

Original Research Paper

Assessment of potentially toxic elements pollution intensity in indoor dust of Tehran Greater City

Neda Khajooee¹, Soroush Modabberi^{2*}, Behnoush Khoshmanesh Zadeh¹, and Fatemeh Razavian¹¹ Department of Environmental Science and Engineering, West Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran² School of Geology, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran**ARTICLE INFO***Article history:*

Received: 2022 December 29

Accepted: 2023 March 04

Available online: 2024 March 20

Keywords:

Geochemical indices

Indoor dust

Potentially toxic elements

Health risk

Cumulative indices

Urban geochemistry

ABSTRACT

Population growth and increasing urbanization expose city dwellers to higher degrees of urban pollutants, especially when they spend long time in enclosed environments with inadequate ventilation. This study is the first research on inorganic pollutants in indoor dust particles of Tehran city, which applies geochemical indices to estimate the intensity of dust pollution by potentially harmful elements. A number of 31 indoor dust samples were passively collected from inside the residential and office buildings in the central and densely populated districts of the city and were analyzed by ICP-MS at the Universitat Rovira i Virgili, Tarragona, Spain. Single geochemical indices of the Contamination Factor, Geoaccumulation Index, Enrichment Factor, and cumulative indices of Pollution Load and Potential Ecological Risk Indices were calculated. The results of elemental analysis showed that the concentration of arsenic, cadmium, copper, mercury, lead and zinc in Tehran indoor dust is higher than that in some cities in the world. On the other hand, cobalt, chromium, nickel and vanadium present low concentrations in the analyzed indoor dust samples. This result was confirmed by the cumulative indices as well as the contamination factor. In contrast, some other factors showed a low to medium degree of pollution for the above-mentioned elements. Based on the obtained concentration of elements in the dust samples, it can be argued that the geochemical indices indicating low to moderate pollution are not applicable and trustable in the current study.

1. Introduction



Rapid population growth along with the development of urbanization, and industrialization have resulted in various types of environmental issues, among which inorganic pollution is of great concern. Nowadays, more than ever before, city

dwellers are exposed to potentially harmful trace elements from numerous anthropogenic sources such as fossil fuel combustion, transportation-related emissions, municipal and industrial activities, domestic and industrial wastewater effluents, etc. Trace

* Corresponding author: Soroush Modabberi; E-mail: modabberi@ut.ac.ir

Citation:Khajooee, N., Modabberi, S., Khoshmanesh Zadeh, B., and Razavian, F., 2024. Assessment of potentially toxic elements pollution intensity in indoor dust of Tehran Greater City. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 34(1), 131, 99-112. <https://doi.org/10.22071/gsj.2023.378308.2045>.

E-ISSN: 2645-4963; Copyright©2021 G.S. Journal & the authors. All rights reserved.

 doi: 10.22071/gsj.2023.378308.2045 dor: 20.1001.1.10237429.1403.34.1.7.1This is an open access article under the by-nc/4.0/ License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

elements are not biodegradable and can be accumulated in harmful amounts in terrestrial materials and decline the quality of the environment. Urban trace elements in addition to those naturally originated from parent materials, can reach to human body through direct and indirect ingestion, inhalation and dermal contact and cause deleterious health impacts. This function is more serious through the contaminant-bearing particulates in the atmosphere. Suspended dust particles are present in different sizes from 1 to 10,000 microns that can travel long distances, and get entered into buildings in different ways. Dust particles are deposited on floor surfaces, carpets, furniture and edges in the interior space. Trace elements concentration and level of contamination in indoor urban dust have been the subject of numerous studies from throughout the world. However, in Iran, most of the previous urban geochemistry studies focused on soil and street dust (outdoor dust) while the characteristics and contributions of household dust in many cities is still unclear. Considering that Tehran, the capital and largest city of Iran, with over 8.3 million residences (11,800 residents per square kilometer) deals with severe dust pollution, it is pivotal to investigate the geochemical status of airborne interior deposited dust in this city. The current study aims to use various pollution geochemical indices to measure the level of indoor dust contamination by trace elements in Tehran's central areas.

2. Research and Methodology

In this study, 31 urban dust samples were taken from interior buildings located in the most densely populated central districts of Tehran in an area of 100 Km² (Fig. 1). Samples were passively collected in plastic Petri dishes for three months. They were then sieved to pass a 2 mm nylon sieve. Samples were sent to the Laboratory of Toxicology and Environmental Health, Universitat Rovira i Virgili to analyze nineteen selected elements of Al, As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sr, V, Zn by ICP-MS. Single geochemical indices of the Contamination Factor, Geoaccumulation Index, Enrichment Factor, and cumulative indices of the Pollution Load Index and Potential Ecological Risk Index were calculated and used to classify the degree of contamination.

3. Results and Discussions

Results of this study showed that As, Co, Cu, Pb, V and Zn in the indoor dust of Tehran are higher than in several other cities from around the world. While concentrations of Cd, Cr, Hg and Ni are comparable or lower. Median concentrations of Cu, Pb and Zn are significantly higher than those in (UCC). The average values of As, Cd, Cu, Hg, Pb in the dust samples were recognized to be respectively 8, 12, 8, 23, 9 and 12 times higher than the contents reported for the upper continental crust (UCC).

The calculation of the contamination factor (CF) revealed some

significant levels of pollution in the indoor dust samples of Tehran. Median CF values were found to be 8.15, 15.36, 8.25, 94.30, 10.54 and 15.92 for As, Cd, Cu, Hg, Pb and Zn, respectively. These are all above the coefficient of 6 and classified as heavily contaminated. Table 3. Classification of the coefficient for contamination factor and percentage of samples in each category are shown in Table 3. As can be seen in the boxplots Fig. 2, the analyzed dust samples fall in the category of very low contaminated by Co, Cr, Ni and V. These elements also revealed negative values for geoaccumulation index (Igeo) (Table 4). However, similar to the contamination factor, As, Cd, Cu, Hg, Pb and Zn show various levels of accumulation in dust samples (Fig. 3). As can be seen in Table 5, 94, 50, 78 and 70% of samples showed moderate to high levels of pollution ($2 < I_{geo} < 3$) by As, Cd, Cu and Pb with, respectively. The results of the Enrichment factor (EF) calculation are shown in Table 6. EF is classified into 5 groups based on the level of enrichment of elements which indicates the level of contamination. Most of the dust samples (97%) are considerably enriched by As and Hg (Table 7, Fig. 4). All of the analyzed dust samples showed $2 > EF$ for Co, Cr, and V.

The results of the pollution load index (PLI) indicated values between 2.07 and 6.66 for indoor dust samples of Tehran city (Table 8). All of the samples are loaded by potentially toxic elements (Fig. 5). Moreover, potential ecological risk index (PERI) ranges between 1488 and 85945. It means that all of the Tehran indoor dust samples are classified in the fifth category (> 720) indicating the highest degree of ecological risk (Fig. 6).

Comparison between different geochemical indices (Table 9) revealed a consistency between the cumulative indices (PLI and PERI) results so that all of the indoor dust samples are remarkably polluted by potentially toxic trace elements and have high potential to cause ecological risk. In addition, it was found that the highest level of pollution in Tehran dust is related to As, Cd, Cu, Hg, Pb and Zn which are all urban elements. However, Igeo and EF conflict with the rest of the indices because of showing up to moderate degree of pollution specially for As and Cd.

Hence, it seems that cumulative indices as well as pollution index are more reliable because they confirm the results of concentration comparison with UCC and other cities in the world.

4. Conclusion

Urban dusts are important pollutants because they have elevated contents of organic and inorganic substances, originate from geogenic and anthropogenic resources, and can be harmful to the environment and human health. When deposited or suspended dust particles enter the enclosed environments become even more deleterious.

Investigation of trace elements in the indoor dust of Tehran was conducted for the first time and revealed high concentrations of As,

Cd, Cu, Hg, Pb and Zn. The results also showed that the studied dust carries only few amounts of Co, Cr, Ni and V. The elements of the first group have shown higher values compared to the studies conducted on the street dust of Tehran and other cities in the world. These are urban elements and are mainly controlled by vehicles, industry, and other municipal activities. Cumulative indices of PLI and PERI as well as the single index of PI, show significant pollution by the above-mentioned elements. This indicates the major role of urban factors in the accumulation of As, Cd, Cu, Hg,

Pb and Zn in the dust samples.

This study also showed that Igeo and EF, due to the inconsistent estimation of the level of contamination in the dust samples, are not adequate indices here and seem to be challenging.

One of the reasons for this ineffectiveness is that Igeo was first invented for sediments and then used for other studies, and the enrichment factor index normalizes the values with the earth's crust and thus can lead to incorrect results when human activity is involved.

ارزیابی شدت آلودگی عناصر بالقوه سمی در غبار درون ساختمانی کلان شهر تهران

ندا خواجهبوی، سروش مدبری^{۱*}، بهنوش خوش منش زاده، فاطمه رضویان^۱

^۱ گروه علوم و مهندسی محیط زیست، واحد تهران غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

^۲ دانشکده زمین شناسی، دانشکدگان علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران

چکیده

رشد جمعیت و افزایش شهرنشینی، انسان را در معرض آلاینده‌های شهری بیشتری قرار می‌دهد، به‌ویژه در شرایطی که مجبور به گذراندن مدتی طولانی در فضاهای بسته و با تهویه اندک هستند. این مطالعه، نخستین پژوهش در باره آلاینده‌های غیرآلی درون ساختمانی شهر تهران است که با استفاده از شاخص‌های زمین‌شیمیایی، شدت آلودگی عناصر بالقوه سمی را در غبارهای درون ساختمانی تخمین می‌زند. از نواحی شلوغ و مرکزی شهر تهران، ۳۱ نمونه غبار به روش نافع‌ال از درون ساختمان‌های مسکونی و اداری برداشت و پس از آماده‌سازی، تجزیه شیمیایی با استفاده از طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت‌شده القایی در آزمایشگاه دانشگاه رویرا شهر تاراگونا اسپانیا انجام شد. شاخص‌های زمین‌شیمیایی منفرد شامل ضریب آلودگی، شاخص زمین‌انباشت و ضریب غنی‌شدگی، و شاخص‌های تجمعی شاخص بار آلودگی و شاخص پتانسیل ریسک بوم‌شناختی (اکولوژیک) برای تعیین شدت آلودگی در نمونه‌های غبار محاسبه شدند. نتایج آنالیز عنصری نشان داد که عناصر آرسنیک، کادمیم، مس، جیوه، سرب و روی در غبار درون ساختمانی شهر تهران غلظت‌های بالاتری نسبت به برخی شهرهای جهان نشان می‌دهند. در مقابل، عناصر کبالت، کروم، نیکل و وانادیم، مقادیر اندکی را نشان می‌دهند. این یافته توسط شاخص‌های تجمعی و شاخص منفرد ضریب آلودگی تایید شد، در حالی که شاخص‌های دیگر سطح پایین تا متوسط آلودگی را نشان می‌دهند. بر اساس نتایج غلظت عناصر در نمونه‌ها می‌توان به این نتیجه رسید که شاخص‌های با سطح متوسط تا پایین آلودگی در تحلیل حاضر قابل اطمینان نبوده و توصیه نمی‌شوند.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۱۳

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۱/۰۱

کلیدواژه‌ها:

شاخص‌های زمین‌شیمیایی

غبار درون ساختمانی

عناصر بالقوه سمی

ریسک سلامتی

شاخص‌های تجمعی

زمین‌شیمی شهری

۱- پیش‌نوشتار

رشد سریع جمعیت در سال‌های اخیر، گسترش شهرنشینی، ماشین‌شدن و صنعتی شدن جوامع، به قرارگیری انسان‌ها در معرض آلاینده‌های مختلف به‌ویژه در محیط‌های شهری انجامیده است (Rehman et al., 2020). جمعیت شهری در معرض انواع آلاینده‌های حاصل از منابع طبیعی و انسان‌زاد قرار دارد که سلامتی آن‌ها را تهدید می‌کند و این موضوع زمانی شدت خود را نشان می‌دهد که دریا بیم حدود ۷۴ درصد جمعیت کشور ایران، بر اساس سرشماری نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵ در شهرها زندگی می‌کنند.

منابع مهم آلودگی شهری شامل سوخت‌های فسیلی، فعالیت خودروها، صنایع و کارخانه‌ها، آلاینده‌های خانگی و منابع طبیعی یا زمین‌زاد هستند و از میان آلاینده‌های پتانسیل سمی (Potentially Toxic Elements, PTEs) عناصر بالقوه سمی

نقش قابل توجهی در تهدید سلامت شهرنشینان دارند (Alloway, 2013; Albanese and Cichella, 2012; Cichella et al., 2020). این آلاینده‌ها به‌طور عمده توسط فعالیت‌های گسترده انسانی وارد محیط شده و با قرارگیری بر روی ذرات معلق (Particulate Matter) انتقال یافته و در نهایت بر روی سطوح مختلف ته‌نشین یا وارد دستگاه تنفس انسان و جانوران می‌شود (Tashakor et al., 2022; Cichella et al., 2020; Wong et al., 2006; Tashakor and Modabberi, 2021; Alotaibi et al., 2022; Alekseenko and Alekseenko, 2014; Ariapak et al., 2022).

این ذرات معلق در اندازه‌های مختلف حضور دارند. غبارها، ذرات معلق با اندازه ۱ تا ۱۰۰۰۰ میکرون هستند که می‌توانند مسافت‌های طولانی را از منطقه منشا تا محل ته‌نشین طی کنند (Rehman et al., 2020). ذرات معلق و به‌ویژه گرد و غبار، ابزاری

* نویسنده مسئول: سروش مدبری؛ E-mail: modabberi@ut.ac.ir

ماخذنگاری:

خواجهبوی، ن.، مدبری، س.، خوش منش زاده، ب.، رضویان، ف.، ۱۴۰۳، ارزیابی شدت آلودگی عناصر بالقوه سمی در غبار درون ساختمانی کلان شهر تهران. فصلنامه علمی علوم زمین، ۳۴(۱)، ۱۳۱-۹۹. <https://doi.org/10.22071/gsj.2023.378308.2045>

doi: 10.22071/gsj.2023.378308.2045

doi: 20.1001.1.10237429.1403.34.1.7.1

حقوق معنوی مقاله برای فصلنامه علوم زمین و نویسندگان مقاله محفوظ است.



This is an open access article under the by-nc/4.0/ License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

ارسلانی و همکاران (۱۳۹۹) با مطالعه عناصر سنگین موجود در غبار ریزشی شهر تهران و تحلیل فضایی و محاسبه شاخص‌های آلودگی آن، به بررسی شدت اثرات انسانی پرداختند و دریافتند که عنصر کادمیم بالاترین اثر و نیکل کمترین اثر را داشته و سرب و کادمیم منشا انسانی و مس و کروم و نیکل منشا طبیعی دارد. یعقوبی و همکاران (۱۴۰۱) خاک سطحی پارک‌های برگزیده شهر تهران را از نظر غلظت عناصر بررسی کرده و با محاسبه ریسک بوم‌شناختی (اکولوژیک)، دریافتند که سرب و کادمیم ریسک بالایی داشته و عامل اصلی این آلودگی، تردد خودروها است.

در یک مطالعه جامع بر روی غبار شهری، آریاپاک و همکاران (Ariapak et al., 2022) غلظت عناصر جزئی را در ۴۴ ایستگاه، به طور ماهانه در طول یک سال اندازه‌گیری کردند و با محاسبه ضریب غنی‌شدگی، ضریب آلودگی، و شاخص بار آلودگی، مشخص کردند که آلودگی در تمام ماه‌ها وجود دارد اما در ماه‌های سرد بیشتر است و سرب و کادمیم و آرسنیک، نقش مهمی در آلودگی شهر تهران دارند. این مطالعه تلاش دارد برای نخستین بار در کشور، سطح آلودگی عناصر بالقوه سمی را در غبارهای درون‌ساختمانی شهر تهران بررسی و از راه محاسبه شاخص‌های زمین‌شیمیایی مختلف میزان خطر آن‌ها را تحلیل کند.

۲- روش پژوهش

در این مطالعه، ۳۱ نمونه غبار شهری از طریق قراردادن ظروف مخصوص در فضاهای درون‌ساختمانی نقاط مختلف بخش مرکزی شهر تهران به مدت ۳ ماه برداشته شد (شکل ۱). در انتخاب نقاط نمونه‌برداری، تلاش شد مناطق پرترافیک شهر تهران انتخاب شوند و منطقه انتخاب شده توسط دهقانی (۱۳۹۶)، به عنوان یک مطالعه علمی و دقیق و استاندارد، به عنوان منطقه مطالعاتی در نظر گرفته شد تا بتوان داده‌های این دو مطالعه را که یکی بر روی غبار برون‌ساختمانی و دیگری غبار درون‌ساختمانی انجام شده، با یکدیگر مقایسه کرد. نقاط قرار دادن ظروف نمونه، در فضای درون ساختمان، بر روی لبه‌های موجود روی تاقچه‌ها و فضای مانند آن، روی یخچال و کمد و مناطقی با چرخش محدود جریان هوا منظور شد. نمونه‌ها که به طور عموم در اندازه کوچک‌تر از ۲ میلی‌متر بودند، در ویال‌های دو گرمی ریخته و به آزمایشگاه دانشگاه روبرو شهر تاراگونا اسپانیا فرستاده شده و در آنجا با استفاده از دستگاه ICP-MS برای ۱۹ عنصر آنالیز شدند. کنترل کیفی با استفاده از نمونه استاندارد و در آزمایشگاه انجام و میزان خطای آزمایش کمتر از ۵ درصد تعیین شد. در طی این آنالیز عناصر As, Cd, Cr, Hg, Pb, Ni, V, Co, Be, Se, Mo, Sb, Al, Mn, Fe, Cu, Mg, Zn, Sr اندازه‌گیری شدند.

۲-۱- شاخص‌های زمین‌شیمیایی

افزون بر غلظت مطلق عناصر در نمونه‌های غبار، استفاده از شاخص‌های آلودگی روشی پرکاربرد در بررسی سطوح آلودگی است. غلظت مطلق دارای ایرادهای خاصی است که استفاده از آن به تنهایی کاربرد و نتیجه علمی به همراه ندارد. زیست‌دسترپذیری و نیز عدم امکان مقایسه از طریق بهنجارسازی (نرمال‌سازی) غلظت‌ها، از دلایل این موضوع است که شاخص‌های آلودگی با کمک غلظت عناصر در یک ماده مرجع، بهنجارسازی را انجام داده و نسبت‌های حاصل از محاسبه به صورت اعداد قابل مقایسه می‌توانند سطح آلودگی در یک نمونه را نشان دهند.

در تمام این شاخص‌ها، از یک مرجع برای بهنجارسازی غلظت‌ها استفاده می‌شود که این مرجع، زمینه زمین‌شیمیایی منطقه (مقدار میانگین غلظت عناصر در تعدادی نمونه برداشت شده از مناطق غیرآلوده از منطقه)، غلظت خاک جهانی یا مقادیر یک معیار ملی است. با توجه به نبود داده در مورد زمینه زمین‌شیمیایی منطقه (که تهیه آن بسیار دشوار و پرهزینه است) یا مقادیر ملی (که در بسیاری کشورها چنین معیاری وجود ندارد)، بیشتر پژوهشگران غلظت پسته زمین را به عنوان غلظت ماده

برای حمل مواد آلاینده در محیط‌های شهری هستند (Gustafsson et al., 2018; Zhou et al., 2022).

این غبارهای حاصل از منشاهای مختلف، از طریق خاک کفش، پنجره‌ها و درز و ترک‌های موجود در ساختمان، وارد ساختمان شده و روی سطوح مختلف مانند فرش، کف، مبلمان و لبه‌های موجود در فضای درونی نهشته می‌شوند (Odediran et al., 2021; Doyi et al., 2019; Shi and wang, 2021; Ariapak et al., 2022; Alotaibi et al., 2022; Gad et al., 2022). این ذرات پس از ورود به ساختمان، به‌عنوان غبار درون‌ساختمانی (Indoor dust) در نظر گرفته می‌شوند و در محیط بسته درون ساختمان هم، آلاینده‌های موجود در آنجا را وارد خود کرده و بار آلودگی آن‌ها افزایش می‌یابد.

وجود عناصر سنگین در غبار درون‌ساختمانی یک نگرانی مهم برای سلامتی ساکنان و مردمی است که ۸۰ تا ۹۰ درصد زندگی خود را در فضاهای بسته درونی، مانند خانه‌ها، اداره‌ها و مدرسه‌ها می‌گذرانند (Meza-Figueroa et al., 2007; Abdulraheem et al., 2022; Adeniran et al., 2019; Zhou et al., 2021; Gad, et al., 2022). چرا که این غبارها، همواره غلظت بالاتری از آلاینده‌ها در مقایسه با غبارهای فضاهای آزاد از خود نشان می‌دهند (Mohammadyan et al., 2017; Koehler et al., 2019; Hodas et al., 2016; Zhou et al., 2022; Gad et al., 2022; Alotaibi et al., 2022; Buljović et al., 2022; Cao et al., 2020, 2022).

روش مورد استفاده برای ارزیابی میزان آلودگی عناصر بالقوه سمی در نمونه‌های خاک و غبار، عمدتاً از شاخص‌های زمین‌شیمیایی آلودگی استفاده می‌کنند. در محاسبه این شاخص‌ها، غلظت عناصر در نمونه‌های برداشت شده نسبت به یک مرجع (که معمولاً یک استاندارد ملی یا زمینه زمین‌شیمیایی یا غلظت عناصر در پسته زمین است) سنجیده می‌شود و از این راه، معیاری برای تحلیل ریسک آن عنصر در محیط به دست می‌آید.

درست است که بسیاری از این شاخص‌ها مانند ضریب زمین‌انباشت، در آغاز برای رسوب یا خاک ابداع شدند، اما مشخص شده که استفاده از آن‌ها برای ذرات معلق و غبار، نیز کارایی لازم را دارند و پژوهشگران زیادی از آن‌ها برای تحلیل سطح آلودگی غبارها استفاده کرده‌اند (Li et al., 2017; Hou et al., 2019; Rehman et al., 2020).

بیشتر مطالعات انجام شده در زمینه آلودگی شهری در سطح جهان و تقریباً همه مطالعات انجام شده در ایران، بر روی ذرات گرد و غبار برداشت شده از فضای آزاد و خیابان‌ها و پارک‌ها انجام شده و در مورد ذرات و غبار درون‌ساختمانی مطالعات اندکی انجام شده است.

در شهر تهران مطالعات زیادی بر روی آلودگی رسوب، غبار و خاک شهری انجام شده که در اینجا به تعدادی از آن‌ها اشاره می‌شود.

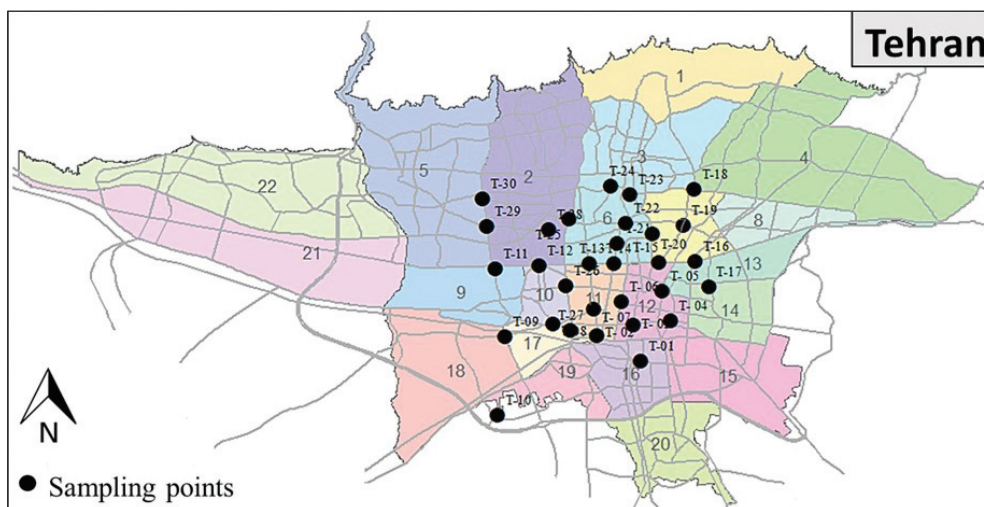
مقدسی و همکاران (۱۳۹۴) ویژگی‌های زمین‌شیمیایی گرد و غبار را در ۹ میدان اصلی شهر تهران بر روی ۱۰ عنصر مطالعه و شاخص مولر را برای آن‌ها محاسبه کردند. ایشان نشان دادند که آلودگی گرد و غبار در این مناطق تهدیدآمیز است.

دهقانی (۱۳۹۶) در رساله دکتری و در مقالات خود (Dehghani et al., 2017) غلظت عناصر در نمونه‌های غبار خیابانی و خاک سطحی در منطقه مرکزی شهر تهران را برای عناصر بالقوه سمی اندازه‌گیری کرده و دریافت که غلظت عناصر آنتیموان، سرب، مس و روی بسیار بالا و عناصر کروم، منگنز، مولیبدن، و نیکل غلظت متوسطی را نشان می‌دهد.

علی طالبی و همکاران (۱۳۹۸) با مطالعه غبار ۹ نقطه از شهر تهران، غلظت عناصر کادمیم، کروم، سرب، روی، آهن و آلومینیم را اندازه گرفته و با محاسبه شاخص زمین‌انباشت، ضریب غنی‌شدگی، درجه آلودگی و درجه آلودگی اصلاح شده، مشخص کردند که غبار خیابانی شهر تهران، درجه بالایی از آلودگی دارد و می‌تواند اثرات منفی قابل توجهی بر سلامت شهروندان داشته باشد.

(Wedepohl, 1995) و تیلور و مک‌لنن (Taylor and McLennan, 1985, 2001) است.

مرجع در نظر می‌گیرند. این غلظت نیز توسط محققان مختلف تهیه و ارائه شده که معروف‌ترین و پراستفاده‌ترین آن‌ها، غلظت‌های معرفی شده توسط ودپول



شکل ۱- پراکندگی نقاط نمونه برداری غبار شهری در تهران.

Figure 1. Distribution of urban dust sampling points in Tehran.

همان عنصر و عنصر مرجع در زمینه زمین‌شیمیایی یا یک ماده مرجع مانند پوسته زمین یا میانگین خاک‌های جهانی است که در اینجا از مرجع کاباتا پند یاس (Kabata-Pendias, 2011) استفاده می‌شود. میانگین خاک جهانی برای عناصر As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, V and Zn به ترتیب ۷۰، ۱۲۹، ۰/۴۴، ۲۷، ۲۹، ۰/۰۷، ۳۸/۹، ۵۹/۵، ۱۱/۳، ۰/۴۱، ۰/۶۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده که در محاسبات استفاده شد. این روش غلظت عناصر در نمونه غبار را نسبت به یک مرجع بهنجار (نرمالیزه) می‌کند و تفاوت آن با دیگر روش‌ها در چگونگی بهنجارسازی است. در رابطه بالا، ابتدا غلظت عنصر در غبار بهنجار شده و بر نسبت بهنجار شده غلظت عنصر در پوسته تقسیم می‌شود. این روش بهنجارسازی دقیق دومرحله‌ای روشی دقیق بوده و مقادیر EF نزدیک به ۱ نشانگر مقادیر پوسته‌ای و منشأگیری عناصر از منابع زمین‌زاد است، در حالی که مقادیر بالاتر از ۱۰ منشأ غیرپوسته‌ای و انسان‌زاد را نشان می‌دهد.

۲-۲ ضریب آلودگی (Contamination Factor: CF)

با استفاده از این شاخص می‌توان سطح آلودگی را با رابطه ساده زیر تعیین کرد.

$$CF = C_s / C_r$$

که در آن C_s غلظت عنصر خاص در یک نمونه و C_r غلظت همان عنصر در زمینه است. این شاخص توسط هاکسون (Hakanson, 1980) مطرح شد و غلظت زمینه در این رابطه، غلظت عناصر در پوسته قاره‌ای بالایی زمین (Taylor and McLennan, 2001) در نظر گرفته می‌شود.

در برخی مراجع، این شاخص به نام شاخص آلودگی (Pollution Index) معرفی شده است.

۲-۳ شاخص زمین‌انباشت (Geoaccumulation Index: Igeo)

شاخص زمین‌انباشت توسط مولر (Muller, 1969) و بر اساس رابطه زیر برای ارزیابی آلودگی فلزی ارائه شده است:

$$I_{geo} = \log_2 (C_i / 1.5 B_i)$$

که در آن C_i غلظت عنصر i در غبار بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم، 1.5 ضریب تصحیح زمینه طبیعی، B_i غلظت عنصر i در میانگین پوسته زمین است (Abraham and Parker, 2008).

۲-۴ ضریب غنی‌شدگی (Enrichment Factor: EF)

این شاخص مقیاسی برای اثر احتمالی فعالیت انسان بر تمرکز عناصر در خاک و غبار است. برای تشخیص اثر انسانی، مقدار عناصر نسبت به یک عنصر با تغییرپذیری کم به عنوان مرجع سنجیده می‌شود که معمولاً از عناصر آهن، آلومینیم، کلسیم، تیتانیم، اسکاندیم یا منگنز استفاده شده و بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌شود (Sutherland, 2000):

$$EF = (C_s / C_r)_{Sample} / (C_s / C_r)_{ref}$$

که در آن C_s غلظت عنصر در نمونه، C_r غلظت عنصر مرجع در نمونه و C_{ref} مخرج کسر

۲-۵ شاخص بار آلودگی (Pollution load Index: PLI)

این شاخص توسط تاملینسون و همکاران (Tomlinson et al., 1980) ابداع شد و با فرمول زیر محاسبه می‌شود.

$$PLI = \sqrt[n]{CF_1 * CF_2 * \dots * CF_n}$$

که در آن CF ضریب آلودگی و n تعداد عناصر در نمونه است. شاخص بار آلودگی کمتر از ۱ نشانگر غبار ناآلوده و مقادیر بالاتر از ۱ غبار آلوده را نشان می‌دهد. در دسته‌بندی دقیق‌تر، $PLI < 1$ بدون آلودگی، $1 < PLI < 2$ آلودگی کم تا متوسط، $2 < PLI < 3$ آلودگی زیاد، $PLI > 3$ بسیار زیاد را نشان می‌دهد.

۲-۶ شاخص پتانسیل ریسک بوم‌شناختی (اکولوژیک) (Potential Ecological Risk Index: PERI)

این شاخص، یک شاخص قابل استفاده برای ارزیابی درجه ریسک بوم‌شناختی حاصل از غلظت عناصر فلزی در محیط‌های هوا، آب و خاک است که توسط هاکسون (Hakanson, 1980) معرفی شده و با رابطه زیر محاسبه می‌شود:

کبالت، کروم، مس، نیکل، سرب، وانادیم و روی) در برخی نمونه‌ها غلظت بالایی نشان می‌دهند. در این مطالعه از میان ۱۹ عنصر آنالیز شده، آنتیموان تنها در ۷ نمونه بالاتر از حد تشخیص بوده و از این رو، در محاسبات آماری و تحلیل قابل استفاده نیست.

مقایسه عناصر غبار درون‌ساختمانی شهر تهران با برخی شهرهای جهان که مقالاتی در مورد آن‌ها منتشر شده (Khajooee et al., 2024) نشان می‌دهد که میانگین غلظت عناصر آرسنیک، کبالت، مس، سرب، وانادیم و روی بالاتر از برخی شهرهای جهان و در عوض کادمیم، کروم، جیوه، و نیکل قابل مقایسه و در حد آن‌هاست (جدول ۱). عناصر اصلی با غلظت بالا مانند آهن، آلومینیم، کلسیم، منیزیم، پتاسیم، سدیم، سیلیسیم و مانند آن‌ها به دلیل ارتباط با عوامل زمین‌زاد، از محاسبات شاخص‌ها و آلودگی کنار گذاشته می‌شوند.

$$PERI = \sum_{i=1}^n E_r^i$$

که در آن n تعداد عناصر و E_r^i شاخص ریسک بوم‌شناختی محاسبه شده با فرمول زیر است:

$$E_r^i = T_r^i \times PI$$

که در آن T_r^i ضریب سمیت یک عنصر بر اساس جدول ارائه شده در مرجع فوق و PI شاخص آلودگی عنصر است.

۳- داده‌ها و اطلاعات

۳-۱- نتایج آنالیز عنصری

نتایج آنالیز ۳۱ نمونه برداشت شده از غبارهای درون‌ساختمانی شهر تهران نشان می‌دهد که عناصری که به عنوان عناصر شهری به شمار می‌روند (آرسنیک، کادمیم،

جدول ۱- خلاصه آماری غلظت عناصر در ۳۱ نمونه غبار درون‌ساختمانی شهر تهران. مقادیر بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم و داده‌های ستون آخر جدول، غلظت عناصر در پوسته بالایی زمین بر اساس تیلور و مک‌لنن (Taylor and McLennan, 2001) و برای جیوه از رادنیک و ژائو (Rudnick and Gao, 2003).

Table 1. Statistical summary of the concentration of elements in 31 indoor dust samples of Tehran city (mg kg⁻¹). The last column shows concentrations of elements in the upper continental crust according to Taylor and McLennan (2001) and mercury after Rudnick and Gao (2003).

mg/kg	Max	min	mean	median	Std. Dev.	Skewness	Kurtosis	UCC*
Al	23568	16637	19501	19214	1864	0.43	-0.77	80400
As	39.04	7.45	12.23	11.27	5.18	4.89	25.98	1.5
Cd	5.65	0.55	1.51	1.16	1.08	2.62	7.26	0.098
Co	21.26	7.00	12.35	12.08	2.71	0.87	3.08	17
Cr	121.01	35.93	71.85	69.01	21.58	0.53	0.12	85
Cu	555	71	206	199	84	2.41	9.67	25
Fe	52197	19334	26675	25869	6310	2.46	8.32	35000
Hg	4.62	1.04	1.32	1.16	0.64	4.93	25.77	0.05
Mn	733	546	647	639	43.73	0.10	-0.14	600
Ni	91.30	28.02	50.88	46.85	13.55	1.43	2.27	50
Pb	308	61	169	153	55	0.83	0.62	16
V	65.70	47.05	56.52	56.07	5.08	0.04	-0.85	110
Zn	6887	309	1130	839	1147	4.49	22.60	71

شده توسط کاباتاپندیس (Kabta-Pendias, 2011) استفاده شد.

۳-۲-۱- ضریب آلودگی CF یا شاخص آلودگی PI

محاسبه این شاخص نشان می‌دهد که کدام عنصر خطر بیشتری برای محیط زیست و سلامت انسان دارد و بعداً برای محاسبه شاخص‌های دیگر نیز از آن استفاده خواهد شد.

شاخص آلودگی یا ضریب آلودگی در نمونه‌های غبار شهر تهران برای برخی عناصر نشان‌دهنده آلودگی شدید است. جدول ۲ خلاصه اطلاعات آماری در خصوص مقادیر CF برای ۳۱ نمونه برداشت شده را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در این جدول دیده می‌شود، کبالت، کروم، نیکل و وانادیم مقادیر بسیار کمی در حد ۱ یا کمتر نشان می‌دهند و بر اساس دسته‌بندی هاکنسون (Hakanson, 1980) آلودگی کم را نشان می‌دهند. میانگین شاخص آلودگی برای آرسنیک، کادمیم، مس، جیوه، سرب و روی به ترتیب ۸/۱۵، ۱۵/۳۶، ۸/۲۵، ۹۴/۳۰، ۹۴/۵۴، ۱۰۴/۵۴ و ۱۵/۹۲ محاسبه شده

۳-۲-۲- نتایج شاخص‌های آلودگی

در محاسبات شاخص‌ها، از مراجع مختلفی برای غلظت عناصر مرجع استفاده می‌شود (از جمله: Taylor and McLennan, 1985, 2001; Turekian and Wedepohl, 1961; Rudnick and Gao, 2003; Wedepohl, 1995). به‌رغم وجود مراجع جدیدتر، در بیشتر مقالات فارسی و حتی خارجی، از مراجع قدیمی استفاده می‌شود که کاری نادرست است و از این رو، در این مقاله از داده‌های پوسته بالایی زمین معرفی شده توسط تیلور و مک‌لنن (Taylor and McLennan, 2001) به عنوان مرجع در روابط محاسبه شاخص‌های آلودگی استفاده خواهد شد که به باور این پژوهشگران، معتبرتر و جدیدتر از دیگر مراجع است. این داده‌ها بسیار نزدیک به داده‌های رادنیک و ژائو (Rudnick and Gao, 2003) و مک‌لنن (McLennan, 1994) هستند و از این رو، مورد استفاده قرار خواهند گرفت. این مرجع برای عنصر جیوه، مقداری معرفی نکرده که در اینجا از مقدار معرفی شده توسط رادنیک و ژائو (Rudnick and Gao, 2003) استفاده خواهد شد. در ضمن، برای محاسبه ضریب غنی‌شدگی از مقدار منگنز بیان

(Hakanson, 1980) را نشان می‌دهد. نمودار جعبه‌ای (باکس پلات) ضریب آلودگی در شکل ۲ آورده شده است.

که همگی بالاتر از ۶ و در دسته آلودگی بسیار زیاد جای می‌گیرند. جدول ۳ درصد نمونه‌های قرار گرفته در هر کدام از دسته‌های چهارگانه معرفی شده توسط هاکنسون

جدول ۲- خلاصه آماری محاسبه ضریب آلودگی برای ۳۱ نمونه غبار درون ساختمانی شهر تهران.

Table 2. Statistical summary of calculated pollution coefficient for 31 indoor dust samples of Tehran city.

	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	V	Zn
max	26.03	57.66	1.25	1.42	22.21	92.38	1.83	19.25	0.60	97.00
min	4.97	5.66	0.41	0.42	2.86	20.78	0.56	3.84	0.43	4.36
mean	8.15	15.36	0.73	0.85	8.25	26.41	1.02	10.54	0.51	15.92
med	7.52	11.88	0.71	0.81	7.97	23.37	0.94	9.58	0.51	11.81
Std. Dev.	3.45	11.01	0.16	0.25	3.34	12.89	0.27	3.45	0.05	16.15
Skewness	4.89	2.62	0.87	0.53	2.41	4.93	1.43	0.83	0.04	4.49
Kurtosis	25.98	7.26	3.08	0.12	9.67	25.77	2.27	0.62	-0.85	22.60

جدول ۳- نتایج دسته‌بندی مقادیر ضرایب آلودگی و درصد قرارگیری نمونه‌ها در هر دسته برای شاخص آلودگی.

Table 3. Classification of coefficient for contamination factor and percentage of samples in each category.

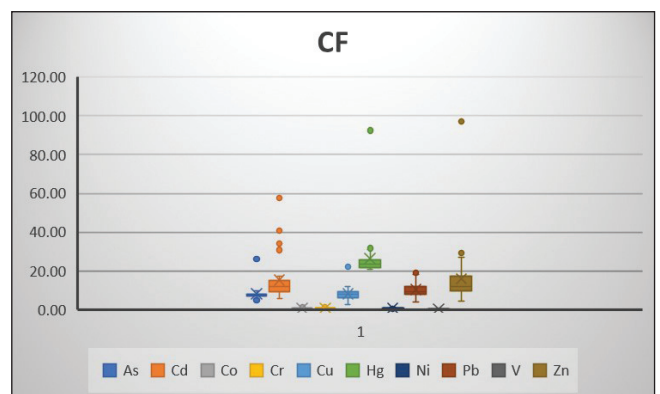
CF	توصیف	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	V	Zn
<1	low contamination			97	84			71		100	
1-3	moderate contamination			3	16			29			
3-6	considerable contamination	3	3			6			3		3
>6	very high contamination	97	97			94	100		97		97

۳-۲-۲- شاخص زمین‌انباشت

شاخص زمین‌انباشت یا شاخص مولر، از شاخص‌های بسیار پرکاربرد در مطالعات آلودگی است که نمونه‌ها را براساس مقدار این شاخص به ۷ دسته تقسیم می‌کنند. نمونه‌های غبار درون ساختمانی شهر تهران، شاخص زمین‌انباشت، مقادیر منفی برای کبالت، کروم، نیکل و وانادیم را نشان می‌دهند که در دسته‌بندی مولر به‌عنوان ناآلوده دسته‌بندی می‌شود (تنها ۳ نمونه از نیکل در حد غیرآلوده تا اندکی آلوده قرار دارد). از سوی دیگر، عناصر آرسنیک، کادمیم، مس، جیوه، سرب و روی درجات مختلفی از آلودگی را نشان می‌دهند که خلاصه آماری داده‌ها در جدول ۴ و درصد نمونه‌ها در دسته‌بندی انباشت در جدول ۵ نشان داده شده‌اند. همچنین شکل ۳ نمودار جعبه‌ای و ویسکر این داده‌ها را نشان می‌دهد.

۳-۲-۳- ضریب غنی‌شدگی

این شاخص دارای ۵ طبقه آلودگی است و نمونه‌ها را بر اساس مقدار EF از کمبود تا غنی‌شدگی بسیار زیاد دسته‌بندی می‌کند. در مجموع اگر EF از ۰/۵ تا ۱/۵ باشد، گفته می‌شود که مقدار عنصر در رابطه با عوامل طبیعی است، در حالی که EF بالاتر از ۱/۵ به منابع انسان‌زاد نسبت داده می‌شود (Kowalska et al., 2018; Kafilat Adebola et al., 2018; Janadeleh et al., 2018).



شکل ۲- نمودار جعبه‌ای (باکس پلات) ضریب آلودگی نمونه‌های غبار. با توجه به مقادیر بسیار متفاوت، به منظور نمایش بهتر عناصر، جیوه که تغییرات گسترده‌تری دارد، در نمودار جداگانه نشان داده شده است.

Figure 2. Boxplot diagram of contamination factor. Due to the very different values, in order to better represent the elements, mercury, which has a wider variation, is shown in a separate diagram.

در جدول‌های ۶ و ۷ و نمودار جعبه‌ای آن در شکل ۴ برای هر عنصر آورده شده است.

از میان عناصر اندازه‌گیری شده در نمونه‌ها، آرسنیک، کادمیم، مس، جیوه، سرب و روی در همه یا بیشتر نمونه‌ها مقادیر بالایی را نشان می‌دهند که دسته‌بندی نمونه‌ها

جدول ۴- خلاصه آماری شاخص زمین‌انباشت برای نمونه‌های غبار شهر تهران.

Table 4. Statistical summary of geoaccumulation index for indoor dust samples of Tehran.

	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	V	Zn
max	4.12	5.26	-0.26	-0.08	3.89	5.94	0.28	3.68	-1.33	6.01
min	1.73	1.92	-1.87	-1.83	0.93	3.79	-1.42	1.36	-1.81	1.54
mean	2.38	3.14	-1.08	-0.89	2.37	4.06	-0.60	2.74	-1.55	3.11
med	2.33	2.99	-1.08	-0.89	2.41	3.96	-0.68	2.68	-1.56	2.98
Std. Dev	0.37	0.73	0.32	0.45	0.52	0.40	0.35	0.47	0.13	0.81
Skewness	3.30	1.32	-0.27	-0.32	0.06	3.83	0.60	-0.30	-0.12	1.43
Kurtosis	15.97	1.99	1.73	0.15	2.67	17.49	1.27	1.37	-0.75	4.63

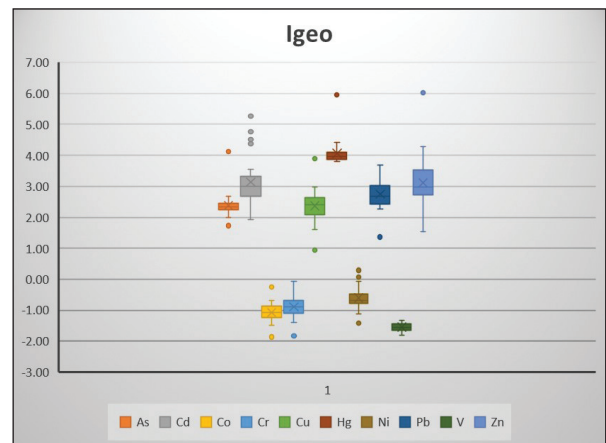
جدول ۵- درصد نمونه‌های قرارگرفته در دسته‌های مختلف شاخص زمین‌انباشت برای نمونه‌های غبار شهر تهران.

Table 5. Classification of coefficient for geoaccumulation index and percentage of samples in each category.

I_{geo}	توصیف	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	V	Zn
<0	unpolluted			100	100			92		100	
0-1	unpolluted to moderately polluted					3		8			
1-2	moderately polluted	3	3			16			3		6
2-3	moderately to highly polluted	94	50			78			70		48
3-4	highly polluted		32			3	67		27		33
4-5	highly to extremely high polluted	3	12				30				10
5-6	extremely high polluted		3				3				3

شکل ۳- نمودار جعبه‌ای داده‌های شاخص زمین‌انباشت برای نمونه‌های غبار شهر تهران.

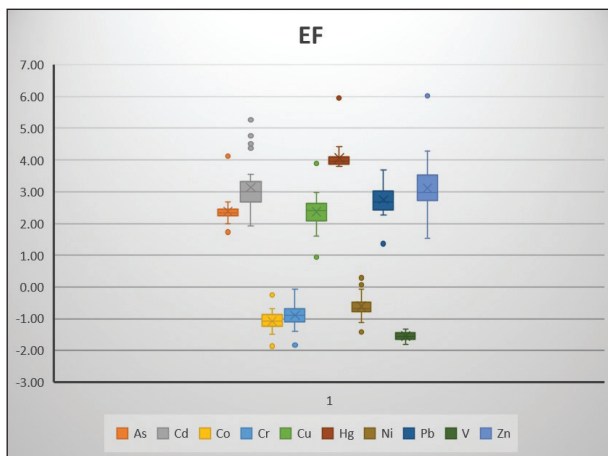
Figure 3. Boxplot diagram of the geoaccumulation index for indoor dust samples of Tehran.



جدول ۶- خلاصه آماری داده‌های ضریب غنی‌شدگی برای نمونه‌های غبار درون‌ساختمانی شهر تهران.

Table 6. Statistical summary of enrichment factor for indoor dust samples of Tehran.

	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	V	Zn
max	40.46	10.73	1.51	1.43	10.03	46.99	2.23	7.92	0.39	65.51
min	8.62	1.05	0.45	0.44	1.42	10.73	0.75	1.77	0.28	3.43
mean	13.76	2.76	0.83	0.91	3.98	14.21	1.32	4.71	0.33	11.91
med	12.88	2.16	0.81	0.90	3.91	12.92	1.24	4.36	0.33	9.45
Std. Dev.	5.32	1.94	0.20	0.24	1.49	6.46	0.33	1.42	0.03	10.83
Skewness	4.42	2.85	1.27	0.01	2.17	4.78	1.37	0.40	0.20	4.31
Kurtosis	22.54	9.31	3.65	0.24	8.45	24.68	2.36	-0.21	-0.81	21.19



شکل ۴- نمودار جعبه‌ای ضریب غنی‌شدگی برای نمونه‌های غبار درون ساختمانی.

Figure 4. Boxplot diagram of the enrichment factor for indoor dust samples of Tehran.

جدول ۷- درصد فراوانی ضرایب غنی‌شدگی برای نمونه‌های غبار درون ساختمانی شهر تهران در دسته‌های مختلف این شاخص.

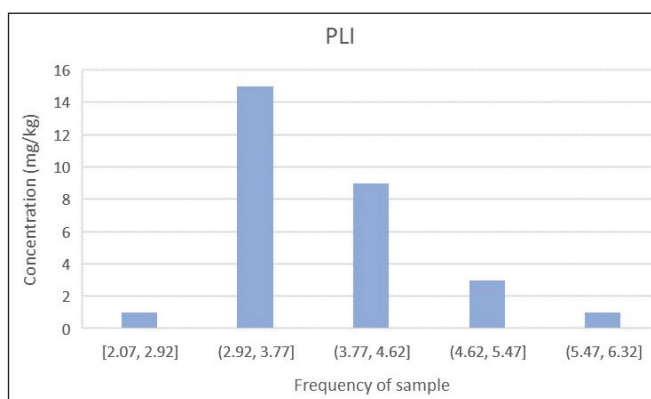
Table 7. Classification of coefficient for enrichment factor and percentage of samples in each category.

EF	توصیف	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	V	Zn
<2	deficiency to minimal enrichment		39	100	100	3		94	3	100	
2-5	moderate enrichment		48			86		6	57		10
5-20	significant enrichment	97	13			11	97		40		84
20-40	very high enrichment										3
>40	extremely high enrichment	3					3				3

بر اساس نمودار شکل ۵، تمامی نمونه‌های برداشت شده، کیفیت نامناسبی را نشان می‌دهند. به این معنا که شاخص بار آلودگی محاسبه شده در همه نمونه‌های غبار شهر تهران بالاتر از ۱ بوده که گویای بالا بودن غلظت عناصر بالقوه خطرناک است. در نتیجه کیفیت نامطلوبی را از لحاظ ذرات معلق در شهر ایجاد کرده است. همان‌گونه که در شکل ۵ دیده می‌شود، بیشتر نمونه‌های آنالیز شده بار آلودگی بین ۲/۹ تا ۳/۸ به معنی آلودگی زیاد را نشان می‌دهند.

۳-۲-۴- شاخص بار آلودگی PLI

محاسبه این شاخص مقادیر بین ۲/۰۷ تا ۶/۶۶ (جدول ۸) را برای نمونه‌های غبار درون ساختمانی شهر تهران نشان می‌دهد. این شاخص ساده، نمونه‌ها را در ۳ طبقه تقسیم‌بندی می‌کند و از آنجا که حاصل ضرب ضریب آلودگی نمونه‌های مختلف است، به نظر می‌رسد شاخص خوبی برای محاسبه سطح آلودگی باشد.



شکل ۵- شاخص بار آلودگی برای ۳۱ نمونه غبار درون ساختمانی شهر تهران.

Figure 5. Pollution load index for 31 indoor dust samples of Tehran.

۳-۲-۵- شاخص پتانسیل ریسک بوم‌شناختی

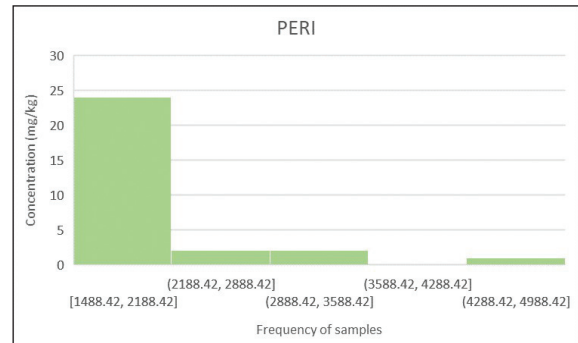
این شاخص، یکی از شاخص‌هایی است که در سال‌های اخیر بیشتر مورد استفاده پژوهشگران قرار گرفته و بر اساس ریسک بوم‌شناختی، نمونه‌ها را به ۵ دسته تقسیم

می‌کند. بر این اساس، برای تمامی نمونه‌های برداشت شده، شاخص پتانسیل ریسک، گستره‌ای بین ۱۴۸۸ و ۸۵۹۴۵ (جدول ۸) دارد و در دسته پنجم (< ۷۲۰) قرار می‌گیرند که معادل ریسک بسیار شدید است (شکل ۶).

جدول ۸- خلاصه آماری شاخص‌های بار آلودگی و پتانسیل ریسک بوم‌شناختی برای نمونه‌های غبار درون ساختمانی شهر تهران.

Table 8. Statistical summary of pollution load index and potential ecological risk index for indoor dust samples of Tehran.

	PLI	PERI
max	6.66	85944.68
min	2.07	1488.42
mean	3.97	4725.29
med	3.71	1849.76
Std. Dev.	0.89	15085.31
Skewness	1.05	5.55
Kurtosis	2.31	30.89



شکل ۶- نمودار مقادیر شاخص ریسک بوم‌شناختی (اکولوژیک) برای نمونه‌های غبار درون ساختمانی.

Figure 6. Potential ecological risk index for indoor dust samples of Tehran.

۴- بحث

نگاهی به جدول ۱ که در آن خلاصه آماری داده‌های غلظت عناصر ارائه شده، نشان می‌دهد که عناصر اصلی آلومینیم و آهن، هر چند غلظت‌های بالایی دارند اما در مقایسه با میانگین جهانی، تمرکز آن‌ها در نمونه‌ها پایین است. میان آلومینیم چیزی در حدود ۲ درصد و میان آهن در حدود ۲/۵ درصد است. این مقادیر برای آلومینیم حدود یک چهارم و برای آهن دو سوم مقادیر پسته زمین است (جدول ۱). به رغم این که گرد و غبار شهری به طور عمده از کانی‌های رسی و یا دیگر کانی‌های رایج تشکیل شده‌اند، اما این تفاوت نشانگر حضور ترکیب‌های دیگر از جمله مواد کربنی

حاصل از سوختن سوخت‌های فسیلی و یا مواد الیافی موجود در فضای خانگی است. افزون بر این، برخی عناصر مانند کبالت، کروم، منگنز، نیکل، و وانادیم، تغییر شاخصی نسبت به مقادیر پسته بالایی نشان نداده یا اندکی کاهش دارند.

میانگین مقادیر عناصر آرسنیک، کادمیم، مس، جیوه، سرب و روی، به ترتیب ۸، ۱۲، ۲۳، ۸، ۹ و ۱۲ برابر افزایش نشان می‌دهند.

اگر مقادیر میانگین حاصل از محاسبه شاخص‌های آلودگی را برای عناصر مختلف در یک جدول مقایسه‌ای قرار دهیم (جدول ۹)، نتایج شایان توجهی به دست می‌آید.

جدول ۹- مقایسه شاخص‌های آلودگی مختلف برای عناصر اندازه‌گیری شده در نمونه‌های غبار درون ساختمانی شهر تهران.

Table 9. Comparison between different geochemical indices in the indoor dust samples of Tehran.

	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	V	Zn
CF	very high contamination	very high contamination	low contamination	low contamination	very high contamination	very high contamination	low contamination	very high contamination	low contamination	very high contamination
I _{geo}	moderately to highly polluted	moderately to highly polluted/ highly polluted	unpolluted	unpolluted	moderately to highly polluted	highly polluted/ highly to extremely polluted	unpolluted	moderately to highly /polluted/ highly polluted	unpolluted	moderately to highly /polluted/ highly polluted
EF	significant enrichment	deficiency to minimal enrichment/ moderate enrichment	deficiency to minimal enrichment	deficiency to minimal enrichment	moderate enrichment	significant enrichment	deficiency to minimal enrichment	moderate enrichment/ significant enrichment	deficiency to minimal enrichment	significant enrichment
PLI	deterioration of soil quality									
PERI	very strong risk									

عناصر آرسنیک و کادمیم در حد کمترین آلودگی بوده در حالی که مطالعه حاضر، آن‌ها را در حد متوسط نشان داد، اما برای مس، سرب و روی برای هر دو مطالعه تقریباً مشابه بوده است. این مقایسه نشانگر بالاتر بودن ضرایب در نمونه غبار درونی نسبت به غبار خیابانی است.

در مطالعه دهقانی، مقادیر بار آلودگی بالاتر از ۱ و در این مطالعه بالاتر از ۲ محاسبه شده است که بار آلودگی بالا در این بخش از شهر و نیز بالاتر بودن مقادیر در غبار درون ساختمانی را نشان می‌دهد.

۵- نتیجه‌گیری

غبارهای شهری به دلیل داشتن عناصر و مواد آلی زیاد که از محیط اطراف دریافت کرده‌اند، از آلاینده‌های مهم در محیط زیست انسانی هستند که بر اثر فعالیت‌های انسانی و نیز از منابع طبیعی منشا گرفته و سلامت انسان‌ها را تهدید می‌کنند. هنگامی که این غبارها یا ذرات معلق در محیط خانگی وارد می‌شوند، بار عناصر و در نتیجه ریسک سلامتی آن‌ها افزایش می‌یابد.

این مطالعه که برای نخستین بار در شهر تهران انجام شده، نشانگر بالابودن غلظت عناصر آرسنیک، کادمیم، مس، جیوه، سرب و روی و پایین بودن عناصر کبالت، کروم، نیکل و وانادیم در نمونه‌هاست. عناصر دسته اول نسبت به مطالعات انجام شده بر روی غبار خیابانی شهر تهران و نیز شهرهای دیگر در جهان مقادیر بالاتری نشان داده‌اند.

شاخص‌های تجمعی همچون بار آلودگی و ریسک بوم‌شناختی، و نیز شاخص آلودگی برای عناصر دسته اول، آلودگی بسیار بالایی را نشان می‌دهند در حالی که برای عناصر دسته دوم، مقادیر به دست آمده، پایین‌تر از حد عادی است که می‌تواند نشانگر عدم دخالت منابع زمین‌زاد و نقش عمده عناصر شهری و خودرو در این آلودگی باشد.

این مطالعه، همچنین نشان داد که شاخص‌های دیگر مانند شاخص زمین‌انباشت و ضریب غنی‌شدگی، به دلیل برآورد نامناسب رتبه آلودگی، شاخص‌های مناسبی در مطالعه حاضر به‌شمار نمی‌روند و کارایی این شاخص‌ها چالش‌برانگیز است. دلیل دیگر این عدم همخوانی و عدم کارایی این شاخص‌ها این است که شاخص زمین‌انباشت برای نخستین بار برای رسوب ابداع شده و سپس برای دیگر مطالعات هم به کار گرفته شد و شاخص ضریب غنی‌شدگی مقادیر را با پوسته زمین بهنجار و مقایسه می‌کند و باز هم در شرایطی که عناصر بیشتر منشا انسان‌زاد دارند، مقایسه درستی نیست.

نکته‌ای که شاخص‌های منفرد نیز بر آن تاکید دارند، عدم وجود آلودگی برای عناصر کبالت، کروم، نیکل، و وانادیم است که در مقایسه چشمی آن‌ها با داده‌های پوسته بالایی نیز آشکار است.

در این جدول (جدول ۹)، شاخص‌های تجمعی همچون بار آلودگی و ریسک بوم‌شناختی به‌طور کاملاً همخوان مقادیر بسیار بالایی را نشان می‌دهند که گویای آلودگی بسیار شدید عناصر در غبارهای خانگی است. همچنین شاخص آلودگی هم برای عناصر آرسنیک، کادمیم، مس، جیوه، سرب و روی بالاترین درجه آلودگی را در این تقسیم‌بندی نشان می‌دهد. در نتیجه، این سه شاخص، با یکدیگر تطابق بسیار خوبی به نمایش می‌گذارند.

از سوی دیگر، شاخص زمین‌انباشت و ضریب غنی‌شدگی تناقض‌هایی با یکدیگر و با شاخص‌های قبل نشان می‌دهند که می‌بایست مورد توجه قرار گیرند. به‌رغم این که آرسنیک در شاخص آلودگی بالاترین مقدار را نشان داد، در این دو شاخص در حد میانی تقسیم‌بندی قرار دارد و نشانگر آلودگی متوسط تا زیاد (درجه ۴ در رده‌بندی هفت‌تایی شاخص زمین‌انباشت) و غنی‌شدگی قابل توجه (درجه ۳ از ۵ در ضریب غنی‌شدگی) دارند که درجات متوسط را نشان می‌دهند. کادمیم در رده‌بندی زمین‌انباشت در درجه ۴ و ۵ و برای ضریب غنی‌شدگی در ردیف اول و دوم قرار دارد که نسبت به دسته اول شاخص‌ها بسیار پایین‌تر است.

مس، در تقسیم‌بندی ضریب زمین‌انباشت، در رده ۳ و ۴ و در شاخص غنی‌شدگی در غنی‌شدگی متوسط (رده ۲) جای می‌گیرد. جیوه به‌رغم غلظت بالا در نمونه‌ها، در ضریب زمین‌انباشت در رده ۵ و ۶ و در شاخص غنی‌شدگی در رده ۳ واقع است که باز هم با یکدیگر و با دیگر شاخص‌ها تناقض نشان می‌دهند. سرب و روی در این دو شاخص، به ترتیب در رده‌های ۴ و ۵ و رده ۳ قرار دارند.

با مقایسه این مقادیر، به نظر می‌رسد شاخص‌های تجمعی و نیز شاخص آلودگی، مقادیر بسیار بالاتری را برای عناصر مختلف نشان می‌دهند و بر اساس مقایسه با مناطق جهان و نیز پوسته زمین، به واقعیت نزدیک‌تر هستند و دو شاخص زمین‌انباشت و ضریب غنی‌شدگی مقادیر کمتری نشان می‌دهند.

مقایسه مقادیر به دست آمده در این پژوهش با مقادیر معرفی شده توسط دهقانی و همکاران (Dehghani et al., 2017) که در همین محدوده و بر روی غبار خیابانی (برون ساختمانی) انجام شده، نشان داد که عناصر مس، روی، و برخی عناصر دیگر از شهرهای مقایسه شده توسط ایشان بالاتر است که در این مطالعه نیز بر این نکته تاکید می‌شود.

ضریب غنی‌شدگی معرفی شده توسط این نویسندگان برای غبار خیابانی برای

کتابنگاری

- ارسلانی، ف.، علیجانی، ب.، اکبری، م.، محمدخان، ش.، ۱۳۹۹، بررسی عناصر سنگین (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb) موجود در غبار ریزشی شهر تهران. پژوهش‌های دانش زمین. سال یازدهم، شماره ۴۴، ص ۱۵-۳۶. <http://doi.org/20.1001.1.20088299.1399.11.4.2.7>
- دهقانی، ش.، ۱۳۹۶، زمین‌شیمی زیست‌محیطی، گونه‌پذیری و ارزیابی خطر سلامتی برخی فلزات بالقوه سمناک در غبار خیابان مناطق با بار ترافیکی سنگین در کلان‌شهر تهران. رساله دکتری زمین‌شناسی زیست‌محیطی، دانشگاه شیراز. ۳۰۰ ص.
- علی‌طالشی، م.ص.، معین‌الدینی، م.، فیض‌نیا، س.، اسکویزاتو، الف.، ۱۳۹۸، آلودگی فلزات سنگین در ذرات غبار خیابانی شهر تهران در سال ۱۳۹۷. ارزیابی غنای فلزی و درجه آلودگی. مجله مهندسی بهداشت محیط. سال ۷ شماره ۲ ص ۱۷۹-۱۹۴. <http://dx.doi.org/10.29252/jehe.7.2.179>
- مقدسی، پ.، یزدی، م.، بیاتی، الف.، ۱۳۹۴، ویژگی‌های زمین‌شیمیایی گرد و غبار میدانی اصلی تهران. فصلنامه علوم محیطی، دوره ۳ شماره ۱ ص ۷۵-۸۴. <http://dx.doi.org/10.29252/jehe.7.2.179>
- یعقوبی، ز.، حسینی، ع.، نبی‌بیدهندی، غ.، شرافتی، الف.، ۱۴۰۱، ارزیابی ریسک اکولوژیک فلزات سنگین در خاک سطحی پارک‌های منتخب کلان‌شهر تهران بر اساس نمونه‌برداری سال ۱۴۰۰ محیط‌شناسی، دوره ۴۸ شماره ۲ ص ۱۷۹-۱۹۶. <https://dori.net/dor/20.1001.1.10258620.1401.48.2.2.7>

References

- Abdulaheem, M. O., Adeniran, J. A., Ameen, H. A., Odediran, E. T., Yusuf, M. N. O., and Abdulaheem, K. A., 2022. Source identification and health risk assessments of heavy metals in indoor dusts of Ilorin, North central Nigeria. Journal of Environmental Health Science and Engineering, 1-16. <https://doi.org/10.1007/s40201-021-00778-8>.

- Abraham, G. M. S., and Parker, R. J., 2008. Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. *Environmental monitoring and assessment*, 136(1), 227-238. <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9678-2>.
- Adeniran, J. A., Araromi, D. O., Yusuf, R. O., Jimoda, L. A., Oke, E. O., and Sonibare, J. A., 2019. Analytical modeling of human exposure from short-term point source releases of aerosols from household spray products. *Science and Technology for the Built Environment*, 25(1), 83-90. <https://doi.org/10.1080/23744731.2018.1499383>.
- Albanese, S., and Cicchella, D., 2012. Legacy problems in urban geochemistry. *Elements*, 8(6), 423-428. <https://doi.org/10.2113/gselements.8.6.423>.
- Alekseenko, V., and Alekseenko, A., 2014. The abundances of chemical elements in urban soils. *Journal of Geochemical Exploration*, 147, 245-249. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.08.003>.
- Ali Talshi, M.S., Moinedini, M., Faiznia, S., Esquizado, A., 2019. Heavy metal contamination in street dust particles of Tehran city in 2018. Evaluation of metal richness and degree of contamination. *Journal of Environmental Health Engineering. Year 7, No. 2, pp. 179-194.* <http://dx.doi.org/10.29252/jehe.7.2.179>. (In Persian).
- Alloway, B.J., 2013. Sources of Heavy Metals and Metalloids in Soils. In: Alloway, B. (eds) *Heavy Metals in Soils*. Environmental Pollution, vol 22. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7_2.
- Alotaibi, M. O., Albedair, L. A., Alotaibi, N. M., Eloheid, M. M., Al-Swadi, H. A., Alasmary, Z., and Ahmad, M., 2022. Pollution indexing and health risk assessment of heavy-metals-laden indoor and outdoor dust in elementary school environments in Riyadh, Saudi Arabia. *Atmosphere*, 13(3), 464. <https://doi.org/10.3390/atmos13030464>.
- Ariapak, S., Jalalian, A., and Honarjoo, N., 2022. Source identification, seasonal and spatial variations of airborne dust trace elements pollution in Tehran, the capital of Iran. *Urban Climate*, 42, 101049. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.101049>.
- Arsalani, F., Alijani, B., Akbari, M., Mohammad Khan, Sh., 2020. investigation of heavy elements (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb) present in fallout dust of Tehran city. *Earth science research. Year 11, No. 44, pp. 15-36.* <http://doi.org/20.1001.1.20088299.1399.11.4.2.7>. (In Persian).
- Buljović, M., Živančev, J., Antić, I., and Đurišić-Mladenović, N., 2022. Heavy elements in indoor dust from Serbian households: pollution status, sources, and potential health risks. *International Journal of Environmental Health Research*, 1-11. <https://doi.org/10.1080/09603123.2022.2128077>.
- Cao, S., Chen, X., Zhang, L., Xing, X., Wen, D., Wang, B., Qin, N., Wei, F., and Duan, X., 2020. Quantificational exposure, sources, and health risks posed by heavy metals in indoor and outdoor household dust in a typical smelting area in China. *Indoor Air*, 30(5), 872-884. <https://doi.org/10.1111/ina.12683>.
- Cao, S., Wen, D., Chen, X., Duan, X., Zhang, L., Wang, B., Oin, N., and Wei, F., 2022. Source identification of pollution and health risks to metals in household indoor and outdoor dust: A cross-sectional study in a typical mining town, China. *Environmental Pollution*, 293, 118551. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118551>.
- Cicchella, D., Zuzolo, D., Albanese, S., Fedele, L., Di Tota, I., Guagliardi, I., Thiombane, M., De Vivo, B., and Lima, A., 2020. Urban soil contamination in Salerno (Italy): Concentrations and patterns of major, minor, trace and ultra-trace elements in soils. *Journal of Geochemical Exploration*, 213, 106519. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2020.106519>.
- Dehghani, S., 2017. *environmental geochemistry, speciation and health risk assessment of some potentially toxic metals in street dust of areas with heavy traffic in Tehran metropolis. Doctoral thesis in bio-environmental geology, Shiraz University. 300 p.* (In Persian).
- Dehghani, S., Moore, F., Keshavarzi, B., and Beverley, A. H., 2017. Health risk implications of potentially toxic metals in street dust and surface soil of Tehran, Iran. *Ecotoxicology and environmental safety*, 136, 92-103. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.10.037>.
- Dehghani, S., Moore, F., Vasiluk, L., and Hale, B. A., 2018. The geochemical fingerprinting of geogenic particles in road deposited dust from Tehran metropolis, Iran: Implications for provenance tracking. *Journal of Geochemical Exploration*, 190, 411-423. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2018.04.011>.
- Doyi, I. N., Isley, C. F., Soltani, N. S., and Taylor, M. P., 2019. Human exposure and risk associated with trace element concentrations in indoor dust from Australian homes. *Environment International*, 133, 105125. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105125>.
- Gad, A., Saleh, A., Farhat, H. I., Dawood, Y. H., and Abd El Bakey, S. M., 2022. Spatial Distribution, Contamination Levels, and Health Risk Assessment of Potentially Toxic Elements in Household Dust in Cairo City, Egypt. *Toxics*, 10(8), 466. <https://doi.org/10.3390/toxics10080466>.
- Gustafsson, Å., Kraus, A. M., Gorzsás, A., Lundh, T., and Gerde, P., 2018. Isolation and characterization of a respirable particle fraction from residential house-dust. *Environmental Research*, 161, 284-290. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.10.049>.
- Hakanson, L., 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Research*, 14(8), 975-1001. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(80\)90143-8](https://doi.org/10.1016/0043-1354(80)90143-8).
- Hodas, N., Loh, M., Shin, H. M., Li, D., Bennett, D., McKone, T. E., Jolliet, O., Weschler, C. J., Jantunen, M., Liroy, P., and Fantke, P., 2016. Indoor inhalation intake fractions of fine particulate matter: review of influencing factors. *Indoor Air*, 26(6), 836-856. <https://doi.org/10.1111/ina.12268>.
- Hou, S., Zheng, N., Tang, L., Ji, X., Li, Y., and 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. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.04.046>.
- Janadeleh, H., Jahangiri, S., and Kameli, M. A., 2018. Assessment of heavy metal pollution and ecological risk in marine sediments (A case study: Persian Gulf). *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 24(8), 2265-2274. <https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1443792>.
- Kabata-Pendias, A., 2011. Trace elements in soils and plants (4th ed.). Boca Raton: CRC Press, Taylor and Francis Group. <https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1443792>.

- org/10.1201/b10158.
- Kafilat Adebola, B. A., Joseph Kayode, S., and Adebayo Akeem, O., 2018. Integrated assessment of the heavy metal pollution status and potential ecological risk in the Lagos Lagoon, South West, Nigeria. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 24(2), 377-397. <http://dx.doi.org/10.1080/10807039.2017.1384694>.
- Khajooee, N., Modabberi, S., Khoshmanesh-Zadeh, B., Razavian, F., Gayà-Caro, N., Sierra, J., and Rovira, J., 2024. Contamination level, spatial distribution, and sources of potentially toxic elements in indoor settled household dusts in Tehran, Iran. *Environmental Geochemistry and Health*, 46(2), 56. <https://doi.org/10.1007/s10653-023-01838-8>.
- Koehler, K., Good, N., Wilson, A., Mölter, A., Moore, B. F., Carpenter, T., Peel, J. L., and Volckens, J., 2019. The Fort Collins commuter study: Variability in personal exposure to air pollutants by microenvironment. *Indoor air*, 29(2), 231-241. <https://doi.org/10.1111/ina.12533>.
- Kowalska, J. B., Mazurek, R., Gašiorek, M., and Zaleski, T., 2018. Pollution indices as useful tools for the comprehensive evaluation of the degree of soil contamination—A review. *Environmental geochemistry and health*, 40(6), 2395-2420. <https://doi.org/10.1007/s10653-018-0106-z>.
- Li, H. H., Chen, L. J., Yu, L., Guo, Z. B., Shan, C. Q., Lin, J. Q., Gu, Y. G., Yang, Z. B., Yang, Y. X., Shao, J. R., Zhu, X. M., and Cheng, Z., 2017. Pollution characteristics and risk assessment of human exposure to oral bioaccessibility of heavy metals via urban street dusts from different functional areas in Chengdu, China. *Science of the Total Environment*, 586, 1076-1084. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.092>.
- McLennan, S. M., 1994. Rare earth element geochemistry and the “tetrad” effect. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58(9), 2025-2033. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(94\)90282-8](https://doi.org/10.1016/0016-7037(94)90282-8).
- Meza-Figueroa, D., De la O-Villanueva, M., and De la Parra, M. L., 2007. Heavy metal distribution in dust from elementary schools in Hermosillo, Sonora, México. *Atmospheric Environment*, 41(2), 276-288. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.08.034>.
- Moghadasi, P., Yazdi, M., Bayati, A., 2015. *Geochemical characteristics of dust from the main squares of Tehran. Environmental Sciences Quarterly, Volume 3, Number 1, pp. 75-84. http://dx.doi.org/10.29252/jehe.7.2.179. (In Persian).*
- Mohammadyan, M., Alizadeh-Larimi, A., Etemadinejad, S., Latif, M. T., Heibati, B., Yetilmezsoy, K., Abdul-Wahab, S. A., and Dadvand, P., 2017. Particulate air pollution at schools: Indoor-outdoor relationship and determinants of indoor concentrations. *Aerosol and Air Quality Research*, 17(3), 857-864. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2016.03.0128>.
- Muller, G., 1969. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *GeoJournal*, 2, 108-118.
- Odediran, E. T., Adeniran, J. A., Yusuf, R. O., Abdulaheem, K. A., Adesina, O. A., Sonibare, J. A., and Du, M., 2021. Contamination Levels, Health Risks and Source Apportionment of Potentially Toxic Elements in Road Dusts of a Densely Populated African City. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, 100445. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enmm.2021.100445>.
- Rehman, A., Liu, G., Yousaf, B., Zia-ur-Rehman, M., Ali, M. U., Rashid, M. S., Farooq, M. R., and Javed, Z., 2020. Characterizing pollution indices and children health risk assessment of potentially toxic metal(oid)s in school dust of Lahore, Pakistan. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 190, 110059. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.110059>.
- Rudnick, R. L., and Gao, S., 2003. Composition of the continental crust, *Treatise on Geochemistry*, 3, 1-64.
- Shi, T., and Wang, Y., 2021. Heavy metals in indoor dust: Spatial distribution, influencing factors, and potential health risks. *Science of the Total Environment*, 755, 142367. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142367>.
- Sutherland, R. A., 2000. Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. *Environmental Geology*, 39, 611-627. <https://doi.org/10.1007/s002540050473>.
- Tashakor, M., and Modabberi, S., 2021. Human Health Risks Associated with Potentially Harmful Elements from Urban Soils of Hamedan City, Iran. *Pollution*, 7(3), 709-722. <https://doi.org/10.22059/poll.2021.318496.1015>.
- Tashakor, M., Behrooz, R. D., Asvad, S. R., and Kaskaoutis, D. G., 2022. Tracing of Heavy Metals Embedded in Indoor Dust Particles from the Industrial City of Asaluyeh, South of Iran. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(13), 7905. <https://doi.org/10.3390/ijerph19137905>.
- Taylor, S. R., and McLennan, S. M., 1985. *The continental crust: its composition and evolution*. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 312p. <https://doi.org/10.1002/gj.3350210116>.
- Taylor, S. R., and McLennan, S. M., 2001. Chemical composition and element distribution in the Earth's crust. *Encyclopedia of physical science and technology*, 312, 697-719. <https://doi.org/10.1016/B0-12-227410-5/00097-1>.
- Tomlinson, D. L., Wilson, J. G., Harris, C. R., and Jeffrey, D. W., 1980. Problems in the assessment of heavy-metal levels in estuaries and the formation of a pollution index. *Helgoländer meeres untersuchungen*, 33(1), 566-575. <https://doi.org/10.1007/BF02414780>.
- Turekian, K. K., and Wedepohl, K. H., 1961. Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. *Geological Society of America Bulletin*, 72(2), 175-192. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1961\)72\[175:DOTEIS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1961)72[175:DOTEIS]2.0.CO;2).
- Wedepohl, K. H., 1995. The composition of the continental crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59(7), 1217-1232. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(95\)00038-2](https://doi.org/10.1016/0016-7037(95)00038-2).
- Wong, C. S., Li, X., and Thornton, I., 2006. Urban environmental geochemistry of trace metals. *Environmental pollution*, 142(1), 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2005.09.004>.
- Yaqoubi, Z., Hosseini, A., Nabi Bidhandi, G., Sherafati, A., 2022. *Ecological risk assessment of heavy metals in the surface soil of selected parks of Tehran metropolis based on sampling in 1400*. 196. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.10258620.1401.48.2.2.7>. (In Persian).
- Zhou, L., Liu, G., Shen, M., Liu, Y., and Lam, P. K., 2021. Characteristics of Indoor Dust in an Industrial City: Comparison with Outdoor Dust and Atmospheric Particulates. *Chemosphere*, 129952. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129952>.
- Zhou, L., Liu, G., Shen, M., and Liu, Y., 2022. Potential ecological and health risks of heavy metals for indoor and corresponding outdoor dust in Hefei, Central China. *Chemosphere*, 302, 134864. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134864>.