



Available online: <https://ijhe.tums.ac.ir>

مقاله پژوهشی

## ارزیابی مخاطرات اکولوژیکی و انسانی ناشی از برخی فلزات سنگین در گردوغبار مدارس ابتدایی مناطق منتخب شهر مشهد

حسن ملوندی<sup>۱،۲،۳\*</sup>

- ۱- گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران
- ۲- هسته زیست قوم شناسی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، خراسان رضوی، ایران
- ۳- عضو مؤسس سازمان مردم نهاد مرکز همیاری، تحقیقاتی و بازپروری حیات وحش حکیم، سبزوار، خراسان رضوی، ایران

### چکیده

### اطلاعات مقاله:

**زمینه و هدف:** ذرات گردوغبار در محیط‌های شهری معمولاً آلوده به فلزات سنگین است و این آلاینده‌ها برای سلامتی انسان‌ها و به‌خصوص کودکان نگران‌کننده است. یکی از محیط‌هایی که باعث مواجهه کودکان با ذرات گردوغبار می‌شود، مدارس است. بنابراین هدف از مطالعه حاضر، تعیین غلظت فلزات سنگین و ارزیابی خطر سلامتی فلزات سنگین در گردوغبار مدارس شهر مشهد است

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۱۸  
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۴/۰۴  
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۰۹  
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۹/۲۱

**روش بررسی:** نمونه‌های گردوغبار از ۲۷ مدرسه در پاییز ۱۴۰۱ با استفاده از یک برس قلم مویی جمع‌آوری شد. با استفاده از پلاسما جفت شده القایی غلظت فلزات تعیین و با استفاده از شاخص‌های زمین‌انباشتگی (Igeo)، فاکتور آلودگی (CF)، شاخص بار آلودگی (PLI)، شاخص غنی‌شدگی (EF)، خطر زیست محیطی بالقوه (PERI) و شاخص‌های خطر سلامت مانند HQ و HI سطوح آلودگی برآورد گردید.

**واژگان کلیدی:** شاخص سلامت، شاخص آلودگی، فلزات سنگین، گردوغبار، مدرسه

**یافته‌ها:** میانگین غلظت عناصر Fe، Co، Al، Ca، Pb و Ba به ترتیب ۱۸۵۳۸/۵۸، ۹/۶۳، ۱۱۱/۵۶  $\mu\text{g/g}$  و ۳۲/۰۷، ۱۱۲۷۰/۴۲، ۸۴۰۱۷/۷۹ و ۱/۵۱ و CF بین ۰/۱۶ تا ۴/۲۶ بودند. نتایج شاخص‌های آلودگی نشان داد که اکثر عناصر مورد مطالعه در طبقات اول آنها یعنی درجه آلودگی ناچیز یا کم قرار داشتند. مقادیر شاخص‌های HQ و HI نیز کمتر از ۱ بودند.

**نتیجه‌گیری:** به‌طور کلی می‌توان بیان کرد که غلظت‌های عناصر مورد مطالعه، نگران‌کننده نبود و در مجموع در سطوح غیر آلوده قرار داشتند و همچنین خطری بالقوه برای سلامتی به‌واسطه مواجهه با عناصر مورد مطالعه وجود نداشت.

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:

[h.malvandi@hsu.ac.ir](mailto:h.malvandi@hsu.ac.ir)

Please cite this article as: Malvandi H. Ecological and human risk assessment of some heavy metals in the dust of elementary schools in selected areas of Mashhad city. Iranian Journal of Health and Environment. 2024;17(3):441-58.



## مقدمه

گردوغبارها ذرات ریز، خشک و جامد معلق در هوا یا ته‌نشین شده هستند که از منابع طبیعی از قبیل طوفان‌های شن، آتشفشان‌ها، بادها و منابع انسانی از قبیل فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی، ساخت و سازها، تخریب ساختمان‌ها و نظافت شهرها تولید و وارد محیط زندگی ما می‌شوند. گردوغبار گرچه در واقع رویدادی طبیعی است، اما فعالیت‌های انسان‌ها میزان و شدت آن را تشدید کرده است (۱، ۲).

رویدادهای گردوغبار در مناطق خشک و بیابانی در سراسر جهان بسیار رایج بوده و گردوغبارها انواع آلاینده‌ها و اجزای بیولوژیکی را می‌توانند تا هزاران کیلومتر پایین دست باد جابجا کنند (۳). در کل، با توجه به منابع مختلف تولید کننده گردوغبار و مسیر عبوری آن، ترکیبات شیمیایی ذرات گردوغبار متفاوت است. فلزات سنگین به‌خصوص در مناطق شهری از جمله اجزای شیمیایی گردوغبار محسوب می‌شوند که در مواجهه انسان‌ها (از مسیرهای مختلف از جمله بلع، تنفس و تماس پوستی) با سطوح بالای برخی از آنها می‌تواند منجر به اثرات نامطلوب بر سلامت انسان و موجودات شود. از جمله این اثرات می‌توان به اختلالات روانی، اختلال در عملکرد طبیعی سیستم تنفسی، تولید مثل، گردش خون و کم شدن قدرت شنوایی و بینایی اشاره کرد (۴-۱۳).

با توجه به افزایش روز افزون پدیده گردوغبار در کشورهای مختلف از جمله کشورهای واقع در مناطق خشک و همچنین حضور آلاینده‌های فلزی در این ذرات مطالعاتی در این زمینه در سراسر جهان انجام شده است. برای نمونه می‌توان به مطالعه انجام شده در مورد خطرات سلامتی فلزات سنگین در گردوغبار جاده در شهر Maanshan، چین (۱۴)، تعیین غلظت فلزات سنگین و ارزیابی خطر سلامت گردوغبار جاده‌های شهری در مرکز تاریخی هاوانا، کوبا (۱۵)، ارزیابی خطر احتمالی فلزات سنگین در گردوغبار خیابان‌های شهری در شمال شرقی برزیل (۱۶)، تعیین آلودگی فلزات سنگین در نمونه‌های گردوغبار جاده در شهر Samsun، ترکیه (۱۷)، سنجش غلظت فلزات

در کلاس‌های مدرسه در Kumasi، غنا (۱۸)، ارزیابی خطر فلزات در مدارس شهر لاهور، پاکستان (۱۹)، تعیین غلظت فلزات سنگین در مدارس شهر الرمادی، عراق (۲۰)، مدارس آگرا، هند (۲۱)، مدارس ویلنیوس پایتخت لیتوانی (۲۲)، ارزیابی خطر سلامت انسان به واسطه عناصر سمی موجود در گردوغبار سیستان، ایران (۳)، وضعیت آلودگی فلزات سنگین در گردوغبار در شهرهای اهواز و زابل (۲۳)، دزفول، ماهشهر و آبادان (۲۴) و ارزیابی مخاطرات سلامتی فلزات سنگین گردوغبار در مدارس ابتدایی بندرعباس (۲۵) اشاره کرد.

در برخی کشورها و به‌خصوص کشورهای مناطق خشک و کم باران از جمله ایران، معمولاً ذرات گردوغبار در بیشتر سطوح به دلیل فعالیت‌های شدید کنترل نشده انسانی و همچنین عوامل طبیعی از جمله وزش بادها و طوفان‌ها دیده می‌شوند. در ایران نیز، شهر مشهد که دومین کلان شهر ایران محسوب می‌شود، از پدیده گردوغبار و طوفان‌های حاوی آن و همچنین آلودگی هوا رنج می‌برد. وجود ذرات گردوغبار به‌خصوص در محیط‌های شهری که معمولاً آلوده به فلزات سنگین نیز است، برای سلامتی انسان‌ها و به‌خصوص افراد حساس و دانش آموزان نگران کننده است. یکی از محیط‌هایی که باعث مواجهه کودکان با ذرات گردوغبار می‌شود، مدارس است، چرا که به واسطه فعالیت‌ها و بازی‌های دانش آموزان گردوغبار ته‌نشین شده نیز ممکن است دوباره معلق شده و محیط و فضاها را آلوده نموده و از طرق مختلف دانش آموزان را در معرض آلاینده‌های فلزی قرار دهد.

بررسی‌ها نشان می‌دهد تاکنون مطالعه‌ای در مورد سنجش فلزات سنگین در گردوغبار کلاس‌های شهر مشهد و ارزیابی مخاطرات سلامتی به‌واسطه مواجهه با فلزات انجام نشده است. با توجه به اینکه سازمان جهانی بهداشت (WHO) اثرات بهداشتی مختلفی از قبیل پاسخ‌های آلرژیک، سرطان، عفونت، آسیب‌های التهابی ریه، تحریک، پنوموکونیوز و مسمومیت‌های سیستمیک را که ممکن است از مواجهه با گردوغبار ناشی شود، فهرست کرده است (۵) و از آنجاییکه ظاهراً سیاست و برنامه‌ای

هر مدرسه (از روی سنگ‌های داخل حیاط و لبه‌های بیرونی پنجره‌ها) جمع آوری و با همدیگر مخلوط شدند. نمونه‌ها با استفاده از یک برس قلم مویی در سطوح تعیین شده جمع شده و سپس بدون استفاده از هیچ گونه ابزار فلزی در ظروف پلاستیکی ریخته شد و در نهایت به آزمایشگاه انتقال داده شدند.

#### آماده سازی و آنالیز نمونه‌ها

نمونه‌های گردوغبار، با الک سایز  $63 \mu\text{m}$  الک شده و در نهایت در دمای  $105^\circ\text{C}$  در آون به مدت یک شبانه روز (24 h) خشک شدند (24-28). پس از خشک شدن نمونه‌ها، 1 g از نمونه‌ها با 8 mL اسیدنیتریک و 4 mL اسید پرکلریک، به مدت 1 h داخل دستگاه هاضم با درجه  $80^\circ\text{C}$  و سپس به مدت 3 h در دمای  $150^\circ\text{C}$  هضم شدند (29-31). پس از اتمام مراحل هضم، محلول با استفاده از کاغذ صافی واتمن 42 صاف شده و با آب دیونیزه به حجم 25 mL رسانده شد و در نهایت، برای اندازه گیری مقدار عناصر مورد مطالعه از دستگاه ICP-MS با مشخصات مدل HP-4500 (ساخت آمریکا)، مجهز به اتوسمپلر Asx-520 استفاده گردید.

تمام ظروف مورد استفاده، از قبل به مدت 24 h در اسید نیتریک 10 درصد قرار داده شدند و سپس با آب مقطر شسته شدند. برای تایید اعتبار روش کار، کیفیت داده‌های تحلیلی با استفاده از کالیبراسیون با استانداردها، نمونه‌های شاهد و تکرار آنالیزها بررسی شده و همچنین از مواد مرجع استاندارد گواهی شده استفاده شد. حد تشخیص (LOQ) بین 0.23 تا 0.95 و حد تعیین (LOD) بین 0.77 تا 0.32  $\mu\text{g/g}$  درصد بازیابی (Recovery) عناصر بین 90 تا 108 درصد و انحراف استاندارد نسبی (RSD) بین 2 تا 10 درصد به دست آمد. نحوه محاسبه LOD، LOQ، RSD و درصد بازیابی در معادلات 1 تا 4 آورده شده است.

$$LOD = \left( \frac{3SD_{\text{Balnk}}}{m} \right) \quad (1)$$

$$LOQ = \left( \frac{10SD_{\text{Balnk}}}{m} \right) \quad (2)$$

برای کنترل فعالیت‌هایی که ممکن است بر تولید گردوغبار و پراکندگی در مدارس تأثیر بگذارد در ایران وجود ندارد، بنابراین در مطالعه حاضر اهداف زیر دنبال شده است: (1) تعیین غلظت عناصر کبالت (Co)، آهن (Fe)، سرب (Pb)، کلسیم (Ca) و باریم (Ba) در گردوغبار برخی از مدارس ابتدایی شهر مشهد، (2) ارزیابی درجه آلودگی عناصر بر مبنای شاخص‌های آلودگی شامل شاخص زمین انباشتگی (Igeo)، فاکتورهای آلودگی (CF)، شاخص بار آلودگی (PLI) و فاکتور غنی شدگی (EF)، (3) ارزیابی اثرات نامطلوب سلامتی احتمالی در نتیجه مواجهه دانش آموزان با عناصر ناشی از بلع، استنشاق و یا تماس پوستی با ذرات گردوغبار، (4) ارزیابی خطر بوم شناختی عناصر سنگین.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

شهر مشهد یکی از کلان‌شهرها و مهمترین شهر فرهنگی ایران است که در استان خراسان رضوی قرار دارد. شهرستان مشهد در طول جغرافیایی  $59^\circ$  درجه و  $15'$  دقیقه تا  $60^\circ$  درجه و  $36'$  دقیقه و عرض جغرافیایی  $35^\circ$  درجه و  $43'$  دقیقه تا  $37^\circ$  درجه و  $8'$  دقیقه واقع شده است. این شهر دومین شهر پهناور ایران پس از تهران است که دارای آب و هوای متغیر، اما معتدل و متمایل به سرد و خشک است و از تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های سرد و مرطوب برخوردار است. بیشینه درجه حرارت در تابستان‌ها  $43^\circ\text{C}$  بالای صفر و کمینه آن در زمستان‌ها  $23^\circ\text{C}$  زیر صفر است. ارتفاع متوسط شهر حدود 1050 m (حداکثر 1150 m و حداقل 950 m) و متوسط میزان بارندگی حدوداً 270 mm است.

### جمع آوری نمونه‌ها

در مطالعه حاضر، 27 مدرسه از مجموع حدود 270 مدارس ابتدایی دولتی و غیردولتی واقع در شهر مشهد انتخاب شد و 27 نمونه در پاییز 1401 جمع آوری شد. نمونه برداری به این صورت بود که از هر مدرسه 4 تا 5 نمونه از چند سطح از حیاط

ارزیابی شدت آلودگی نمونه‌های گردوغبار

در این مطالعه میزان آلودگی نمونه‌های گردوغبار با استفاده از شاخص‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. در ادامه به‌طور مختصر در مورد هر شاخص توضیحاتی ارائه شده است.

شاخص زمین‌انباشتگی (*Geoaccumulation index (Igeo)*) از شاخص‌های متداول تعیین شدت آلودگی است که به‌طور گسترده برای مطالعه و ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در گردوغبارها استفاده می‌شود. این شاخص بر مبنای معادله ۵ محاسبه شد (۳۱).

$$I_{geo} = \frac{\log_2(C_n)}{1.5(B_n)} \quad (5)$$

در فرمول فوق،  $C_n$  غلظت عنصر مورد مطالعه  $n$ ام در نمونه‌های گردوغبار و  $B_n$  غلظت زمینه عنصر  $n$ ام است. در این شاخص، میزان آلودگی به هفت طبقه تقسیم می‌شود. تفسیر نتایج این شاخص در جدول ۱ آورده شده است. از مقادیر شل (Shale) برای غلظت پس‌زمینه در این مطالعه استفاده شد که مقادیر آن برای عناصر  $Co, Fe, Al, Pb$  و  $Ba$  به ترتیب برابر با ۱۹، ۴۷۲۰۰، ۸۰۰۰۰، ۲۰ و ۴۶۰  $\mu\text{g/g}$  است.

$$Recovery \% = \left(\frac{X}{Y}\right) \times 100 \quad (3)$$

$$RSD \% = \left(\frac{SD}{\mu}\right) \times 100 \quad (4)$$

در فرمول فوق،  $SD_{Blank}$  انحراف معیار محلول شاهد،  $m$  شیب منحنی درجه‌بندی،  $X$  معادل غلظت عنصر مورد اندازه‌گیری در نمونه آنالیز شده و  $Y$  معادل عنصر فلز مورد نظر در استاندارد و  $\mu$  میانگین غلظت نمونه‌ها است.

تجزیه و تحلیل آماری

با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov)، تابعیت داده‌ها از توزیع نرمال بررسی شد. به دلیل عدم نرمال بودن توزیع داده‌ها، از آزمون‌های غیرپارامتریک برای تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شد. برای تعیین اختلاف غلظت عناصر مورد مطالعه در نمونه‌های جمع آوری شده از مکان‌های جغرافیایی مختلف، از آزمون کروسکال والیس (Kruskal-Wallis test) و برای مقایسه جفتی مکان‌ها از آزمون من ویتنی یو (Mann-Whitney U) در نرم افزار SPSS ۲۶ استفاده شد.

جدول ۱- تفسیر درجه آلودگی شاخص های  $CF, I_{geo}, EF, E_p^i$  و  $PERI$

| شاخص                     |                  |                     |                      |                   |            |
|--------------------------|------------------|---------------------|----------------------|-------------------|------------|
| EF                       |                  |                     | Igeo                 |                   |            |
| درجه آلودگی              | مقدار EF         | شماره طبقه          | درجه آلودگی          | مقدار Igeo        | شماره طبقه |
| عدم غنی سازی             | $EF < 1$         | ۱                   | عملاً غیر آلوده      | $I_{geo} \leq 0$  | ۰          |
| غنی سازی جزئی            | $1 < EF < 3$     | ۲                   | غیر آلوده تا متوسط   | $0 < I_{geo} < 1$ | ۱          |
| غنی سازی متوسط           | $3 < EF < 5$     | ۳                   | متوسط                | $1 < I_{geo} < 2$ | ۲          |
| غنی سازی بیش از متوسط    | $5 < EF < 10$    | ۴                   | متوسط تا زیاد        | $2 < I_{geo} < 3$ | ۳          |
| غنی سازی شدید            | $10 < EF < 25$   | ۵                   | زیاد                 | $3 < I_{geo} < 4$ | ۴          |
| غنی سازی خیلی شدید       | $25 < EF < 50$   | ۶                   | زیاد تا به شدت آلوده | $4 < I_{geo} < 5$ | ۵          |
| غنی سازی فوق العاده شدید | $EF > 50$        | ۷                   | به شدت آلوده         | $I_{geo} > 5$     | ۶          |
| PERI                     |                  |                     | CF                   |                   |            |
| خطر بوم شناسی            | مقدار RI         | مقدار $E_p^i$       | درجه آلودگی          | مقدار CF          | شماره طبقه |
| کم                       | $RI > 150$       | $E_p^i > 40$        | کم                   | $CF < 1$          | ۱          |
| متوسط                    | $150 > RI > 300$ | $40 > E_p^i > 80$   | متوسط                | $1 < CF < 3$      | ۲          |
| قابل ملاحظه              | $300 > RI > 600$ | $80 > E_p^i > 160$  | قابل توجه            | $3 < CF < 6$      | ۳          |
| زیاد                     | $600 > RI$       | $160 > E_p^i > 320$ | خیلی آلوده           | $CF > 6$          | ۴          |
| شدید                     | -                | $320 > E_p^i$       | -                    | -                 | ۵          |

عناصر استفاده شد. شاخص  $E_r^i$  منعکس کننده تأثیرات منفرد و شاخص RI نشان دهنده تأثیرات جمعی عناصر است (۱۲). این دو شاخص بر اساس معادلات ۹ و ۱۰ به دست آمدند و تفسیر نتایج این شاخص در جدول ۱ آورده شده است. در این فرمول، CF نشان دهنده فاکتور آلودگی و  $T_r^i$  بیانگر فاکتور ضریب سمیت عنصر است.

$$E_r^i = T_r^i \times CF \quad (9)$$

$$RI = \sum_{i=1}^n E_r^i \quad (10)$$

ارزیابی مخاطرات سلامتی با شاخص‌های ضریب خطر (*Hazard quotient (HQ)*) و شاخص خطر (*Hazard index (HI)*)

برای بررسی مخاطرات مقادیر عناصر، در گام اول میزان جذب روزانه (ADD) هر عنصر از طریق مسیرهای بلعیدن، استنشاق و تماس پوستی محاسبه شد و سپس شاخص HQ و در نهایت شاخص HI طبق معادلات ۱۱ تا ۱۳ به دست آمد.

$$ADD_{ing} = \frac{C_i \times InGR \times EF \times ED}{BW \times AT} \times 10^{-6} \quad (11)$$

$$ADD_{inh} = \frac{C_i \times InhR \times EF \times ED}{W \times AT \times PEF} \times 10^{-6} \quad (12)$$

$$ADD_{derm} = \frac{C_i \times SA \times AF \times ABS \times EF \times ED}{BW \times AT \times PEF} \times 10^{-6} \quad (13)$$

در اینجا،  $ADD_{ing}$ ،  $ADD_{inh}$  و  $ADD_{derm}$  به ترتیب میزان جذب روزانه عناصر از طریق بلعیدن، استنشاق و از طریق پوست است.  $C_i$  غلظت عناصر در نمونه‌های گردوغبار،  $InGR$  نرخ بلعیدن گردوغبار (برای کودکان ۲۰۰ و بزرگسالان ۱۰۰ mg/day)،  $EF$  فراوانی در معرض قرارگیری با عناصر (برای کودکان و بزرگسالان ۳۵۰ day/year)،  $BW$  میانگین وزن بدن (برای کودکان ۱۸/۶ و بزرگسالان ۸۰ kg)،  $ED$  دوره

شاخص فاکتور آلودگی (*Contamination factor (CF)*) مقادیر شاخص CF طبق معادله ۶ به دست آمد. در این فرمول، CH غلظت عنصر در نمونه‌های گردوغبار و CB غلظت پس زمینه هر عنصر است. تفسیر نتایج این شاخص در جدول ۱ آورده شده است.

$$CF = \frac{C_H}{C_B} \quad (6)$$

شاخص بار آلودگی (*Pollution load index (PLI)*)

شاخص PLI، طبق معادله ۷ محاسبه شد. جایی که، CF شاخص فاکتور آلودگی است و n تعداد عنصر مورد مطالعه است (۲۸). بر مبنای این شاخص، دو سطح برای بیان میزان شدت آلودگی در نظر گرفته می‌شود، که طبقه اول:  $PLI < 1$  نشان دهنده فاقد آلودگی و طبقه دو:  $PLI > 1$  نشان دهنده آلودگی است.

$$PLI = (CF_1 \times CF_2 \times CF_3 \times \dots \times CF_n)^{1/n} \quad (7)$$

فاکتور غنی شدگی (*Enrichment index (EF)*)

از این فاکتور جهت تعیین غنی شدگی و همچنین تعیین منابع احتمالی طبیعی یا انسانی عناصر موجود در گردوغبار استفاده می‌شود (۳۲). این شاخص طبق معادله ۸ به دست آمد. جایکه،  $C_n$  میزان فلز مورد بررسی در نمونه گرد وغبار،  $B_n$  غلظت پس زمینه عنصر،  $C_{Fe}$  میزان عنصر مرجع در نمونه گردوغبار و  $B_{Fe}$  غلظت پس زمینه عنصر مرجع است (۱۳). تفسیر نتایج این شاخص در جدول ۱ آورده شده است.

$$EF = \frac{\left(\frac{C_n}{C_{Fe}}\right)_{Sample}}{\left(\frac{B_n}{B_{Fe}}\right)_{Background}} \quad (8)$$

شاخص‌های خطر اکولوژیکی بالقوه (*Potential ecological risk index (PERI)*) از دو شاخص  $E_r^i$  و RI برای ارزیابی خطر اکولوژیکی بالقوه

$$HI = \sum_{i=1}^n HQ_i \quad (15)$$

### یافته‌ها

#### غلظت عناصر مورد مطالعه

غلظت عناصر Co، Fe، Ca، Al، Pb و Ba در نمونه‌های گردوغبار جمع آوری شده از مدارس شهر مشهد مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. میانگین غلظت عناصر مورد مطالعه در جدول ۲ آورده شده است. نتایج تجزیه و تحلیل‌ها نشان داد که غلظت Co از ۷/۲۶ تا ۱۳/۰۸، Fe از ۱۳۳۲۰/۷۱ تا ۲۵۸۶۹/۶۹، Ca از ۵۷۱۹۹/۴۶ تا ۱۲۳۵۷۸/۵۷، Al از ۹۲۷۳/۱۲ تا ۱۳۱۶۲/۸۱، Pb از ۱۱/۲۹ تا ۸۶/۱۶ و Ba از ۷۸/۰۶ تا ۱۴۷/۱۶  $\mu\text{g/g}$  متغیر بودند. نتایج نشان داد که بین غلظت عناصر مورد مطالعه از نقاط مختلف شهر اختلاف معنی داری وجود نداشت ( $p > 0.05$ )، در حالیکه مقادیر غلظت سرب بین مناطق مختلف اختلاف معنی داری را نشان داد ( $p < 0.05$ ).

زمانی مواجهه با عناصر (برای کودکان ۶ و بزرگسالان ۲۴ year)، AT میانگین زمان مواجهه (برای کودکان و بزرگسالان ED×۳۶۵ days)، InhR نرخ استنشاق گردوغبار (برای کودکان ۷/۶ و بزرگسالان ۲۰ year)، SA مساحت پوست در معرض با گردوغبار (برای کودکان ۲۶۹۹ و بزرگسالان ۳۹۵۰  $\text{cm}^2$ )، AF فاکتور چسبیدن به پوستی (برای کودکان ۰/۲ و بزرگسالان ۰/۰۷  $\text{mg/cm}^2/\text{day}$ )، ABS فاکتور جذب پوستی (برای کودکان و بزرگسالان ۰/۰۰۱) و PEF فاکتور انتشار ذرات (برای کودکان و بزرگسالان  $1/36 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{kg}$ ) است (۳۳). سپس مقادیر HQ و HI بر مبنای میزان جذب روزانه عناصر (ADDi) و میزان دوز رفرنس سمیت عناصر مورد مطالعه (RfD)، طبق معادلات ۱۴ و ۱۵ محاسبه شد.

$$HQ_i = \sum_{i=1}^n \frac{ADD_i}{RfD_i} \quad (14)$$

جدول ۲- مقادیر فلزات سنگین مورد مطالعه در نمونه‌های گردوغبار

| عناصر | پارامتر   |          |          | میانگین  | انحراف استاندارد |
|-------|-----------|----------|----------|----------|------------------|
|       | چارک Q1   | چارک Q2  | چارک Q3  |          |                  |
| Co    | ۸/۸۱      | ۹/۸۰     | ۱۰/۴۱    | ۹/۶۳     | ۱/۳۹             |
| Fe    | ۱۶۵۷۷۴/۲۰ | ۱۸۵۶۸/۵۶ | ۲۰۵۰۱/۵۰ | ۱۸۵۳۸/۵۸ | ۳۵۳۹/۱۷          |
| Ca    | ۶۷۴۱۶/۷۴  | ۷۸۵۱۴/۴۹ | ۹۵۵۲۶/۴۸ | ۸۴۰۱۷/۷۹ | ۲۰۴۸۷/۵۷         |
| Al    | ۱۰۳۹۸/۲۶  | ۱۱۵۰۳/۱۴ | ۱۲۲۳۱/۶۷ | ۱۱۲۷۰/۴۲ | ۱۱۵۷/۴۵          |
| Pb    | ۲۴/۲۴     | ۲۸/۵۰    | ۳۸/۰۱    | ۳۲/۰۷    | ۱۷/۷۹            |
| Ba    | ۱۰۱/۱۷    | ۱۰۸/۸۶   | ۱۲۴/۲۸   | ۱۱۱/۵۶   | ۱۸/۴۴            |

۳/۶۹- تا ۱/۵۱ متغیر بودند. بر مبنای میانگین این شاخص، تمام عناصر مورد مطالعه در تمام مدارس مورد بررسی در طبقه ۰ یعنی عملاً غیرآلوده قرار داشتند.

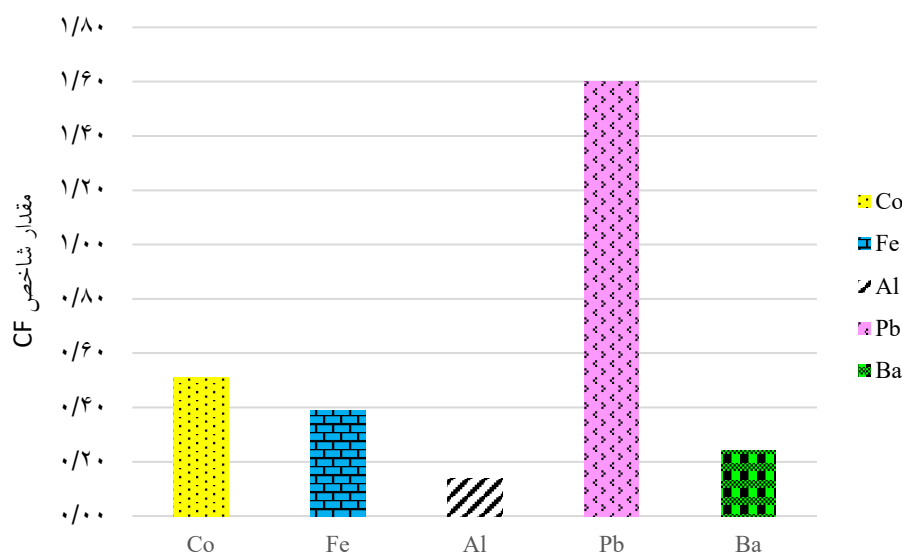
شاخص‌های ارزیابی درجه آلودگی و خطر سلامت مقادیر میانگین شاخص Igeo در جدول ۳ نشان داده شده است. مقادیر این شاخص برای تمام عناصر مورد مطالعه از

جدول ۳- مقادیر شاخص Igeo در نمونه‌های گردوغبار مورد مطالعه

| پارامتر | عناصر |       |       |       |       |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
|         | Ba    | Pb    | Al    | Co    | Fe    |
| میانگین | -۲/۶۵ | -۰/۰۹ | -۳/۴۲ | -۱/۵۸ | -۱/۹۶ |
| حداقل   | -۳/۱۴ | -۱/۴۱ | -۳/۶۹ | -۱/۹۷ | -۲/۴۱ |
| حداکثر  | -۲/۲۳ | ۱/۵۱  | -۳/۱۹ | -۱/۱۲ | -۱/۴۵ |

کم و فقط سرب در طبقه دو یعنی درجه آلودگی متوسط دسته بندی شدند. همچنین مقادیر شاخص PLI در مطالعه حاضر محاسبه شد و مقادیر آن از ۰/۳۲ تا ۰/۵۰ متغیر بود.

مقادیر میانگین شاخص CF در نمودار ۱ نشان داده شده است. مقادیر این شاخص برای تمام عناصر مورد مطالعه از ۰/۱۲ تا ۴/۲۶ متغیر بودند. بر مبنای میانگین این شاخص، تمام عناصر مورد مطالعه در طبقه یک یعنی درجه آلودگی

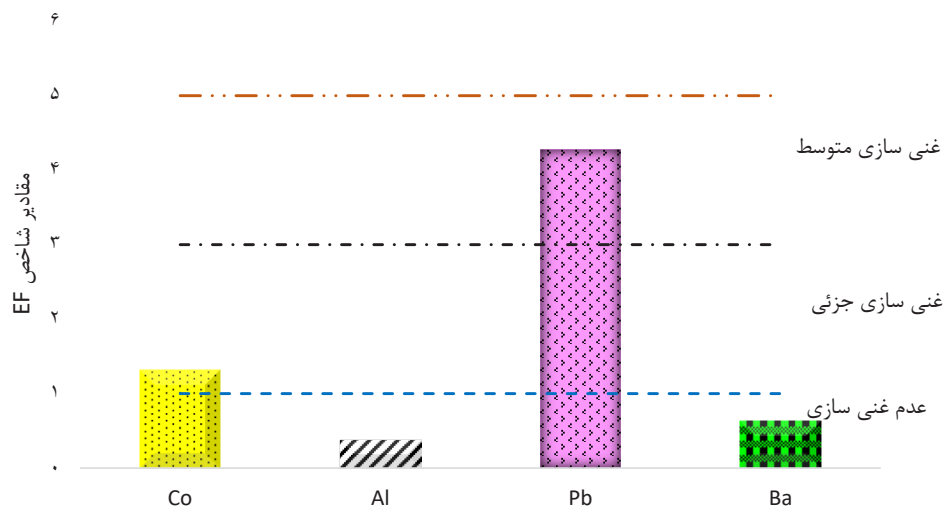


نمودار ۱- مقادیر شاخص CF برای عناصر مورد مطالعه

عناصر آلومینیوم و باریم در تمام ایستگاه‌ها در طبقه یک (عدم غنی سازی) و کبالت در طبقه دو (غنی سازی جزئی) و سرب در طبقه سه (غنی سازی متوسط) قرار داشتند (نمودار ۲).

مقادیر شاخص EF نیز محاسبه شد و در این شاخص عنصر آهن به عنوان عنصر مرجع در این مطالعه در نظر گرفته شد. مقادیر این شاخص برای تمام عناصر مورد مطالعه از ۰/۲۷ تا ۱۲/۱۳ متغیر بود. بر مبنای میانگین این شاخص،





نمودار ۲- مقادیر شاخص EF برای عناصر مورد مطالعه

شاخص RI نیز در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه از ۳/۵۸ تا ۲۲/۶۷ متغیر بودند. نتایج این شاخص نیز نشان داد که عناصر مورد مطالعه دارای خطر اکولوژیکی کم بودند (جدول ۴).

نتایج شاخص PERI نشان داد که مقادیر شاخص  $E_r^i$  برای تمام عناصر مورد مطالعه از ۰/۷۶ تا ۲۱/۲۹ متغیر بودند. نتایج این شاخص نشان داد که عناصر مورد مطالعه در طبقه اول یعنی خطر اکولوژیکی کم قرار داشتند. مقادیر

جدول ۴- مقادیر شاخص‌های خطر اکولوژیکی بالقوه  $E_r^i$  و RI در در نمونه‌های گردوغبار مورد مطالعه

| شاخص RI | شاخص $E_r^i$ |       | شاخص و عناصر پارامتر |
|---------|--------------|-------|----------------------|
|         | کبالت        | سرب   |                      |
| ۳/۵۸    | ۰/۷۶         | ۲/۸۲  | حداقل                |
| ۲۲/۶۷   | ۱/۳۸         | ۲۱/۲۹ | حداکثر               |
| ۹/۰۳    | ۱/۰۱         | ۸/۰۲  | میانگین              |

مربوط به سرب و بیشترین مربوط به آهن و کمترین میزان HQ ناشی از تماس پوستی (HQ der) مربوط به کبالت و بیشترین مربوط به سرب بود. همچنین نتایج نشان داد که همه مقادیر شاخص‌های HQ و HI کمتر از یک، یعنی عدم وجود مخاطره بالقوه برای سلامتی دانش آموزان بودند (جدول ۵).

شاخص‌های ارزیابی خطر سلامت شامل HQ و HI برای مواد غیرسرطان زا در نمونه‌های مورد مطالعه در جدول ۵ برای دانش آموزان نشان داده شده است. نتایج نشان داد که کمترین میزان HQ ناشی از بلع (HQ ing) مربوط به کبالت و بیشترین مربوط به سرب؛ کمترین میزان HQ ناشی از استنشاق (HQ inh)



جدول ۵- شاخص‌های ارزیابی خطر سلامت شامل HQ، HI در نمونه‌های گردوغبار مورد مطالعه

| عناصر     |           |           |           | انسان  |
|-----------|-----------|-----------|-----------|--------|
| Ba        | Pb        | Co        | Fe        |        |
| ۷/۵۱E -۰۳ | ۴/۳۲E -۰۲ | ۲/۲۷E -۰۳ | ۱/۰۴E -۰۲ | HQ ing |
| ۲/۲۲E -۱۵ | ۳/۱۹E -۱۷ | ۵/۴۷E -۱۷ | ۴/۴۳E -۱۱ | HQinh  |
| ۳/۳۸E -۱۴ | ۱/۹۵E -۱۳ | ۱/۰۲E -۱۴ | ۴/۶۹E -۱۴ | HQder  |
| ۲/۵۰E -۰۳ | ۱/۴۴E -۰۲ | ۷/۵۶E -۰۴ | ۳/۷۴E -۰۳ | HI     |

دانش آموزان

### بحث

در پوسته زمین نسبت به مابقی عناصر برخوردارند. در برخی مطالعات دیگر نتایج متفاوتی به دست آمده است، برای نمونه در مطالعه انجام شده در Kumasi در غنا، Cr بیشترین غلظت و Cd کمترین غلظت را نشان داده است (۱۸) که خوردگی و استهلاک خودروها از دلایل احتمالی بالا بودن Cr عنوان شده است و در مطالعه انجام شده در مدارس شهر شیراز نیز Pb بیشترین و Cd کمترین غلظت را داشته است (۳۵). در مجموع با توجه به تغییرات در غلظت عناصر گردوغبار مدارس از مطالعات مختلف، می‌توان گفت که این اختلاف در غلظت‌ها، تنوع منابع آلودگی در محیط‌های شهری و تأثیر متغیرهای محیطی محلی را نشان می‌دهد (۳۶).

نتایج تجزیه و تحلیل‌های آماری نشان داد که بین غلظت عناصر Co، Fe، Ca، Al و Ba از مدارس واقع در مکان‌های مختلف جغرافیایی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ( $p > 0/05$ ). در مقابل اختلاف معنی‌داری در غلظت Pb مدارس واقع در مناطق شرق با سایر مدارس واقع در شمال، غرب و جنوب به دست آمد ( $p < 0/05$ )، در حالی که بین مدارس واقع در شرق و مرکز اختلاف معنی‌داری در غلظت Pb مشاهده نشد ( $p > 0/05$ ). از دلایل احتمالی میزان بالای سرب در مناطق شرقی نسبت به سایر مناطق می‌توان به وجود برخی از منابع آلوده کننده از جمله پایانه باربری، کارخانه کمپوست و شهرک صنعتی طرق به دلیل وجود حجم زیاد خودروها از جمله

گردوغبارها به دلیل اینکه حاوی آلاینده‌های مختلف هستند، سبب تشدید آلودگی هوا به خصوص در محیط‌های شهری می‌شوند. برخی از این ذرات به دلیل کوچکی به راحتی از مسیرهای مختلف وارد بدن انسان شده و انسان‌ها به خصوص افراد حساس‌تر را در معرض مخاطرات بهداشتی قرار می‌دهند. به همین دلیل در مطالعه حاضر تعیین غلظت و ارزیابی مخاطرات بالقوه سلامتی دانش آموزان مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج نشان داد که در میان عناصر سنجش شده، Ca و سپس Fe بیشترین غلظت و Co کمترین غلظت را داشتند. ترتیب غلظت عناصر مورد مطالعه در نمونه‌های گردوغبار به صورت  $Ca > Fe > Al > Ba > Pb > Co$  بود. همانطور که مشاهده می‌شود، بیشترین غلظت عناصر اندازه‌گیری شده در گردوغبار مربوط به Ca است، چرا که یکی از عناصر با فراوانی بالا در پوسته زمین است. از دلایل احتمالی بالا بودن میزان سرب نیز می‌توان به فراوانی آن در پوسته زمین و همچنین انتشار آن از وسایل نقلیه و سوخت‌های فسیلی اشاره کرد. در مطالعه انجام شده در شهر مکزیکو در کشور مکزیک نیز نتایج مشابهی به دست آمده است که Ca بیشترین غلظت و Co کمترین غلظت را در داشته‌اند (۳۴). از دیگر دلایل احتمالی بالا بودن میزان Ca، Fe و Al در پژوهش حاضر و این مطالعه می‌توان گفت که سه عنصر یاد شده از فراوانی بیشتر

و از دلایل احتمالی آن انسانی بودن منشاء منابع این عنصر ذکر شده است (۳۵). بیشترین غلظت Co گزارش شده از بندرعباس بود (۲۵). قابل ذکر است که مقادیر کبالت در عمده مطالعات تفاوت قابل توجهی با یکدیگر نداشتند که این نتایج نیز می‌تواند نشان دهنده این باشد که به احتمال زیاد در شهر بندرعباس و اطراف آن منابع انسان ساخت بیشتری نسبت به شهر مشهد و سایر شهرهای ذکر شده در جدول ۶ وجود دارد.

خودروهای سنگین اشاره نمود. مقادیر غلظت‌های به دست آمده در این مطالعه، با مقادیر گزارش شده از دیگر مدارس در سراسر جهان نیز مقایسه شد (جدول ۶). نتایج نشان داد که غلظت سرب در مطالعه حاضر کمتر از مقادیر گزارش شده در سایر مطالعات است و کمترین غلظت برای عنصر کبالت در مطالعه شهر شیراز گزارش شده است (۳۵). بیشترین غلظت سرب ثبت شده از شیراز بود که حدود ۱۲ برابر غلظت به دست آمده در مطالعه حاضر بود.

جدول ۶- مقادیر عناصر ( $\mu\text{g/g}$ ) در گردوغبار مناطق شهری ایران و سایر مطالعات در سراسر جهان

| منبع        | منطقه مورد مطالعه  | عناصر  |        |          |          |          |       |
|-------------|--------------------|--------|--------|----------|----------|----------|-------|
|             |                    | Ba     | Pb     | Al       | Ca       | Fe       | Co    |
| مطالعه حاضر | مشهد               | ۱۱۱/۵۶ | ۳۲/۰۷  | ۱۱۲۷۰/۴۲ | ۸۴۰۱۷/۷۹ | ۱۸۵۳۸/۵۸ | ۹/۳۳  |
| (۲۵)        | بندرعباس           | -      | ۶۶/۷۲  | -        | -        | -        | ۱۱/۴۴ |
| (۳۵)        | شیراز              | -      | ۲۵۸/۸۸ | -        | -        | -        | ۶/۳۷  |
| (۳۷)        | Sri Serdang, مالزی | -      | ۸۹/۰۵  | -        | -        | -        | -     |
| (۱۸)        | Kumasi, غنا        | -      | ۴۱/۹۱  | -        | -        | -        | ۹/۷۲  |
| (۲۰)        | Ramadi, عراق       | -      | ۵۱/۴۶  | -        | -        | -        | -     |
| (۳۸)        | Lahore, پاکستان    | -      | ۲۳۰    | -        | -        | -        | -     |

احتمالی بالا بودن میزان سرب نیز می‌توان به فعالیت‌های حمل و نقل، انتشار سرب از رنگ‌های استفاده شده در محیط شهری و کارخانه سیمان اشاره کرد. در مطالعه دیگری در شیراز نیز نتایج تقریباً مشابهی گزارش شده است. در آن مطالعه نیز بیشتر عناصر مورد مطالعه در طبقه ۰ و ۱ یعنی سطح آلودگی غیر آلوده تا آلودگی متوسط قرار داشته‌اند و فقط سرب و کروم در طبقه ۲ با سطح آلودگی متوسط بوده‌اند (۳۵). در مطالعه‌ای که در مدارس Lahore پاکستان انجام شده است نیز همانند مطالعه حاضر، بیشتر عناصر مورد مطالعه بر مبنای شاخص Igeo در طبقه ۰ قرار داشتند و سرب در طبقه ۳ یعنی درجه آلودگی متوسط تا آلودگی زیاد قرار گرفته است. با این وجود در آن مطالعه

جهت ارزیابی جامع‌تر مخاطرات حضور فلزات سمی در خاک، از شاخص‌های مختلفی در مطالعه حاضر استفاده شد. یکی از این شاخص‌ها Igeo بود که نتایج آن در جدول ۳ نشان داده شده است. مقادیر این شاخص نشان داد که تمام عناصر مورد مطالعه در همه مدارس مورد بررسی به استثنای سرب، در طبقه ۰ یعنی عملاً غیرآلوده قرار داشتند. بدین معنی که نمونه‌های گرد و غبار جمع‌آوری شده از مدارس منتخب، آلودگی به عناصر مورد مطالعه را در سطوح مشابه (به استثناء سرب) نشان دادند. تنها درجه آلودگی عنصر سرب بود که در حدود ۳۰ درصد مدارس در طبقه ۱ یعنی درجه آلودگی غیر آلوده تا آلودگی متوسط و حدود ۱۱ درصد مدارس در طبقه ۲ یعنی درجه آلودگی متوسط و مابقی در طبقه ۰ قرار داشتند، از دلایل

در این شهرها نیز بیشتر از شهر مشهد است. مقادیر میانگین شاخص EF نشان داد که عناصر آلومینیوم و باریم در تمام ایستگاهها در طبقه یک یعنی عدم غنی سازی و کبالت در طبقه دو یعنی غنی سازی جزئی و سرب در طبقه سه یعنی غنی سازی متوسط قرار داشتند (نمودار ۲). برای عنصر سرب، حدود ۷۰ درصد نمونهها در طبقه سه، حدود ۴ درصد در طبقه چهار یعنی غنی سازی بیش از متوسط، حدود ۸ درصد در طبقه پنج یعنی غنی سازی شدید و مابقی در طبقه دو بودند. همچنین با توجه به اینکه مقادیر شاخص EF بیشتر از ۱/۵، بیانگر انسان ساخت بودن منبع عنصر مد نظر است (۳۹). بنابراین نتایج به دست آمده در مطالعه حاضر نشان داد که در شهر مشهد، منبع اصلی عنصر سرب به احتمال زیاد منابع انسانی هستند. با توجه به نتایج این شاخص نیز می توان گفت که احتمالاً غلظت سرب در گردوغبار شهر مورد مطالعه نگران کننده است. در مطالعه انجام شده در مدارس Hermosillo در مکزیک (۴۰) و همچنین شیراز (۳۵)، نیز تقریباً نتایج مشابهی گزارش شده است و میزان این شاخص برای عنصر سرب بالا و نشان دهنده انسان ساخت بودن منابع آن بوده است. در مطالعه انجام شده در مدارس شهر Agra در هند نیز سرب بیشترین میزان این شاخص را داشت، اما در مجموع در طبقه دو یعنی غنی سازی جزئی قرار داشته است (۴۱).

در مطالعه حاضر، شاخص PERI نیز که ارزیابی جامعی از سمیت فلزات سنگین را نشان می دهد به دست آمده است (جدول ۴). نتایج شاخص  $E_p^i$  نشان داد که عناصر مورد مطالعه در طبقه اول یعنی خطر اکولوژیکی کم قرار داشتند و همچنین نتایج شاخص RI نیز تایید کننده شاخص قبلی بود، به این صورت که بر مبنای شاخص RI نیز عناصر مورد مطالعه دارای خطر اکولوژیکی کم ( $RI < 150$ ) بودند. در مجموع می توان بیان کرد که بر مبنای شاخصهای  $E_p^i$  و RI برای عناصر مورد مطالعه، در تمام ایستگاههای مورد مطالعه هیچ خطر اکولوژیکی بالقوه ای وجود نداشت. در مطالعه انجام شده در پاکستان، میزان  $E_p^i$  برای عنصر سرب خطر اکولوژیکی متوسط

کادمیوم بیشترین درجه آلودگی را نشان داده و در طبقه ۵ قرار گرفته بود (۱۹). نتایج مطالعه دیگری در شهر Ramadi در عراق نیز مشابه نتایج به دست آمده از مطالعه ای انجام شده در Lahore پاکستان بوده است (۲۰)، در آن مطالعه نیز سرب و کادمیوم دارای درجه آلودگی بالا و مابقی عناصر در طبقه ۰ قرار داشته اند.

نتایج مقادیر میانگین شاخص CF نشان داد که تمام عناصر مورد مطالعه به غیر از سرب در طبقه یک یعنی درجه آلودگی کم قرار داشتند و فقط سرب در طبقه دو یعنی درجه آلودگی متوسط قرار گرفت (نمودار ۱). همچنین نتایج نشان داد که حدود ۱۱ درصد نمونهها از لحاظ میزان سرب، در طبقه سه یعنی درجه آلودگی قابل توجه، حدود ۲۰ درصد در طبقه یک و مابقی در طبقه دو قرار داشتند. نتایج شاخص Igeo نیز تایید کننده نتایج به دست آمده از این شاخص بود و بر مبنای هر دو شاخص میزان درجه آلودگی سرب بیش از سایر عناصر مورد مطالعه بود. در مطالعه حاضر، همچنین مقادیر شاخص PLI تمام ایستگاهها و برای همه عناصر کمتر از ۱ بود، که این نتایج نشان دهنده غیر آلوده بودن ایستگاهها به عناصر مورد مطالعه بود. در مطالعه ای در مدارس شهر شیراز، مقادیر شاخص CF برای عنصر Co مشابه نتایج مطالعه حاضر به دست آمده است، بدین صورت که این عناصر در طبقه یک یعنی آلودگی کم قرار داشته است و عنصر Pb در طبقه چهار یعنی درجه آلودگی خیلی آلوده قرار گرفته بود، همچنین در آن مطالعه مقادیر شاخص PLI بر خلاف مطالعه حاضر، بیش از ۱ به دست آمده است (۳۵). همچنین در مطالعه ای در نیجریه بیشترین میزان شاخص CF برای عنصر Fe یعنی طبقه چهار و کمترین برای Ni یعنی طبقه اول گزارش شده است. در آن مطالعه همچنین مقادیر شاخص PLI بسیار بیشتر از محدوده امن یعنی ۱ به دست آمده است (۵). با توجه به مقایسات به خصوص بر مبنای شاخص PLI، می توان گفت که میزان آلودگی این عناصر در این شهرها بسیار بالاتر از مطالعه حاضر بوده است و در نتیجه می توان بیان نمود که احتمالاً منابع آلوده کننده این آلایندهها

درجه آلودگی با استفاده از شاخص‌های Igeo، CF، EF، PLI نشان داد که تقریباً تمام عناصر مورد مطالعه در طبقه اول این شاخص‌ها یعنی درجه آلودگی ناچیز یا اندک قرار داشتند، هر چند میزان درجه آلودگی سرب در برخی نمونه‌ها در طبقات بالاتر قرار داشت، اما در حد درجه آلودگی زیاد نبوده است. شاخص PERI نیز نشان داد که در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه هیچ خطر اکولوژیکی بالقوه‌ای وجود نداشت و مقادیر شاخص‌های مخاطرات عناصر یعنی HI و HQ نیز نشان دهنده این بود که خطری از جانب مواجهه با این عناصر به واسطه گردوغبار سلامت افراد ساکن در شهر مورد مطالعه را تهدید نمی‌کند. در نهایت می‌توان گفت که خوشبختانه غلظت‌های موجود عناصر مورد مطالعه نگرانی قابل توجهی را برای سلامتی دانش آموزان در مدارس مورد مطالعه به همراه ندارد، اما از آنجاییکه این اولین مطالعه در این زمینه در مدارس شهر مشهد است، پیشنهاد می‌شود که در مطالعات آینده عناصر متنوع‌تر و سایر آلاینده‌ها نیز مورد پایش و ارزیابی قرار گیرند تا امکان بررسی جامع‌تر و کامل‌تر مخاطرات ناشی از انواع آلاینده‌ها میسر شود. لازم به ذکر است که از محدودیت‌های مطالعه حاضر می‌توان به عدم امکان سنجش عناصر متنوع‌تر و شناسایی دقیق‌تر منابع عناصر با استفاده از روش‌های آزمایشگاهی، به دلیل عدم امکان دریافت حمایت مالی و همچنین عدم امکان نمونه برداری از برخی مدارس شهر، به دلیل عدم همکاری اشاره کرد.

### ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند.

### تشکر و قدردانی

نویسنده این مقاله از تمام کسانی که در انجام این پژوهش، به خصوص در نمونه برداری همکاری داشته‌اند، کمال تشکر و قدردانی را می‌نماید.

را نشان داد و بر مبنای شاخص RI دارای خطر اکولوژیکی شدید بود (۱۹). غلظت بالای این عناصر در نمونه‌های گردوغبار مدارس به فعالیت‌های انسانی، یعنی ترافیک متراکم وسایل نقلیه، تعداد زیاد صنایع کوچک، عدم مدیریت پسماند شهری، ساخت‌وسازهای ساختمانی و تولید لوازم الکترونیکی، موتورهای با سوخت فسیلی و توربین‌ها و استفاده گسترده از کودها و آفت‌کش‌ها نسبت داده شده است.

مطالعات نشان داده است که یک ماده شیمیایی می‌تواند از مسیرهای مختلف از جمله بلعیدن، استنشاق کردن و جذب پوستی وارد بدن انسان شود. در مطالعه حاضر ارزیابی شاخص‌های ارزیابی خطر سلامت شامل HI و HQ نشان داد که مسیرهای مواجهه با عناصر مورد مطالعه به ترتیب از طریق بلع < استنشاق < تماس پوستی بودند. نتایج همچنین نشان داد که مقادیر HI و HQ تمام عناصر مورد مطالعه در تمام نمونه‌ها کمتر از ۱ یعنی در سطح ایمن بودند (جدول ۵). بنابراین خطری از جانب مواجهه با این عناصر به واسطه گردوغبار، سلامت دانش آموزان واقع در مدارس نمونه برداری شده را تهدید نمی‌کند. در مطالعه انجام شده در شهر شیراز نیز بر مبنای شاخص HI، نتایج مشابهی گزارش شده است و خطر غیرسرطانی مخربی برای سلامتی کودکان و بزرگسالان به دست نیامده است (۳۵)، نتایج به دست آمده از مدارس لاهور در پاکستان (۳۸) و پکن در چین (۴۲) نیز مشابه مطالعه حاضر بود. در مقابل، در مطالعه‌ای در نیجریه، نتایج نشان داده است که میزان HQ برای عنصر سرب بیشتر از ۱ یعنی دارای خطر سلامتی بوده و عناصر مس، روی و آهن کمتر از ۱ بوده‌اند (۵). در مطالعه انجام شده در مدارس Sri Serdang، در مالزی نیز میزان HI و HQ عنصر سرب بیشتر از ۱ و مس و کادمیوم کمتر از ۱ به دست آمده است (۳۷).

### نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که در میان عناصر سنجش شده، Ca و سپس Fe بیشترین غلظت و Co کمترین غلظت را داشتند. نتایج

## References

1. Darmany M, Ara H, Rashki A, Mafi A. Source identifying and characterizing physical and chemical fine dust in Sarakhs city. *Journal of Geography and Environmental Hazards*. 2020;9(3):21-37.
2. Jajarmi F, Jonidi Jafari A, Kermani M, Gholami M. Identification of possible dust storm sources in Tehran (2016-2017): Physical and chemical characteristics. *Journal of Arak University of Medical Sciences*. 2019;22(1):39-50 (in Persian).
3. Behrooz RD, Kaskaoutis D, Grivas G, Mihalopoulos N. Human health risk assessment for toxic elements in the extreme ambient dust conditions observed in Sistan, Iran. *Chemosphere*. 2021;262:127835.
4. Zarasvandi A, Delphi M, Azizi N, Rastmanesh F, Zarasvandi G. Investigating the factors of pollution and the health risk caused by heavy metals in the dust inside the cabin and air filter of different cars in Ahvaz city. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2023;16(3):501-14 (in Persian).
5. Ugwu KE, Ofomatah AC. Concentration and risk assessment of toxic metals in indoor dust in selected schools in Southeast, Nigeria. *SN Applied Sciences*. 2021;3:1-13.
6. Chakraborty M, Rahat MMR, Choudhury TR, Nigar R, Liu G, Habib A. Heavy metal contamination and health risk assessment of road dust from landfills in Dhaka-Narayanganj, Bangladesh. *Emerging Contaminants*. 2024;10(1):100278.
7. Mardoukhi S, Hosseini SV, Hoseini SM. Risk to consumers from mercury in croaker (*Otolithes ruber*), from the Mahshahr port. *Journal of Fisheries Science and Technology*. 2013;2(3):43-55 (in Persian).
8. Khoshnamvand M, Kaboudvandpour S, Ghiasi F, Bahramnejad B. Comparison of total mercury accumulation in muscle tissues of common carp (*Cyprinus carpio*) and silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) from Sanandaj Gheslugh Dam. *Journal of Environmental Studies*. 2011;36(56):47-54 (in Persian).
9. Malvandi H, Sari AE, Aliabadian M. Mercury contamination in Khramulia (*Capoeta capoeta*) from the Cheshme Kile and Zarrin Gol Rivers in Iran and human health risk assessment. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2014;93:472-77.
10. Malvandi H, Ghasempouri SM, Esmaili-Sari A, Bahramifar N. Evaluation of the suitability of application of golden jackal (*Canis aureus*) hair as a noninvasive technique for determination of body burden mercury. *Ecotoxicology*.

- 2010;19:997-1002.
11. Malvandi H, Alahabadi A. Evaluation of potential human health risk due to the exposure to mercury via fish consumption of *Alosa* spp. from the southern Caspian Sea. *Marine Pollution Bulletin*. 2019;143:66-71.
  12. Malvandi H. Preliminary evaluation of heavy metal contamination in the Zarrin-Gol River sediments, Iran. *Marine Pollution Bulletin*. 2017;117(1-2):547-53.
  13. Alahabadi A, Malvandi H. Contamination and ecological risk assessment of heavy metals and metalloids in surface sediments of the Tajan River, Iran. *Marine Pollution Bulletin*. 2018;133:741-49.
  14. Liu Y, Jin T, Yu S, Chu H. Pollution characteristics and health risks of heavy metals in road dust in Ma'anshan, China. *Environmental Science and Pollution Research*. 2023;30(15):43726-39.
  15. Díaz Rizo O, Casanova Díaz AO, Torres Ramos AG, Ramos López D. Heavy metals concentration, pollution indexes, and health risk assessment of urban road dust in the historical center of Havana, Cuba. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2023;195(2):349.
  16. Lima LHV, Do Nascimento CWA, Da Silva FBV, Araújo PRM. Baseline concentrations, source apportionment, and probabilistic risk assessment of heavy metals in urban street dust in Northeast Brazil. *Science of the Total Environment*. 2023;858:159750.
  17. Istanbulu SN, Sevik H, Isinkaralar K, Isinkaralar O. Spatial distribution of heavy metal contamination in road dust samples from an urban environment in Samsun, Türkiye. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2023;110(4):78.
  18. Nkansah MA, Fianko JR, Mensah S, Debrah M, Francis GW. Determination of heavy metals in dust from selected nursery and kindergarten classrooms within the Kumasi metropolis of Ghana. *Cogent Chemistry*. 2015;1(1):1119005.
  19. Rehman A, Liu G, Yousaf B, Ahmed R, Rashid MS, Irshad S, et al. Morpho-chemical characterization and source apportionment of potentially toxic metal (oid) s from school dust of second largest populous city of Pakistan. *Environmental Research*. 2021;196:110427.
  20. Radhi AB, Shartooh SM, Al-Heety EA. Heavy metal pollution and sources in dust from primary schools and kindergartens in Ramadi City, Iraq. *Iraqi Journal of Science*. 2021;62(6):1816-28.
  21. Dubey S, John R, Singh M, Khare P, Taneja A. Seasonal variation in metals concentration associated with settled dust and their risk assessment in school children of Agra (India).

- Environmental Advances. 2024;15:100480.
22. Unsal MH, Ignatavičius G, Valskys V. Unveiling heavy metal links: correlating dust and topsoil contamination in Vilnius schools. *Land*. 2024;13(1):79.
23. Asvad SR, Esmaili-Sari A, Bahramifar N, Behrooz RD, Paschalidou AK, et al. Heavy metals contamination status and health risk assessment of indoor and outdoor dust in Ahvaz and Zabol cities, Iran. *Atmospheric Pollution Research*. 2023;14(4):101727.
24. Rahimi M, Mohammadi Rouzbahani M, Payandeh K, Nazarpour A, Panahpour E. Investigation of pollution and enrichment indices of heavy metals transported by atmospheric dust particles in the metropolis of the cities of Khuzestan province. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2021;14(2):299-318 (in Persian).
25. Alizadeh Z, Dindarloo K, Heidari M. Assessment of health risk attributed to heavy metals of settled dust in the elementary schools of Bandar Abbas. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2021;14(3):487-98 (in Persian).
26. Kurt-Karakus PB. Determination of heavy metals in indoor dust from Istanbul, Turkey: estimation of the health risk. *Environment International*. 2012;50:47-55.
27. Darus FM, Nasir RA, Sumari SM, Ismail ZS, Omar NA. Heavy metals composition of indoor dust in nursery schools building. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. 2012;38:169-75.
28. Malvandi H, Hassanzadeh N. Environmental and ecological risk evaluation of heavy metals in surface sediments of the CheshmeKile River, Mazandaran. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2018;11(3):419-32 (in Persian).
29. Yap C, Hatta Y. Distribution of heavy metal concentrations (Cd, Cu, Ni, Fe and Zn) in the different soft tissues and shells of wild mussels *Perna viridis* collected from Bagan Tiang and Kuala Kedah. *Application Biological*. 2008;37(2):1-10.
30. Wan D, Han Z, Yang J, Yang G, Liu X. Heavy metal pollution in settled dust associated with different urban functional areas in a heavily air-polluted city in North China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2016;13(11):1119.
31. Malvandi H, Hassanzadeh N. Potential ecological risk assessment of heavy metal contamination in surface sediment of the Siahrood River, Mazandaran province. *Journal of Research in Environmental Health*. 2019;5(3):217-29 (in Persian).
32. Wei B, Jiang F, Li X, Mu S. Heavy metal induced ecological risk in the city of Urumqi,



- NW China. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2010;160:33-45.
33. Gong C, Wang S, Wang D, Lu H, Dong H, Liu J, et al. Ecological and human health risk assessment of heavy metal (loid) s in agricultural soil in hotbed chives hometown of Tangchang, Southwest China. *Scientific Reports*. 2022;12(1):8563.
34. 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.
35. Moghtaderi T, Aminiyan MM, Alamdar R, Moghtaderi M. Index-based evaluation of pollution characteristics and health risk of potentially toxic metals in schools dust of Shiraz megacity, SW Iran. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. 2019;25(1-2):410-37.
36. Unsal MH, Ignatavičius G, Valiulis A, Prokopciuk N, Valskienė R, Valskys V. Assessment of heavy metal contamination in dust in Vilnius schools: source identification, pollution levels, and potential health risks for children. *Toxics*. 2024;12(3):224.
37. Praveena SM, Abdul Mutalib NS, Aris AZ. Determination of heavy metals in indoor dust from primary school (Sri Serdang, Malaysia): Estimation of the health risks. *Environmental Forensics*. 2015;16(3):257-63.
38. Rehman A, Liu G, Yousaf B, Zia-ur-Rehman M, Ali MU, Rashid MS, et al. Characterizing pollution indices and children health risk assessment of potentially toxic metal(oid)s in school dust of Lahore, Pakistan. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2020;190:110059.
39. Stamatelopoulou A, Dasopoulou M, Bairachtari K, Karavoltzos S, Sakellari A, Maggos T. Contamination and potential risk assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) and heavy metals in house settled dust collected from residences of young children. *Applied Sciences*. 2021;11(4):1479.
40. Meza-Figueroa DM, O-Villanueva Mdl, Parra ML. Heavy metal distribution in dust from elementary schools in Hermosillo, Sonora, México. *Atmospheric Environment*. 2007;41:276-88.
41. Habil M, Massey DD, Taneja A. Exposure of children studying in schools of India to PM levels and metal contamination: sources and their identification. *Air Quality, Atmosphere & Health*. 2013;6:575-87.
42. Li R, Cai G, Wang J, Ouyang W, Cheng H, Lin C. Contents and chemical forms of heavy metals in school and roadside topsoils and road-

surface dust of Beijing. Journal of Soils and Sediments. 2014;14(11):1806-17.



Available online: <https://ijhe.tums.ac.ir>  
Original Article



## Ecological and human risk assessment of some heavy metals in the dust of elementary schools in selected areas of Mashhad city

Hassan Malvandi<sup>1,2,3,\*</sup>

- 1- Department of Environmental Sciences and Engineering, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran
- 2- EthnoBiology Core (EBC), Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Khorasan Razavi, Iran
- 3- Founding Member of the NGO, Hakim Institute for Wildlife Cooperation, Research and Rehabilitation, Sabzevar, Khorasan Razavi, Iran

### ARTICLE INFORMATION:

**Received:** 06 April 2024  
**Revised:** 24 June 2024  
**Accepted:** 29 June 2024  
**Published:** 11 December 2024

**Keywords:** Health index, Pollution index, Heavy metals, Dust, School

### ABSTRACT

**Background and Objective:** Dust particles in urban environments are often contaminated with heavy metals, posing significant health risks, particularly to children. Schools are one of the environments where children are exposed to dust particles. Therefore, the aim of this study was to determine the concentration of heavy metals in the dust collected from Mashhad schools and to assess the associated health risks.

**Materials and Methods:** Dust samples were collected from 27 schools in the fall of 2022 using a brush. The values of various indices were estimated, including the geoaccumulation index (Igeo), contamination factor (CF), pollution load index (PLI), enrichment index (EF), potential ecological risk index (PERI), and health risk indices such as hazard quotient (HQ) and hazard index (HI).

**Results:** The average concentrations of cobalt (Co), iron (Fe), calcium (Ca), aluminum (Al), lead (Pb), and barium (Ba) were 9.63, 18538.58, 84017.79, 11270.42, 32.07 and 111.56 µg/g, respectively. The Igeo values ranged from -3.69 to 1.51, while the CF values ranged from 0.16 to 4.26. The results of the pollution indices indicated that most of the studied elements were at the first level of pollution, suggesting that the degree of pollution was negligible or low. Additionally, the HQ and HI values were both less than 1.

**Conclusion:** Overall, the concentrations of the studied elements were not a concern, remaining at uncontaminated levels, and there was no potential health risk associated with exposure to these elements.

**\*Corresponding Author:**  
h.malvandi@hsu.ac.ir

Please cite this article as: Malvandi H. Ecological and human risk assessment of some heavy metals in the dust of elementary schools in selected areas of Mashhad city. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2024;17(3):441-58.

