ORIGINAL ARTICLE

Human Health Risk Assessment of Cadmium Exposure in Dry Deposition of Atmospheric Dust (Uncertainty Analysis)

Hamid Karyab[1],
Yaghoub Hajizadeh[2],
Seyed Alireza Babaee[3,4]

[1] Associate Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, Iran
[2] Associate Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
[3] MPH, Department of Health Education and Health Promotion, School of Public Health, Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, Iran
[4] PhD Student in of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran

(Received February 7, 2020 ; Accepted May 18, 2021)

Abstract

Background and purpose: The atmospheric suspended particulate matter is a major route of human exposure to different kinds of environmental pollutants especially toxic heavy metals. The aim of this study was to assess the carcinogenic and non-carcinogenic risk of cadmium in dry deposition of atmospheric dust in Qazvin, Iran.

Materials and methods: Glass traps were used for sampling dry atmospheric dust. To determine the concentration of cadmium (Cd), the samples were injected into ICP-OES after preparation. Then, the risk of carcinogenicity and non-carcinogenicity of Cd was calculated in children and adults.

Results: The mean concentration of Cd was 0.0164 mg/kg. Cumulative non-carcinogenic risk (HI) in all exposure pathways for children and adults were 2.31E-4 and 1.94 E-4, respectively. The cumulative carcinogenic risk (TCR) in children and adults were 4.72 E-9 and 9.21 E-9, respectively.

Conclusion: The risk of carcinogenicity and non-carcinogenicity due to the presence of cadmium in atmospheric dust and exposure in children and adults was found to be lower than acceptable limits. However, due to increasing air pollution in the future, it may cause harmful effects to the health of citizens.

Keywords: air pollution, risk assessment, atmospheric dust, heavy metals

J Mazandaran Univ Med Sci 2021; 31 (199): 66-80 (Persian).

* **Corresponding Author: Seyed Alireza Babaee -** School of Public Health, Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, Iran (E-mail: s.alireza_babaee@yahoo.com)

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-13]

پژوهشی

مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران
دوره سی و یکم شماره 199 مرداد سال 1400 (80-66)

ارزیابی خطر سلامت انسانی ناشی از مواجهه با کادمیوم در گرد و غبار خشک اتمسفری [آنالیز عدم قطعیت]

حمید کاریاب[1]
یعقوب حاجی زاده[2]
سیدعلیرضا بابایی[3و4]

چکیده

سابقه و هدف: ذرات معلق هوابرد یکی از مهم‌ترین مسیرهای مواجهه انسان با انواع آلودگی‌های محیطی به‌ویژه فلزات سنگین است. هدف از این مطالعه ارزیابی خطر سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی کادمیوم در گرد و غبار خشک اتمسفری در شهر قزوین بود.

مواد و روش‌ها: برای نمونه‌برداری ذرات خشک راسب شونده اتمسفری از تله شیشه‌ای استفاده شد. جهت تعیین غلظت فلز کادمیوم، نمونه‌ها پس از آماده‌سازی به دستگاه ICP-OES تزریق شدند. با توجه به نتایج به‌دست آمده خطر سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی ناشی از کادمیوم در گروه‌های سنی کودکان و بزرگسالان محاسبه شد.

یافته‌ها: میانگین غلظت کادمیوم در گرد و غبار اتمسفری شهر قزوین 0/0164 میلی‌گرم در کیلوگرم بود. خطر تجمعی غیرسرطانزایی (HI) در همه مسیرهای مواجهه برای کودکان و بزرگسالان به‌ترتیب $2/31\times10^{-4}$ و $1/94\times10^{-4}$ به‌دست آمد. همچنین مقدار خطر تجمعی سرطان‌زایی (TCR) در کودکان $4/72\times10^{-9}$ و در بزرگسالان $9/21\times10^{-9}$ محاسبه شد.

استنتاج: میزان خطر سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی ناشی از وجود کادمیوم در گرد و غبار خشک اتمسفری و مواجهه در کودکان و بزرگسالان کم‌تر از حدود مجاز قابل قبول بود. با این حال به دلیل آلودگی روز افزون هوا در آینده، ممکن است کادمیوم منجر به ایجاد اثرات زیانبار بر سلامت شهروندان شود.

واژه های کلیدی: آلودگی هوا، ارزیابی ریسک، ذرات اتمسفری، فلزات سنگین

مقدمه

یکی از مهم‌ترین چالش‌های بهداشتی و زیست محیطی کنونی در جوامع شهری و صنعتی آلودگی هوا است(1). توسعه روزافزون جوامع بشری و افزایش فعالیت‌های اقتصادی و صنعتی در عصر حاضر بدون توجه به ارزیابی اثرات این فعالیت‌ها موجب ورود آلاینده‌های مختلف به اتمسفر و تشدید آلودگی هوا شده است(2). در این میان ذرات معلق هوابرد به عنوان یکی از بزرگ‌ترین مخاطرات اقلیمی و زیست‌محیطی در مناطق خشک و نیمه خشک به شمار می‌روند(3). منبع اصلی ذرات معلق هوابرد، فرسایش خاک و وقوع طوفان‌های گرد و غبار

مولف مسئول: سیدعلیرضا بابایی - قزوین: بلوار شهید باهنر، دانشگاه علوم پزشکی قزوین، دانشکده بهداشت E-mail: s.alireza_babaee@yahoo.com
1. دانشیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی قزوین، قزوین، ایران
2. دانشیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان،اصفهان، ایران
3. MPH، گروه آموزش بهداشت و ارتقاء سلامت، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی قزوین، قزوین ایران
4. دانشجوی دکتری بهداشت محیط، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان،اصفهان، ایران
تاریخ دریافت : 1399/11/19 تاریخ ارجاع جهت اصلاحات :1399/11/20 تاریخ تصویب : 1400/2/28

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-13]

است. هنگامی که که سرعت باد از حد آستانه فرسایش بیش‌تر شود منجر به کنده شدن ذرات ریز خاک از سطح زمین و انتقال آن‌ها به اتمسفر می‌گردد(4). در سال‌های اخیر، تأثیر عوامل طبیعی همانند خشکسالی‌های مداوم، کاهش بارندگی و رطوبت نسبی محیط همراه با دخالت‌های انسان مانند استفاده بی‌رویه از منابع آبی و چرای بیش از حد دام‌ها باعث تنک شدن یا از بین رفتن کامل پوشش گیاهی در مناطق مستعد و گسترش شدید گرد و غبار شده است، به‌طوری‌که در کوتاه مدت اثرات بسیار نامطلوبی بر محیط زیست، اقتصاد و سلامت ساکنین 17 استان کشور گذاشته است(5). خشکی و افزایش بیابان‌زایی توسط فعالیت‌های انسانی می‌توانند قابلیت و نرخ تولید گرد و غبار حمل شده را افزایش دهند(6). ذرات گرد و غبار با اندازه‌های ریز (کم تر از 10نانومتر) می‌توانند به فواصل بسیار دور و ارتفاعات بالای جو انتقال یابند و در نهایت به‌صورت خشک و یا مرطوب ترسیب شوند. گرد و غبار خشک در مناطق خشک و نیمه خشک، مهم‌ترین مسیر ورود آلاینده‌های اتمسفری به محیط‌زیست می‌باشد. اهمیت گرد و غبار خشک اتمسفری ناشی از نگرانی‌های مرتبط با مواد همراه فرونشستی است که از این طریق به محیط‌های خاکی و آبی وارد می‌شوند و در نتیجه بر سلامت انسان‌ها تأثیر منفی می‌گذارند(7). این فرآیند به خصوص در مناطق مجاور با مناطق صنعتی و شهری که غلظت ذرات آلاینده زیاد است اهمیتی ویژه می‌یابد. وسعت تأثیر گرد و غبار بر کیفیت هوا، سلامت عمومی و اقلیم، به اندازه ذرات و ترکیب شیمیایی آن‌ها بستگی دارد(9،8). ورود بیش از اندازه فلزات سنگین و سایر آلاینده‌ها به محیط زیست از طریق گرد و غبار خشک اتمسفری می‌تواند در چرخه بیولوژیک و بیوژئوشیمیایی اکوسیستم تأثیر نامطلوب داشته باشد(10). به‌طور کلی آلودگی ذرات گرد و غبار به فلزات سنگین به علت سمیت، تجزیه ناپذیری و تجمع‌پذیری این عناصر یک مشکل جدی تلقی می‌گردد از این رو بررسی میزان آلودگی این ذرات به فلزات سنگین به دلیل تهدیداتی که می‌تواند متوجه سلامت انسان کند، مهم است(11). اثرات زیانبار مواجهه با فلزات سنگین بر سلامت انسان از جمله مسمومیت‌های حاد و مزمن و بیماری‌های زیادی از قبیل اختلالات عصبی، فقر مواد غذایی، برهم خوردن تعادل هورمون‌ها، چاقی، سقط جنین، اختلالات قلبی و تنفسی، آسیب‌های کبدی و کلیوی، آسم و آلرژی، عفونت‌های ویروسی مزمن، کاهش آستانه تحمل بدن، ناباروری، کم‌خونی و خستگی، تضعیف سیستم ایمنی بدن، تخریب ژن‌ها، پیری زودرس، کاهش حافظه، پوکی استخوان، ریزش مو، بی‌خوابی، انواع سرطان و مرگ از جهات مختلف به اثبات رسیده است(13،12). شهر قزوین به عنوان مرکز استان و یکی از مهم‌ترین شهرهای ایران محسوب می‌گردد، هر چند توزیع فضای سبز به دلیل وجود باغات گسترده سنتی در اطراف این شهر مناسب است، اما به‌دلیل استقرار صنایع آلاینده در اطراف شهر، مجاورت با چندین شهرک صنعتی و آزاد راه‌های قزوین- تهران، قزوین- رشت و قزوین- زنجان و روند فزاینده افزایش تعداد خودروها از یک سو و بروز پدیده خشکسالی و گسترش روند بیابانی شدن در دشت‌های جنوبی قزوین به‌دلیل اقلیم نیمه خشک، افت شدید منابع آبی و از بین رفتن پوشش گیاهی همراه با هجوم ریزگردها از غرب کشور از سوی دیگر در سالیان اخیر موجب افزایش غلظت و درگیری این شهر با پدیده ذرات معلق اتمسفری شده است. با وجود مطالعات زیادی که در خصوص بررسی و اندازه‌گیری ذرات معلق در شهرهای مختلف کشور انجام شده است، متاسفانه مطالعات اندکی، خطر سرطان‌زایی و غیرسرطان زایی فلزات سنگین را در گرد و غبار خشک اتمسفری مورد توجه قرار داده‌اند. این مطالعه با هدف ارزیابی خطرات بهداشتی فلز سنگین کادمیوم در گردو غبار خشک اتمسفری شهر قزوین در سال 1398 انجام شد.

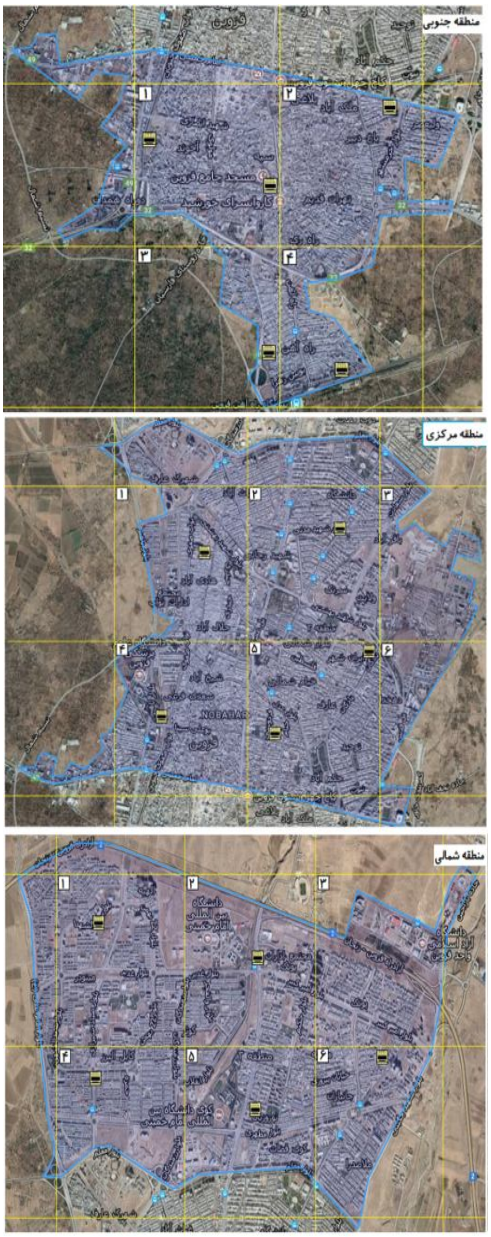
[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-13]

مواد و روش‌ها

این مطالعه با کد اخلاق IR.QUMS.REC.1397.290 مورد تایید قرار گرفت.

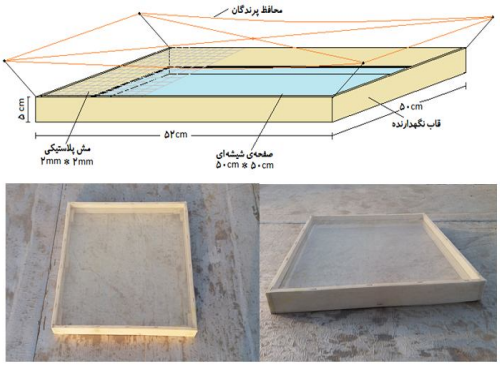
منطقه مورد مطالعه و روش نمونه برداری

منطقه مورد مطالعه شهر قزوین بود که با جمعیتی برابر با 402748 نفر در گستره‌ای با مساحتی در حدود 32 کیلومترمربع (3210 هکتار) در طول جغرافیایی 50º ، 00´ ، 26´´ و عرض جغرافیایی 36º ، 16´ ، 40´´ در پایانه شمالی دشت قزوین و در دامنه جنوبی رشته کوه‌های البرز واقع شده است. برای نمونه‌برداری ابتدا شهر به سه منطقه مشخص شمالی، مرکزی و جنوبی تقسیم شد، سپس اراضی شهری هر یک از مناطق سه گانه که تحت تاثیر فعالیت‌های انسانی بودند به شبکه‌های 2 × 2 کیلومتری تقسیم شدند، در ادامه در داخل هر یک از شبکه‌های 2 × 2 کیلومتری حداقل یک ایستگاه نمونه‌برداری به‌صورت کاملا تصادفی به نحوی که از منابع آلاینده نقطه‌ای کاملا دور بوده و دسترسی به آن آسان باشد انتخاب شد. به عبارت دیگر در هر منطقه 5 ایستگاه و در مجموع 15 ایستگاه نمونه‌برداری در سطح شهر انتخاب شد (تصویر شماره1). برای نمونه‌برداری گرد و غبار خشک اتمسفری از تله‌های شیشه‌ای استفاده شد(تصویر شماره 2). این نوع تله‌ها هم جریان‌های افقی و هم جریان‌های عمودی گرد و غبار خشک اتمسفری را به خوبی جمع‌آوری می‌کنند. مزیت عمده این نوع تله‌ها، ساده بودن روش کار، ارزانی و کاهش خطاهای احتمالی است(14،6). پس از تعیین محل ایستگاه‌های نمونه‌برداری، تله‌ها در ارتفاع حدودی 4 متر از سطح زمین و در پشت بام ساختمان‌های یک طبقه به نحوی که توسط دیوار یا موانع دیگر تحت تأثیر قرار نگیرند، نصب شدند. ارتفاع یک طبقه این امکان را می‌دهد که غبار فرونشسته تحت تأثیر سایر فرآیندهای بادی نزدیک به سطح زمین قرار نگیرد و در عین حال نسبت به ساختمان‌های مرتفع این امکان را فراهم می‌سازد که غلظت غبار جمع‌آوری شده تقریباً به مقدار قابل استنشاق یا در دسترس توسط افراد نزدیک‌تر باشد(15). نمونه برداری در طول مرداد ماه 98 انجام شد. گرد و غبار خشک اتمسفری فرونشسته بر روی سطح تله‌ها با دقت فراوان و توسط برس‌های تمیز پلاستیکی جمع‌آوری و درظروف درب بسته وتمیز شیشه‌ای جهت توزین و آنالیز دستگاهی به آزمایشگاه منتقل شدند.



تصویر شماره 1: موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری در مناطق سه گانه شهر

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-13]



تصویر شماره 2: شکل و مشخصات تله شیشه ای مورد استفاده

آماده سازی و آنالیز دستگاهی نمونه‌ها

برای استخراج فلزات سنگین در نمونه‌های گرد و غبار جمع‌آوری شده پس از آماده‌سازی نمونه‌ها با استفاده از روش هضم چهار اسیدی ($HF,HCl,HClO_4,HNO_3$) از دستگاه طیف سنج نشری پلاسمای جفت شده القایی[1] (ICP-OES) مدل (ICP-OES;Optima 7000 DV,PerkinElmer,USA) استفاده شد. جهت آماده‌سازی و هضم اسیدی نمونه‌ها، مقدار 8 میلی‌لیتر اسید فلوئوریدریک (HF) 40 درصد و 1 میلی‌لیتر اسید پرکلریک (HClO4) 70 درصد به 0/5 گرم نمونه گرد و غبار اضافه شد. محلول آماده شده به مدت 6 ساعت در ظروف پلاستیکی مخصوص (Hot Box) با استفاده از اجاق هضم در داخل آب تا دمای 200 درجه سلسیوس قرار گرفت تا یک محلول ژله‌ای به‌دست آمد. سپس 3/75 میلی‌لیتر اسید کلریدریک (HCl) 37 درصد و 1/25 میلی‌لیتر اسید نیتریک (HNO3) 65 درصد به آن اضافه نموده و محلول به‌دست آمده با آب مقطر دو بار تقطیر به حجم 25 میلی‌لیتر رسانده شد. محلول حاصل به منظور حذف هرگونه کدورت یا مواد معلق به‌وسیله کاغذ صافی گرید 102 با اندازه حفره حداکثر 20 تا 25 میکرون صاف شد در ادامه مقدار 1 میلی‌لیتر از نمونه آماده شده به دستگاه ICP-OES تزریق شد(16). صحت روش دستگاهی به کار برده شده توسط تکرار نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. حد تشخیص دستگاه برای فلز کادمیوم 0/5 ppb بود.

ارزیابی مواجهه انسانی

مطابق با پروفایل‌های سم‌شناسی تمامی فلزات سنگین دارای اثرات سمی بر سلامت انسان هستند، در این میان فلز سنگین کادمیوم دارای هر دو اثر غیرسرطان‌زایی و سرطان‌زایی می‌باشد(19-17). مواجهه انسانی با فلزات سنگین در گرد و غبار اتمسفری می‌تواند از طریق سه مسیر اصلی شامل: 1) مواجهه مستقیم گوارشی ذرات گرد و غبار ($ADD_{ingestion}$)، 2) استنشاق ذرات معلق منتشره در هوا از طریق بینی و دهان ($ADD_{inhalation}$) و 3) مواجهه و جذب پوستی فلزات سنگین از طریق ذرات چسبیده به پوست (ADD_{dermal}) انجام شود(20). در ارزیابی مواجهه با گرد و غبار اتمسفری حاوی فلزات سنگین هر سه مسیر گوارشی، تنفس و جذب پوستی مد نظر قرار گرفت و مقادیر جذب روزانه[2] (ADD) از طریق هر یک از مسیرهای فوق با استفاده از معادلات شماره 1 تا 3 محاسبه گردید.

معادله (۱): $$ADD_{ingestion} = \frac{C \times IngR \times EF \times ED \times 10^{-6}}{BW \times AT}$$

معادله (۲): $$ADD_{inhalation} = \frac{C \times InhR \times EF \times ED}{PEF \times BW \times AT}$$

معادله (۳): $$ADD_{dermal} = \frac{C \times AF \times SA \times ABS \times EF \times ED \times 10^{-6}}{BW \times AT}$$

ارزیابی خطر غیرسرطان زایی و سرطان زایی

ارزیابی خطرات بهداشتی فلزات سنگین یک فرآیند چند مرحله‌ای است(21) که در این مطالعه دو بخش ارزیابی خطر سرطان‌زایی و غیرسرطانزایی براساس روش ارزیابی خطر بهداشتی ارائه شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (USEPA) انجام شد(22). پس از محاسبه مقدار جذب روزانه فلزات برای هر یک از مسیرها، خطر غیرسرطان‌زایی (HI) برای کودکان و بزرگسالان از تقسیم مجموع میزان جذب روزانه فلزات

1. Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectroscopy

2. Average Daily Dose (ADD) or Chronic Daily Intake (CDI)

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-13]

(ADD) به مقدار مرجع سمیت فلز کادمیوم (RFD) مطابق با معادله شماره 4 تعیین شد.

معادله (۴):
$$\sum HQ = \sum \frac{ADD_i}{RfD_i}$$

در معادله شماره 4 چنانچه مقدار ضریب خطر (HQ) بزرگ‌تر از یک باشد (HQ>1) نشان‌دهنده آن است که سطح خطر قابل ملاحظه است و اثرات نامطلوب و نگران‌کننده‌ای بر سلامت انسان دارد و اگر مقدار شاخص مذکور کم‌تر از یک باشد (HQ<1) خطر قابل ملاحظه‌ای از لحاظ اثرات غیرسرطان‌زا وجود ندارد. مقدار شاخص خطر تجمعی غیرسرطان‌زایی (HI) برای هر دو گروه کودکان و بزرگسالان طبق معادله شماره 5 به‌دست آمد:

معادله(۵)
$$HI = \sum HQ = HQ_{ing} + HQ_{inh} + HQ_{dermal}$$

با توجه به این‌که فلز کادمیوم باعث بروز اثر سرطان‌زایی می‌گردد برای محاسبه احتمال خطر افزایش سرطان‌زایی یک فرد در تمام طول عمر در هر یک از مسیرهای سه گانه مواجهه از معادلات شماره 6 و 7 استفاده شد.

معادله(۶) :
$$Carcinogenic\ Risk(CR) = ADD_i \times CSF_i$$

معادله (۷) :
$$Total\ Risk = ADD_{ing} \times CSF_{ing} + ADD_{inh} \times CSF_{inh} + ADD_{der} \times CSF_{der}$$

خطر سرطان‌زایی(CR)، احتمال ابتلاء هر شخص به هر نوع سرطان در اثر مواجهه با مواد سرطان‌زا در تمام طول عمر است. در صورتی که مقدار ریسک کم‌تر از 10^{-6} باشد خطر سرطان‌زایی ناچیز و هنگامی که بیش‌تر از 10^{-4} باشد خطر ابتلاء به سرطان زیاد است. مقادیر بین 10^{-6} تا 10^{-4} به‌طور کلی خطری قابل قبول برای انسان محسوب می‌شوند. در جداول شماره 1 و 2 تعاریف، واحد و مقادیر هر یک از نمادها بکار رفته در معادلات شماره 1 تا 7 ارائه شده است و در جدول شماره 3 مقادیر سمیت مرجع (RFD) و فاکتور شیب سرطان (CSF) برای فلز کادمیوم نشان داده شده است.

جدول شماره 1: تعریف و واحد نمادهای استفاده شده در معادلات ارزیابی خطر

نماد	تعریف	واحد
ADD	مقدار جذب روزانه فلزات سنگین از طریق گوارشی، تنفسی و پوستی	ADD_{ing} (mg kg^{-1}day^{-1}), ADD_{inh}(mg m^{-3}), ADD_{dermal} (Mg kg^{-1}day^{-1})
C	غلظت فلزات سنگین در گرد و غبار اتمسفری	(mg kg^{-1})
AF	فاکتور چسبندگی ذرات گردوغبار به پوست	(mg cm^{2})
SA	مساحت سطح پوست در دسترس برای مواجهه	(Cm^{2} event^{-1})
ABS	فاکتور جذب پوستی	(unitless)
EF	فراوانی روزهای مواجهه	(day yr^{-1})
ED	مدت زمان مواجهه	(year)
BW	وزن بدن	(kg)
AT	طول مدت زندگی (زمان متوسط)	(day)
LT	طول عمر یا طول دوره‌ی زندگی	(year)
IngR	نرخ مواجهه گوارشی	(mg day^{-1})
InhR	نرخ مواجهه تنفسی	(m^{3} day^{-1})
PEF	فاکتور پراکندگی ذرات	(m^{3} kg^{-1})
RfD	مقدار دوز رفرنس	(mg kg^{-1} day^{-1})
CSF_i	فاکتور احتمال ابتلا به سرطان در هر واحد قرارگیری در معرض فلزات	(mg kg^{-1} day^{-1})

جدول شماره 2: مقادیر هر یک از پارامترهای مورد استفاده در معادلات ارزیابی خطر برای کودکان و بزرگسالان

متغیر (واحد)	مقدار برای کودکان و بزرگسالان	رفرنس
IngR (mg day^{-1})	200 برای کودکان و 100 برای بزرگسالان	(24 ,23)
InhR (m^{3} day^{-1})	7/6 برای کودکان و20 برای بزرگسالان	(24 ,23)
EF (day yr^{-1})	350 برای کودکان و350 برای بزرگسالان	(24 ,23)
ED (year)	6 برای کودکان و 24 برای بزرگسالان	(24 ,23)
LT (day)	72 برای ایرانیان	(25)
BW (kg)	15 برای کودکان و 70 برای بزرگسالان	(24 ,23)
AT_{Non-Ca} (day)	365×ED برای کودکان و بزرگسالان	(24 ,23)
AT_{Ca} (day)	LT ×365= 26280	(24 ,23)
PEF (m^{3} kg^{-1})	$1/36\times10^{9}$ برای کودکان و بزرگسالان	(24 ,23)
AF (mg cm^{2})	0/07 برای کودکان و 0/2 برای بزرگسالان	(24 ,23)
SA (Cm^{2} event^{-1})	2800 برای کودکان و 5700 برای بزرگسالان	(24 ,23)
ABS (unitless)	برای فلزات سنگین کادمیوم، سرب، کروم و جیوه 0/001	(24 ,23)

آنالیز عدم قطعیت (Uncertainty Analysis)

در روش‌های معمول ارزیابی ریسک، مقدار ریسک به‌صورت برآورد نقطه‌ای (SE:Spot Estimation) تخمین و گزارش می‌شود. برآورد نقطه‌ای ریسک اطلاعات کمی از میزان عدم قطعیت و تغییرپذیری (Variability) در اطراف نقطه ریسک برآورد شده فراهم می‌کند. برای رسیدن به اطلاعات دقیق‌تر از میزان ریسک یا نسبت خطر، EPA روش شبیه‌سازی مونت کارلو Monte Carlo simulation (MCS) را پیشنهاد نموده است. شبیه‌سازی مونت کارلو براساس آمار ریاضی و تئوری احتمالات برای دستیابی به مدل عدم قطعیت به‌وسیله نمونه‌گیری تصادفی و توزیع احتمالی برای هر متغیر ورودی است(26). در این مطالعه از روش مونت

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-13]

کارلو جهت انجام آنالیز عدم قطعیت توسط نرم‌افزار IBM SPSS نسخه 26 استفاده شد. برای این منظور ابتدا توزیع آماری هر یک از متغیرهای ورودی تعیین شد (جدول شماره 4). سپس تابع توزیع تجمعی متناسب با آن‌ها همراه با احتمال‌های مربوطه به‌دست آمد. آنگاه 10000 نمونه تصادفی از تابع توزیع تجمعی احتمالی حاکم به ازای هر پارامتر ورودی ایجاد شد. سپس نمونه‌های تصادفی در یک فرآیند شبیه‌سازی پله‌ای به‌صورت خودکار توسط نرم‌افزار فراخوان شدند در ادامه فرآیند، نرم‌افزار به تعداد 10000 مرتبه شبیه‌سازی را با حل عددی معادلات حاکم انجام داده و خروجی معادل آن‌ها از مدل به‌دست آمد. آنگاه تغییرپذیری پارامتر مدل با انتخاب فاصله اطمینان Confidence Interval(CI) (95 درصد) به عنوان معیار عدم قطعیت محاسبه گردید.

آنالیز حساسیت(Sensitivity Analysis)

از آنالیز حساسیت برای تعیین مهم‌ترین متغیرهای تاثیرگذار برخطر سلامت استفاده می‌گردد. حساسیت به ضریب همبستگی بین هر پارامتر و مقدار خطر بستگی دارد. ضریب همبستگی بالاتر نشان‌دهنده سهم بیش‌تر پارامترهای ورودی در خطر نهایی سلامت است(27). در این مطالعه برای برآورد آنالیز حساسیت ابتدا ضریب همبستگی رتبه بین عوامل مواجهه و خطر سلامت با استفاده از بخش شبیه‌ساز (سیمولیشن) نرم‌افزار IBM SPSS نسخه 26 تعیین شد. سپس سهم هر متغیر با محاسبه مربع واریانس به‌دست آمد. سرانجام نتایج به 100 درصد نرمال شده و سهم هر متغیر پس از نرمال نمودن به‌صورت درصد بیان شد.

یافته‌ها

آمار توصیفی غلظت فلز سنگین کادمیوم در گرد و غبار خشک اتمسفری شهر قزوین و همچنین مقادیر میانگین زمینه آن در خاک‌های جهانی و در پوسته فوقانی خاک در جدول شماره 5 آورده شده است. غلظت کادمیوم در گرد و غبار خشک اتمسفری شهر با میانگین 0/0164 و در دامنه‌ای از 0/002 تا 0/071 میلی‌گرم در کیلوگرم متفاوت بود. میانگین غلظت کادمیوم در گرد و غبار خشک اتمسفری شهر قزوین کم‌تر از میانگین آن در خاک‌های جهانی و پوسته فوقانی خاک بود.

میزان جذب روزانه (ADD)، خطر غیرسرطان‌زایی (HI) و سرطان‌زایی (CR) کادمیوم در هر یک از مسیرهای مواجهه (گوارشی، استنشاقی و پوستی) به تفکیک کودکان و بزرگسالان در جدول شماره 6 ارائه شده است. بیش‌ترین میزان جذب روزانه فلز کادمیوم از مسیر گوارشی و به ترتیب برای کودکان با $2/09\times10^{-7}$ میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز و برای بزرگسالان با $8/98\times10^{-8}$ میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز و کم‌ترین میزان آن از مسیر جذب استنشاقی برای هر دو گروه و به ترتیب با $5/85\times10^{-12}$ میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز برای کودکان و $1/32\times10^{-11}$ میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز برای بزرگسالان بود. همچنین بالاترین HQ برای کادمیوم درگروه کودکان($2/1\times10^{-4}$) و در مسیر گوارشی و برای بزرگسالان ($2/1\times10^{-4}$) در مسیر جذب پوستی مشاهده شد. در هر دو گروه نیز مسیر استنشاقی کم‌ترین HQ را داشت. خطر تجمعی غیرسرطان‌زایی (HI) نیز در همه مسیرهای مواجهه برای کودکان و بزرگسالان به ترتیب $2/31\times10^{-4}$ و $1/94\times10^{-4}$ به دست آمد.

نتایج ارزیابی خطر سرطان‌زایی (CR) کادمیوم در هریک مسیرهای مواجهه نیز نشان داد که بیش‌ترین میزان خطر سرطان‌زایی در کودکان و بزرگسالان در مسیر مواجهه گوارشی به ترتیب با مقادیر $4/37\times10^{-9}$ و $7/5\times10^{-9}$ و کم‌ترین مقدار آن نیز در هر دو گروه و در مسیر مواجهه استنشاقی با مقادیر $3/02\times10^{-12}$ و $6/93\times10^{-12}$ به ترتیب برای کودکان و بزرگسالان بود. همچنین مقدار خطر تجمعی سرطان‌زایی (TCR) در کودکان $4/72\times10^{-9}$ و در بزرگسالان $9/21\times10^{-9}$ محاسبه گردید. نتایج آنالیز عدم قطعیت (UA) و حساسیت(SA) برای هر دو گروه کودکان و بزرگسالان در جدول شماره7 نشان داده شده است.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-13]

جدول شماره 3: مقادیر سمیت مرجع (RFD) و فاکتور شیب سرطان (CSF) برای فلز کادمیوم

عنصر	طبقه بندی بر اساس IARC*	RFD(mg/kg.d)		CSF(mg/kg.d)$^{-1}$			رفرنس
		گوارشی	استنشاقی	گوارشی	پوستی	استنشاقی	پوستی	
کادمیوم	1	1×10^{-3}	1×10^{-5}	$5/01\times10^{-1}$	1×10^{-5}	6/3	2×10^{1}	(23)

جدول شماره 4: مقادیر و نوع توزیع پارامترهای ورودی

متغیر ورودی	واحد	نوع توزیع	مقادیر توزیع	
			کودکان	بزرگسالان
C_{Cd} غلظت کادمیوم	mg kg^{-1}	مثلثی	(0/04 ،0/07 ،0/06)	
IngR: نرخ مواجهه گوارشی	mg day^{-1}	مثلثی	(175، 200، 150)	(80، 110، 50)
InhR: نرخ مواجهه استنشاقی	m^3 day^{-1}	مثلثی	(6/30، 7/60، 5)	(16، 20، 12)
SA: مساحت سطح پوست در دسترس برای مواجهه	Cm^2 event^{-1}	مثلثی	(2650، 2800، 2500)	(5350، 5700، 5000)
AF: فاکتور چسبندگی ذرات گردوغبار به پوست	mg cm^2	مثلثی	(0/06، 0/07، 0/04)	(0/14، 0/2، 0/09)
BW: وزن بدن	kg	مثلثی	(12/5، 15، 10)	(67، 75، 60)

*: آژانس بین المللی تحقیقات سرطان ((International Agency for Research on Cancer (IARC)) فلز کادمیوم را در گروه 1 (ترکیباتی که برای انسان سرطان‌زا هستند) تقسیم‌بندی نموده است.

جدول شماره 5: نتایج آماری مقادیر مربوط به فلز سنگین کادمیوم در گردوغبار خشک اتمسفری (mg kg^{-1})

فلز سنگین	حداقل	حداکثر	میانگین	میانه	انحراف معیار	ضریب تغییرات (درصد)	میانگین در خاک جهانی*	مقدار در قشر فوقانی خاک**
کادمیوم	0/002	0/071	0/0164	0/013	0/0165	1/007	0/41	0/09

* : World-soil average. World Ranks (0.01–2 mg kg^{-1}). (28)

** : Upper crust content.(29)

جدول شماره 6: میزان جذب روزانه (ADD)، خطر غیرسرطان‌زایی (HI) و سرطان‌زایی (CR) کادمیوم در مسیرهای مواجهه

گروه‌های هدف / مسیرهای مواجهه	کودکان			بزرگسالان		
	گوارشی	استنشاقی	پوستی	گوارشی	استنشاقی	پوستی
خطر غیرسرطان زایی (Non-non-carcinogenic Risk):						
میزان جذب روزانه (ADD)	$2/09\times10^{-7}$	$5/85\times10^{-12}$	$2/05\times10^{-10}$	$8/98\times10^{-8}$	$1/32\times10^{-11}$	$1/02\times10^{-9}$
خطر غیرسرطان زایی مسیر (HQ)	$2/1\times10^{-4}$	$5/8\times10^{-7}$	$2/05\times10^{-5}$	$8/9\times10^{-5}$	$1/32\times10^{-6}$	1×10^{-4}
خطر تجمعی غیرسرطان زایی (HI)		$2/31\times10^{-4}$			$1/94\times10^{-4}$	
خطر سرطان زایی (carcinogenic Risk):						
میزان جذب روزانه (ADD)	$8/73\times10^{-9}$	$4/88\times10^{-13}$	$1/7\times10^{-11}$	$1/49\times10^{-8}$	$1/1\times10^{-12}$	$8/53\times10^{-11}$
خطر سرطان زایی هر مسیر (CR)	$4/37\times10^{-9}$	$3/07\times10^{-12}$	$3/42\times10^{-10}$	$7/5\times10^{-9}$	$6/93\times10^{-12}$	$1/7\times10^{-9}$
خطر تجمعی سرطان زایی (TCR)		$4/72\times10^{-9}$			$9/21\times10^{-9}$	

جدول شماره 7: برآورد نقطه‌ای، آنالیز عدم قطعیت، آنالیز حساسیت، خطر غیرسرطان‌زایی و سرطان‌زایی در گروه‌های هدف

گروه هدف	برآورد نقطه ای *(PE)	آنالیز عدم قطعیت (Uncertainty Analysis)						آنالیز حساسیت (Sensitivity Analysis) (%)					
		**$P_{\%5}$	$P_{\%25}$	$P_{\%75}$	$P_{\%95}$	C_{Cd}	BW	AT	IngR	InhR	SA
خطر تجمعی غیرسرطان زایی (HI):											
کودکان	$2/31\times10^{-4}$	$2/7\times10^{-4}$	5×10^{-4}	$7/6\times10^{-4}$	$8/9\times10^{-4}$	94/55	94/11	59/30	35/75	0/164	4/18
بزرگسالان	$1/94\times10^{-4}$	1×10^{-5}	$2/2\times10^{-5}$	$6/3\times10^{-5}$	9×10^{-5}	93/25	27/68	16/18	4/47	0/56	10/56
خطر تجمعی سرطان زایی (TCR):											
کودکان	$4/72\times10^{-9}$	$4/4\times10^{-9}$	$8/9\times10^{-9}$	$1/4\times10^{-9}$	$1/9\times10^{-9}$	105/5	77/21	12/15	24/06	0/132	11/01
بزرگسالان	$9/21\times10^{-9}$	8×10^{-10}	$2/1\times10^{-9}$	$4/7\times10^{-9}$	$6/7\times10^{-9}$	92/45	27/35	8/69	9/95	0/164	9/38

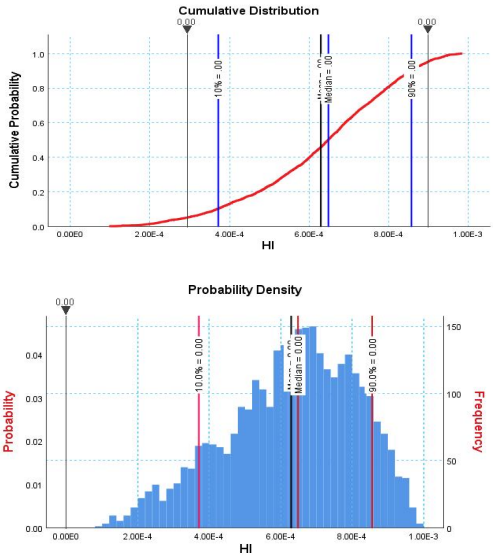
* : Spot Estimation (SE)

** : Percentile 5%. 25%. 75%. 95%.

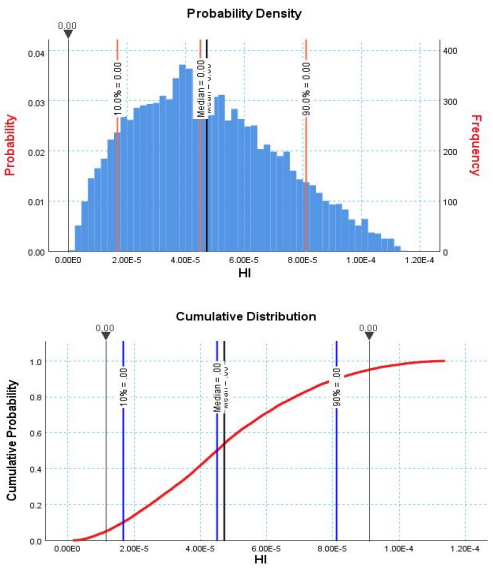
برای برآورد احتمالی خطر غیرسرطان‌زایی و سرطان‌زایی همه مقادیر HI و TCR با توزیع Weibull به عنوان مناسب‌ترین توزیع متناسب شدند. مقادیر HI در صدک‌های ($P_{10\%}$) 10ام، ($P_{50\%}$)50ام و ($P_{90\%}$)90ام برای کودکان به‌ترتیب $3/5\times10^{-4}$، $6/4\times10^{-4}$ و $8/5\times10^{-4}$ و برای بزرگسالان نیز $1/6\times10^{-5}$، $4/4\times10^{-5}$ و $8/1\times10^{-5}$ به ترتیب برآورد شد. در هر دو گروه هدف مقادیر HI در همه صدک‌ها کم‌تر از 1

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-13]

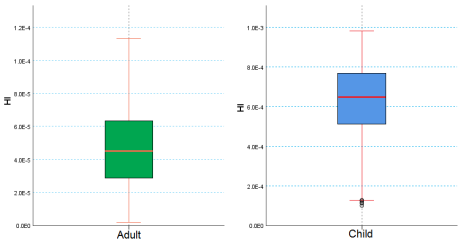
(مقدار مجاز) برآورد شد. در نمودارهای شماره 1 و 2 چگالی احتمالی و توزیع تجمعی مقادیر احتمالی HI در صدک‌های 10ام، 50ام و 90ام و در نمودار شماره 3 (Boxplot) حد بالا و پایین و میانه HI برای گروه کودکان و بزرگسالان ارائه شده است.



نمودار شماره 1: چگالی احتمالی وتوزیع تجمعی خطر غیرسرطان‌زایی (HI) در گروه کودکان

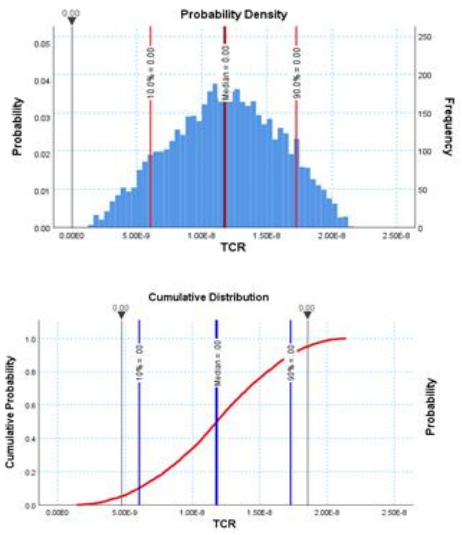


نمودار شماره 2: چگالی احتمالی و توزیع تجمعی خطر غیرسرطان زایی (HI) در گروه بزرگسالان



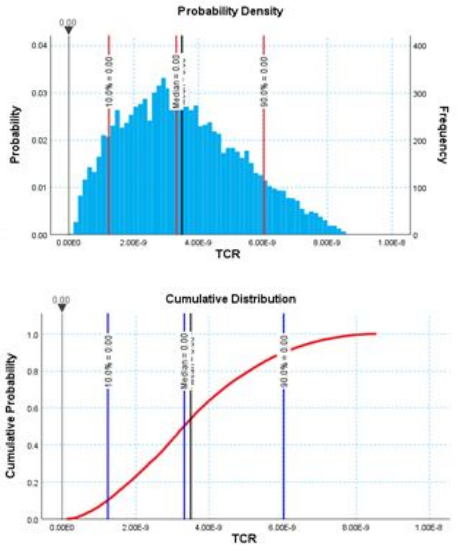
نمودار شماره 3: مقادیر حداقل، حداکثر ومیانه خطر غیرسرطان‌زایی (HI) در گروه کودکان و بزرگسالان

همچنین نتایج برآورد خطر تجمعی سرطان‌زایی (TCR) مقادیر صدک‌های ($P_{10\%}$) 10ام، ($P_{50\%}$)50ام و ($P_{90\%}$)90ام در کودکان به ترتیب $5/8\times10^{-9}$ ، $1/1\times10^{-9}$ و $1/7\times10^{-9}$ و در بزرگسالان نیز به ترتیب $1/2\times10^{-9}$، $3/3\times10^{-9}$ و $6/1\times10^{-9}$ به‌دست آمد که مقدار آن در همه صدک‌ها و برای هر دو گروه هدف از حداکثر مقدار قابل قبول توصیه شده (1×10^{-4}) توسط آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (USEPA) کم تر بود. در نمودارهای شماره 4 و 5 چگالی احتمالی و توزیع تجمعی خطر سرطان‌زایی کادمیوم برای گروه کودکان و بزرگسالان در صدک‌های 10ام، 50ام و 90ام نشان داده شده است.



نمودار شماره 4 : چگالی احتمالی و توزیع تجمعی خطر سرطان‌زایی (TCR) در گروه کودکان

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-13]

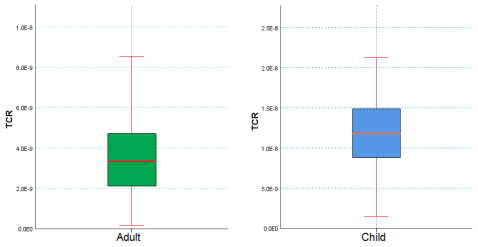


نمودار شماره 5: چگالی احتمالی و توزیع تجمعی خطر سرطان‌زایی (TCR) در گروه بزرگسالان

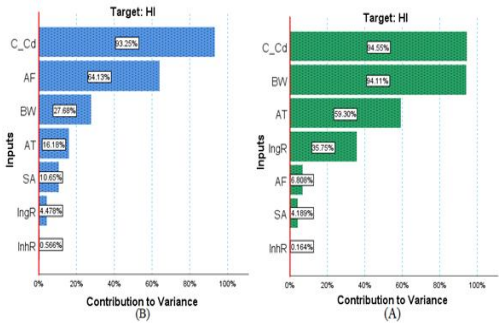
همچنین در نمودار شماره 6 مقادیر حداقل، حداکثر و میانه TCRدر گروه‌های هدف ارائه شده است.

نتایج آنالیز حساسیت برای خطر غیرسرطان‌زایی و سرطان‌زایی کادمیوم در گروه کودکان و بزرگسالان در نمودارهای شماره 7 و 8 ارائه شده است.

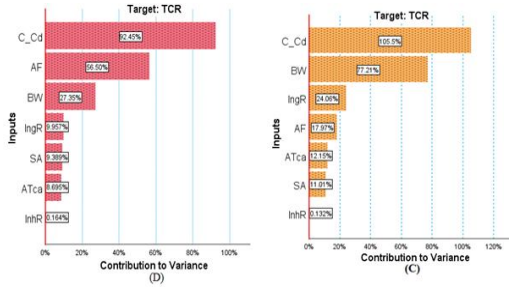
همان‌طوری که مشاهده می‌شود در هر دو گروه سنی کودکان و بزرگسالان غلظت کادمیوم (C_{Cd}) به‌ترتیب با سهم 94/55 و 93/25 درصد به عنوان موثرترین و بیش‌ترین و نرخ تنفس (InhR) به‌ترتیب با سهم 0/164 درصد در کودکان و 0/556 درصد در بزرگسالان به عنوان کم‌ترین پارامتر موثر و حساس در برآورد خطر غیرسرطان‌زایی کادمیوم می‌باشند. علاوه بر آن وزن بدن در کودکان (BW) با سهم 94/11 درصد و فاکتور چسبندگی ذرات حاوی کادمیوم به پوست (AF) با سهم 64/13 درصد در جایگاه دوم پارامترهای با بیش‌ترین تاثیر در برآورد خطر غیرسرطان‌زایی قرار داشتند. همچنین نتایج آنالیز حساسیت برای احتمال خطر سرطان‌زایی (TCR) در گروه کودکان و بزرگسالان نیز نشان داد که غلظت کادمیوم (C_{Cd}) به ترتیب با سهم 105/5 و 92/45 درصد به عنوان موثرترین فاکتور در ایجاد خطر سرطان‌زایی می‌باشد.



نمودار شماره 6: مقادیر حداقل، حداکثر و میانه خطر سرطان‌زایی (TCR) در گروه کودکان و بزرگسالان



نمودار شماره 7: آنالیز حساسیت خطر غیرسرطان‌زایی (HI) در گروه کودکان (A) و بزرگسالان (B)



نمودار شماره 8: آنالیز حساسیت خطر سرطان‌زایی(TCR) در گروه کودکان (C) و بزرگسالان (D)

بحث

فلزات سنگین یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های زیست محیطی هستند که وجود آن ها در گرد و غبار خشک اتمسفری می‌تواند مخاطرات جدی برای سلامت انسان

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-13]

به همراه داشته باشد. در بین فلزات سنگین کادمیوم به دلیل سمیت زیاد در غلظت‌های اندک از نظر بهداشتی و زیست محیطی مورد توجه است. کادمیوم از جمله عناصر غیرضروری است که بدن انسان برای فعالیت‌های زیستی به آن نیازی ندارد و به دلیل عدم متابولیزه شدن در بدن می‌تواند در بافت‌ها انباشته شود. تجمع بیش از حد استاندارد کادمیوم در بدن منجر به بیماری‌هایی مانند سرطان پروستات، فشار خون بالا، تخریب بافت‌های بیضه و گلبول‌های قرمز خون، گرفتگی مجاری کلیه، انعقاد برخی از پروتئین‌ها و همچنین بیماری ایتای ایتای (Itai-Itai) که با شکستن استخوان‌ها و درد شدید همراه است، می‌گردد(30). در این پژوهش مقدار فلز سنگین کادمیوم در گرد و غبار خشک اتمسفری 15 ایستگاه در سطح شهر قزوین مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. هر چند میانگین غلظت کادمیوم در گرد وغبار خشک اتمسفری این شهر نسبت به میانگین آن در خاک جهانی کم تر بود اما نتایج مطالعات نشان داده است که همبستگی بسیار نزدیکی بین غلظت فلزات سنگین در هوا و خاک‌های سطحی هر منطقه وجود دارد(31). علاوه بر آن وجود منابع آلاینده، فرآیندهای صنعتی و جمعیت نیز در تغلیظ ذرات راسب شونده به فلزات سنگین نقش بسیار مهمی دارند(29). در مقایسه با مطالعات انجام شده در سایر شهرهای ایران، میانگین غلظت فلز کادمیوم در گرد و غبار اتمسفری شهرهای اصفهان، شیراز و زنجان به‌ترتیب 0/98، 0/28و 0/018 میلی‌گرم درکیلوگرم گزارش شده است(33،32) که میزان آن در شهرهای اصفهان و شیراز بیش‌تر از میانگین آن در شهر قزوین است که این نتیجه می‌تواند ناشی از جمعیت و فرآیندهای صنعتی کم‌تر در شهر قزوین نسبت به شهرهای اصفهان و شیراز باشد و در توافق با نتایج این پژوهش است. نتایج محاسبه HQ نشان داد که مواجهه گوارشی در گروه کودکان و تماس پوستی در گروه بزرگسالان مسیر مواجهه اصلی با فلز کادمیوم در گرد و غبار اتمسفری در شهر قزوین است و تماس پوستی درگروه کودکان و مواجهه گوارشی در بزرگسالان به ترتیب در مراحل بعدی اهمیت قرار دارند. نتایج محاسبه HQ در مطالعات Li و همکاران(34)، Chabukdhara و همکاران(35)، Qing و همکاران(36) و Wei و همکاران(37) نیز نشان داد که مواجهه گوارشی در گروه کودکان و تماس پوستی در بزرگسالان مسیر اصلی مواجهه با کادمیوم بود که با نتایج این مطالعه مطابقت دارد. در این مطالعات رفتارهای دستی دهانی و عادت مکیدن انگشتان و دست به عنوان دلیل اصلی مواجهه گوارشی در کودکان با فلزات سنگین در خطر غیرسرطانزایی عنوان شده است. Tao و همکاران نیز طی مطالعه‌ای دریافتند که خطر قرارگیری در معرض فلزات سنگین برای کودکان در مسیر مواجهه گوارشی بیش‌تر از خطرات ناشی ازمسیرهای تنفس و جذب پوستی است(38). در این مطالعه علاوه بر محاسبه مقادیر نقطه‌ای (PS)، شاخص خطر غیرسرطان‌زایی (HI) و خطر سرطان‌زایی (TCR) کادمیوم در گروه‌های هدف، با استفاده از روش شبیه‌سازی مونت کارلو با تکرار 10000 نمونه برای تخمین مقادیر HI و TCR با توجه به توزیع احتمالی متغیرهای مستقل C_{Cd}، BW، InhR، IngR، AT، SA و AF محاسبه گردید. سپس با مقایسه عدم قطعیت حد بالایی (Upper Bound) (صدک 90ام) و عدم قطعیت حد پایینی (Lower Bound) (صدک 10ام) با مقادیر قابل قبول (1 برای HI و 1×10^{-4} برای TCR) تفسیر نهایی درباره خطر سلامتی در گروه‌های هدف ارائه شد. براساس نتایج حاصل از این مطالعه مقدار شاخص خطر غیرسرطان‌زایی (HI) کادمیوم در گروه کودکان بیش‌تر از گروه بزرگسالان و مقدار آن در هر دو گروه مورد مطالعه کم‌تر از 1 (HI<1) و در سطح امنی قرار دارد. مطابق با استاندارد USEPA هرگاه HI≤1 باشد مواجهه با فلز سنگین اثر مضری بر سلامت انسان نخواهد داشت ولی چنانچه مقدار HI>1 باشد سمیت فلز ممکن است احتمال خطرپذیری به بیماری‌های غیرسرطانی را افزایش دهد و با افزایش آن خطر غیرسرطانزایی نیز افزایش می‌یابد.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-13]

Chen و همکاران درسال 2015 (39)، Benhaddya و همکاران در سال2016 (40)، دهقانی و همکاران در سال 2017 (41) و Men و همکاران در سال 2018 (42) نیز مقدار HI را برای کل فلزات مورد مطالعه خود کم‌تر از 1 گزارش نمودند که از این نظر مشابه با مطالعه حاضر می‌باشند. همچنین مطابق با نتایج حاصل از جدول شماره 6 خطر سرطان‌زایی (CR)در هریک از مسیرهای مواجهه گوارشی، استنشاقی و پوستی و خطر تجمعی سرطان‌زایی (TCR) برای هر دو گروه کودکان و بزرگسالان کم‌تر از یک در میلیون نفر بود، لذا فلز کادمیوم نمی‌تواند باعث افزایش خطر سرطان‌زایی در گروه‌های هدف گردد. بنابراین، خطر ناشی از این آلاینده ناچیز است. در مطالعه Jing و همکاران در سال 2009 خطر ناشی از مواجهه با فلزات سنگین نیکل، کروم و کادمیوم کم‌تر از یک در میلیون نفر (1×10^{-6}) برآورد و ترتیب ریسک سرطان‌زایی فلزات مورد مطالعه به‌صورت کادمیوم< نیکل <کروم گزارش گردید(43). براساس مطالعه Maa و همکاران در سال 2012 نیز خطر سرطان‌زایی فلزات سرب، روی، مس و کادمیوم در بزرگسالان در اثر استنشاق آن‌ها کم‌تر از مقادیر آستانه بوده و از نظر سرطان‌زایی خطری ایجاد نمی‌نمود(44). نتایج پژوهش Chabukdhara و همکاران در سال 2013 نیز نشان داد که خطر سرطان‌زایی نیکل، کروم و سرب پایین‌تر از مقدار مجاز توصیه شده توسط USEPA بود(35).

در مطالعه سبحان اردکانی که در سال 2014 بر روی فلزات سنگین گردو غبار خشک اتمسفری در شهر همدان انجام شد مقدار خطر تجمعی سرطان‌زایی (TCR) کبالت، کروم و منگنز برای کودکان و بزرگسالان کم‌تر از مقدار مجاز قابل قبول بود(45). نتایج مطالعه جهانداری که در سال 2019 بر روی گردوغبار شهری در 16 شهر ایران انجام شد نیز نشان داد که خطر سرطان‌زایی فلزات مورد مطالعه به ترتیب Cr > Ni >Cd کاهش می‌یافت و میزان آن برای همه فلزات کم‌تر از حد مجاز توصیه شده بود که با نتایج این مطالعه مطابقت دارد(32). براساس نتایج حاصل از آنالیز حساسیت، غلظت کادمیوم (C_{Cd}) مهم‌ترین فاکتور موثر در ایجاد HI و TCR در گرد و غبار خشک اتمسفری شهر قزوین در هر دو گروه مورد مطالعه بود. نتایج مطالعه Yang و همکاران در سال 2019 در برآورد احتمالی خطر بهداشتی فلزات سنگین در خاک‌های کشاورزی نیز نشان داد که غلظت فلزات سنگین (با سهم 95 درصد) بیش‌ترین تاثیر را در ایجاد خطر بهداشتی در گروه‌های کودکان و بزرگسالان داشت(46). بنابراین مدیریت و کنترل تخلیه آلاینده‌های حاوی فلزات سنگین از منابع ساکن و متحرک می‌تواند ریسک سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی ناشی از فلز کادمیوم را کاهش دهد. هر چند به استناد نتایج حاصل از این پژوهش میزان خطر سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی ناشی از وجود کادمیوم در گرد و غبار اتمسفری و مواجهه با آن از مسیرهای سه‌گانه گوارشی، استنشاقی و پوستی در زمان انجام پژوهش برای گروه‌های کودکان و بزرگسالان کم‌تر از حدود مجاز قابل قبول بود ولی در آینده ممکن است به دلیل ویژگی‌های تجمع‌پذیری، تجزیه‌ناپذیری، سمیت و ماندگاری طولانی مدت فلزات سنگین در محیط زیست شهری، آن‌ها منجر به ایجاد اثرات زیانباری بر سلامت شهروندان شوند. بنابراین با توجه به اهمیت موضوع، پایش دوره‌ای منابع خاک سطحی از نظر محتوی فلزات سنگین، کنترل وضعیت آلودگی هوا و تخلیه فلزات سنگین از منابع ساکن و متحرک و اجرای مطالعه در هریک از فصول سال و فرونشت‌های تر ذرات اتمسفری که با توجه به محدودیت‌های زمانی و منابع مالی در این پژوهش امکان بررسی آن میسر نبود برای حفظ سلامت شهروندان توصیه می‌گردد.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی قزوین به خاطر تصویب و حمایت این طرح نهایت تشکر و قدردانی را دارند.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-13]

References

1. Manisalidis I, Stavropoulou E, Stavropoulos A, Bezirtzoglou E. Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review. Front Public Health 2020; 8: 14.
2. Wang K, Tian H, Hua S, Zhu C, Gao J, Xue Y, et al. A comprehensive emission inventory of multiple air pollutants from iron and steel industry in China: Temporal trends and spatial variation characteristics. Science of The Total Environment 2016; 559: 7-14.
3. Jafary Mosavy SAA, Sheykhi Z, Sekhavtjou MS, Takdastan A. Investigation on the concentration of the total suspended particles and heavy metals in Ahvaz ambient air compared with permissible levels. Jundishapur J Health Sci 2011; 3(2): e94249 (Persian).
4. Menéndez I, Díaz-Hernández JL, Mangas J, Alonso I, Sánchez-Soto PJ. Airborne dust accumulation and soil development in the North-East sector of Gran Canaria (Canary Islands,Spain). Journal of Arid Environments 2007; 71(1): 57-81.
5. Karimdost S, Ardebili L. Evaluation of dust phenomenon and its environmental impacts. The 14th Congress of the Geological Society of Iran and the 28th meeting of Earth Sciences 25-27 September; Urmia University, Urmia, Iran 2007 (Persian).
6. Norouzi S, Khademi H. Spatial and Temporal Variation in Dust Deposition Rate in Isfahan and its Relationship with Selected Climatic Parameters. Journal of Water and Soil Science 2015; 19(72): 149-162 (Persian).
7. Faraji Ghasemi F, Dobaradaran S, Saeedi R, Nabipour I, Nazmara S, Ranjbar Vakil Abadi D, et al. Levels and ecological and health risk assessment of PM2.5-bound heavy metals in the northern part of the Persian Gulf. Environmental Science and Pollution Research 2020; 27(5): 5305-5313.
8. Wang S, Yuan W, Shang K. The impacts of different kinds of dust events on PM10 pollution in northern China. Atmospheric Environment 2006; 40(40): 7975-7982.
9. 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. Sci Total Environ 2010; 408(4): 726-733.
10. Coz E,Gómez-Moreno FJ,Pujadas M, Casuccio GS, Lersch TL, Artíñano B. Individual particle characteristics of North African dust under different long-range transport scenarios. Atmospheric Environment 2009; 43(11): 1850-1863.
11. K Naddafi RN, Z Soltanianzadeh, M.H Ehrampoosh. Evaluation of dustfall in the air of Yazd. Journal of Environmental Health Science & Engineering 2006; 3(3): 161-168 (Persian).
12. Järup L. Hazards of heavy metal contamination. British Medical Bulletin 2003; 68: 167-182.
13. Jaishankar M, Tseten T, Anbalagan N, Mathew BB, Beeregowda KN. Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. Interdiscip Toxicol 2014; 7(2): 60-72.
14. Jafari F, Khademi H. Evaluating the Rate of Atmospheric Dust Deposition in Different Locations of Kerman City. Journal of Water and Soil Science 2015; 18(70): 207-217.
15. Norouzi S, Khademi H, Ayoubi S, Cano AF, Acosta JA. Seasonal and spatial variations in dust deposition rate and concentrations of dust-borne heavy metals, a case study from Isfahan, central Iran. Atmospheric Pollution Research 2017; 8(4): 686-699.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-13]

16. Kamani H, Mahvi AH, Seyedsalehi M, Jaafari J, Hoseini M, Safari GH, et al. Contamination and ecological risk assessment of heavy metals in street dust of Tehran, Iran. Int J Environ Sci Technol 2017; 14(12): 2675-2682.
17. Cancer IAfRo. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. lyon, france: IARC; 1993.
18. Godt J, Scheidig F, Grosse-Siestrup C, Esche V, Brandenburg P, Reich A, et al. The toxicity of cadmium and resulting hazards for human health. J Occup Med Toxicol 2006; 1: 22.
19. Bernard A. Cadmium & its adverse effects on human health. Indian J Med Res 2008; 128(4): 557-564.
20. ohammadi AA, Zarei A, Esmaeilzadeh M, Taghavi M, Yousefi M, Yousefi Z, et al. Assessment of Heavy Metal Pollution and Human Health Risks Assessment in Soils Around an Industrial Zone in Neyshabur, Iran. Biological Trace Element Research 2020; 195(1): 343-352 (Persian).
21. Guidelines for Human Exposure Assessment. Washington, D.C: Risk Assessment Forum U.S. Environmental Protection Agency; 2019.
22. Dorne JL, Kass GE, Bordajandi LR, Amzal B, Bertelsen U, Castoldi AF, et al. Human risk assessment of heavy metals: principles and applications. Met Ions Life Sci 2011; 8: 27-60.
23. U.S. Department of Energy (DOE) OoEM. the Risk Assessment Information System 2021. Available from: https://rais.ornl.gov/.
24. (Report)USEPAF. Exposure Factors Handbook 2011 Edition ed. Washington, DC: US-EPA; 2011.
25. rld Halth Organization. Life expectancy and Healthy life expectancy, Life expectancy and life tables, World Health Statistics 2021.
26. Ghaderpoori M, Kamarehie B, Jafari A, Alinejad AA, Hashempour Y, Saghi MH, et al. Health risk assessment of heavy metals in cosmetic products sold in Iran: the Monte Carlo simulation. Environ Sci Pollut Res Int 2020; 27(7): 7588-7595.
27. u L, Huang H, Xia F, Liu Y, Dahlgren RA, Zhang M, et al. Risk analysis of heavy metal concentration in surface waters across the rural-urban interface of the Wen-Rui Tang River, China. Environ Pollut 2018; 237: 639-649.
28. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. 4th Edition. Blaxter K, (ed). Boca Raton: CRC Press; 2010.
29. Soltani N, Keshavarzi B, Moore F, Tavakol T, Lahijanzadeh AR, Jaafarzadeh N, et al. Ecological and human health hazards of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in road dust of Isfahan metropolis, Iran. Sci Total Environ 2015; 505: 712-723.
30. World Health Organization. Preventing disease through healthy environments: exposure to cadmium: a major public health concern. Geneva: World Health Organization; 2019. Contract No.: WHO/CED/PHE/EPE/19.4.3.
31. Abyareh M, Nejadkoorki F, Ekhtesasi Mr, Akhavan ghalibaf M. Evaluation of Heavy Metals contamination in Surface Soil Caused by Steel Industry. Journal of Research in Environmental Health 2019; 4(4): 302-310 (Persian).
32. Jahandari A. Pollution status and human health risk assessments of selected heavy metals in urban dust of 16 cities in Iran. Environmental Science and Pollution Research 2020; 27(18): 23094-23107 (Persian).
33. Farahmand kia Z, Mehrasbi MR, Sekhawatju MS, Hasanalizadeh AS, Ramezanzadeh Z. Study of Heavy Metals in the Atmospheric Deposition in Zanjan, Iran. Iranian Journal of

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-13]

Health and Environment 2010; 2(4): 240-249 (Persian).

34. Li N, Kang Y, Pan W, Zeng L, Zhang Q, Luo J. Concentration and transportation of heavy metals in vegetables and risk assessment of human exposure to bioaccessible heavy metals in soil near a waste-incinerator site, South China. Science Total Environment 2015; 521-522: 144-151.
35. Chabukdhara M, Nema AK. Heavy metals assessment in urban soil around industrial clusters in Ghaziabad, India: Probabilistic health risk approach. Ecotoxicology and Environmental Safety 2013; 87(1): 57-64.
36. Qing X, Yutong Z, Shenggao L. Assessment of heavy metal pollution and human health risk in urban soils of steel industrial city (Anshan), Liaoning, Northeast China. Ecotoxicology and Environmental Safety 2015; 120: 377-385.
37. 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: 186-192.
38. Tao XQ, Shen DS, Shentu JL, Long YY, Feng YJ, Shen CC. Bioaccessibility and health risk of heavy metals in ash from the incineration of different e-waste residues. Environ Sci Pollut Res 2015; 22(5): 3558-3569.
39. Chen H, Teng Y, Lu S, Wang Y, Wang J. Contamination features and health risk of soil heavy metals in China. Science of The Total Environment 2015; 512-513: 143-153.
40. Benhaddya ML, Boukhelkhal A, Halis Y, Hadjel M. Human Health Risks Associated with Metals from Urban Soil and Road Dust in an Oilfield Area of Southeastern Algeria. Archives of Environ Contam Toxicol 2016; 70(3): 556-571.
41. Dehghani S, Moore F, Keshavarzi B, Hale BA. Health risk implications of potentially toxic metals in street dust and surface soil of Tehran, Iran. Ecotoxicology and Environmental Safety 2017; 136: 92-103 (Persian).
42. Men C, Liu R, Xu F, Wang Q, Guo L, Shen Z. Pollution characteristics, risk assessment, and source apportionment of heavy metals in road dust in Beijing, China. Sci The Total Environ 2018; 612: 138-147.
43. Jing C ML, XianHua L, Xiao L, LiLi W, Lei G. Primary research on health risk assessment of heavy metals in road dust of Shanghai. China Environmental Science 2009; 29(5): 548-554.
44. Ma J, Singhirunnusorn W. Distribution and Health Risk Assessment of Heavy Metals in Surface Dusts of Maha Sarakham Municipality. Procedia-Social and Behavioral Sciences 2012; 50: 280-293.
45. Sobhanardakani S. Human health risk assessment of potentially toxic heavy metals in the atmospheric dust of city of Hamedan, west of Iran. Environ Sci Pollut Res Int 2018; 25(28): 28086-28093.
46. Yang S, Zhao J, Chang SX, Collins C, Xu J, Liu X. Status assessment and probabilistic health risk modeling of metals accumulation in agriculture soils across China: A synthesis. Environ Int 2019; 128: 165-174.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-13]