



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

مقاله پژوهشی

## ارزیابی آلودگی و ریسک سلامت منتسب به گردوغبار خیابانی آلوده به عناصر بالقوه سمی: مطالعه موردی شهر کرمانشاه

علی عسگری، سهیل سبحان اردکانی\*، مهرداد چراغی، بهاره لرستانی، مریم کیانی صدر

گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران

### اطلاعات مقاله:

### چکیده

**زمینه و هدف:** گردوغبار خیابانی به‌عنوان منبع غیرنقطه‌ای آلودگی عناصر بالقوه سمی، شاخص مهمی از مواجهه انسان با آلاینده‌های فلزی/شبه‌فلزی در مناطق شهری محسوب می‌شود. از این‌رو، این پژوهش با هدف ارزیابی آلودگی و ریسک سلامت عناصر آرسنیک، سرب، کادمیم، کبالت و وانادیم گردوغبار خیابانی شهر کرمانشاه در سال ۱۴۰۲ انجام یافت.

**روش بررسی:** در این پژوهش، در مجموع ۴۸ نمونه گردوغبار خیابانی از ۱۶ مکان برداشت و پس از هضم اسیدی نمونه‌ها، غلظت عناصر در آنها توسط ICP-OES تعیین شد. همچنین، مقادیر شاخص‌های غنی‌شدگی (Enrichment Factor; EF)، آلودگی یکپارچه (Integrated Pollution Index; IPI) و جامع آلودگی نمره (Nemerow Integrated Pollution Index; NIPI) محاسبه شدند. همچنین، ریسک‌های سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی ناشی از مواجهه با گردوغبار آلوده برآورد شدند.

**یافته‌ها:** بیشینه میانگین محتوی عناصر آرسنیک، کادمیم، کبالت و وانادیم به ترتیب با ۰/۷۲۹، ۹/۰۲ و ۸/۷۸ mg/kg مربوط به نمونه‌های گردوغبار کاربری صنعتی و برای عنصر سرب با ۱۰۱ mg/kg مربوط به نمونه‌های کاربری تجاری و بیانگر تأثیر ورودی‌های انسانی به‌ویژه با منشأ صنعتی و ترافیک بود. مقادیر شاخص EF نشان‌دهنده شرایط "بدون غنی‌شدگی" تا "غنی‌شدگی شدید" عناصر بود. همچنین، میانگین مقادیر IPI از ۰/۷۷۰ تا ۲/۰۴ متغیر و شرایط آلودگی "کم" تا "زیاد" در منطقه مورد مطالعه را نشان داد. میانگین مقادیر NIPI از ۱/۱۷ تا ۱/۶۸ متغیر و بیانگر شرایط آلودگی "کم" در منطقه مورد مطالعه بود. مقادیر میانگین شاخص خطر تجمعی غیرسرطان‌زایی (Hazard Index; HI) عناصر مورد مطالعه برای کودکان و بزرگسالان به ترتیب در طبقه "ریسک شدید" و "ریسک کم" و مقادیر میانگین شاخص ریسک سرطان‌زایی کل (Total Carcinogenic Risk; TCR) برای شهروندان نشان‌دهنده ریسک سرطان‌زایی زیاد بود.

**نتیجه‌گیری:** نتایج نشان داد که آرسنیک و سرب از بیشترین سهم در ایجاد ریسک‌های بهداشتی برخوردار بودند؛ لذا، نسبت به کنترل منابع انتشار این دو عنصر و پایش منظم و دوره‌ای نمونه‌های گردوغبار به‌ویژه در مناطقی با سطح آلودگی زیاد توصیه می‌شود.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۱۵  
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۱۲/۰۲  
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۰۵  
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۲/۱۹

**واژگان کلیدی:** گردوغبار، عناصر سمی، فاکتور غنی‌شدگی، ریسک سرطان‌زایی

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:

s\_sobhan@iau.ac.ir

Please cite this article as: Asgari A, Sobhanardakani S, Cheraghi M, Lorestani B, Kiani Sadr M. Assessing pollution and associated health risks of street dust contaminated with potentially toxic elements, the case of city of Kermanshah. Iranian Journal of Health and Environment. 2026;18(4):765-86.

## مقدمه

در دهه‌های اخیر، افزایش نرخ رشد جمعیت و به تبع آن رشد شهرنشینی و توسعه کاربری‌های مختلف منجر به تشدید نگرانی‌های محیط‌زیستی و بهداشتی در بوم‌سازگان شهری (Urban Ecosystem) سراسر جهان شده است (۱، ۲). در این خصوص، آلودگی هوا به‌عنوان مهم‌ترین عامل بروز بیماری‌های غیرواگیر، چالش اصلی محیط‌زیستی و بهداشتی در بوم‌سامانه‌های شهری محسوب می‌شود (۳).

گردوغبار خیابانی به‌عنوان ذرات ریز جامد حاصل از برهمکنش اجزای جامد، مایع و گاز ناشی از منابع طبیعی (هوازدگی سنگ بستر، فرسایش خاک، تعلیق مجدد ذرات خاک و فرونشست اتمسفری) و انسانی (انتشارات صنعتی، ترافیکی، خانگی، شهری و احتراق سوخت فسیلی) با اختصاص بیشتر از ۳۰ درصد از کل آلودگی هوا در مناطق شهری یکی از اصلی‌ترین آلاینده‌های اتمسفری و معضل بهداشت عمومی در زیست‌بوم‌های شهری به‌شمار می‌آید (۳). اگرچه، مهم‌ترین نگرانی در رابطه با این ذرات، ناشی از تأثیرات متقابل بین آلودگی هوا و خاک و همچنین قابلیت ایجاد آلودگی ثانویه از طریق تعلیق مجدد ذرات است؛ اما، آلودگی آن به انواع آلاینده‌های معدنی و آلی به‌لحاظ سلامت شهروندان به‌ویژه کودکان نیز بسیار حائز اهمیت است. در میان طیف وسیعی از آلاینده‌های مختلف متصل به ذرات گردوغبار، عناصر بالقوه سمی با منشاء منابع طبیعی و انسانی به‌سبب نیمه‌عمر زیستی طولانی، پایداری، سمیت بالقوه و قابلیت تجمع و انباشت زیستی، نگرانی مهم و مشترک محیط‌زیستی و بهداشتی در مقیاس جهانی به‌شمار می‌آیند (۴). ذرات گردوغبار آلوده به عناصر بالقوه سمی به‌سبب گشتاور زیاد و تبادلات و تأثیرات متقابل با اجزای مختلف محیط (خاک، آب و پوشش گیاهی)، پراکنشی گسترده در زیست‌بوم شهری دارند و به‌طور بالقوه تهدیدی مضر برای سلامت این زیست‌بوم و شهروندان ساکن به‌واسطه کاهش کیفیت محیط به‌شمار می‌آیند. افزون بر این، ذرات غبار آلوده به‌سبب اندازه کوچک و تحرک ذاتی زیاد در محیط می‌توانند

به‌طور مستقیم و از طریق بلع، استنشاق و تماس پوستی اثرات بالقوه نامطلوب و مضر آلاینده‌های فلزی/شبه‌فلزی بر سلامت انسان را افزایش دهند (۵). در این خصوص، نه تنها عناصر غیرضروری همچون آرسنیک، سرب، و کادمیم، بلکه عناصر ضروری برای سیستم‌های زیستی نظیر کبالت و وانادیم نیز به‌سبب ریسک‌های بالقوه محیط‌زیستی و سلامتی حائز اهمیتی ویژه هستند (۶، ۷). آسیب‌های عصبی، کلیوی، کبدی و ابتلا به سرطان‌های پوست، ریه و مثانه از پیامدهای مواجهه با مقادیر بیشتر از حد مجاز شبه‌فلز آرسنیک هستند (۷). مواجهه با سرب، حتی در مقادیر بسیار کم، می‌تواند به بروز اختلالات عصبی، گوارشی، خونی و از طرفی تأخیر در رشد شناختی کودکان، ناتوانی در یادگیری، اغماء و بروز انواع سرطان منجر شود (۸، ۹). آسیب و اختلال در عملکرد طحال، کبد، کلیه‌ها، استخوان، سیستم ایمنی، سیستم خون‌ساز، بیماری‌های قلبی-عروقی، تنفسی ناهنجاری‌های کروموزومی و سرطان‌زایی از عوارض مواجهه با عنصر کادمیم محسوب می‌شوند (۱۰، ۱۱). از طرفی، مواجهه با مقادیر بیشتر از حد مجاز کبالت، تأثیرات مخربی بر روی قلب، ریه، کبد و پوست دارد (۱۲). عنصر وانادیم به‌عنوان یک فلز سمی، در مقادیر بیشتر از حد مجاز، می‌تواند منجر به بروز کم‌خونی، التهاب و تورم چشم‌ها، التهاب ریه، آب مروارید، برونشیت، پنومونی و کاهش حافظه شود (۱۳). از این‌رو، تعیین محتوی و ارزیابی وضعیت آلودگی عناصر بالقوه سمی در گردوغبار خیابانی برای حفظ سلامت بوم‌سازگان شهری و شهروندان توجه گسترده‌ای را به‌خود جلب کرده است. به‌طور کلی، شاخص غنی‌شدگی به‌عنوان معیاری از میزان انباشت عناصر فلزی در گردوغبار، یکی از ابزارهای مناسب و مفید برای درک تأثیر فعالیت‌های انسانی بر آلاینده‌های فلزی ذرات غبار و تعیین سهم آنها از منابع طبیعی و انسان‌پدید است (۱۴). شاخص‌های آلودگی یکپارچه و جامع آلودگی نمو نیز ابزارهای مناسب و ساده برای تعیین سطح آلودگی و برآوردی جامع از میزان آلودگی گردوغبار به عناصر بالقوه سمی به‌شمار می‌آیند. از سوی دیگر، ارزیابی ریسک سلامت

کاربردی برای کنترل آلودگی و مدیریت جامع ریسک در شهر کرمانشاه از اهمیتی به‌سزا برخوردار است. این در شرایطی است که طبق بررسی سوابق، تاکنون مطالعه جامعی در این خصوص در شهر کرمانشاه انجام نشده است. از این‌رو، این پژوهش با هدف تعیین محتوی، ارزیابی آلودگی و ریسک سلامت عناصر بالقوه سمی آرسنیک، سرب، کادمیم، کبالت و وانادیم در گردوغبار خیابانی شهر کرمانشاه در سال ۱۴۰۲ انجام شد.

## مواد و روش‌ها

### معرفی منطقه مورد مطالعه

شهر کرمانشاه با مساحت  $94 \text{ km}^2$  و جمعیت حدود ۸۸۵۰۰۰ نفر، بین مدارهای  $45^\circ$  تا  $47^\circ$  درجه طول جغرافیایی شرقی و  $33^\circ$  تا  $35^\circ$  درجه عرض جغرافیایی شمالی و در ارتفاع حدود  $1070 \text{ m}$  از سطح دریا، در غرب ایران استقرار دارد. میانگین دمای سالانه و بارندگی این شهر به ترتیب برابر با  $15/7^\circ \text{C}$  و  $387 \text{ mm}$  ثبت شده است. شهر کرمانشاه به‌عنوان اولین قطب صنعتی و جمعیتی استان، به‌سبب توسعه شهری و صنعتی به‌ویژه توسعه صنایع پتروشیمی و همچنین افزایش حجم تردد وسایل نقلیه و گسترش زیرساخت‌ها و شبکه حمل و نقل شهری در معرض آلودگی زیست‌بوم شهری به‌ویژه از لحاظ محتوی عناصر بالقوه سمی قرار دارد (۳).

### نمونه برداری از گردوغبار

در این پژوهش توصیفی-مقطعی، پس از انجام مطالعه‌های اولیه میدانی و به‌منظور تعیین محتوی، تغییرات مکانی و ارزیابی آلودگی و مخاطره‌های سلامت مواجهه با ذرات گردوغبار آلوده به عناصر آرسنیک، سرب، کادمیم، کبالت و وانادیم، نسبت به نمونه‌برداری از گردوغبار خیابانی در شهر کرمانشاه اقدام شد. بدین منظور، با در نظر گرفتن کاربری‌های عمده شهری در منطقه مورد مطالعه و به‌منظور توزیع یکنواخت مکان‌های نمونه‌برداری، پس از طبقه‌بندی محدوده مورد مطالعه به چهار کاربری عمده شامل مناطق تفریحی، مسکونی، تجاری

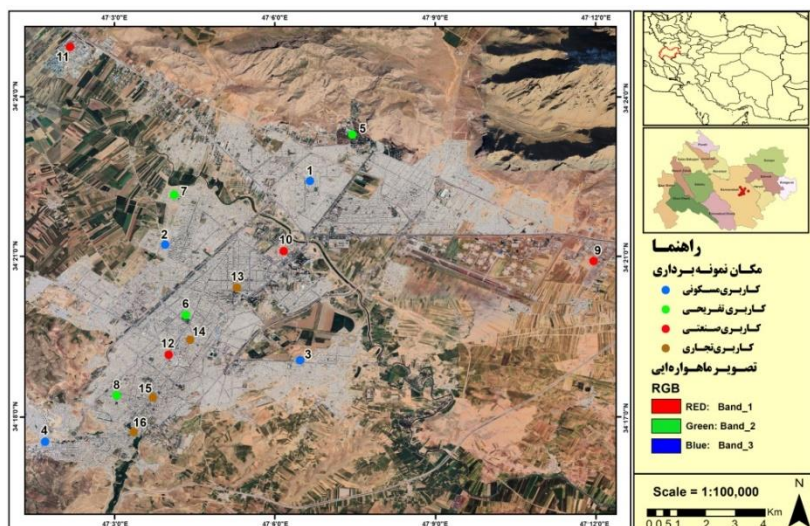
عناصر بالقوه سمی ابزاری کارآمد برای شناخت مسیرهای عمده احتمالی ورود آلاینده‌های سمی به بدن و همچنین بررسی پیامدهای مضر (غیر سرطان‌زا و سرطان‌زا) ناشی از مواجهه انسان با عناصر فلزی است (۱۲). همچنین، تعیین تغییرات مکانی آلودگی عناصر بالقوه سمی نیز ابزار تشخیصی مفید برای شناسایی و اولویت‌بندی مدیریت مناطق با خطرات احتمالی و بالقوه ناشی از آلودگی گردوغبار به‌واسطه انباشت آلاینده‌های فلزی است (۱۵).

اگرچه، تاکنون مطالعه‌های متعددی در رابطه با ارزیابی آلودگی و ریسک سلامت عناصر سمی گردوغبار خیابانی در شهرهای مختلف در سراسر دنیا از جمله ارزیابی ریسک‌های محیط‌زیستی و بهداشتی عناصر بالقوه سمی در گردوغبار شهر داتونگ (چین) (۱۶)، تعیین محتوی و آلودگی عناصر سمی در گردوغبار شهر شیان (چین) (۱۷)، تعیین وضعیت آلودگی و ارزیابی ریسک سلامت عناصر کمیاب در گردوغبار شهر ازمیر (ترکیه) (۱۸)، ارزیابی خطرات محیط‌زیستی و بهداشتی عناصر بالقوه سمی در گردوغبار کلان‌شهر مسکو (روسیه) (۱۹)، ارزیابی آلودگی و ریسک سلامت عناصر سمی گردوغبار خیابانی در کلان‌شهر داکا (بنگلادش) (۲۰)، ارزیابی ریسک عناصر سمی در گردوغبار خیابانی ایلام (ایران) (۲۱)، ارزیابی آلودگی و ریسک بوم‌شناختی-سلامت عناصر بالقوه سمی در گردوغبار خیابانی یزد (ایران) (۲۲)، ارزیابی ریسک سلامت عناصر بالقوه سمی در گردوغبار خیابانی شهرهای آبادان و خرمشهر (ایران) (۲) انجام شده است؛ با این حال، تعداد اندکی از آنها نسبت به ارزیابی تغییرات مکانی آلودگی فلزی گردوغبار تحت تأثیر کاربری‌های مختلف شهری اقدام کرده‌اند (۲۳، ۲۴).

بنابراین، نظر به ریسک‌های بالقوه محیط‌زیستی و بهداشتی عناصر بالقوه سمی در گردوغبار خیابانی و اهمیت و ضرورت پایش و ارزیابی محتوی و سطح آلودگی این عناصر از یک‌سو؛ و از طرفی، توسعه صنعتی، رشد سریع شهرنشینی و افزایش حجم ترافیک در شهر کرمانشاه، تعیین ریسک سلامت گردوغبار خیابانی آلوده به عناصر بالقوه سمی با هدف ارائه راه‌حل‌های

احتمالی، نمونه برداری در همه مکان‌ها به‌طور هم‌زمان (در یک روز کاری) و با سه تکرار انجام شد. بدین صورت که از هر مکان حدود ۵۰ g گردوغبار از سطوح غیرقابل نفوذ شهری (پیاده‌رو) برداشت و برای تهیه یک نمونه همگن از هر مکان، نمونه‌های گردوغبار جمع‌آوری شده از هر مکان با یکدیگر مخلوط و به کیسه‌های پلی‌اتیلنی زیپ‌دار انتقال یافت (۲۵). بر این اساس، در کل ۴۸ نمونه گردوغبار خیابانی جمع‌آوری و برای انجام سایر مراحل آماده‌سازی به آزمایشگاه منتقل شدند. مختصات جغرافیایی مکان‌های نمونه برداری نیز توسط دستگاه موقعیت‌یاب مکانی (Global Positioning System; GPS) گارمین مدل ETRE 32X ثبت شدند (شکل ۱).

(بیشترین حجم تردد روزانه وسایل نقلیه) و صنعتی (واجد پالایشگاه نفت، صنایع غذایی، تولید محصولات پلاستیکی، مراکز تعمیر و نقاشی خودرو)، تعداد چهار مکان از هر کاربری به‌صورت تصادفی انتخاب و نمونه برداری از مکان‌های منتخب (در مجموع ۱۶ مکان نمونه برداری) انجام شد. لازم به‌ذکر است که تعداد نمونه‌های گردوغبار با لحاظ کردن محدودیت‌های مالی و زمانی تعیین شدند. نمونه برداری در همه مکان‌ها با استفاده از روش نمونه‌گیری تصادفی و به شیوه جارویی (با استفاده از برس پلاستیکی) در اواخر پاییز ۱۴۰۲ در روز آفتابی و از ۱۶ مکان منتخب (چهار مکان از هر کاربری) انجام شد. به‌منظور ایجاد شرایط یکنواخت و کاهش عوامل مداخله‌گر



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های نمونه برداری

هدف حذف ذرات بزرگ و بقایای آلی از الک ۲۳۰ عبور داده شده و در کیسه‌های پلی‌اتیلنی با برچسب معین در دمای ۴ °C نگهداری شدند (۲۵). برای تعیین غلظت کل عناصر در نمونه‌های مورد مطالعه، ۱ g از هر نمونه گردوغبار خیابانی را به‌طور مجزا به بشر ۱۵۰ mL منتقل کرده و پس از افزودن ۱۰ mL اسید نیتريك ۶۵ درصد به

آماده‌سازی نمونه‌های گردوغبار و تعیین محتوی عناصر در آنها در این پژوهش، از مواد شیمیایی و معرف‌هایی با درجه خلوص بالا خریداری شده از شرکت‌های مرک آلمان و سیگما-آلدریچ اسپانیا برای آماده‌سازی نمونه‌ها و آنالیز دستگاهی آنها استفاده شد. نمونه‌های گردوغبار پس از هوا خشك شدن در آزمایشگاه، با

عناصر بالقوه سمی مورد مطالعه در نمونه‌های گردوغبار خیابانی نسبت به محاسبه شاخص‌های غنی‌شدگی (Enrichment Factor; EF)، آلودگی یکپارچه (Integrated Pollution Index; IPI) و جامع آلودگی نمره (Nemerow Integrated Pollution Index; NIPI) به ترتیب با استفاده از رابطه‌های ۱ تا ۳ اقدام شد (۱۴):

$$EF = \frac{\left(\frac{C_n}{C_r}\right)_{\text{sample}}}{\left(\frac{C_n}{C_r}\right)_{\text{background}}} \quad (1)$$

در رابطه ۱:

$(C_n/C_r)_{\text{sample}}$  بیانگر نسبت محتوی عنصر مورد مطالعه به محتوی عنصر مرجع در نمونه گردوغبار خیابانی برحسب  $mg/kg$  و  $(C_n/C_r)_{\text{background}}$  نیز نشان‌دهنده نسبت غلظت زمینه عنصر مورد مطالعه به غلظت زمینه عنصر مرجع در شیل برحسب  $mg/kg$  است. در این مطالعه عنصر آلومینیم با مقدار زمینه برابر با  $82300 mg/kg$  به عنوان عنصر مرجع در نظر گرفته شد. مقادیر غنی‌شدگی بین  $0.50$  تا  $1/5$  نشان‌دهنده آن است که عنصر مورد ارزیابی از فرآیندهای زمین‌زاد نشأت گرفته است، در حالی که مقادیر بزرگ‌تر از  $1/50$  از این شاخص نشان‌دهنده تأثیر عوامل انسانی بر محتوی عناصر است. سطوح آلودگی و تفسیر آنها بر اساس مقادیر فاکتور EF در جدول ۱ آورده شده است (۱۴).

$$IPI = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n PI_i; PI_i = \frac{C_p}{C_b} \quad (2)$$

در رابطه ۲:

$PI_i$  و  $N$  به ترتیب بیانگر شاخص آلودگی برای هر عنصر و تعداد عناصر مورد بررسی هستند. همچنین،  $C_p$  و  $C_b$  نیز به ترتیب محتوی عنصر مورد نظر در نمونه گردوغبار و غلظت زمینه عنصر (برابر با  $2/00$ ،  $34/2$ ،  $0/230$ ،  $20/8$  و  $120$  به ترتیب برای عناصر آرسنیک، سرب، کادمیم، کبالت و وانادیم) بر حسب  $mg/kg$  را نمایندگی می‌کنند (۲۶). جدول ۱ سطوح

هر بشر، محلول حاصل روی هیتر قرار داده شد. پس از افزایش دما تا  $90^\circ C$ ، به مدت  $10 \text{ min}$  عمل بازروانی (Reflux) انجام شد. پس از خنک شدن محلول تا دمای  $20^\circ C$ ، نسبت به بازروانی محلول به مدت  $15 \text{ min}$  اقدام شد. در مرحله بعد،  $5 \text{ mL}$  اسیدنیتريك  $65$  درصد به هر محلول افزوده و فرآیند بازروانی به مدت  $30 \text{ min}$  تکرار شد. این فرآیند با افزودن  $2 \text{ mL}$  آب دوبار تقطیر و  $3 \text{ mL}$  پراکسید هیدروژن  $30$  درصد به هر محلول تا زمان فروکش کردن واکنش و کاهش حجم محلول‌ها به  $5 \text{ mL}$  ادامه یافت. محلول‌ها پس از خنک شدن توسط کاغذ صافی واتمن شماره  $42$  به ارلن  $100 \text{ mL}$  منتقل و با آب دوبار تقطیر به حجم رسانده شدند ( $3$ ،  $24$ ). در نهایت، پس از ساخت محلول استوک و استاندارد نمک عناصر و همچنین کالیبره کردن دستگاه نشر اتمی Varian مدل ES-710 ساخت شرکت Varian استرالیا، محتوی عناصر آرسنیک، سرب، کادمیم، کبالت و وانادیم به ترتیب در طول موج‌های  $1880/980$ ،  $220/353$ ،  $226/502$ ،  $228/615$  و  $311/837 \text{ nm}$  خوانده شدند. تضمین و کنترل کیفیت اندازه‌گیری‌ها نیز با استفاده از مرجع استاندارد خاک خریداری شده از شرکت سیگما-آلدريچ اسپانیا (GBW07411, Sigma-Aldrich, Spain) بررسی شدند. بر این اساس، مقادیر حد تشخیص (Limit of Detection) برای عناصر آرسنیک، سرب، کادمیم، کبالت و وانادیم به ترتیب برابر با  $0/065$ ،  $0/056$ ،  $0/072$ ،  $0/059$  و  $0/061 \text{ mg/kg}$  و مقادیر محدودیت کمی (Limits of Quantification) عناصر نیز برای عناصر آرسنیک، سرب، کادمیم، کبالت و وانادیم به ترتیب برابر با  $0/194$ ،  $0/169$ ،  $0/215$ ،  $0/179$  و  $0/185 \text{ mg/kg}$  به دست آمدند. نتایج حاصل از درصد بازیابی عناصر مورد مطالعه (از  $93/8$  تا  $99/7$  درصد) نیز نشان داد که روش مورد استفاده برای تعیین محتوی عناصر بالقوه سمی مورد مطالعه از دقت مناسب برخوردار بوده است.

ارزیابی آلودگی گردوغبار خیابانی به عناصر بالقوه سمی در این پژوهش، به منظور ارزیابی سطح غنی‌شدگی و آلودگی

آلودگی و تفسیر آنها برای شاخص IPI را نشان می‌دهد (۲۷).

(۳):

$$NIPI = \sqrt{\frac{(PI_{average}^2 + PI_{maximum}^2)}{2}}; PI_i = \frac{C_p}{C_b}$$

در رابطه ۳:

PI<sub>average</sub> و PI<sub>maximum</sub> به ترتیب بیانگر میانگین شاخص

آلودگی برای عناصر و بیشترین شاخص آلودگی از بین عناصر مورد بررسی هستند. همچنین، C<sub>p</sub> و C<sub>b</sub> نیز به ترتیب محتوی عنصر مورد نظر در نمونه گردوغبار و غلظت زمینه عنصر (برابر با ۲/۰۰، ۳۴/۲، ۰/۲۳۰، ۲۰/۸ و ۱۲۰ به ترتیب برای عناصر آرسنیک، سرب، کادمیم، کبالت و وانادیم) بر حسب mg/kg را نمایندگی می‌کنند (۲۷). جدول ۱ سطوح آلودگی و تفسیر آنها برای شاخص NIPI را نشان می‌دهد (۲۶، ۲۸، ۲۹).

جدول ۱- طبقه‌بندی مقادیر شاخص‌های غنی‌شدگی (EF)، آلودگی یکپارچه (IPI) و جامع آلودگی نمره (NIPI)

شاخص غنی‌شدگی (EF)		شاخص آلودگی یکپارچه (IPI)		شاخص آلودگی یکپارچه نمره (NIPI)	
محدوده	طبقه توصیفی	محدوده	طبقه توصیفی	محدوده	طبقه توصیفی
EF < ۱	بدون غنی‌شدگی	IPI < ۱	آلودگی کم	NIPI ≤ ۰/۷	بدون آلودگی
EF < ۳	غنی‌شدگی کم	۱ ≤ IPI < ۲	آلودگی متوسط	۰/۷ < NIPI ≤ ۱	خطر هشدار آلودگی
۳ ≤ EF < ۵	غنی‌شدگی متوسط	IPI ≥ ۲	آلودگی زیاد	۱ < NIPI ≤ ۲	آلودگی کم
۵ ≤ EF < ۱۰	غنی‌شدگی زیاد			۲ < NIPI ≤ ۳	آلودگی متوسط
۱۰ ≤ EF < ۲۵	غنی‌شدگی شدید			NIPI > ۳	آلودگی شدید
۲۵ ≤ EF < ۵۰	غنی‌شدگی خیلی شدید				

ارزیابی ریسک سلامت مواجهه با گردوغبار خیابانی آلوده به عناصر بالقوه سمی

در این پژوهش، برای ارزیابی ریسک‌های احتمالی غیرسرطان‌زایی و سرطان‌زایی ناشی از مواجهه شهروندان (کودک و بزرگسال) با گردوغبار خیابانی آلوده به عناصر بالقوه سمی از مسیرهای بلع

مستقیم، استنشاق (از طریق دهان و بینی) و جذب پوستی از روابط ۴ تا ۶ استفاده شد (۲۹):

$$LADD_{ing} = \frac{C \times EF}{AT} \times \left( \frac{IngR_{child} \times ED_{child}}{BW_{child}} + \frac{IngR_{adult} \times ED_{adult}}{BW_{adult}} \right) \times 10^{-6} \quad (4)$$

(Hazard Index; HI) مورد استفاده قرار گرفتند. همچنین، برای ارزیابی اثرات سرطان‌زایی گردوغبار آلوده به عناصر، ریسک‌های سرطان‌زایی کل (Carcinogenic Risk; CR) و سرطان‌زایی کل (Total Carcinogenic Risk; TCR) با استفاده از روابط ۷ تا ۱۰ محاسبه شدند (۱۲):

$$HQ = \sum \frac{ADD}{RfD} \quad (7)$$

$$HI = \sum HQ = HQ_{ing} + HQ_{inh} + HQ_{derm} \quad (8)$$

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

$$TCR = \sum (LADD \times CSF_{ing}) + (LADD \times CSF_{inh}) \quad (10)$$

در روابط ۷ تا ۱۰:

LADD نشان‌دهنده میانگین مقدار جذب روزانه عناصر از طریق هر یک از مسیرهای احتمالی (mg/kg/day)، RfD بیانگر تخمینی از مقدار مرجع (mg/kg/day) یک عنصر خاص در جمعیت انسانی از طریق قرار گرفتن روزانه در معرض آلاینده و CSF نیز نشان‌دهنده فاکتور شیب سرطان‌زایی برای عناصر مورد مطالعه (mg/kg/day) هستند. مقادیر RfD و CSF در جدول ۲ آورده شده‌اند. اگرچه مقادیر  $HQ/HI \leq 1$  نشان‌دهنده "ریسک کم یا بدون ریسک اثرات غیرسرطان‌زا" است،  $HQ/HI > 1$  احتمال بروز اثرات نامطلوب و شدید غیر سرطان‌زا را نشان می‌دهد. در حالی که، مقدار  $CR < 1 \times 10^{-6}$  نشان می‌دهد که هیچ ریسک قابل توجهی برای سلامتی وجود ندارد. ریسک سرطان‌زایی قابل قبول برای اهداف نظارتی زمانی است که  $1 \times 10^{-4} < CR \leq 1 \times 10^{-6}$  باشد. علاوه بر این،  $CR \geq 1 \times 10^{-4}$  ریسک سرطان‌زایی بالقوه زیاد را نشان می‌دهد (۳).

$$LADD_{inh} = \frac{C \times EF}{PEF \times AT} \times \left( \frac{InhR_{child} \times ED_{child}}{BW_{child}} + \frac{InhR_{adult} \times ED_{adult}}{BW_{adult}} \right) \quad (5)$$

$$LADD_{derm} = \frac{C \times AF \times EF \times ABS}{AT} \times \left( \frac{SA_{child} \times ED_{child}}{BW_{child}} + \frac{SA_{adult} \times ED_{adult}}{BW_{adult}} \right) \times 10^{-6} \quad (6)$$

در روابط ۴ تا ۶:

$LADD_{ing}$ ،  $LADD_{inh}$  و  $LADD_{derm}$  به ترتیب مقدار میانگین جذب روزانه عناصر در طول عمر (Lifetime Average Daily Doses; LADD) از طریق بلع مستقیم، استنشاق و تماس پوستی (mg/kg/day) را نشان می‌دهند. C بیانگر محتوای عناصر در نمونه گردوغبار (mg/kg) و InhR و IngR نیز به ترتیب نشان‌دهنده میزان مصرف ذرات گردوغبار (mg/day) و نرخ استنشاق ذرات گردوغبار (m<sup>3</sup>/day) هستند. EF نشان‌دهنده فرکانس مواجهه با گردوغبار آلوده (day/year)، ED بیانگر زمان مواجهه با گردوغبار آلوده (year)، AT، BW و PEF به ترتیب نشان‌دهنده میانگین وزن بدن (kg)، میانگین طول عمر (day) و ضریب انتشار ذرات (kg/m<sup>3</sup>)، SA بیانگر سطح پوست در معرض گردوغبار آلوده (cm<sup>2</sup>)، AF عامل چسبندگی پوست (mg/cm<sup>2</sup>) و ABS نیز عامل جذب پوستی را نمایندگی می‌کنند. مقادیر متناظر فاکتورهای مواجهه مورد استفاده برای محاسبه LADD فلزات از طریق مسیرهای مواجهه برای کودکان و بزرگسالان در جدول ۲ آورده شده است. در همین حال، برای ارزیابی اثرات بالقوه غیرسرطانی یک مسیر معین و تخمین ریسک تجمعی غیرسرطان‌زا از طریق سه مسیر مواجهه، به ترتیب ضریب خطر (Hazard Quotient; HQ) و شاخص خطر تجمعی

جدول ۲- مقادیر متناظر فاکتورهای مواجهه مرجع و فاکتور شیب سرطان‌زایی برای ارزیابی ریسک سلامت (غیرسرطان‌زا و سرطان‌زا)

منبع	گروه سنی		واحد	پارامتر
	بزرگسال	کودک		
(۲۹)	۱۰۰	۲۰۰	mg/day	IngR
(۳۰)	۳۵۰	۳۵۰	day/year	EF
(۲۹)	۲۴	۶	year	ED
(۲۹)	۷۰	۱۵	kg	BW
(۲۹)	ED×۳۶۵	ED×۳۶۵	day	AT(غیرسرطان‌زا)
(۲۹)	۷۰×۳۶۵	۷۰×۳۶۵	day	AT(سرطان‌زا)
(۲۹)	۵۷۰۰	۲۸۰۰	cm <sup>2</sup>	SA
(۲۹)	۰/۰۷	۰/۲۰	mg/cm <sup>2</sup> /day	AF
(۲۹)	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	unitless	ABS
(۲۹)	۱۲/۸	۷/۶۳	m <sup>3</sup> /day	InhR
(۲۹)	۱/۳۶ × ۱۰ <sup>۹</sup>	۱/۳۶ × ۱۰ <sup>۹</sup>	m <sup>3</sup> /kg	PEF

منبع	CSF (mg/kg/day)		RfD/RfC (mg/kg/day/mg/m <sup>3</sup> )		عنصر
	استنشاق	بلع	پوست	استنشاق	
(۳۳-۳۱)	۱/۵۱×۱۰ <sup>۱</sup>	۳۲/۰	۱/۲۳×۱۰ <sup>-۴</sup>	۴/۳۰	آرسنیک
(۳۳, ۳۰)	۴/۲۰×۱۰ <sup>-۲</sup>	۸/۵۰×۱۰ <sup>-۲</sup>	۵/۲۵×۱۰ <sup>-۴</sup>	۳/۵۲×۱۰ <sup>-۳</sup>	سرب
(۳۴, ۳۳)	۶/۳۰	۶/۱۰	۱/۰۰×۱۰ <sup>-۵</sup>	۱/۰۰×۱۰ <sup>-۳</sup>	کادمیم
(۳)	۹/۸۰	-	۱/۶۰×۱۰ <sup>-۲</sup>	۵/۷۱×۱۰ <sup>-۶</sup>	کبالت
(۳)	-	-	۷/۰۰×۱۰ <sup>-۵</sup>	۷/۰۰×۱۰ <sup>-۳</sup>	وانادیم

پردازش آماری داده‌ها

پردازش آماری داده‌ها توسط نسخه ۱۹ نرم‌افزار آماری برای علوم اجتماعی (Statistical Package for Social Science: SPSS) در سطح معنی‌داری ۰/۰۵۰ انجام یافت. برای بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها و برابری واریانس‌ها به ترتیب از آزمون‌های شاپیرو-ویلک (Shapiro-Wilk's test) و لوین (Levene Test) استفاده شد. از آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه (One-Way ANOVA) و آزمون تعقیبی چند دامنه‌ای دانکن (Duncan Multiple Range Test) نیز برای مقایسه میانگین محتوی عناصر بین کاربری‌های مختلف استفاده شد.

یافته‌ها

آمار توصیفی مربوط به تعیین مقادیر عناصر بالقوه سمی در نمونه‌های گردوغبار آمار توصیفی مربوط به مقادیر تعیین‌شده عناصر بالقوه سمی در

نمونه‌های گردوغبار در جدول ۳ آورده شده است. با استناد به نتایج، غلظت عناصر آرسنیک، سرب، کادمیم، کبالت و وانادیم در گردوغبار به ترتیب با میانگین ۵/۲۶، ۸۳/۹، ۰/۳۵۰، ۷/۱۹ و ۶/۴۹ mg/kg در دامنه ۰/۷۵۰-۰/۰۹۰ kg، ۰/۷۵۰-۰/۰۹۰ kg و ۹/۴۶-۴/۲۱ mg/kg، ۱۱/۱-۲/۲۵ mg/kg متغیر بوده است. بیشینه میانگین محتوی عناصر آرسنیک، کادمیم، کبالت و وانادیم به ترتیب با ۷/۲۸، ۰/۷۲۹، ۹/۰۲ و ۸/۷۸ mg/kg مربوط به نمونه‌های گردوغبار جمع‌آوری شده از کاربری صنعتی و بیشینه میانگین محتوی عنصر سرب با ۱۰۱ mg/kg مربوط به نمونه‌های برداشت شده از مناطق تجاری بود. از طرفی، میانگین محتوی عناصر در نمونه‌ها از روند نزولی سرب < کبالت < وانادیم < آرسنیک < کادمیم تبعیت کرد. علاوه بر این، روند نزولی میانگین محتوی عناصر آرسنیک، کادمیم، کبالت و وانادیم برای کاربری‌های مختلف به صورت صنعتی < تجاری < مسکونی < تفریحی و برای عنصر سرب نیز به صورت تجاری < صنعتی < مسکونی < تفریحی بود.

جدول ۳- آمار توصیفی محتوی عناصر مورد مطالعه در نمونه‌های گردوغبار خیابانی شهر کرمانشاه (mg/kg)

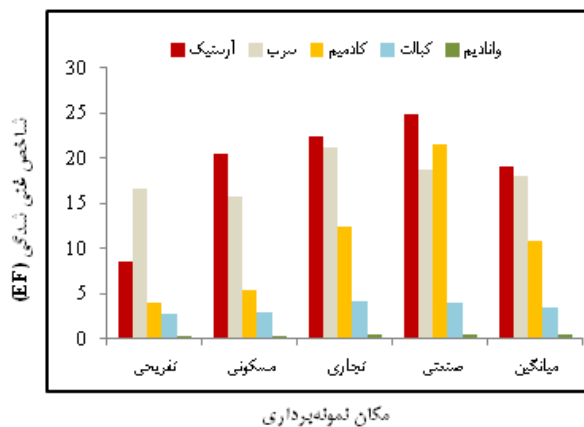
کاربری	عنصر			
	آرسنیک	سرب	کادمیم	کبالت
تفریحی	۲/۰۴a	۶۷/۹d	۰/۱۱۵d	۵/۰۱c
مسکونی	۵/۴۴c	۷۱/۸c	۰/۱۶۴c	۵/۸۸b
تجاری	۶/۲۷b	۱۰۱a	۰/۳۹۶b	۸/۸۳a
صنعتی	۷/۲۸a	۹۴/۲b	۰/۷۲۹a	۹/۰۲a
کمینه	۱/۷۴	۶۱/۲	۰/۰۹۰	۴/۲۱
بیشینه	۷/۴۶	۱۰۹	۰/۷۵۰	۹/۴۶
میانگین	۵/۲۶	۸۳/۹	۰/۳۵۰	۷/۱۹
غلظت زمینه (۲۶)	۲/۰۰	۳۴/۲	۰/۲۳۰	۲۰/۸

حروف غیرمشترک (a, b, c و ...) در هر ستون، بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار آماری ( $p < ۰/۰۵$ ) میانگین محتوی عناصر مورد بررسی در نمونه‌های گردوغبار بر اساس نتایج آزمون‌های تحلیل واریانس یک‌طرفه و چند دامنه‌ای دانکن هستند.

## نتایج محاسبه شاخص غنی‌شدگی

با استناد به نتایج محاسبه شاخص غنی‌شدگی (شکل ۲)، میانگین مقادیر شاخص EF برای مناطق تفریحی، مسکونی، تجاری و صنعتی به ترتیب در دامنه‌های ۰/۳۵۲-۰/۴۸۵، ۰/۴۹۹-۰/۶۹۹ و ۰/۴۸۵-۰/۶۹۹ متغیر بوده و شرایط بدون "غنی‌شدگی" تا "غنی‌شدگی شدید" گردوغبار به عناصر آرسنیک، سرب، کادمیم، کبالت و وانادیم در همه مکان‌های نمونه‌برداری را نشان می‌دهند. همچنین، میانگین مقادیر EF برای عناصر آرسنیک، سرب و کادمیم به ترتیب برابر با ۱۹/۰،

۱۸/۱ و ۱۰/۸ و بیانگر "غنی‌شدگی شدید" گردوغبار به این عناصر بود ( $EF \leq 25$  و  $EF < 10$ ). با این حال، میانگین مقادیر EF برای عنصر کبالت برابر با ۳/۴۲ و نشان‌دهنده "غنی‌شدگی متوسط" گردوغبار به این عنصر بود ( $EF \leq 5$  و  $EF < 3$ ). این در حالی است که میانگین مقادیر EF عنصر وانادیم برابر با ۰/۳۹۳ و سطح "بدون غنی‌شدگی" گردوغبار به این عنصر را نمایندگی میکند ( $EF < 1$ ). به‌علاوه، روند نزولی میانگین مقادیر شاخص EF به‌صورت آرسنیک < سرب < کادمیم < کبالت < وانادیم حاصل شد.

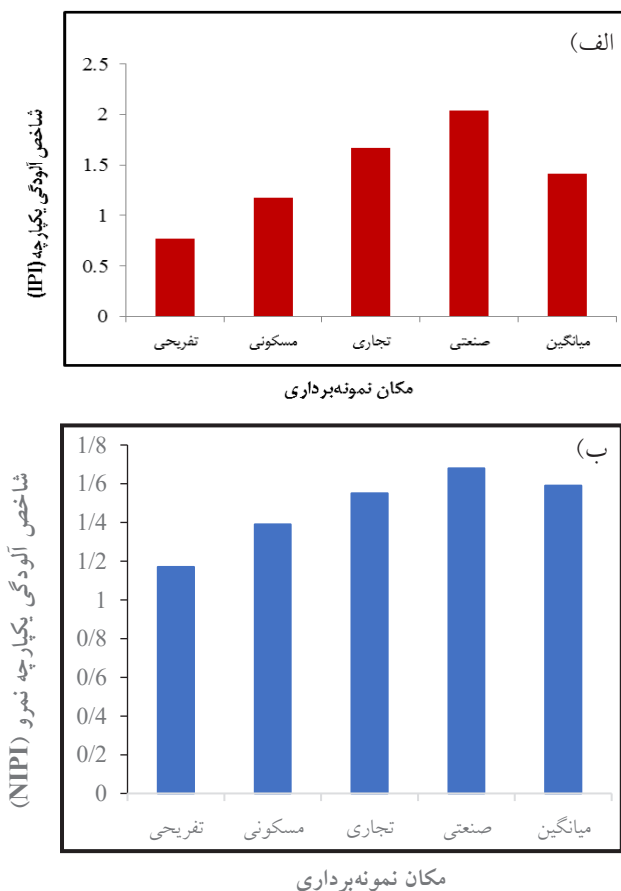


شکل ۲- مقادیر شاخص EF عناصر آرسنیک، سرب، کادمیم، کبالت و وانادیم در نمونه‌های گردوغبار خیابانی شهر کرمانشاه به تفکیک کاربری

نتایج محاسبه شاخص‌های آلودگی یکپارچه و آلودگی یکپارچه نمره

نتایج محاسبه شاخص آلودگی یکپارچه عناصر در شکل ۳-الف آورده شده است. بر این اساس، مقادیر محاسبه شده شاخص IPI در کاربری تفریحی برابر با ۰/۷۷۰ و نشان‌دهنده عدم آلودگی نمونه‌ها بود ( $IPI < 1$ ). در همین حال، نمونه‌های گردوغبار در کاربری‌های مسکونی و تجاری با میانگین مقادیر شاخص به ترتیب برابر با ۱/۱۸ و ۱/۶۷ سطح آلودگی متوسط را نشان دادند ( $1 \leq IPI < 2$ ). از طرفی، میانگین مقادیر شاخص IPI در مناطق صنعتی برابر با ۲/۰۴ و بیانگر سطح آلودگی

"زیاد" گردوغبار به عناصر مورد مطالعه بود ( $IPI \geq 2$ ). این در حالی است که مقادیر میانگین شاخص IPI برابر با ۱/۴۲ و نشان‌دهنده سطح آلودگی "متوسط" گردوغبار در منطقه مورد مطالعه بود. با استناد به نتایج محاسبه شاخص جامع آلودگی نمره (شکل ۳-ب)، مقادیر محاسبه شده شاخص NIPI برای مناطق تفریحی، مسکونی، تجاری و صنعتی به ترتیب برابر با ۱/۱۷، ۱/۳۹، ۱/۵۵ و ۱/۶۸ و بیانگر سطح آلودگی "کم" گردوغبار به عناصر مورد مطالعه در همه مکان‌های نمونه‌برداری بود ( $NIPI \leq 2$  و  $NIPI < 1$ ). همچنین، میانگین مقادیر NIPI برابر با ۱/۵۹ و سطح آلودگی "کم" گردوغبار را نمایندگی می‌کند.



شکل ۳- الف) مقادیر شاخص IPI عناصر آرسنیک، سرب، کادمیم، کبالت و وانادیم در نمونه‌های گردوغبار خیابانی شهر کرمانشاه به تفکیک کاربری و ب) مقادیر شاخص NIPI عناصر آرسنیک، سرب، کادمیم، کبالت و وانادیم در نمونه‌های گردوغبار خیابانی شهر کرمانشاه به تفکیک کاربری

تفریحی برای گروه کودک، کوچک‌تر از یک و نشان‌دهنده عدم بروز ریسک غیرسرطان‌زایی از طریق مسیر بلع برای کودکان بود. از طرفی، مقادیر  $HQ_{in}$  و  $HQ_{der}$  برای گروه کودک در همه مکان‌های نمونه‌برداری، کوچک‌تر از یک بود و از اینرو، می‌توان اذعان داشت که هیچ ریسک غیرسرطان‌زایی از طریق مسیر استنشاقی و پوستی برای کودکان حادث نخواهد شد. در همین حال، میانگین مقادیر شاخص HQs برای بزرگسالان در همه مکان‌های نمونه‌برداری، کوچک‌تر از یک و بیانگر عدم بروز ریسک غیرسرطانی ناشی از مواجهه با ذرات گردوغبار آلوده به آرسنیک، سرب، کادمیم، کبالت و وانادیم از طریق مسیرهای

نتایج محاسبه ریسک سلامت مواجهه با ذرات گردوغبار آلوده به عناصر بالقوه سمی نتایج محاسبه ریسک سلامت ناشی از مواجهه با ذرات گردوغبار خیابانی آلوده به عناصر بالقوه سمی از طریق بلع، تنفس و تماس پوستی در جدول ۴ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که میانگین مقادیر  $HQ_{ing}$  در کاربری‌های مسکونی، تجاری و صنعتی برای گروه سنی کودک همگی بزرگ‌تر از آستانه مجاز یعنی ۱/۰۰ و نشان‌دهنده ریسک نامطلوب و شدید غیر سرطان‌زا مواجهه با گردوغبار خیابانی آلوده بود. در همین حال، ریسک غیرسرطان‌زایی از طریق بلع برای عناصر مورد بررسی در مناطق

بود. به علاوه، روند نزولی میانگین ریسک غیر سرطان‌زایی عناصر برای کودکان و بزرگسالان به صورت آرسنیک < سرب < وانادیم < کادمیم < کبالت بود.

مواجهه سه‌گانه بود. از طرفی، سطوح مخاطرات غیرسرطان‌زا برای عناصر مورد مطالعه از سه مسیر مختلف مواجهه برای هر دو گروه سنی به ترتیب به صورت بلع < تماس پوستی < استنشاق

جدول ۴- نتایج ارزیابی ریسک غیرسرطان‌زایی عناصر مورد مطالعه در نمونه‌های گردوغبار شهر کرمانشاه

مکان نمونه‌برداری	گروه سنی	مسیر تماس	ضریب خطر (HQ)					شاخص خطر تجمعی (HI)
			آرسنیک	سرب	کادمیم	کبالت	وانادیم	
تفریحی	کودک	بلع	$5/01 \times 10^{-1}$	$2/48 \times 10^{-1}$	$1/43 \times 10^{-2}$	$3/20 \times 10^{-2}$	$6/25 \times 10^{-2}$	$7/49 \times 10^{-1}$
		استنشاق	$1/70 \times 10^{-10}$	$6/89 \times 10^{-6}$	$3/98 \times 10^{-8}$	$3/13 \times 10^{-4}$	$1/75 \times 10^{-7}$	$3/21 \times 10^{-4}$
		پوست	$5/95 \times 10^{-4}$	$4/63 \times 10^{-2}$	$3/99 \times 10^{-4}$	$1/12 \times 10^{-2}$	$1/75 \times 10^{-2}$	$7/39 \times 10^{-2}$
		کل	$5/01 \times 10^{-1}$	$2/52 \times 10^{-1}$	$1/82 \times 10^{-2}$	$3/53 \times 10^{-2}$	$8/00 \times 10^{-2}$	$7/54 \times 10^{-1}$
	بزرگسال	بلع	$5/37 \times 10^{-2}$	$2/66 \times 10^{-2}$	$1/52 \times 10^{-4}$	$3/43 \times 10^{-2}$	$6/70 \times 10^{-4}$	$8/03 \times 10^{-2}$
		استنشاق	$6/13 \times 10^{-11}$	$2/49 \times 10^{-6}$	$1/44 \times 10^{-8}$	$1/13 \times 10^{-4}$	$6/30 \times 10^{-8}$	$1/16 \times 10^{-4}$
		پوست	$9/08 \times 10^{-2}$	$7/07 \times 10^{-4}$	$6/09 \times 10^{-2}$	$1/76 \times 10^{-6}$	$2/67 \times 10^{-4}$	$1/13 \times 10^{-2}$
		کل	$5/37 \times 10^{-2}$	$2/73 \times 10^{-2}$	$2/14 \times 10^{-4}$	$4/58 \times 10^{-4}$	$3/97 \times 10^{-4}$	$8/10 \times 10^{-2}$
مسکونی	کودک	بلع	1/10	$2/62 \times 10^{-1}$	$2/10 \times 10^{-2}$	$3/76 \times 10^{-2}$	$1/03 \times 10^{-2}$	1/38
		استنشاق	$4/52 \times 10^{-10}$	$7/29 \times 10^{-6}$	$5/86 \times 10^{-8}$	$3/68 \times 10^{-4}$	$2/87 \times 10^{-7}$	$3/76 \times 10^{-4}$
		پوست	$1/58 \times 10^{-2}$	$4/90 \times 10^{-2}$	$5/87 \times 10^{-4}$	$1/32 \times 10^{-2}$	$2/88 \times 10^{-2}$	$9/96 \times 10^{-2}$
		کل	1/10	$2/67 \times 10^{-1}$	$2/69 \times 10^{-2}$	$4/14 \times 10^{-2}$	$1/32 \times 10^{-2}$	1/39
	بزرگسال	بلع	$1/18 \times 10^{-1}$	$2/79 \times 10^{-2}$	$2/24 \times 10^{-4}$	$4/01 \times 10^{-4}$	$1/08 \times 10^{-2}$	$1/46 \times 10^{-1}$
		استنشاق	$1/63 \times 10^{-10}$	$2/61 \times 10^{-6}$	$2/11 \times 10^{-8}$	$1/32 \times 10^{-4}$	$1/02 \times 10^{-7}$	$1/35 \times 10^{-4}$
		پوست	$2/41 \times 10^{-4}$	$7/41 \times 10^{-4}$	$8/93 \times 10^{-2}$	$2/01 \times 10^{-6}$	$4/32 \times 10^{-4}$	$1/51 \times 10^{-2}$
		کل	$1/18 \times 10^{-1}$	$2/86 \times 10^{-2}$	$3/13 \times 10^{-4}$	$5/35 \times 10^{-4}$	$1/51 \times 10^{-2}$	$1/47 \times 10^{-1}$
تجاری	کودک	بلع	1/29	$3/71 \times 10^{-1}$	$5/07 \times 10^{-2}$	$5/65 \times 10^{-2}$	$1/49 \times 10^{-2}$	1/66
		استنشاق	$5/21 \times 10^{-10}$	$1/03 \times 10^{-2}$	$1/42 \times 10^{-7}$	$5/53 \times 10^{-4}$	$4/15 \times 10^{-7}$	$5/64 \times 10^{-4}$
		پوست	$1/83 \times 10^{-2}$	$6/92 \times 10^{-2}$	$1/42 \times 10^{-2}$	$1/98 \times 10^{-2}$	$4/16 \times 10^{-2}$	$1/43 \times 10^{-2}$
		کل	1/29	$3/87 \times 10^{-1}$	$6/48 \times 10^{-2}$	$6/22 \times 10^{-2}$	$1/90 \times 10^{-2}$	1/67
	بزرگسال	بلع	$1/38 \times 10^{-1}$	$3/97 \times 10^{-2}$	$5/43 \times 10^{-4}$	$6/05 \times 10^{-4}$	$1/59 \times 10^{-2}$	$1/78 \times 10^{-1}$
		استنشاق	$1/88 \times 10^{-10}$	$3/72 \times 10^{-6}$	$5/11 \times 10^{-8}$	$1/99 \times 10^{-4}$	$1/50 \times 10^{-7}$	$2/03 \times 10^{-4}$
		پوست	$2/79 \times 10^{-4}$	$1/06 \times 10^{-2}$	$2/17 \times 10^{-4}$	$3/02 \times 10^{-6}$	$6/35 \times 10^{-4}$	$2/19 \times 10^{-2}$
		کل	$1/38 \times 10^{-1}$	$4/08 \times 10^{-2}$	$7/59 \times 10^{-4}$	$8/08 \times 10^{-4}$	$2/23 \times 10^{-2}$	$1/79 \times 10^{-1}$
صنعتی	کودک	بلع	1/50	$3/44 \times 10^{-1}$	$9/32 \times 10^{-2}$	$5/77 \times 10^{-2}$	$1/60 \times 10^{-2}$	1/84
		استنشاق	$6/05 \times 10^{-10}$	$9/56 \times 10^{-6}$	$2/60 \times 10^{-7}$	$5/65 \times 10^{-4}$	$4/48 \times 10^{-7}$	$5/75 \times 10^{-4}$
		پوست	$2/12 \times 10^{-2}$	$6/43 \times 10^{-2}$	$2/61 \times 10^{-2}$	$2/02 \times 10^{-2}$	$4/49 \times 10^{-2}$	$1/57 \times 10^{-2}$
		کل	1/50	$3/51 \times 10^{-1}$	$1/19 \times 10^{-2}$	$6/35 \times 10^{-2}$	$2/05 \times 10^{-2}$	1/85
	بزرگسال	بلع	$1/61 \times 10^{-1}$	$3/69 \times 10^{-2}$	$9/99 \times 10^{-4}$	$6/18 \times 10^{-4}$	$1/72 \times 10^{-2}$	$1/98 \times 10^{-1}$
		استنشاق	$2/18 \times 10^{-10}$	$3/45 \times 10^{-6}$	$9/40 \times 10^{-8}$	$2/04 \times 10^{-4}$	$1/62 \times 10^{-7}$	$2/07 \times 10^{-4}$
		پوست	$3/24 \times 10^{-4}$	$9/81 \times 10^{-4}$	$3/99 \times 10^{-4}$	$3/08 \times 10^{-6}$	$6/86 \times 10^{-4}$	$2/39 \times 10^{-2}$
		کل	$1/61 \times 10^{-1}$	$3/79 \times 10^{-2}$	$1/40 \times 10^{-2}$	$8/25 \times 10^{-4}$	$2/41 \times 10^{-2}$	$1/99 \times 10^{-1}$

نخواهد شد. در همین حال، ریسک سرطان‌زایی از طریق بلع برای عناصر مورد بررسی برای شهروندان با میانگین مقادیر  $CR_{ing}$  بزرگ‌تر از  $1 \times 10^{-4}$ ، بیانگر ریسک زیاد بود. از طرفی، مقادیر TCR کل بزرگ‌تر از  $1 \times 10^{-4}$  و نشان‌دهنده ریسک سرطان‌زایی زیاد ناشی از مواجهه با گردوغبار خیابانی آلوده بود. همچنین، روند نزولی میانگین ریسک سرطان‌زایی عناصر مورد مطالعه برای افراد به‌صورت آرسنیک < کادمیم < سرب < کبالت بود.

با توجه به مقادیر اندک SF برای ارزیابی ریسک سرطان‌زایی مواجهه با ذرات گردوغبار آلوده به عناصر بالقوه سمی از طریق تماس پوستی، در این پژوهش، ریسک سرطان‌زایی مواجهه با عناصر آرسنیک، سرب، کادمیم و کبالت برای شهروندان از طریق مسیرهای بلع و استنشاق برآورد شد (جدول ۵). نتایج نشان داد که مقادیر  $CR_{inh}$  همگی کوچک‌تر از آستانه مجاز یعنی  $1 \times 10^{-6}$  بوده و هیچ ریسک سرطان‌زایی از طریق مسیر استنشاقی برای افراد حادث

جدول ۵- نتایج ارزیابی ریسک سرطان‌زایی عناصر مورد مطالعه در نمونه‌های گردوغبار خیابانی شهر کرمانشاه

کاربری	عنصر	$CR_{ing}$	$CR_{inh}$	TCR
تفریحی	آرسنیک	$1/18 \times 10^{-4}$	$2/31 \times 10^{-9}$	$1/18 \times 10^{-4}$
	سرب	$9/04 \times 10^{-7}$	$1/93 \times 10^{-9}$	$9/04 \times 10^{-7}$
	کادمیم	$1/06 \times 10^{-6}$	$5/26 \times 10^{-11}$	$1/06 \times 10^{-6}$
	کبالت	-	$3/67 \times 10^{-9}$	$3/67 \times 10^{-9}$
	کل	$1/20 \times 10^{-4}$	$7/96 \times 10^{-9}$	$1/20 \times 10^{-4}$
مسکونی	آرسنیک	$2/60 \times 10^{-4}$	$6/14 \times 10^{-9}$	$2/60 \times 10^{-4}$
	سرب	$9/56 \times 10^{-7}$	$2/02 \times 10^{-9}$	$9/56 \times 10^{-7}$
	کادمیم	$1/57 \times 10^{-6}$	$7/71 \times 10^{-11}$	$1/57 \times 10^{-6}$
	کبالت	-	$4/29 \times 10^{-9}$	$4/29 \times 10^{-9}$
	کل	$2/63 \times 10^{-4}$	$1/25 \times 10^{-8}$	$2/63 \times 10^{-4}$
تجاری	آرسنیک	$3/02 \times 10^{-4}$	$7/09 \times 10^{-9}$	$3/02 \times 10^{-4}$
	سرب	$1/35 \times 10^{-6}$	$2/88 \times 10^{-9}$	$1/35 \times 10^{-6}$
	کادمیم	$3/78 \times 10^{-6}$	$1/87 \times 10^{-10}$	$3/78 \times 10^{-6}$
	کبالت	-	$6/48 \times 10^{-9}$	$6/48 \times 10^{-9}$
	کل	$3/07 \times 10^{-4}$	$1/66 \times 10^{-8}$	$3/07 \times 10^{-4}$
صنعتی	آرسنیک	$3/54 \times 10^{-4}$	$8/23 \times 10^{-9}$	$3/54 \times 10^{-4}$
	سرب	$1/25 \times 10^{-6}$	$2/67 \times 10^{-9}$	$1/25 \times 10^{-6}$
	کادمیم	$6/96 \times 10^{-6}$	$3/44 \times 10^{-10}$	$6/96 \times 10^{-6}$
	کبالت	-	$6/62 \times 10^{-9}$	$6/62 \times 10^{-9}$
	کل	$3/62 \times 10^{-4}$	$1/79 \times 10^{-8}$	$3/62 \times 10^{-4}$

## نتایج پردازش آماری داده‌ها

با استناد به نتایج آزمون شاپیرو-ویلک، سطح معنی‌داری برای عناصر آرسنیک، سرب، کادمیم، کبالت و وانادیم به ترتیب برابر ۰/۴۳۲، ۰/۵۶۷، ۰/۶۷۱، ۰/۳۵۴ و ۰/۷۵۱ بود. بر این اساس، غلظت همه عناصر در نمونه‌های گردوغبار با سطح معنی‌داری (p) بزرگ‌تر از ۰/۰۵، از توزیع نرمال برخوردار بودند.

## بحث

گردوغبار خیابانی شاخصی اقتصادی و مفید برای سنجش آلودگی عناصر بالقوه سمی هواسپهر در زیست‌بوم شهری به‌شمار می‌آید. بررسی یافته‌های مربوط به محتوی عناصر مورد مطالعه نشان داد که بیشینه میانگین محتوی عناصر آرسنیک، کادمیم، کبالت و وانادیم مربوط به نمونه‌های گردوغبار جمع‌آوری شده از مناطق صنعتی و بیشینه میانگین محتوی عنصر سرب مربوط به نمونه‌های برداشت شده از مناطق تجاری بود. در این خصوص، محتوی متغیر عناصر در نمونه‌های گردوغبار برداشت شده از کاربری‌های مختلف افزون بر این که بیانگر تاثیر قابل توجه تنوع منابع انتشار آلاینده‌ها ناشی از فعالیت‌های مختلف شهری است، نشان می‌دهد که انتشارات مداوم آلاینده‌های فلزی از فعالیت‌های صنعتی و ترافیکی عامل اصلی و عمده احتمالی افزایش محتوی عناصر در مناطق صنعتی و تجاری بوده است. در مطالعات مشابه و در تایید نتایج حاصل، Semerjian و همکاران (۲۰۲۴) با ارزیابی توزیع مکانی و خطرات احتمالی گردوغبار خیابانی آلوده به عناصر بالقوه سمی شارجه، گزارش کردند که بیشترین محتوی عنصر سرب مربوط به نمونه‌های برداشت شده از مناطق تجاری و ناشی از حجم زیاد ترافیک بوده است (۳۵). همچنین، El-Khatib و همکاران (۲۰۲۰)، Huang و همکاران (۲۰۲۲) و Jangirh و همکاران (۲۰۲۴)، بیشترین محتوی عناصر آرسنیک، سرب، کادمیم، کبالت و وانادیم در گردوغبار منیا (مصر)، دلتای رودخانه مروارید (چین) و دهلی (هند) را برای نمونه‌های برداشت شده از مناطق صنعتی و تجاری گزارش کرده و آن را

با فعالیت‌های ذوب و ریخته‌گری فلزات، خدمات تعمیر و نقاشی خودرو و حمل‌ونقل شهری مرتبط دانستند (۳۶-۳۸). آرسنیک شاخص احتراق سوخت فسیلی و کادمیم، کبالت و وانادیم نیز ردیاب‌های مهم فعالیت‌های صنعتی محسوب می‌شوند (۳۹). بنابراین، افزایش محتوی این عناصر در مناطق صنعتی را می‌توان با انتشارات ناشی از صنایع پتروشیمی و غذایی، تولید محصولات پلاستیکی، مراکز تعمیر و نقاشی خودرو و همچنین فعالیت پالایشگاه نفت مرتبط دانست. Wang و همکاران (۲۰۲۱) و Patel و همکاران (۲۰۲۳) نیز با ارزیابی آلودگی عناصر بالقوه سمی در گردوغبار خیابانی شنیانگ (چین) و دهلی نو (هند) گزارش کردند که بیشترین غلظت عناصر آرسنیک، سرب و کادمیم مربوط به نمونه‌های گردوغبار برداشت شده از مناطق صنعتی و ناشی از فعالیت‌های ذوب فلزات و ریخته‌گری، تولید رنگدانه، نساجی، پلاستیک و صنایع غذایی بوده است (۴۰، ۴۱). از طرفی، انتشار سرب در محیط به‌عنوان شاخص فعالیت‌های ترافیکی به‌شمار می‌آید (۸، ۱۰). از این‌رو، حجم زیاد ترافیک و انتشارات ناشی از منابع غیر احتراقی (ذرات حاصل از استهلاک و فرسایش بدنه خودرو، لنت ترمز و نشت روان‌کننده‌ها) را به احتمال زیاد می‌توان با افزایش محتوی سرب در مناطق تجاری مرتبط دانست. نتایج پژوهش Ali-Taleshi و همکاران (۲۰۲۲) نیز که با هدف ارزیابی آلودگی و ریسک سلامت عناصر بالقوه سمی در گردوغبار شهر تهران انجام یافت، نشان داد که انتشارات مداوم ناشی از ترافیک (نشت روان‌کننده‌ها، سایش و خوردگی قطعات خودرو) منبع عمده افزایش محتوی عنصر سرب در گردوغبار مناطقی با حجم ترافیک زیاد بوده است (۳۹). همچنین، Halil و همکاران (۲۰۱۹) با ارزیابی آلودگی محیط‌زیستی برخی از عناصر کمیاب در گردوغبار خیابانی شهر آبادان و با استناد به تغییرات مکانی محتوی عناصر بالقوه سمی، بیشینه محتوی عناصر آرسنیک، سرب، کادمیم، کبالت، کروم، مس، نیکل و وانادیم را برای نمونه‌های گردوغبار برداشت شده از مناطق با حجم ترافیک زیاد، صنعتی و مراکز خرید شهری گزارش

کردند و آن را با فعالیت‌های انسان‌زاد از قبیل انتشارات صنعتی (پالایشگاه و پتروشیمی)، حمل‌ونقل شهری و ساخت‌وساز شهری در منطقه مورد مطالعه مرتبط دانستند (۴۲).

شاخص غنی‌شدگی ابزار مناسبی برای ارزیابی تأثیر فعالیت‌های انسانی بر محتوی عناصر بالقوه سمی ماتریس‌های مختلف محیطی و تشخیص سهم آنها از منابع زمین‌زاد و انسان‌پدید است. میانگین مقادیر EF نشان داد که کیفیت نمونه‌های مورد مطالعه از حیث عنصر وانادیم (۰/۳۹۳) "بدون غنی‌شدگی" بوده است. با این حال، میانگین مقادیر EF غنی‌شدگی متوسط عنصر کبالت (۳/۴۲) را برای گردوغبار در همه کاربری‌های مورد مطالعه نشان داد. از طرفی، نمونه‌های گردوغبار در همه مناطق مورد مطالعه نسبت به عناصر آرسنیک، سرب و کادمیم با میانگین مقادیر EF بزرگ‌تر از ۱/۵ از غنی‌شدگی شدید برخوردار بودند. این موضوع افزون بر این که مؤید آلودگی گردوغبار به عناصر مورد ارزیابی در کلان‌شهر کرمانشاه است، می‌تواند بیانگر منشا انسان‌زاد عنصر مذکور باشد. از سوی دیگر، با استناد به مقادیر EF کوچکتر از ۱/۵ برای عنصر وانادیم در همه مناطق مورد مطالعه، به‌نظر می‌رسد که منشا این عنصر به‌طور عمده ناشی از فرآیندهای زمین‌زایی و متأثر از فرسایش و بازتعلیق ذرات خاک بوده است. در این راستا، Halil و همکاران (۲۰۱۹) نیز با ارزیابی آلودگی محیط‌زیستی برخی از عناصر کمیاب در گردوغبار خیابانی شهر آبادان، غنی‌شدگی شدید تا بسیار شدید شاخص EF برای عناصر آرسنیک، سرب، کادمیم، کبالت و وانادیم را گزارش و آن را با فعالیت‌های ترافیکی و صنعتی مرتبط دانستند (۴۲). از طرفی، میانگین مقادیر فاکتور EF عناصر سرب، کادمیم، کروم و نیکل بزرگ‌تر از ۱/۵ در گردوغبار خیابانی شهر جامو هند با منابع انسان‌پدید (انتشارات صنعتی و ترافیکی) مرتبط دانسته شد (۲۳).

حال، مقادیر محاسبه شده شاخص IPI، آلودگی متوسط تا زیاد گردوغبار به عناصر آرسنیک، سرب، کادمیم، کبالت و وانادیم در مناطق مسکونی، تجاری و صنعتی را نشان داد. همچنین، بیشینه میانگین مقدار IPI با ۲/۰۴ مربوط به مناطق صنعتی بود. از طرفی، میانگین مقادیر شاخص NIPI شرایط "آلودگی کم" در منطقه مورد مطالعه را نمایندگی کرد. در همین حال، بیشینه میانگین مقدار NIPI با ۱/۶۸ مربوط به کاربری صنعتی بود. یافته‌های حاصل، تأثیر فعالیت‌ها و کاربری‌های مختلف شهری بر تغییرات مکانی آلودگی گردوغبار به عناصر مورد ارزیابی را تایید می‌کند. از این‌رو، اقدامات کنترلی و تمهیدات مدیریتی به‌منظور کاهش انتشار منابع انسان‌پدید و اثرات نامطلوب محیط‌زیستی عناصر مورد مطالعه ضروری است. در مطالعات مشابه، Berghman و همکار (۲۰۲۱) و Hbibi و همکاران (۲۰۲۲) نیز با استناد به میانگین مقادیر شاخص IPI، سطح آلودگی عناصر آرسنیک، روی، سرب، کادمیم، کبالت، کروم، مس، منگنز، نیکل و وانادیم در گردوغبار خیابانی شهر لون (بلژیک) و همدان را "متوسط" تا "زیاد" و ناشی از فعالیت‌های شهری (صنعتی و ترافیکی) گزارش کردند (۲۴، ۴۳). به‌علاوه، Li و همکاران (۲۰۲۱)، Men و همکاران (۲۰۲۱) و Yu و همکاران (۲۰۲۳) نیز افزایش آلودگی فلزی گردوغبار خیابانی در کاربری‌های تجاری و صنعتی را با فعالیت‌های انسانی و به‌ویژه انتشارات ترافیکی و احتراق سوخت فسیلی مرتبط دانستند (۱۷، ۴۴، ۴۵).

ارزیابی ریسک سلامت اطلاعات مفیدی را در مورد مسیرهای احتمالی ورود آلاینده‌های سمی به بدن و خطرات مرتبط با آنها ارائه می‌دهد. در این پژوهش، بلع، استنشاق و تماس پوستی به‌ترتیب حدود ۹۸، ۱/۹۲ و ۰/۰۸ درصد از کل شاخص ریسک جمعی غیرسرطان‌زایی برای کودکان و بزرگسالان را تشکیل دادند که نشان می‌دهد بلع مسیر اصلی مواجهه شهروندان اعم از کودک و بزرگسال با ذرات گردوغبار آلوده به عناصر بالقوه سمی بوده است. در پژوهش‌های مشابه، Nematollahi و همکاران (۲۰۲۱) و Dubey و همکاران (۲۰۲۴) نیز با

شاخص‌های IPI و NIPI ابزارهای مفید برای تعیین سطح و برآوردی جامع از میزان آلودگی گردوغبار به عناصر کمیاب هستند. میانگین مقادیر شاخص IPI نمونه‌های گردوغبار در کاربری تفریحی بیانگر شرایط کیفی فاقد آلودگی بود. در همین

غیرسرطان‌زا و سرطان‌زا در مکان‌های آلوده به عناصر بالقوه سمی بوده است (۴۸).

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش، محتوی، آلودگی و ریسک سلامت عناصر بالقوه سمی گردوغبار خیابانی شهر کرمانشاه ارزیابی شد. با استناد به نتایج حاصل، نمونه‌های گردوغبار برداشت شده از کاربری‌های واجد فعالیت‌های شهری شدید (صنعتی و تجاری)، از بیشینه محتوی عناصر آرسنیک، سرب، کادمیم، کبالت و وانادیم برخوردار بودند که نشان‌دهنده تاثیر منابع انسان‌زاد نظیر ترافیک، صنایع پتروشیمی و غذایی، تولید محصولات پلاستیکی، مراکز تعمیر و نقاشی خودرو و همچنین انتشارات پالایشگاه نفت است. از طرفی، نتایج محاسبه فاکتور غنی‌شدگی نشان داد که غنی‌شدگی عناصر آرسنیک، سرب، کادمیم و کبالت در منطقه مورد مطالعه در محدوده "متوسط" تا "شدید" بوده است. همچنین، میانگین مقادیر شاخص IPI نمونه‌های گردوغبار نیز شرایط آلودگی "متوسط" در منطقه مورد مطالعه را نشان داد. در همین حال، میانگین مقادیر شاخص NIPI شرایط آلودگی "کم" در منطقه مورد مطالعه را نمایندگی کرد. از سوی دیگر، مقادیر محاسبه شده شاخص ریسک غیرسرطان‌زایی برای همه عناصر در هر گروه هدف بیانگر عدم ریسک مواجهه با گردوغبار آلوده بود و نشان داد که اثرات غیرسرطان‌زا از روند کاهشی آرسنیک < سرب < وانادیم < کادمیم < کبالت تبعیت کرده است. به‌علاوه، بلع اصلی‌ترین مسیر مواجهه شهروندان با ذرات گردوغبار آلوده به عناصر بالقوه سمی معرفی شد. علاوه بر این، مقادیر TCR عناصر آرسنیک، سرب، کادمیم و کبالت نشان‌دهنده سطح ریسک سرطان‌زایی زیاد و تهدیدی بالقوه برای سلامت شهروندان بود. در این خصوص، بهبود و بهینه‌سازی سیاست‌ها و راهبردهای مدیریت ترافیک و فعالیت‌های صنعتی برای کاهش آلودگی موثر خواهد بود. همچنین، نظر به این‌که آرسنیک و سرب از بیشترین سهم در ریسک‌های بهداشتی تجمعی برای افراد در

استناد به مقادیر شاخص ریسک تجمعی غیرسرطان‌زایی عناصر آرسنیک، سرب، کادمیم، کبالت و وانادیم در گردوغبار خیابانی یزد و آگرا (هند)، بلع ذرات گردوغبار آلوده را به‌عنوان اصلی‌ترین مسیر جذب روزانه عناصر بالقوه سمی گزارش کردند (۲۲، ۴۶). نتایج همچنین نشان داد که آرسنیک و سرب به‌طور متوسط ۹۵ درصد از کل مقادیر HI برای هر دو گروه سنی را به‌خود اختصاص داده‌اند؛ لذا، می‌توان ادعان داشت که اثرات سم‌شناسی غیرسرطان‌زای احتمالی به‌طور عمده توسط این عناصر کنترل می‌شود. آسیب‌های کلیوی، بیماری‌های گوارشی، قلبی-عروقی، تنفسی، اختلالات عصبی، تولیدمثلی و رشدی از عوارض اصلی مواجهه با مقادیر بیشتر از حد آرسنیک و سرب به‌شمار می‌آیند (۷، ۱۵). Mihankhah و همکاران (۲۰۲۰) و Wang و همکاران (۲۰۲۴) نیز با ارزیابی مخاطرات سلامت مواجهه با آلودگی عناصر کمیاب در گردوغبار خیابانی تهران و پکن، عناصر سرب و آرسنیک را به‌عنوان عوامل اصلی بروز بیماری‌های غیرسرطانی معرفی کردند (۱، ۴۷).

نتایج محاسبه ریسک سرطان‌زایی استنشاق ذرات گردوغبار آلوده به عناصر آرسنیک، سرب، کادمیم و کبالت برای هر گروه سنی نشان داد که میانگین مقادیر  $CR_{inh}$  همگی کوچک‌تر از استاندارد آستانه  $(1 \times 10^{-6})$  بود، لذا، هیچ ریسک سرطان‌زایی از طریق مسیر استنشاقی حادث نشده است. همچنین، شهروندان در معرض ریسک سرطان‌زایی زیاد ناشی از بلع گردوغبار آلوده به عناصر آرسنیک، سرب، کادمیم و کبالت بودند  $(CR > 1 \times 10^{-4})$ . در همین حال، مقادیر TCR کل برای افراد در معرض گردوغبار آلوده نشان‌دهنده سطح ریسک سرطان‌زایی زیاد بود. افزون بر این، ریسک سرطان‌زایی ناشی از آرسنیک ۹۸/۰ درصد از کل TCR (میانگین چهار کاربری) را به‌خود اختصاص داد. در پژوهش مشابه، Fan و همکاران (۲۰۲۲) نیز با ارزیابی توزیع مکانی، تخمین ریسک و تخصیص منابع عناصر بالقوه سمی در گردوغبار خیابانی کلانشهر شیجیاژوانگ در چین ادعان داشتند که آرسنیک عامل اصلی بروز ریسک‌های

دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند.

### تشکر و قدردانی

این مقاله مستخرج از رساله دکتری تخصصی علوم و مهندسی محیط‌زیست با عنوان "توزیع زمانی-مکانی و منشاء‌یابی عناصر بالقوه سمی در گردوغبار خیابانی و ارزیابی مخاطرات محیط‌زیستی و سلامت مواجهه با ذرات آلوده؛ مورد مطالعه: کلان‌شهر کرمانشاه" مصوب واحد همدان دانشگاه آزاد اسلامی با کد ۱۷۱۷۴۸۰۰۰۶۹۰۷۶۲۱۸۰۲۳۱۶۲۷۹۸۷۴۵ است.

معرض گردوغبار آلوده برخوردار بودند لذا، نسبت به کنترل منابع انتشار این دو عنصر از جمله احتراق سوخت‌های فسیلی، ترافیک و پایش منظم و دوره‌ای نمونه‌های گردوغبار به‌ویژه در مناطقی با سطح آلودگی زیاد توصیه می‌شود. در نهایت، با توجه به محدودیت‌های این پژوهش، مطالعه سایر عناصر بالقوه سمی و ارزیابی ریسک‌های محیط‌زیستی و بهداشتی آنها در فصول مختلف سال برای حفظ سلامت شهروندان پیشنهاد می‌شود.

### ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار

## References

1. Mihankhah T, Saedi M, Karbassi A. A comparative study of elemental pollution and health risk assessment in urban dust of different land-uses in Tehran's urban area. *Chemosphere*. 2020;241:124984.
2. Naraki H, Keshavarzi B, Zarei M, Moore F, Abbasi S, Kelly FJ, et al. Urban street dust in the Middle East oldest oil refinery zone: Oxidative potential, source apportionment, and health risk assessment of potentially toxic elements. *Chemosphere*. 2021;268:128825.
3. Zand Abbas Abadi A, Cheraghi M, Sobhan Ardakani S, Lorestani B, Kiani Sadr M. Evaluation of the capability of Robinia pseudoacacia and Pinus eldarica for bioremediation of heavy metals (Pb, Cr and Ni) in urban areas of Hamedan, west of Iran. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2024;16(4):607-28 (in Persian).
4. Sobhan Ardakani S, Jamshidi K. Assessment of metals (Co, Ni, and Zn) content in the sediments of Mighan Wetland using geo-accumulation index. *Iranian Journal of Toxicology*. 2015;9(30):1386-90 (in Persian).
5. 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;128:430-37.
6. Bouziane M, Terrouche A, Naidja L, Ali Khodja H, Huang Z. Impact of industrial and traffic changes on atmospheric dust and trace element deposition in Didouche Mourad, Algeria. *Journal of Hazardous Materials*. 2025;492:138014.
7. Khalijian A, Lorestani B, Sobhan Ardakani S, Cheraghi M, Tayebi L. Ecotoxicological assessment of potentially toxic elements (As, Cd, Ni and V) contamination in the sediments of southern part of

- Caspian Sea, the case of Khazar Abad, Mazandaran Province, Iran. *Bulletin of Environmental Contamination Toxicology*. 2022;109(6):1142-49.
8. Bi B, Liu X, Guo X, Lu S. Occurrence and risk assessment of heavy metals in water, sediment, and fish from Dongting Lake, China. *Environmental Science and Pollution Research*. 2018;25:34076-90.
  9. Wang X, Zhao C, Fan J, Zhao Q, Zhang X, Zhang N, et al. Contamination status and health risk assessment of potentially toxic trace elements in soils surrounding rare earth tailings in China: A retrospective review. *Ecotoxicology Environmental Safety*. 2025;298:118270.
  10. Ke X, Gui S, Huang H, Zhang H, Wang W, Guo W. Ecological risk assessment and source identification for heavy metals in surface sediment from the Liaohe River protected area, China. *Chemosphere*. 2017;175:473-81.
  11. Li J, Li KM, Jiao L, Zang F, Li X, Yang YQ, et al. Contamination, ecological-health risks, and sources of potentially toxic elements in road-dust sediments and soils of the largest urban riverfront scenic park in China. *Environmental Geochemistry Health System Research*. 2023;45(11):8169-86.
  12. Hosseini NS, Sobhan Ardakani S. Concentration, sources, potential ecological and human health risks assessment of trace elements in roadside soil in Hamedan metropolitan, west of Iran. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. 2024;104(17):5962-85.
  13. Wang M, Zhang B, Zhang H, Geng R, Huang Y, Yang JY, et al. Ecological and health risks of vanadium in the biogeosphere. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*. 2024;262:1-24.
  14. Hosseini NS, Sobhan Ardakani S. Pollution and potential ecological risk assessment of Pb, Cd, Cr and Ni in surface soils along some roads of city of Hamedan. *Environmental Health Engineering*. 2022;9(3):349-64 (in Persian).
  15. Selahvarzi M, Sobhan Ardakani S, Hemmasi AH, Taghavi L, Ghoddousi J. Analysis, spatial distribution and ecological risk assessment of heavy metals in surface soils, the case of Khorramabad, Iran. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. 2024;104(20):8955-76.
  16. Yang Y, Lu X, Yu B, Wang Z, Wang L, Lei K, et al. Exploring the environmental risks and seasonal variations of potentially toxic elements (PTEs) in fine road dust in resource-based cities based on Monte Carlo simulation, geo-detector and random forest model. *Journal of Hazardous Materials*. 2024;473:134708.
  17. Yu B, Lu X, Wang L, Liang T, Fan X, Yang Y, et al. Potentially toxic elements in surface fine dust of residence communities in valley industrial cities. *Environmental Pollution*. 2023;327:121523.
  18. Kara M. Assessment of sources and pollution state of trace and toxic elements in street dust in a metropolitan city. *Environmental Geochemistry and Health*. 2020;42(10):3213-29.
  19. Ivaneev A, Brzhezinskiy A, Karandashev V, Ermolin M, Fedotov P. Assessment of sources, environmental, ecological, and health risks of potentially toxic elements in urban dust of Moscow megacity, Russia. *Chemosphere*. 2023;321:138142.
  20. Rahman MS, Khan M, Jolly Y, Kabir J, Akter

- S, Salam A. Assessing risk to human health for heavy metal contamination through street dust in the Southeast Asian Megacity: Dhaka, Bangladesh. *Science of the Total Environment*. 2019;660:1610-22.
21. Ehtemae N, Ghanavati N, Nazarpour A, Babaeinejad T, James Watts M. Status, source, and risk assessment of heavy metal (loid)s and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the street dust of Ilam, Iran. *Polycyclic Aromatic Compounds*. 2024;44(10):6475-500.
22. Nematollahi MJ, Dehdaran S, Moore F, Keshavarzi B. Potentially toxic elements and polycyclic aromatic hydrocarbons in street dust of Yazd, a central capital city in Iran: contamination level, source identification, and ecological–health risk assessment. *Environmental Geochemistry Health System Research*. 2021;43(1):485-519.
23. Gorka R, Kumar R, Yadav S, Verma A. Health implications, distribution and source apportionment of heavy metals in road deposited dust of Jammu City in northern India. *Chemosphere*. 2022;308:136475.
24. Habibi H, Sobhan Ardakani S, Cheraghi M, Lorestani B, Kiani Sadr M. Analysis, sources and health risk assessment of trace elements in street dust collected from the city of Hamedan, west of Iran. *Arabian Journal of Geosciences*. 2022;15(2):1-17.
25. Men C, Liu R, Wang Q, Guo L, Shen Z. The impact of seasonal varied human activity on characteristics and sources of heavy metals in metropolitan road dusts. *Science of the Total Environment*. 2018;637:844-54.
26. Azimzadeh B, Khademi H. Estimation of background concentration of selected heavy metals for pollution assessment of surface soils of Mazandaran province, Iran. *Journal of Water and Soil*. 2013;27(3):548-59 (in Persian).
27. Hamzenejhad R. Quantitative assessment of soil heavy metals pollution. *Applied Soil Research*. 2020;8(2):37-52 (in Persian).
28. Sobhan Ardakani S, Hosseini NS. Assessing the toxicity and related health risks of potentially toxic elements (Zn, Pb, Cd, and Cr) in the roadside soils of city of Hamedan. *Journal of Environmental Studies*. 2023;49(1):71-90 (in Persian).
29. United States Environmental Protection Agency (USEPA). *Exposure Factors Handbook* (2011 Edition). Washington, DC: USEPA; 2011.
30. Oncu T, Yazman MM, Ustaoglu F, Hristova E, Yuksel B. Source dynamics and environmental risk of street dust as a vector of human exposure to potentially toxic elements in Istanbul, Turkiye. *Scientific Reports*. 2025;15(1):30550.
31. United States Environmental Protection Agency (USEPA). *Integrated Risk Information System (IRIS): Arsenic, Inorganic* Washington, DC: USEPA; 2025.
32. Han Q, Wang M, Xu X, Li M, Liu Y, Zhang C, et al. Health risk assessment of heavy metals in road dust from the fourth-tier industrial city in central China based on Monte Carlo simulation and bioaccessibility. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2023;252:114627.
33. Howlader M, Mamun AM, Rahman MM, Rahman MH, Swarnokar SC, Sultana M, et al. Spatial characteristics and health risks assessments of trace

- metal pollution from road dusts in the industrialized city of Bangladesh. *Heliyon*. 2025;11(2):e42008.
34. Sun P, Chen Y, Wang X, Zhou Z, Zhu X, Sun S, et al. Quantification of an integrated approach to heavy metal source apportionment and probabilistic health risk assessment in the black soil region of central Jilin Province, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2025;299:118358.
35. Semerjian L, Adeniji AO, Shanableh A, Semreen MH, Mousa M, Abass K, et al. Assessment of elemental chemistry, spatial distribution, and potential risks of road-deposited dusts in Sharjah, United Arab Emirates. *Heliyon*. 2024;10(7):29088.
36. El Khatib AA, Barakat NA, Youssef NA, Samir NA. Bioaccumulation of heavy metals air pollutants by urban trees. *International Journal of Phytoremediation*. 2020;22(2):210-22.
37. Huang C, Zhang L, Meng J, Yu Y, Qi J, Shen P, et al. Characteristics, source apportionment and health risk assessment of heavy metals in urban road dust of the Pearl River Delta, South China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2022;236:113490.
38. Jangirh R, Mondal A, Yadav P, Yadav L, Datta A, Saxena P, et al. Characterization of road dust in Delhi: Heavy metal analysis, health risks, and sustainability implications. *Aerosol Science Engineering*. 2024;8(4):414-25.
39. Ali Taleshi MS, Feiznia S, Masiol M. Seasonal and spatial variations of atmospheric depositions-bound elements over Tehran megacity, Iran: Pollution levels, PMF-based source apportionment and risks assessment. *Urban Climate*. 2022;42:101113.
40. Patel K, Chaurasia M, Rao KS. Heavy metal accumulation in leaves of selected plant species in urban areas of Delhi. *Environmental Science and Pollution Research*. 2023;30(10):27622-35.
41. Wang H, Zhao Y, Walker TR, Wang Y, Luo Q, Wu H, et al. Distribution characteristics, chemical speciation and human health risk assessment of metals in surface dust in Shenyang City, China. *Applied Geochemistry*. 2021;131:105031.
42. Halil M, Ghanavati N, Nazarpour A. Assessment of the environmental pollution of some heavy metals in Abadan city street dust using geographic information system (GIS). *Journal of Water and Soil Science*. 2019;23(1):221-09 (in Persian).
43. Berghman G, Goossens D. Can the contamination of urban street sediment be used as an indicator for traffic density? A case-study in the city of Leuven, Belgium. *Journal of Environmental Management*. 2021;295:113134.
44. Li Y, Zhou S, Jia Z, Liu K, Wang G. Temporal and spatial distributions and sources of heavy metals in atmospheric deposition in western Taihu Lake, China. *Environmental Pollution*. 2021;284:117465.
45. Men C, Liu R, Wang Q, Miao Y, Wang Y, Jiao L, et al. Spatial-temporal characteristics, source-specific variation and uncertainty analysis of health risks associated with heavy metals in road dust in Beijing, China. *Environmental Pollution*. 2021;278:116866.
46. 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.
47. Wang P, Han G, Hu J, Zhang Q, Tian L, Wang

L, et al. Remarkable contamination characteristics, potential hazards and source apportionment of heavy metals in surface dust of kindergartens in a northern megacity of China. *Journal of Hazardous Materials*. 2024;465:133295.

48. Fan P, Lu X, Yu B, Fan X, Wang L, Lei K, et al. Spatial distribution, risk estimation and source apportionment of potentially toxic metal (loid) s in resuspended megacity street dust. *Environment International*. 2022;160:107073.



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

Original Article



## Assessing pollution and associated health risks of street dust contaminated with potentially toxic elements, the case of city of Kermanshah

Ali Asgari, Soheil Sobhanardakani\*, Mehrdad Cheraghi, Bahareh Lorestani, Maryam Kiani Sadr

Department of the Environment, Ha.C., Islamic Azad University, Hamedan, Iran

### ARTICLE INFORMATION:

**Received:** 6 December 2025

**Revised:** 21 February 2026

**Accepted:** 24 February 2026

**Published:** 10 March 2026

**Keywords:** Dust, Toxic elements, Enrichment factor, Carcinogenic risk

**\*Corresponding Author:**

s\_sobhan@iau.ac.ir

### ABSTRACT

**Background and Objective:** Street dust, as a significant non-point source of PTEs contamination, is one of the primary pathways through which human can be exposed to environmental pollutants. Therefore, this study was performed to assess the pollution and health risk of As, Cd, Co, Pb, and V in street dust in Kermanshah in 2023.

**Materials and Methods:** A total of 48 dust samples were collected from 16 sites. After sample digestion, the contents of the elements were determined using ICP-OES. Additionally, the enrichment factor (EF), integrated pollution index (IPI), and Nemerow integrated pollution index (NIPI) were calculated. The carcinogenic and non-carcinogenic risks from exposure to contaminated dust were estimated.

**Results:** The highest mean contents of As, Cd, and Co, and V with 7.28, 0.729, 9.02, and 8.78 mg/kg, respectively, were belonged to the industrial regions and for Pb with 101 mg/kg was recorded for the commercial areas, reflecting the impact of human inputs, especially from industrial and traffic sources. The EF values indicated that "no" to "severe" enrichment level in the study area. Also, the average values of IPI, indicating the "low" to "high" pollution conditions entire the sampling sites. The mean NIPI values ranged from 1.17 to 1.68, indicating "low" pollution conditions in the study area. The mean average values of HI for children and adults were categorized as "severe risk" and "low risk", respectively. However, the mean TCR values for citizens indicated high carcinogenic risk.

**Conclusion:** The results indicated that As and Pb had the highest contribution to cumulative health risks for both age groups; therefore, the control of emission sources of these elements, including fossil fuel combustion and traffic and also regular monitoring of street dusts especially in the regions with heavy pollution level are recommended.

Please cite this article as: Asgari A, Sobhanardakani S, Cheraghi M, Lorestani B, Kiani Sadr M. Assessing pollution and associated health risks of street dust contaminated with potentially toxic elements, the case of city of Kermanshah. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2026;18(4):765-86.

