌برداری شده مقادیر HI کوچکتر از ۱ را در همه مسیرهای جذب فلزات نشان داد که بیانگر عدم ریسک غیر سرطان‌زایی می‌باشد. مقادیر شاخص ریسک سرطان‌زایی فلزات مورد مطالعه در ایستگاه‌های مختلف از مسیر جذب گوارشی مورد بررسی قرار گرفت. براساس نتایج، فلز سرب در همه ایستگاه‌ها ریسک سرطان‌زایی خیلی کم را نشان داد. همچنین مقادیر شاخص ریسک سرطان‌زایی فلزات مورد مطالعه در ایستگاه‌های مختلف از مسیر جذب تنفس نشان داد که فلز سرطان‌زای کادمیوم دارای ریسک سرطان‌زایی خیلی کم می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱. مقادیر شاخص خطر غیر سرطان‌زایی (HI) در ایستگاه‌های مختلف برای بزرگسالان از مسیرهای جذب سه‌گانه گوآرشی، تنفس و پوستی

بحث و نتیجه‌گیری

آلودگی هوا به یکی از مهمترین چالش‌های کلان‌شهرهای دنیا تبدیل شده است. توسعه جوامع شهرنشینی، فعالیت‌های صنعتی، کارخانه‌ها و سوخت‌های فسیلی از یک سو و تغییرات آب و هوایی نظیر خشکسالی‌ها، پدیده‌های گرد و غبار و ریزگردها از سوی دیگر موجب تشدید آلودگی هوا شده است. ذرات گرد و غبار به اندازه‌های کوچک هستند که می‌توانند به راحتی در هوا پراکنده شوند و با خود ذرات کوچکتر نظیر یون‌های فلزی را حمل کنند. این ذرات به قدری ریز هستند که می‌توانند به داخل فضاها، مسکونی، کارخانه‌ها، اداره‌ها، بیمارستان‌ها، مدارس و ... نفوذ و روی انواع سطوح تجمع و رسوب کنند. بنابراین در این مطالعه ریسک سلامت انسانی فلزات سرب و کادمیوم در واحدهای اداری دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که غلظت فلز سرب در ایستگاه‌های ۱۸ و ۵ به ترتیب بالاترین و کمترین مقادیر را در غلظت‌های ۳۵۸/۰۳ و $۶/۱۶ \pm ۴۰/۵$ میلی‌گرم بر کیلوگرم داشت. به‌طور کلی فلز سرب و کادمیوم به ترتیب بیشترین و کمترین غلظت را به‌میزان $۷۱/۹۴ \pm ۹۲/۱۷۰$ و $۴۰/۵ \pm ۶/۱۶$ میلی‌گرم بر کیلوگرم نشان داد. فلزات سنگین به شکل‌های مختلف از جمله یون‌های فعال روی سطح ذرات و رسوبات رسوب کرده و با نشست روی سطوح مختلف موجب تماس مستقیم انسان با آن‌ها می‌گردد. در همین راستا Naderizadeh و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی فلزات سنگین موجود در گرد و غبار شهری و صنعتی استان بوشهر پرداختند. آن‌ها گزارش کردند که منشاء فلزات سنگین از جمله سرب عمدتاً به فعالیت‌های صنعتی و شهری برمی‌گردد و فلز سرب بالاترین میزان غنی‌شدگی را در بین سایر فلزات داشته است. طی مطالعه‌ای که توسط Huang و همکاران (۲۰۲۲) انجام شد نتایج نشان داد که فلز سرب جزء یکی از مهمترین فلزات موجود در گرد و غبار جاده‌ای در چین بود. در محدوده شهرهای بسیار شلوغ و آلوده نظیر تهران، سرب یکی از مهمترین و فراوان‌ترین فلزات سنگین است که در مطالعه حاضر نیز غلظت بالایی را در ایستگاه ۱۸ نشان داد. فلز سرب دارای منشاء متفاوتی است که از مهمترین آن‌ها می‌توان به سوخت‌های فسیلی و وسایل نقلیه موتوری اشاره نمود. در مطالعه حاضر غلظت فلز سرب نسبت به سایر فلزات در ایستگاه‌های مختلف مقادیر بالاتری را نشان داد. به‌منظور یافتن منشاء احتمالی فلز سرب در رسوبات داخل فضاهای نمونه‌برداری شده از فاکتور غنی‌شدگی استفاده گردید. فاکتور غنی‌شدگی با استفاده از غلظت مبنای فلز زمینه در خاک منطقه، اقدام به مقایسه و منشاء‌یابی فلزات در رسوبات می‌کند. براساس نتایج فاکتور غنی‌شدگی دو فلز (سرب و کادمیوم) در سطح غنی‌شدگی کم و با منشاء طبیعی بودند. فلز کادمیوم در ایستگاه‌های ۸، ۱۳ و ۱۵ و فلز سرب در ایستگاه ۸ مقادیر متوسط تا قابل توجه را نشان دادند که بیانگر منشاء انسانی این فلزات است. کادمیوم در ایستگاه‌های ۱۳ و ۱۵ آلودگی متوسط و در ایستگاه‌های ۱، ۵، ۶ و ۷ و ۱۱ در طبقه ۱ و غیر آلوده قرار گرفت. در مطالعه AI- Shidi و همکاران (۲۰۲۲) منشاء بسیاری از فلزات مورد مطالعه را فعالیت‌های انسانی عنوان کردند. براساس یافته‌ها فلز سرب در ایستگاه ۵ وضعیت غیر آلوده را در طبقه ۱ نشان داد و بقیه ایستگاه‌ها آلودگی کم تا متوسط در طبقه ۲ نشان داد. به‌طور کلی از نظر آلودگی، فلزات مورد

مطالعه آلودگی متوسط رو به کم و خیلی کم نشان دادند. این تغییرات می‌تواند به علت موقعیت جغرافیایی ساختمان‌ها در محدوده مورد مطالعه باشد که در ارتفاع بالایی از سایر نقاط شهر قرار دارد. در این خصوص مطالعات Saleh و همکاران (۲۰۲۱) نشان داد که در شهر تهران وضعیت آلودگی با فلزات در شرایط آلودگی بالا قرار دارد که بسته به منطقه و فصل سال تا آلودگی شدید نیز پیش می‌رود. از نظر ساختاری و موقعیت قرارگیری دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات در ارتفاع بالایی از موقعیت شهر قرار گرفته است. همچنین این دانشگاه در معرض وزش بادهای غالب غرب به شرق تهران می‌باشد که از سمت کرج به سمت شرق تهران در جریان است. بادهای غالب، نقش مهمی در انتقال ذرات گرد و غبار و پراکنده‌سازی آلاینده‌ها و فلزات سمی دارند (Dehghani et al., 2017). نتایج مطالعه حاضر نشان داد که بیشتر ایستگاه‌ها در طبقه غیر آلوده قرار داشتند و تنها برخی ایستگاه‌ها آلودگی کم تا متوسط نشان دادند. فضاهای داخلی ساختمان‌ها نسبت به فضاهای بیرونی بیشتر در معرض ذرات آلاینده و رسوبات جوی قرار دارند. یکی از دلایل این تغییرات می‌تواند به علت تفاوت در موقعیت نقاط در ساختمان‌های اداری و نوع ساختار درب‌ها، پنجره‌ها، نزدیکی به درب ورودی و منافذ ورودی باشد که مسیر اصلی ورود ذرات معلق آلوده به فلزات سنگین را ایجاد می‌کند که با یافته‌های Tashakor و همکاران (۲۰۲۲) که عنوان کردند میزان آلودگی و ذرات غبار در ساختمان‌هایی با پنجره باز نسبت به فضاهای بسته ۲/۴ برابر بیشتر است، همخوانی دارد. یکی از اثرات آلاینده‌ها تأثیر آن‌ها بر محیط زیست و اکولوژی می‌باشد. اثرات اکولوژیک آلاینده‌ها بر اکوسیستم طبیعی گیاهان و جانوران بسیار مهم می‌باشد. براساس یافته‌ها مشخص شد که ایستگاه‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۴ و ۱۶ ریسک اکولوژیک پایین، ایستگاه‌های ۸ و ۱۸ با ریسک بالا، ایستگاه‌های ۱۲، ۱۷، ۱۹ و ۲۰ با ریسک اکولوژیک متوسط و ایستگاه‌های ۱۳ و ۱۵ با ریسک خیلی بالا ارزیابی شدند. در این زمینه اثرات غلظت آلاینده نظیر فلزات سنگین بر میزان ریسک اکولوژیک بسیار مهم می‌باشد. در یک مطالعه Sheikh و همکاران (۲۰۱۶) اقدام به مطالعه آلودگی فلزات سنگین و ارزیابی ریسک اکولوژیک در غبارات خیابانی شهر کرج کردند. نتایج نشان داد که آلودگی و ریسک اکولوژیک فلزات سنگین در نقاط پر تردد و شلوغ با ترافیک بالا بیش از سایر نقاط نمونه‌برداری بوده است. این احتمال وجود دارد که در برخی ایستگاه‌ها فلزات سنگین تجمع بیشتری روی سطوح داشته‌اند. همچنین Salmanzadeh و همکاران (۲۰۱۲) اقدام به ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در غبارهای ته‌نشین شده خیابانی شهر تهران و ریسک اکولوژیک مرتبط با آن‌ها کردند. نتایج آن‌ها در برخی از ایستگاه‌ها در نزدیکی مراکز پر تردد و شلوغ با آلودگی زیاد ریسک اکولوژیک بالاتری را در مقایسه با سایر نقاط نمونه‌برداری سطح شهر نشان داد که این نتایج از نظر تغییرات ریسک اکولوژیک با یافته‌های تحقیق حاضر مشابه بود. علاوه بر این Al-Shidi و همکاران (۲۰۲۲) بالاترین میزان ریسک اکولوژیک را برای جیوه ارزیابی کردند در حالی که فلز سرب کم ارزیابی شد.

فلزات سنگین موجود در گرد و غبار شهری در دو محیط داخل و بیرون همواره مورد مطالعه بوده است. فضاهای داخلی ساختمان‌ها به علت تماس مستقیم انسان با سطوح مختلف بیش از سایر نقاط آلوده هستند. به‌عنوان مثال کودکان در فضای داخلی خانه به‌شدت تحت تأثیر ذرات گرد و غبار و آلاینده‌ها هستند. فاکتور جذب مزمن روزانه یکی از شاخص‌های مهم در ارزیابی ریسک سلامت و جذب آلاینده‌ها از طریق مسیرهای بلع، تنفس و پوست می‌باشد. یافته‌های تحقیق حاضر نشان داد که فلز سرب بیشترین میزان جذب مزمن روزانه را از طریق جذب دستگاه گوارشی نشان داد. Khan و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند سرب میزان جذب روزانه بالاتری را نشان داد. آن‌ها عنوان کردند جذب روزانه فلزات عامل اصلی ارزیابی ریسک غیر سرطان‌زایی می‌باشد. جذب فلزات سنگین از مسیر گوارش، یکی از مسیرهای مهم نفوذ این ترکیبات سمی می‌باشند. جذب از طریق مسیر تنفس نیز از دیگر مسیرهای مهم ورود ذرات گرد و غبار و آلاینده‌ها به بدن انسان می‌باشد. سرب از میزان نفوذپذیری بالایی در سطح سلول‌های بدن موجودات زنده برخوردار است. تحقیقات نشان داده است که ترکیبات ثانویه این فلزات به‌سرعت از غشای سلولی عبور کرده و باعث تخریب سلول‌ها و بافت‌های اندام‌های حساس نظیر ریه، کبد، کلیه و دستگاه گوارش می‌گردد (Behrooz et al., 2022). در مطالعه حاضر فلز سرب بیشترین میزان جذب را از مسیر تنفسی نشان داد. همچنین در ایستگاه‌های مورد مطالعه، بیشترین مقادیر جذب مزمن روزانه فلز سرب از طریق جذب پوستی صورت گرفت بر اساس نتایج مشخص شد میزان ریسک غیر سرطان‌زایی فلز سرب بیش از مقادیر محاسبه شده برای کادمیوم بود. نتایج نشان داد کادمیوم در برخی ایستگاه‌ها مقادیر بالایی از ریسک غیر سرطان‌زایی نشان داد. در این بین، کادمیوم بالاترین میزان ریسک غیر سرطان‌زایی را در ایستگاه‌های مختلف نشان داد. نتایج در همه ایستگاه‌ها و برای هر دو فلز ریسک غیر سرطان‌زایی قابل قبول نشان دادند بدین‌معنی که در ایستگاه‌ها مقادیر کمتر از ۱ مشاهده شد. در این مطالعه ریسک غیر سرطان‌زایی قابل توجهی از مسیرهای جذب مختلف مشاهده نشد. در خصوص فلزات سنگین شاخص ریسک یکی از فاکتورهای مهم ارزیابی اثرات جمعی غیر سرطان‌زایی فلزات مورد مطالعه می‌باشد. در این خصوص، نتایج مطالعه حاضر همه فلزات و ایستگاه‌های نمونه‌برداری شده، مقادیر HI کوچکتر از ۱ را در همه مسیرهای جذب فلزات نشان داد که بیانگر عدم ریسک غیر سرطان‌زایی می‌باشد.

جدول ۶. میانگین فلزات سنگین در گرد و غبار ریزشی (مناطق مورد مطالعه ایران و جهان)

شهر	فلزات سنگین (میلی‌گرم بر کیلوگرم)		مأخذ
	سرب	کادمیوم	
تهران (این مطالعه)	۱۷۰/۹۲	۵/۴۰	
بیرمنگهام (انگلستان)	۴۸/۰	-	Worth <i>et al.</i> (2003)
شهرستان اردکان (ایران)	-	۴/۰۳	Barjoe <i>et al.</i> (2019)
گوانزو (چین)	۲۴۰/۰۰	۲/۴۱	Duzgoren-Aydin <i>et al.</i> (2006)
کرج (ایران)	۶۸/۱	-	Sajedi Sh <i>et al.</i> (2021)
کلکته (هند)	۵۳۶/۰۰	۳/۱۳	Chatterjee and Banerjee (1999)
میانگین غلظت فلزات سنگین در پوسته زمین	۱۴/۰۰	۰/۲	Karbassi, <i>et al.</i> (2005) and Niencheski <i>et al.</i> (2002)

بر اساس نتایج مشخص شد که فلز سرب در همه ایستگاه‌ها ریسک سرطان‌زایی خیلی کم را نشان داد. Shojae Brjooe و همکاران (۲۰۱۸) سطح آلودگی، ریسک‌های سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی فلزات سنگین غبار ریزشی در نواحی صنعتی در شهرستان اردکان را مورد بررسی قرار دادند. نتایج یافته‌های آنها نشان داد کادمیوم بالاترین غلظت را در بین سایر فلزات در رسوبات مورد مطالعه داشته است. همچنین بالاترین ریسک اکولوژیک و سرطان‌زایی را داشته است.

با توجه به اینکه مطالعه گرد و غبار ریزشی ساختمان‌ها جزء مطالعات جدید است و پیش‌تر روی گرد و غبار ریزشی اتمسفری تحقیق و مطالعه انجام شده است، بنابراین جهت مقایسه عناصر با مطالعات دیگر در نقاط مختلف جهان (جدول ۶) از مطالعات مربوط به گرد و غبار ریزشی استفاده گردید و جهت مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین در پوسته زمین مبنا قرار داده شد. در این مقایسه مشاهده شد که در شهرهای صنعتی بزرگ میزان غلظت سرب به مراتب بالاتر از سایر نقاط می‌باشد.

فضاهای داخلی ساختمان‌ها در کلان‌شهرهای آلوده، محل اصلی تجمع و انباشت رسوبات جوی آلوده‌ای می‌باشند که حاوی فلزات سنگین می‌باشند. طیف وسیعی از افراد اعم از کودکان، جوانان، بزرگسالان و گروه‌های حساس نظیر زنان باردار و افراد مسن همواره در معرض اثرات نامناسب و سمی آلاینده‌ها می‌باشند. کلان‌شهر تهران با جمعیت میلیونی، ساختار شهری متراکم و صنایع آلاینده بسیار، همواره یکی از آلوده‌ترین شهرهای دنیا می‌باشد. احتمالاً گرد و غبار موجود در هوای شهر به‌عنوان عامل ناقل فلزات سنگین نظیر کادمیوم، سرب عمل نموده و موجب توزیع آن در فضاهای بیرونی و داخلی ساختمان‌ها می‌گردد. فلز سرطان‌زای سرب نیز در برخی نقاط خطر سرطان‌زایی نشان داد. همچنین از نظر ریسک اکولوژیک فلزات مورد مطالعه خطرات بالقوه‌ای را نسبت به محیط نشان دادند. از نظر سلامت انسانی محیط‌های دانشگاهی با تعداد زیادی از کارمندان و دانشجویان که به شکل دائم در حال رفت و آمد و سکونت هستند، می‌توانند به شکل دائم در معرض رسوبات آلوده به فلزات سنگین قرار گیرند. بنابراین از نظر آلودگی فلزات سنگین، منطقه مورد مطالعه احتمالاً دارای آلودگی بوده که می‌تواند از نظر سلامت انسانی و شاخص‌های سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی تهدیدکننده محیط زیست منطقه و سلامت گروه‌های هدف باشند.

پیشنهادها

- با توجه به بالا بودن میزان فلزات سنگین در برخی ایستگاه‌ها، لزوم استفاده از سیستم‌های عایق در ورودی‌ها برای حفظ سلامت دانشجویان و کارمندان بیش از پیش مورد نیاز است.
- اجرای طرح زوج و فرد ترافیک برای کاهش آلودگی ناشی از سوخت‌های فسیلی وسایل نقلیه موتوری
- اجرای طرح درختکاری و کمربند سبز در مکان‌ها و مسیرهای دارای منشاء گرد و خاک و غبار شهری

References

- Ahmadi Doabi, S., Afyuni, M., Khademi, H., Karami, M., 2016. Statistical Analysis of Heavy Metal Contamination in Atmospheric Dusts of Kermanshah Province, Iran. *Journal of Water and Soil Science* 2016; 20(76), 29-43. (In Persian)
- Al-Shidi, H.K., Al-Reasi, H.A., Sulaiman, H., 2022. Heavy metals levels in road dust from Muscat, Oman: relationship with traffic volumes, and ecological and health risk assessments. *International Journal of Environmental Research* 32, 264-276.

- Al-Shidi, H.K., Sulaiman, H., Al-Reasi, A., Jamil, F., Aslam, M., 2021. Human and ecological risk assessment of heavy metals in different particle sizes of road dust in Muscat, Oman. *Environmental Science and Pollution Research* 28(26), 33980-33993.
- Asvad, R., EsmailiSari, A., 2018. Comparison and health risk assessment of selected elements in dust inside and outside houses in the areas affected by fine dust in the east and southwest of Iran (Ahvaz, South Pars region and Zabul) Ph.D thesis, Department of Environmental, Tarbiat Modares University. 104-106 (In Persian)
- Barzeghar, V., Sarbakhsh, P., Hassanvand, M. S., Faridi, S., & Gholampour, A., (2020). Long-term trend of ambient air PM10, PM2.5, and O3 and their health effects in Tabriz city, Iran, during 2006–2017. *Sustainable Cities and Society* 54, 101988. (In Persian)
- Bauer, S.E., Im, U., Mezuman, K., Gao, C.Y., 2019. Desert Dust, Industrialization, and Agricultural Fires: Health Impacts of Outdoor Air Pollution in Africa. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 124(7), 4104-4120.
- Charlesworth, S., Everett, M., McCarthy, R., Ordonez, A., De Miguel, E., 2003. A comparative study of heavy metal concentration and distribution in deposited street dusts in a large and a small urban area: Birmingham and Coventry, West Midlands, UK. *Environment International* 29(5), 563-573.
- Chatterjee, A., Banerjee, R., 1999. Determination of lead and other metals in a residential area of greater Calcutta. *Science of the Total Environment* 227, 175-185.
- Ching, A., Morrison, L., Kelley, M. 2020. Living with natural hazards: Tropical storms, lava flows and the resilience of island residents. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 47, 101546.
- Dahmardeh Behrooz, R., Kaskaoutis, D.G., Grivas, G., Mihalopoulos, N., 2021. Human health risk assessment for toxic elements in the extreme ambient dust conditions observed in Sistan, Iran. *Chemosphere* 262, 127835. (In Persian)
- Dahmardeh Behrooz, R., Tashakor, M., Asvad, R., Esmaili-Sari, A., Kaskaoutis, D.G., 2022. Characteristics and health risk assessment of mercury exposure via indoor and outdoor household dust in three Iranian cities. *Atmosphere* 13(4), 583.
- Dehghani, S., Moore, F., Keshavarzi, B., Hale, B.A., 2017. Health risk implications of potentially toxic metals in street dust and surface soil of Tehran, Iran. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 136, 92-103.
- Duzgoren-Aydin, N., Wong, C., Aydin, A., Song, Z., You, M., Li, X., 2006. Heavy metal contamination and distribution in the urban environment of Guangzhou, SE China. *Environmental geochemistry and health*, 28, 375-391.
- Esmailisari, A., 2002 Pollution health and environmental standards. pp: 100-105. (In Persian)
- Hou, S., Zheng, N., Tang, L., Ji, X., Li, Y., Hua, X., 2019. Pollution characteristics, sources, and health risk assessment of human exposure to Cu, Zn, Cd and Pb pollution in urban street dust across China between 2009 and 2018. *Environment International*, 128, 430-437.
- Huang, F., Liu, B., Yu, Y., Lv, L., Luo, X., Yin, F., 2022. Heavy metals in road dust across China: Occurrence, sources and health risk assessment. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 109(2), 323-331.
- Karbassi, A.R., G.R., Nabi-Bidhendi, I., 2005. Environmental geochemistry of heavy metals in a sediment core off Bushehr, Persian Gulf. Iran. *Journal of Environmental Health Science and Engineering* 2(4), 225-260. (In Persian)
- Khan, S.A., Muhammad, S., Nazir, S., Shah, F.A., 2020. Heavy metals bounded to particulate matter in the residential and industrial sites of Islamabad, Pakistan: Implications for non-cancer and cancer risks: Evaluation of heavy metals bounded to particulate matter for non-cancer and cancer risks. *Environmental Technology & Innovation* 19, 100822.
- Mahmoodi, Z., 2011. Investigating geochemical and mineralogical characteristics of Isfahan atmospheric dust. Master thesis. Faculty of Agriculture and Natural Resources. Isfahan University of Technology 165 p. (In Persian)
- Mazloomi, S., Esmailisari, A., Bahramifar, N., Moenoldini, M., 2017. Evaluation of the presence of metals and quasi-metals in the street dust of East Tehran. *Health and Environment Journal, Scientific Research Quarterly of Iranian Environmental Health Scientific Association* 10(2), 281-292. (In Persian)

- Moayedi, S.N., Fani, A., Mohajerani, H., Mahbod, A., 2008. Association of blood lead level of residents of Arak city with clinical syndromes" Research Journal of Faculty of Medicine 32(1), 75-79. (In Persian)
- Molaei, Z., Esmaeeli Sari, A., 2020. "Evaluation of the ecological risk of lead and cadmium pollutants in school yard dust in selected areas of Tehran", Environmental Science and Technology Quarterly. pp. 150-165. (In Persian)
- Moradi, Gh., Mirzaee, R., 2015. Investigating spatial changes of heavy metals in street dust of Kashan city. Journal of Health and Environment, Scientific Research Quarterly of the Iranian Environmental Health Scientific Association 9(4), 456-443. (In Persian)
- Mortazavi, T., Esmaeili, S., Riyahi Bakhtiari, A., 2005. Determining the ratio of nickel and vanadium caused by oil pollution in the edible oyster *Pinctada radiata* and the pearl-making oyster *Saccostrea cucullata* in the coasts of Hormozgan province. Natural Resources of Iran 58(1), 159-171. (In Persian)
- Naderizadeh, Z., Ayoobi, Sh., Khademi, H., 2015. Evaluation of the concentration and level of heavy metal pollution in the atmospheric dust of urban and industrial areas of Bushehr province. Journal of Natural Environment 69(2), 548-531. (In Persian)
- Naderizadeh, Z., Khademi, H., Ayoobi, Sh., 2016. Determining the concentration and level of heavy metal pollution in fine dust in a part of Bushehr province. Journal of Water and Soil Protection Research 23(3). (In Persian)
- Pega, F., Chartres, N., Guha, N., Modenese, A., Morgan, R.L., Martínez-Silveira, M.S., Loomis, D., 2020. The effect of occupational exposure to welding fumes on trachea, bronchus and lung cancer: A protocol for a systematic review and meta-analysis from the WHO/ILO Joint Estimates of the Work-related Burden of Disease and Injury. Environment International 145, 106089. Sajedi, Sh., Mansouri, N., Taghavi, L., Haji Seyed Mirza, A., 2016. Investigation of lead pollution in suspended particles inside and outside residential, office and commercial buildings in Karaj metropolis. Environmental Science and Technology Quarterly 9(112), 175-190. (In Persian)
- Saleh I., Abedi, S., Abedi, S., Bastani, M., Berman, E., 2021 Developing a model to predict air pollution (case study: Tehran City). Journal of Environmental Health Science and Engineering 19, 71-80
- Salmanzadeh, M., Saeedi, M., Nabi Bidhani, Gh., 2012. Heavy metal contamination in street dust of Tehran city and their ecological risk assessment. Environmental Magazine 38(61), 9-18. (In Persian)
- Sheikh, N., Rezaee, M., Shakeri, A., 2016. Heavy metal contamination and ecological risk assessment in Karaj street dust. 20th anniversary of the conference of Geological Society of Iran. pp: 16 to 18. 45-60. (In Persian)
- Shojaee Barjoe, S., Azimzadeh, H., Mosleh Arani, A., 2020. Determination of pollution level, carcinogenic and non-carcinogenic risks of heavy metals of falling dust in industrial areas (Case study: Ardakan county industries). Iranian Journal of Health and Environment 12(4), 571-592. (In Persian)
- Skrętownicz, M., Galas-Szpak, A., (2018). Analysis of the impact of motor vehicles on the air quality on the example of Legionow Square in Wrocław. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 421(4).
- Tan, S.Y., Praveena, S.M., Abidin, E.Z., Cheema, M.S., 2016. A review of heavy metals in indoor dust and its human health-risk implications. Reviews on Environmental Health 31(4), 447-456.
- Tashakor, M., Behrooz, R.D., Asvad, S.R., Kaskaoutis, D.G., 2022 Tracing of Heavy Metals Embedded in Indoor Dust Particles from the Industrial City of Asaluyeh, South of Iran. (In Persian)
- Zhou, L., Liu, G., Shen, M., Hu, R., & Liu, Y. 2020. Source identification of heavy metals and stable carbon isotope in indoor dust from different functional areas in Hefei, China. Science of the Total Environment 710, 135599.

