

ارزیابی پتانسیل ریسک اکولوژیکی و سلامت انسانی برخی از فلزات سنگین در گردوغبار خیابانی شهر ایلام

ندا احتمایی^۱، نوید قنواتی^{۲*}، احد نظرپور^۳، تیمور بابایی نژاد^۲ و مایکل جیمز واتس^۴

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۵/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۲/۲۱)

چکیده

قرارگرفتن در معرض گردوغبار خیابانی در طولانی مدت به دلیل پتانسیل سمیت فلزات سنگین انباشته شده در آن می تواند باعث اثرات مضر برای سلامت انسان از طریق استنشاق، بلع و جذب پوستی شود. در این مطالعه، تعداد ۲۵ عدد نمونه گردوغبار خیابانی از پیاده‌رو خیابان‌های اصلی ایلام برداشت و به روش طیف‌سنجی جفت‌شده پلاسمای القایی (ICP-OES) اندازه‌گیری شدند. میانگین غلظت فلزات مورد مطالعه به ترتیب: سرب (۵۸/۸۰)، روی (۲۱۳/۲۴)، مس (۶۳/۱۲)، کروم (۴۵/۸۴)، کادمیوم (۰/۳۷)، نیکل (۴۳/۷۶)، وانادیوم (۳۰/۹۲) و آرسنیک (۵/۰۰) میلی‌گرم بر کیلوگرم است. بر اساس مقدار میانگین پتانسیل ریسک اکولوژیکی (Er) فلزات سنگین سرب، روی، مس، کروم، نیکل و وانادیوم دارای پتانسیل ریسک اکولوژیکی کم و کادمیوم دارای ریسک اکولوژیکی متوسط هستند. بیشترین میزان خطر غیرسرطان‌زایی (HQ) در کودکان و بزرگسالان به ترتیب مربوط به فلز آرسنیک از طریق مسیر بلع و فلز کروم از طریق مسیر جذب پوستی است و کمترین میزان مربوط به فلز کادمیوم از طریق مسیر تنفس است. مقادیر خطر تجمعی غیرسرطان‌زایی (HI) در هر سه مسیر جذب در گروه سنی کودکان بیشتر از بزرگسالان است. همچنین در هر دو گروه سنی، کروم دارای بیشترین خطر سرطان‌زایی (RI) و سرب کمترین خطر را دارد. نتایج به دست آمده از پتانسیل ریسک اکولوژیکی و ریسک سلامت انسانی، نشان داد که منبع آلودگی فلزات مورد مطالعه فعالیت‌های انسان‌زاد از قبیل ترافیک، تأسیسات صنعتی و سوختن سوخت‌های فسیلی در منطقه مورد مطالعه است.

واژه‌های کلیدی: غبار خیابانی، فلزات سنگین، خطر سرطان‌زایی، ایلام

۱. گروه خاکشناسی، پردیس علوم و تحقیقات خوزستان، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۲. گروه خاکشناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۳. گروه زمین‌شناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۴. گروه زمین‌شناسی معدنی، مرکز تحقیقات ژئوشیمی زیست محیطی، سازمان زمین‌شناسی بریتانیا، ناتینگهام، انگلستان

*. مسئول مکاتبات: Ghanavati.navid2014@gmail.com

مقدمه

آلودگی محیط زیست در مناطق شهری و صنعتی به‌طور قابل توجه‌ای، در حال افزایش است (۱۸). عدم برنامه‌ریزی در گسترش فضاهای شهری به‌دلیل رشد فزاینده جمعیت منجر به کاهش کیفیت محیط زیست شده و چالش‌های بزرگی برای برنامه‌ریزان به‌وجود آورده است (۶). تعداد و تنوع آلاینده‌ها در محیط زیست شهری به‌طور چشمگیری در سال‌های اخیر افزایش یافته است (۶). مسائل زیست‌محیطی حتی در شهرهای صنعتی متوسط و کوچک نیز جدی است (۲۴). گردوغبار خیابانی تجمع ذرات جامد در شکل‌هایی از آلاینده‌های آلی و معدنی در سطوح اطراف زمین و سطح زمین هستند که یک محیط ارزشمند برای توصیف کیفیت محیط زیست شهری به‌وجود آورده است (۲۲). گردوغبار خیابانی اغلب حاوی مقادیر بالای از فلزات سنگین و آلاینده‌های آلی هستند (۸) که به‌خاطر منابع مختلف انسانی مانند انتشارات صنعتی، ترافیک، احتراق زغال‌سنگ و سوخت، دفع زباله و ساخت‌وسازها به‌وجود می‌آید (۲۴). گردوغبار خیابانی یک مخزن اصلی برای پتانسیل سمیت ناشی از فلزات سنگین است (۲۶).

فلزات سنگین برای بدن انسان بسیار مضر هستند، چون هیچ مکانیسم دفعی مؤثری در بدن ندارند (۱۶). قرارگرفتن در معرض گردوغبار و خاک سطحی در طولانی‌مدت به‌دلیل پتانسیل سمیت فلزات سنگین انباشته شده در آن می‌تواند باعث اثرات مضر برای سلامت انسان از طریق تنفس، بلع و جذب پوستی شود (۴). وجود فلزات سنگین در گردوغبار خیابانی باعث می‌شود که آنها در بدن انسان انباشته و در نتیجه تبدیل به خطرات بهداشتی شوند (۲۱). سرطان‌ها از مهم‌ترین امراض غیرواگیر هستند که بار بیماری عمده‌ای را به جامعه تحمیل می‌کنند. از طرفی کنترل نسبی بیماری‌های واگیر، افزایش امید به زندگی، تغییر سبک زندگی، افزایش ریسک فاکتورهای محیطی، استعداد ژنتیکی و مسن شدن جمعیت از عوامل افزایش این بیماری در چند دهه اخیر و دهه‌های آینده محسوب می‌شوند (۷). پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد که سرطان علت

اصلی مرگ‌ومیر در سراسر جهان است که حدود ۴/۷ میلیون مرگ‌ومیر (حدود ۱۳ درصد کل مرگ‌ومیر) را در سال ۲۰۰۴ به خود اختصاص داده است. شناسایی فاکتورهای احتمالی عامل بروز سرطان و پرداختن به راهکارهایی برای بهبود شرایط محیطی، امکانات و تسهیلات بهداشتی، از اهمیت زیادی برخوردار است (۱۳).

ارزیابی ریسک سلامت به‌عنوان ابزاری برای سنجش و ارزیابی پیامدهای سلامتی (پیامدهای سرطانی و غیرسرطانی) حاصل از تماس با عوامل خطر (آلاینده‌های شیمیایی، فلزات سنگین و غیره) و همچنین به‌عنوان عاملی اساسی برای توسعه استراتژی مدیریت ریسک است (۲). در رابطه با مواد سرطان‌زا فرض بر این است که یک رابطه خطی بین افزایش مقدار غلظت آلاینده و یا افزایش مدت زمان تماس با آلاینده، با خطر ابتلا به سرطان وجود دارد (۱۱). ارزیابی ریسک سلامت انسانی در چهار مرحله انجام می‌شود. اولین مرحله شامل شناسایی تمام آلاینده‌هایی است که انتظار می‌رود به‌طور بالقوه از منابع مختلف انتشار یابند و ایجاد خطر کنند. دومین مرحله شامل تعیین غلظت آلاینده‌ها، سومین مرحله ارزیابی مدت زمان تماس با آلاینده‌ها و در نهایت چهارمین مرحله محاسبه ریسک سلامت انسانی است (۱ و ۱۱).

قنوتی (۱۲) در مطالعات خود روی گردوغبار خیابانی در شهر آبادان نشان داد که بر اساس مقدار میانگین شاخص ریسک اکولوژیک (RI)، نمونه‌ها دارای ریسک متوسط هستند. همچنین خطر تجمعی غیرسرطان‌زایی (HI) کلیه فلزات سنگین در گردوغبار خیابانی برای کودکان بیشتر از بزرگسالان است که این امر نشان داد که کودکان بیشتر از بزرگسالان در معرض خطر فلزات سنگین قرار دارند. در هر دو گروه سنی فلز کروم دارای بیشترین خطر سرطان‌زایی (RI) و فلز سرب کمترین خطر را دارد. مطالعات روان‌خواه و همکاران (۲۹) نشان داد که میانگین غلظت Cd, Ni, Pb, Zn و Cu در منطقه آران و بیدگل بیشتر از غلظت‌های زمینه است. همچنین بیشترین خطر غیرسرطان‌زایی در هر دو گروه کودکان و بزرگسالان برای فلز

فلزات سنگین (سرب، نیکل، روی، مس، کادمیوم، کروم، آرسنیک و وانادیوم) در گردوغبار خیابانی شهر ایلام و (۲) ارزیابی آلاینده‌گی فلزات سنگین با استفاده از شاخص‌های زیست‌محیطی از جمله پتانسیل ریسک اکولوژیکی و ریسک سلامت انسانی است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

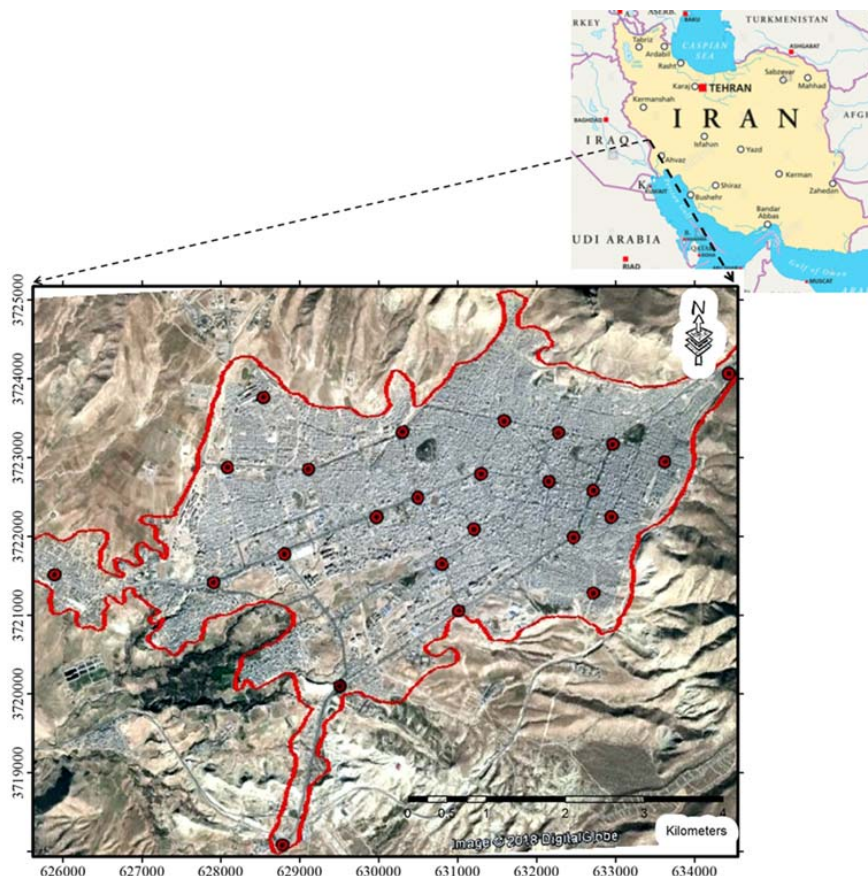
شهر ایلام در موقعیت ۴۶ درجه و ۵۱ دقیقه و ۱۹ ثانیه طول جغرافیایی و ۳۳ درجه و ۲۱ دقیقه و ۳۰ ثانیه عرض جغرافیایی و با مساحتی معادل ۲۱۲۸ کیلومتر مربع است. شهر ایلام دارای آب‌وهوای معتدل کوهستانی با میانگین بارش سالانه ۶۱۹ میلی‌متر و متوسط دمای مطلق آن از ۱۳/۶- تا ۴۱/۲ درجه سانتیگراد در تغییر است. جمعیت آن در سرشماری سال ۱۳۹۵، ۲۳۵ هزار نفر است.

روش نمونه‌برداری و آنالیز شیمیایی

در این پژوهش به منظور مطالعه دقیق غلظت فلزات سنگین در غبار خیابانی شهر ایلام نمونه‌برداری با استفاده از روش‌های استاندارد ارائه شده در مقالات علمی استفاده شده است. روش نمونه‌برداری بدین صورت بود که ابتدا با استفاده از توزیع نمونه‌برداری تصادفی در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) محل‌های پیشنهادی در منطقه مورد مطالعه تعیین شد. سپس با اصلاح موقعیت هر کدام از محل‌های نمونه‌برداری موقعیت جغرافیایی (UTM) هر کدام از نقاط به دستگاه سیستم موقعیت جغرافیایی (GPS) برای دستیابی سریع به محل نمونه‌برداری استفاده شد (شکل ۱). پس از تعیین محل، در مطالعه حاضر تعداد ۲۵ نمونه ابتدا با استفاده از ابزار تهیه شده جدایش ۲×۱ مترمربع اقدام به نمونه‌برداری شد. غبار سطحی با استفاده از برس‌های قلم مویی در سطح تعیین شده جدا و بدون دخالت هر گونه ابزار فلزی در شیشه‌های کهربایی قرار گرفته و توسط فویل آلومینیوم مهر و موم شد تا از ورود مستقیم نور به آنها

سرب و کمترین آن برای فلز روی است. خطر تجمعی غیرسرطان‌زایی (HI) کل فلزات برای کودکان بالاتر از ۱۷ و برای بزرگسالان بالاتر از دو تعیین شد. مطالعات به‌روشن و همکاران (۵) نشان داد که غلظت فلزات سرب، مس، روی و نیکل در گردوغبار خیابانی شهر مشهد بالاتر از میانگین غلظت این فلزات در بخش بالایی پوسته زمین است. وجود ضریب همبستگی مثبت میان عناصر سنگین روی و مس و همچنین سرب و روی، نشان‌دهنده منابع انسان‌زاد مانند سوخت خودروها و استفاده از ترمز در وسایل نقلیه است. نتایج به‌دست آمده از روش استخراج ترتیبی نیز نشان از آن داشت که گونه‌سازی عناصر Pb، Zn و Ni بیشتر در فازهای ناپایدار (F1 + F2 + F3 + F4) قرار گرفته که نشان‌دهنده منشأ انسانی برای آنهاست، ولی عناصر Cr و Cu بیشتر در فاز پایدار (F5) توزیع شده‌اند که بیانگر منشأ طبیعی برای این دو عنصر است. احمدی دوآبی و همکاران (۲) در مطالعه خود روی گردوغبار اتمسفری در کرمانشاه به این نتیجه رسیدند که میزان شاخص زمین‌انباشتگی، فاکتور غنی‌شدگی و شاخص آلودگی در گردوغبار خیابانی برای نیکل، روی و مس (به‌ویژه نیکل) و به‌میزان کمتری کروم، نشان از آلودگی این فلزات دارد که احتمالاً از ترافیک و فعالیت‌های صنعتی سرچشمه گرفته‌اند. همچنین میزان پایین این شاخص‌ها برای منگنز و آهن، نشان از عدم آلودگی گردوغبار به این عناصر است. نتایج ارزیابی شاخص جامع آلودگی، آلودگی شدید گردوغبار توسط فلزات سنگین را نشان می‌دهد. با توجه به مطالب ذکر شده و اهمیت زیست‌محیطی این مسئله، لزوم بررسی میزان غلظت فلزات سنگین گردوغبار خیابانی در شهر ایلام احساس شده است. شهر ایلام به‌واسطه قرار داشتن در مجاورت بیابان‌های کشور عراق (به‌عنوان منشأ اصلی گردوغبار در غرب و جنوب غرب ایران) و نیز احتراق نفت و گاز، صنایع و ترافیک، هر ساله شاهد ورود و انباشت حجم بسیار زیادی از ترکیبات حاوی فلزات سنگین است بنابراین ارزیابی زیست‌محیطی در این شهر حائز اهمیت است.

بدین ترتیب هدف از پژوهش حاضر (۱) تعیین غلظت



شکل ۱. نقشه پراکندگی نقاط نمونه‌برداری در شهر ایلام

(HOT BOX) داخل آب تا دمای ۲۰۰ درجه سانتیگراد قرار داده شد تا یک محلول ژله‌ای به‌دست آید، سپس HCl (۳/۷۵ میلی‌لیتر) ۳۷ درصد و HNO_3 (۱/۲۵ مولار) ۶۵ درصد اضافه و محلول به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شد و در نهایت توسط دستگاه (ICP-OES) آنالیز شد. تضمین کیفیت (QA) و کنترل کیفیت (QC) توسط اندازه‌گیری نمونه‌های شاهد و نمونه‌های تکراری (با دقت چهار تا شش درصد) و مواد مرجع NIST ۲۷۱۰ (با دقت $\pm 5\%$) (۱۰۰) انجام گرفت. دقت نمونه‌های تکراری چهار تا شش درصد و دقتی کمتر از پنج درصد بود.

آنالیز آماری

به‌منظور بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون آماری کولموگروف-اسمیرنوف (K-S) استفاده شد. برای تشخیص

جلوگیری شود. در هر نمونه‌برداری به‌منظور عدم انتقال غلظت فلزات از نقطه‌ای به نقطه دیگر برس سه‌بار با استفاده از آب مقطر شست‌وشو داده شد. توزیع نمونه‌برداری به‌صورتی بود که کل منطقه طرح را با توزیع یکسان و مناسبی پوشش داده شود. پس از نمونه‌برداری، تمامی نمونه‌ها در آزمایشگاه از الک ۲۰۰ مش عبور داده شدند و تا زمان آزمایش نمونه‌ها در یخچال در دمای چهار سانتیگراد نگهداری شدند. اندازه‌گیری فلزات سنگین با روش طیف‌سنجی پلاسمایی جفت‌شده القایی (ICP-OES) با دستگاه مدل (Model Varian ۷۳۵) انجام پذیرفت. آماده‌سازی نمونه‌ها برای آنالیز توسط دستگاه ICP-OES با روش انحلال چهار اسید (HNO_3 , HCl , HClO_4 , HF) صورت گرفت. پس از توزین نمونه‌ها ۰/۲۵ گرم HF (۸ میلی‌لیتر) ۴۰ درصد و HClO_4 (۱ میلی‌لیتر) ۷۰ درصد اضافه شد و محلول آماده شده به‌مدت زمان لازم در ظرف مخصوص پلاستیکی

($160 < Er < 80$)، ریسک اکولوژیکی زیاد ($320 < Er < 160$)، ریسک اکولوژیکی خیلی زیاد ($Er \geq 320$) و سطح آلودگی بر اساس شاخص ریسک در چهار گروه: ریسک اکولوژیکی کم ($RI < 150$)، ریسک اکولوژیکی متوسط ($150 < RI < 300$)، ریسک اکولوژیکی قابل توجه ($300 < RI < 600$) و ریسک اکولوژیکی زیاد ($RI \geq 600$) طبقه‌بندی می‌شود (۳۷).

شاخص ریسک سلامت (Health Risk Index)

ارزیابی خطر سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی

ارزیابی خطرات فلزات سنگین، فرایندهای چندمرحله‌ای است که در دو بخش ارزیابی خطرات سرطان‌زا و غیرسرطان‌زا و بر اساس روش ارزیابی خطر بهداشتی ارائه شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (USEPA) انجام شد (۳۱). مقادیر جذب روزانه فلزات ($mg/kg/day$) (ADD) خطرات قرارگرفتن در معرض یک آلاینده از طریق بلع، تنفس و جذب پوستی با استفاده از معادلات (۴، ۵ و ۶) برآورد شده است (۹).

$$ADD_{ing} = \frac{C \times IngR \times CF \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad (4)$$

$$ADD_{inh} = \frac{C \times InhR \times EF \times ED}{PEF \times BW \times AT} \quad (5)$$

$$ADD_{dermal} = \frac{C \times SA \times CF \times SL \times ABS \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad (6)$$

که در آن ADD_{ing} ، ADD_{inh} ، ADD_{dermal} به ترتیب مقدار میانگین جذب روزانه فلزات (برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز) از طریق بلع، تنفس و جذب پوستی است، C غلظت فلزات در گردوغبار (میلی‌گرم بر کیلوگرم)، $IngR$ و $InhR$ به ترتیب نرخ بلع و نرخ تنفس گردوغبار (میلی‌گرم در روز و مترمکعب در روز)، CF فاکتور تبدیل (کیلوگرم در میلی‌گرم)، EF فراوانی قرارگرفتن در معرض فلزات (روز در سال)، ED مدت زمان قرار گرفتن در معرض فلزات (روز)، PEF فاکتور انتشار ذرات (مترمکعب بر کیلوگرم)، BW میانگین وزن بدن (کیلوگرم)، AT مدت زمان قرارگیری در معرض هر مقدار از فلزات به‌طور میانگین (روز)، SA ناحیه‌ای از پوست که با

منابع آلودگی فلزات سنگین در نمونه‌های گرد و غبار خیابانی از آنالیز مؤلفه‌های اصلی (Principal Component Analysis) و آنالیز خوشه‌ای (Cluster Analysis) استفاده شده است. تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از بسته نرم‌افزار SPSS.۲۰ و محاسبات شاخص‌ها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شده است.

ارزیابی تعیین سطح آلودگی فلزات سنگین

در این پژوهش برای ارزیابی و تعیین سطح آلودگی فلزات سنگین از شاخص‌های زیست‌محیطی متفاوتی استفاده شده است. این شاخص‌ها عبارت‌اند:

پتانسیل ریسک اکولوژیکی (Potential Ecological Risk)

روش تعیین پتانسیل ریسک اکولوژیکی فلزات سنگین که توسط هاکانسون ارائه شده است (۱۷) و برای ارزیابی خطرات بالقوه زیست‌محیطی فلزات سنگین در خاک و گردوغبار خیابانی توسط پژوهشگران زیادی استفاده شده است (۳۳). شاخص پتانسیل ریسک اکولوژیکی با استفاده از معادلات ۱، ۲ و ۳ محاسبه شده است.

$$C_f = \frac{C_s}{C_n} \quad (1)$$

$$E_r = T_r \times C_f \quad (2)$$

$$RI = \sum_{i=1}^m E_r \quad (3)$$

در این معادله C_s غلظت فلز سنگین مدنظر در نمونه، C_n غلظت فلزات سنگین مورد نظر در نمونه زمینه، E_r پتانسیل ریسک اکولوژیکی هر عنصر مورد بررسی، T_r شاخص سمی بودن فلزات سنگین نام دارد که به ترتیب برای کادمیوم، آرسنیک، مس، سرب، نیکل، کروم و روی به ترتیب ۱۰، ۳۰، ۵، ۵، ۲ و ۱ ارائه شده است (۱۷) و RI ریسک اکولوژیکی مجموع عناصر را نشان می‌دهد. سطح آلودگی بر اساس پتانسیل ریسک اکولوژیکی در پنج گروه متفاوت تعریف می‌شود که عبارت‌اند از: ریسک اکولوژیکی کم ($Er < 40$)، ریسک اکولوژیکی متوسط ($40 \leq Er < 80$)، ریسک اکولوژیکی قابل توجه

جدول ۱. راهنمای پارامترهای معادلات ارزیابی خطر سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی فلزات سنگین (۹)

پارامتر	واحد	بزرگسالان	کودکان
IngR	میلی‌گرم بر روز	۱۰۰	۲۰۰
InhR	مترمکعب بر روز	۲۰	۷/۶۳
EF	روز بر سال	۳۵۰	۳۵۰
ED	سال	۲۴	۶
BW	کیلوگرم	۵۵/۹	۱۵
AT	روز	۳۶۵×ED	۳۶۵×ED
CF	کیلوگرم بر میلی‌گرم	۱×۱۰ ^{-۶}	۱×۱۰ ^{-۶}
PEF	مترمکعب بر کیلوگرم	۱/۳۶×۱۰ ^۹	۱/۳۶×۱۰ ^۹
SA	سانتی‌مترمربع	۴۳۵۰	۱۶۰۰
SL	میلی‌گرم بر سانتی‌مترمربع	۰/۷	۰/۲
ABS	بدون واحد	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱

جدول ۲. مقادیر مسمومیت نسبی مورد استفاده در این مطالعه (۱۰)

پارامتر	واحد	Zn	Pb	Cu	Cr	Cd	Ni	As
RfD _{ing}	میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز	۳×۱۰ ^{-۱}	۳×۱۰ ^{-۳}	۴×۱۰ ^{-۲}	۳×۱۰ ^{-۳}	۱×۱۰ ^{-۳}	۲×۱۰ ^{-۲}	۳×۱۰ ^{-۴}
RfD _{inh}	میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز	۳×۱۰ ^{-۱}	۳/۵۲×۱۰ ^{-۳}	۴/۰۲×۱۰ ^{-۲}	۲/۸۶×۱۰ ^{-۵}	۱×۱۰ ^{-۳}	۲×۱۰ ^{-۲}	۳/۱×۱۰ ^{-۴}
RRD _{der}	میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز	۶×۱۰ ^{-۲}	۵/۲۵×۱۰ ^{-۴}	۱/۲۰×۱۰ ^{-۲}	۶×۱۰ ^{-۵}	۱×۱۰ ^{-۵}	۲/۰۶×۱۰ ^{-۲}	۱/۲۳×۱۰ ^{-۴}
SF	میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز	-	۴/۲×۱۰ ^{-۲}	-	۴/۲×۱۰ ^۱	۶/۳۰	۵/۴×۱۰ ^{-۳}	۱/۵۱×۱۰ ^۱

پارامتر	واحد	Zn	Pb	Cu	Cr	Cd	Ni	As
RfD _{ing}	میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز	۳×۱۰ ^{-۱}	۳/۵۰×۱۰ ^{-۳}	۴×۱۰ ^{-۲}	۳×۱۰ ^{-۳}	۱×۱۰ ^{-۳}	۲×۱۰ ^{-۲}	۳×۱۰ ^{-۴}
RfD _{inh}	میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز	۳×۱۰ ^{-۱}	۳/۵۲×۱۰ ^{-۳}	۴/۰۲×۱۰ ^{-۲}	۲/۸۶×۱۰ ^{-۵}	۱×۱۰ ^{-۳}	۲/۰۶×۱۰ ^{-۲}	۳/۰۱×۱۰ ^{-۴}
RRD _{der}	میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز	۶×۱۰ ^{-۲}	۵/۲۵×۱۰ ^{-۴}	۱/۲۰×۱۰ ^{-۲}	۶×۱۰ ^{-۵}	۱×۱۰ ^{-۵}	۵/۴۰×۱۰ ^{-۳}	۱/۲۳×۱۰ ^{-۴}
SF _{inh}	گرم بر کیلوگرم در روز	-	۰/۰۴۲	-	۴۲	۶/۳۰	۰/۸۴	۱/۵

غیرسرطان‌زایی (HQ) بر اساس تقسیم جذب روزانه به یک جذب مرجع خاص (RDF) با استفاده از معادله (۷) محاسبه شده است.

$$HQ_i = \sum \frac{ADD_i}{RfD_i} \quad (7)$$

HQ_i خطر غیرسرطان‌زایی در هر مسیر، ADD_i مقادیر جذب روزانه فلزات از طریق هر یک از سه مسیر بلع، تنفس و جذب

گردوغبار در تماس است (سانتی‌مترمربع)، SL ضریب پایداری پوست برای گردوغبار (میلی‌گرم بر سانتی‌مترمربع)، ABS فاکتور جذب سطحی پوست (بدون واحد) است. جزئیات هر پارامتر و مقادیر به کار گرفته شده آن در جداول (۱ و ۲) ارائه شده است.

پس از اینکه میانگین جذب روزانه فلزات (ADD) از سه مسیر بلع، تنفس و جذب پوستی محاسبه شد، خطر

جدول ۳. خلاصه‌ای از پارامترهای آماری غلظت فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

فلزات سنگین	بیشینه - کمینه	انحراف معیار \pm میانگین	چولگی	زمینه
Pb	۱۲ - ۱۵۸	$۵۱/۸۰ \pm ۲۲/۴۳$	۱/۷۷	۱۵
Zn	۹۲ - ۴۷۴	$۲۱۳/۲۴ \pm ۱۰۹/۵۹$	۱/۰۸	۳۱
Cu	۲۶ - ۲۵۲	$۶۳/۱۲ \pm ۵۸/۵۴$	۲/۸۰	۲۹
Cr	۲۹ - ۶۸	$۴۵/۸۴ \pm ۹/۳۴$	۰/۵۸	۹۸
Cd	۰/۲۹ - ۰/۶۳	$۰/۳۷ \pm ۰/۰۹$	۱/۷۱	۰/۲
Ni	۳۲ - ۶۱	$۴۳/۷۶ \pm ۷/۲۴$	۰/۳۷	۲۰
V	۲۵ - ۳۹	$۳۰/۹۲ \pm ۴/۳۴$	۰/۲۶	۶۰
As	۳/۵۰ - ۷/۸۰	$۵/۰۰ \pm ۱/۲۰$	۰/۷۰	۴/۸

معنی است که شانس زیادی برای اثرات خطر تجمعی غیرسرطان‌زایی و احتمال افزایش با افزایش مقدار HI وجود دارد. ارزیابی خطر سرطان‌زایی فلزات برای دو گروه بزرگسال و کودکان از طریق هر یک از سه مسیر بلع، تنفس و جذب پوستی با معادله (۹) محاسبه می‌شود.

$$\text{Carcinogenic risk (CR)} = \sum \text{ADD}_i \times \text{SF}_i \quad (9)$$

در این معادله، CR ریسک خطر سرطان‌زایی، ADD_i مقادیر جذب روزانه فلزات سنگین از سه مسیر بلع، تنفس و جذب پوستی (میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز) و SF_i فاکتور شیب که از سطوح غربالگری منطقه‌ای به‌دست آمد (۱۹).

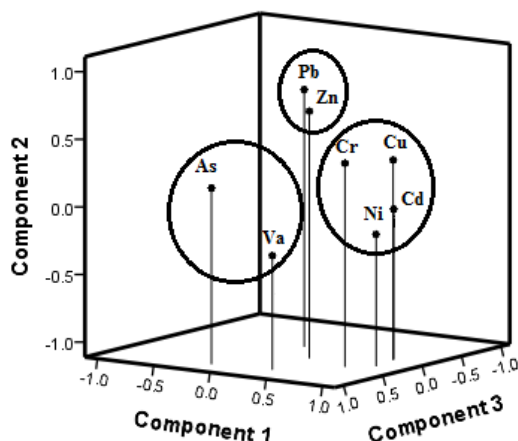
نتایج و بحث

خلاصه‌ای از پارامترهای آماری غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های گردوغبار خیابانی شهر ایلام در جدول (۳) ارائه شده است. فلزات سنگین مورد مطالعه دامنه وسیعی از غلظت را نشان می‌دهد. غلظت فلزات سرب، روی، مس، کروم، کادمیوم، نیکل، آرسنیک، وانادیوم به‌ترتیب در محدوده‌ای بین: ۱۲-۱۵۸، ۹۲-۴۷۴، ۲۶-۲۵۲، ۲۹-۶۸، ۰/۲۹-۰/۶۳، ۳۲-۶۱، ۰/۵۸-۰/۳۷، ۴۵/۸۴، ۶۳/۱۲، ۲۱۳/۲۴، ۵۱/۸۰، ۳۰/۹۲-۳۹-۱۰-۵، ۳/۵۰-۷/۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و مقدار میانگین ۵۱/۸۰، ۲۱۳/۲۴، ۶۳/۱۲، ۴۵/۸۴، ۰/۳۷، ۴۳/۷۶، ۵، ۳۰/۹۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. میانگین غلظت تمام فلزات سنگین به‌جز کروم و وانادیوم در نمونه‌های گردوغبار شهر ایلام

پوستی (میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز) و RfD_i جذب مرجع که برآورد حداکثر خطرپذیری در جمعیت انسانی از طریق قرارگرفتن در معرض روزانه فلزات سنگین با توجه به گروه‌های حساس (بزرگسال و کودکان) در طول عمر است (۲۵). مقادیر RfD_i فلزات مورد مطالعه از جمع‌آوری سیستم اطلاعات ارزیابی ریسک وزارت انرژی ایالت متحده گرفته شده است (RAIS). اگر میانگین جذب روزانه (ADD_i) کمتر از جذب مرجع باشد، هیچ اثر نامطلوبی بر سلامتی نخواهد داشت، در غیر این صورت اگر مقدار جذب روزانه (ADD_i) بالاتر از RfD_i باشد احتمال دارد که باعث اثر نامطلوب روی سلامت انسان شود (۲۶). زمانی که $\text{HQ} \leq 1$ باشد، هیچ اثر نامطلوبی روی سلامتی انسان را نشان نمی‌دهد و زمانی که $\text{HQ} < 1$ باشد احتمالاً اثر نامطلوبی روی سلامتی انسان نشان می‌دهد (۲۵). با جمع کردن خطر غیرسرطان‌زایی در هر مسیر (HQ_i) می‌تواند یک شاخص خطر تجمعی غیرسرطان‌زایی (HI) برای برآورد خطر همه فلزات آلوده طبق معادله (۸) به‌وجود بیاورند (۴).

$$\text{HI} = \sum_{i=1}^3 \text{HQ}_i \quad (8)$$

شاخص خطر تجمعی غیرسرطان‌زایی (HI) نشان‌دهنده شدت اثرات نامطلوب در کل مسیرهای در معرض قرارگرفتن انسان است که برای کل عناصر محاسبه می‌شود (۳۴). اگر مقدار $\text{HI} \leq 1$ باشد اعتقاد بر این است که هیچ خطر مهمی برای اثرات خطر تجمعی غیرسرطان‌زایی وجود ندارد و اگر $\text{HI} > 1$ باشد به این

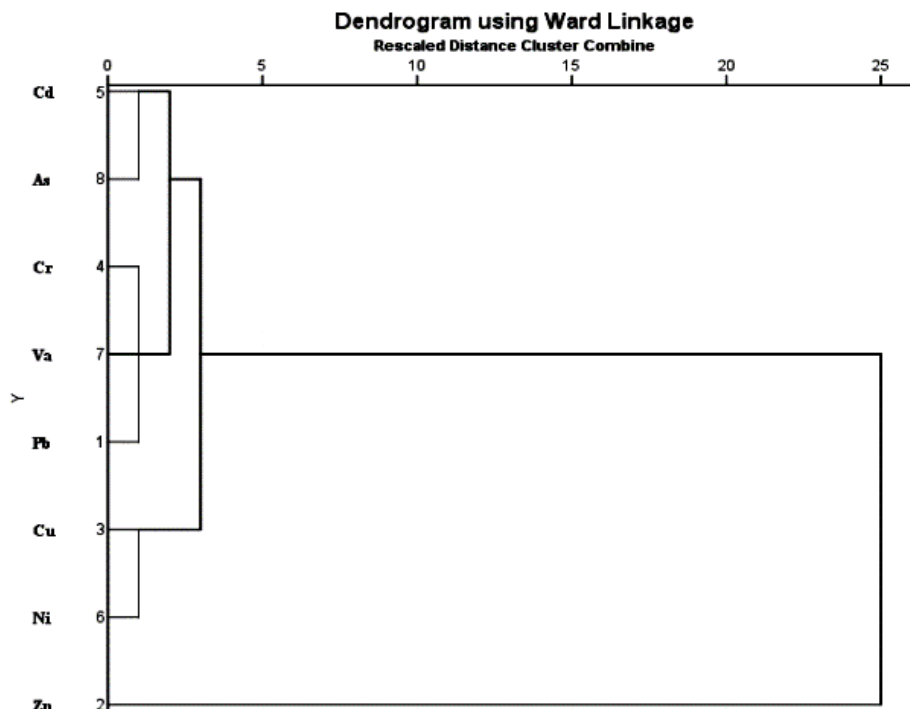


شکل ۲. آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA) فلزات سنگین موجود در نمونه‌های گردوغبار خیابانی ایلام

غلظت بالای فلز Cd در کنار جاده‌ها و مناطق شهری ناشی از وسایل نقلیه موتوری است. تجمع آرسنیک در محیط‌های شهری در نتیجه منابعی از جمله، احتراق سوخت‌های فسیلی و صنایع فرآوری فلزات، هستند.

در این پژوهش، تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) به منظور درک رابطه بین فلز سنگین در گردوغبار شهری و تعیین منابع احتمالی آنها به کار گرفته شده است. نتایج حاصل از تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای غلظت فلزات سنگین نشان داد که سه عامل اصلی اول (PC) ۶۹/۱۲ درصد از کل واریانس را تشکیل می‌دهند. شکل (۲) آنالیز مؤلفه‌های اصلی را نشان می‌دهد. اولین مؤلفه اصلی (PC۱) ۳۱/۶۹ درصد از واریانس کل را دربر گرفته و شامل فلزات مس، کروم، کادمیوم و نیکل است. منشأ این فلزات سنگین احتمالاً از منابع انسان‌زاد مانند ترافیک، فرسودگی رینگ و لاستیک خودروها، سایش بدنه خودروها و استفاده از بنزین حاصل می‌شود. دومین جزء اصلی (PC۲) برای ۱۹/۲۹ درصد از کل واریانس را دربر گرفته و شامل سرب و روی است. این نتایج نشان می‌دهد که منشأ این فلزات سنگین احتمالاً از منابع انسان‌زاد مانند سایش لاستیک خودروها، خوردگی فلزات، سوختن زباله و گازهای صنعتی است (۲۰). سومین جزء اصلی (PC۳) برای ۱۸/۱۴ درصد از کل واریانس را دربر گرفته و شامل وانادیوم و آرسنیک است. این نتایج نشان می‌دهد که منشأ این فلزات سنگین احتمالاً منابع طبیعی است.

چندین برابر بیشتر از مقدار زمینه (غلظت در پوسته زمین) بود. انباشت این فلزات سنگین در گردوغبار خیابانی می‌تواند باعث ایجاد مشکلات جدی زیست‌محیطی شوند و همچنین جذب این فلزات توسط انسان، سلامت افراد جامعه به ویژه کودکان و سالمندان را در معرض خطر قرار می‌دهد. مطالعات انجام شده در غبارهای ته‌نشین شده خیابانی شهر تهران نشان داد که غلظت فلزات مس، کادمیوم، سرب و روی به طور قابل توجهی بالاتر از میانگین غلظت این فلزات در پوسته زمین است که نشان از منشأ احتمالی انسانی این فلزات دارد این در حالی است که پایین و نزدیک بودن میانگین غلظت فلزات کروم، کبالت و وانادیوم نسبت به غلظت زمینه نشان از منشأ طبیعی (لیتوژنیک) این فلزات دارد (۳۰). ترکیبات سرب در روغن‌های روان‌کننده در موتور خودروها استفاده می‌شود. علاوه بر این فرسایش لنت ترمزها و سرب ناشی از وزنه‌های سربی چرخ‌ها (وزنه‌های ویژه بالانس چرخ خودرو) از منابع اصلی آلودگی محیط زیست شهری به سرب به‌شمار می‌روند (۳۲). کروم، مس و روی از فرسایش آلیاژهای استفاده شده در وسایل نقلیه و سایر سطوح و مواد فلزی ناشی می‌شوند. همچنین ممکن است در صورت وجود کارخانه و صنایع خاص، فعالیت‌های صنعتی نیز منابعی برای انتشار این فلزات در گردوغبار خیابانی باشند (۳۵). مطالعات ژانگ و همکاران (۳۹) در شهر تایپه روی فلزات سنگین در گردوغبار شهری انجام شد به این نتیجه رسیدند که



شکل ۳. آنالیز خوشه‌ای (CA) فلزات سنگین موجود در نمونه‌های گردوغبار خیابانی ایلام

جدول ۴. میانگین غلظت فلزات سنگین در گردوغبار خیابانی شهر ایلام و دیگر شهرهای انتخاب شده (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

منبع	V	Co	As	Ni	Cd	Cr	Cu	Zn	Pb	موقعیت
(۳۰)	-	NA	NA	۳۴/۸	۱۰/۷	۳۳/۵	۲۲۵/۳	۸۷۳/۲	۲۵۷/۴	تهران
(۳۳)	-	۱۳/۹۳	۲۲/۱۵	۷۰/۰۴	۲/۱۴	۸۲/۱۳	۱۸۲/۲۶	۷۰۷/۱۹	۳۹۳/۳۳	اصفهان
(۱۴)	-	-	۹/۳۳	-	۶/۸۰	۱۱۵/۸۴	۲۰۷/۶۰	۱۰۴/۲۴	۲۰۲/۱۴	اهواز
(۱۵)	۳۵/۸۳	۷/۵۳	۷/۱۰	۵۶/۷۷	۰/۵۲	۵۰/۰۳	۱۱۲/۹۷	۲۸۷/۵۰	۵۹/۱۳	آبادان
(۲)	-	-	-	۱۲۴	-	۷۴	۴۷	۲۳۸	-	کرمانشاه
(۵)	-	-	-	۱۰۵/۳۷	-	۴۷/۳۷	۶۸/۳۶	۲۵۴/۳۴	۱۳۳/۱۲	مشهد
-	۳۰/۹۲	۷/۰۸	۵	۴۳/۷۶	۰/۳۷	۴۵/۸۴	۶۳/۱۲	۲۱۳/۲۴	۵۱/۸۰	ایلام (این مطالعه)

غلظت فلزات سنگین مورد مطالعه در این پژوهش در مقایسه با بعضی از شهرهای ایران که در جدول (۴) آورده شده است. نتایج نشان می‌دهند که متوسط غلظت سرب موجود از متوسط همه شهرهای ارائه شده در جدول (۴) کمتر است. مقدار میانگین غلظت فلز روی در گردوغبار خیابانی شهر ایلام نشان‌دهنده بالا بودن مقدار میانگین این فلز نسبت به شهر اهواز است. همچنین میانگین غلظت فلز مس موجود از میانگین غلظت شهر کرمانشاه بیشتر و از شهرهایی مانند تهران، اصفهان،

در این مطالعه همچنین از آنالیز خوشه‌ای (CA) برای شناسایی منابع فلزات سنگین در نمونه‌های گردوغبار خیابانی استفاده شده است. نتایج CA و PCA برای به‌دست آوردن اطمینان بیشتر از منابع شناسایی شده نهایی مقایسه شده است. آنالیز خوشه‌ای با استفاده از داده‌های نرمال و نرم افزار SPSS.۲۲ انجام شد. شکل (۳) نتایج آنالیز خوشه‌ای فلزات سنگین در نمونه‌های گردوغبار شهر ایلام را نشان می‌دهد. این شکل نتایج آنالیز مؤلفه‌های اصلی را تأیید می‌کند.

جدول ۵. نتایج آماری ریسک اکولوژیکی (Er) فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه

فلزات سنگین	بیشینه - کمینه	انحراف معیار \pm میانگین	چولگی
Pb	۵۲/۶۷ - ۴/۰۰	۱۷/۲۷ \pm ۱۰/۸۱	۱/۷۷
Zn	۱۵/۲۹ - ۲/۹۷	۶/۸۸ \pm ۳/۵۴	۱/۰۸
Cu	۴۳/۴۵ - ۴/۴۸	۱۰/۸۸ \pm ۱۰/۰۹	۲/۸۰
Cr	۱/۳۹ - ۰/۵۹	۰/۹۴ \pm ۰/۱۹	۰/۵۸
Cd	۹۴/۵۰ - ۴۳/۵۰	۵۶/۱۶ \pm ۱۴/۲۲	۱/۷۱
Ni	۱۵/۲۵ - ۸/۰۰	۱۰/۹۴ \pm ۱/۸۱	۰/۷۳
V	۱/۳۰ - ۰/۸۳	۱/۰۳ \pm ۰/۱۴	۰/۲۶
As	۱۶/۲۵ - ۷/۲۹	۱۰/۴۳ \pm ۲/۴۹	۰/۷۰
Co	۵/۰۰ - ۲/۵۰	۳/۵۴ \pm ۰/۶۹	۰/۵۲

جدول ۶. جدول آماری شاخص ریسک (RI) فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه

شاخص ریسک			تعداد نمونه‌ها			
حد اکثر	میانگین	حد اقل	ریسک کم	ریسک متوسط	ریسک قابل توجه	ریسک زیاد
۸۴/۵۸	۱۸۲/۷۰	۱۱۸/۰۶	۲۲ (۸۸٪)	۳ (۱۲٪)	۰	۰

شاهخص ریسک در جداول (۵ و ۶) ارائه شده است. نتایج نشان داد که میانگین پتانسیل ریسک اکولوژیکی برای فلزات سنگین موجود در نمونه‌های گردوغبار به ترتیب به صورت کادمیوم < سرب < نیکل < مس < آرسنیک < روی < کروم < وانادیوم < کروم کاهش می‌یابد. همچنین بر اساس میانگین پتانسیل ریسک اکولوژیکی فلزات سنگین سرب (۱۷/۲۷)، روی (۶/۸۸)، مس (۱۰/۸۸)، کروم (۰/۹۴)، نیکل (۱۰/۹۴) و وانادیوم (۱/۰۳) دارای پتانسیل ریسک اکولوژیکی کم ($Er < 40$) و کادمیوم با مقدار (۵۶/۱۶) دارای ریسک اکولوژیکی متوسط ($40 \leq Er < 80$) است. نتایج به دست آمده نشان داد که شاخص ریسک همه نمونه‌ها از حداقل (۸۴/۵۸) تا حداکثر (۱۸۲/۷۰) متغیر هستند. بر اساس مقدار میانگین شاخص ریسک (۱۱۸/۰۶)، نمونه‌ها دارای ریسک کم ($RI < 150$) هستند. همچنین نتایج به دست آمده نشان داد که تعداد ۲۲ نمونه (۸۸ درصد) دارای ریسک اکولوژیکی کم ($RI < 150$) و تعداد سه نمونه (۱۲ درصد) دارای ریسک اکولوژیکی متوسط ($150 \leq RI < 300$) هستند.

اهواز، آبادان و مشهد کمتر است. مقدار میانگین غلظت فلزات کروم و نیکل در گردوغبار خیابانی شهر ایلام از میانگین غلظت همه شهرها به جز تهران کمتر است. مقدار میانگین غلظت فلز کادمیوم موجود از میانگین غلظت برخی از شهرها مانند تهران، اصفهان، اهواز و آبادان کمتر است. مقدار میانگین غلظت فلز کبالت موجود از میانگین غلظت شهرهایی مانند اصفهان و آبادان کمتر است. مقدار میانگین غلظت فلز آرسنیک موجود از میانگین غلظت اصفهان، اهواز و آبادان کمتر است. میانگین غلظت فلز وانادیوم در شهر ایلام از میانگین غلظت این فلز در شهر آبادان کمتر است. میزان بالای برخی از آلاینده‌ها در گردوغبار خیابانی شهر ایلام نگران‌کننده است و احتمالاً ناشی از منابع دیگری به غیر از منابع طبیعی‌اند. یکی از منابع انتشار را می‌توان سوخت مصرفی در خودروهای شهر ایلام دانست که ممکن است با توجه به کیفیت نامناسب آن میزان آلاینده‌های خطرناک در ایلام نسبت به شهرهای صنعتی و پر جمعیت، مقادیر بیشتری را نشان دهند. نتایج حاصل از بررسی پتانسیل ریسک اکولوژیکی و

جدول ۷. خطر سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی فلزات سنگین در هر سه مسیر گرد و غبار خیابانی شهر ایلام به تفکیک بزرگسالان و کودکان

As	Ni	Cd	Cr	Cu	Zn	Pb	(mgkg ⁻¹)
۵/۰۰	۴۳/۷۶	۰/۳۷	۴۵/۸۴	۶۳/۱۲	۲۱۳/۲۴	۵۱/۸۰	C(۹۵/UCL)
کودکان							
۲/۱۳×۱۰ ^{-۱}	۳/۳۰×۱۰ ^{-۲}	۴/۷۳×۱۰ ^{-۳}	۱/۹۵×۱۰ ^{-۱}	۴/۹۰×۱۰ ^{-۲}	۱/۶۸×۱۰ ^{-۲}	۱/۸۹×۱۰ ^{-۱}	HQ _{ing}
۵/۷۸×۱۰ ^{-۶}	۹/۰۱×۱۰ ^{-۷}	۱/۳۲×۱۰ ^{-۷}	۵/۷۴×۱۰ ^{-۴}	۱/۳۷×۱۰ ^{-۶}	۴/۷۳×۱۰ ^{-۷}	۵/۲۷×۱۰ ^{-۶}	HQ _{inh}
۸/۳۱×۱۰ ^{-۴}	۱/۹۶×۱۰ ^{-۴}	۷/۵۶×۱۰ ^{-۴}	۱/۵۶×۱۰ ^{-۲}	۲/۶۱×۱۰ ^{-۴}	۱/۳۴×۱۰ ^{-۴}	۲/۰۱×۱۰ ^{-۳}	HQ _{derm}
۲/۱۳×۱۰ ^{-۱}	۳/۳۲×۱۰ ^{-۲}	۵/۴۸×۱۰ ^{-۳}	۲/۱۱×۱۰ ^{-۱}	۴/۹۳×۱۰ ^{-۲}	۱/۷۰×۱۰ ^{-۲}	۱/۹۱×۱۰ ^{-۱}	HI={HQ _i
۷/۰۵×۱۰ ^{-۸}	۴/۰۸×۱۰ ^{-۷}	۲/۱۹×۱۰ ^{-۸}	۱/۸۰×۱۰ ^{-۵}	-	-	۲/۰۴×۱۰ ^{-۸}	RI
بزرگسالان							
۲/۸۵×۱۰ ^{-۲}	۴/۴۳×۱۰ ^{-۳}	۶/۳۴×۱۰ ^{-۴}	۲/۶۲×۱۰ ^{-۲}	۶/۵۸×۱۰ ^{-۳}	۲/۲۶×۱۰ ^{-۳}	۲/۵۳×۱۰ ^{-۲}	HQ _{ing}
۴/۰۶×۱۰ ^{-۶}	۶/۳۳×۱۰ ^{-۷}	۹/۳۳×۱۰ ^{-۸}	۴/۰۴×۱۰ ^{-۴}	۹/۶۳×۱۰ ^{-۷}	۳/۳۲×۱۰ ^{-۷}	۳/۷۱×۱۰ ^{-۶}	HQ _{inh}
۲/۲۱×۱۰ ^{-۳}	۵/۰۰×۱۰ ^{-۴}	۱/۹۳×۱۰ ^{-۳}	۳/۹۹×۱۰ ^{-۲}	۶/۶۸×۱۰ ^{-۴}	۳/۴۴×۱۰ ^{-۴}	۵/۱۵×۱۰ ^{-۳}	HQ _{derm}
۳/۰۷×۱۰ ^{-۲}	۴/۹۴×۱۰ ^{-۳}	۲/۵۶×۱۰ ^{-۳}	۶/۶۵×۱۰ ^{-۲}	۷/۲۵×۱۰ ^{-۳}	۲/۶۰×۱۰ ^{-۳}	۳/۰۵×۱۰ ^{-۲}	HI={HQ _i
۹/۴۵×۱۰ ^{-۹}	۵/۴۸×۱۰ ^{-۸}	۲/۹۴×۱۰ ^{-۹}	۲/۴۲×۱۰ ^{-۶}	-	-	۲/۷۴×۱۰ ^{-۹}	RI

نتیجه استنشاق ذرات معلق از طریق بینی و دهان در کودکان بیشتر است و این امر باعث می‌شود که گردوغبار آلوده را به راحتی مصرف کنند. این موضوع توسط مطالعات لی و همکاران (۲۳) و وی و همکاران (۳۶) تأیید شده است. بالا بودن میزان خطر غیرسرطان‌زایی از طریق مسیر تماس پوستی برای بزرگسالان نسبت به کودکان را می‌توان به مقادیر بیشتر ناحیه‌ای از پوست که در تماس با گردوغبار است (SA) و مدت زمان قرارگرفتن در معرض فلزات سنگین (ED) نسبت داد.

بیشترین میزان خطر غیرسرطان‌زایی در کودکان و بزرگسالان به ترتیب مربوط به فلز آرسنیک به مقدار از طریق مسیر بلع و فلز کروم از طریق مسیر جذب پوستی است و کمترین میزان خطر غیرسرطان‌زایی در کودکان و بزرگسالان مربوط به فلز کادمیوم از طریق مسیر تنفس است. بررسی خطر غیرسرطان‌زایی فلزات سنگین در هر سه مسیر بلع، جذب تماسی و تنفس کمتر از یک است، بنابراین خطری برای انسان دربر نخواهد داشت. مطابق با جدول (۷) مقادیر ارزیابی خطر غیرسرطان‌زایی در هر سه مسیر جذب در گروه سنی کودکان

ارزیابی ریسک سلامت انسانی در نمونه‌های گردوغبار خیابانی در معرض فلزات از سه مسیر اصلی بلع، تماس پوستی و تنفس برای کودکان و بزرگسالان بررسی شد. میزان خطر غیرسرطان‌زایی فلزات سنگین برای کل مسیرهای سه‌گانه برای هر دو گروه کودکان و بزرگسالان در جدول (۷) آمده است. بیشترین و کمترین میزان خطر غیرسرطان‌زایی در گروه سنی کودکان برای کلیه فلزات سنگین به ترتیب مسیر بلع < جذب پوستی < تنفس بوده است. در گروه سنی بزرگسالان میزان خطر غیرسرطان‌زایی برای فلزات سنگین سرب، روی، مس، نیکل و آرسنیک همانند گروه سنی کودکان است ولی برای فلزات سنگین کروم و کادمیوم به ترتیب مسیر جذب پوستی < بلع < تنفس بوده است. میزان خطر غیرسرطان‌زایی در مسیر بلع و تنفس برای کودکان بیشتر از بزرگسالان بوده و در مسیر جذب پوستی برای بزرگسالان بیشتر از کودکان بوده است. همچنین میزان خطر غیرسرطان‌زایی از طریق مسیر بلع و تماس پوستی در تمام نمونه‌های گردوغبار بین ۱۰^{-۱} تا ۱۰^{-۴} است که ۱۰^۲ تا ۱۰^۵ برابر بیشتر از مسیر تنفس (۱۰^{-۴} تا ۱۰^{-۷}) است. در

میلیون) است و این بدین معناست که ریسک سرطان‌زایی این فلزات را در گردوغبار خیابانی منطقه مورد مطالعه را می‌توان نادیده گرفت. همچنین خطر سرطان‌زایی کروم برای دو گروه کودکان و بزرگسالان بیشتر از (1×10^{-6}) (احتمال سرطان هر فرد یک در میلیون) است که نشان‌دهنده خطرپذیری، در شرایط کنترل و نظارت است.

نتیجه‌گیری

غلظت تمام فلزات سنگین به‌جز کروم و وانادیوم در نمونه‌های گردوغبار شهر ایلام چندین برابر بیشتر از مقدار زمینه (غلظت در پوسته زمین) بود. غلظت بالای این عناصر مربوط به منابع انسان‌زاد مثل ترافیک، تأسیسات صنعتی، تأسیسات تولید برق، سوختن روغن در مناطق مسکونی، بدسوزی، سایش تیر خودروها، خوردگی قطعات فلزی اتومبیل، روغن و روان‌کننده‌ها و فعالیت‌های ساخت‌وساز است. شناسایی دقیق منشأ انتشار فلزات سنگین همراه با تحلیل آماری باید با آنالیزهای شیمیایی دقیق همراه شود که معمولاً به‌دلیل هزینه زیاد صورت نمی‌گیرد. به‌رحال برای تحلیل دقیق‌تر باید پارامترهای دیگری مانند ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی گردوغبار نیز اندازه‌گیری شود اما به‌دلیل نبود امکانات کافی و هزینه زیاد، انجام این آنالیزها در این پژوهش میسر نبود. نتایج ارزیابی خطر سرطان‌زایی فلزات سنگین به تفکیک کودکان و بزرگسالان نشان داد که خطر سرطان‌زایی در کودکان نسبت به بزرگسالان بیشتر است، همچنین در هر دو گروه سنی، کروم دارای بیشترین خطر سرطان‌زایی و سرب کمترین خطر را دارد. خطر سرطان‌زایی برای فلزات نیکل، آرسنیک، کادمیوم و سرب برای هر دو گروه سنی کودکان و بزرگسالان در گردوغبار خیابانی منطقه مورد مطالعه را می‌توان نادیده گرفت، همچنین خطر سرطان‌زایی کروم برای دو گروه کودکان و بزرگسالان نشان‌دهنده خطرپذیری، در شرایط کنترل و نظارت است.

بیشتر از بزرگسالان است. بیشترین مقادیر ارزیابی خطر غیرسرطان‌زایی در کودکان و بزرگسالان به‌ترتیب مربوط به فلز سنگین آرسنیک ($2/13 \times 10^{-1}$) و کروم ($6/65 \times 10^{-2}$) است. همچنین خطر تجمعی غیرسرطان‌زایی همه فلزات سنگین در گردوغبار خیابانی برای کودکان و بزرگسالان به‌ترتیب مقادیر $0/723$ و $0/136$ به‌دست آمد که این امر نشان می‌دهد که کودکان در مقایسه با بزرگسالان بیشتر در معرض خطر فلزات سنگین قرار دارند. این موضوع توسط مطالعات دیگر نیز تأیید شده است (۲۸). مقادیر ارزیابی خطر غیرسرطان‌زایی در هر سه مسیر جذب در گروه سنی کودکان به‌ترتیب: آرسنیک ($0/213$) < کروم ($0/211$) < سرب ($0/191$) < مس ($0/049$) < نیکل ($0/033$) < روی ($0/017$) < کادمیوم ($0/005$) و در بزرگسالان به‌ترتیب: کروم ($0/066$) < آرسنیک ($0/030$) < سرب ($0/030$) < مس ($0/007$) < نیکل ($0/004$) < روی ($0/002$) < کادمیوم ($0/002$) است. مقادیر کل فلزات سنگین کوچک‌تر از یک است که این امر نشان‌دهنده بی‌خطر بودن غیرسرطان‌زایی فلزات سنگین است. نتایج ارزیابی خطر سرطان‌زایی فلزات سنگین به تفکیک کودکان و بزرگسالان در جدول (۷) آمده است.

نتایج ارزیابی خطر سرطان‌زایی فلزات سنگین برای کودکان به‌ترتیب: کروم ($1/80 \times 10^{-5}$) < نیکل ($4/08 \times 10^{-7}$) < آرسنیک ($7/05 \times 10^{-8}$) < کادمیوم ($2/19 \times 10^{-8}$) < سرب ($2/04 \times 10^{-8}$) و در بزرگسالان به‌ترتیب: کروم ($2/42 \times 10^{-6}$) < نیکل ($5/48 \times 10^{-8}$) < آرسنیک ($9/45 \times 10^{-9}$) < کادمیوم ($2/94 \times 10^{-9}$) < سرب ($2/74 \times 10^{-9}$) است. بدین ترتیب در هر دو گروه سنی، کروم دارای بیشترین خطر سرطان‌زایی و سرب کمترین خطر را دارد. مقایسه خطر سرطان‌زایی بین دو گروه سنی نشان داد که خطر سرطان‌زایی در کودکان نسبت به بزرگسالان بیشتر است. خطر سرطان‌زایی برای فلزات نیکل، آرسنیک، کادمیوم و سرب برای هر دو گروه سنی کودکان و بزرگسالان کمتر از (1×10^{-6}) (احتمال سرطان هر فرد یک در

منابع مورد استفاده

1. Absalon, D. and B. Šlesak. 2010. The effects of changes in cadmium and lead air pollution on cancer incidence in children. *Science of the Total Environment* 408(20): 4420-4428.
2. Ahmadi, D. S., M. Afyuni and M. Karami. 2017. Assessment of kermanshah province atmospheric dust contamination with selected heavy metals using pollution indexes during the summer 2013. *Journal of Water and Soil* 822-834. (In Farsi).
3. Ahmadi, H., T. Ahmadi, B. Shahmoradi, S. Mohammadi and S. Kohzadi. 2015. The effect of climatic parameters on air pollution in Sanandaj, Iran. *Journal of Advances in Environmental Health Research* 3(1): 49-61.
4. Babaei, H., N. Ghanavati and A. Nazarpour. 2018. Contamination level of mercury in the street dust of Ahvaz city and its spatial distribution. *JWSS-Isfahan University of Technology* 22(3): 249-259. (In Farsi).
5. Behraves, F., G. M. Mahmudi, F. Ghassemzadeh and M. S. Avaz. 2015. Determination of heavy metals pollution in traffic dust of Mashhad city, and its origin by using "selective sequential extraction" (SSE) procedure. *Engineering and Environmental Geology* 24(3): 141-150. (In Farsi).
6. Borbora, J. and A. K. Das. 2014. Summertime urban heat island study for Guwahati city, India. *Sustainable Cities and Society* 11: 61-66.
7. Brown, R., K. Kerr, A. Haoudi and A. Darzi. 2012. Tackling cancer burden in the Middle East: Qatar as an example. *The Lancet Oncology* 13(11): e501-e508.
8. Chłopek, Z., K. Suchocka, M. Dudek and A. Jakubowski. 2016. Hazards posed by polycyclic aromatic hydrocarbons contained in the dusts emitted from motor vehicle braking systems. *Archives of Environmental Protection* 42(3): 3-10.
9. Du, Y., B. Gao, H. Zhou, X. Ju, H. Hao and S. Yin. 2013. Health risk assessment of heavy metals in road dusts in urban parks of Beijing, China. *Procedia Environmental Sciences* 18: 299-309.
10. EPA, U. 1996. Soil screening guidance technical background document, office of solid waste and emergency response. EPA/540/R-95/128.
11. Farland, W. H. 1991. The US environmental protection agency's risk assessment guidelines: current status and future directions. *Toxicology and Industrial Health* 7(5-6): 313-317.
12. Ghanavati, N. 2018. Human health risk assessment of heavy metals in street dust in Abadan. *Iranian Journal of Health and Environment* 11(1): 63-74. (In Farsi).
13. Ghanavati, N., A. Nazarpour and T. Babaenejad. 2019. Assessing the Ecological and Health Risks of Some Heavy Metals in Roadside Soil of Ahvaz. *Journal of School of Public Health and Institute of Public Health Research* 16(4): 373-390. (In Farsi).
14. Ghanavati, N., A. Nazarpour and B. De Vivo. 2018. Ecological and human health risk assessment of toxic metals in street dusts and surface soils in Ahvaz, Iran. *Environmental Geochemistry and Health* 1-17.
15. Ghanavati, N., A. Nazarpour and M. J. Watts. 2019. Status, source, ecological and health risk assessment of toxic metals and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in street dust of Abadan, Iran. *Catena* 177: 246-259.
16. Ghosh, A. K., M. A. Bhatt and H. P. Agrawal. 2012. Effect of long-term application of treated sewage water on heavy metal accumulation in vegetables grown in Northern India. *Environmental Monitoring and Assessment* 184(2): 1025-1036.
17. Hakanson, L. 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Research* 14(8): 975-1001.
18. Holnicki, P., A. Kaluszko, Z. Nahorski, K. Stankiewicz and W. Trapp. 2017. Air quality modeling for Warsaw agglomeration. *Archives of Environmental Protection* 43(1): 48-64.
19. Hu, X., Y. Zhang, J. Luo, T. Wang, H. Lian and Z. Ding. 2011. Bioaccessibility and health risk of arsenic, mercury and other metals in urban street dusts from a mega-city, Nanjing, China. *Environmental Pollution* 159(5): 1215-1221.
20. Kong, S., B. Lu, Z. Bai, X. Zhao, L. Chen, B. Han, Z. Li, Y. Ji, Y. Xu, Y. Liu and H. Jiang. 2011. Potential threat of heavy metals in re-suspended dusts on building surfaces in oilfield city. *Atmospheric Environment* 45(25): 4192-4204.
21. Kwasowski, W., T. Kozanecka, E. B. Górska, D. Gozdowski and P. Kowalczyk. 2016. Application of heavy metals in street dust in the monitoring of changes in environment. *FEB-Fresenius Environmental Bulletin*. 25: 103-112.
22. Liu, E., T. Yan, G. Birch and Y. Zhu. 2014. Pollution and health risk of potentially toxic metals in urban road dust in Nanjing, a mega-city of China. *Science of the Total Environment* 476: 522-531.
23. Liu, X., Q. Song, Y. Tang, W. Li, J. Xu, J. Wu, F. Wang and P. C. Brookes. 2013. Human health risk assessment of heavy metals in soil-vegetable system: a multi-medium analysis. *Science of the Total Environment* 463: 530-540.
24. Lu, X., X. Wu, Y. Wang, H. Chen, P. Gao and Y. Fu. 2014. Risk assessment of toxic metals in street dust from a medium-sized industrial city of China. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 106: 154-163.
25. Man, Y. B., X. L. Sun, Y. G. Zhao, B. N. Lopez, S. S. Chung, S. C. Wu, K. C. Cheung and M. H. Wong. 2010. Health risk assessment of abandoned agricultural soils based on heavy metal contents in Hong Kong, the world's

- most populated city. *Environment International* 36(6): 570-576.
26. Nazarpour, A., N. Ghanavati and T. Babaenejad. 2017. Evaluation of the level of pollution and potential ecological risk of some heavy metals in surface soils in the Ahvaz oil-field. *Iranian Journal of Health and Environment* 10(3): 391-400. (In Farsi).
 27. Nazarpour, A., N. Ghanavati and M. J. Watts. 2018. Spatial distribution and human health risk assessment of mercury in street dust resulting from various land-use in Ahvaz, Iran. *Environmental Geochemistry and Health* 40(2): 693-704.
 28. Qing, X., Z. Yutong and L. Shenggao. 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: 377-385.
 29. Ravankhah, N., R. Mirzaei and S. Masoum. 2016. Human health risk assessment of heavy metals in surface soil. *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences* 26(136): 109-120. (In Farsi)
 30. Saeedi, M., L. Y. Li and M. Salmanzadeh. 2012. Heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons: pollution and ecological risk assessment in street dust of Tehran. *Journal of Hazardous Materials* 227: 9-17.
 31. Sinha, P., M. B. Lambert and W. A. Schew. 2007. Evaluation of a risk-based environmental hot spot delineation algorithm. *Journal of Hazardous Materials* 149(2): 338-345.
 32. Smichowski, P., D. Gómez, C. Frazzoli and S. Caroli. 2007. Traffic-related elements in airborne particulate matter. *Applied Spectroscopy Reviews* 43(1): 23-49.
 33. Soltani, N., B. Keshavarzi, F. Moore, T. Tavakol, A. R. Lahijanzadeh, N. Jaafarzadeh and M. Kermani. 2015. Ecological and human health hazards of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in road dust of Isfahan metropolis, Iran. *Science of the Total Environment* 505: 712-723.
 34. Staff, E. P. A. 2001. Supplemental guidance for developing soil screening levels for superfund sites, peer review draft. Washington, DC: US Environmental Protection Agency Office of Solid Waste and Emergency Response, OSWER, 9355.
 35. Wei, B., F. Jiang, X. Li and S. Mu. 2010. Heavy metal induced ecological risk in the city of Urumqi, NW China. *Environmental Monitoring and Assessment* 160(1-4): 33-47.
 36. Wei, X., B. Gao, P. Wang, H. Zhou and J. Lu. 2015. Pollution characteristics and health risk assessment of heavy metals in street dusts from different functional areas in Beijing, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 112: 186-192.
 37. Wu, S., S. Peng, X. Zhang, D. Wu, W. Luo, T. Zhang, S. Zhou, G. Yang, H. Wan and L. Wu. 2015. Levels and health risk assessments of heavy metals in urban soils in Dongguan, China. *Journal of Geochemical Exploration* 148: 71-78.
 38. Yongming, H., J. Cao and E. S. Posmentier. 2006. Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dusts of Xi'an, Central China. *Science of the Total Environment* 355(1-3): 176-186.
 39. Zhang, D., X. Pan and D. J. Lee. 2014. Potentially harmful metals and metalloids in the urban street dusts of Taipei City. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* 45(4): 1727-1732.

Assessment of Potential Ecological and Human Health Risk of Some Selected Heavy Metals in Street Dusts in Ilam

N. Ehtemae^{1,2}, N. Ghanavati^{2*}, A. Nazarpour³, T. Babaenejad² and M. James Watts⁴

(Received: August 15-2018 ; Accepted: May 11-2019)

Abstract

Long- term exposure to street dust because of the potential toxicity of heavy metals can cause harmful effects on the human's health by inhalation, ingestion and dermal contact. In this study, 25 dust samples were collected from the sidewalks of the main streets of Ilam and analyzed by inductively coupled spectroscopy (ICP- OES) method. The mean concentration of the studied metals was: Pb (58.80), Zn (213.24), Cu (63.12), Cr (45.84), Cd (0.37), Ni (43.73) V (30.92) and As (5.00) (mg / kg). Based on the average value of the potential ecological risk (Er), the heavy metals of Pb, Zn, Cu, Cr, Ni and V had a low ecological risk and Cd showed a moderate one. The highest non- carcinogenic risk (HQ) in children and adults was related to As through ingestion and Cr through the dermal contact pathway; on the other hand, the lowest amount was due to the Cd via the inhalation. Cumulative non- carcinogenic hazard (HI) of all heavy metals in the street dust have been found to be higher for children rather than adults. In both age groups, Cr and Pb had the highest and lowest risk of carcinogenicity (RI), respectively. The obtained results, therefore, indicate that the main source of heavy metals in the study area is anthropogenic sources such as traffic, industrial facilities and fossil fuels burning.

Keywords: Street dust, Heavy metals, Carcinogenic, Ilam

1. Department of Soil Science, Khuzestan Science and Research Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

2. Department of Soil Science, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

3. Department of Geology, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

4. Inorganic Geochemistry Facility, Centre for Environmental Geochemistry, British Geological Survey, Nottingham, UK.

*: Corresponding author: Ghanavati.navid2014@gmail.com