



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

مقاله پژوهشی



ارزیابی خطر سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی (بهداشتی) فلزات سنگین موجود در گرد و خاک داخل کابین و فیلتر هوای خودروهای مختلف در شهر اهواز

علیرضا زراسوندی*، مریم دلفی، نادیا عزیز، فاطمه راستمنش، غزال زراسوندی

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

چکیده

اطلاعات مقاله:

زمینه و هدف: در طول چند دهه گذشته، آلودگی فلزات سنگین در گرد و خاک فضاهای داخلی به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است. در حالی که کیفیت محیط درون خودروها به اندازه کافی مورد توجه قرار نگرفته است. بنابراین، اهداف خاص این مطالعه به طور کلی شامل بررسی مقدار فلزات سنگین انتخابی در گرد و خاک خودروهای شخصی و نیز ارزیابی خطر سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی مواجهه با گرد و خاک داخل این خودروها از طریق بلع، استنشاق و جذب پوستی در شهر اهواز است.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۲۵
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۰۸/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۱۶
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۹/۱۵

روش بررسی: در این مطالعه ۱۰ خودرو انتخاب شد. شرط انتخاب خودروها عدم شستشوی خودرو به مدت یک هفته بوده است. سپس از گرد و خاک فیلتر کولر و نیز کابین هر خودرو، نمونه‌هایی جمع‌آوری و کدگذاری شد. به منظور تعیین ترکیب فلزات سنگین، آنالیز طیف سنجی (ICP) بر روی نمونه‌ها صورت گرفت.

واژگان کلیدی: خطر بهداشتی، فلزات سنگین، کابین خودرو، فیلتر هوای خودرو، شهر اهواز

یافته‌ها: بررسی شاخص خطر غیر سرطان‌زایی (HI) در مطالعه حاضر بیانگر مقادیر بیش از ۱ و به عبارتی ریسک خطر سلامت بالا است. ترتیب مقادیر شاخص HI برای فلزات سنگین عبارت است از: $Ni > Cd > Zn > Fe > Cr > Cu > Pb$. این مسیر در کودکان $HQ_{ing} < HQ_{inh} < HQ_{der}$ و در بزرگسالان از روند $HQ_{ing} < HQ_{der} < HQ_{inh}$ تبعیت می‌کند. همچنین بررسی مقادیر فاکتور غنی‌شدگی نمونه‌های مورد مطالعه، بیشترین و کمترین مقادیر را به ترتیب برای عنصر مس (۴/۳) و نیکل (۸/۳) نشان داد. بررسی شاخص زمین‌انباشت نیز بیشترین و کمترین مقادیر را به ترتیب برای عنصر آهن (۱۲/۷۵) و نیکل (۱/۹) و میزان شاخص بار آلودگی و آلودگی یکپارچه را به ترتیب ۲۷ $1/34+E$ و $2/07+E$ نشان داده است که بیانگر حدود متوسط برای فلزات سنگین مورد مطالعه است.

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:

zarasvandi_a@scu.ac.ir

نتیجه‌گیری: بر اساس این مطالعه، خطر غیر سرطان‌زایی فلزات مورد مطالعه (بجز فلزات سنگین Cu و Fe) برای کودکان بیش از بزرگسالان برآورد شده است. همچنین بررسی شاخص CR برای سه فلز سنگین سرطان‌زای کادمیوم، کروم و آرسنیک نیز از سطح بی‌خطر تجاوز کرده است. این شاخص نیز برای کودکان مسیر بلع دهانی و برای بزرگسالان مجاری تنفسی را هدف فلزات سنگین بیان می‌کند. در مطالعه حاضر مقادیر فلزات سنگین مورد مطالعه بیش از استانداردهای تعیین شده است. فاکتورهای مواجهه و ارزیابی پارامترهای ریسک این مطالعه، سطح خطر سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی برای کودکان و بزرگسالان، در محدوده مخاطره است. در مطالعه انجام شده غنی‌شدگی فلزات سنگین در فیلتر خودرو، بیش از کابین است.

Please cite this article as: Zarasvandi A, Delphi M, Azizi N, Rastmanesh F, Zarasvandi G. Investigating the factors of pollution and the health risk caused by heavy metals in the dust inside the cabin and air filter of different cars in Ahvaz city. Iranian Journal of Health and Environment. 2023;16(3):501-14.

مقدمه

امروزه طوفان‌های گرد و خاک ناشی از فرسایش خاک، از جمله مهم‌ترین چالش‌های زیست محیطی اخلاک‌گرا دستاوردهای تاسیساتی و نیز سلامت بشر است. به طور کلی ۹ کانون اصلی گرد و خاک در دنیا شناخته شده است که شمال آفریقا بیش از ۵۰ درصد این کانون‌ها را داراست (۱، ۲). طوفان‌های گرد و خاک اصولاً تحت تاثیر جریان‌های غالب بادهای یک منطقه هستند. طوفان‌های گرد و خاک استان خوزستان غالباً تحت تاثیر بادهای غربی که از شرق سوریه و غرب و مرکز عراق منشاء می‌گیرند، بارگیری می‌شوند (۳). این بحران سبب شده است شهر اهواز به عنوان یکی از آلوده‌ترین شهرهای جهان شناخته شود (۴). همچنین مشکلات تنفسی، قلبی-عروقی و نیز افزایش آمار مرگ و میر در روزهایی که میزان گرد و خاک بیش از میزان مجاز توصیه شده است، از جمله پیامدهای بهداشتی مخرب این چالش زیست محیطی است که لزوم توجه به آن را، بیش از پیش حیاتی کرده است. با توجه به اینکه امروزه خودروها به یک نیاز اساسی در زندگی روزمره انسان تبدیل شده‌اند و زمان صرف شده در وسایل نقلیه، بسته به وضعیت ترافیک و مقصد سفر می‌تواند از دقیقه تا چند ساعت در روز متغیر باشد (۵)، این در حالی است که کیفیت شرایط کابین خودرو به لحاظ مواجهه با آلاینده‌های موجود از جمله گرد و خاک به اندازه کافی مورد توجه قرار نگرفته است و افراد خواه ناخواه در معرض این آلاینده‌ها در داخل خودرو قرار دارند. آنچه تا به امروزه در حوزه گرد و خاک مورد مطالعه قرار گرفته است، غالباً محدود به واژگانی همچون ذرات PM_{10} و $PM_{2.5}$ ، PM_1 است و تنها مطالعات معدودی بر گرد و خاک داخلی انجام شده است. با توجه به اینکه از جمله مبتدی‌ترین راهکارها به هنگام وقوع گرد و خاک، اعلام تعطیلی سازمان‌ها و مدارس و یا استفاده از ماسک، بستن شیشه‌های خودرو و موارد مشابه به منظور قرارگیری در محیط‌های بسته است، بررسی میزان فلزات سنگین موجود در این محیط‌ها نیز امری حائز اهمیت است، زیرا خواه ناخواه مقادیری از ذرات گرد و خاک و

فلزات سنگین، به محیط راه خواهند یافت. فلزات سنگین به دلیل ماهیت غیرقابل تجزیه زیستی، سمیت و توانایی تجمع زیستی نگران‌کننده هستند. مواجهه طولانی مدت با فلزات سنگین ممکن است مشکلاتی را برای سلامت انسان مانند بیماری‌های قلبی عروقی و تنفسی ایجاد کند. در طول چند دهه گذشته، آلودگی فلزات سنگین در گرد و خاک داخلی به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است. به ویژه در مدارس و منازل مسکونی، غلظت فلزات سنگین در گرد و خاک داخلی می‌تواند تحت تأثیر موقعیت جغرافیایی، فعالیت‌های انسانی و ویژگی‌های ساختمان‌ها قرار گیرد (۶). بیشتر مطالعات در خصوص فلزات سنگین گرد و غبار، راه بلع یا خوراکی را راه بلع یا خوراکی را به عنوان مسیر اصلی مواجهه و به دنبال آن جذب پوستی و استنشاق در انسان شناسایی کردند. فلزات سنگین گروهی از عناصر جدول تناوبی با عدد اتمی بیش از ۲۰ هستند که به طور طبیعی و با غلظت کم در سطح زمین یافت می‌شوند (۷). این فلزات به دلیل خواصی همچون سمیت، تجمع‌پذیری و نیز ماندگاری بالا در بدن موجودات زنده، از اهمیت بسزایی در سلامت انسان و سایر موجودات برخوردارند. فلزات سنگین موجود در گرد و خاک عموماً به طریق بلع و تنفس وارد بدن انسان می‌شوند. بسته به نوع فلزات سنگین و اندام هدف آن، پیامدهای بهداشتی متفاوتی را از هر کدام شاهد خواهیم بود. کادمیوم از جمله محصولات جانبی و اجتناب‌ناپذیر بخش پالایش در صنعت باتری سازی است که اگر چه شواهدی از جذب پوستی کادمیوم مشاهده نشده است اما علائم ابتدایی مواجهه با این عنصر را می‌توان استفرغ، افزایش بزاق، درد شکمی و اسهال و در موارد حادتر، سرطان‌زایی مطرح نمود (۸). همچنین کروم به عنوان شانزدهمین عنصر فراوان در پوسته زمین، ۵۰ درصد از طریق بلع، ۲۰ درصد از طریق آشامیدن و ۳۰ درصد از طریق تنفس به بدن انسان ورود پیدا می‌کند و بیشترین اثر مخرب این فلز سنگین ممانعت از جذب انسولین است. اگرچه از نقش این فلز سنگین در آسیب‌های جدی سیستم تنفسی نمی‌توان چشم‌پوشی کرد. استنشاق

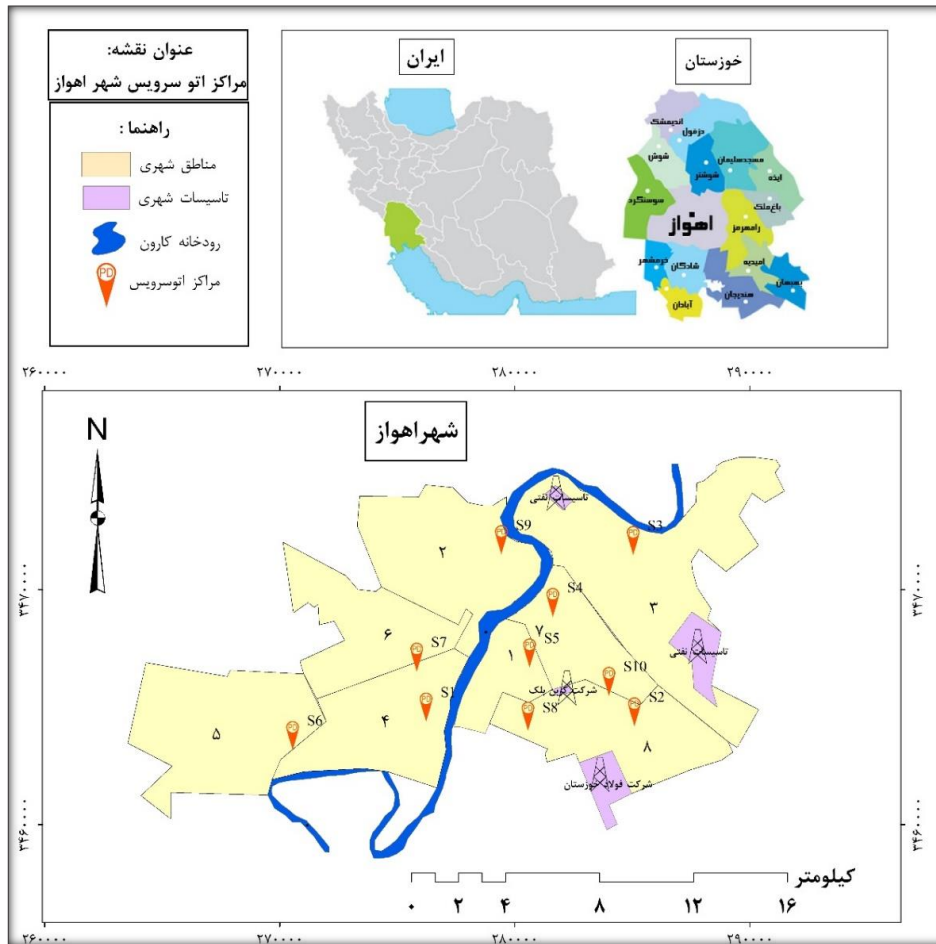
زمین‌شناسی این شهرستان است (۱۰). همچنین شرکت ملی نفت خیز جنوب، کربن بلک و صنایع فولاد از جمله مهم‌ترین صنایع این شهر به شمار می‌روند. طبق آخرین سرشماری صورت گرفته، جمعیت شهر اهواز بیش از ۱ میلیون و سیصد هزار نفر برآورده شده است (۱۱). در ابتدا ۱۰ خودرو از خودروسازی‌های مختلف ایرانی (سایپا و ایران خودرو) و خارجی (هیوندا، کیا و تویوتا) از مناطق ۸ گانه شهر اهواز انتخاب گردید. از جمله دلایل این انتخاب، پراکندگی تصادفی بوده است. شرط انتخاب خودروها عدم شستشو به مدت یک هفته بوده است. سپس از گرد و خاک فیلتر کولر و نیز کابین هر خودرو جهت پژوهش، نمونه‌هایی برداشت و درون کیسه‌های پلاستیکی مخصوص، جمع‌آوری و کدگذاری گردید. همچنین نمونه‌های گرد و خاک از داشبورد ماشین، صندلی ماشین و فرش با استفاده از براش معمولی جمع‌آوری شد و اجسام خارجی مانند مو و بقایای غذا موجود در نمونه‌های دستی به کمک پنس، حذف شد و به کمک آون دستی، نمونه‌های مذکور پودر و میزان ۱۰ g از آن برای مطالعات عنصری به آزمایشگاه منتقل گردید (۱۲).

آنالیز آزمایشگاهی بر روی نمونه‌های برداشت شده به منظور تعیین ترکیب فلزات سنگین از آنالیز طیف سنجی پلاسمای جفت شده القایی برای ۳۴ فلز سنگین، استفاده گردید و از این میان ۷ فلز سنگین (سرب، مس، کروم، آهن، روی، کادمیوم و نیکل) با درجه سمیت بیشتر، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. لازم به ذکر است آنالیزور ICP-MS از صحت و دقت بسیار بالایی در تعیین غلظت عناصر برخوردار است و حد تشخیص این آنالیز نسبت به سایر آنالیزهای عنصری بالاتر است از این رو روش مناسب‌تری برای تشخیص عناصر در نمونه‌های گرد و خاک است.

مقادیر بالایی از میزان آهن، می‌تواند احتمال ابتلا به سرطان و بیماری‌های قلبی را تشدید کند (۹). بر طبق گزارشات برنامه بین‌المللی ایمنی مواد شیمیایی (International Chemicals Safety Program (IPCS)) سطوح بالای ترکیبات نیکل منجر به اختلالات روده، تشنج و از دست دادن امیال جنسی می‌شود. سرب از جمله عناصری است که در مقادیر بسیار کم نیز می‌تواند به عنوان عنصری بالقوه خطرناک عمل کند. مشکلات عصبی، عقب ماندگی ذهنی و تاثیر بر عصب مرکزی از جمله اثرات مخرب این فلز سمی است. روی به عنوان چهارمین فلز مورد استفاده در دنیا در صورت غلظت بالا در بدن انسان، موجب بروز سرطان و اسهال می‌شود. آسیب کبد، کم خونی و تحریک عصبی معده و روده از جمله پیامدهای بهداشتی مواجهه با مقادیر بالای عنصر مس در انسان است. بیشترین عامل پراکنش مقادیر بالای مس در هوا را غالباً می‌توان به منابعی همچون سایش تایر و لنت ترمز خودروها نسبت داد (۱۰). بنابراین با توجه به موارد مطرح شده، اهداف خاص این مطالعه به طور کلی شامل بررسی مقدار فلزات سنگین انتخابی در گرد و خاک خودروهای شخصی جمع‌آوری شده از شهر اهواز و نیز ارزیابی خطر بهداشتی مواجهه با گرد و خاک خودروی شخصی از طریق بلع، استنشاق و جذب پوستی است (۱۰).

مواد و روش‌ها

شهر اهواز مرکز استان خوزستان و از جمله کلانشهرهای کشور ایران است. این شهر در موقعیت جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۶۵ دقیقه طول شرقی، در بخش جلگه‌ای خوزستان و با ارتفاع ۱۲ متر از سطح دریا واقع شده است (شکل ۱). رودخانه کارون مهم‌ترین عارضه



شکل ۱- محدوده منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری

فاکتور غنی‌شدگی (EF) یکی از جمله روش‌های ارزیابی خطرات ناشی از ناهنجاری یک عنصر در رسوب، خاک و یا گردوخاک است (معادله ۲). اساس این روش بر محاسبه غلظت عنصر به غلظت همان عنصر در ناحیه غیرآلوده به صورت نرمال شده است. در واقع با استفاده از این روش میزان غنی‌شدگی عناصر در محیط‌های خاکی که ممکن است آلوده باشند نسبت به ناحیه غیرآلوده بررسی شده و غنی‌شدگی بیش‌تر یک عنصر نشان می‌دهد که منابع انسانی در انتشارش نقش بیش‌تری دارند. شاخص غنی‌سازی می‌تواند به منظور تشخیص تفاوت‌ها بین عناصری که ناشی از فعالیت‌های

شاخص‌های ارزیابی اثرات زیست محیطی:

شاخص زمین‌انباشت (Geo-accumulation Index) یا به اختصار (I_{geo}) که در هفت طبقه دسته‌بندی می‌شود. برای توصیف غلظت عناصر و شدت آلودگی در نمونه‌ها استفاده و طبق معادله ۱ محاسبه می‌شود (۱۲)؛

$$I_{geo} = \text{Log}_2 \left[\frac{C_i}{1.5C_{ri}} \right] \quad (1)$$

C_i : غلظت عنصر i در نمونه

C_{ri} : زمینه زمین‌شیمیایی یا مقدار مرجع عنصر i

$$PLI = (CF_1 \times CF_2 \times CF_3 \times \dots \times CF_n)^{1/n} \quad (3)$$

– برای ارزیابی سطح آلودگی عناصر در هر مکان از شاخص‌های آلودگی (PI) و شاخص آلودگی یکپارچه (IPI) استفاده می‌شود. بسیاری از شاخص‌ها و روش‌های محاسبه، مانند شاخص آلودگی (PI) و شاخص یکنواختی آلودگی (IPI) برای کمی کردن درجه غنی‌شدگی عناصر یا آلودگی در خاک‌ها، و رسوبات به کار می‌روند. عموماً PI و IPI برای ارزیابی کیفیت محیط زیست به کار می‌روند. PI به عنوان نسبت غلظت عناصر در محیط به میانگین هندسی غلظت زمینه طبیعی مربوط به عنصر توصیف شده و به صورت زیر (معادله ۴) محاسبه می‌شود (۱۷).

$$PI = \frac{C_i}{S_i} \quad (4)$$

در این معادله، PI نمره ارزیابی مربوط به هر نمونه است، C_i غلظت اندازه‌گیری شده عناصر مورد بررسی در خاک و یا گردوغبار است و S_i زمینه زمین‌شیمیایی عناصر است. بر اساس شاخص آلودگی، ۳ دسته آلودگی کم ($PI < 1$)، متوسط ($1 < PI < 3$) و زیاد ($PI > 3$) معرفی شده است (۱۸). شاخص آلودگی یکپارچه (IPI) برای عناصر در هر نمونه به عنوان میانگین مقادیر PI های عناصر در نظر گرفته شده و با معادله ۵ محاسبه می‌شود (۱۹).

$$IPI = [(PI_{max}^2 + PI_{ave}^2)/2]^{1/2} \quad (5)$$

در این معادله PI_{max} بیشترین مقدار PI و PI_{ave} میانگین مقادیر PI برای عناصر در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه است. بر طبق مقدار IPI کیفیت خاک، رسوب و یا گردوغبار در ۴ رده طبقه بندی می‌شود.

– همچنین در این مطالعه ارزیابی خطر سلامتی برای فلزات سنگین، با استفاده از معادلات ۶، ۷ و ۸ برگرفته از

انسانی و ناشی از عوامل طبیعی هستند، همچنین ارزیابی درجه تاثیر فعالیت‌های انسانی به کار رود. از این شاخص برای تفریق بین عناصر نشأت گرفته از فعالیت‌های انسانی و آنهایی که منشأ طبیعی دارند یا منشأ مختلط عناصر و ارزیابی درجه اثرات انسانی استفاده می‌شود (۱۳).

$$EF = \frac{(C_x/C_{ref})_{sample}}{(C_x/C_{ref})_{background}} \quad (2)$$

به طور کلی از فاکتور غنی‌سازی برای بررسی آثار احتمالی فعالیت‌های انسانی بر غلظت آنها استفاده شد (۱۳). در این پژوهش از عنصر اسکاندیم (Sc) به عنوان عنصر مرجع استفاده شده است، زیرا این عنصر برای ترکیب‌های شیمیایی به صورت خنثی عمل می‌کند (۱۴).

پنج گروه مختلف از مقادیر EF برای تحلیل مقادیر به دست آمده تعریف شده است. مقدار عددی EF نزدیک به ۱، منشأ زمین‌زاد را نشان می‌دهد و همچنین عناصر با مقادیر ضریب غنی‌سازی بزرگتر از ۱۰ دارای غنی‌شدگی قابل توجه بوده و عمدتاً ناشی از فعالیت‌های انسانی و منابع غیرزمینی می‌باشند (۱۵).

– برای ارزیابی و تخمین شدت آلودگی در رسوب و یا گرد و خاک معمولاً از شاخص بار آلودگی (Pollution load index (PLI)) استفاده می‌شود. این شاخص بر اساس ضریب غلظت هر عنصر در رسوب و یا گرد و خاک محاسبه می‌شود و با تقسیم غلظت هر عنصر در رسوب و یا گرد و خاک به غلظت آن عنصر در نمونه مرجع (CF) بدست می‌آید. شاخص بار آلودگی برای مجموعه‌ای از عناصر آلاینده به صورت میانگین هندسی غلظت تمامی عناصر مورد نظر محاسبه می‌شود. اگر غلظت PLI به عدد یک نزدیک باشد نشان دهنده نزدیک بودن غلظت به مقدار زمینه است در حالی که PLI بالاتر از یک آلودگی رسوب و گرد و خاک را نشان می‌دهد. آلودگی کلی عنصری در منطقه با استفاده از این شاخص و از معادله ۳ بدست آمده و تفسیر می‌گردد (۱۶).

AT = میانگین زمان (ED×۳۶۵ روز)

$$ADD_{inh} = \frac{C \times InhR \times EF \times ED}{PEF \times BW \times AT} \quad (7)$$

ADD_{inh} = دوزی که از طریق تنفس وارد بدن می‌شود
 InhR = نرخ استنشاق (۱۵/۲ m³/day)
 PEF = فاکتور استنشاق ذرات قابل تنفس
 (۱/۳۶×۱۰۹ kg/m³)

$$ADD_{der} = \frac{C \times SA \times AF \times ABS \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad (8)$$

ADD_{der} = دوزی که از طریق جذب وارد بدن می‌شود
 SA = سطح پوست در مواجهه با آلاینده‌ها (۶۷۰۰ cm²)
 AF = عامل چسبندگی پوست (mg/cm²/h) برابر ۰/۰۷
 ABS = عامل جذب برابر ۰/۰۱

$$HQ = \frac{ADD}{RfD} \quad (9)$$

HQ = ضریب خطر (Hazard Quotient)
 ADD = مقدار دوز وارد شده به بدن
 Rfd = نشان دهنده مقدار مرجع

$$HI = \sum HQ = HQ_{ing} + HQ_{inh} + HQ_{der} \quad (10)$$

HI = شاخص خطر (Hazard Index)
 HQ_{inh} = ضریب خطر تنفسی؛
 HQ_{der} = ضریب خطر جذب پوستی؛
 HQ_{ing} = ضریب خطر بلع؛

$$Risk (CR) = \sum_{i=1}^n ADD \times SF \quad (11)$$

CR = شاخص سرطان‌زایی (Cancer Risk)

USEPA Exposure Handbook محاسبه گردید. بر اساس این شاخص C بیانگر غلظت عنصر (mg/kg)، IngR میزان جذب گرد و خاک آلوده (۳۰ mg در روز)، EF فرکانس مواجهه (۳۵۰ روز در سال)، ED مدت زمان مواجهه (۵ سال) است. BW وزن بدن (۷۰ kg برای بزرگسالان و ۱۵ kg برای کودکان)، AT میانگین زمان (ED×۳۶۵ روز)، InhR نرخ استنشاق (۱۵/۲ m³/day)، PEF فاکتور استنشاق ذرات قابل تنفس (۱/۳۶×۱۰۹ kg/m³)، SA سطح پوست در معرض آلاینده‌ها (۶۷۰۰ cm²)، AF عامل چسبندگی پوست (۰/۰۷ mg/cm²/h) و ABS عامل جذب (۰/۰۱ پوستی) است. همچنین ADD (Average Daily Dose) از سه مسیر مواجهه، ضریب خطر (Hazard Quotient (HQ)) و شاخص‌های خطر (Hazard Index (HI))، خطر غیر سرطان‌زایی در طول زندگی را طبق معادله ۹ و ۱۰ بیان می‌کند (۲۰). همچنین شاخص سرطان‌زایی (Cancer Risk (CR)) برای سه فلز سنگین کروم، آرسنیک و کادمیوم طبق معادله ۱۱ محاسبه شده است. بر اساس این شاخص‌ها نسبت‌های کمتر از یک بیانگر وجود پتانسیل بالقوه خطر و نیز مقادیر بیش از یک بیانگر وجود پتانسیل بالفعل یک عنصر از طریق سه مسیر تنفسی (HQ_{inh})، جذب پوستی (HQ_{der}) و بلع (HQ_{ing})، برای فرد محتمل است (۲۱).

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

ADD_{ing} = دوزی که از طریق بلع وارد بدن می‌شود
 C = بیانگر غلظت عنصر (mg/kg)
 IngR = میزان جذب گرد و خاک آلوده
 (در ۳۰ روز یک ماه)
 EF = فرکانس مواجهه (۳۵۰ روز سال)
 ED = مدت زمان مواجهه (۵ سال)
 BW = وزن بدن (۷۰ kg برای بزرگسالان و ۱۵ kg برای کودکان)؛

مقادیر مربوط به شاخص سرطان‌زایی در عناصر Cr، Cd و As در گروه سنی کودکان بیشتر از بزرگسالان است. مسیر مواجهه در خصوص این شاخص برای کودکان عبارت است از $HQ_{ing} > HQ_{inh} > HQ_{der}$ و در بزرگسالان عبارت است از $HQ_{inh} > HQ_{ing} > HQ_{der}$ می‌باشد که بیانگر خطر مواجهه با فلزات سنگین از مسیر بلع برای کودکان و مسیر تنفس برای بزرگسالان است.

در نهایت اعلام می‌شود که در مطالعه حاضر میزان غلظت فلزات سنگین فیلتر بیش از کابین و نیز میزان غلظت فلزات سنگین فیلتر خودروهای خارجی بیش از فیلترهای خودروهای داخلی برآورد گردید؛ زیرا فیلتر هوا درون خودروها که از مواد سلولزی، کتان و اسفنج مانندی ساخته شده است، غالباً از ورود هوا به محفظه موتور خودرو ممانعت می‌کند (نمودار ۱ و ۲).

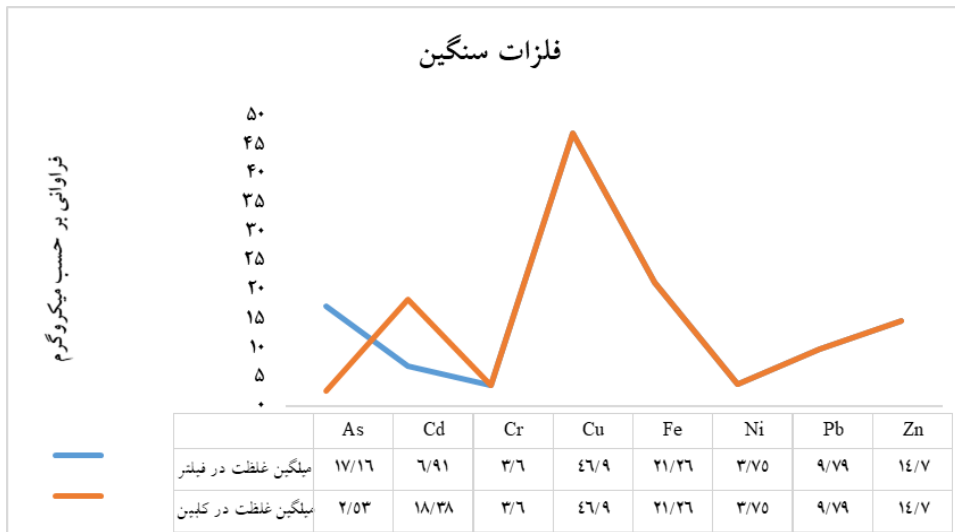
جدول ۳ نشان می‌دهد که شاخص HI بیانگر مقادیر بیش از ۱ و به عبارتی تبعیت خطر بالای فلزات سنگین موجود در گرد و خاک از روند؛ $Pb > Cu > Cr > Fe > Zn > Cd > Ni$ است که این ترتیب برای رده سنی کودکان و بزرگسالان به صورت یکسان صدق می‌کند. مطابق جدول ۳ مقادیر مربوط به شاخص غیر سرطان‌زایی در عناصر Pb، Cd، Ni و در گروه سنی کودکان بیشتر از بزرگسالان و مقادیر همین شاخص در خصوص عناصر Cr، Cu و Fe معکوس است به عبارتی در بزرگسالان بیش از کودکان می‌باشد، این درحالی است که مقدار عنصر Zn در هر دو گروه سنی برابر است. مسیر مواجهه برای کودکان در خصوص تمامی عناصر به صورت $HQ_{der} > HQ_{inh} > HQ_{ing}$ است بجز عنصر Pb که به صورت $HQ_{ing} > HQ_{inh} > HQ_{der}$ می‌باشد. این مسیر برای بزرگسالان در خصوص تمامی عناصر به صورت $HQ_{inh} > HQ_{der} > HQ_{ing}$ است.

جدول ۳- مقادیر شاخص غیر سرطان‌زایی و نسبت خطر در مطالعه حاضر

فلز سنگین	HQ_{ing}		HQ_{der}		HQ_{inh}		HI	
	کودکان	بزرگسالان	کودکان	بزرگسالان	کودکان	بزرگسالان	کودکان	بزرگسالان
Pb	۰/۶	۰/۶	۰/۷	۰/۶	۰/۶	۰/۷	۲/۹	۳
Cu	۰/۶	۰/۶	۰/۸	۱/۳	۱/۳	۰/۷	۲/۶	۲/۵
Cr	۰/۴۵	۰/۴۵	۰/۷۵	۱/۲	۱/۲	۰/۶۵	۲/۳	۲/۲
Fe	۰/۳	۰/۴	۰/۶	۱/۱	۰/۹	۰/۶	۱/۹	۱/۸۵
Zn	۰/۲۵	۰/۵	۰/۵	۱/۰۵	۰/۹	۰/۵	۱/۷	۱/۷
Cd	۰/۲	۰/۴	۰/۴	۱	۰/۸	۰/۵	۱/۵	۱/۶
Ni	۰/۱	۰/۳	۰/۳	۰/۹	۰/۷۵	۰/۴۵	۱/۱	۱/۴

جدول ۴- مقادیر شاخص سرطان‌زایی در مطالعه حاضر

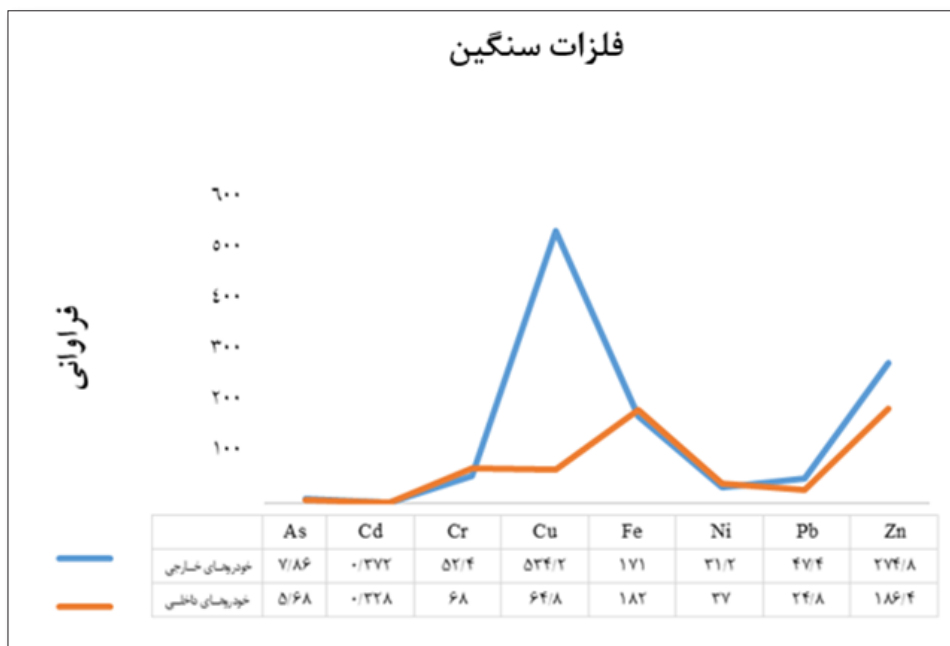
فلز سنگین	HQ_{ing}		HQ_{inh}		HQ_{der}		CR	
	کودکان	بزرگسالان	کودکان	بزرگسالان	کودکان	بزرگسالان	کودکان	بزرگسالان
Cd	۰/۸	۱/۲	۰/۹	۰/۹	۰/۹	۰/۷	۲/۴	۲/۷
Cr	۰/۹	۱/۲	۱	۱	۱	۰/۷	۲/۶	۲/۹
As	۱/۱	۱/۴	۱/۲	۱/۱	۱/۱	۰/۹	۳/۲	۳/۴



نمودار ۱- مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین درون فیلتر و کابین در مطالعه حاضر

مورد مطالعه است. غلظت As در نمونه فیلتر و غلظت Cd در نمونه کابین بیشتر است.

نمودار ۱ بیانگر تساوی غلظت فلزات سنگین Zn و Pb، Ni، Fe، Cu، Cr درون فیلتر و کابین خودروهای



نمودار ۲- مقایسه غلظت فلزات سنگین فیلتر هوا خودروهای داخلی و خارجی

خارجی بیش از فیلتر خودروهای داخلی است.

نمودار ۲ نشان می‌دهد که غلظت تمامی فلزات سنگین مورد مطالعه بجز Cr، در نمونه‌های فیلتر خودروهای

بحث

محاسبه فاکتور غنی‌شدگی نمونه‌های مورد مطالعه، بیشترین و کمترین مقدار را به ترتیب برای عنصر مس ۴/۳ و نیکل ۸/۳ نشان داد. مقادیر این فاکتور برای غلظت سایر عناصر مورد مطالعه عبارت است از مس (۳۱/۷)، آهن (۲۲/۱)، روی (۱۵/۴)، سرب (۸/۴۵)، کروم (۳/۸۴) و نیکل (۳/۸). با توجه به اینکه مقادیر مورد محاسبه بیش از ۱ است، بیانگر منشاء انسان‌زاد در افزایش مقادیر فلزات سنگین گرد و خاک کابین خودروهای مورد مطالعه است.

طبق مقادیر اندازه‌گیری شده در جدول ۳، مقایسه شاخص HI بیانگر مقادیر بیش از ۱ و به عبارتی ریسک خطر بالای فلزات سنگین موجود در گرد و خاک عبارت است از: $Pb > Cu > Cr > Fe > Zn > Cd > Ni$ این ترتیب برای رده سنی کودکان و بزرگسالان صدق می‌کند. اگرچه خطر غیر سرطان‌زایی برای کودکان در تمامی فلزات سنگین نامبرده بجز Fe و Cu بیش از بزرگسالان است. در مطالعه Zheng و همکاران در سال ۲۰۱۰ در شمال شرقی چین، ارزیابی مشابهی از خطر آرسنیک و کروم گزارش شده که با مطالعه حاضر تطابق دارد (۲۳). از مقایسه شاخص خطر سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی، خطر و شاخص مذکور در کودکان بیش از بزرگسالان است. همچنین مسیر اصلی ورود فلزات سنگین به بدن کودکان و بزرگسالان به ترتیب بلع و راه تنفسی است. از جمله دلایل این امر، می‌توان به تمایل بیشتر کودکان به تغذیه و نیز مکیدن دست و انگشتان اشاره نمود (۲۴، ۲۵).

طبق نتایج حاصل از بررسی شاخص ارزیابی ریسک سرطان‌زایی (جدول ۳) مرتبط با سه فلز سنگین کادمیوم، آرسنیک و کروم، مسیر سرطان‌زایی برای کودکان عبارت است از $HQ_{der} > HQ_{inh} > HQ_{ing}$ و برای بزرگسالان به ترتیب $HQ_{inh} > HQ_{ing} > HQ_{der}$ است (جدول ۴). به عبارتی بررسی شاخص CR نیز مانند شاخص HI و HQ برای کودکان بلع و برای بزرگسالان سیستم تنفسی را هدف فلزات سنگین برآورد کرده است.

در مطالعه انجام شده توسط Tay و همکاران (۲۰۲۱) در مالزی با مقایسه میزان فلزات سنگین موجود در کابین و فیلتر خودروها، مقدار این فلزات را در نمونه‌های فیلتر بیش از کابین خودروها گزارش داده‌اند (۲۶) که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد (نمودار ۱). Nematollahi و همکاران، از جمله مهم‌ترین دلایل این امر را میزان تجمع بیشتر این عناصر در هوا بیان کرده‌اند (۴). همچنین با توجه به اینکه کابین داخلی خودروها اغلب مورد نظافت قرار می‌گیرد، اختلاف غلظت فلزات سنگین موجود در کابین و فیلتر قابل توجه است. در نهایت با توجه به اینکه خودروهای مورد مطالعه خودروهای شخصی بوده و سیستم ناوگان حمل و نقل شهری نمی‌باشند، اختلاف مقادیر گزارش شده با مطالعه انجام شده توسط Keshavarzi و همکاران (۲۰۱۵)، که اتوبوس‌های میان شهری را مورد مطالعه قرار داده‌اند، قابل توجه است (۲۲).

همانطور که در نمودار ۲ نشان داده شده است، میزان جذب و غلظت فلزات سنگین موجود در فیلتر هوای خودروهای خارجی بیشتر از خودروهای داخلی است. با توجه به اینکه فیلتر هوا درون خودروها که از مواد سلولزی، کتان و اسفنج ماندی ساخته شده، غالباً از ورود هوا به محفظه موتور خودرو ممانعت می‌کند. بسته به محیط جغرافیایی و میزان آلاینده‌های هوا بازه زمانی تعویض فیلتر هوا در مناطق مختلف، متفاوت است. به همین جهت شرکت‌های خودروسازی ایران، بهترین بازه زمانی را جهت تعویض فیلتر خودروها، به ازای هر ۵ کیلومتر اعلام می‌کنند، این در حالی است که خودروسازی‌های خارجی همچون BMW، مرسدس بنز آلمان و تویوتا ژاپن هر ۱۲ الی ۹ کیلومتر و فولکس واگن و هیوندای کره هر ۹ الی ۷ را بهترین زمان مناسب برای تعویض فیلتر خودرو در نظر گرفته‌اند. لازم به ذکر است جنس فیلتر هوا نیز از جمله عوامل مهم و موثر در میزان جذب فلزات و نیز بازه زمانی تعویض فیلتر هوا است. جنس فیلتر هوای شرکت‌های خودروسازی داخلی ایران، غالباً از نوع سلولزی است که از گستردگی مصرف بالایی در کشورهای در حال توسعه، برخوردار است. از جمله دلایل این

زمین است، به همین دلیل وجود مقادیر بالای آهن در نمونه‌های گرد و خاک دور از انتظار نیست. همچنین سایش، پارگی تیره‌های لاستیکی و چسبندگی و نهایتاً انتقال این عناصر به درون کابین خودرو از جمله عوامل افزایش میزان روی در نمونه‌های گرد و خاک است. افزایش مقادیر عناصری چون کادمیوم، مس، روی و سرب را به ویژه می‌توان آلودگی صنایع معرفی نمود (۲۱). محدودیت مطالعه حاضر تعداد کم خودروهای مورد مطالعه است که با توجه به کلاتشهر بودن شهر اهواز و نیز فرسودگی ناوگان حمل و نقل عمومی، پیشنهاد می‌شود در مطالعات بعدی، اتوبوس‌های شهری مورد مطالعه قرار گیرند.

نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر مقادیر فلزات سنگین مورد مطالعه بیش از استانداردهای تعیین شده است. فاکتورهای مواجهه و ارزیابی پارامترهای ریسک در این مطالعه، سطح خطر سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی را برای کودکان و بزرگسالان، در محدوده مخاطره نشان داد. در مطالعه انجام شده غنی‌شدگی فلزات سنگین در فیلتر خودرو، بیش از کابین است.

ملاحظات اخلاقی

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

تشکر و قدردانی

این مقاله بخشی از رساله کارشناسی ارشد تحت عنوان "بررسی فاکتورهای آلودگی و ریسک خطر سلامت ناشی از فلزات سنگین موجود در گرد و خاک درون کابین و فیلتر هوای خودروهای مختلف در شهر اهواز" در سال ۱۴۰۱ در دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید چمران اهواز است که نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از زحمات و حمایت تمامی اساتید این دانشکده تقدیر و تشکر به عمل آورند.

امر را می‌توان دسترسی آسان به مواد اولیه و صرفه اقتصادی عنوان کرد. این در حالی است که کشورهای توسعه یافته و پیشرفته غالباً از فیلترهایی با خاصیت نانو استفاده می‌کنند که قدرت جذب بالای ذرات غبار و محدودسازی ورود ذرات به موتور خودرو را دارا هستند (۲۷).

در ارتباط با فاکتور غنی‌شدگی، Li و همکاران (۲۰۱۵) نیز نتایج مشابه این غلظت‌ها را در مطالعه خود در چین گزارش کردند که بیشترین میزان غنی‌شدگی را مربوط به فلز سنگین مس، گزارش دادند (۲۱). همچنین Keshavarzi و همکاران (۲۰۱۵)، نیز با مطالعه سطوح آلودگی فلزات سنگین در گرد و غبار خیابانی شهر شیراز، فاکتور غنی‌شدگی فلز سنگین مس و روی را ۱۰ برابر بیش از حد استانداردهای جهانی عنوان کردند که با توجه به وجود این عناصر در صنایع و نیز وجود صنعت فولاد در شهر اهواز، این امر بدیهی است (۲۲). در این مطالعه محاسبه شاخص زمین انباشت نمونه‌های مورد مطالعه، بیشترین و کمترین مقدار را به ترتیب برای عنصر آهن ۱۲/۷۵ و نیکل ۱/۹ نشان داد.

نتایج مطالعه Reimann و همکاران در اندونزی در سال ۲۰۰۵، بیشترین و کمترین مقدار میزان شاخص آلودگی نمونه‌های مورد مطالعه را به ترتیب برای عنصر مس ۷/۵ و نیکل ۰/۹ نشان داد (۲۸). در خصوص ارزیابی خطر غیرسرطان‌زایی Wei و همکاران در سال ۲۰۱۵ در یکی از استان‌های چین، میزان ارزیابی خطر غیرسرطان‌زایی فلزات سنگین را به ترتیب $Ni > Cd > Zn > Fe > Cr > Cu > Pb$ گزارش کردند (۲۳)؛ که اگر چه ترتیب فوق با مطالعه حاضر تطابق دارد اما مقادیر گزارش شده بسیار کمتر از مقادیر مطالعه حاضر است. با وجود اینکه طبق آخرین استانداردها، استفاده از بنزین سوپر بیش از پیش تاکید و فراگیر شده است، اما دلیل مقادیر بالای سرب موجود در نمونه‌های گرد و خاک را می‌توان ناشی از مصرف بنزین، روغن موتور، روغن ترمز و نیز صنایع بیان نمود. عنصر کروم و نیکل از جمله عناصری هستند که بیشتر منشاء زمین‌زاد دارند (۲۴). آهن از جمله عناصر اصلی تشکیل دهنده پوسته

References

1. Gui K, Yao W, Che H, An L, Zheng Y, Li L, et al. Record-breaking dust loading during two mega dust storm events over northern China in March 2021: Aerosol optical and radiative properties and meteorological drivers. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2022;22(12):7905-32.
2. Rangzan K, Zarasvandi A, Kabolizadeh M, Mohammadi S, Mayahi J. Spatiotemporal evaluation of PM_{2.5} concentration in Khuzestan province and examining the factors affecting it. *Environmental Sciences*. 2022;20(2):199-222.
3. Mayahi J, Eskandari Dameneh H, Zarasvandi A. Assessments Land Cover change Effects on Soil Erosion Trend in Hoor-al-Azim wetland, Southwestern of Iran. *Journal of Natural Environmental Hazards*. 2021;10(27):107-22.
4. Nematollahi MJ, Abbasi S, Mohammadi Z, Najmeddin A, Moravej S, Yousefi MR, et al. Evaluation of the 13 May 2018 frontal dust storm in Shiraz: Stable isotopes signature, source apportionment, and concentration of potentially toxic elements. *Aeolian Research*. 2022;58:100820.
5. Aili A, Xu H, Zhao X. Health effects of dust storms on the south edge of the Taklimakan Desert, China: a survey-based approach. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022;19(7):4022.
6. Nkosi V, Mathee A, Blesic S, Kapwata T, Kunene Z, du Preez DJ, et al. Exploring meteorological conditions and human health impacts during two dust storm events in Northern cape province, South Africa: findings and lessons learnt. *Atmosphere*. 2022;13(3):424.
7. Luo H, Wang Q, Guan Q, Ma Y, Ni F, Yang E, et al. Heavy metal pollution levels, source apportionment and risk assessment in dust storms in key cities in Northwest China. *Journal of Hazardous Materials*. 2022;422:126878.
8. Zhang D, Li H, Luo X-S, Huang W, Pang Y, Yang J, et al. Toxicity assessment and heavy metal components of inhalable particulate matters (PM_{2.5} & PM₁₀) during a dust storm invading the city. *Process Safety and Environmental Protection*. 2022;162:859-66.
9. Alghamdi AG, El-Saeid MH, Alzahrani AJ, Ibrahim HM. Heavy metal pollution and associated health risk assessment of urban dust in Riyadh, Saudi Arabia. *Plos One*. 2022;17(1):e0261957.
10. Maleki H, Sorooshian A, Alam K, Fathi A, Weckwerth T, Moazed H, et al. The impact of meteorological parameters on PM₁₀ and visibility during the Middle Eastern dust storms. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 2022;20(1):495-507.
11. Naimabadi A, Shirmardi M, Goudarzi G, Ghadiri A, Oskoei V, Mohammadi AA, et al. In vitro cytotoxicity effects of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) associated with PM₁₀ during the Middle Eastern Dust (MED) storms in Ahvaz. *Arabian Journal of Geosciences*. 2022;15(6):531.
12. Tang R, Ma K, Zhang Y, Mao Q. The spatial characteristics and pollution levels of metals in urban street dust of Beijing, China. *Applied Geochemistry*. 2013;35:88-98.
13. Wei B, Jiang F, Li X, Mu S. Heavy metal induced ecological risk in the city of Urumqi, NW China. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2010;160:33-45.
14. Abraham G, Parker R. Assessment of heavy metal

- enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2008;136(1-3):227-38.
15. Yongming H, Peixuan D, Junji C, Posmentier ES. Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dusts of Xi'an, Central China. *Science of The Total Environment*. 2006;355(1-3):176-86.
16. Vafabakhsh K, Kharghany K, editors. Effects of treated municipal wastewater on quality and yield of cucumber and carrot. Agricultural resource recycling Symp, Isfahan. Khorasgan Azad University. Agricultural College, Iran; 2000. (in Persian)
17. Faiz Y, Tufail M, Javed MT, Chaudhry M. Road dust pollution of Cd, Cu, Ni, Pb and Zn along islamabad expressway, Pakistan. *Microchemical Journal*. 2009;92(2):186-92.
18. Chen T-B, Zheng Y-M, Lei M, Huang Z-C, Wu H-T, Chen H, et al. Assessment of heavy metal pollution in surface soils of urban parks in Beijing, China. *Chemosphere*. 2005;60(4):542-51.
19. Morton-Bermea O, Hernández-Álvarez E, Lozano R, Guzmán-Morales J, Martínez G. Spatial distribution of heavy metals in top soils around the industrial facilities of Cromatos de México, Tultitlan Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2010;85:520-24.
20. EPA U. Exposure factors handbook 2011 Edition (Final). US Environmental Protection Agency, Washington, DC. EPA/600/R-09, 2011.
21. Li P, Lin C, Cheng H, Duan X, Lei K. Contamination and health risks of soil heavy metals around a lead/zinc smelter in southwestern China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2015;113:391-99.
22. Keshavarzi B, Tazarvi Z, Rajabzadeh MA, Najmeddin A. Chemical speciation, human health risk assessment and pollution level of selected heavy metals in urban street dust of Shiraz, Iran. *Atmospheric Environment*. 2015;119:1-10.
23. Wei X, Gao B, Wang P, Zhou H, Lu J. Pollution characteristics and health risk assessment of heavy metals in street dusts from different functional areas in Beijing, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2015;112:186-92.
24. Micó C, Recatalá L, Peris M, Sánchez J. Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area by multivariate analysis. *Chemosphere*. 2006;65(5):863-72.
25. Zheng N, Liu J, Wang Q, Liang Z. Health risk assessment of heavy metal exposure to street dust in the zinc smelting district, Northeast of China. *Science of The Total Environment*. 2010;408(4):726-33.
26. TAY JH, Zakaria N. Heavy metals in private car dusts collected from Universiti Malaysia Pahang, Gambang Campus: Contamination and human health risks. *Current Science and Technology*. 2021;1(2):52-57.
27. Shi T, Wang Y. Heavy metals in indoor dust: Spatial distribution, influencing factors, and potential health risks. *Science of The Total Environment*. 2021;755:142367.
28. Reimann, Clemens, de Caritat, Patrice, 2005. Distinguishing between natural and anthropogenic sources for elements in the environment: regional geochemical surveys versus enrichment factors. *Science of The Total Environment* 337 (1-3), 91-107.



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

Original Article



Investigating the factors of pollution and the health risk caused by heavy metals in the dust inside the cabin and air filter of different cars in Ahvaz city

Alireza Zarasvandi*, Maryam Delphi, Nadia Azizi, Fatima Rastmanesh, Gazelle Zarasvandi

Department of Geology, Faculty of Earth Science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 16 August 2023
Revised: 01 November 2023
Accepted: 07 November 2023
Published: 06 December 2023

Keywords: Health risk, Heavy metals, Car cabin, Car air filter, Ahvaz city

*Corresponding Author:

zarasvandi_a@scu.ac.ir

ABSTRACT

Background and Objective: During the last few decades, heavy metal pollution in indoor dust has been widely studied; While, the quality of the environment inside the cars has not been considered enough. Therefore, the specific objectives of this study generally include investigating the levels of selected heavy metals in the dust of private cars collected from Ahvaz city, as well as evaluating the health risk of carcinogenesis and exposure to the dust inside these cars through ingestion, inhalation, and skin absorption.

Materials and Methods: 10 cars were selected for this study. The condition of choosing the cars was not to wash the car for a week. Then, samples were collected and coded from the dust of the air conditioner filter and the cabin of each car. To determine the composition of heavy metals, spectroscopic analysis (ICP) was performed on the samples.

Results: The study of non-carcinogenic risk index (HI) in the present study indicates that the values of more than 1 and the health risk is high. The sequence of HI index values for heavy metals was obtained as $Pb > Cu > Cr > Fe > Zn > Cd > Ni$. Evaluated risks from different pathways in children was $HQ_{ing} < HQ_{inh} < HQ_{der}$ while in adults follows $HQ_{ing} < HQ_{der} < HQ_{inh}$ process. Additionally, the values of enrichment factor of the studied samples showed the maximum and minimum values for Cu (4.3) and Ni (8.3), the maximum and minimum geoaccumulation index for Fe (12.75) and Ni (1.9) and the amount of integrated pollution and pollution index were estimated to be 1.34×10^{27} and 2.07×10^9 , respectively, indicating the average range for the studied heavy metals.

Conclusion: According to this study, the risk of non-carcinogenic risk of heavy metals (except Fe and Cu) for children is estimated to be higher than that of adults. Furthermore, the investigation of the CR index for the three carcinogenic heavy metals (cadmium, chromium, and arsenic) has exceeded the safe level, which indicates ingestion and inhale as the target pathways for the worst adverse effects of heavy metals in children and adults, respectively. In the present study, the amount of heavy metals studied is more than the set standards. The results of the current study showed the more enrichment of heavy metals in the car filter as compared with the cabin.

Please cite this article as: Zarasvandi A, Delphi M, Azizi N, Rastmanesh F, Zarasvandi G. Investigating the factors of pollution and the health risk caused by heavy metals in the dust inside the cabin and air filter of different cars in Ahvaz city. Iranian Journal of Health and Environment. 2023;16(3):501-14.

