

## ارزیابی آلودگی و ریسک بوم‌شناختی گردوغبار آلوده به عناصر بالقوه سمی (مورد مطالعه: مجتمع‌های مسکونی کلان‌شهر اصفهان)

مکیه عبدالحسین حمود<sup>۱</sup>، عاطفه چمنی<sup>۲\*</sup> و سهیل سبحان اردکانی<sup>۳</sup>

۱) دانشجوی کارشناسی ارشد رشته علوم و مهندسی محیط زیست، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران.  
۲) دانشیار گروه علوم و مهندسی محیط زیست، مرکز تحقیقات پسماند و پساب، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران.  
\*رایانامه نویسنده مسئول مکاتبات: a.chamani@khuif.ac.ir  
۳) استاد گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۱۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۲۰

### چکیده

آلودگی هوا باعث بیماری‌های مزمن تنفسی و قلبی عروقی می‌شود و تخمین زده می‌شود سالانه بین ۲/۶ تا ۴/۸ میلیون مرگ زودرس به این علت اتفاق می‌افتد. هدف از این مطالعه، تعیین غلظت عناصر بالقوه سمی در گردوغبار داخلی مجتمع‌های مسکونی شهر اصفهان در زمستان ۱۴۰۱ بود. بدین منظور، مجتمع‌های مسکونی در ۳۱ نقطه از شهر اصفهان به گونه‌ای انتخاب شدند که کل شهر را پوشش دهند. با استفاده از برس پلاستیکی تمیز، گردوغبار از سطوح داخلی طبقه همکف یا اول مجتمع‌های مسکونی به جز فضاهای مشاع، جمع‌آوری و در مجموع ۹۳ نمونه به آزمایشگاه منتقل و غلظت کل عناصر آرسنیک، کادمیوم، نیکل، منگنز، کبالت، سرب و وانادیوم با استفاده از دستگاه ICP-OES مدل Optima 83 اندازه‌گیری شد. میانگین غلظت آرسنیک، کادمیوم، نیکل، منگنز، کبالت، سرب و وانادیوم به ترتیب ۵/۵۵، ۰/۹۵، ۳۲/۶، ۲۴۱، ۳/۸۷، ۳۰۰ و ۳۰/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شد. طبق نتایج فاکتور غنی‌شدگی، غلظت سرب و کادمیوم در همه ایستگاه‌ها به جز علامه امینی دارای منشا غیرطبیعی و انسان‌ساخت بود. میان شاخص غنی‌شدگی سرب و شاخص ارزیابی خطر با شاخص ترافیکی، همبستگی مثبت معنی‌دار به ترتیب در سطح ۹۵ درصد ( $P\text{-value}=0/021$ ,  $r=0/369$ ) و ۹۹ درصد ( $P\text{-value}=0/001$ ,  $r=0/619$ ) وجود دارد. بدین معنی که حجم ترافیک دارای تاثیر عمده بر غلظت عناصر بالقوه سمی مورد مطالعه در ایستگاه‌های نمونه‌برداری است.

**واژه‌های کلیدی:** اصفهان، گردوغبار داخلی، عناصر بالقوه سمی، مجتمع‌های مسکونی.

### مقدمه

آلودگی هوا در شهرهای بزرگ مانند تهران، مشهد، اصفهان، تبریز و اهواز یک معضل جدی محیط زیستی و بهداشتی است و بین ۴۰ تا ۳۴۰ درصد از حد مجاز دستورالعمل‌های سازمان جهانی بهداشت فراتر رفته است. مطابق با آخرین گزارش بانک جهانی در سال ۲۰۱۸، هزینه‌های سلامت (مرگ و بیماری) ذرات معلق در شهر تهران سالیانه، ۲/۶ میلیارد دلار است. مطابق این گزارش در صورتی که غلظت ذرات معلق در شهر تهران از ۳۵ به ۱۰ میکروگرم در مترمکعب (رهنمود سازمان بهداشت

آلودگی هوا باعث بیماری‌های مزمن تنفسی و قلبی عروقی می‌شود و تخمین زده می‌شود سالانه بین ۲/۶ تا ۴/۸ میلیون مرگ زودرس به این علت اتفاق می‌افتد (Lim, 2012). مطالعات همه‌گیرشناسی متعدد، حاکی از کاهش امید به زندگی و افزایش نرخ بیماری و مرگ‌ومیر به‌ویژه در کلان‌شهرهای آسیا در نتیجه افزایش شهرنشینی و صنعتی شدن است (Lu et al., 2015).

استخوان، سرطان و فشار خون بالا نقش دارد (Zazouli *et al.*, 2010).

آرسنیک در گروه اول ترکیبات سرطانزای موسسه بین لمللی تحقیقات سرطان طبقه‌بندی شده و از اثرات آن می‌توان به سرطان کبد، پوست و مثانه، اختلال روانی، آسیب به نوروں های عصبی، فشار خون، پایین آمدن بهره هوشی و کاهش ایجاد گلبول‌های سفید و قرمز خون اشاره کرد (Hudson-Edwards *et al.*, 2005). آرسنیک از طریق آب، تنفس و از طریق پوست می‌تواند جذب شود (Khalijian *et al.*, 2022). در حال حاضر هیچ درمان شناخته شده یا مجاز برای مسمومیت با آرسنیک وجود ندارد. علاوه بر این، قرار گرفتن مادران باردار در معرض ترکیبات آرسنیک، احتمال مرگ‌ومیر نوزادان را افزایش می‌دهد (Hopenhayn-Rich *et al.*, 2000).

سر درد، بی‌خوابی، کم حوصلگی، تهوع، سرگیجه و استفراغ از علائم مسمومیت با نیکل است (مقصودلو و همکاران، ۱۳۹۶). تاثیر بهداشتی منگنز بر کارگران اغلب به صورت تاثیر عصبی، تولیدمثلی و تنفسی و در غلظت‌های کمتر از ۵ میلی‌گرم بر مترمکعب هوا ظاهر می‌شود. بیشترین تاثیر عصبی، به صورت اختلال در حرکت دست و انگشت‌ها ظاهر می‌شود. تاثیر منگنز تا حدی شبیه به بیماری پارکینسون است و بروز آن تا زمان از دست رفتن تعداد زیادی از سلول‌های مغز به تاخیر می‌افتد (Takeda, 2003). اگرچه کبالت از نظر بیولوژیکی نقش ضروری در ساختار ویتامین B<sub>12</sub> دارد، اما نشان داده شده است که قرار گرفتن در معرض مقادیر بیش از حد آن باعث ایجاد تاثیر نامطلوب بر سلامتی انسان می‌شود.

تنها اثر مشخص شده قرار گرفتن در معرض گردوغبار وانادیوم، تحریک دستگاه تنفسی فوقانی است که با رینیت، خس‌خس سینه، خونریزی بینی، ورم ملتحمه، سرفه، گلودرد و درد قفسه سینه مشخص می‌شود. مطالعات موردی شروع آسم را پس از مواجهه شدید با ترکیبات وانادیوم گزارش کرده‌اند، اما مطالعات بالینی تا به امروز افزایش شیوع آسم را در کارگرانی که در معرض وانادیوم قرار گرفته‌اند شناسایی نکرده‌اند (Barceloux & Barceloux, 1999).

در سال‌های اخیر مطالعاتی در خصوص غلظت عناصر بالقوه سمی در گردوغبار شهری منتشر شد. در مطالعه غلظت

جهانی) کاهش یابد، سالیانه هزینه‌های سلامت ناشی از ذرات معلق به میزان ۱/۶ میلیارد دلار کاهش خواهد یافت (Sarraf & Heger, 2018). هزینه‌های اقتصادی آلودگی هوا در شهر اصفهان ۵۱ میلیون دلار در سال تخمین زده شده است (Soleimani *et al.*, 2021). مطالعات اخیر نشان می‌دهد مرگ‌ومیر منتسب به آلودگی هوا در کلان‌شهر اصفهان از سال ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۰ حدود ۱۰۰ درصد افزایش یافته و ۲ برابر شده است.

سوزاندن سوخت‌های فسیلی منجر به تولید گازهای گلخانه ای و آلاینده‌های سمی مختلفی می‌گردد که مسئول گرمایش جهانی بوده و تاثیر نامطلوبی بر سلامت انسان دارند (قفقازی و تقوی، ۱۴۰۱). آلودگی عناصر بالقوه سمی یک نگرانی گسترده در سراسر جهان است. عناصر بالقوه سمی عناصر پایداری هستند که تا اندازه‌ای از طریق غذا، آب و تنفس وارد بدن می‌شوند. غلظت‌های بالای این عناصر موجب بروز مسمومیت‌های مختلفی می‌شود (احمدی و همکاران، ۱۳۹۵). به واسطه رشد سریع شهرنشینی و صنایع سنگین و افزایش نمایی تعداد وسایل نقلیه موتوری در شهرها، مقادیر زیادی از این عناصر به محیط شهری منتشر شده است (Gope *et al.*, 2017). گردوغبار خیابان‌های شهری حامل اصلی عناصر بالقوه سمی در شهر است. عناصر بالقوه سمی جذب شده روی گردو غبار ممکن است از طریق رسوب اتمسفر و رواناب سطحی وارد خاک و منابع آب شهری شوند (Padoan *et al.*, 2018). آلودگی گردوغبار شهری به عناصر بالقوه سمی به دلیل اثرات نامطلوب آنها بر سلامت شهروندان، آنها را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Jahandari, 2020).

یکی از اولین نشانه‌های آلودگی بدن به سرب کم خونی است، زیرا سرب در جلوگیری از ساخت پروتئین ضروری «هم»<sup>۱</sup> که ماده اصلی تشکیل دهنده هموگلوبین می‌باشد، دخالت کرده و در نتیجه مقدار آن به وسیله سلول‌های قرمز خون کاهش می‌یابد. از دیگر عوارض منفی افزایش غلظت سرب در بدن افزایش فشار خون، آسیب به کلیه، سقط جنین و نارسایی نوزاد، اختلال سیستم عصبی، آسیب به مغز، کاهش قدرت یادگیری و اختلال رفتاری در کودکان است (Balali-Mood *et al.*, 2021; Li *et al.*, 2021). کادمیوم به آسانی در اختلال سیستم‌های بدن همچون اختلال کبدی، نارسایی ریه، ضایعات

را به یکی از آلوده‌ترین شهرهای ایران تبدیل کرده است (نوروزی و همکاران، ۱۴۰۲). همچنین قرارگیری ابرصنایع متعدد در پیرامون شهر (از جمله صنایع فولادی و ذوب آهن) و وجود منبع آلودگی گردوغبار در شرق اصفهان که تحت تاثیر بادهای غالب شمالی و غربی به شهر وارد می‌شوند، موجب تشدید آلودگی ذرات معلق در اصفهان شده است (Hosseiniabalam & Hejazi, 2012). پدیده وارونگی دما به‌طور متوسط در ۷۲ روز از سال بر شهر غالب است که شرایط ناسالمی را برای تمامی ساکنین شهر ایجاد می‌کند. محدوده متوسط دمای ماهانه شهر اصفهان بین ۳ تا ۲۹ درجه سلسیوس و میزان بارش سالانه آن کم‌تر از ۱۳۰ میلی‌متر است (Jokar et al., 2020).

### طرح نمونه برداری

با وجود محدودیت دریافت مجوز برای دسترسی به فضای داخلی مجتمع‌های مسکونی تا حد امکان سعی شد نقاط نمونه‌برداری به شکلی انتخاب شوند که پراکنش مناسبی در سطح شهر داشته و کل شهر را پوشش دهند. در زمستان سال ۱۴۰۱، مجتمع‌های مسکونی در ۳۱ نقطه از شهر اصفهان (با ۳ تکرار در هر نقطه) انتخاب و گردوغبار سطوح داخلی (گوشه های زمین، لبه پنجره‌ها و روی اجسام) واحدهای موجود در طبقه همکف یا اول هر مجتمع با استفاده از یک برس پلاستیکی تمیز، جمع‌آوری و در مجموع ۹۳ نمونه در پاکت‌های پلاستیکی درب‌دار به آزمایشگاه منتقل شد. لازم به ذکر است نمونه‌برداری تنها از فضای داخلی هر واحد صورت گرفت و فضاهای مشاع را شامل نمی‌شد. به‌منظور هضم شیمیایی، ابتدا نمونه‌ها با الک ۶۳ میکرون الک و سپس در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس در آن به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند. برای تعیین غلظت کل عناصر مورد مطالعه مقدار ۰/۵ گرم از نمونه‌های گردوغبار با اسیدنیتریک ۶۰ درصد هضم و پس از گذشت ۲۴ ساعت، به مدت ۰/۵ ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد. سپس با استفاده از کاغذ واتمن ۴۲ صاف شد و در نهایت با اسیدنیتریک ۱ درصد به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسید. غلظت کل عناصر سرب، کادمیوم، آرسنیک، روی، کبالت، نیکل، مس، کروم و وانادیوم با استفاده از دستگاه ICP-OES مدل Optima 8300 (شرکت سازنده Perkin Elmer آمریکا)، اندازه‌گیری شد (APHA, 2005). در این پژوهش، برای

سرب در ذرات معلق داخل و خارج مجتمع‌های مسکونی، اداری و تجاری در کلان‌شهر کرج، بیشترین میزان سرب در داخل و خارج مجتمع‌های مسکونی و اداری و تجاری به‌ترتیب برابر ۸۵۸ و ۴۴۶ میکروگرم بر گرم گزارش گردید (ساجدی‌سابق، ۱۴۰۰). بررسی غلظت عناصر روی، وانادیوم، سلنیوم، سرب، نیکل، منگنز، منیزیم، آهن، مس، کروم، کادمیوم، آرسنیک و آلومینیوم موجود در گردوغبار ریزشی هوای کلان‌شهر تهران و وضعیت آلودگی و پراکندگی آن، نشان داد تراکم جمعیت، ترافیک و حجم تردد، به‌خصوص تردد خودروهای سنگین و دیزلی، صنایع و معادن، الگوی توپوگرافی، الگوی پوشش گیاهی، الگوی باد غالب و وضعیت پایداری هوا در غلظت عناصر سنگین موجود در غبار ریزشی تهران نقش دارند (ارسلانی و علیجانی، ۱۴۰۰). در بررسی خطرهای بوم‌شناختی و بهداشتی عناصر بالقوه سمی در گردوغبار جاده‌های اصفهان، میانگین غلظت‌های آرسنیک، کادمیوم، مس، نیکل، سرب و روی به‌ترتیب ۲/۱۴، ۲۶/۱۸۲، ۶۶/۶، ۳۹۳ و ۷۰۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شد. نتایج نشان داد ساکنان اصفهان به‌طور بالقوه در معرض خطر بالای سرطان از طریق بلع گردوغبار و تماس پوستی هستند (Soltani et al., 2015). با توجه به اینکه تاکنون مطالعه‌ای در خصوص تعیین مقادیر و ارزیابی آلودگی عناصر بالقوه سمی در گردوغبار داخلی مجتمع‌های مسکونی کلان‌شهر اصفهان انجام نشده، هدف از پژوهش حاضر، بررسی غلظت این عناصر در گردوغبار داخلی مجتمع‌های مسکونی شهر اصفهان در زمستان ۱۴۰۱ و مقایسه آن با استانداردهای موجود است.

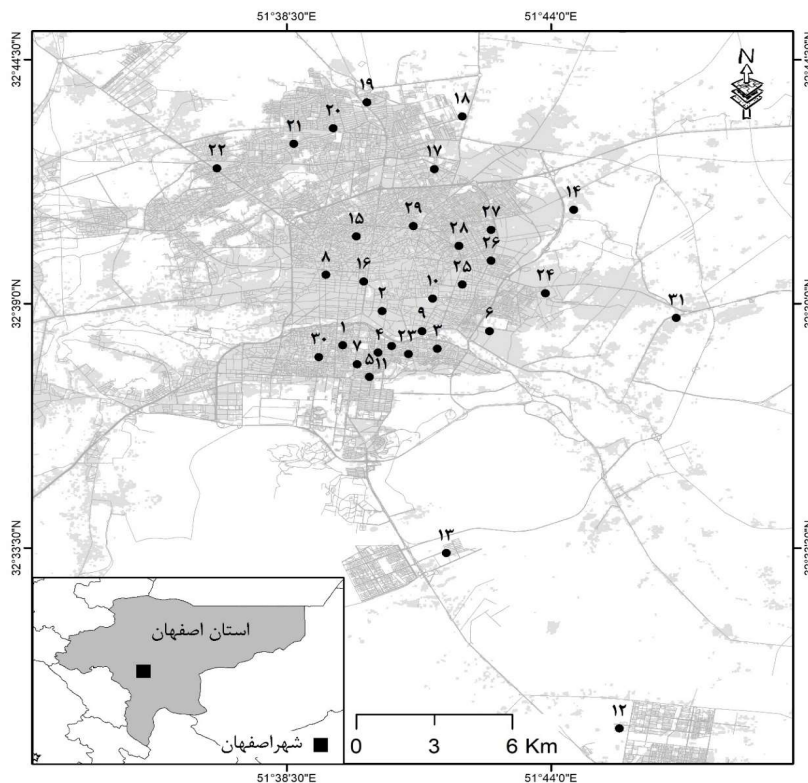
### مواد و روش

#### منطقه مورد مطالعه

اصفهان به‌عنوان سومین شهر پرجمعیت ایران در حاشیه شرقی رشته کوه زاگرس بین طول‌های جغرافیایی "۴۲° ۱۶' ۵۱" تا "۱° ۵۴' ۵۱" شرقی و عرض‌های جغرافیایی "۴۴° ۴۸' ۳۲" تا "۵° ۲۳' ۳۲" شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). وسعت اصفهان بالغ بر ۵۵۰ کیلومتر مربع و جمعیت آن افزون بر ۲/۹۶ میلیون نفر تخمین زده می‌شود. اصفهان اولین شهر از نظر توانمندی گردشگری، دومین شهر صنعتی و سومین مادر شهر کشور از نظر جمعیت به‌شمار می‌آید. بیش از ۱/۸۸ میلیون وسیله نقلیه موتوری که خیلی بیشتر از ظرفیت شهر اصفهان است، این شهر

بازیابی<sup>۳</sup> برای عناصر آرسنیک، سرب، کادمیم، کبالت، منگنز، نیکل و وانادیم به ترتیب از ۹۱ تا ۱۰۰، ۸۹ تا ۱۰۱، ۹۴ تا ۱۰۲، ۹۰ تا ۹۹، ۹۳ تا ۸۸، ۱۰۱ تا ۹۹ و ۹۶ تا ۱۰۳ درصد متغیر بود.

تضمین کیفیت<sup>۱</sup> و کنترل کیفیت<sup>۲</sup> از روش توصیف شده توسط Lu و همکاران (۲۰۱۰) یعنی استفاده از مواد مرجع استاندارد (SQC-001) استفاده شد. نتایج نشان داد میانگین نرخ



شکل ۱. موقعیت استقرار نقاط نمونه برداری

استفاده شد. از شاخص ژئوشیمیایی مولر (Muller, 1969)، فاکتور غنی شدگی (Abraham & Parker, 2008) و شاخص ارزیابی خطر بوم‌شناختی (Hakanson, 1980) به منظور طبقه‌بندی درجه آلودگی منطقه مورد مطالعه استفاده گردید.

### شاخص های شیمیایی

#### شاخص بار آلودگی

در رابطه (۱)، CF نشان‌دهنده فاکتور آلودگی هر عنصر، N برابر با تعداد عناصر مورد مطالعه و PLI شاخص بار آلودگی است (Tomlinson et al., 1980). شاخص بار آلودگی بیشتر از یک، نشان دهنده آلودگی منطقه است.

$$PLI = \sqrt[N]{CF_1 \times CF_2 \times \dots \times CF_n} \quad (1) \text{ رابطه}$$

#### شاخص ژئوشیمیایی مولر

شاخص زمین انباشت مولر (Muller, 1969) به منظور تعیین آلودگی رسوب به عناصر سنگین و مقایسه غلظت فعلی

### تجزیه و تحلیل اطلاعات

در این پژوهش، برای پردازش آماری داده‌ها از ویرایش ۱۹ نرم‌افزار SPSS استفاده شد. نرمال بودن توزیع داده‌ها توسط آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و همگنی واریانس توسط آزمون لوین بررسی شد. با توجه به اینکه در آزمون کولموگراف-اسمیرنوف  $Pvalue > 0.05$  است، داده‌ها نرمال هستند و طبق نتایج آزمون لوین، همگنی واریانس در داده‌ها نیز مورد تایید است. بدین ترتیب از آزمون تحلیل واریانس بین آزمودنی یک‌طرفه (آزمون تعقیبی دانکن) برای مقایسه میانگین غلظت عناصر میان ایستگاه‌ها استفاده شد. طبق نتایج آزمون تحلیل واریانس تنها بین میانگین غلظت آرسنیک ( $F=0.946$ ،  $Pvalue=0.551$ ) میان ایستگاه‌های مورد بررسی تفاوت معنی‌دار وجود ندارد و مابقی عناصر دارای تفاوت معنی‌دار هستند. به‌علاوه، از آزمون تی تک‌نمونه‌ای برای مقایسه میانگین غلظت عناصر بالقوه سمی در نمونه‌ها با مقادیر استاندارد

1 Quality Assurance

2 Quality Control

3 Recovery Rate

## ارزیابی آلودگی و ریسک بوم‌شناختی گردوغبار آلوده به عناصر بالقوه سمی/۱۲۹

میلی گرم بر کیلوگرم و  $Bn =$  غلظت اولیه عناصر در زمانی که آلودگی وجود نداشته بر حسب میلی گرم بر کیلوگرم است. برای غلظت اولیه عناصر در شاخص مولر از میانگین غلظت در پوسته زمین استفاده شد که برای آرسنیک  $1/8$ ، کادمیوم  $0/1$ ، سرب  $15$ ، نیکل  $20$ ، کبالت  $10$ ، منگنز  $900$ ، مس  $55$  و وانادیوم  $129$  میلی گرم بر کیلوگرم است (Sabet Aghlidi et al., 2021; Mohebian et al., 2020). ضریب  $1/5$  نیز به منظور تصحیح غلظت اولیه رسوبات به دلیل تاثیر عوامل زمینی اعمال شد.

با غلظت‌های قبل از صنعتی شدن مورد استفاده قرار می‌گیرد. این شاخص، آلودگی رسوب به عناصر سنگین را در  $7$  کلاس از رده کاملاً غیرآلوده تا آلودگی بسیار شدید مورد ارزیابی قرار می‌دهد.

$$\text{Igeo} = \log_2 [(Cn) / (1.5 Bn)] \quad (2)$$

در این رابطه:  $\text{Igeo} =$  شاخص تجمع ژئوشیمیایی (شاخص شدت آلودگی در رسوبات)؛  $Cn =$  غلظت ماده آلاینده در رسوب با قطر کمتر از  $63$  میکرون بر حسب

جدول ۱. درجه‌بندی شاخص تجمع ژئوشیمیایی مولر

مقادیر Igeo	درجه آلودگی	محدوده مولر
$< 0$	۰	غیرآلوده
$0-1$	۱	غیرآلوده تا آلوده متوسط
$1-2$	۲	آلودگی متوسط
$2-3$	۳	آلودگی متوسط تا آلودگی زیاد
$3-4$	۴	آلودگی زیاد
$4-5$	۵	آلودگی زیاد تا به شدت آلوده
$\geq 5$	۶	به شدت آلوده

در رابطه (۳) و (۴)،  $E_r^i =$  شاخص پتانسیل خطر بوم‌شناختی؛  $M_x^i =$  غلظت اندازه‌گیری شده هر عنصر؛  $M_b^i =$  مقدار غلظت زمینه یا طبیعی هر عنصر و  $Tr =$  فاکتور پاسخ سمیت هر عنصر می‌باشند. فاکتور پاسخ سمیت برای آرسنیک  $10$ ، کادمیوم  $30$ ، سرب  $5$ ، نیکل  $5$ ، کبالت  $5$ ، منگنز  $1$  و وانادیوم  $2$  است.

### شاخص ارزیابی خطر بوم‌شناختی عناصر سنگین

شاخص ارزیابی خطر بوم‌شناختی عناصر سنگین ابتدا به وسیله هاکنسون (Hakanson, 1980) ابداع و درجه آلودگی عناصر در خاک را ارزیابی کرد و حساسیت جوامع مختلف بوم‌شناختی خاک را نسبت به سمیت عناصر سنگین سنجید.

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

$$E_r^i = Tr^i \times \frac{M_x^i}{M_b^i} \quad (4)$$

جدول ۲. طبقه‌بندی شاخص خطر و پتانسیل خطر بوم‌شناختی

شاخص پتانسیل خطر بوم‌شناختی	Er	شاخص ارزیابی خطر بوم‌شناختی	RI
$Er \leq 0$	خطر کم	خطر بوم‌شناختی کم	$RI \leq 10$
$0 < Er \leq 20$	خطر متوسط	خطر بوم‌شناختی متوسط	$10 < RI \leq 300$
$20 < Er \leq 50$	خطر قابل توجه	خطر بوم‌شناختی قابل ملاحظه	$300 < RI \leq 600$
$50 < Er \leq 160$	خطر زیاد	خطر بوم‌شناختی زیاد و معنی‌دار	$RI \geq 600$
$Er \geq 160$	خطر بسیار زیاد		

برای ارزیابی عناصر در جو، بارش یا آب دریا استفاده می‌شد، اما به تدریج برای مطالعه خاک، رسوب و سایر موارد

### فاکتور غنی‌شدگی<sup>۱</sup>

فاکتور غنی‌شدگی (Abraham & Parker, 2008)،

$$EF = \frac{\left(\frac{C_n}{C_{ref}}\right)_{sample}}{\left(\frac{B_n}{B_{ref}}\right)_{background}} \quad \text{رابطه (۵)}$$

$C_n$  = غلظت عنصر در نمونه مورد مطالعه؛  $C_{ref}$  = غلظت عنصر مرجع در نمونه مورد مطالعه (در این مطالعه، تیتانیوم به عنوان عنصر مرجع در نظر گرفته شد)؛  $B_n$  = غلظت زمینه عنصر مورد نظر در خاک یا پوسته زمین و  $B_{ref}$  = غلظت زمینه عنصر مرجع در خاک یا پوسته زمین می‌باشد.

محیط‌زیستی توسعه یافت و برای جداکردن عناصر منشاگرفته از فعالیت‌های بشر و فرآیندهای طبیعی و همچنین بررسی درجه تاثیر فعالیت‌های انسان‌ساخت کاربرد دارد. در این روش، نرمال‌سازی عنصر مورد بررسی در مقابل یک عنصر مرجع صورت می‌گیرد. عنصر مرجع، عنصری است که غلظت آن در محیط تغییرپذیری اندکی داشته و تحت تاثیر عوامل انسان ساخت نباشد. برای عنصر مرجع در محاسبه شاخص غنی‌شدگی از تیتانیوم استفاده شد (Ediagbonya, 2016).

جدول ۳. رده‌بندی فاکتور غنی‌شدگی (EF)

مقدار EF	درجه غنی‌شدگی
<۲	کم
۲-۵	متوسط
۵-۲۰	قابل توجه
۲۰-۴۰	خیلی زیاد
۴۰	فوق‌العاده زیاد

قرار گرفت. در جدول (۴)، میانگین غلظت عناصر مورد بررسی در ایستگاه‌های مورد نظر همراه انحراف معیار، بیشینه و کمینه آنها گزارش شد.

## نتایج

در این پژوهش، غلظت عناصر بالقوه سمی در ۳۱ نمونه گردوغبار داخل مجتمع‌های مسکونی شهر اصفهان مورد بررسی

جدول ۴. آمار توصیفی مقادیر عناصر مورد مطالعه در گردوغبار داخلی مجتمع‌های مسکونی به تفکیک مکان نمونه‌برداری

مکان نمونه‌برداری	میانگین عناصر (mg/kg)					
	آرسنیک	سرب	کادمیوم	کیالت	مگنز	نیکل
۱	۱۱/۰	۳۳۹	۰/۷۰۰	۲/۸۰	۲۲۴	۲۲/۰
۲	۶/۷۰	۸۰/۰	۲/۴۰	۳/۳۰	۱۷۸	۲۳/۰
۳	۴/۴۰	۲۱۸	۰/۵۰۰	۶/۵۰	۳۹۲	۴۳/۰
۴	۵/۰۰	۶۴/۰	۰/۸۰۰	۴/۳۰	۲۶۷	۲۹/۰
۵	۳/۳۰	۶۰/۰	۰/۹۰۰	۴/۷۰	۲۴۳	۶۷/۰
۶	۰/۵۰۰	۲۹/۰	۰/۱۰۰	۳/۳۰	۶۱۵	۲۳/۰
۷	۷/۸۰	۱۳۰	۰/۹۰۰	۴/۳۰	۲۶۷	۷۷/۰
۸	۷/۱۰	۱۱۴۵	۰/۸۰۰	۴/۵۰	۳۶۰	۶۶/۰
۹	۱/۰۰	۴۲/۰	۰/۵۰۰	۲/۴۰	۵۹/۰	۱۱/۰
۱۰	۰/۵۰۰	۱۰۰	۱/۴۰	۲/۸۰	۱۶۴	۲۲/۰
۱۱	۹/۵۰	۱۵۶۴	۰/۵۰۰	۲/۵۰	۱۶۰	۲۱/۰
۱۲	۱۱/۱	۹۲/۰	۱/۰۰	۷/۵۰	۲۸۰	۳۰/۰
۱۳	۱۱/۰	۷۹/۰	۰/۷۰۰	۴/۰۰	۲۹۲	۲۷/۰
۱۴	۲۰/۴	۱۷۶۲	۰/۴	۷/۱	۳۰۵	۳۶
۱۵	۱/۹۰	۴۴/۰	۰/۶۰۰	۲/۶۰	۱۵۷	۲۵/۰
۱۶	۶/۶۰	۱۰۸	۰/۶۰۰	۴/۷۰	۳۱۷	۳۴/۰
۱۷	۶/۲۰	۱۵۵	۳/۱۰	۵/۵۰	۲۵۵	۵۱/۰
۱۸	۴/۷۰	۱۶۸	۰/۹۰۰	۴/۹۰	۲۹۶	۳۴/۰
۱۹	۴/۸۰	۲۱۲	۱/۴۰	۴/۹۰	۲۴۸	۲۶/۰
۲۰	۷/۳۰	۶۱۷	۰/۷۰۰	۳/۰۰	۲۰۵	۳۳/۰
۲۱	۶/۱۰	۳۵/۰	۰/۵۰۰	۳/۹۰	۲۵۴	۲۵/۰

## ارزبایی آلودگی و ریسک بوم‌شناختی گردوغبار آلوده به عناصر بالقوه سمی/۱۳۱

۱۹/۰	۲۰/۰	۱۸۵	۲/۶۰	۲/۸۰	۵۹/۰	۰/۵۰۰	۲۲
۱۷/۰	۳۹/۰	۱۴۶	۲/۱۰	۰/۶۰۰	۶۷/۰	۶/۱۰	۲۳
۳۶/۰	۴۱/۰	۲۴۳	۳/۵۰	۰/۴۰۰	۹۵۱	۶/۳۰	۲۴
۱۳/۰	۱۹/۰	۸۶/۰	۲/۴۰	۱/۲۰	۷۰/۰	۰/۵۰۰	۲۵
۴۱/۰	۳۲/۰	۳۳۴	۵/۸۰	۱/۱۰	۱۹۵	۴/۳۰	۲۶
۳۴/۰	۲۹/۰	۳۳۴	۴/۱۰	۰/۸۰۰	۱۰۴	۴/۳۰	۲۷
۱۶/۰	۲۹/۰	۱۱۹	۱/۹۰	۰/۹۰۰	۸۳/۰	۷/۴۰	۲۸
۲۲/۰	۳۵/۰	۱۸۷	۳/۰۰	۱/۲۰	۶۱۸	۱/۷۰	۲۹
۱۶/۰	۲۴/۰	۱۳۹	۲/۲۰	۰/۶۰۰	۸۹/۰	۳/۱۰	۳۰
۲۲/۰	۱۹/۰	۱۶۴	۳/۰۰	۰/۵۰۰	۳۹/۰	۱/۱۰	۳۱
۹/۰۰	۱۱/۰	۵۹/۰	۱/۹۰	۰/۱۰۰	۲۹/۰	۰/۵۰۰	کمینه
۵۲/۰	۷۷/۰	۶۱۵	۷/۵۰	۳/۱۰	۳۷۶۲	۲۰/۴	بیشینه
۳۰/۶	۳۲/۶	۲۴۱	۳/۸۷	۰/۹۵۰	۳۰۰	۵/۵۵	میانگین
۱۱/۳	۱۵/۲	۱۰۸	۱/۳۸	۰/۶۸۲	۳۶۸	۳/۲۴	انحراف معیار
۳۷/۴	۴۶/۸	۴۵/۲	۳۶/۶	۷۰/۳	۱۴۶	۶۴/۰	ضرب تغییرات (%)

میانگین غلظت سرب با استاندارد آلاینده‌ی خاک در خاک‌های غیراسیدی (سازمان حفاظت محیط زیست ایران) تفاوت معنی‌دار ندارد ( $Pvalue=0/281$ ) و بقیه عناصر با میزان استاندارد تفاوت معنی‌دار داشته و کمتر از استاندارد است.

با توجه به نرمال بودن داده‌ها، برای مقایسه میانگین هر عنصر با استاندارد آلاینده‌ی خاک (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در خاک‌های غیراسیدی (سازمان حفاظت محیط زیست ایران، ۱۳۹۳) از آزمون تی استفاده گردید. بر اساس جدول (۵)، تنها

جدول ۵. نتایج مقایسه میانگین (آزمون تی) عناصر با مقادیر استاندارد آلاینده‌ی خاک در خاک‌های غیراسیدی (سازمان حفاظت محیط زیست ایران، ۱۳۹۳)

عنصر	استاندارد (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	میانگین عنصر در این مطالعه (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	اختلاف میانگین	P-value
آرسنیک	۴۰	۵/۵۵	-۳۴/۴۴	۰/۰
منگنز	۹۰۰	۲۴۱	-۶۵۸/۸۷	۰/۰
کبالت	۵۰	۳/۸۷	-۴۶/۱۲	۰/۰
وانادیوم	۲۰۰	۳۰/۶	-۱۶۹/۳۸	۰/۰
سرب	۸۰	۳۰۰	۲۸۵	۰/۲۸۱
کادمیوم	۲	۰/۹۵	-۱/۰۵	۰/۰
نیکل	۱۵۵	۳۲/۶	-۱۲۲/۳۶	۰/۰

اردیبهشت، مصلی، شهرک سلامت، ملک‌شهر، جی و مدرس در طبقه آلودگی شدید و در مابقی ایستگاه‌ها در طبقه آلودگی متوسط تا زیاد قرار دارد.

با مقایسه نتایج فاکتور غنی‌شدگی (جدول ۷) با جدول رده‌بندی این شاخص، کبالت، منگنز و وانادیوم در همه ایستگاه‌ها دارای غنی‌شدگی کم هستند. البته کبالت در مشتاق اول و بهارستان و منگنز در علامه‌امینی دارای غنی‌شدگی متوسط هستند. سرب و کادمیوم در همه ایستگاه‌ها به جز علامه‌امینی دارای غنی‌شدگی قابل توجه، خیلی زیاد و فوق‌العاده زیاد است. نیکل در همه ایستگاه‌ها غنی‌شدگی متوسط تا قابل توجه دارد. آرسنیک در علامه‌امینی، هشت‌بهشت غربی و ماه فرخی دارای غنی‌شدگی کم است. در ارغوانیه، مدرس، لاهور، دشتستان، شهدا و مشتاق اول دارای غنی‌شدگی متوسط و در

با مقایسه نتایج شاخص ژئوشیمیایی مولر (جدول ۶) با جدول رده‌بندی این شاخص، عناصر منگنز، کبالت و وانادیوم در همه ایستگاه‌های مورد بررسی در طبقه غیرآلوده قرار می‌گیرند. نیکل نیز در همه ایستگاه‌ها در طبقه غیرآلوده قرار می‌گیرد و تنها در شیخ صدوق، نیکبخت و اردیبهشت در طبقه آلودگی متوسط قرار می‌گیرد. آرسنیک در همه ایستگاه‌ها در طبقه غیرآلوده تا آلودگی متوسط قرار دارد. تنها در ایستگاه‌های توحید، بهارستان، سپاهان‌شهر و شهرک سلامت در طبقه آلودگی متوسط تا سنگین قرار دارد. کادمیوم در همه ایستگاه‌های مورد بررسی در طبقه آلودگی متوسط تا سنگین و تنها در علامه‌امینی غربی در طبقه غیرآلوده قرار دارد. سرب در علامه‌امینی غربی، مشتاق اول، خانه اصفهان، ارغوانیه و شهدا در طبقه غیرآلوده تا آلودگی متوسط قرار می‌گیرد. در

**۱۳۲/مجله تحقیقات منابع طبیعی تجدید شونده، سال چهاردهم، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۴۰۲ (پیاپی سی و نه)**

مابقی ایستگاه‌ها درای غنی‌شدگی خیلی‌زیاد تا قابل توجه است. نتایج شاخص ارزیابی خطر بوم‌شناختی (جدول ۸) نشان داد ساکنین علامه‌امینی غربی در کل در معرض خطر بوم‌شناختی کم عناصر مورد بررسی هستند. آپادانا، شیخ مفید، مشتاق اول، شهدا، دروازه دولت، خانه اصفهان و شیخ مفید جنوبی در معرض خطر بوم‌شناختی متوسط و ساکنین مابقی ایستگاه‌های مورد بررسی در شهر اصفهان، در معرض خطر بوم‌شناختی قابل توجه تا بسیار زیاد عناصر مورد بررسی هستند.

**جدول ۶. نتایج شاخص ژئوشیمیایی مولر برای ایستگاه‌های نمونه‌برداری**

کد	ایستگاه	آرسنیک	کادمیوم	نیکل	منگنز	کیالت	سرب	وانادیوم
۱	توحید	۲/۰۳	۲/۲۲	-۰/۴۵	-۲/۵۹	-۲/۴۲	۳/۹۱	-۲/۷۵
۲	فردوسی	۱/۳۱	۴/۰۰	-۰/۳۸	-۲/۹۲	-۲/۱۸	۱/۸۳	-۲/۷۵
۳	آپادانا	۰/۷۰	۱/۷۴	۰/۵۲	-۱/۷۸	-۱/۲۱	۳/۲۸	-۱/۹۶
۴	شیخ مفید	۰/۸۹	۲/۴۲	-۰/۰۵	-۲/۳۴	-۱/۸۰	۱/۵۱	-۲/۴۹
۵	شیخ صدوق	۰/۲۹	۲/۵۸	۱/۱۶	-۲/۴۷	-۱/۶۷	۱/۴۲	-۲/۷۱
۶	علامه‌امینی	-۲/۴۳	-۰/۵۸	-۰/۳۸	-۱/۱۳	-۲/۱۸	۰/۳۷	-۲/۰۸
۷	نیکبخت	۱/۵۳	۲/۵۸	۱/۳۶	-۲/۳۴	-۱/۸۰	۲/۵۳	-۲/۴۹
۸	اردیبهشت	۱/۳۹	۲/۴۲	۱/۱۴	-۱/۹۱	-۱/۷۴	۵/۶۷	-۱/۹۶
۹	مشتاق اول	-۱/۴۳	۱/۷۴	-۱/۴۵	-۴/۵۲	-۲/۶۴	۰/۹۰	-۴/۴۹
۱۰	هشت‌بهشت غربی	-۲/۴۳	۳/۲۲	-۰/۴۵	-۳/۰۴	-۲/۴۲	۲/۱۵	-۳/۲۰
۱۱	مصلی	۱/۸۱	۱/۷۴	-۰/۵۱	-۳/۰۸	-۲/۵۸	۶/۱۲	-۳/۱۴
۱۲	بهارستان	۲/۰۴	۲/۷۴	۰/۰۰	-۲/۲۷	-۱/۰۰	۲/۰۳	-۲/۲۰
۱۳	سیاهان‌شهر	۲/۰۳	۲/۲۲	-۰/۱۵	-۲/۲۱	-۱/۹۱	۱/۸۱	-۲/۳۰
۱۴	شهرک سلامت	۲/۹۲	۱/۴۲	۰/۲۶	-۲/۱۵	-۱/۰۸	۷/۳۹	-۲/۲۷
۱۵	شهدا	-۰/۵۱	۲/۰۰	-۰/۲۶	-۳/۱۰	-۲/۵۳	۰/۹۷	-۳/۰۸
۱۶	دروازه دولت	۱/۲۹	۲/۰۰	۰/۱۸	-۲/۰۹	-۱/۶۷	۲/۲۶	-۲/۷۱
۱۷	فلاطوری	۱/۲۰	۴/۳۷	۰/۷۷	-۲/۴۰	-۱/۴۵	۲/۷۸	-۲/۸۰
۱۸	گلستان	۰/۸۰	۲/۵۸	۰/۱۸	-۲/۱۹	-۱/۶۱	۲/۹۰	-۲/۲۴
۱۹	کاوه غرضی	۰/۸۳	۳/۲۲	-۰/۲۱	-۲/۴۴	-۱/۶۱	۳/۲۴	-۲/۶۲
۲۰	ملک‌شهر	۱/۴۳	۲/۲۲	۰/۱۴	-۲/۷۲	-۲/۳۲	۴/۷۸	-۲/۷۵
۲۱	خانه اصفهان	۱/۱۸	۱/۷۴	-۰/۲۶	-۲/۴۱	-۱/۹۴	۰/۶۴	-۲/۹۱
۲۲	ماه فرخی	-۲/۴۳	۴/۲۲	-۰/۵۸	-۲/۸۷	-۲/۵۳	۱/۳۹	-۳/۴۱
۲۳	شیخ مفید جنوبی	۱/۱۸	۲/۰۰	۰/۳۸	-۳/۲۱	-۲/۸۴	۱/۵۷	-۳/۵۷
۲۴	جی	۱/۲۲	۱/۴۲	۰/۴۵	-۲/۴۷	-۲/۱۰	۵/۴۰	-۲/۴۹
۲۵	لاهور	-۲/۴۳	۳/۰۰	-۰/۶۶	-۳/۹۷	-۲/۶۴	۱/۶۴	-۳/۹۶
۲۶	دشتستان	۰/۶۷	۲/۸۷	۰/۰۹	-۲/۰۲	-۱/۳۷	۳/۱۲	-۲/۳۰
۲۷	عسگریه	۰/۶۷	۲/۴۲	-۰/۰۵	-۲/۰۲	-۱/۸۷	۲/۲۱	-۲/۵۷
۲۸	سروش	۱/۴۵	۲/۵۸	-۰/۰۵	-۳/۵۰	-۲/۹۸	۱/۸۸	-۳/۶۶
۲۹	مدرس	-۰/۶۷	۳/۰۰	۰/۲۲	-۲/۸۵	-۲/۳۲	۴/۷۸	-۳/۲۰
۳۰	حکیم نظامی	۰/۲۰	۲/۰۰	-۰/۳۲	-۳/۲۸	-۲/۷۷	۱/۹۸	-۳/۶۶
۳۱	ارغوانیه	-۱/۳۰	۱/۷۴	-۰/۶۶	-۳/۰۴	-۲/۳۲	۰/۷۹	-۳/۲۰

**جدول ۷. نتایج فاکتور غنی‌شدگی برای ایستگاه‌های نمونه‌برداری**

کد	ایستگاه	آرسنیک	کادمیوم	نیکل	منگنز	کیالت	سرب	وانادیوم
۱	توحید	۳۰/۱۷	۳۴/۵۶	۵/۴۳	۱/۲۳	۱/۳۸	۱۱۱/۵۸	۱/۱۰
۲	فردوسی	۱۶/۸۹	۱۰۸/۸۸	۵/۲۲	۰/۹۰	۱/۵۰	۲۴/۲۰	۱/۰۱
۳	آپادانا	۵/۹۳	۱۲/۱۳	۵/۲۲	۱/۰۶	۱/۵۸	۳۵/۲۶	۰/۹۳
۴	شیخ مفید	۹/۴۳	۲۷/۱۵	۴/۹۲	۱/۰۱	۱/۴۶	۱۴/۴۸	۰/۹۰
۵	شیخ صدوق	۷/۲۳	۳۵/۵۲	۱۳/۲۲	۱/۰۷	۱/۸۵	۱۵/۷۹	۰/۹۱
۶	علامه‌امینی	۱/۱۳	۴/۰۶	۴/۶۷	۲/۷۸	۱/۳۴	۷/۸۵	۱/۴۴
۷	نیکبخت	۱۹/۰۳	۳۹/۵۳	۱۶/۹۱	۱/۳۰	۱/۸۹	۳۸/۰۷	۱/۱۷
۸	اردیبهشت	۱۳/۶۵	۲۷/۶۹	۱۱/۴۲	۱/۳۸	۱/۵۶	۲۶۴/۱۹	۱/۳۳



## ارزیابی آلودگی و ریسک بوم‌شناختی گروغبار آلوده به عناصر بالقوه سمی/۱۳۳

۰/۶۰	۲۵/۰۷	۲/۱۵	۰/۵۹	۴/۹۲	۴۴/۷۶	۴/۹۷	مشتاق اول	۹
۰/۷۲	۲۹/۴۵	۱/۲۴	۰/۸۰	۴/۸۶	۶۱/۸۴	۱/۲۳	هشت بهشت	۱۰
۰/۶۹	۴۲۴/۶۶	۱/۰۲	۰/۷۲	۴/۲۸	۲۰/۳۶	۲۱/۵۰	مصلی	۱۱
۱/۲۷	۲۳/۹۴	۲/۹۳	۱/۲۱	۵/۸۶	۳۹/۰۴	۲۴/۰۷	بهارستان	۱۲
۰/۹۹	۱۷/۲۴	۱/۳۱	۱/۰۶	۴/۴۲	۲۲/۹۱	۲۰/۰۰	سپاهان شهر	۱۳
۰/۷۸	۶۲۹/۳۴	۱/۷۸	۰/۸۵	۴/۵۲	۱۰/۰۴	۲۸/۴۴	شهرک سلامت	۱۴
۰/۸۱	۱۳/۳۶	۱/۱۸	۰/۷۹	۵/۶۹	۲۷/۳۳	۴/۸۱	شهدا	۱۵
۰/۹۱	۲۸/۴۶	۱/۸۶	۱/۳۹	۶/۷۲	۲۳/۷۲	۱۴/۴۹	دروازه دولت	۱۶
۰/۶۳	۳۰/۳۲	۱/۶۱	۰/۸۳	۷/۴۸	۹۰/۹۵	۱۰/۱۱	فلاطوری	۱۷
۱/۰۶	۳۷/۲۸	۱/۶۳	۱/۰۹	۵/۶۶	۲۹/۹۶	۸/۶۹	گلستان	۱۸
۰/۹۲	۵۳/۳۱	۱/۸۵	۱/۰۴	۴/۹۰	۵۲/۸۱	۱۰/۰۶	کاوره غرضی	۱۹
۰/۹۱	۱۶۷/۸۲	۱/۲۲	۰/۹۳	۶/۷۳	۲۸/۵۶	۱۶/۵۵	ملکشهر	۲۰
۰/۸۳	۹/۷۱	۱/۶۲	۱/۱۷	۵/۲۰	۲۰/۸۰	۱۴/۱۰	خانه اصفهان	۲۱
۰/۵۰	۱۳/۸۴	۰/۹۱	۰/۷۲	۳/۵۲	۹۸/۵۰	۰/۹۸	ماه‌فرخی	۲۲
۰/۷۶	۲۷/۰۵	۱/۲۷	۰/۹۸	۱۱/۸۱	۳۶/۳۴	۲۰/۵۳	مفید جنوبی	۲۳
۰/۹۵	۲۲۶/۹۵	۱/۲۵	۰/۹۷	۷/۳۴	۱۴/۳۲	۱۲/۵۳	جی	۲۴
۰/۷۹	۳۸/۰۸	۱/۹۶	۰/۷۸	۷/۷۵	۹۷/۹۲	۲/۲۷	لاهور	۲۵
۰/۶۲	۲۶/۶۱	۱/۱۹	۰/۷۶	۳/۲۸	۲۲/۵۲	۴/۸۹	دشتستان	۲۶
۰/۸۲	۲۲/۶۵	۱/۳۴	۱/۲۱	۴/۷۴	۲۶/۱۳	۷/۸۰	عسگریه	۲۷
۰/۵۷	۲۶/۸۱	۰/۹۲	۰/۶۴	۷/۰۳	۴۳/۶۱	۱۹/۹۲	سروش	۲۸
۰/۷۹	۲۰۰/۲۵	۱/۴۶	۱/۰۱	۸/۵۱	۵۸/۳۲	۴/۵۹	مدرس	۲۹
۰/۵۴	۲۶/۹۷	۱/۰۰	۰/۷۰	۵/۴۵	۲۷/۲۷	۷/۸۳	حکیم نظامی	۳۰
۰/۷۲	۱۱/۴۴	۱/۳۲	۰/۸۰	۴/۱۸	۲۲/۰۰	۲/۶۹	ارغوانیه	۳۱

### جدول ۸. نتایج شاخص ارزیابی خطر بوم‌شناختی برای ایستگاه‌های نمونه‌برداری

کد	ایستگاه	ارزیابی خطر بوم‌شناختی
۱	توحید	۳۹۱/۷۰
۲	فردوسی	۷۹۱/۹۳
۳	آبادانا	۲۶۲/۳۲
۴	شیخ مفید	۲۹۹/۳۴
۵	شیخ صدوق	۳۲۸/۱۶
۶	علامه امینی	۵۱/۲۴
۷	نیکبخت	۳۷۸/۹۰
۸	اردیبهشت	۶۸۱/۰۳
۹	مشتاق اول	۱۷۳/۷۰
۱۰	هشت بهشت غربی	۴۶۳/۵۲
۱۱	مصلی	۷۳۱/۱۳
۱۲	بهارستان	۴۰۴/۵۵
۱۳	سپاهان شهر	۳۰۷/۱۳
۱۴	شهرک سلامت	۱۵۰۰/۸۴
۱۵	شهدا	۲۱۳/۳۰
۱۶	دروازه دولت	۲۶۴/۳۳
۱۷	فلاطوری	۱۰۳۲/۳۲
۱۸	گلستان	۳۶۴/۰۳
۱۹	کاوره غرضی	۵۲۷/۰۵
۲۰	ملکشهر	۴۶۶/۶۴
۲۱	خانه اصفهان	۲۰۴/۴۴
۲۲	ماه‌فرخی	۸۶۹/۲۳
۲۳	شیخ مفید جنوبی	۲۴۷/۴۴
۲۴	جی	۴۸۴/۸۰
۲۵	لاهور	۳۹۲/۳۵
۲۶	دشتستان	۴۳۰/۷۷

۳۰/۷۳	عسگریه	۲۷
۳۴۷/۳۵	سروش	۲۸
۵۸۶/۲۳	مدرس	۲۹
۲۳۴/۳۸	حکیم نظامی	۳۰
۱۷۵/۸۷	ارغوانیه	۳۱

جدول ۹. نتایج آزمون همبستگی پیرسون برای بررسی رابطه بار ترافیکی با شاخص‌های محاسبه شده

ضریب همبستگی پیرسون		شاخص غنی‌شدگی						P-value	شاخص ترافیک
خطر	بار آلودگی	کبالت	سرب	وانادیوم	منگنز	نیکل	کادمیوم		
RI	PLI	۰/۴۵۵	۰/۰۲۱	۰/۳۸۲	۰/۱۰۳	۰/۱۱۴	۰/۰۹۷	۰/۰۰۰	
۰/۶۱۹**	۰/۱۹۶	۰/۰۰۰	۰/۳۶۹*	۰/۰۳۴	-۰/۰۹۹	-۰/۰۵۵	۰/۱۵۲	ضریب همبستگی	

\* همبستگی معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد، \*\* همبستگی معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد

خانه‌ها تاثیر دارند و به‌جز منبع عمده آن که گردوغبار فضای باز است، فرش / مبلمان، لحیم‌کاری، رنگ دیوار / احتراق زغال سنگ و دود سیگار هم از منابع آن محسوب می‌شود (Gul et al., 2023). به‌طور کلی، ترافیک و مواد دکوراتیو را می‌توان به منابع اصلی آلودگی عناصر بالقوه سمی در گردوغبار داخلی دانست (Wang et al., 2023). تعداد افراد خانواده و تعداد طبقات مجتمع نیز بر میزان غلظت عناصر سنگین موثر است. گردوغبار داخل خانه‌های با تعداد افراد کمتر و دارای افراد سیگاری خطرات محیط زیستی و سرطان‌زایی قابل توجه بالاتری دارند (Zhou et al., 2022). به‌نظر می‌رسد خود افراد منبعی برای جذب عناصر سمی هستند و افزایش تعداد افراد، غلظت عناصر را در فضای داخل خانه کاهش می‌دهد (Zhou et al., 2020). با افزایش ارتفاع از کف، تعداد ذرات به‌طور قابل توجهی افزایش و اندازه آنها کاهش یافت. در نتیجه نسبت سطح به حجم افزایش می‌یابد و سطح ذرات را قادر می‌سازد تا آلاینده‌های بیشتری را جذب و غلظت عناصر سمی را به شدت افزایش می‌دهد. البته مطالعات نشان داد با افزایش ارتفاع، غلظت فلزات کادمیوم، سرب و روی افزایش می‌یابد، درحالی‌که فلزات کروم و نیکل ابتدا کاهش می‌یابند و در طبقه چهارم به حداقل مقدار می‌رسند و سپس به تدریج افزایش می‌یابند (Ali et al., 2019).

میانگین مقادیر عنصر آرسنیک در نمونه‌ها ۵/۵۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم است که از استاندارد آلاینده‌گی خاک سازمان حفاظت محیط زیست کمتر است، اما تنها در علامه‌امینی، هشت بهشت غربی و ماه‌فرخی دارای غنی‌شدگی کم و در بقیه نقاط

بر اساس جدول (۹)، میان شاخص غنی‌شدگی سرب با شاخص ترافیکی، همبستگی مثبت معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد قوی ( $r=0/369$ ,  $Pvalue=0/021$ ) و میان شاخص ارزیابی خطر با شاخص ترافیک، همبستگی معنی‌دار مثبت در سطح ۹۹ درصد و با ضریب همبستگی قوی ( $r=0/619$ ,  $Pvalue=0/0$ ) وجود دارد. بدین معنی که غلظت عناصر بالقوه سمی مورد مطالعه در نقاط نمونه‌برداری با حجم ترافیک آن منطقه دارای همبستگی معنی‌دار است.

### بحث و نتیجه‌گیری

بر اساس هر سه شاخص محاسبه شده، عناصر کبالت، منگنز و وانادیوم در ایستگاه نمونه‌برداری در طبقه غیرآلوده قرار می‌گیرند. بر اساس نتایج ارزیابی خطر بوم‌شناختی، به‌جز علامه-امینی غربی، آپادانا، شیخ‌مفید، مشتاق اول، شهدا، دروازه دولت، خانه اصفهان و شیخ‌مفید جنوبی که در معرض خطر کم تا متوسط عناصر مورد بررسی هستند، بقیه نقاط مورد بررسی در شهر اصفهان در معرض خطر بوم‌شناختی قابل توجه تا بسیار زیاد عناصر مورد بررسی هستند.

منابع اصلی عناصر سنگین در مجتمع‌های مسکونی بلند به چهار جز اصلی تقسیم می‌شوند که شامل احتراق سوخت (۳۱/۴۴ درصد)، خودرو و حمل‌ونقل (۲۱/۶۰ درصد)، گردوغبار جوی (۱۳/۴۳ درصد)، مواد شیمیایی و سنگ‌های مورد استفاده داخل مجتمع (۱۲/۶۱ درصد) است (Bai et al., 2020). ویژگی‌های خانه مانند نزدیکی به خیابان اصلی، وجود حیوانات خانگی، تعداد ساکنان و قدمت مجتمع بر غلظت‌های بالاتر مشاهده شده برخی عناصر بالقوه سمی در

را همانند سرب می‌توان به ترافیک و تردد وسایل نقلیه موتوری نسبت داد. هر چند که دود سیگار، رنگ‌های ساختمانی و پخت‌وپز در فضای داخل ساختمان هم در غلظت قابل توجه کادمیوم موثر است.

نتایج فاکتور آلودگی، فاکتور غنی‌شدگی و فاکتور زمین‌انباشتگی در مطالعه گردوغبار خیابانی شهر اهواز نشان داد سطح آلودگی عناصر سرب، روی، مس و کادمیوم در شهر اهواز بسیار بالا است و در مناطقی با تراکم جمعیت بالا، ترافیک سنگین و فعالیت‌های صنعتی، آلودگی شدیدی از نظر عناصر بالقوه سمی وجود دارد (مرادیان و همکاران، ۱۳۹۹). در مقایسه گردوغبار اتمسفری مناطق شهری، صنعتی و بین‌شهری استان بوشهر بیشترین غنی‌شدگی برای سرب گزارش شد که در هر سه منطقه در کلاس غنی‌شدگی خیلی زیاد قرار دارد. منطقه شهری بوشهر هم دارای بیشترین درجه آلودگی بوده و در کلاس آلودگی خیلی زیاد قرار گرفت که تحت تاثیر فعالیت‌های صنعتی اطراف و ترافیک داخل شهر است (نادری‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵). در بررسی عناصر بالقوه سمی در گردوغبار داخل موسسات آموزشی استان قونیه، مقادیر کادمیوم و آرسنیک بالاتر از مقادیر استاندارد OSHA (اداره بهداشت و ایمنی شغلی ترکیه) اعلام شد (Kunt & Türkyılmaz, 2023).

در مطالعه نمونه‌های گردوغبار داخلی و خارجی اهواز و زابل طی بهار و تابستان ۱۳۹۶ مشخص شد، غلظت عناصر مرتبط با انتشار صنعتی و شهری (به‌عنوان مثال، روی، سرب، مس و کروم) در اهواز به‌طور قابل توجهی بیشتر از زابل است. در هر دو شهر، بلع مسیر اصلی قرار گرفتن در معرض خطر سلامتی با عناصر سمی و به دنبال آن تماس پوستی و استنشاق، هم برای کودکان و هم برای بزرگسالان معرفی شد. بالاترین خطرات غیرسرطانی و سرطانی گردوغبار داخلی و خارجی مربوط به کروم و آرسنیک برای کودکان و بزرگسالان بود (Asvad et al., 2023).

در نهایت نتایج نشان داد ساکنین منطقه علامه‌امینی غربی در مقایسه با سایر مناطق مورد مطالعه در معرض خطر کمتر ناشی از مواجهه با گردوغبار داخلی آلوده به عناصر بالقوه سمی هستند که این موضوع را می‌توان به وجود باغ و فضای سبز در سرتاسر مسیر خیابان علامه‌امینی و همچنین ترافیک روان و

نمونه‌برداری دارای غنی‌شدگی متوسط تا خیلی زیاد و قابل توجه است که نشان‌دهنده منشا انسانی آرسنیک در گردوغبار شهر است. آرسنیک موجود در رنگ‌های روغنی و پلاستیک مورد استفاده در فضای داخل مجتمع می‌تواند منشا بخشی از آرسنیک ثبت شده باشد، اما منشا عمده آن به گردوغبار فضای باز بر می‌گردد. در بررسی نمونه‌های گردوغبار لبه پنجره (۵۰ نمونه) از مناطق مختلف شهر قم نیز احتمال خطر سرطان‌زایی آرسنیک در گردوغبار داخل مجتمع تایید شد (Madadi et al., 2022). خطر بالای ابتلا به بیماری‌های سرطانی ناشی از آرسنیک و کادمیوم در اکثر ایستگاه‌های مورد بررسی در شهرک صنعتی ناجی زنجان نیز تایید شد (فتوت و همکاران، ۱۴۰۱).

سرب به‌عنوان متداول‌ترین عنصر ناشی از ترافیک شناخته می‌شود (حسینی و سبحان‌اردکانی، ۱۴۰۰). میانگین سرب در نمونه‌ها با ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم با استاندارد آلاینده‌گی خاک سازمان حفاظت محیط زیست اختلاف معنی‌دار آماری ندارد ( $p > 0/05$ ). شاخص غنی‌شدگی سرب در همه ایستگاه‌ها به جز علامه‌امینی، بالای ۱۰ است و منشا انسانی سرب را ثابت می‌کند. شاخص غنی‌شدگی سرب همبستگی مثبت معنی‌دار با شاخص ترافیک نشان داد. تردد وسایل نقلیه موتوری را می‌توان به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین دلایل آلودگی در شهر اصفهان به‌شمار آورد (Jokar et al., 2020). در فصول سرد سال، تمرکز آلاینده به‌دلیل وارونگی دمایی به شدت افزایش و در برخی از روزهای سال برای عموم ساکنین در طبقه ناسالم قرار می‌گیرد (Yazdanibakhsh et al., 2019). علاوه بر این سرب در سنتز رنگ‌های مجتمعی هم کاربرد دارد. سرب می‌تواند بر روی ضریب هوشی و بازدهی آموزشی کودکان تاثیر منفی گذاشته و با انواع مختلف سرطان هم مرتبط باشد (Doyi et al., 2019).

میانگین مقادیر عنصر کادمیوم در نمونه‌ها برابر با ۰/۹۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است که از استاندارد آلاینده‌گی خاک سازمان حفاظت محیط زیست کمتر است، اما نتایج شاخص غنی‌شدگی، نشان‌دهنده غنی‌شدگی بالا و قابل توجه کادمیوم و منشا انسانی آن در همه ایستگاه‌های نمونه‌برداری به‌جز علامه‌امینی است. کادمیوم در روان‌کننده‌ها، تایرها و لنت ترمز خودروها وجود دارد (De Silva et al., 2021; Men et al., 2018). فرزات و سبحان‌اردکانی، ۱۳۹۵). بنابراین کادمیوم

فتوت، ک.، خازینی، ل.، عابدینی، ی. و یوسفی، م. (۱۴۰۱) بررسی غلظت و اثرات بهداشتی فلزات سنگین منتشره از واحدهای صنعتی شهرک صنعتی ناجی. فصلنامه علوم محیطی، ۲۰(۳): ۸۷-۱۰۴.

فرزان، م. و سبحان‌اردکانی، س. (۱۳۹۵) بررسی آلودگی رواناب سطحی حاصل از بارندگی در نقاط پرتراфик شهر همدان به عناصر آهن، سرب و کادمیوم در سال ۱۳۹۲. تحقیقات نظام سلامت، ۱۲(۲): ۲۰۸-۲۱۳.

قفقازی، ل. و تقوی، ل. (۱۴۰۱) مروری بر کاربرد جاذب زیستی بیوچار (زغال زیستی) در پایداری محیط زیست با رویکرد انرژی، آب و کشاورزی. تحقیقات منابع طبیعی تجدیدشونده، ۱۳(۱): ۶۷-۸۲.

مرادیان، ف.، قنوتی، ن. و نظریور، ا. (۱۳۹۹) ارزیابی آلودگی زیست‌محیطی و توزیع مکانی فلزات سنگین در گردوغبار خیابانی شهر اهواز. علوم آب و خاک، ۲۴(۳): ۲۲۳-۲۳۷.

مقصودلو، ت.، پذیرا، ع. و عبیدی، ر. (۱۳۹۶) تعیین مقادیر فلزات سنگین نیکل و کادمیوم در بافت عضله ماهی مید (*Liza klunzingeri*) در بندر بوشهر. تحقیقات منابع طبیعی تجدیدشونده، ۸(۱): ۶۹-۷۸.

نادری‌زاده، ز.، ایوبی، ش. و خادمی، ح. (۱۳۹۵) ارزیابی غلظت و میزان آلودگی فلزات سنگین در گردوغبار اتمسفری مناطق شهری و صنعتی استان بوشهر. نشریه محیط زیست طبیعی، ۲(۶۹): ۵۳۱-۵۴۸.

نوروزی، ز.، چمنی، ع. و احمدی‌ندوشن، م. (۱۴۰۲) بررسی رابطه غلظت ذرات معلق با غلظت آنزیم‌های کبدی بندناف نوزاد، مطالعه موردی: شهر اصفهان. سلامت و محیط زیست، ۱۶(۱): ۱-۱۴.

Abraham, G. and Parker, R. (2008) Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. Environmental Monitoring and Assessment, 136(1): 227-238.

Ali, M.U., Liu, G., Yousaf, B., Ullah, H., Irshad, S., Ahmed, R., Hussain, M. and Rashid, A. (2019) Evaluation of floor-wise pollution status and deposition behavior of potentially toxic elements and nanoparticles in air conditioner dust during urbanistic development. Journal of hazardous materials, 365(1): 186-195.

APHA. (2005) Standard methods for the examination of water and wastewater. APHA Washington DC, USA, 874p.

سبک در این منطقه مرتبط دانست. مقادیر شاخص غنی‌شدگی عناصر سرب و کادمیوم، به‌جز در منطقه علامه‌امینی، زیاد و قابل توجه و نشان‌دهنده منشا انسانی این عناصر بود. از آنجایی که محدودیت اخذ مجوز برای دسترسی به فضای داخل مجتمع‌های مسکونی باعث شد نقاط نمونه‌برداری در تمام سطح شهر پراکنش کاملاً همگن نداشته باشد و از طرفی، اجرای این پژوهش با محدودیت منابع مالی مواجه بود، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده تدابیری در خصوص امکان نمونه‌برداری از مناطقی که همه سطح شهر را پوشش دهند، اندیشیده شود. علاوه بر این، بررسی ریسک مواجهه با گردوغبار آلوده در سایر اماکن سر بسته از قبیل اماکن اداری، آموزشی، تجاری و تفریحی که شهروندان، ساعتی از وقت خود را در آنجا سپری کنند نیز توصیه می‌شود.

## منابع

سازمان حفاظت از محیط زیست. (۱۳۹۳) استانداردهای کیفیت منابع خاک و راهنمای آن، معاونت محیط زیست انسانی، دفتر آب و خاک، ۱۶۱ صفحه.

احمدی، ت.، میاحی، م.، بایرام‌زاده، و.، زرین‌کفش، م. و صفدری، و. (۱۳۹۵) بررسی وضعیت آلودگی درختان صنوبر (*Populous nigra*) اطراف کارخانه سرب و روی زنجان با استفاده از دواپر رویش سالیانه. تحقیقات منابع طبیعی تجدیدشونده، ۴(۷): ۱۷-۲۸.

ارسلانی، ف. و علیجانی، ب. (۱۴۰۰) عوامل موثر در ایجاد غلظت فلزات سنگین در گردوغبار هوای کلان‌شهر تهران و مخاطرات آن. مدیریت مخاطرات محیطی، ۸(۴): ۳۲۱-۳۳۵.

حسینی، ن. و سبحان‌اردکانی، س. (۱۴۰۰) ارزیابی اثر حجم ترافیک بر آلودگی و خطر بالقوه بوم‌شناختی عناصر روی، سرب و نیکل در خاک‌های حاشیه برخی جاده‌های برون شهری همدان. پژوهش‌های خاک، ۲(۳۵): ۱۱۹-۱۳۴.

ساجدی‌سابق، ش.، منصوری، ن.، تقوی، ل.، حاجی‌سیدمیرزاحسینی، ع. (۱۴۰۰) بررسی آلودگی سرب در ذرات معلق داخل و خارج مجتمع‌های مسکونی، اداری، تجاری در کلان‌شهر کرج. علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، ۲۳(۹): ۱۷۵-۱۹۰.

- dust of 16 cities in Iran. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(18): 23094-23107.
- Jokar, M., Razavi, Z. and Moradi, H. (2020) From environmental knowledge to encouraging pro-environmental behavior for air pollution control in Isfahan: A highly air-polluted city in central Iran. *SN Applied Sciences*, 2(1): 1-14.
- Khalijian, A., Lorestani, B., Sobhanardakani, S., Cheraghi, M. and Tayebi, L. (2022) 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 and Toxicology*, 109(6): 1142-1149.
- Kunt, F. & Türkyılmaz, E.S. (2023) Detection of Heavy Metals in Educational Institutions' Indoor Dust and Their Risks to Health. *Atmosphere*, 14(5): 780-780.
- Li, K., Wang, B., Yan, L., Jin, Y., Li, Z., An, H., Ren, M., Pang, Y., Lan, C. and Chen, J. (2021) Associations between blood heavy metal (loid) s and serum heme oxygenase-1 in pregnant women: Do their distribution patterns matter. *Environmental Pollution*, 286(1): 117249.
- Lim, S.E.A. (2012) A comparative risk assessment of burden of disease and injury attributable to 67 risk factors and risk factor clusters in 21 regions, 1990–2010: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. *The Lancet*, 380(9859): 2224-2260.
- Lu, F., Xu, D., Cheng, Y., Dong, S., Guo, C., Jiang, X. and Zheng, X. (2015) Systematic review and meta-analysis of the adverse health effects of ambient PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> pollution in the Chinese population. *Environmental Research*, 136(1): 196-204.
- Madadi, R., Mohamadi, S., Rastegari, M., Karbassi, A., Rakib, M.R.J., Khandaker, M.U., Faruque, M.R.I. and Idris, A.M. (2022) Health risk assessment and source apportionment of potentially toxic metal(loid)s in windowsill dust of a rapidly growing urban settlement, Iran. *Scientific Reports*, 12(1): 19736.
- Men, C., Liu, R., Xu, F., Wang, Q., Guo, L. and Shen, Z. (2018) Pollution characteristics, risk assessment, and source apportionment of heavy metals in road dust in Beijing, China. *Science of the Total Environment*, 612(1): 138-147.
- Mohebian, M., Sobhanardakani, S., Taghavi, L. and Ghoddousi, J. (2021) Analysis and potential ecological risk assessment of heavy metals in the surface soils collected from various land uses around Shazand Oil Refinery Complex, Arak, Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(19): 1-16.
- Muller, G. (1969) Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Geojournal*, 2(1): 108-118.
- Padoan, E., Ajmone-Marsan, F., Querol, X. and Amato, F. (2018) An empirical model to predict road dust emissions based on pavement and traffic characteristics. *Environmental Pollution*, 237(1): 713-720.
- Asvad, S.R., Esmaili-Sari, A., Bahramifar, N., Behrooz, R.D., Paschalidou, A.K. and Kaskaoutis, D.G. (2023) Heavy metals contamination status and health risk assessment of indoor and outdoor dust in Ahvaz and Zabol cities, Iran. *Atmospheric Pollution Research*, 14(4): 101727.
- Bai, L., He, Z., Chen, W. and Wang, Y. (2020) Distribution characteristics and source analysis of metal elements in indoor PM<sub>2.5</sub> in high-rise buildings during heating season in Northeast China. *Indoor and Built Environment*, 29(8): 1087-1100.
- Balali-Mood, M., Naseri, K., Tahergorabi, Z., Khazdair, M.R. and Sadeghi, M. (2021) Toxic mechanisms of five heavy metals: Mercury, Lead, Chromium, Cadmium, and Arsenic. *Frontiers in pharmacology*, 12(1): 1-19.
- Barceloux, D.G. and Barceloux, D. (1999) Vanadium. *Journal of Toxicology: Clinical Toxicology*, 37(2): 265-278.
- De Silva, S., Ball, A.S., Indrapala, D.V. and Reichman, S.M. (2021) Review of the interactions between vehicular emitted potentially toxic elements, roadside soils, and associated biota. *Chemosphere*, 263(1): 128-135.
- Doyi, I.N., Isley, C.F., Soltani, N.S. and Taylor, M.P. (2019) Human exposure and risk associated with trace element concentrations in indoor dust from Australian homes. *Environment international*, 133(part A): 105-125.
- Ediagbonya, T. (2016) Enrichment factor of atmospheric trace metal using zirconium titanium iron and copper as reference element. *Nigerian Journal of Technology*, 35(4): 785-795.
- Gope, M., Masto, R.E., George, J., Hoque, R.R. and Balachandran, S. (2017) Bioavailability and health risk of some potentially toxic elements (Cd, Cu, Pb and Zn) in street dust of Asansol, India. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 138(1): 231-241.
- Gul, H.K., Gullu, G., Babaei, P., Nikravan, A., Kurt-Karakus, P.B. and Salihoglu, G. (2023) Assessment of house dust trace elements and human exposure in Ankara, Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(3): 7718-7735.
- Hakanson, L. (1980) An ecological risk index for aquatic pollution control, A sedimentological approach. *Water Research*, 14(8): 975-1001.
- Hopenhayn-Rich, C., Browning, S.R., Hertz-Picciotto, I., Ferreccio, C., Peralta, C. and Gibb, H. (2000) Chronic arsenic exposure and risk of infant mortality in two areas of Chile. *Environmental Health Perspectives*, 108(7): 667-673.
- Hosseinibalam, F. and Hejazi, A. (2012) Influence of meteorological parameters on air pollution in Isfahan. *IPCBE*, 46(1): 7-12.
- Hudson-Edwards, K.A., Jamieson, H.E., Charnock, J.M. and Macklin, M.G. (2005) Arsenic speciation in waters and sediment of ephemeral floodplain pools, Ríos Agrió-Guadiamar, Aznalcóllar, Spain. *Chemical Geology*, 219(1-4): 175-192.
- Jahandari, A. (2020) Pollution status and human health risk assessments of selected heavy metals in urban

- estuaries and the formation of a pollution index. *Helgoländer meeresuntersuchungen*, 33(1): 566-575.
- Wang, M., Lv, Y., Lv, X., Wang, Q., Li, Y., Lu, P., Yu, H., Wei, P., Cao, Z. and An, T. (2023) Distribution, sources and health risks of heavy metals in indoor dust across China. *Chemosphere*, 313(1): 137595.
- Yazdanibakhsh, F., Salehi, E., Faham, E. and Amin, M.M. (2019) Influential factors of air pollution awareness in Isfahan, Iran. *Pollution*, 5(2): 247-256.
- Zazouli, M.A., Bandpei, A.M., Maleki, A., Saberian, M. and Izanloo, H. (2010) Determination of cadmium and lead contents in black tea and tea liquor from Iran. *Asian Journal of Chemistry*, 22(2): 1387-1393
- Zhou, L., Liu, G., Shen, M., Hu, R. and Liu, Y. (2020) Source identification of heavy metals and stable carbon isotope in indoor dust from different functional areas in Hefei, China. *Science of the Total Environment*, 710(1): 135599.
- Zhou, L., Liu, G., Shen, M. and Liu, Y. (2022) Potential ecological and health risks of heavy metals for indoor and corresponding outdoor dust in Hefei, Central China. *Chemosphere*, 302(1): 134864.
- Sabet Aghlidi, P., Cheraghi, M., Lorestani, B., Sobhanardakani, S. and Merrikhpour, H. (2020) Analysis, spatial distribution and ecological risk assessment of arsenic and some heavy metals of agricultural soils, Case study: South of Iran. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 18(2): 665-676.
- Sarraf, M. & Heger, M. (2018) Air pollution in Tehran: Health costs, sources, and policies. World Bank Group Report, 38p.
- Soleimani, M., Akbari, N., Saffari, B. and Haghshenas, H. (2021) Estimation of economic costs of air pollution caused by motor vehicles in Iran (Isfahan). *Environmental Science and Pollution Research*, 28(47): 66535-66555.
- Soltani, N., Keshavarzi, B., Moore, F., Tavakol, T., Lahijanzadeh, A.R., Jaafarzadeh, N. and Kermani, M. (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(1): 712-723.
- Takeda, A. (2003) Manganese action in brain function. *Brain Research Reviews*, 41(1): 79-87.
- Tomlinson, D.L., Wilson, J.G. and Harris, C.R. (1980) Problems in the assessment of heavy-metal levels in

## Evaluation of pollution and potential ecological risk of the dusts contaminated with potential toxic elements (case study: residential buildings in Isfahan metropolis)

Makkiyah Abdulhussein Hammood<sup>1</sup>, Atefeh Chamani<sup>2\*</sup> and Soheil Sobhanardakani<sup>3</sup>

- 1) M.S.c Student, Environmental Science and Engineering Department, College of Agriculture and Natural resources, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.
- 2) Associate Professor, Environmental Science and Engineering Department, Waste and Wastewater Research Center, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran. \*Corresponding Author Email Address: a.chamani@khuisf.ac.ir
- 3) Professor, Department of the Environment, College of Basic Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran.

Date of Submission: 2023/07/11

Date of Acceptance: 2023/09/04

### Abstract

Air pollution causes chronic respiratory and cardiovascular diseases and it is estimated between 6.2 to 8.4 million annual premature deaths occur annually due to this reason. Therefore, this study was conducted to investigate the concentration of potentially toxic elements in dust collected from residential buildings in Isfahan during the winter of 2022. Accordingly, the residential buildings from 31 areas of city of Isfahan were chosen to cover the whole city. The dust samples from the internal surfaces of the ground floor or the first floor of residential complexes, except for common spaces, were collected by a clean plastic brush and a total of 93 samples were transferred to the laboratory and the concentrations of arsenic (As), cadmium (Cd), nickel (Ni), manganese (Mn), cobalt (Co), lead (Pb), and vanadium (V) were measured using ICP-OES, model Optima 83. The average concentrations of As, Cd, Ni, Mn, Co, Pb, and V in the collected samples were found to be 5.55, 0.95, 32.6, 241, 3.87, 300, and 30.6 mg/kg, respectively. Based on the enrichment factor analysis, the concentrations of lead and cadmium had anthropogenic sources in all sampling sites except for West Allameh Amini site. A notable positive significant correlation was observed between the lead enrichment factor and the traffic index at a 95% confidence level ( $P$ -value = 0.021,  $r = 0.369$ ) and a 99% confidence level ( $P$ -value = 0.0,  $r = 0.619$ ). This means that the volume of traffic has a major impact on the concentration of potentially toxic elements studied in the sampling sites.

**Keywords:** Isfahan, Indoor Dust, Potentially toxic elements, Residential complex.