

Health risk assessment of heavy metals in urban street dust (Case study: Borazjan city)

Received: 31 August 2024, Accepted: 22 September 2024

Forouzan Soleimanipour¹, Hamid Reza Pourkhabbaz^{2*}

¹ Master's graduate, Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources and Environment, Behbahan Khatam Al AL-Anbia University of Technology, Behbahan, Iran

² Associate Professor, Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources and Environment, Behbahan Khatam Al AL-Anbia University of Technology, Behbahan, Iran

*Corresponding Author:
pourkhabbaz@yahoo.com

How to Cite This Article:

Soleimanipour F, Pourkhabbaz HR. Health risk assessment of heavy metals in urban street dust (Case study: Borazjan city). Journal of Environmental Health Engineering. 2024;12(1):103-16.

DOI:

[10.61186/jehe.12.1.103](https://doi.org/10.61186/jehe.12.1.103)

ABSTRACT

Background: Since air pollution has always been one of the significant human problems and the effects of dust on human communities are evident, this study aimed to determine the concentration of heavy metals in dust in the urban area of Borazjan and to evaluate the health risk for the residents of this city.

Materials and Methods: This research was conducted in the summer of 2021, with the collection of dust from the main streets of Borazjan city randomly. The samples were dried and sieved after collection from the street surface and were prepared using a digestion method with four acids (HCl: HNO₃: HF: HClO₄, 3:1:3:1). They were then analyzed by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS). After determining the concentrations of heavy metals, the health risk assessment was carried out for children and adults through three exposure pathways: ingestion, inhalation, and dermal contact.

Results In this study, the average concentrations of metals were determined as follows: Cu (58.4), Zn (178.06), Fe (14694.86), Ni (30.03), Cr (55.73), Cd (0.23), Pb (60.53), and As (3.88) mg/kg. Additionally, the results of the health risk assessment showed that the health risk for non-carcinogenic effects (HI) in children ranged from 10⁻¹ to 10⁻³, and in adults, it ranged from 10⁻² to 10⁻⁴ (HI > 1). The carcinogenicity (CR) of these metals was in the range of 10⁻⁵ to 10⁻¹¹.

Conclusion: Overall, the levels of non-carcinogenic health risk as well as the assessment of carcinogenic risk for both children and adults are within the safe range. Moreover, the carcinogenicity of chromium and nickel is within the controlled pollution range (10⁻⁴ to 10⁻⁶) and does not pose a significant risk to the health of residents regarding cancer diseases.

Keywords: Street dust, Heavy metals, Carcinogenic risk assessment, Borazjan city

ارزیابی ریسک سلامت ناشی از فلزات سنگین در گردوغبار خیابانی شهری (مطالعه موردی: شهر برازجان)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۰۱

فروزان سلیمانی پور^۱، حمیدرضا پورخباز^{۲*}

^۱ فارغ التحصیل کارشناسی ارشد، گروه مهندسی علوم محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان،

بهبهان، ایران

^۲ دانشیار، گروه مهندسی علوم محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان، بهبهان، ایران

چکیده

زمینه و هدف: از آنجایی که آلودگی هوا همواره یکی از مشکلات مهم بشری بوده و اثرات حاصل از گردوغبار آن بر روی جوامع انسانی مشهود می‌باشد، لذا تحقیق حاضر با هدف تعیین غلظت فلزات سنگین گردوغبار در منطقه شهری برازجان و با ارزیابی ریسک سلامت ساکنین این شهر انجام شد.

مواد و روش‌ها: این پژوهش در فصل تابستان سال ۱۴۰۰، با جمع‌آوری گردوغبار از سطح خیابان‌های اصلی شهر برازجان به صورت تصادفی انجام شد. نمونه‌ها پس از جمع‌آوری از سطح خیابان، خشک و الک شدند و پس از آماده‌سازی به روش انحلال توسط چهار اسید (HCl:HNO₃:HF:HClO₄, 3:1:3:1) هضم اسیدی، توسط دستگاه طیف سنجی جفت‌شده القایی (ICP-MS) آنالیز گردیدند. بعد از تعیین غلظت فلزات سنگین، ارزیابی ریسک سلامت آن‌ها در گروه‌های کودکان و بزرگسالان از سه مسیر بلع، استنشاق و تماس پوستی صورت پذیرفت.

یافته‌ها: در این تحقیق، میانگین غلظت فلزات مس (۵۸/۴)، روی (۱۷۸/۰۶)، آهن (۱۴۶۹۴/۸۶)، نیکل (۳۰/۰۳)، کروم (۵۵/۷۳)، کادمیوم (۰/۲۳)، سرب (۶۰/۵۳) و آرسنیک (۳/۸۸) میلی‌گرم بر کیلوگرم تعیین شد. در ضمن، نتایج ارزیابی ریسک سلامت نشان می‌دهد که میزان ریسک سلامت غیرسرطانی ((HI) فلزات در گروه کودکان بین ۱- تا ۳-۱۰ و در بزرگسالان بین ۲- تا ۴-۱۰ می‌باشد (<1 HI، و مقدار سرطان‌زایی (CR)) این فلزات در محدوده ۵-۱۰ تا ۱۱-۱۰ قرار دارد.

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی، میزان ریسک سلامت غیرسرطانی و همچنین ارزیابی ریسک سرطانی در دو گروه کودکان و بزرگسالان در محدوده بی‌خطر قرار دارد، همچنین مقدار سرطان‌زایی فلزات کروم و نیکل در محدوده با آلودگی تحت کنترل (۱-۶-۱۰-۴) می‌باشد و خطر قابل توجهی از نظر بیماری‌های سرطانی، سلامت ساکنین را تهدید نمی‌کند.

واژه‌های کلیدی: گردوغبار خیابانی، فلزات سنگین، ارزیابی ریسک سرطانی، شهر برازجان

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول:

pourkhabbaz@yahoo.com

نحوه استناد به این مقاله:

Soleimanipour F, Pourkhabbaz HR. Health risk assessment of heavy metals in urban street dust (Case study: Borazjan city). Journal of Environmental Health Engineering. 2024;12(1):103-16.

DOI:

10.61186/jehe.12.1.103

مقدمه

فضای منطقه را می‌دهد. از جمله عواملی که در آلودگی هوای شهر دخیل هستند می‌توان به انتشار ذرات خاک در هوا و افزایش میزان گردوغبار، ترافیک وسایل نقلیه، فعالیت کارخانه‌ها و کارگاه‌های صنعتی پراکنده پیرامون شهر اشاره نمود، به طوری که برخی از مناطق شهر دارای بیشترین آلودگی‌های صنعتی هستند. لذا با توجه به وضعیت آلودگی هوای شهر، اندازه‌گیری و ارزیابی گردوغبار سطح شهری از نظر شاخص سلامت انسانی، ضروری می‌باشد، زیرا که این امر می‌تواند اطلاعات مهمی از وضعیت کیفیت محیط‌زیست منطقه و نیز سلامت شهروندان را ارائه نماید.

مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه

شهر برازجان (مرکز شهرستان دشتستان) با مساحت حدود ۱۵۳۸ کیلومتر مربع و مختصات جغرافیایی ۲۹ درجه و ۱۵ دقیقه و ۲۹ ثانیه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۱۲ دقیقه و ۲۹ ثانیه طول شرقی در ۶۵ کیلومتری شمال شرق بندر بوشهر، در سر راه ارتباطی و بازرگانی شهرهای شیراز به بوشهر واقع شده است. جمعیت این شهر در سال ۱۳۹۵ برابر با ۱۱۰۵۶۷ نفر بود که از این نظر دومین شهر بزرگ استان بوشهر می‌باشد. این شهر با میانگین بارندگی سالانه ۲۶۲ میلی‌متر و میانگین دمای ۲۷/۹ درجه‌ی سانتی‌گراد، دارای اقلیم بیابانی گرم و خشک می‌باشد.

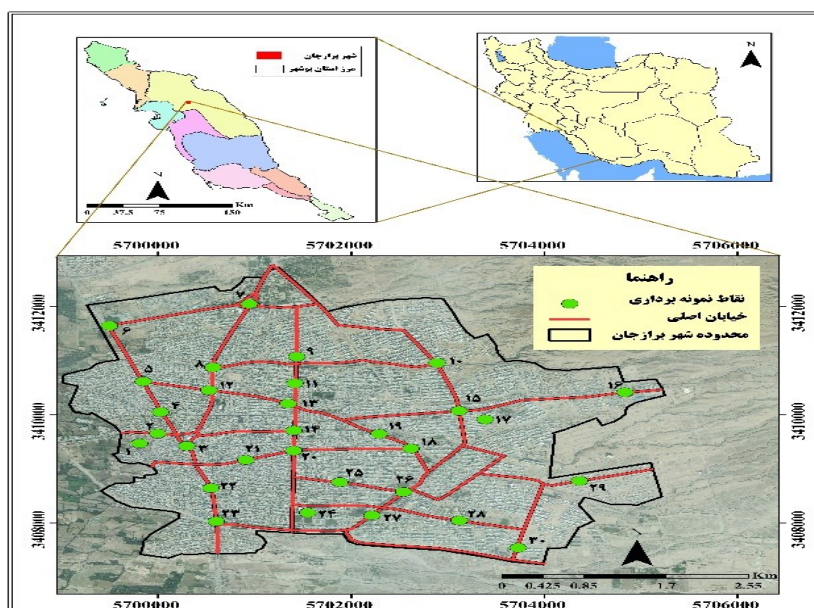
روش نمونه‌برداری

با استفاده از توزیع سیستماتیک نمونه‌برداری، محل‌های پیشنهادی در منطقه مورد مطالعه تعیین شد و سپس با اصلاح موقعیت محل‌های نمونه‌برداری، برخی نمونه‌های نامناسب از نظر موقعیت برداشت نمونه حذف گردیدند، سپس جهت تعیین مختصات جغرافیایی (UTM) هریک از نقاط، از دستگاه سیستم موقعیت جغرافیایی (GPS) استفاده شد. در مجموع ۳۰ نقطه از خیابان‌های سطح شهر برای نمونه‌برداری انتخاب شد به طوری که کل منطقه را

مهاجرت‌های بی‌وقفه روستائیان به شهرها، در نتیجه رشد بی‌رویه جمعیت مناطق شهری و روند شتابان صنعتی-شدن شهرها در سال‌های اخیر، پیامدهای مخربی بر کیفیت محیط‌زیست داشته است^۱. در این راستا، گردوغبارهای خیابانی در مناطق شهری، به عنوان شاخص آلودگی فلزات سنگین ناشی از رسوبات اتمسفری می‌باشد و سهم قابل توجهی در آلودگی محیط‌زیست شهری دارد، به طوری که افزایش غلظت فلزات سنگین موجود در آن‌ها تا سطوح سمی، می‌تواند بر سلامت جمعیت مناطق شهری تأثیرگذار باشد. آلودگی فلزات سنگین، با توسعه صنعتی‌شدن و شهرنشینی سریع، در طی دو دهه گذشته به یک مشکل جدی زیست‌محیطی در گردوغبار جاده‌ای و شهری و خاک اراضی کشاورزی تبدیل شده است^۲. در این میان، گردوغبارهای شهری به عنوان حامل فلزات سنگین، شاخصی مهم برای توصیف کیفیت مناطق شهری می‌باشد^۳. فلزات سنگین موجود در این گردوغبارها، ممکن است تهدیدهای اکولوژیکی و بهداشتی فراوانی ایجاد کنند و به دلیل اثراتی نظیر سمی بودن، تداوم طولانی مدت و ویژگی بزرگنمایی زیستی حتی در غلظت‌های کم، توجه گسترده‌ای را به خود معطوف سازند. مهمترین فلزات سنگین موجود در گردوغبار خیابان‌ها شامل نیکل، روی، سرب، کادمیوم و کروم می‌باشد، که خطر سلامتی بیشتری برای کودکان به دلیل حساسیت بالا نسبت به سموم و همچنین مصرف ناخواسته آن‌ها، به دنبال دارد، به علاوه مقادیر قابل توجهی از این ریزگردها می‌تواند از طریق مسیرهای تنفسی و دهان وارد بدن کودکان شوند، بنابراین خطر سلامتی در آن‌ها به نسبت بزرگسالان بیشتر است. به همین دلیل، تشخیص سطح آلودگی و ارزیابی ریسک سلامت مرتبط با فلزات سنگین در ریزگرد سطوح خیابان‌های شهری امری ضروری است. ارزیابی ریسک سلامت انسان، فرآیندی جهت تخمین اثرات احتمالی بر سلامت انسان می‌باشد^۴. وجود اراضی وسیع و خاکی در شهر برازجان احتمال رخداد افزایش ذرات گردوغبار در

تقریبی هر نمونه ترکیبی (مخلوط ۳ نمونه با هم، با فاصله ۵۰ تا ۱۰۰m) ۳۰۰ گرم می‌باشد. ذرات گردوغبار در کیسه‌های پلی اتیلنی مخصوص نمونه‌برداری قرار گرفته و بعد از شماره‌گذاری برای انجام آنالیزها به آزمایشگاه منتقل شدند. همچنین برای مقایسه غلظت نمونه‌ها با خاک منطقه، دو نمونه خاک زمینه از عمق یک متر در مناطق دست نخورده برداشت شد.

پوشش دهد. این نقاط مناطقی با کارکردهای مختلف از جمله مناطق مسکونی، تجاری، خدماتی، کارخانه مواد غذایی، میادین شهر و پارک‌ها و همچنین نقاط پرتراфик را شامل شد (شکل ۱). نمونه‌ها در طی یک هفته و در فصل خشک و بدون بارش (شهریورماه)، با رعایت تمام استانداردهای ارائه شده (عدم استفاده از هر گونه ابزار فلزی) با کمک برس‌های قلمی پلاستیکی و کاغذ از کنار آسفالت خیابان‌ها و کنار دیوارها برداشت و جمع‌آوری گردیدند. وزن



شکل ۱. موقعیت شهر برازجان در استان بوشهر و نقاط نمونه‌برداری گردوغبار

میکرومتری عبور داده شدند. سپس حدود ۰/۲۵ گرم از هر نمونه خشک و الک شده، به روش انحلال توسط چهاراسید ($HCl:HNO_3:HF:HClO_4$, 3:1:3:1) آماده‌سازی شدند و در نتیجه هضم اسیدی با دستورالعمل EPA 3050B انجام گرفت. بعد از مراحل هضم، محلول به دست آمده با آب مقطر دوبار تقطیر به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شد و سپس توسط کاغذ صافی ۱۰۲ هرگونه مواد معلق یا کدورت حذف گردید. در ادامه با تزریق یک میلی‌لیتر نمونه به دستگاه طیف‌سنج پلاسمای جفت شده-ICP (MS, ELAN DRC-e, Perkin Elmer

روش آماده‌سازی نمونه‌ها

نمونه‌ها در آزمایشگاه با دستگاه آون در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد طی مدت ۲۴ ساعت خشک شدند. برای اطمینان از عدم بروز خطاهای اندازه‌گیری و محاسبه غلظت-ها، نمونه‌ها در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد، در یخچال نگه‌داری گردیدند. از آنجایی که ذرات با قطر کمتر از ۶۳ میکرومتر به آسانی در هوا معلق و پخش می‌گردند و احتمال ورودشان به سیستم تنفسی بیشتر می‌باشد و در نتیجه باعث بیماری‌زایی می‌شوند^۷، لذا تمامی نمونه‌ها به همراه نمونه‌های شاهد (از نقاط دست نخورده) در آزمایشگاه از الک ۶۳

هر پارامتر ارزیابی خطر در جدول (۱) آمده است. پس از محاسبه مقدار جذب روزانه فلزات برای هر یک از مسیرها، خطر غیر سرطان‌زایی (HQ) کل مسیرها برای هر دو گروه کودکان و بزرگسالان از طریق مجموع میزان ADD هر مسیر بر مقدار سمیت آن فلز، تعیین شد.^۱

معادله ۴

$$HI = \sum HQ_i = \sum \frac{ADD_i}{RfD_i}$$

HQ: خطر غیر سرطان‌زایی فلزات (میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز)، ADD_i دوز عنصر A_i ، RfD_i دوز عنصر مرجع در جدول (۲) مقادیر سمیت مرجع (RfD) و فاکتور شیب سرطان (CSF) برای فلزات آورده شده است. اگر $HQ > 1$ باشد، سلامت انسان به خطر می‌افتد و در $HQ \leq 1$ اثرات غیر سرطانی بر سلامت انسان وجود ندارد.^۷

معادله ۵

$$HI = \sum HQ$$

مقدار شاخص خطر تجمعی غیرسرطان‌زایی (HI) کل فلزات برای هر دو گروه بزرگسالان و کودکان بر اساس معادله (۵) محاسبه می‌شود. در این معادله اگر $HI < 1$ باشد اثرات غیرسرطان‌زایی کم است، و مقدار HI بین ۱-۴ دارای اثرات غیرسرطان‌زایی متوسط و $HI > 1$ ، خطر غیر سرطان‌زایی بالایی دارد.^۷

SCIEX,USA) خوانش فلزات صورت گرفت. برای کنترل کیفیت (QC) و تضمین کیفیت (QA) نمونه‌ها، از نمونه‌های شاهد و با تکرار ۱۵ درصد از نمونه‌ها (با دقت زیر ۵ درصد) استفاده گردید.^{۵۸}

مدل ارزیابی ریسک سلامت

مدل ارزیابی ریسک سلامت انسان به فلزات سنگین موجود در گردوغبار خیابان‌ها براساس مدل ارائه شده توسط آژانس حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده (USEPA 1996) است.^۸ در این مدل، به بررسی در معرض قرارگیری انسان با فلزات سنگین از طریق سه مسیر جذب شامل بلع، تنفس و جذب پوستی پرداخته شده است. برای این منظور مقادیر جذب روزانه فلزات (ADD) در هر سه مسیر جذب با استفاده از معادلات (۱ تا ۳) محاسبه شد.^۹

معادله ۱

$$ADD_{ing} = \frac{C \times IngR \times CF \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

معادله ۲

$$ADD_{inh} = \frac{C \times InhR \times EF \times ED}{PEF \times BW \times AT}$$

معادله ۳

$$ADD_{Dermal} = \frac{C \times SA \times SL \times ABS \times EF \times EDF}{BW \times AT} \times 10^{-6}$$

در این محاسبات پارامترهای ADD_{Dermal} ، ADD_{Inh} و ADD_{ing} به ترتیب میانگین جذب روزانه فلزات (میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز) از طریق بلع، تنفس و جذب پوستی، و C غلظت فلزات در گردوغبار (mg/kg) است. جزئیات

جدول ۱. پارامترهای استفاده شده در معادلات ارزیابی خطر و تعریف واحدهای هر پارامتر

| پارامتر | تعریف | واحد | بزرگسالان | کودکان | منبع |
|------------------|---|----------------------------|----------------------|----------------------|------|
| C | غلظت فلزات گردوغبار | میلی گرم بر کیلوگرم | | | ۷ |
| IngR | نرخ مواجهه به صورت بلع | میلی گرم بر روز | ۱۰۰ | ۲۰۰ | ۷ |
| InhR | نرخ مواجهه به صورت تنفس | مترمکعب بر روز | ۲۰ | ۷/۶۳ | ۷ |
| EF | فراوانی روزهای قرارگیری در معرض فلزات | روز بر سال | ۳۵۰ | ۳۵۰ | ۱۲ |
| ED | مدت قرارگیری در معرض فلزات | سال | ۲۴ | ۶ | ۱۲ |
| BW | وزن بدن | کیلوگرم | ۷۰ | ۱۵ | ۱۲ |
| AT | میانگین مدت زمان قرارگیری در معرض فلزات برای غیر سرطانزایی | روز | ۳۶۵×ED | ۳۶۵×ED | ۱۲ |
| AT can | میانگین مدت زمان قرارگیری در معرض فلزات برای سرطان زایی | روز | ۳۶۵×۷۰ | ۳۶۵×۷۰ | ۱۲ |
| CF | فاکتور تبدیل | کیلوگرم بر میلی گرم | ۱×۱۰ ^{-۶} | ۱×۱۰ ^{-۶} | ۱۲ |
| PEF | فاکتور انتشار ذرات به هوا | مترمکعب بر کیلوگرم | ۱/۳۶×۱۰ ^۹ | ۱/۳۶×۱۰ ^۹ | ۱۲ |
| SA | ناحیه‌ای از سطح پوست قرار گرفته در معرض گردوغبار | سانتی مترمربع | ۵۸۰۰ | ۲۸۰۰ | ۱۲ |
| SL | فاکتور چسبندگی ذرات گردوغبار به پوست | میلی گرم بر سانتی مترمربع | ۰/۲ | ۰/۰۷ | ۷ |
| ABS | فاکتور جذب سطحی به پوست | - | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۱ | ۱۲ |
| R _F D | مقدار دوز مرجع فلزات | میلی گرم بر کیلوگرم در روز | | | ۷ |
| CSF | فاکتور احتمال ابتلا سرطان زایی در هر واحد اندازه گیری فلزات | میلی گرم بر کیلوگرم در روز | | | ۷ |

ارزیابی خطر سرطانزایی فلزات (CR) و خطر تجمعی سرطانزایی (Total Risk)

ارزیابی خطر سرطانزایی فلزات (CR) برای هر یک از مسیرهای سه گانه با استفاده از معادلات (۶ و ۷) محاسبه می‌شود.^{۱۱}

معادله ۶

$$CR = \sum ADD_i \times CSF_i$$

معادله ۷

$$TotalRisk = CF_{derm} \times ADD_{derm} + CF_{inha} \times ADD_{inha} + CF_{ing} \times ADD_{ing}$$

در معادله فوق، CR ریسک خطر سرطانزایی، ADD_i مقادیر جذب روزانه فلزات در هر یک از مسیرهای قرارگیری در معرض فلزات (میلی گرم بر کیلوگرم در روز) و CSF_i فاکتور احتمال ابتلا به سرطان در هر واحد قرار-گیری در معرض فلزات است. مجموع خطر سرطانی زایی (CR) فلزات سرطانزا (کروم، نیکل، آرسنیک، کادمیوم و سرب) در هر سه مسیر بلع، تماس پوستی و استنشاق، برای هر دو گروه سنی کودکان و بزرگسالان، با استفاده از خطر تجمعی سرطانزایی تعیین می‌شود.^{۱۱}

جدول ۲. مقادیر دوزهای مرجع و فاکتورهای شیب فلزات (mg/kg.day)^{۱۴،۱۳،۱۲}

| فلزات سمی | R _f D _{ing} | R _f D _{inh} | R _f D _{derm} | CSF |
|-----------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|---|
| آرسنیک | ۳/۰۰×۱۰ ^{-۴} | ۳/۰۱×۱۰ ^{-۴} | ۱/۲۳×۱۰ ^{-۴} | ۱۵/۱۰ (SF _{inh}) ۱/۵۰ (SF _{ing}) ۳/۶۶ (SF _{derm}) |
| کادمیوم | ۱×۱۰ ^{-۳} | ۱×۱۰ ^{-۳} | ۱×۱۰ ^{-۵} | ۶/۵ (SF _{inh}) ۶/۱ (SF _{ing}) |
| نیکل | ۲×۱۰ ^{-۲} | ۲×۱۰ ^{-۶} | ۲/۰۶×۱۰ ^{-۲} | ۰/۸۴ (SF _{inh}) ۰/۹۱ (SF _{ing}) |
| کروم | ۳/۰۰×۱۰ ^{-۳} | ۲/۸۶×۱۰ ^{-۵} | ۶/۰۰×۱۰ ^{-۵} | ۴۲ (SF _{inh}) ۰/۵ (SF _{ing}) |
| سرب | ۳×۱۰ ^{-۳} | ۳/۵۲×۱۰ ^{-۳} | ۵/۲۵×۱۰ ^{-۴} | ۰/۰۰۸۵ (SF _{ing}) ۰/۰۴۲ (SF _{inh}) |

یافته‌ها

تحلیل آماری غلظت فلزات سنگین در گردوغبار خیابانی شهر برازجان تجزیه و تحلیل آماری غلظت فلزات سنگین گردوغبار شهر برازجان با استفاده از نرم افزار Excel و IMB SPSS statistics ورژن ۲۶ انجام شد. در این تحقیق میانگین غلظت فلزات، مقدار کمینه، مقدار بیشینه، انحراف معیار، ضریب تغییرات، کشیدگی، چولگی و همچنین نرمال بودن داده‌ها براساس آزمون شاپیرو ویلک (Shapiro-Wilk Test) برای هشت فلز آهن، سرب، روی، کروم، کادمیوم، مس، آرسنیک و نیکل بررسی شد (جدول ۳). آزمون شاپیرو ویلک نشان می‌دهد؛ مقدار p-value (سطح معنی‌داری) برای تمامی فلزات به صورت $P > 0/5$ می‌باشد، در نتیجه تمامی داده‌ها از توزیع نرمال تبعیت می‌کنند^{۱۵} و^{۱۶}. نتایج میانگین غلظت فلزات سنگین نشان می‌دهد که کمترین غلظت مربوط به فلز کادمیوم (۰/۲۳ mg/kg) و بیشترین میانگین غلظت مربوط به فلز آهن (۱۴۶۹۴/۸۶ mg/kg) است. سیر نزولی غلظت فلزات سنگین به صورت آهن < روی < مس < سرب < کروم < نیکل < آرسنیک < کادمیوم

مشاهده می‌شود. مقایسه میانگین غلظت فلزات با غلظت زمینه نشان‌دهنده این است که غلظت میانگین تمام فلزات بیشتر از زمینه می‌باشد. انحراف معیار زیاد هر فلز نمایانگر این موضوع است که گستره تغییرات آن فلز در گردوغبار شهر وسیع می‌باشد، که در این مطالعه بیشترین انحراف معیار مربوط به فلز آهن (۲۹۴۱/۳۵) و کم‌ترین انحراف معیار مربوط به فلز کادمیوم (۰/۰۶۱) می‌باشد. با استفاده از ضریب تغییرات (CV)، می‌توان درجه پراکندگی و تغییرپذیری غلظت فلزات گردوغبار را اندازه‌گیری نمود. در صورتی‌که ضریب تغییرات کمتر و مساوی ۲۰ درصد ($CV \leq 20\%$) باشد، درجه تغییرات غلظت فلزات اندک، ضریب تغییرات بین ۲۱-۵۰ درصد ($21\% \leq CV \leq 50\%$)، درجه تغییرات غلظت فلزات متوسط، ضریب تغییرات بین ۵۱-۱۰۰ درصد ($51\% \leq CV \leq 100\%$)، درجه تغییرپذیری غلظت فلزات در حد زیاد و اگر CV بیشتر از ۱۰۰٪ بود، نشان‌دهنده بی‌نهایت بودن درجه تغییرات غلظت فلزات می‌باشد^{۱۳}. که در این تحقیق غلظت فلزات کروم، آهن و نیکل در محدوده تغییرات کم، غلظت فلزات کادمیوم، روی، سرب در محدوده تغییرات متوسط و غلظت فلز مس با ۵۶ درصد تغییر در محدوده با

تغییرات زیاد قرار دارند. ضمناً، برای یک توزیع نرمال مقدار کشیدگی برابر ± 3 و چولگی برابر صفر می‌باشد. در حالت کلی چنانچه چولگی و کشیدگی در بازه (۲- تا ۲+) قرار داشته باشد، داده‌ها از توزیع نرمال برخوردار هستند^{۱۵}. در این تحقیق میزان میانگین چولگی و کشیدگی برای همه عناصر مثبت و در محدوده نرمال (۲- تا ۲+) قرار دارد.

جدول ۳. خلاصه آماری غلظت فلزات سنگین در گردوغبار خیابانی شهربرازجان (mg/kg)

| عنصر | میانگین | حداقل | حداکثر | ضرب تغییرات (درصد) | انحراف معیار | چولگی | کشیدگی | غلظت زمينه | *S-W Sig. |
|---------|----------|-------|--------|--------------------|--------------|-------|--------|------------|-----------|
| کروم | ۵۵/۷۳ | ۴۲ | ۷۷ | ۱۸ | ۱۰/۳۶ | ۰/۳۶۵ | -۰/۹۲۷ | ۴۰ | ۰/۱۰۳ |
| کادمیوم | ۰/۲۳ | ۰/۱ | ۰/۴ | ۲۱ | ۰/۰۶۱ | ۰/۲۵ | ۰/۹۶۰ | ۰/۰۹ | ۰/۵۸۳ |
| مس | ۵۸/۴۰ | ۱۷ | ۱۵۲ | ۵۶ | ۳۵/۳۲ | ۰/۷۶۲ | ۰/۱۹۶ | ۱۵ | ۰/۶۰۶ |
| نیکل | ۳۰/۰۳ | ۲۱ | ۴۷ | ۱۹ | ۶/۰۱ | ۰/۹۰۲ | ۱/۰۷ | ۱۹ | ۰/۰۹۴ |
| سرب | ۶۰/۵۳ | ۲۲ | ۱۱۷ | ۴۲ | ۲۵/۵۱ | ۰/۴۲۱ | -۰/۵۴۷ | ۱۲ | ۰/۱۷۸ |
| روی | ۱۷۸/۰۶ | ۵۴ | ۳۶۱ | ۳۹ | ۷۰/۶۷ | ۰/۸۱۲ | ۰/۵۷۵ | ۳۵ | ۰/۱۰۳ |
| آهن | ۱۴۶۹۴/۸۶ | ۱۰۵۶۷ | ۱۹۹۷۲ | ۲۰ | ۲۹۴۱/۳۵ | ۰/۲۲۹ | -۱/۱۹۹ | ۹۱۸۴ | ۰/۰۹۱ |
| آرسنیک | ۳/۸۸ | ۲ | ۶/۷ | ۳۲/۲۱ | ۱/۲۵ | ۰/۴۹۳ | -۰/۶۶۳ | ۳/۲ | ۰/۱۵۹ |

*سطح معنی داری در آزمون شاپیرو ویلک ($P > 0/5$)

بیشترین مقدار جذب روزانه فلزات مربوط به فلز آهن (10^{-2}) و از طریق بلع در گروه کودکان و کم‌ترین جذب روزانه مربوط به فلز کادمیوم (10^{-2}) از مسیر تنفس در گروه بزرگسالان می‌باشد. به طور کلی در تمامی کودکان به نسبت بزرگسالان مقدار جذب روزانه فلزات کمی بیشتر است. همچنین بیشترین مقدار جذب روزانه در هر دو گروه سنی و برای تمامی فلزات در مسیر بلع و کمترین آن مربوط به تنفس می‌باشد.

ارزیابی ریسک غیرسرطانی (HQ) فلزات گردوغبار ارزیابی ریسک غیرسرطانی فلزات بر اساس مدل ارائه شده توسط آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا (USEPA) برای سه مقدار میانگین، کمینه و بیشینه فلزات در دو گروه بزرگسال و کودکان بررسی و تعیین شد^{۱۶}. ابتدا مقدار جذب روزانه فلزات (ADD_i) از سه مسیر بلع، استنشاق و تماس پوستی اندازه‌گیری شد، که نتایج این ارزیابی‌ها در جدول (۴) آورده شد. مقدار جذب روزانه فلزات در هر سه مسیر برای کودکان و بزرگسالان بین 10^{-11} تا 10^{-1} است.

جدول ۴. میزان جذب روزانه فلزات از سه طریق بلع، استنشاق و تماس پوستی

| فلز | بزرگسالان | | | کودکان | | |
|---------|-------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | ADD_{inh} | ADD_{derm} | ADD_{ing} | ADD_{inh} | ADD_{derm} | ADD_{ing} |
| میانگین | $58/4$ | $7/99 \times 10^{-5}$ | $3/18 \times 10^{-7}$ | $1/17 \times 10^{-8}$ | $3/18 \times 10^{-7}$ | $7/99 \times 10^{-5}$ |
| کمینه | ۱۷ | $2/32 \times 10^{-5}$ | $9/28 \times 10^{-8}$ | $3/41 \times 10^{-9}$ | $9/28 \times 10^{-8}$ | $2/32 \times 10^{-5}$ |
| بیشینه | ۱۵۲ | $2/08 \times 10^{-4}$ | $8/29 \times 10^{-7}$ | $3/05 \times 10^{-8}$ | $8/29 \times 10^{-7}$ | $2/08 \times 10^{-4}$ |
| میانگین | ۵۵/۷۳ | $7/62 \times 10^{-5}$ | $3/04 \times 10^{-7}$ | $1/12 \times 10^{-8}$ | $3/04 \times 10^{-7}$ | $7/62 \times 10^{-5}$ |
| کمینه | ۴۲ | $5/74 \times 10^{-5}$ | $2/29 \times 10^{-7}$ | $8/44 \times 10^{-9}$ | $2/29 \times 10^{-7}$ | $5/74 \times 10^{-5}$ |
| بیشینه | ۷۷ | $1/05 \times 10^{-4}$ | $4/20 \times 10^{-7}$ | $1/54 \times 10^{-8}$ | $4/20 \times 10^{-7}$ | $1/05 \times 10^{-4}$ |

| | | | | | | | | |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|----------|---------|---------|
| ۸/۲۳×۱۰ ^{-۱۱} | ۸/۲۱×۱۰ ^{-۹} | ۲/۹۴×۱۰ ^{-۶} | ۴/۶۲×۱۰ ^{-۱۱} | ۱/۲۵×۱۰ ^{-۹} | ۳/۱۴×۱۰ ^{-۷} | ۰/۲۳ | میانگین | کادمیوم |
| ۴/۲۹×۱۰ ^{-۱۱} | ۳/۵۷×۱۰ ^{-۹} | ۱/۲۸×۱۰ ^{-۶} | ۲/۰۱×۱۰ ^{-۸} | ۵/۴۶×۱۰ ^{-۱۰} | ۱/۳۶×۱۰ ^{-۷} | ۰/۱ | کمینه | |
| ۱/۴۳×۱۰ ^{-۱۰} | ۱/۴۲×۱۰ ^{-۸} | ۵/۱۱×۱۰ ^{-۶} | ۸/۰۴×۱۰ ^{-۸} | ۲/۱۸×۱۰ ^{-۹} | ۵/۷۴×۱۰ ^{-۷} | ۰/۴ | بیشینه | |
| ۲/۱۷×۱۰ ^{-۸} | ۲/۱۶×۱۰ ^{-۷} | ۷/۷۴×۱۰ ^{-۴} | ۲/۱×۱۰ ^{-۸} | ۳/۳۰×۱۰ ^{-۷} | ۸/۲۸×۱۰ ^{-۵} | ۶۰/۵۳ | میانگین | سرب |
| ۷/۸۷×۱۰ ^{-۹} | ۷/۸۵×۱۰ ^{-۶} | ۲/۸۱×۱۰ ^{-۴} | ۴/۲۲×۱۰ ^{-۹} | ۱/۲۰×۱۰ ^{-۷} | ۳/۰۱×۱۰ ^{-۵} | ۲۲ | کمینه | |
| ۴/۱۸×۱۰ ^{-۸} | ۴/۱۷×۱۰ ^{-۷} | ۱/۴۹×۱۰ ^{-۳} | ۲/۳۵×۱۰ ^{-۸} | ۶/۳۸×۱۰ ^{-۷} | ۱/۶×۱۰ ^{-۴} | ۱۱۷ | بیشینه | |
| ۵/۲۸×۱۰ ^{-۶} | ۵/۲۶×۱۰ ^{-۴} | ۱/۸۷×۱۰ ^{-۲} | ۲/۹۵×۱۰ ^{-۶} | ۸/۰۲×۱۰ ^{-۵} | ۲/۰۱×۱۰ ^{-۳} | ۱۴۶۹۴/۸۶ | میانگین | آهن |
| ۳/۷۸×۱۰ ^{-۶} | ۳/۷۷×۱۰ ^{-۴} | ۱/۳۵×۱۰ ^{-۲} | ۲/۱۲×۱۰ ^{-۶} | ۵/۷۶×۱۰ ^{-۵} | ۱/۴۴×۱۰ ^{-۳} | ۱۰۵۶۷ | کمینه | |
| ۷/۱۵×۱۰ ^{-۶} | ۷/۱۳×۱۰ ^{-۴} | ۲/۵۵×۱۰ ^{-۲} | ۴/۰۱×۱۰ ^{-۶} | ۱/۰۹×۱۰ ^{-۴} | ۲/۷۳×۱۰ ^{-۳} | ۱۹۹۷۲ | بیشینه | |
| ۶/۴۸×۱۰ ^{-۸} | ۴/۶۴×۱۰ ^{-۶} | ۲/۲۷×۱۰ ^{-۳} | ۳/۵۷×۱۰ ^{-۸} | ۹/۷۲×۱۰ ^{-۷} | ۲/۴۳×۱۰ ^{-۴} | ۱۷۸/۹۶ | میانگین | روی |
| ۲/۰۷×۱۰ ^{-۸} | ۲/۰۷×۱۰ ^{-۶} | ۶/۹۱×۱۰ ^{-۴} | ۱/۰۸×۱۰ ^{-۸} | ۲/۹۴×۱۰ ^{-۷} | ۷/۳۹×۱۰ ^{-۵} | ۵۴ | کمینه | |
| ۱/۳۰×۱۰ ^{-۷} | ۱/۲۹×۱۰ ^{-۵} | ۴/۶۱×۱۰ ^{-۳} | ۷/۲۵×۱۰ ^{-۸} | ۱/۹۷×۱۰ ^{-۶} | ۴/۹۴×۱۰ ^{-۴} | ۳۶۱ | بیشینه | |
| ۱/۰۷×۱۰ ^{-۸} | ۱/۰۷×۱۰ ^{-۶} | ۳/۸۴×۱۰ ^{-۴} | ۶/۰۳×۱۰ ^{-۹} | ۱/۶۳×۱۰ ^{-۷} | ۴/۱۱×۱۰ ^{-۵} | ۳۰/۰۳ | میانگین | نیکل |
| ۷/۵۱×۱۰ ^{-۹} | ۷/۴۹×۱۰ ^{-۷} | ۲/۶۸×۱۰ ^{-۴} | ۴/۲۲×۱۰ ^{-۹} | ۱/۱۴×۱۰ ^{-۷} | ۲/۸۷×۱۰ ^{-۵} | ۲۱ | کمینه | |
| ۱/۶۸×۱۰ ^{-۸} | ۱/۶۷×۱۰ ^{-۶} | ۶/۰۱×۱۰ ^{-۴} | ۹/۴۴×۱۰ ^{-۹} | ۲/۵۶×۱۰ ^{-۷} | ۶/۴۳×۱۰ ^{-۵} | ۴۷ | بیشینه | |
| ۱/۳۸×۱۰ ^{-۹} | ۱/۳۸×۱۰ ^{-۷} | ۴/۹۶×۱۰ ^{-۵} | ۷/۷۹×۱۰ ^{-۱۰} | ۲/۱۱×۱۰ ^{-۸} | ۵/۳۱×۱۰ ^{-۶} | ۳/۸۸ | میانگین | آرسنیک |
| ۷/۱۶×۱۰ ^{-۱۰} | ۷/۱۴×۱۰ ^{-۸} | ۲/۵۶×۱۰ ^{-۵} | ۴/۰۲×۱۰ ^{-۱۰} | ۱/۰۹×۱۰ ^{-۸} | ۲/۷۳×۱۰ ^{-۶} | ۲ | کمینه | |
| ۲/۳۹×۱۰ ^{-۹} | ۲/۳۹×۱۰ ^{-۷} | ۸/۵۷×۱۰ ^{-۵} | ۱/۳۴×۱۰ ^{-۹} | ۳/۶۵×۱۰ ^{-۸} | ۹/۱۷×۱۰ ^{-۶} | ۶/۷ | بیشینه | |

به طور کلی با بررسی مقدار HI مشخص شد، در کودکان خطر غیرسرطان‌زایی بیشتر از بزرگسالان می‌باشد. در هر دو گروه خطر غیرسرطان‌زایی فلزات کروم و سرب بیشتر از فلزات دیگر است و کم‌ترین خطر در هر دو گروه مربوط به فلز کادمیوم است (جدول ۵).

مقدار خطر تجمعی غیرسرطان‌زایی (HI) فلزات سنگین در تحقیق حاضر، مقدار HI گروه کودکان بین ۱۰^{-۱} تا ۱۰^{-۳} و برای بزرگسالان بین ۱۰^{-۲} تا ۱۰^{-۴} می‌باشد (HI < ۱)، که در هر دو گروه خطر تجمعی غیرسرطان‌زایی خیلی کم است.

جدول ۵. خطر غیرسرطان‌زایی (HQ) و خطر تجمعی غیرسرطان‌زایی (HI) فلزات سنگین گردوغبار شهر برازجان

| بزرگسالان | | | | کودکان | | | | فلزات |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------|
| HI | HQ derm | HQ ing | HQ inha | HI | HQ derm | HQ ing | HQ inha | |
| ۲/۰۳×۱۰ ^{-۳} | ۲/۶۶×۱۰ ^{-۵} | ۲/۰۰×۱۰ ^{-۳} | ۲/۷۹×۱۰ ^{-۷} | ۱/۸۸×۱۰ ^{-۲} | ۱/۷۴×۱۰ ^{-۴} | ۱/۸۷×۱۰ ^{-۲} | ۴/۹۸×۱۰ ^{-۷} | میانگین |
| ۵/۹۰×۱۰ ^{-۴} | ۷/۷۴×۱۰ ^{-۶} | ۵/۸۲×۱۰ ^{-۳} | ۸/۱۴×۱۰ ^{-۸} | ۵/۴۸×۱۰ ^{-۳} | ۵/۰۶×۱۰ ^{-۴} | ۵/۴۳×۱۰ ^{-۳} | ۱/۴۵×۱۰ ^{-۷} | مس |
| ۵/۲۷×۱۰ ^{-۳} | ۶/۹۲×۱۰ ^{-۵} | ۵/۲۰×۱۰ ^{-۳} | ۷/۲۷×۱۰ ^{-۷} | ۴/۹۰×۱۰ ^{-۲} | ۴/۵۲×۱۰ ^{-۴} | ۴/۸۶×۱۰ ^{-۲} | ۱/۳۰×۱۰ ^{-۷} | بیشینه |
| ۳/۰۹×۱۰ ^{-۲} | ۵/۰۲×۱۰ ^{-۳} | ۲/۵۱×۱۰ ^{-۲} | ۳/۹۱×۱۰ ^{-۲} | ۲/۸۱×۱۰ ^{-۱} | ۳/۳۲×۱۰ ^{-۲} | ۲/۳۷×۱۰ ^{-۱} | ۶/۹۷×۱۰ ^{-۴} | میانگین |
| ۲/۳۳×۱۰ ^{-۲} | ۳/۸۲×۱۰ ^{-۳} | ۱/۹۱×۱۰ ^{-۲} | ۲/۹۵×۱۰ ^{-۲} | ۲/۰۵×۱۰ ^{-۱} | ۲/۵۰×۱۰ ^{-۲} | ۱/۷۸×۱۰ ^{-۱} | ۵/۲۵×۱۰ ^{-۲} | کروم |
| ۴/۲۷×۱۰ ^{-۲} | ۷/۱۰×۱۰ ^{-۳} | ۳/۱۴×۱۰ ^{-۲} | ۵/۴۱×۱۰ ^{-۲} | ۳/۸۵×۱۰ ^{-۱} | ۴/۵۸×۱۰ ^{-۲} | ۳/۲۸×۱۰ ^{-۱} | ۹/۶۳×۱۰ ^{-۴} | بیشینه |
| ۴/۴۰×۱۰ ^{-۴} | ۱/۲۶×۱۰ ^{-۳} | ۳/۱۴×۱۰ ^{-۲} | ۴/۶۲×۱۰ ^{-۸} | ۲/۹۴×۱۰ ^{-۳} | ۱/۳۷×۱۰ ^{-۴} | ۲/۹۴×۱۰ ^{-۳} | ۸/۲۳×۱۰ ^{-۸} | کادمیوم |

ارزیابی ریسک سلامت ناشی از فلزات سنگین در گردوغبار خیابانی شهری (مطالعه موردی: شهر برازجان)

| | | | | | | | | | |
|-----------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|---------|-----|
| ۲/۳۰×۱۰ ^{-۴} | ۶/۵۵×۱۰ ^{-۵} | ۱/۳۶×۱۰ ^{-۴} | ۲/۴۱×۱۰ ^{-۸} | ۱/۵۳×۱۰ ^{-۳} | ۵/۹۵×۱۰ ^{-۱۵} | ۱/۲۷×۱۰ ^{-۳} | ۴/۲۹×۱۰ ^{-۸} | کمینه | سرب |
| ۷/۶۶×۱۰ ^{-۴} | ۲/۱۸×۱۰ ^{-۴} | ۵/۴۷×۱۰ ^{-۴} | ۸/۰۴×۱۰ ^{-۸} | ۵/۱۱×۱۰ ^{-۳} | ۲/۳۸×۱۰ ^{-۱۲} | ۵/۱۱×۱۰ ^{-۳} | ۱/۴۳×۱۰ ^{-۷} | پیشینه | |
| ۲/۴۳×۱۰ ^{-۲} | ۶/۲۹×۱۰ ^{-۴} | ۲/۳۷×۱۰ ^{-۴} | ۳/۴۶×۱۰ ^{-۶} | ۲/۲۶×۱۰ ^{-۱} | ۴/۱۲×۱۰ ^{-۳} | ۲/۲۱×۱۰ ^{-۲} | ۶/۱۶×۱۰ ^{-۶} | میانگین | سرب |
| ۸/۸۴×۱۰ ^{-۳} | ۲/۲۸×۱۰ ^{-۴} | ۸/۶۰۹×۱۰ ^{-۳} | ۱/۲۵×۱۰ ^{-۶} | ۸/۱۹×۱۰ ^{-۲} | ۱/۴۹×۱۰ ^{-۳} | ۸/۰۳×۱۰ ^{-۳} | ۲/۲۳×۱۰ ^{-۶} | کمینه | |
| ۴/۷۰×۱۰ ^{-۲} | ۱/۲۱×۱۰ ^{-۳} | ۴/۵۷×۱۰ ^{-۲} | ۶/۶۸×۱۰ ^{-۶} | ۴/۳۵×۱۰ ^{-۱} | ۷/۹۵×۱۰ ^{-۳} | ۴/۲۷×۱۰ ^{-۲} | ۱/۱۸×۱۰ ^{-۵} | پیشینه | آهن |
| ۱/۷۰×۱۰ ^{-۲} | ۱/۱۱×۱۰ ^{-۴} | ۲/۲۹×۱۰ ^{-۴} | ۱/۳۴×۱۰ ^{-۲} | ۵/۴۰×۱۰ ^{-۲} | ۷/۵۲×۱۰ ^{-۲} | ۲/۲۴×۱۰ ^{-۲} | ۲/۴۰×۱۰ ^{-۲} | میانگین | |
| ۱/۲۲×۱۰ ^{-۲} | ۸/۱۶×۱۰ ^{-۴} | ۱/۶۸×۱۰ ^{-۴} | ۹/۵۹×۱۰ ^{-۳} | ۳/۸۷×۱۰ ^{-۲} | ۵/۳۸×۱۰ ^{-۳} | ۱/۶۰×۱۰ ^{-۲} | ۱/۷۱×۱۰ ^{-۲} | کمینه | آهن |
| ۲/۳۱×۱۰ ^{-۲} | ۱/۴۸×۱۰ ^{-۳} | ۶/۱۹×۱۰ ^{-۴} | ۱/۸۲×۱۰ ^{-۲} | ۷/۳۱×۱۰ ^{-۲} | ۱/۰۱×۱۰ ^{-۲} | ۳/۰۴×۱۰ ^{-۲} | ۳/۲۵×۱۰ ^{-۲} | پیشینه | |

ادامه جدول ۵. خطر غیرسرطانی زای فلزات سنگین گردوغبار شهر برازجان و خطر تجمعی غیرسرطانی

| بزرگسالان | | | | کودکان | | | | فلزات | |
|-----------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|---------|--------|
| HI | HQ _{derm} | HQ _{ing} | HQ _{inha} | HI | HQ _{derm} | HQ _{ing} | HQ _{inha} | | |
| ۸/۲۹×۱۰ ^{-۴} | ۱/۶۲×۱۰ ^{-۵} | ۸/۱۲×۱۰ ^{-۴} | ۱/۲۰×۱۰ ^{-۷} | ۷/۷۸×۱۰ ^{-۳} | ۱/۰۵×۱۰ ^{-۲} | ۷/۵۸×۱۰ ^{-۳} | ۲/۱۴×۱۰ ^{-۷} | میانگین | روی |
| ۲/۵۱×۱۰ ^{-۴} | ۴/۹۱×۱۰ ^{-۶} | ۲/۴۶×۱۰ ^{-۴} | ۳/۶۱×۱۰ ^{-۸} | ۲/۳۳×۱۰ ^{-۳} | ۳/۲۱×۱۰ ^{-۵} | ۲/۳۰×۱۰ ^{-۳} | ۶/۴۴×۱۰ ^{-۸} | کمینه | |
| ۱/۶۸×۱۰ ^{-۳} | ۳/۲۸×۱۰ ^{-۵} | ۱/۶۴×۱۰ ^{-۳} | ۲/۴۳×۱۰ ^{-۷} | ۱/۵۷×۱۰ ^{-۲} | ۲/۱۴×۱۰ ^{-۴} | ۱/۵۳×۱۰ ^{-۲} | ۴/۳۴×۱۰ ^{-۷} | پیشینه | |
| ۲/۰۹×۱۰ ^{-۳} | ۳/۰۳×۱۰ ^{-۵} | ۲/۰۵×۱۰ ^{-۴} | ۲/۹۱×۱۰ ^{-۷} | ۱/۹۳×۱۰ ^{-۲} | ۱/۹۸×۱۰ ^{-۴} | ۱/۹۰×۱۰ ^{-۲} | ۵/۱۸×۱۰ ^{-۷} | میانگین | نیکل |
| ۱/۴۶×۱۰ ^{-۳} | ۲/۱۲×۱۰ ^{-۵} | ۱/۴۳×۱۰ ^{-۳} | ۲/۰۷×۱۰ ^{-۷} | ۱/۳۶×۱۰ ^{-۲} | ۱/۳۸×۱۰ ^{-۴} | ۱/۳۴×۱۰ ^{-۲} | ۳/۶۴×۱۰ ^{-۷} | کمینه | |
| ۳/۲۷×۱۰ ^{-۳} | ۴/۷۵×۱۰ ^{-۵} | ۳/۲۱×۱۰ ^{-۳} | ۴/۴۸×۱۰ ^{-۷} | ۲/۹۷×۱۰ ^{-۲} | ۳/۱۰×۱۰ ^{-۴} | ۲/۹۴×۱۰ ^{-۲} | ۷/۹۹×۱۰ ^{-۷} | پیشینه | |
| ۴/۰۴×۱۰ ^{-۵} | ۴/۰۳×۱۰ ^{-۵} | ۱/۷۷×۱۰ ^{-۹} | ۲/۵۹×۱۰ ^{-۹} | ۱/۶۶×۱۰ ^{-۸} | ۷/۹۵×۱۰ ^{-۳} | ۱/۶۵×۱۰ ^{-۸} | ۴/۶۱×۱۰ ^{-۱۳} | میانگین | آرسنیک |
| ۲/۰۸×۱۰ ^{-۵} | ۲/۰۸×۱۰ ^{-۵} | ۹/۱۲×۱۰ ^{-۱۰} | ۱/۳۴×۱۰ ^{-۹} | ۸/۵۸×۱۰ ^{-۹} | ۵/۸۰×۱۰ ^{-۱۱} | ۸/۵۲×۱۰ ^{-۹} | ۲/۳۷×۱۰ ^{-۱۳} | کمینه | |
| ۶/۹۷×۱۰ ^{-۵} | ۶/۹۶×۱۰ ^{-۵} | ۳/۰۵×۱۰ ^{-۴} | ۴/۴۸×۱۰ ^{-۹} | ۲/۸۷×۱۰ ^{-۸} | ۱/۹۴×۱۰ ^{-۱۰} | ۲/۸۵×۱۰ ^{-۸} | ۷/۹۶×۱۰ ^{-۱۳} | پیشینه | |

ارزیابی خطر سرطانزایی (CR) و خطر تجمعی سرطانزایی

(Total Risk)

۱۰^{-۴} تا ۱۰^{-۶} باشد، دارای ریسک پذیرفته شده و تحت کنترل است و خارج از این محدوده ممکن است دارای خطر سرطانزایی برای هر یک میلیون نفر باشد^{۱۲}. نتایج نشان می‌دهد مقدار سرطانزایی فلزات (سرب، کروم، مس، نیکل و آرسنیک) در محدوده ۱۰^{-۵} تا ۱۰^{-۱۰}

همه عناصر مورد بررسی دارای اثرات غیرسرطانزایی می‌باشند، ولی بر اساس فهرست طبقه‌بندی که توسط آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان (IARC) تهیه شده است، برای فلزات سرطان زا مثل کروم، کادمیوم، نیکل، آرسنیک و همچنین فلز سرب به دلیل عوارض زیادی که بر روی سلامتی انسان از راه بلع و تنفس می‌گذرانند، بررسی صورت گرفت^{۱۷}. اگر مقدار CR در محدوده بین

جدول ۶. خطر سرطان‌زایی و خطر تجمعی سرطان‌زایی فلزات سنگین گردوغبار برای کودکان و بزرگسالان

| کودکان | | | بزرگسالان | | | | فلزات سنگین |
|-----------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------|
| Total | CR _{inha} | CR _{derm} | CR _{ing} | CR _{inha} | CR _{derm} | CR _{ing} | |
| ۴/۳۶×۱۰ ^{-۵} | ۱/۵۵×۱۰ ^{-۷} | - | ۱/۲۹×۱۰ ^{-۵} | ۷/۱۱×۱۰ ^{-۸} | - | ۳/۰۳×۱۰ ^{-۵} | میانگین |
| ۳/۲۹×۱۰ ^{-۵} | ۱/۲۱×۱۰ ^{-۷} | - | ۹/۸۴×۱۰ ^{-۶} | ۵۱/۴×۱۰ ^{-۸} | - | ۲/۲۸×۱۰ ^{-۵} | کروم |
| ۶/۱۱×۱۰ ^{-۵} | ۲/۲۶×۱۰ ^{-۷} | - | ۱/۸۲×۱۰ ^{-۵} | ۱/۰۰×۱۰ ^{-۷} | - | ۴/۲۵×۱۰ ^{-۵} | بیشینه |
| ۲/۸۶×۱۰ ^{-۶} | ۱/۰۴×۱۰ ^{-۱۰} | - | ۶/۵۸×۱۰ ^{-۷} | ۴/۶۴×۱۰ ^{-۱۱} | - | ۱/۵۹×۱۰ ^{-۶} | میانگین |
| ۹/۵۱×۱۰ ^{-۷} | ۴/۳۴×۱۰ ^{-۱۱} | - | ۲/۸۶×۱۰ ^{-۷} | ۱/۹۳×۱۰ ^{-۱۱} | - | ۶/۶۴×۱۰ ^{-۶} | کامیوم |
| ۳/۸۰×۱۰ ^{-۶} | ۱/۷۳×۱۰ ^{-۱۰} | - | ۱/۱۴×۱۰ ^{-۶} | ۷/۷۳×۱۰ ^{-۱۱} | - | ۲/۵۶×۱۰ ^{-۶} | بیشینه |
| ۸/۰۴×۱۰ ^{-۷} | ۱/۷۵×۱۰ ^{-۱۰} | - | ۲/۴۱×۱۰ ^{-۷} | ۷/۸۱×۱۰ ^{-۱۱} | - | ۷/۴×۱۰ ^{-۷} | میانگین |
| ۲/۹۱×۱۰ ^{-۷} | ۶/۳۷×۱۰ ^{-۱۱} | - | ۸/۷۷×۱۰ ^{-۸} | ۲/۸۳×۱۰ ^{-۱۱} | - | ۲/۰۳×۱۰ ^{-۷} | سرب |
| ۱/۵۵×۱۰ ^{-۶} | ۳/۳۹×۱۰ ^{-۱۰} | - | ۴/۶۶×۱۰ ^{-۷} | ۱/۵۰×۱۰ ^{-۱۰} | - | ۱/۰۸×۱۰ ^{-۶} | بیشینه |
| ۴/۲۶×۱۰ ^{-۵} | ۱/۷۴×۱۰ ^{-۹} | - | ۱/۲۸×۱۰ ^{-۵} | ۷/۷۴×۱۰ ^{-۱۰} | - | ۲/۹۷×۱۰ ^{-۵} | میانگین |
| ۲/۹۷×۱۰ ^{-۵} | ۱/۲۱×۱۰ ^{-۹} | - | ۸/۹۶×۱۰ ^{-۶} | ۵/۴۱×۱۰ ^{-۹} | - | ۲/۰۸×۱۰ ^{-۵} | نیکل |
| ۶/۶۶×۱۰ ^{-۵} | ۲/۷۲×۱۰ ^{-۹} | - | ۲/۰۰×۱۰ ^{-۵} | ۱/۲۱×۱۰ ^{-۹} | - | ۴/۶۶×۱۰ ^{-۵} | بیشینه |
| ۹/۰۷×۱۰ ^{-۶} | ۴/۰۴×۱۰ ^{-۹} | ۲/۶۵×۱۰ ^{-۸} | ۲/۷۲×۱۰ ^{-۶} | ۱/۷۹×۱۰ ^{-۹} | ۴/۳۴×۱۰ ^{-۸} | ۶/۳۴×۱۰ ^{-۶} | میانگین |
| ۴/۶۸×۱۰ ^{-۶} | ۲/۰۸×۱۰ ^{-۹} | ۱/۳۶×۱۰ ^{-۸} | ۱/۴۰×۱۰ ^{-۶} | ۹/۲۶×۱۰ ^{-۱۰} | ۲/۳۳×۱۰ ^{-۸} | ۳/۲۷×۱۰ ^{-۶} | کامیوم |
| ۱/۵۶×۱۰ ^{-۶} | ۶/۹۸×۱۰ ^{-۹} | ۴/۵۸×۱۰ ^{-۸} | ۴/۷۱×۱۰ ^{-۶} | ۳/۱۰×۱۰ ^{-۹} | ۷/۵۰×۱۰ ^{-۸} | ۱/۹×۱۰ ^{-۵} | بیشینه |

پژوهش حاضر تحقیقی کاربردی از وضعیت سلامت شهر برازجان است، که در آن خطر غیرسرطانی (HQ) فلزات سنگین نمونه‌های گردوغبار خیابانی، از مسیرهای اصلی بلع، تماس پوستی و تنفس، برای کودکان و بزرگسالان ارزیابی شد. میزان خطر غیرسرطانی برای هر دو گروه سنی همانند مطالعات Ganavati (۲۰۱۸)^{۱۸} و Telecka و Zgłobicki (۲۰۲۱)^۷ کوچک‌تر از یک ($HQ < 1$) بوده و بیشترین و کمترین میزان آن در گروه سنی کودکان برای تمامی فلزات سنگین به ترتیب برای مسیر بلع و تنفس تعیین شد. همچنین در تحقیق حاضر بیشترین خطر غیرسرطانی برای کودکان و بزرگسالان مربوط به فلز کروم و کم‌ترین خطر مربوط به فلز کادمیوم و از طریق مسیر بلع مشخص گردید. خطر غیرسرطانی در کودکان و بزرگسالان برای کل فلزات در مسیر بلع بالاترین و در مسیر تنفس کمترین مقدار را به خود اختصاص داد، به جز در مورد فلز آهن که برای تنفس بالاترین و برای تماس پوستی کمترین مقدار ارزیابی شد. مقدار HI غبار ریزشی شهر برازجان همانند تحقیقات Xu و همکاران (۲۰۱۵)^{۱۹} و

است و در این میان CR_{ing} بیشترین مقدار را دارد، که این مقدار در محدوده پذیرفته شده و تحت کنترل (10^{-4} تا 10^{-6}) است و مربوط به فلز کروم و نیکل (10^{-5}) می‌باشد. همچنین فلز سرب (10^{-7}) کم‌ترین مقدار را داشته و بی‌خطرترین فلز سرطان‌زا است (جدول ۶). مقدار تجمعی سرطان‌زایی فلزات این تحقیق برای هر دو گروه سنی (کودکان و بزرگسالان) در محدوده تحت کنترل بوده و آلودگی کمی دارند، ولی غلظت برخی فلزات به‌خصوص فلزات کروم و نیکل باید نظارت شود تا به حد خطرناک نرسند.

بحث

غلظت فلزات سنگین در گردوغبار خیابانی شهرهای مختلف بسته به ترکیب ژئوشیمیایی، شرایط آب و هوایی، جمعیت و منابع آلاینده انسانی متفاوت است، که در تحقیق حاضر نیز بالا بودن غلظت فلزات سنگین نسبت به مقادیر زمینه، نشانه تاثیر فعالیت‌های انسانی در افزایش غلظت عناصر در گردوغبار شهر برازجان است. در هر صورت،

Telecka و Zgłobicki (۲۰۲۱)^۷ در هر سه مسیر تنفس، جذب پوستی و بلع، برای هر دو گروه سنی، کوچکتر از یک ($HI < 1$) به دست آمد، بنابراین در هر دو گروه خطر تجمعی غیرسرطان‌زایی خیلی کم است، همچنین برای کودکان مقدار HI به نسبت بزرگسالان بزرگتر بود. Ehtemae و همکاران (۲۰۲۰)^{۲۰} پس از ارزیابی سلامت انسانی فلزات سنگین گردوغبار خیابانی شهر ایلام با روش و نتایج مشابه با پژوهش حاضر نیز به این نتیجه رسیدند که مقادیر خطر تجمعی غیرسرطان‌زایی در هر سه مسیر جذب در گروه سنی کودکان بیشتر از بزرگسالان است و اینکه فلز سرب کمترین خطر را دارد. Ghanavati (۲۰۱۸)^{۲۱} ارزیابی خطر فلزات سنگین بر سلامت انسانی در گردوغبار خیابانی شهر آبادان را انجام داد و نتیجه‌ای مشابه تحقیق حاضر بدست آورد مبنی بر این که در هر دو گروه سنی فلز کروم دارای بیشترین خطر سرطان‌زایی و فلز سرب کمترین خطر را دارد، با عنایت به این که مسیر بلع اصلی‌ترین راه ورود ذرات به بدن بوده است لذا خطر ناشی از جذب فلز سرب از این طریق کاهش می‌یابد زیرا که بیشترین اثرات منفی و خطر سرب در بدن از طریق مسیر جذب تنفسی می‌باشد. Azimi-Yancheshmeh و همکاران (۲۰۲۲)^{۲۲} در تحلیل و ارزیابی خطر بهداشتی فلزات در غبار خیابانی شهر کرج در تایید نتایج پژوهش حاضر، مسیر بلع ذرات غبار را مسیر اصلی مواجهه با فلزات سمی برای کودکان و بزرگسالان دانسته است، بنابراین در این تحقیق مشابه تحقیق حاضر، شاخص خطر کمتر از سطح ایمن برای هر دو گروه سنی می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که فلزات سنگین خطر غیرسرطانی‌زایی ندارند، اما فلزات کروم و سرب در مقایسه با سایر فلزات، می‌توانند در مکان‌های پرتردد شهر مانند مناطق تجاری و چهارراه‌ها، خطرات غیرسرطانی‌زایی داشته باشند. مقدار تجمعی سرطان‌زایی فلزات نیز در این تحقیق همانند تحقیقات Xu و همکاران (۲۰۱۵)^{۱۹} و Zgłobicki و Telecka (۲۰۲۱)^۷، برای هر دو گروه سنی (کودکان و بزرگسالان) در محدوده تحت کنترل بوده (۱۰^{-۴} تا ۱۰^{-۶}) و

آلودگی کمی دارند. همچنین CRing فلز سرب (۷^{-۱۰}) کم-ترین مقدار را داشته و بی‌خطرترین فلز سرطان‌زا است، اما غلظت فلزات کروم و نیکل از بقیه فلزات بیشتر بوده و باید نظارت شوند تا به حد خطرناک نرسند. در هر صورت، با توجه به نتایج این مطالعه مبنی بر آلودگی قابل توجه هوا در شهر برازجان، انجام اقدامات مدیریتی یکپارچه جهت بهبود کیفیت هوا ضروری به نظر می‌رسد، از جمله راهکارهای موثر در این زمینه می‌توان به پایش مستمر آلاینده‌های هوا، توسعه سیاست‌های کنترلی جامع و توسعه فضای سبز اشاره نمود.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش به ارزیابی ریسک سلامت و تعیین سطح آلودگی فلزات سنگین کروم، نیکل، روی، آهن، مس، سرب، نیکل و آرسنیک در گردوغبار شهر برازجان پرداخته شد. ارزیابی میانگین غلظت همه فلزات نشان داد که میانگین غلظت همه عناصر از مقدار زمینه بیشتر است و با توجه به این موضوع که این عناصر به طور طبیعی در پوسته زمین وجود دارند، اما عواملی غیر از عوامل طبیعی نظیر ترافیک سنگین، فرسایش و سایش لاستیک خودروها، خوردگی فلزات و سوخت‌های مصرفی وسایل نقلیه نیز باعث افزایش فلزات مس، روی، نیکل، کروم، کادمیوم و سرب در غبارهای خیابانی می‌شود. با بررسی نقاط نمونه-گیری مشخص شد نمونه‌هایی که آلودگی بیشتری نسبت به نقاط دیگر نشان می‌دهند مربوط به مناطقی با ترافیک بالا هستند، از جمله مناطق با آلودگی زیاد، منطقه بازار و اطراف میدان امام خمینی شهر برازجان و چهارراه‌های تجاری برج شکوه و پاساژ استوار این شهر است. مقدار HI (خطر غیر-سرطان‌زایی) برای همه فلزات سنگین مورد مطالعه، کمتر از سطح ایمن ($HI < 1$) می‌باشد، در نتیجه این فلزات هیچ خطری از نظر بیماری‌های غیرسرطانی برای گروه‌های کودکان و بزرگسالان ندارند. همچنین ارزیابی خطر سرطانی نشان می‌دهد که فلز کادمیوم در محدوده غیرسرطانی‌زایی قرار دارد و خطری بر روی سلامت ندارند. درحالی که خطر سرطان‌زایی میانگین فلزات نیکل، کروم،

آرسنیک و بیشینه سرب از مسیر بلع در محدوده ریسک
تحت کنترل و قابل قبولی بوده (10^{-4} تا 10^{-6}) و با اینکه خطر
قابل توجهی از نظر بیماری‌های سرطانی، سلامت ساکنین را
تهدید نمی‌کنند، اما در جهت کاهش مقدار این فلزات در
مناطق پرتردد (تجاری) تدابیری را باید اتخاذ نمود.

References

1. Ssemugabo C, Nalinya S, Lubega GB, Ndejjo R, Musoke D. Health risks in our environment: Urban slum youth'perspectives using photovoice in Kampala, Uganda. *Sustainability* 2020; 13 (1): 248.
2. Jacob JM, Karthik C, Saratale R.G, Kumar SS, Prabakar D, Kadirvelu K, Pugazhendhi A. Biological approaches to tackle heavy metal pollution: a survey of literature. *Journal of environmental management* 2018; 217: 56-70.
3. Ali Ismat H. Contamination and human health risk assessment of heavy metals in soil of a municipal solid waste dumpsite in khamees-mushait, Saudi Arabia. *Toxin Reviews* 2019; 40 (1): 102-115.
4. Dytłow S, Górka-Kostrubiec B. Concentration of heavy metals in street dust: an implication of using different geochemical background data in estimating the level of heavy metal pollution. *Environmental geochemistry and health* 2021; 43 (1): 521-535.
5. Wang H, Maqbool A, Xiao X, Yang H, Bi W, Bian Z. Seasonal pollution and risk assessment of heavy metals in atmospheric dust from coal mining area. *International Journal of Environmental Science and Technology* 2022; 19 (12): 1963-11972.
6. General Directorate of Meteorology of Bushehr Province. Meteorology of Borazjan city. Bushehr Province General Directorate of Meteorology website. Available from: URL: <https://www.bushehrmet.ir>. Accessed 2021 [in Persian].
7. Zglobicki W, Telecka M. Heavy metals in urban street dust: health risk assessment (Lublin City, E Poland). *Applied Sciences* 2021; 11(9): 4092.
8. Roy S, Gupta SK, Prakash J, Habib G, Baudh K, Nasr M. Ecological and human health risk assessment of heavy metal contamination in road dust in the National Capital Territory (NCT) of Delhi, India. *Environmental Science and Pollution Research* 2019; 26: 30413-30425.
9. Hou S, Zheng N, Tang L, Ji X, Li Y, Hua X. 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* 2019; 128: 430-437.
10. Chonokhuu S, Batbold C, Chuluunpurev B, Battengel E, Dorjsuren B, Byambaa B. Contamination and health risk assessment of heavy metals in the soil of major cities in Mongolia. *International journal of environmental research and public health* 2019; 16(14): 2552.
11. Sun G, Li Z, Liu T, Chen J, Wu T, Feng X. Metal exposure and associated health risk to human beings by street dust in a heavily industrialized city of Hunan Province, Central China. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2017; 14 (3): 261.
12. Aguilera A, Bautista F, Gutiérrez-Ruiz M, Cenicerós-Gómez AE, Cejudo R, Goguitchaichvili A. Heavy metal pollution of street dust in the largest city of Mexico, sources and health risk assessment. *Environmental Monitoring and Assessment* 2021; 193: 1-16.
13. Shujaei Borjoi S, Azimzadeh H, Mosleh Arani A. Ecological risk assessment of some heavy metals of dust emitted from non-metallic industries in Ardakan city of Yazd in the summer of 2017: a descriptive study. *Scientific Journal of Rafsanjan University of Medical Sciences* 2019; 19 (2): 173-192 [in Persian].
14. Phil-Eze PO. Variability of soil properties related to vegetation cover in a tropical rainforest landscape. *Journal of Geography and Regional planning* 2010; 3 (7): 177.
15. Ho AD, Yu CC. Descriptive statistics for modern test score distributions: Skewness, kurtosis, discreteness, and ceiling effects. *Educational and psychological measurement* 2015; 75 (3): 365-388.
16. Sahakyan L, Maghakyan N, Belyaeva O, Tepanosyan G, Kafyan M, Saghatelyan A. Heavy metals in urban dust: contamination and health risk assessment: a case study from Gyumri, Armenia. *Arabian Journal of Geosciences* 2016; 9 (2): 1-11.
17. Papić M, Vuković M. Multivariate analysis of contamination of alluvial soils with heavy metals in Cacak, Serbia. *Rom Journ Phys* 2015; 60 (7-8): 1151-1162.
18. Ghanavati N. Assessment of the risk of heavy metals on human health in the street dust of Abadan city. *Health and Environment Quarterly* 2017; 11(1): 63-74 [in Persian].
19. Xu X, Lu X, Han X, Zhao N. Ecological and health risk assessment of metal in resuspended particles of urban street dust from an industrial city in China. *Current Science* 2015; 72-79.
20. Ehtemae N, Ghanavati N, Nazarpour A, Babaenejad T, James Watts M. Assessment of Potential Ecological and Human Health Risk of Some Selected Heavy Metals in Street Dusts in Ilam. *Journal of Water and Soil Science* 2020; 23 (4): 183-197 [in Persian].
21. Ghanavati N. Human health risk assessment of heavy metals in street dust in Abadan. *Iranian Journal of Health and Environment* 2018; 11 (1): 63-74 [in Persian].
22. Azimi-Yancheshmeh R, Moeinaddin M, Mazloomi S, Feyz Nia S, Shahbazi R. Health Risk Assessment of Metals in Street Dust of Karaj City in 2018. *Environmental Health Engineering* 2022; 9 (3): 313-332 [in Persian].