


Investigating the concentration of heavy elements in dust and evaluating human health risk (case study: Birjand city, South Khorasan province)

Mohsen farahi¹, Ali Mohammadian Behbahani^{2*} , Hamid Reza Asgari³, Reza dahmardeh behrooz⁴, Dimitris .G.Kaskaoutis⁵

1. Phd. student of desert management and control, Faculty of Pasture and Watershed Management, Gorgan, Iran
2. *Corresponding Author*, Assistant Professor, Department of Desert Management, Faculty of Pasture and Watershed Management, Gorgan, Iran
3. Associate Professo Department of Desert Management, Faculty of Pasture and Watershed Management, Gorgan, Iran
4. Assistant Professor, Department of Environment, Faculty of Natural Resources, Zabol, Iran
5. Assistant Professor, Department of Chemical Engineering, University of Western Macedonia, Kozani, Greece

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received: 22 May 2023

Revised: 24 September 2023

Accepted: 13 October 2023

Keywords:

Heavy metals, health risk, carcinogenic risk, dust, Birjand.

ABSTRACT

Urban dust is one of the indicators of heavy metal pollution in the living environment. Heavy metals in contaminated soils are considered a challenge to the environment and cause irreparable effects on the bodies of living organisms. Therefore, it is very important to know the pollutants and how they are transported, their performance, and accessibility. Because their effects on the health of humans and other living beings are significant. Therefore, the present study was conducted to investigate the effect of heavy metals (including Pb, Zn, Cr, and As) in the dust of Birjand City on human health. For this purpose, 50 dust samples were collected from Birjand city and analyzed using inductively coupled plasma spectroscopy (ICP-OES). According to the research results, the average concentration of studied metals was estimated as Pb (16.93), Zn (5.55), Cr (1.04), and As (6.11) $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Average RI values, Cr and Zn metals have a low ecological risk potential, lead has a medium risk, and As has a high ecological risk potential. The non-carcinogenic risk of heavy metals in Birjand city is without risk. However, the non-carcinogenic risk for two elements, Cr and As, is greater for children than for adults. CR values are higher in children than in adults. This amount is in children for Cr (5.58×10^{-4}), As (5.98×10^{-5}), and lead (9.09×10^{-6}) and in adults for Cr (1.18×10^{-4}). and As (1.27×10^{-5}), which is more than 1×10^{-6} . There is a risk of cancer in children under controlled conditions. However, the cancer risk caused by this metal in dust for adults can be ignored.

Cite this article: Farahi, M., Mohammadian Behbahani, A., Asgari, H. R., Dahmardeh Behrooz, R., & G. Kaskaoutis, D. (2023). Investigating the concentration of heavy elements in dust and evaluating human health risk (case study: Birjand city, South Khorasan province). *Journal of Natural Environmental Hazards*, 13(39), 93-108. DOI: 10.22111/jneh.2023.45720.1961



© Ali Mohammadian Behbahani*.


Publisher: University of Sistan and Baluchestan

DOI: 10.22111/jneh.2023.45720.1961

* Corresponding Author Email: ali.mohammadian@gau.ac.ir

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۳، شماره ۳۹، فروردین ۱۴۰۳

بررسی غلظت عناصر سنگین موجود در گردوغبار و ارزیابی ریسک سلامت انسانی (مطالعه موردی: شهرستان بیرجند، استان خراسان جنوبی)

محسن فراهی^۱، علی محمدیان بهبهانی^{۲*} , حمیدرضا عسگری^۳، رضا دهمرده بهروز^۴، دیمیتریس کاسکاویتیس^۵

۱. دانشجوی دکتری مدیریت و کنترل بیابان، دانشکده مرتع و آبخیزداری، گرگان

۲. استادیار گروه مدیریت مناطق بیابانی، دانشکده مرتع و آبخیزداری، گرگان (نویسنده مسئول)

۳. دانشیار گروه مدیریت مناطق بیابانی، دانشکده مرتع و آبخیزداری، گرگان

۴. استادیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، زابل

۵. استادیار، گروه مهندسی شیمی، دانشگاه مقدونیه غربی، کوزانی، یونان

چکیده

اطلاعات مقاله

گردوغبار شهری، یکی از شاخص‌های آلودگی به فلزات سنگین در محیط زندگی است. حضور فلزات سنگین در خاک‌های آلوده چالشی برای محیط‌زیست محسوب می‌شود و با ورود به بدن موجودات زنده، می‌تواند عوارض جبران‌ناپذیری ایجاد کند. بنابراین شناخت مواد آلاینده و چگونگی انتقال، عملکرد و دسترس‌پذیری آن‌ها از اهمیت بالایی برخوردار بوده و تأثیرات آن‌ها بر سلامت انسان و دیگر جانداران به وضوح قابل توجه است. پس این مطالعه به منظور بررسی تأثیر فلزات سنگین (شامل سرب (Pb)، روی (Zn)، کروم (Cr) و آرسنیک (As)) در گردوغبار شهر بیرجند بر سلامت شهروندان انجام شده است. برای دستیابی به این هدف، ۵۰ نمونه گردوغبار از مرکز شهر بیرجند جمع‌آوری شدند و با استفاده از روش طیف‌سنجی جفت‌شده پلاسمای القایی (ICP-OES) تحلیل شدند. باتوجه به نتایج پژوهش، میانگین غلظت فلزات مورد مطالعه به ترتیب (Pb (93/16)، Cr (04/1)، Zn (55/5) و As (11/6) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ برآورد گردید. بر اساس میانگین مقادیر RI، فلزات کروم و روی دارای پتانسیل ریسک اکولوژیکی کم هستند و سرب ریسک متوسط و آرسنیک دارای پتانسیل ریسک اکولوژیکی زیاد است. خطر غیرسرطان‌زایی فلزات سنگین در شهر بیرجند بدون ریسک است؛ اما خطر غیرسرطان‌زایی برای دو عنصر کروم و آرسنیک برای کودکان بیشتر از بزرگسالان است. مقادیر CR در کودکان بیشتر از بزرگسالان است. این مقدار در کودکان برای کروم (۴-۵۸×۱۰^{-۵})، آرسنیک (۵-۹۸×۱۰^{-۵}) و سرب (۶-۰۹×۱۰^{-۶}) و در بزرگسالان کروم (۴-۱۸×۱۰^{-۶}) و آرسنیک (۵-۲۷×۱۰^{-۶}) می‌باشد که بیشتر از ۶-۱×۱۰^{-۶} می‌باشد. خطرپذیری سرطان برای کودکان تحت شرایط کنترل و نظارت وجود دارد؛ اما ریسک سرطان ناشی از این فلز در گردوغبار برای بزرگسالان می‌تواند نادیده گرفته شود.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۰۱

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۰۷/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۲۱

واژه‌های کلیدی:

فلزات سنگین، ریسک سلامت، خطر سرطان‌زایی، گردوغبار، بیرجند.

استناد: فراهی، محسن، محمدیان بهبهانی، علی، عسگری، حمیدرضا، دهمرده بهروز، رضا، کاسکاویتیس، دیمیتریس. (۱۴۰۲). بررسی غلظت عناصر

سنگین موجود در گردوغبار و ارزیابی ریسک سلامت انسانی (مطالعه موردی: شهرستان بیرجند، استان خراسان جنوبی). مخاطرات محیط طبیعی،



DOI: 10.22111/jneh.2023.45720.1961.۱۰۸-۹۳. (۳۹)۱۳

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان © محسن فراهی، علی محمدیان بهبهانی^{*}، حمیدرضا عسگری، رضا دهمرده بهروز، دیمیتریس کاسکاویتیس.

مقدمه

گردوغبار شهری، یکی از شاخص‌های آلودگی به فلزات سنگین در محیط زندگی است. با توجه به انتشار آلاینده‌های مختلف در محیط‌زیست و تأثیرات آن‌ها بر سلامت انسان و دیگر جانداران، شناخت مواد آلاینده، چگونگی انتقال آن‌ها، عملکرد و دسترس‌پذیری آن‌ها مورد توجه قرار گرفته است. یکی از چالش‌های محیط‌زیست، وجود فلزات سنگین در خاک‌های آلوده است که می‌تواند با ورود به بدن موجودات زنده، عوارض جبران‌ناپذیری ایجاد کند (بهروش و همکاران، ۱۳۹۴). افزایش فعالیت‌های صنعتی، تعداد وسایل نقلیه در جاده‌ها و جمعیت در شهرهای بزرگ باعث آلودگی هوا در محیط شهری می‌شود و در نهایت بر سلامت انسان تأثیر می‌گذارد. فلزات سنگین معمولاً در خاک فوقانی وجود دارند که می‌توانند از طریق بلعیدن، استنشاق و جذب پوستی وارد بدن ما شوند. به همین دلیل، مقدار بیش‌ازحد فلزات سنگین می‌تواند حیات زیستی را تهدید کند (رحمان^۱ و همکاران، ۲۰۲۱). یکی از اثرات شایع فلزات سنگین، مسمومیت برای بدن و ایجاد اختلالات در رشد کودکان و اثرات بر مغز است. قرار گرفتن در معرض این فلزات برای مدت طولانی می‌تواند منجر به بروز مسمومیت مزمن در سطوح پایین شود که معمولاً بدون علامت است، اما باعث اختلالاتی در فرآیندهای سوخت‌وساز بدن می‌شود (بائی^۲ و همکاران، ۲۰۲۳). غلظت بالای فلزات سنگین در محیط‌زیست، باعث اثرات منفی بسیار زیادی بر سلامت انسان می‌شود که بیشتر از طریق هضم، تنفس و جذب پوسیدگی صورت می‌گیرد. کودکان نسبت به بزرگسالان مقدار بیشتری از این فلزات را جذب می‌کنند و این باعث ایجاد اختلال در رفتارهای متابولیکی آن‌ها می‌شود (بیست^۳ و چودھاری^۴، ۲۰۲۲). مصرف بیش‌ازحد فلزات سنگین، منجر به بروز مسمومیت‌های حاد و مزمن مانند آسیب به سیستم عصبی مرکزی، ترکیب خون، ریه‌ها، کلیه‌ها، کبد و حتی مرگ می‌شود (بودی^۵ و همکاران، ۲۰۲۲). بلعیدن، تنفس و تماس با پوست، از مهم‌ترین راه‌هایی هستند که انسان با عناصر سنگین در معرض قرار می‌گیرد (لفتا^۶ و همکاران، ۲۰۲۲). بررسی منابع گردوغبار در شهرهایی که در مسیر باد قرار دارند، می‌تواند اطلاعات حیاتی برای سیاست‌گذاران دولتی در زمینه طوفان‌های گردوغبار و ارزیابی تأثیرات آن‌ها فراهم کند. برنامه‌های مقابله با خطرات در مناطق خشک باید شامل سه بخش اصلی شامل نظارت و هشدار زودهنگام، ارزیابی ریسک و استراتژی‌های پاسخ باشد (ماسیاس-کورال^۷ و همکاران، ۲۰۲۰). با توجه به ترکیب پیچیده ذرات معلق در گردوغبار، تعیین اینکه کدام خصوصیت از آن‌ها باعث ایجاد چه نوع اثرات منفی بر سلامت انسان‌ها می‌شود، بسیار دشوار است و اطلاعات کافی و جامع در این زمینه وجود ندارد. با ارتباط دادن خصوصیات و ترکیبات ذرات معلق با اثرات منفی بر سلامت، می‌توان این اثرات منفی را به منابع آلوده‌کننده نسبت داد که این اطلاعات برای تعیین استراتژی‌های کنترل و کاهش ذرات معلق بسیار ارزشمند هستند. مطالعات مختلفی در زمینه عناصر سنگین و گردوغبار و تأثیر آن‌ها بر سلامت انسان و زندگی شهری صورت گرفته است. به‌عنوان مثال، زراسوندی و همکاران (۱۳۹۳)، به بررسی غلظت فلزات سنگین و سطح آلودگی آن‌ها در گردوغبار خیابان‌های شهری پرداختند و نتایج فاکتور آلودگی آنان نشان داد که فلزات سرب، مس، روی و وانادیم آلودگی بالا و آهن، کرم، نیکل و منیزیم

1 Rahman

2 Bai

3 Bist

4 Choudhary

5 Budi

6 Lafta

7 Macias-Corral

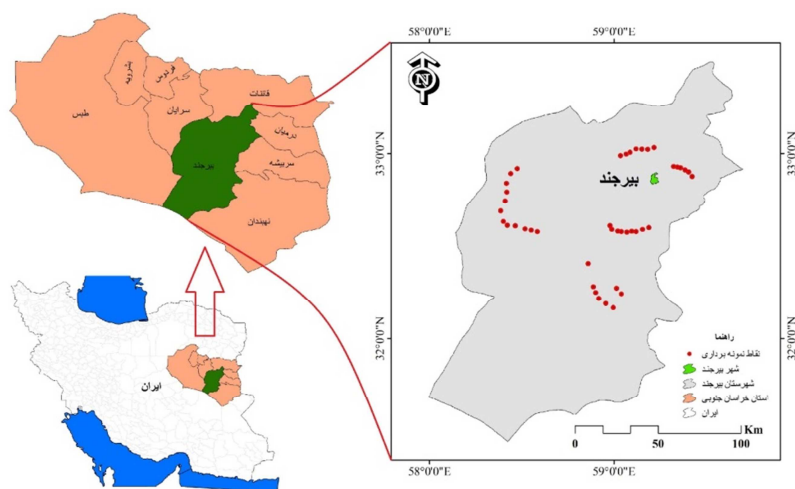
آلودگی متوسطی در شهر اهواز داشته و منشا عمده آلاینده‌ها، صنایع و ترافیک بالای شهری می‌باشد. راست منش و همکاران (۱۳۹۵)، به بررسی غنی‌شدگی، سمناکی و خطر بوم‌شناختی فلزات سنگین در رسوبات سطحی رودخانه بهمنشیر آبادان پرداختند و بیان نمودند که فلزات نیکل و کروم خطر کم و آلودگی متوسط داشته، همچنین فلزات مس، روی، سرب و کروم دارای منشا انسانی، آرسنیک منشا زمین‌زاد و نیکل دارای هر دو منشا انسانی و زمین‌زاد در منطقه می‌باشد.

قنواتی (۱۳۹۷)، به ارزیابی خطر فلزات سنگین بر سلامت انسانی در گردوغبار خیابانی شهر آبادان پرداخت و نتایج وی بر اساس مقدار میانگین شاخص ریسک نشان داد که غلظت عناصر سنگین در گردوغبار شهر آبادان متوسط بوده و خطر تجمعی غیر سرطان‌زایی کلیه فلزات سنگین برای کودکان بیشتر از بزرگسالان است و فلز کروم دارای بیشترین خطر و فلز سرب کمترین خطر سرطان‌زایی را دارد. همچنین معمارزاده و امامی (۱۴۰۱)، به پایش زمانی رسوبات بادی و بعضی از عناصر سنگین در رسوبات معلق شهرستان طبرس پرداختند و نتایج آن‌ها نشان داد که از مقایسه میزان گلباد و رسوبات بادی، می‌توان نتیجه گرفت که گلباد این شهرستان با رسوبات بادی نسبتاً همخوانی دارد. تغییرات زمانی در غلظت عناصر سنگین نشان می‌دهد که بیشترین میزان این عناصر در رسوبات بادی شهرستان در ماه فرودین و در جهت غرب (آهن) و شمال غرب (منگنز) قرار دارد. شهرستان بیرجند با داشتن عرصه‌های بیابانی، فقر رطوبت، کاهش پوشش گیاهی، خشک‌سالی، بادهای ۱۲۰ روزه و وجود ۲۸ کانون بحرانی، از مهم‌ترین عوامل داخلی و خارجی وقوع ریزگردها در این منطقه است (موسوی و همکاران، ۱۳۹۶). بین سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۷ در بیرجند، در ۳۴ روز غلظت ذرات معلق بیشتر از استاندارد EPA بوده و در ۷۰ درصد این روزها هوا غبارآلود (گردوغبار معلق یا بالا آمدن گردوغبار) بوده است (ابراهیمی و همکاران، ۲۰۲۲). ریزگردهای بسیاری در شهر بیرجند به دلیل وجود عرصه‌های بیابانی و فقر رطوبت، کاهش پوشش گیاهی، خشک‌سالی و وجود کانون‌های بحرانی، وقوع می‌کنند. باتوجه به اینکه تاکنون در شهر بیرجند مطالعه‌ای با هدف بررسی چهار فلز سنگین آرسنیک، کروم، سرب و روی که از عوامل اصلی سرطان‌زایی ذرات با غلظت کمتر از ۱۰ میکرون هستند، صورت نگرفته است. باتوجه به اهمیت موضوع، هدف از این پژوهش، تعیین غلظت فلزات سنگین یادشده در گردوغبار شهر بیرجند و ارزیابی خطر آن‌ها برای سلامت شهروندان با استفاده از شاخص‌های محیط زیستی است.

داده‌ها و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه:

شهرستان بیرجند با داشتن طول جغرافیایی ۵۷ تا ۶۱ درجه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۰ تا ۳۵ درجه شمالی و ارتفاع ۱۴۷۰ متر از سطح دریا و جمعیتی بالغ بر ۳۰۰ هزار نفر، در شرق ایران واقع شده و از جنوب و جنوب‌غربی و شرق به کویر لوت و از شمال و غرب به کوهستانی محدود می‌شود (احمدی و همکاران، ۱۳۹۴). این شهرستان هم‌مرز با استان‌های خراسان شمالی، یزد، کرمان، سیستان و بلوچستان و کشور افغانستان است. بیرجند دارای آب و هوای نیمه‌بیابانی با زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم و خشک است. بارش سالانه در این شهرستان ۱۵۲ میلی‌متر و میانگین کمینه و بیشینه دمای سالیانه آن به ترتیب ۸ و ۲۴ درجه سانتی‌گراد است.



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه‌های استان خراسان جنوبی و ایران

نمونه‌برداری و تجزیه و تحلیل نمونه‌ها:

در این مطالعه، برای بررسی غلظت فلزات سنگین در گردوغبار شهر بیرجند، از روش‌های استاندارد معتبر برای نمونه‌برداری استفاده شد (هان^۱ و همکاران، ۲۰۲۳). برای مطالعه غلظت ذرات معلق فلزات سنگین در شهر بیرجند، مرکز شهر به دلیل شرایط جغرافیایی و تمرکز جمعیت، به‌عنوان مکان نمونه‌برداری انتخاب شد. در این پژوهش، ۶۰ نمونه در زمان رخداد طوفان‌ها و بادهای ۱۲۰ روزه، از اواخر اردیبهشت تا اواسط شهریور به‌عنوان زمان نمونه‌برداری انتخاب شدند. بادهای ۱۲۰ روزه به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عواملی هستند که باعث تجمع آلودگی در شهر بیرجند می‌شوند (یارمردی^۲ و همکاران، ۲۰۲۰). برای نمونه‌برداری ذرات معلق از دستگاه‌های نمونه‌بردار TCR استفاده شد (شکل ۲). ورودی دستگاه، هد PM10 می‌باشد که قادر است ذرات PM10 را از سایر ذرات جدا نماید. ذرات جدا شده بروی فیلتر فایبرگلاس (اندازه قطر ۴۰ و ۲۵ میلی‌متر) با سرعت جریان استاندارد شده ۱۷ لیتر در دقیقه به مدت ۸ ساعت جمع‌آوری شدند. قبل از نمونه‌برداری، فیلترها به مدت ۱۲ ساعت در دمای ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند تا کلیه ترکیبات آلی موجود در فیلتر حذف شوند. سپس، فیلترها در دیسکاتور نگهداری و قبل از نمونه‌برداری وزن شده و در فویل آلومینیومی قرار گرفته و به محل نمونه‌برداری منتقل شدند (وانگ^۳ و همکاران، ۲۰۲۱).

نمونه‌برداری خاک:

در این پژوهش، با استفاده از روش شبکه‌ای، کانون‌های فرسایش بادی شناسایی و شبکه‌بندی شد. در هر شبکه نمونه‌برداری به صورت تصادفی از خاک به فاصله دویست متری در جهات مختلف انجام گرفت. به‌طور کلی، در شهرستان بیرجند ۴۴ نمونه خاک از مناطقی که حساس به فرسایش و احتمالاً منشأ گردوغبار می‌باشند، جمع‌آوری و جهت آنالیز و تعیین ترکیب عناصر شیمیایی نمونه‌خاک به آزمایشگاه انتقال داده شدند. نمونه‌های خاک از سطح بالایی خاک به ارتفاع ۵ سانتی‌متر توسط بیلچه یا بورس به مساحت 30 cm^2 برداشته شده و با استفاده از کیسه‌های

1 Han

2 Yarmoradi

3 Wang

پلاستیکی جهت آنالیز به آزمایشگاه منتقل شدند (وانگ و همکاران، ۲۰۲۱). در هر شبکه حداقل سه نمونه از خاک برداشته شد و سپس با هم مخلوط شد تا نمونه کاملی از نقطه نمونه برداری به دست آید. نمونه‌های خاک از الک‌های ۳۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ عبور داده شد و حدود ۵ تا ۱۰ گرم خاک با قطر کمتر از ۳۸/۵ میکرومتر که مشابه اندازه ذرات TSP^۱ باشد، جمع‌آوری شد و چهار عنصر کروم، آرسنیک، سرب و روی در اسید توسط دستگاه ICP-OES^۲ آنالیز شدند (لئونگ^۳ و همکاران، ۲۰۰۸). در مرحله بعد، یک نمونه خاک که از الک ۴۰۰ عبور داده شده است، توسط دستگاه میکروسکوپ الکترونی (SEM^۴) مورد آنالیز قرار گرفت و با تصاویر به دست آمده از ذرات معلق PM10 مقایسه شد. برای آماده‌سازی نمونه‌های خاک، حدود یک گرم از خاک‌های منطقه با فیلترهایی که نمونه‌های خاک بر روی آن جمع‌آوری شده است، در محلول اسید نیتریک و اسید کلریدریک به نسبت ۱ به ۳ در دمای ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت حل گردید و سپس محلول را با ۵۰ میلی‌لیتر آب دی‌ان‌بیوزر رقیق کرده و از کاغذ صافی واتمن عبور داده شدند. پس از این، نمونه‌ها با استفاده از دستگاه ICP-OES (پلاسمای جفت‌شده القایی - اسپکترومتر جرمی سری ICP-MS ۷۸۰۰) موجود در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه سیستان و بلوچستان (شکل ۲) آنالیز شدند (لیو^۵ و همکاران، ۲۰۱۹).



شکل ۲: دستگاه‌های مورد استفاده، الف: دستگاه ICP-OES ب: دستگاه‌های نمونه‌بردار TCR

تحلیل آماری:

برای بررسی چگونگی توزیع آماری داده‌های موجود، خلاصه وضعیت پارامترهای آماری، مقایسه غلظت زمینه با میانگین فلزات سنگین، از روش‌های آماری استفاده شد. خصوصیت‌های دیگری همچون دامنه، میانگین، انحراف معیار و چولگی با استفاده از نرم‌افزار SPSS.20 و محاسبات شاخص‌ها با استفاده از نرم‌افزار Excel محاسبه شد.

1 Total suspended particulate
2 Inductivity Coupled Plasma- Optical Emission Spectrometry
3 Leung
4 Scanning Electron Microscope
5 Liu

ارزیابی تعیین سطح آلودگی فلزات سنگین:

در این پژوهش، برای ارزیابی و تعیین سطح آلودگی فلزات سنگین، از شاخص‌های محیط زیستی مختلفی استفاده شده است. این شاخص‌ها شامل:

شاخص ریسک اکولوژیک (RI):

برای ارزیابی خطرات بالقوه محیط زیستی فلزات در گردوغبار، از شاخص پتانسیل ریسک اکولوژیک استفاده می‌شود (Miao و همکاران، ۲۰۲۲). در این پژوهش، برای محاسبه ریسک اکولوژیکی فلزات سنگین، از معادلات ۱ تا ۳ استفاده شد (رحمت^۱ و همکاران، ۲۰۲۲).

$$RI = \sum_{i=1}^n Er \quad (1)$$

$$Er = Tr \times Cf \quad (2)$$

$$Cf = Cs / Cn \quad (3)$$

در آن نماد RI، Er، Tr، Cf، Cs و Cn به ترتیب شاخص ریسک اکولوژیکی فلزات سنگین، ریسک اکولوژیک عنصر، فاکتور سمیت^۲ که هاگانسون برای یک ماده تعریف می‌کند و مقدار آن را برای آرسنیک، سرب، کروم و روی به ترتیب ۱۰، ۵، ۲ و ۱ تعیین کرد، از نسبت غلظت فلزسنگین مورد نظر در نمونه به غلظت زمینه فلز موردنظر به دست می‌آید و حد مجاز غلظت فلز در نمونه و غلظت زمینه فلز سنگین مورد نظر می‌باشد. طبقه‌بندی RI و Er در جدول ۱ نشان داده شده است:

جدول ۱: طبقه‌بندی ریسک اکولوژیک

نوع شاخص	مقدار شاخص	طبقه ریسک
Er	$Er < 40$	کم
	$40 \leq Er < 80$	متوسط
	$80 \leq Er < 160$	قابل توجه
	$160 \leq Er < 320$	زیاد
	$Er \geq 320$	خیلی زیاد
RI	$RI < 150$	کم
	$150 \leq RI < 300$	متوسط
	$300 \leq RI < 600$	قابل توجه
	$RI \geq 600$	زیاد

ارزیابی خطر سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی

برای ارزیابی خطرات فلزات سنگین، فرایندی چند مرحله‌ای انجام می‌شود که شامل دو بخش ارزیابی خطرات سرطان‌زا و غیر سرطان‌زا است. این ارزیابی بر اساس روش ارزیابی خطر بهداشتی که توسط سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا (USEPA) ارائه شده است، صورت می‌گیرد (کینگ^۳ و همکاران، ۲۰۱۵). در این روش، برای بررسی هر دو نوع خطرات سرطان‌زا و غیر سرطان‌زا، قرارگیری انسان در معرض فلزات از سه مسیر بلع، تنفس و

1 Rahmat
1 Toxic factor
3 Qing

جذب از پوست مدنظر قرار می‌گیرد و مقادیر جذب روزانه فلزات در هر یک از مسیرها با استفاده از معادلات ۴ تا ۶ محاسبه می‌شود.

$$\text{Intake}_{ing} = \frac{C \times \text{IngR} \times \text{EF} \times \text{ED}}{\text{BW} \times \text{AT}} \times 10^{-6} \quad (۴)$$

$$\text{Intake}_{inh} = \frac{C \times \text{InhR} \times \text{EF} \times \text{ED}}{\text{PEF} \times \text{BW} \times \text{AT}} \quad (۵)$$

$$\text{Intake}_{dermal} = \frac{C \times \text{SA} \times \text{SAF} \times \text{ABF}_{dermal} \times \text{EF} \times \text{ED}}{\text{BW} \times \text{AT}} \times 10^{-6} \quad (۶)$$

مقادیر Intake_{ing} و Intake_{inh} ، Intake_{dermal} به ترتیب نشان‌دهنده میانگین جذب روزانه فلزات (mg/kg.day) از طریق جذب پوست، تنفس و بلع است.

C: نشان‌دهنده غلظت فلزات در گردوغبار (mg/kg)

IngR: میزان نفس کشیده شده از گردوغبار (به مترمکعب بر روز)

EF: نشان‌دهنده فراوانی قرارگیری در معرض فلزات (day/year)

ED: نشان‌دهنده مدت قرارگیری در معرض فلزات (year)

BW: نشان‌دهنده وزن بدن فرد قرار گرفته در معرض فلزات (kg)

AT: نشان‌دهنده مدت زمان قرارگیری در معرض هر مقدار فلزات (day)

SA: نشان‌دهنده مساحت ناحیه‌ای از سطح پوست قرار گرفته در معرض فلزات (cm^2)

AF: نشان‌دهنده فاکتور چسبندگی گردوغبار به پوست ($\text{mg}/\text{cm}^2 \cdot \text{day}$)

ABF: فاکتور جذب سطحی پوست (بدون واحد) است.

در جدول ۲، جزئیات هر پارامتر و مقادیر استفاده شده در معادلات ارزیابی خطر بیان شده است (کینگ و همکاران، ۲۰۱۵ و وی^۱ و همکاران، ۲۰۱۵ و چابوکدهرا^۲ و همکاران، ۲۰۱۳).

بعد از محاسبه میزان جذب روزانه فلزات، خطر غیر سرطان‌زایی (HI) برای کودکان و بزرگسالان از رابطه (۷) تعیین شد.

$$\text{HQ} = \frac{\text{Intake}}{\text{RfDi}} \quad (۷)$$

در معادله HQ برای محاسبه خطر غیر سرطان‌زایی فلزات در هر مسیر، مقدار جذب روزانه فلزات در هر یک از مسیرهای قرارگیری در معرض فلزات (به واحد میلی‌گرم بر کیلوگرم بدن در روز) استفاده می‌شود. اگر مقدار HQ برابر و یا بزرگ‌تر از ۱ باشد، با سلامت انسان ناسازگاری وجود دارد و اگر کوچک‌تر از ۱ باشد، اثرات نامطلوب و نگران‌کننده‌ای بر سلامت انسان دارد. مقدار شاخص خطر جمعی غیر سرطان‌زایی (HI) فلزات برای هر دو گروه بزرگ سال و کودکان طبق معادله ۸ به دست می‌آید (روانخواه^۳ و همکاران، ۲۰۱۶).

معادله HQ، برای محاسبه خطر غیر سرطان‌زایی فلزات، مقدار جذب روزانه فلزات در معرض (mg/kg.day) را در نظر می‌گیرد. مقدار HQ برابر و یا بزرگ‌تر از ۱ نشان‌دهنده ناسازگاری با سلامت انسان و مقدار کوچک‌تر از ۱، اثرات

1 Wei

2 Chabukdhara

3 Ravankhah

نامطلوب و نگران‌کننده‌ای دارد. مقدار شاخص خطر تجمعی غیر سرطان‌زایی (HI) فلزات برای هر دو گروه بزرگسال و کودکان طبق معادله ۸ به دست می‌آید.

$$HI = \sum QHi \quad (8)$$

شاخص خطر سرطان‌زایی (Cancer Risk, CR) برای عناصر سرب، کروم و آرسنیک بر اساس دستورالعمل‌های پیشنهادی اداره حفاظت از محیط‌زیست آمریکا (EPA) محاسبه می‌شود. این شاخص نشان‌دهنده میزان خطر ابتلا به سرطان برای افرادی است که با این عناصر در محیط کار یا زندگی خود در ارتباط هستند. برای محاسبه شاخص خطر سرطان‌زایی سرب، کروم و آرسنیک از رابطه ۹ و ۱۰ می‌توان محاسبه کرد.

$$CR = Intake \times CSF \quad (9)$$

$$TCR = \sum CR = CR_{ing} + CR_{inh} + CR_{dermal} \quad (10)$$

که در آن CR: خطرپذیری بیماری سرطانی (بدون واحد)، TCR: خطر کل سرطانی (بدون سرطان) و CSF فاکتور شیب سرطانی فلزات سنگین ($mg \cdot kg^{-1} \cdot day^{-1}$) است. اگر مقدار خطر کل سرطانی کمتر از 1×10^{-6} باشد، این به معنای این است که احتمال سرطان برای یک نفر از هر یک میلیون نفر کمتر از یک است و اثرات قابل توجهی بر روی سلامت انسان ندارد. در چنین حالتی، خطر قابل اغماض است. با این حال، اگر خطر کل سرطانی بیشتر از 1×10^{-4} باشد، این به معنای غیرقابل قبول بودن خطر برای سلامت انسان است و مخاطره‌آمیز است. در صورتی که خطر کل سرطانی بین 1×10^{-6} تا 1×10^{-4} باشد، نشان‌دهنده خطرپذیری تحت شرایط کنترل و نظارت است. در این حالت، باید توجه ویژه‌ای به نظارت و کنترل داشته باشیم تا خطرات مربوط به فلزات سنگین برای سلامت انسان به حداقل رسیده و کنترل شوند (وی و همکاران، ۲۰۱۵).

جدول ۲: راهنمای پارامترهای معادلات ارزیابی خطر سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی فلزات سنگین در گردوغبار

پارامتر	واحد اندازه‌گیری	بزرگسال	کودکان
IngR	mg/day	۱۰۰	۲۰۰
InhR	m ³ /day	۲۰	۷/۶
EF	day/year	۳۵۰	۳۵۰
ED	year	۳۰	۶
BW	kg	۷۰	۱۵
AT	days	۱۰۹۵۰	۲۱۹۰
PEF	m ³ /kg	$1/36 \times 10^9$	$1/36 \times 10^9$
ESA	cm ²	۵۷۰۰	۲۸۰۰
AF	mg/cm ² .day	۰/۰۷	۰/۲
CSF	mg/kg.day	سرب ($4/2 \times 10^{-2}$)، کروم ($4/2 \times 10^{-1}$)، آرسنیک ($1/51 \times 10^{-1}$) و روی ($4/2 \times 10^{-4}$)	
RfD_{ingestion}	mg/kg.day	سرب (3×10^{-3})، کروم (3×10^{-3})، آرسنیک (3×10^{-4}) و روی (3×10^{-1})	
RfD_{inhalation}	mg/kg.day	سرب ($3/52 \times 10^{-3}$)، کروم ($2/86 \times 10^{-5}$)، آرسنیک ($3/1 \times 10^{-4}$) و روی (3×10^{-1})	
RfD_{dermal}	mg/kg.day	سرب ($5/25 \times 10^{-4}$)، کروم (6×10^{-5})، آرسنیک ($1/23 \times 10^{-4}$) و روی (6×10^{-2})	

یافته‌های پژوهش

خلاصه‌ای از پارامترهای آماری مربوط به غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های گردوغبار شهر بیرجند و خاک مناطق نمونه‌برداری در جدول ۳ گزارش شده است. مقدار میانگین غلظت عناصر روی، کروم، سرب و آرسنیک به ترتیب ۵/۵۵، ۱/۰۴، ۱۶/۹۳ و ۶/۱۱ میکروگرم بر مترمکعب در گردوغبار شهر بیرجند ثبت گردید. در نمونه‌های گردوغبار شهر بیرجند، غلظت سرب و روی بیشتر از مقدار زمینه (غلظت در پوسته زمین) بوده است. این نتیجه نشان داده است که غلظت بالای این عناصر مربوط به منابع انسان‌زاد مثل ترافیک، تأسیسات صنعتی، تأسیسات تولید برق و فعالیت‌های ساخت‌وساز است (ژانگ^۱ و همکاران، ۲۰۲۳).

پتانسیل ریسک اکولوژیک: (Potential ecological risk)

در این مطالعه، بررسی با استفاده از روش هاکانسون (Hakanson)، پتانسیل ریسک اکولوژیک فلزات سنگین منطقه مورد مطالعه، محاسبه شده است (بانرجی^۲ و همکاران، ۲۰۲۳). در جدول ۴ مقادیر پتانسیل ریسک اکولوژیک (ER) و شاخص ریسک (RI) ارائه شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که میانگین ER برای فلزات سنگین مورد مطالعه در نمونه‌های گردوغبار به صورت $Zn < Cr < As < Pb$ کاهش می‌یابد. بر اساس مقدار میانگین ER، آرسنیک (۳/۹۵)، سرب (۶/۵۳)، روی (۰/۰۱) و کرم (۰/۰۳) دارای پتانسیل ریسک اکولوژیک کم ($ER < 40$) هستند. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که مقادیر RI کرم و روی دارای ریسک کم ($RI < 150$)، آرسنیک دارای ریسک متوسط ($RI 300 < RI < 600$) و سرب دارای ریسک زیاد ($RI \geq 600$) هستند.

جدول ۳: خلاصه‌ای از پارامترهای آماری غلظت فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه

فلزات سنگین	واحد	دامنه	میانگین	میانه	زمینه
روی (Zn)	mg/kg	۱/۲۳-۶۱/۶۴	۵/۵۵	۳/۹۱	۴/۹۷
کروم (Cr)	mg/kg	۲/۵۳-۸/۷۵	۱/۰۴	۰/۳۲	۵۸/۴۳
سرب (Pb)	mg/kg	۰-۱۸۲/۳۶	۱۶/۹۳	۴/۰۶	۱۲/۹۷
آرسنیک (As)	mg/kg	۰-۳۵	۶/۱۱	۴/۲۹	۱۵/۴۷

جدول ۴: نتایج آماری ریسک اکولوژیک (ER) و شاخص ریسک (RI) فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه

شاخص ریسک (RI)	ریسک اکولوژیک (ER)				فلزات سنگین
	میانه	میانگین	ماکزیمم	مینیمم	
۱/۷۸	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۳	۰	کروم
۱۹۷/۶۷	۲۳/۷۸	۳/۹۵	۲۲/۶۲	۰	آرسنیک
۳۲۶/۳	۱/۵۷	۶/۵۳	۷۰/۲۹	۰	سرب
۰/۲۸	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۶	۰/۰۰	روی

فلز سنگین آرسنیک می‌تواند به‌عنوان عامل آلاینده مؤثر، به افزایش خطر پتانسیل ریسک اکولوژیک در شهر بیرجند منجر شود. آرسنیک یک فلز سنگین سمی است که در طبیعت به‌صورت طبیعی در خاک و سنگ‌ها وجود دارد؛ اما

همچنین می‌تواند به صورت غیرطبیعی در نتیجه فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی منتشر شود. معادن، ذوب‌آهن و فرآوری سنگ، آفت‌کش‌ها، کودها و صنایع شیمیایی، نیروگاه‌های حرارتی که با زغال‌سنگ یا پیت کار می‌کنند و سوزاندن ضایعات مواد نگهدارنده چوب، سالیانه مقادیر زیادی از آرسنیک را وارد محیط‌زیست می‌کنند (خادم مقدم ایگده‌لو و گلچین، ۱۳۹۸). از منابع اصلی آلودگی آرسنیک در شهر بیرجند می‌توان استخراج و فرآوری معادن، فعالیت‌های کشاورزی، سوخت‌های فسیلی و آرسنیک موجود در گردوغبار همراه با بادهای ۱۲۰ روزه را نام برد (باغی و همکاران، ۱۳۹۹). موجودیت آرسنیک در گردوغبار شهری، می‌تواند از طریق تماس با پوست، باعث ورود آن به بافت‌های داخلی کودکان و بزرگسالان شده و با ایجاد بیماری، آسیب جدی به سلامتی آن‌ها وارد کند (اوکورو^۱ و همکاران، ۲۰۲۳).

ارزیابی خطر سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی

در این بررسی، ارزیابی ریسک سلامت انسانی در نمونه‌های گردوغبار خیابانی، به خصوص در معرض فلزات سنگین، از سه مسیر اصلی بلع، تماس پوستی و استنشاق برای کودکان و بزرگسالان انجام شد. در جدول ۵، میزان خطر غیرسرطان‌زایی (HQ) مسیرهای سه‌گانه برای هر یک از فلزات کروم، آرسنیک، سرب و روی به تفکیک کودکان و بزرگسالان آورده شده است. با توجه به نتایج، بیشترین میزان خطر غیرسرطان‌زایی (HQ) برای بزرگسالان و کودکان فلز کرم، سرب و روی به ترتیب از مسیر بلع، جذب پوستی و تنفس است. درحالی که آرسنیک بیشترین خطر را از راه جذب پوستی، تنفس و بلع برای کودکان و بزرگسالان را در پی دارد. همچنین نتایج HI نشان داد که ورود فلزات بررسی شده به بدن در رده سنی کودکان نسبت به بزرگسالان خطر بیشتری داشته و این خطر برای دو عنصر کروم و آرسنیک بیشترین مقدار است و کودکان بیشتر از بزرگسالان در معرض خطر این فلزات سنگین قرار دارند.

جدول ۵: خطر غیر سرطان‌زایی فلزات سنگین در شهر بیرجند به تفکیک بزرگسالان و کودکان

فلز (mg/kg)	کروم	آرسنیک	سرب	روی	پارامتر
کودکان					
HQing	$4/43 \times 10^{-3}$	$2/6 \times 10^{-9}$	$6/18 \times 10^{-8}$	$2/36 \times 10^{-4}$	
HQinh	$1/29 \times 10^{-15}$	$7/26 \times 10^{-6}$	$1/71 \times 10^{-12}$	$6/61 \times 10^{-9}$	
HQderm	$6/2 \times 10^{-14}$	$1/78 \times 10^{-3}$	$1/15 \times 10^{-11}$	$3/31 \times 10^{-6}$	
HI={HQi	$4/43 \times 10^{-3}$	$1/7 \times 10^{-3}$	$6/18 \times 10^{-8}$	$2/39 \times 10^{-4}$	
HI total	$6/46 \times 10^{-3}$				
بزرگسالان					
HQing	$4/75 \times 10^{-4}$	$2/79 \times 10^{-9}$	$6/62 \times 10^{-8}$	$2/53 \times 10^{-5}$	
HQinh	$7/32 \times 10^{-15}$	$4/09 \times 10^{-6}$	$9/69 \times 10^{-13}$	$3/72 \times 10^{-9}$	
HQderm	$9/47 \times 10^{-14}$	$2/71 \times 10^{-4}$	$1/74 \times 10^{-11}$	$5/05 \times 10^{-7}$	
HI={HQi	$4/75 \times 10^{-4}$	$2/75 \times 10^{-4}$	$6/62 \times 10^{-8}$	$2/58 \times 10^{-5}$	
HI total	$7/76 \times 10^{-4}$				

¹ Okoro

در جدول ۶، نتایج ارزیابی خطر سرطان‌زایی کروم، آرسنیک و سرب برای کودکان و بزرگسالان نشان داده شده است. باتوجه به نتایج، بیشترین میزان خطر سرطان‌زایی (CR) برای کودکان و بزرگسالان مربوط به فلز کروم و آرسنیک است که به ترتیب از مسیر بلع، جذب پوستی و تنفس وارد بدن می‌شوند. همچنین، نتایج TCR نشان داد که ورود کروم و آرسنیک به بدن در رده سنی کودکان نسبت به بزرگسالان خطر بیشتری داشته و بیشترین مقدار است و کودکان بیشتر از بزرگسالان در معرض خطر آن قرار دارند.

جدول ۶: خطر سرطان‌زایی فلزات سنگین در شهر بیرجند به تفکیک بزرگسالان و کودکان

سرب	آرسنیک	کروم	فلز (mg/kg) پارامتر
کودکان			
$9/09 \times 10^{-6}$	$1/17 \times 10^{-4}$	$5/58 \times 10^{-4}$	CRing
$2/54 \times 10^{-10}$	$3/3 \times 10^{-8}$	$1/56 \times 10^{-8}$	CRinh
$5/15 \times 10^{-9}$	$8/01 \times 10^{-7}$	$1/86 \times 10^{-8}$	CRderm
$9/09 \times 10^{-6}$	$1/18 \times 10^{-4}$	$5/58 \times 10^{-4}$	TCR
$6/8 \times 10^{-4}$			CR total
بزرگسالان			
$9/74 \times 10^{-7}$	$1/25 \times 10^{-5}$	$5/98 \times 10^{-5}$	CRing
$1/43 \times 10^{-10}$	$1/86 \times 10^{-8}$	$8/8 \times 10^{-9}$	CRinh
$7/86 \times 10^{-10}$	$1/22 \times 10^{-7}$	$2/84 \times 10^{-9}$	CRderm
$9/75 \times 10^{-7}$	$1/27 \times 10^{-5}$	$5/98 \times 10^{-5}$	TCR
$7/35 \times 10^{-5}$			CR total

نتایج و بحث

بررسی غلظت فلزات سنگین نشان داد که آرسنیک و کروم در نمونه‌های گردوغبار شهر بیرجند کمتر از مقدار زمینه (غلظت در پوسته زمین) است. نتایج نشان داد که غلظت سرب و روی در محیط شهری بیشتر از غلظت آن در محیط اطراف شهر می‌باشد که می‌توان نتیجه گرفت غلظت بالای این عناصر مربوط به منابع انسان‌زاد مانند ترافیک، تأسیسات صنعتی، تأسیسات تولید برق، بد سوزی و فعالیت‌های ساخت‌وساز و همچنین طوفان‌های گردوغباری همراه با بادهای ۱۲۰ روزه در این منطقه می‌باشد که در جهت باد غالب به داخل شهر منتقل شده‌اند (عزیزی و همکاران، ۱۳۹۹). بررسی سایر منابع نیز مشخص می‌کند که نتایج این مطالعه با سایر مطالعات مشابه همخوانی دارد. به‌عنوان مثال، مطالعات دهقانی و همکاران (۲۰۱۷) در گردوغبار شهر تهران نشان داد که آلودگی ناشی از فلزات سنگین مانند مس، سرب و روی به دلیل منابع انسان‌زاد مانند ساییدگی تایر و ترمز وسایل نقلیه، سایش جاده و احتراق سوخت‌های فسیلی می‌باشد. همچنین، مطالعات جعفری و خادمی (۱۳۹۳) در کرمان بر روی ارزیابی فلزات سنگین در گردوغبار شهری نشان دادند که منشأ اصلی فلزات سنگین مانند مس، سرب و روی در گردوغبار شهری، وسایل نقلیه است و با مطالعه پراکنش مکانی این فلزات به این نتیجه رسیدند که توپوگرافی اطراف کرمان نقش مهمی در

حضور این فلزات در گردوغبار این شهر دارد. به طور مشابه، مطالعات فنواتی (۱۳۹۷) نشان دادند که غلظت فلزات سنگین در گردوغبار شهر آبادان بیشتر از میانگین غلظت این فلزات در بخش بالایی پوسته زمین است. بر اساس میانگین مقادیر RI، فلزات سنگین کروم و روی دارای پتانسیل ریسک اکولوژیکی کم هستند و آرسنیک دارای ریسک متوسط و سرب دارای پتانسیل ریسک اکولوژیکی زیاد است. با توجه به غلظت پایین مقدار سرب در نمونه‌های زمینه، می‌توان نتیجه گرفت بخش اعظم سرب موجود در گردوغبار شهر بیرجند از سایر مناطق منتقل شده‌اند. مطالعات دیاز ریزو^۱ و همکاران (۲۰۲۳) در شهر هاوانا در مورد فلزات سنگین در گردوغبار شهری نشان دادند که غلظت بالای فلز سرب و روی در نواحی نزدیک جاده‌ها و مناطق شهری، ناشی از وسایل نقلیه بوده و دارای ریسک اکولوژیکی متوسط هستند. زونگ^۲ و همکاران (۲۰۲۳)، به بررسی خطرات ناشی از فلزات سنگین در گردوغبار جاده‌ها برای سلامتی انسان و ایمنی محیط‌زیست پرداختند. نتایج نشان داد که فلزات سنگینی مانند کادمیوم، مس، روی و سرب با خطرات بالایی برای سلامتی انسان و محیط‌زیست همراه هستند و بیان نمودند که نتایج ارزیابی ریسک سلامت برای انسان و محیط‌زیست می‌تواند پیامد علمی تری برای مدیریت شهرهای ارائه دهد.

باتوجه به ارزیابی خطر سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی، نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین میزان HQ برای کلیه فلزات سنگین و در هر دو گروه سنی کودکان و بزرگسالان به ترتیب در مسیر بلع بیشتر از جذب پوستی و تنفس مشاهده شد. باتوجه به ارزیابی خطر غیرسرطان‌زایی، فلزات سنگین دارای میزان خطر متفاوتی هستند و در شهر بیرجند بدون ریسک (کمتر از 1×10^{-1}) می‌باشند. نتایج خطر غیرسرطان‌زایی (HI) نشان داد که ورود فلزات بررسی شده به بدن در رده سنی کودکان نسبت به بزرگسالان خطر بیشتری داشته و این خطر برای دو عنصر کروم (۳- $10 \times 43 \times 10^{-4}$) و آرسنیک (۴- $2 / 75 \times 10^{-4}$) بیشتر از سرب است و کودکان بیشتر در معرض خطر این فلزات سنگین قرار دارند. باتوجه به ارزیابی خطر سرطان‌زایی، فلزات سنگین دارای میزان خطر متفاوتی هستند. در هر دو گروه سنی، کروم و آرسنیک دارای بیشترین خطر سرطان‌زایی و سرب دارای کمترین خطر می‌باشد. مقادیر CR در کودکان بیشتر از بزرگسالان است. میزان CR در کودکان برای کروم (۴- $5 / 58 \times 10^{-5}$)، آرسنیک (۵- $5 / 98 \times 10^{-5}$) و سرب در کودکان (۶- $9 / 09 \times 10^{-6}$) و بزرگسالان به ترتیب (۴- $1 / 18 \times 10^{-4}$) و (۵- $1 / 27 \times 10^{-5}$) بوده که بیشتر از 1×10^{-6} (احتمال سرطان یک نفر در میلیون) می‌باشد و نشان می‌دهد خطری پذیرد تحت شرایط کنترل و نظارت در این زمینه وجود دارد؛ اما CR و بزرگسالان (۷- $9 / 75 \times 10^{-6}$) کمتر از 1×10^{-6} است که نشان می‌دهد ریسک سرطان ناشی از این فلز در گردوغبار برای بزرگسالان می‌تواند نادیده گرفته شود. این مهم با نتایج روانخواه و همکاران (۲۰۱۶) و کبیر و همکاران (۲۰۲۲) مطابقت دارد. آرسنیک عاملی است که باعث جهش می‌شود و بر ساختار ژنتیکی انسان تأثیر می‌گذارد. همچنین خطر ابتلا به سرطان در اندام‌های متعدد از جمله پوست، کلیه، ریه و مثانه را افزایش می‌دهد (همز^۳ و همکاران، ۲۰۲۲).

نتایج مطالعات پانچینگ^۴ و همکاران (۲۰۲۳) و سیرلی^۵ و همکاران (۲۰۲۲) نشان می‌دهد که بیشترین و کمترین میزان HQ برای کلیه فلزات سنگین، به ترتیب در مسیر بلع بیشتر از جذب پوستی و تنفس مشاهده شده است.

1 Díaz Rizo

2 Zong

3 Hamza

4 Panqing

5 Cirelli

همچنین، میزان HQ در مسیر بلع و تنفس برای کودکان بیشتر از بزرگسالان بوده و در مسیر جذب پوستی برای بزرگسالان بیشتر از کودکان مشاهده می‌شود. خطر تجمعی غیر سرطان‌زایی کلیه فلزات سنگین در گردوغبار خیابانی برای کودکان بیشتر از بزرگسالان است که این امر نشان داد کودکان بیشتر از بزرگسالان در معرض خطر فلزات سنگین قرار دارند. در هر دو گروه سنی، فلز کروم دارای بیشترین خطر سرطان‌زایی و فلز سرب کمترین خطر را دارد (قنواتی، ۱۳۹۷).

نتیجه‌گیری

باتوجه به افزایش میزان ذرات معلق در بسیاری از شهرهای کشور، از جمله شهر بیرجند و اثرات آن‌ها بر عوامل مختلف محیط زیست، لازم است تدابیری اتخاذ شود تا اثرات ذرات معلق بر اجزاء مختلف محیط زیست کاهش یابد و به نتیجه‌گیری مثمرتر برسد. در این مطالعه، غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های گردوغبار شهر بیرجند مورد بررسی قرار گرفته است. به منظور ارزیابی ریسک سلامت انسانی فلزات سنگین کروم، آرسنیک، روی و سرب در این بررسی مورد توجه قرار گرفته‌اند. غلظت سرب و روی در نمونه‌های گردوغبار شهر بیرجند در مقایسه با مقدار زمینه بیشتر است که احتمالاً ناشی از فعالیت انسانی و طوفان‌های گردوغبار با منشأ دور است. با این حال، این پژوهش نشان می‌دهد که منبع اصلی انتشار فلزات سنگین در گردوغبار شهر بیرجند، بیشتر به دلیل فعالیت‌های صنعتی و ترافیک شهری، احتراق سوخت‌های فسیلی و همچنین بادهای ۱۲۰ روزه در این منطقه است. به عبارت دیگر، طوفان‌های گردوغبار در شهر بیرجند می‌توانند باعث افزایش غلظت فلزات سنگین در گردوغبار شوند؛ اما منشأ اصلی این آلودگی با فعالیت‌های انسانی مرتبط است. باتوجه به نتایج ارزیابی خطر سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی فلزات سنگین در گردوغبار خیابانی شهر بیرجند، مشخص شد که فلزات سنگین دارای میزان خطر متفاوتی هستند و کودکان بیشتر در معرض خطر این فلزات قرار دارند. در هر دو گروه سنی، کروم و آرسنیک دارای بیشترین خطر سرطان‌زایی و سرب دارای کمترین خطر می‌باشد. همچنین، فلزات سنگین در گردوغبار شهر بیرجند دارای خطر غیرسرطان‌زایی هم هستند. بررسی‌ها نشان داد که ورود فلزات بررسی‌شده به بدن در رده سنی کودکان نسبت به بزرگسالان خطر بیشتری داشته و این خطر برای دو عنصر کروم و آرسنیک بیشتر از سرب است. با این حال، لازم به یادآوری است که این مطالعه دارای محدودیت‌هایی است و برای تحلیل دقیق‌تر باید خصوصیت‌های فیزیکی، شیمیایی و کانی‌شناسی گردوغبار، توزیع مکانی فلزات سنگین و فاکتورهای اقلیمی نیز اندازه‌گیری شوند. باتوجه به اینکه طوفان‌های گردوغبار می‌توانند بار فلزات سنگین را از منابع مختلف به هوا برده و به مناطق دیگر منتقل کنند، بررسی تأثیرات آن‌ها بر روی غلظت فلزات سنگین در مناطق دیگر نیز ضروری است. برای کاهش اثرات آلاینده‌های هوایی، باید اقداماتی برای کاهش ترافیک شهری و استفاده از سوخت‌های دوستدار محیط طبیعی مورد توجه قرار گیرند و همچنین در خصوص کانون‌های برداشت فرسایش بادی در مسیر باد غالب منطقه مطالعات بیشتر صورت گرفته و در صورت لزوم به اقدامات و عملیات کنترلی پرداخته شود.

تقدیر و تشکر

بدین وسیله از حمایت مالی دانشگاه زابل به شماره گزنت IR-UOZ0088 در انجام این پژوهش کمال تشکر و قدردانی را داریم.

منابع

- احمدی، زهرا؛ دوستان، رضا؛ مفیدی، عباس. (۱۳۹۵). تحلیل هم‌دیدگی گردوغبار نیمه‌گرم سال در استان خراسان جنوبی، جغرافیای طبیعی، دوره ۸، شماره ۲۹، صص: ۴۱-۶۲.
- امامی، حجت؛ معمارزاده، مهسا. (۱۴۰۱). پایش زمانی رسوبات بادی و بعضی از عناصر سنگین در رسوبات معلق شهرستان طیس، مجله آب و خاک، صص: ۱-۲۵. doi: 10.22067/jsw.2023.78876.1204
- باغی، ملیحه؛ راشکی، علیرضا؛ محمودی قرایی، محمدحسین. (۱۳۹۹). بررسی خصوصیات شیمیایی و کانی‌شناسی گردوغبار ورودی به شمال شرق ایران و پتانسیل بیماری‌زایی آن، جغرافیا و مخاطرات محیطی، دوره ۳۳، صص: ۱۳۹-۱۵۳.
- بهروش، فرزانه؛ محمودی قرایی، محمدحسین؛ قاسم‌زاده، فرشته؛ عوض‌مقدم، سیما. (۱۳۹۴). بررسی آلودگی فلزات سنگین در غبارهای ترافیکی شهر مشهد و تعیین منشأ آن با استفاده از روش استخراج ترتیبی، فصلنامه علمی علوم زمین (زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست، دوره ۲۴، شماره ۹۵، صص: ۱۴۱-۱۵۰.
- جعفری، فریبا؛ خادمی، حسین. (۱۳۹۳). توزیع زمانی و مکانی فلزات سنگین در گردوغبار منطقه شهری کرمان، محیط‌شناسی، دوره ۴۰، شماره ۲، صص: ۳۶۱-۳۷۶.
- خادم مقدم ایگده لو، نادر؛ گلچین، احمد. (۱۳۹۸). ارزیابی خطر آلودگی منابع آب و خاک کشور به آرسنیک، مجله تحقیقات آب و خاک ایران، شماره ۵، دوره ۷، صص: ۱۶۱۲-۱۶۱۷.
- راست‌منش، فاطمه؛ زراسوندی، علیرضا؛ طولابی، معصومه. (۱۴۰۱). بررسی غنی‌شدگی، سمناکی و خطر بوم‌شناختی فلزات سنگین در رسوبات سطحی رودخانه بهمنشیر آبادان، علوم و مهندسی آبیاری، دوره ۴۰، شماره ۱، صص: ۱۲۳-۱۳۷.
- زراسوندی، علیرضا؛ راست‌منش، فاطمه؛ مرادپور، راضیه. (۱۳۹۳). بررسی غلظت فلزات سنگین و سطح آلودگی آن‌ها در گردوغبار خیابان، شهر اهواز. هفتمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، تهران. <https://civilica.com/doc/318962>
- عزیزی، قاسم؛ خوش اخلاق، فرامرز؛ نگاه، سمانه؛ فرید مجتهدی، نیما. (۱۳۹۹). واکاوی الگوی بادهای غالب فصل گرم در دشت‌های ایران مرکزی، هواشناسی و علوم جو، دوره ۳، شماره ۱، صص: ۴۵-۶۲.
- قنوتی، نوید. (۱۳۹۷). ارزیابی خطر فلزات سنگین بر سلامت انسانی در گردوغبار خیابانی شهر آبادان، فصلنامه سلامت و محیط‌زیست، شماره ۱۱، دوره ۱، صص: ۶۳-۷۴.
- موسوی، حوریه سادات؛ پورخیز، علیرضا. (۱۳۹۶). منشایابی ذرات گردوغبار با بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن‌ها در شهرستان بیرجند، فصلنامه زمین‌شناسی محیط زیست، دوره ۱۱، شماره ۳۸، صص: ۱-۹.
- Bai, B., Bai, F., Sun, C., Nie, Q., & Sun, S. (2023); Adsorption mechanism of shell powders on heavy metal ions Pb²⁺/Cd²⁺ and the purification efficiency for contaminated soils. *Frontiers in Earth Science*, 10, p.1071228.
- Banerjee, S., Ghosh, S., Jha, S., Kumar, S., Mondal, G., Sarkar, D., Datta, R., Mukherjee, A., Bhattacharyya, P. (2023); Assessing pollution and health risks from chromite mine tailings contaminated soils in India by employing synergistic statistical approaches. *Science of The Total Environment*, 880, p.163228.
- Bist, P., and Choudhary, S., (2022); Impact of heavy metal toxicity on the gut microbiota and its relationship with metabolites and future probiotics strategy: a review. *Biological Trace Element Research*, 200(12), pp.5328-5350.
- Budi, H.S., Catalan Oplencia, M.J., Afra, A., Abdelbasset, W.K., Abdullaev, D., Majdi, A., Taherian, M., Ekrami, H.A., Mohammadi, M.J. (2022); Source, toxicity and carcinogenic health risk assessment of heavy metals. *Reviews on Environmental Health*, (0).
- Chabukdhara, M., and Nema, A.K. (2013); Heavy metals assessment in urban soil around industrial clusters in Ghaziabad, India: probabilistic health risk approach. *Ecotoxicology and environmental safety*, 87, pp.57-64.

- Cirelli, P., Bilo, F., Tsuji, K., Matsuyama, T., Siviero, G., Pisani, L., Zacco, A., Depero, L.E., Eichert, D., Borgese, L., (2022); Assessment of calibration methods for Pb-loaded aerosol filters analyzed with X-ray fluorescence under grazing incidence. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, 192, p.106414.
- Dehghani, S., Moore, F., Keshavarzi, B., 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, pp.92-103.
- Díaz Rizo, O., Casanova Díaz, A.O., Torres Ramos, A.G., Ramos López, D., (2023); Heavy metals concentration, pollution indexes, and health risk assessment of urban road dust in the historical center of Havana, Cuba. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(2), p.349.
- Ebrahimi, A., Ahmadizadeh, S.R., Rashki, A. R., (2022); Variation of PM10 and its relationship with Dust and Climate in Birjand, Iran. *Desert*, 27(1), pp.97-114.
- Hamza, M., Alam, S., Rizwan, M., Naz, A., (2022); Health Risks Associated with Arsenic Contamination and Its Biotransformation Mechanisms in Environment: A Review. *Hazardous Environmental Micro-pollutants, Health Impacts and Allied Treatment Technologies*, pp.241-288.
- Han, Q., Wang, M., Xu, X., Li, M., Liu, Y., Zhang, C., Li, S., Wang, M., (2023); Health risk assessment of heavy metals in road dust from the fourth-tier industrial city in central China based on Monte Carlo simulation and bioaccessibility. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 252, p.114627.
- Kabir, M.H., Kormoker, T., Shammi, R.S., Tusher, T.R., Islam, M.S., Khan, R., Omor, M.Z.U., Sarker, M.E., Yeasmin, M., Idris, A.M., (2022); A comprehensive assessment of heavy metal contamination in road dust along a hectic national highway of Bangladesh: Spatial distribution, sources of contamination, ecological and human health risks. *Toxin Reviews*, 41(3), pp.860-879.
- Lafta, M.H., Afra, A., Patra, I., Jalil, A.T., Mohammadi, M.J., Baqir Al-Dhalimy, A.M., Ziyadullaev, S., Kiani, F., Ekrami, H.A., Asban, P., (2022); Toxic effects due to exposure heavy metals and increased health risk assessment (leukemia). *Reviews on Environmental Health*, (0).
- Leung, A.O., Duzgoren-Aydin, N.S., Cheung, K.C., Wong, M.H., (2008); Heavy metals concentrations of surface dust from e-waste recycling and its human health implications in southeast China. *Environmental science & technology*, 42(7), pp.2674-2680.
- Liu, X.X., Hu, X., Cao, Y., Pang, W.J., Huang, J.Y., Guo, P., Huang, L., (2019); Biodegradation of phenanthrene and heavy metal removal by acid-tolerant *Burkholderia fungorum* FM-2. *Frontiers in microbiology*, 10, p.408.
- Macias-Corral, M.A., Esquivel-Arriaga, G., Sanchez-Cohen, I., (2020); Potential of wind erosion and dust emission in an arid zone of northern Mexico: A simple assessment method. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 44.
- Miao, F., Zhang, Y., Li, Y., Fang, Q., Zhou, Y., (2022); Implementation of an integrated health risk assessment coupled with spatial interpolation and source contribution: A case study of soil heavy metals from an abandoned industrial area in Suzhou, China. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, pp.1-15.
- Okoro, C.O., Osuji, J.O., Ochekwu, E.B., (2023); Effect of crude oil pollution on heavy metal content and GST gene expression of *Mucuna pruriens*.
- Panqing, Y., Abliz, A., Xiaoli, S., Aisaiduli, H., (2023); Human health-risk assessment of heavy metal-contaminated soil based on Monte Carlo simulation. *Scientific Reports*, 13(1), p.7033.
- Qing X, Yutong Z., Shenggao L., (2015); Assessment of heavy metal pollution and human health risk in urban soils of steel industrial city (Anshan), Liaoning, Northeast China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 120:377-85.
- Rahman, M.S., Kumar, P., Ullah, M., Jolly, Y.N., Akhter, S., Kabir, J., Begum, B.A., Salam, A., (2021); Elemental analysis in surface soil and dust of roadside academic institutions in Dhaka city, Bangladesh and their impact on human health. *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 3, pp.197-208.
- Rahmat, M.A., Ismail, A.F., Rodzi, N.D., Aziman, E.S., Idris, W.M.R., Lihan, T., (2022); Assessment of natural radionuclides and heavy metals contamination to the environment: Case study of Malaysian unregulated tin-tailing processing industry. *Nuclear Engineering and Technology*, 54(6), pp.2230-2243.
- Ravankhah, N., Mirzaei, R., Masoum, S., (2016); Human health risk assessment of heavy metals in surface soil. *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*, 26(136), pp.109-120.
- Wang, X., Qin, Y., Qin, J., Yang, Y., Qi, T., Chen, R., Tan, J., Xiao, K., (2021); The interaction laws of atmospheric heavy metal ions and water-soluble organic compounds in PM_{2.5} based on the excitation-emission matrix fluorescence spectroscopy. *Journal of Hazardous Materials*, 402, p.123497.
- Wei, X., Gao, B., Wang, P., Zhou, H., Lu, J., (2015); Pollution characteristics and health risk assessment of heavy metals in street dust from different functional areas in Beijing, China. *Ecotoxicology and environmental safety*, 112, pp.186-192.
- Yarmoradi, Z., Nasiri, B., Mohammadi, G.H., Karampour, M., (2020); Long-term characteristics of the observed dusty days and its relationship with climatic parameters in East Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(6), p.242.
- Zhang, J., Ge, W., Xing, C., Liu, Y., Shen, X., Zhao, B., Chen, X., Xu, Y., Zhou, S., (2023); Ecological risk assessment of potentially toxic elements in selenium-rich soil with different land-use types. *Environmental Geochemistry and Health*, pp.1-19.
- Zong, Y., Xiao, Q., Malik, Z., Lu, S., (2023); Exploring environmental pollution and Risk Assessment of Heavy Metals in Road Dusts from a Typical Steel-Industrial City (Anshan), Northeastern China. *Water, Air, & Soil Pollution*, 234(1), p.34.

References

References (in Persian)

- Ahmadi, Zahra, Dostan, Reza, Mofidi, Abbas (2015); Synoptic analysis of semi-warm year dust in South Khorasan province. *natural geography*, 8(29): 41-62.
- Azizi, Qasim, Khosh-e-Kahlaq, Faramarz, Nagha, Samaneh, Farid Mojtahedi, Nima (2019); Analyzing the pattern of prevailing winds in the warm season in the plains of central Iran. *Meteorology and Atmospheric Sciences*, 3(1): 45-62. [In Persian]
- Baghi, Maleeha, Rashki, Alireza R., Mahmoudi Qaraei, Mohammad Hossein (2019); Investigation of Chemical and Mineralogical Properties of Dust Entering Northeastern Iran and its Pathogenic Potential. *Geography and environmental hazards*, 33:139-153. [In Persian]
- Behrosh, Farzaneh, Mahmoudi Qaraei, Mohammad Hossein, Qasimzadeh, Fereshte, Awadmoghadam, Sima (2014); Investigating heavy metal contamination in traffic dust of Mashhad city and determining its origin using sequential extraction method. *Scientific Quarterly of Earth Sciences (Engineering Geology and Environment)*, 24(95): 141-150. [In Persian]
- Emami, Hojjat, Memarzadeh, Mahsa, (1401); Spatial Monitoring of Wind Erosion and Some Heavy Metals in Suspended Load of Tabas City. *Water and soil*. doi: 10.22067/jsw.2023.78876.1204. [In Persian]
- Ghanavati, Navid (2017); Assessment of the risk of heavy metals on human health in the street dust of Abadan city, *Health and Environment Quarterly*, 11(1): 63-74. [In Persian]
- Jafari, Fariba, Khademi, Hossein (2013); Temporal and spatial distribution of heavy metals in the dust of urban area of Kerman. *Ecology*. 40(2): 361-376. [In Persian]
- Khadim Moghadam, Igde Lo, Nader, Golchin, Ahmed (2018); Assessing the risk of arsenic contamination of the country's water and soil resources. *Journal of water and soil research in Iran*. 5(7): 1612-1617. [In Persian]
- Mousavi, Horiya, Sadat, Pourkhabaz, Alireza (2016); Origin of dust particles by examining their physical and chemical properties in Birjand city. *Environmental Geology Quarterly*, 11(38): 1-9. [In Persian]
- Rast Menesh, Fatemeh, Zarasundi, Alireza, Tulabi, Masoumeh (1401); Investigation of enrichment, toxicity, and ecological risk of heavy metals in Bahmanshir River surface. *Irrigation science and engineering*. 40(1): 123-137. [In Persian]
- Zarasundi, Alireza, Rast Menesh, Fatemeh, Muradpour, Raziieh (2013); Investigating the concentration of heavy metals and their pollution levels in the street dust, Ahvaz city. The 7th national conference and specialized exhibition of environmental engineering. Tehran. [In Persian]

References (in English)

- Bai, B., Bai, F., Sun, C., Nie, Q., & Sun, S, (2023); Adsorption mechanism of shell powders on heavy metal ions Pb²⁺/Cd²⁺ and the purification efficiency for contaminated soils. *Frontiers in Earth Science*, 10, p.1071228.
- Banerjee, S., Ghosh, S., Jha, S., Kumar, S., Mondal, G., Sarkar, D., Datta, R., Mukherjee, A., Bhattacharyya, P. (2023); Assessing pollution and health risks from chromite mine tailings contaminated soils in India by employing synergistic statistical approaches. *Science of The Total Environment*, 880, p.163228.
- Bist, P., and Choudhary, S., (2022); Impact of heavy metal toxicity on the gut microbiota and its relationship with metabolites and future probiotics strategy: a review. *Biological Trace Element Research*, 200(12), pp.5328-5350.
- Budi, H.S., Catalan Oplencia, M.J., Afra, A., Abdelbasset, W.K., Abdullaev, D., Majdi, A., Taherian, M., Ekrami, H.A., Mohammadi, M.J, (2022); Source, toxicity and carcinogenic health risk assessment of heavy metals. *Reviews on Environmental Health*, (0).
- Chabukdhara, M., and Nema, A.K, (2013); Heavy metals assessment in urban soil around industrial clusters in Ghaziabad, India: probabilistic health risk approach. *Ecotoxicology and environmental safety*, 87, pp.57-64.
- Cirelli, P., Bilo, F., Tsuji, K., Matsuyama, T., Siviero, G., Pisani, L., Zacco, A., Depero, L.E., Eichert, D., Borgese, L, (2022); Assessment of calibration methods for Pb-loaded aerosol filters analyzed with X-ray fluorescence under grazing incidence. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, 192, p.106414.
- Dehghani, S., Moore, F., Keshavarzi, B., 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, pp.92-103.
- Díaz Rizo, O., Casanova Díaz, A.O., Torres Ramos, A.G., Ramos López, D, (2023); Heavy metals concentration, pollution indexes, and health risk assessment of urban road dust in the historical center of Havana, Cuba. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(2), p.349.
- Ebrahimi, A., Ahmadizadeh, S.R, Rashki, A. R, (2022); Variation of PM₁₀ and its relationship with Dust and Climate in Birjand, Iran. *Desert*, 27(1), pp.97-114.
- Hamza, M., Alam, S., Rizwan, M., Naz, A., (2022); Health Risks Associated with Arsenic Contamination and Its Biotransformation Mechanisms in Environment: A Review. *Hazardous Environmental Micro-pollutants, Health Impacts and Allied Treatment Technologies*, pp.241-288.

- Han, Q., Wang, M., Xu, X., Li, M., Liu, Y., Zhang, C., Li, S., Wang, M., (2023); Health risk assessment of heavy metals in road dust from the fourth-tier industrial city in central China based on Monte Carlo simulation and bioaccessibility. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 252, p.114627.
- Kabir, M.H., Kormoker, T., Shammi, R.S., Tusher, T.R., Islam, M.S., Khan, R., Omor, M.Z.U., Sarker, M.E., Yeasmin, M., Idris, A.M., (2022); A comprehensive assessment of heavy metal contamination in road dust along a hectic national highway of Bangladesh: Spatial distribution, sources of contamination, ecological and human health risks. *Toxin Reviews*, 41(3), pp.860-879.
- Lafta, M.H., Afra, A., Patra, I., Jalil, A.T., Mohammadi, M.J., Baqir Al-Dhalimy, A.M., Ziyadullaev, S., Kiani, F., Ekrami, H.A., Asban, P., (2022); Toxic effects due to exposure heavy metals and increased health risk assessment (leukemia). *Reviews on Environmental Health*, (0).
- Leung, A.O., Duzgoren-Aydin, N.S., Cheung, K.C., Wong, M.H., (2008); Heavy metals concentrations of surface dust from e-waste recycling and its human health implications in southeast China. *Environmental science & technology*, 42(7), pp.2674-2680.
- Liu, X.X., Hu, X., Cao, Y., Pang, W.J., Huang, J.Y., Guo, P., Huang, L., (2019); Biodegradation of phenanthrene and heavy metal removal by acid-tolerant *Burkholderia fungorum* FM-2. *Frontiers in microbiology*, 10, p.408.
- Macias-Corral, M.A., Esquivel-Arriaga, G., Sanchez-Cohen, I., (2020); Potential of wind erosion and dust emission in an arid zone of northern Mexico: A simple assessment method. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 44.
- Miao, F., Zhang, Y., Li, Y., Fang, Q., Zhou, Y., (2022); Implementation of an integrated health risk assessment coupled with spatial interpolation and source contribution: A case study of soil heavy metals from an abandoned industrial area in Suzhou, China. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, pp.1-15.
- Okoro, C.O., Osuji, J.O., Ochekwu, E.B., (2023); Effect of crude oil pollution on heavy metal content and GST gene expression of *Mucuna pruriens*.
- Panqing, Y., Abliz, A., Xiaoli, S., Aisaiduli, H., (2023); Human health-risk assessment of heavy metal-contaminated soil based on Monte Carlo simulation. *Scientific Reports*, 13(1), p.7033.
- Qing X, Yutong Z., Shenggao L., (2015); Assessment of heavy metal pollution and human health risk in urban soils of steel industrial city (Anshan), Liaoning, Northeast China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 120:377-85.
- Rahman, M.S., Kumar, P., Ullah, M., Jolly, Y.N., Akhter, S., Kabir, J., Begum, B.A., Salam, A., (2021); Elemental analysis in surface soil and dust of roadside academic institutions in Dhaka city, Bangladesh and their impact on human health. *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 3, pp.197-208.
- Rahmat, M.A., Ismail, A.F., Rodzi, N.D., Aziman, E.S., Idris, W.M.R., Lihan, T., (2022); Assessment of natural radionuclides and heavy metals contamination to the environment: Case study of Malaysian unregulated tin-tailing processing industry. *Nuclear Engineering and Technology*, 54(6), pp.2230-2243.
- Ravankhah, N., Mirzaei, R., Masoum, S., (2016); Human health risk assessment of heavy metals in surface soil. *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*, 26(136), pp.109-120.
- Wang, X., Qin, Y., Qin, J., Yang, Y., Qi, T., Chen, R., Tan, J., Xiao, K., (2021); The interaction laws of atmospheric heavy metal ions and water-soluble organic compounds in PM_{2.5} based on the excitation-emission matrix fluorescence spectroscopy. *Journal of Hazardous Materials*, 402, p.123497.
- Wei, X., Gao, B., Wang, P., Zhou, H., Lu, J., (2015); Pollution characteristics and health risk assessment of heavy metals in street dust from different functional areas in Beijing, China. *Ecotoxicology and environmental safety*, 112, pp.186-192.
- Yarmoradi, Z., Nasiri, B., Mohammadi, G.H., Karampour, M., (2020); Long-term characteristics of the observed dusty days and its relationship with climatic parameters in East Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(6), p.242.
- Zhang, J., Ge, W., Xing, C., Liu, Y., Shen, X., Zhao, B., Chen, X., Xu, Y., Zhou, S., (2023); Ecological risk assessment of potentially toxic elements in selenium-rich soil with different land-use types. *Environmental Geochemistry and Health*, pp.1-19.
- Zong, Y., Xiao, Q., Malik, Z., Lu, S., (2023); Exploring environmental pollution and Risk Assessment of Heavy Metals in Road Dusts from a Typical Steel-Industrial City (Anshan), Northeastern China. *Water, Air, & Soil Pollution*, 234(1), p.34.