مجله مهندسی بهداشت محیط، بهار ۱۴۰۰، سال ۸، شماره ۳: ۲۴۵-۲۵۶

ارزیابی خطر سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی فلزات سنگین در خاک‌های سطحی منطقه صنعتی بندر ماهشهر در سال ۱۳۹۸

فرزانه نیکفر[۱]، سیما سبزعلی‌پور[۱*]، علی غلامی[۲]، احد نظرپور[۳]

[۱] گروه محیط زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

[۲] گروه خاک‌شناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

[۳] گروه زمین‌شناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۱۱/۱۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۲۷

چکیده

مقدمه و هدف: عدم تجزیه زیستی در طبیعت و ایجاد اثرات بهداشتی نامطلوب در انسان از خصوصیات مهم فلزات سنگین است. هدف اصلی این مطالعه تعیین ریسک‌های سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی فلزات سنگین Ar، Cd، Cu، Cr، Pb، Ni، Va و Zn در خاک‌های مناطق صنعتی بندر ماهشهر برای گروه‌های بزرگسالان و کودکان است.

روش کار: جهت بررسی آثار زیست محیطی از صنعت پتروشیمی در منطقه مورد مطالعه، نمونه‌گیری از ۴۷ نقطه خاک منطقه مورد مطالعه صورت گرفت. نمونه‌ها از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری خاک برداشت شده و بر اساس روش هضم اسیدی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. برای تعیین سطح آلودگی از شاخص‌های ریسک اکولوژیکی و ارزیابی ریسک‌های سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی فلزات سنگین از روابط پیشنهادی سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا استفاده شد.

یافته‌ها: آمارهای توصیفی غلظت فلزات سنگین نشان داد بالاترین میانگین غلظت فلزات در خاک محدوده مورد مطالعه مربوط به فلز Ni با ۷۰/۸۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم و پایین‌ترین مربوط به فلز As با ۰/۳۲ میلی‌گرم‌برکیلوگرم است. ریسک سرطان‌زایی نیکل و کروم در کودکان و بزرگسالان بیش از سایر فلزات مورد بررسی تخمین زده شد (CRI >1). در هر دو گروه سنی، شاخص خطر برای کودکان بیش از بزرگسالان بود.

نتیجه‌گیری: در این مطالعه مشخص گردید، غلظت غیرقابل قبولی از برخی فلزات سنگین همچون نیکل، کروم و آرسنیک در منطقه مورد مطالعه وجود دارد، لذا خاک محدوده صنعتی ماهشهر، نیازمند اجرای طرح‌های پالایش زیستی همچون گیاه‌پالایی است.

کلمات کلیدی: فلزات سنگین، آلودگی خاک، ریسک سرطان‌زایی، ریسک غیرسرطان‌زایی، منطقه صنعتی بندر ماهشهر

***نویسنده مسئول:** استادیار، گروه محیط زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

ایمیل:shadi582@yahoo.com – شماره تماس: ۰۹۱۶۳۱۲۱۸۲۱

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-18]

[DOI: 10.52547/jehe.8.3.245]

مقدمه

بررسی ارتباط میان رشد اقتصادی و کیفیت محیط زیست، نقش مهمی در ترسیم چشم‌انداز توسعه بهینه اقتصادی در کشور ایفا می‌کند. رشد اقتصادی می‌تواند زمینه ارتقاء سلامت را فراهم آورد، اما در صورت عدم اتخاذ سیاست‌های مناسب، آلودگی‌های ناشی از رشد اقتصادی می‌تواند تاثیر منفی بر سلامت داشته باشد[۱]. در میان پیامدهای محیط زیستی ناشی از فعالیت‌های انسانی، آثار آلاینده‌های منتشر شده از صنایع فلزی و غیرفلزی یک عامل محدودکننده مهم برای توسعه پایدار به‌خصوص در صنایع تولید به شمار می‌رود. در میان پیامدهای محیط زیستی ناشی از فعالیت‌های انسانی، آثار آلاینده‌های منتشر شده از صنایع غیرفلزی یک عامل محدودکننده مهم برای توسعه پایدار بخصوص در صنایع تولید به شمار می‌رود[۲].

آلاینده‌های حاصل از صنایع پتروشیمی مثل فلزات سنگین، جزء آلاینده‌هایی بشمار می‌روند که خطر مرگ‌ومیر را در بین انسان‌ها بالا می‌برند. آنچه که بیش از این نگران‌کننده است، انتشار و انتقال فلزات سنگین به مراکز جمعیتی حساس است. فلزات سنگین قابل تجزیه زیستی نیستند و می‌توانند طی دوره‌های زمانی طولانی، در خاک و گرد و غبار باقی بمانند و در صورت ورود به بدن انسان، اثرات سمی زیانباری مانند سرطان را به وجود آورند. سرطان عامل اصلی مرگ و میر در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه جهان است. افزایش ابتلا به سرطان ممکن است ناشی از افزایش سن جمعیت یا رشد جمعیت، شیوه زندگی سرطان‌زا و به‌ویژه آلودگی‌های زیست محیطی باشد.

فلزات سنگین، از مهمترین آلاینده‌های زیست محیطی به شمار می‌آیند. این فلزات با بروز خطرات بهداشتی مانند کاهش رشد کودکان، بیماری‌های کلیوی، سرطان و سایر آثار نامطلوب، بیشترین تاثیر را در تهدید سلامت شهروندان دارند. فلزات سنگین سمی، دارای قابلیت تجمع زیستی و مقاوم به تخریب بیوشیمیایی هستند و به‌عنوان خطر جدی برای سلامت انسان مطرح می‌شوند[۲]. حتی با اینکه برخی فلزات سنگین برای انسان ضروری به نظر می‌رسد اما در مقادیر بالا می‌تواند مسمومیت ایجاد کنند[۳].

بر اساس تحقیقات آژانس بین‌المللی سرطان (International Agency for Research on Cancer (IARC)) فلزات سنگین به لحاظ خاصیت سرطان‌زایی بر انسان به سه گروه طبقه‌بندی شده‌اند[۴]. گروه اول آن دسته از فلزات و شبه فلزاتی هستند که خاصیت سرطان‌زایی آن‌ها ثابت شده است. گروه دوم ترکیبات فلزاتی هستند که احتمالاً باعث ایجاد سرطان در انسان می‌شوند. گروم سوم آن دسته از ترکیباتی هستند که خاصیت سرطان‌زایی بر روی انسان ندارند[۵]. در این میان فلزاتی نظیر Cd، Cr و Ni و ترکیبات آن جز گروه اول یعنی سرطان‌زاهای انسانی بشمار می‌روند که در اثر مواجهه گوارشی و استنشاقی با آن‌ها بیماری‌هایی نظیر سرطان ریه، کبد و کلیه ظاهر می‌شود[۶]. هرچند میانگین غلظت فلزاتی نظیر Cd، Cu، Cr، Ni و V به‌طور متوسط در پوستهٔ زمین ۰/۱۱، ۵۰، ۱۰۰، ۸۰ و ۱۶۰ mg/kg است، اما پراکندگی ژئوشیمیایی آن‌ها در محیط زیست به‌طور طبیعی از طریق فرآیندهای هوازدگی اتفاق می‌افتد. در نواحی تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی، غلظت فلزات سنگین مذکور در نواحی شهری و صنعتی به‌تنهایی مرتبط با فاکتورهای زمین‌شناسی نیست[۷،۸]. در ارزیابی، باید گسترش و شدت آلودگی فلزات سنگین در مناطق مشکوک به آلودگی تعیین شود. سپس می‌توان به ارزیابی و تحلیل وضعیت آلودگی منطقه با بهره‌گیری از شاخص‌هایی مانند: شاخص ریسک سرطان‌زایی (Carcinogenic Risk Index (CRI))، شاخص غیرسرطان‌زایی (Hazard Index (HI))، پتانسیل ریسک اکولوژیک (Ecological Risk Potential (ERP)) و شاخص تلفیقی ریسک اکولوژیک (Integrating Ecological Risk (IER)) پرداخت.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-18]

[DOI: 10.52547/jehe.8.3.245]

این شاخص‌ها قادر هستند تاثیر وضعیت آلودگی در منطقه بر جنبه‌های مختلف سلامت جوامع انسانی را ارائه دهند[9]. بررسی‌های بسیاری در ارتباط با ارزیابی آلودگی فلزات سنگین ناشی از فعالیت‌های مختلف صنعتی با استفاده از شاخص‌های فوق‌الذکر انجام شده است که از جمله آنها می‌توان به مطالعه Norouzi و Bagheri[10] و Vaezi و همکاران[11] اشاره کرد. Huang و همکاران[12] نیز با استفاده از دو شاخص ERP و IER اقدام به ارزیابی شدت آلودگی فلزات سنگین در خاک اطراف معدن سرب و روی چنزو واقع در استان هانان چین نمودند که نتایج آن‌ها تائیدکننده قرارگیری خاک منطقه در کلاس متوسط آلودگی بود. Aluki و همکاران[13] در ارزیابی ریسک سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی فلزات سنگین خاک‌های مجاور معادن آهن ایتاکپ و اگباژا نیجریه نشان داده شد که ریسک‌های سرطان‌زایی فلزات کروم و کادمیوم برای هر دو رده سنی کودکان و بزرگسالان بزرگ‌تر از 10^{-4} و ریسک‌های غیرسرطانی فلزات مس، کروم و کادمیوم برای جمعیت بزرگسالان کوچکتر از ۱ و برای کودکان بیشتر از ۱ بود. Jamal و همکاران[14] ریسک‌های سرطان‌زایی مواجهه کودکان و بزرگسالان با کادمیوم و ریسک‌های غیرسرطان‌زایی مواجهه با کادمیوم، مس و نیکل در خاک پیرامون کارخانه ذوب سرب و روی زنجان بالاتر از حد مجاز به‌دست آوردند.

از طرفی گسترش فعالیت‌های صنعتی از جمله توسعه پروژه‌های پتروشیمی در این منطقه و افزایش حمل و نقل جاده‌ای، اطراف اداره بنادر و کشتیرانی، سبب ایجاد آلودگی‌هایی بر پیکره خاکی این شهر گردیده که در نتیجه نشر آلاینده‌ها از منابع مختلف ثابت و متحرک می‌باشد. طی سال‌های اخیر، تحقیقاتی با هدف سنجش میزان عناصر سنگین در محیط‌های پذیرنده در این محدوده صورت گرفته که از جمله آن‌ها می‌توان به مطالعه Norouzi and Bagheri[10] و Vaezi و همکاران[11] اشاره کرد.

صنایع پتروشیمی در منطقه مورد مطالعه، طیف زیادی از آلاینده‌ها شامل ذرات معلق، فلزات سنگین و آلاینده‌های خطرناک در هوا مانند هیدروکربن‌های آروماتیک حلقوی، بنزن، نیکل، سرب، کادمیوم و غیره را به محیط انتشار می‌دهند که اثرات سوء جبران‌ناپذیری بر سلامت انسان و اکوسیستم دارند[15]. بر اساس مطالعات انجام شده، اقامت در مناطق مسکونی مجاور با صنایع پتروشیمی منجر به افزایش ریسک ابتلا به سرطان کبد، ریه و بیماری‌های متعدد دیگری خواهد شد، همچنین این آلودگی‌ها باعث ایجاد مشکلات باروری، عقیم‌شدن و غیره نیز می‌شود[16]. بنابر مطالب ارائه شده، اهمیت بررسی کیفیت و شدت آلودگی منابع خاک سطحی آشکار می‌گردد. فعالیت‌های مربوط به صنعت پتروشیمی اثرات منفی بر محیط زیست منطقه مجاور دارد. اثرات زیان‌آور آن‌ها ناشی از آلودگی‌های حاصل از صنعت پتروشیمی، آلاینده‌های مربوط به آن و پساب‌ها است. جاده‌های اصلی و کشتیرانی دلیل تردد وسایل نقلیه، به عنوان یک منبع غیرنقطه‌ای در ایجاد آلودگی در محیط صنعتی محسوب می‌گردد به‌طوری که نشرهای حاصل از اگزوز خودروها عامل اصلی تولید فلزات سنگین در هوا و خاک می‌باشند[17].

با توجه به اینکه مطالعه جامعی در رابطه با ارزیابی شدت آلودگی فلزات سنگین ناشی از صنایع پتروشیمی و پتانسیل ریسک سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی آن بر جوامع محلی ساکن در نواحی پیرامون منطقه صنعتی ماهشهر تاکنون صورت نگرفته است، تحقیق در این زمینه می‌تواند اطلاعات جامع و راهکارهای مناسبی را در اختیار تصمیم‌گیران برای ایجاد سیاست‌های کاهش سطح آلودگی و بهبود شرایط زندگی مردمان ساکن در آن ناحیه قرار دهد تا از گسترش آلودگی به محیط اطراف آن جلوگیری شود.

تحقیق حاضر با هدف ارزیابی شدت آلودگی فلزات سنگین مس، سرب، روی، کادمیوم، آرسنیک، وانادیوم، کروم و نیکل در خاک‌های منطقه صنعتی ماهشهر با استفاده از

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-18]

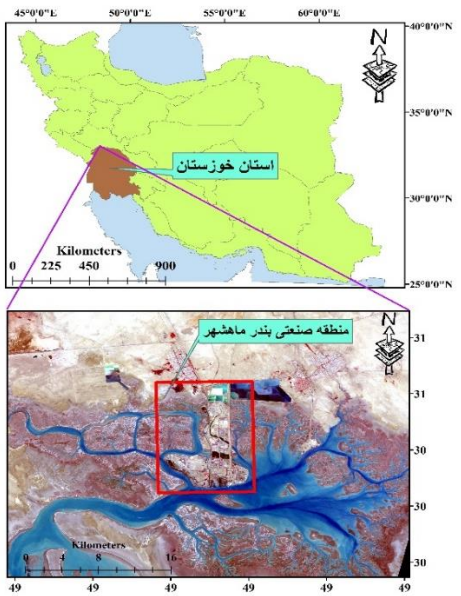
[DOI: 10.52547/jehe.8.3.245]

شاخص‌های سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی آن‌ها در اثر مواجهه پوستی، استنشاقی و گوارشی کودکان و بزرگسالانی که در منطقه صنعتی ماهشهر (مراکز مسکونی و تفریحگاهی) به سر می‌برند، انجام شد. نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند امکان ارزیابی مناسب آثار ناشی از ورود فلزات سنگین به محیط زیست را فراهم کند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، منطقه صنعتی ماهشهر (منطقه ویژه اقتصادی، بندر صادراتی و اداره بندر ماهشهر) است و از نظر جغرافیایی بین مختصات با طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۱۳ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۳۳ دقیقه واقع شده است (شکل ۱). این منطقه صنعتی به دلیل تراکم پتروشیمی‌ها و وجود طیف وسیعی از آلاینده‌های صنعتی و تردد وسایل نقلیه در جاده‌های اداره بندر و بندر صادراتی، در خاک‌های پیرامونی، به عنوان منطقه‌ای مهم جهت ارزیابی میزان آلودگی محسوب می‌گردد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه.

نمونه‌برداری و آنالیز آزمایشگاهی

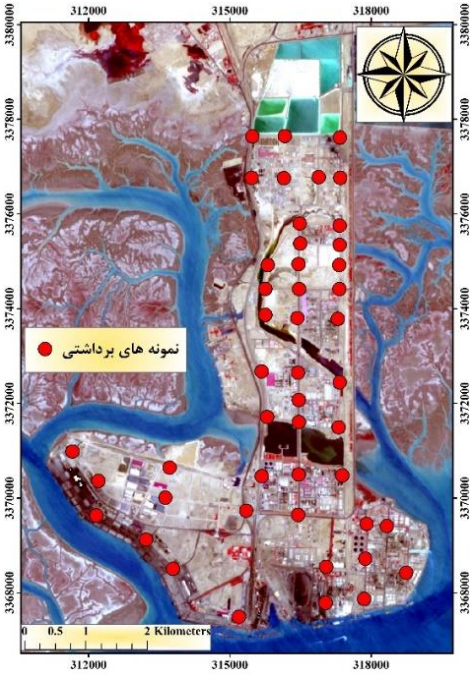
جهت تعیین ایستگاه‌های مطالعاتی داشتن اطلاعات کافی از شرایط منطقه لازم و ضروری است. بر اساس مساحت نسبتاً زیاد محدوده مورد بررسی و نیز با هدف ارائه مفهوم دقیقی از خصوصیات خاک، جهت تعیین نقاط نمونه‌برداری از روش شبکه‌بندی منظم استفاده شد. در این مطالعه کیفیت خاک منطقه در ۴۷ نقطه مورد پایش و کنترل قرار گرفته است (شکل ۲). بدین منظور ابتدا موقعیت کلی منطقه با استفاده از نقشه مورد بررسی قرار گرفت. سپس با ارزیابی اطلاعات موجود، ایستگاه‌های مورد نظر با توجه به در معرض بودن بیشترین آلودگی ناشی از فعالیت‌های صنعتی مشخص گردیدند. تعداد ۴۷ ایستگاه در چهار جهت جغرافیایی در منطقه صنعتی بندر ماهشهر در فصل تابستان ۱۳۹۸ در نظر گرفته شد. تمامی آزمایش‌ها در سه تکرار و با ارائه مقادیر کمینه، بیشینه، میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات که در جدول (۱) ارائه شده است، انجام شد.

نمونه‌برداری بر اساس روش ارائه شده با استفاده از بیلچه از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری خاک به صورت v شکل برداشت شد. سپس نمونه‌ها درون کیسه‌های پلی‌اتیلن جمع‌آوری و برای آماده‌سازی و خشک‌شدن به مکانی دور از تابش نور خورشید منتقل گردید. بعد از انتقال، ابتدا بقایای گیاهی و زوائد از نمونه‌های خاک جدا و سپس نمونه‌ها جهت خشک کردن در پتری‌دیش در آون با دمای ۶۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفتند. پس از خشک شدن نمونه‌ها، ذرات کوچکتر از ۶۳ میلی‌متری جداسازی و جهت اندازه گیری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه منتقل شدند. بافت خاک (درصد شن، سیلت و رس) به روش هیدرومتری و pH نیز با استفاده از دستگاه pH متر اندازه‌گیری و برای تعیین غلظت کل فلزات سنگین در خاک نیز از روش هضم اسیدی پیشنهاد شده توسط Sposito و همکاران[18] بهره‌گیری شد. در این روش، پس از شستشوی نمونه با اسید

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-18]

[DOI: 10.52547/jehe.8.3.245]

کلریدریک و اسید نیتریک ۱ مولار، قرائت غلظت کل فلزات توسط دستگاه طیف سنج ICP با مدل ICP expert VISTA MPX ساخت آمریکا که غلظت عناصر را همزمان و در سطح ppb ارائه می‌کند صورت گرفت.



شکل ۲: موقعیت نقاط نمونه‌برداری درخاک منطقه صنعتی بندر ماهشهر.

ارزیابی خطر سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی

برای ارزیابی ریسک‌های سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی فلزات سنگین موجود در خاک‌های منطقهٔ صنعتی بندر ماهشهر از روش ارزیابی ریسک بهداشتی ارائه شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (USEPA) استفاده شد[۱۹]. از آنجایی که فاصله صنایع تا نزدیک‌ترین سکونتگاه‌ها و مراکز تفریحی بین ٤ تا ۷ کیلومتر است بنابراین افراد مواجهه با فلزات سنگین، کودکان و بزرگسالان ساکن در این مراکز بودند. در بررسی ریسک‌های سرطان‌زایی فلزات سنگین، مواجهه کودکان و بزرگسالان با فلزات از هر سه مسیر بلع، تنفس و جذب پوستی مد نظر قرار گرفت. با توجه به اینکه میزان مواجهه با یک دوز (غلظت) روزانه برای هر فلز به صورت جداگانه بیان می‌شود، مقادیر جذب روزانه فلزات (Average Daily Dose (ADD)) در هریک از مسیرها با استفاده از معادلات ۱ تا ۳ محاسبه شد.

$$ADD_{ingestion} = Csoil \frac{IngR \times EF \times ED}{BW \times AT} \times 10^{-6}$$

$$ADD_{inhalation} = Csoil \frac{InhR \times EF \times ED}{PEF \times BW \times AT}$$

$$ADD_{dermal} = Csoil \frac{SA \times AF \times ABS \times EF \times ED}{BW \times AT} \times 10^{-6}$$

که در آن $ADD_{ingestion}$، $ADD_{inhalation}$ و ADD_{dermal} به ترتیب مقدار میانگین جذب روزانه فلزات (برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز) از طریق بلع، تنفس و جذب پوستی است. C غلظت فلزات در خاک (میلی‌گرم بر کیلوگرم)، $IngR$ و $InhR$ به ترتیب نرخ بلع و نرخ تنفس خاک (میلی‌گرم در روز و متر مکعب در روز)، EF فراوانی قرارگیری در معرض فلزات (روز در سال)، ED مدت قرارگیری در معرض فلزات (سال)، BW وزن بدن شخص قرار گرفته در معرض فلزات (کیلوگرم)، AT مدت زمان قرارگیری در معرض هر مقدار از فلزات به طور میانگین (روز)، PEF فاکتور انتشار فلزات از خاک به هوا (متر مکعب بر کیلوگرم)، SA ناحیه‌ای از سطح پوست قرارگرفته در معرض فلزات (سانتی‌متر مربع)، SL فاکتور چسبندگی خاک به پوست (میلی‌گرم بر سانتی‌متر در روز)، ABS فاکتور جذب سطحی پوست (بدون واحد) و CF فاکتور تبدیل است[۲۰].

پس از محاسبه مقدار جذب روزانه فلزات برای هریک از مسیرها، شاخص خطر غیرسرطان‌زایی (HQ) کل مسیرها برای کودکان و بزرگسالان از تقسیم مجموع میزان ADD هر مسیر به مقدار مرجع سمیت آن فلز تعیین خواهد شد (رابطه ٤). در رابطهٔ ٤، HQ (Hazard Quotient) ریسک غیرسرطان‌زایی فلزات سنگین در هر مسیر، RfD_i مقادیر جذب روزانه در هریک از مسیرهای قرارگیری در معرض فلزات (mg/kg.day) است. اگر HQ<۱ باشد، با سلامت انسان سازگار است و اگر

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-18]

[DOI: 10.52547/jehe.8.3.245]

HQ<۱ باشد، اثرات نامطلوب و نگران کننده‌ای بر سلامت انسان دارد[۲۱].

$$HQ_i = \sum \frac{ADD_i}{R_f D_i} \quad (۴)$$

مقدار شاخص ریسک تجمعی غیرسرطان‌زایی (HI) کل فلزات سنگین برای هر دو گروه بزرگسالان و کودکان طبق معادلهٔ ۵ بدست می‌آید.

$$HI = \sum_{i=1}^{3} HQ \quad (۵)$$

در این معادله، ریسک غیرسرطان‌زایی تجمعی (HI) کل مسیرها برای کودکان و بزرگسالان از مجموع میزان ADD هر مسیر به مقدار مرجع سمیت آن فلز تعیین شد. ارزیابی ریسک سرطان‌زایی هر یک از مسیرهای سه گانه برای این فلزات به استفاده از معادله ٦ بدست آمد.

$$Risk(CRI) = \sum ADD_i \times SF_i \quad (٦)$$

در معادلهٔ فوق، (Cancer Risk Index (CRI)) شاخص ریسک سرطان‌زایی، ADD_i مقادیر جذب روزانه فلزات در هریک از مسیرهای قرارگیری در معرض فلزات (میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز) و SF_i فاکتور احتمال ابتلا به سرطان در هر واحد قرارگیری در معرض فلزات (هر میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز) است[۲۲].

یافته‌ها

آمارهای توصیفی غلظت فلزات سنگین اندازه‌گیری شده موجود در خاک منطقه مورد مطالعه به صورت حداقل، حداکثر، میانگین و میانه بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم در جدول ۱ خلاصه شده است. در بین فلزات سنگین مورد سنجش، بالاترین میانگین غلظت فلزات در خاک محدوده مورد مطالعه مربوط به فلز نیکل با ۷۰/۸۹ mg/kg و پایین‌ترین مربوط به فلز آرسنیک با ۰/۳۲ mg/kg اختصاص یافت (جدول ۱). ضمن اینکه غلظت سایر فلزاتی که در جدول ۱ ارائه شده، به‌ترتیب میانگین آن‌ها به‌صورت نیکل> روی> سرب> کروم> مس> کادمیوم> وانادیوم> آرسنیک است.

ضریب تغییرات[1]، میزان نسبی تغییرات غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های خاک صنعتی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد[۲۳]. اگر ۲۰٪≤ ضریب تغییرات باشد نشان‌دهندهٔ تغییرات کم، ۵۰٪> ضریب تغییرات ≥۲۱٪ نشان‌دهندهٔ تغییرات حد واسط، ۱۰۰٪> ضریب تغییرات ≥٪۵۰ نشان‌دهندهٔ تغییرات بالا، در حالی که ضریب تغییرات بالای ۱۰۰٪ بسیار بالا محسوب می‌شود[۲۲،۲٤]. درصد ضرایب تغییران غلظت فلزات سنگین مورد بررسی به‌ترتیب سرب> روی> مس> کادمیوم> وانادیوم> کروم> نیکل> آرسنیک کاهش یافت. مقادیر بالای ضرایب تغییرات نیکل نشان داد که غلظت این فلزات به‌طور قابل توجهی در ایستگاه‌های مختلف نمونه‌برداری متفاوت است. همچنین نمایانگر توزیع ناهمگن آن‌ها به دلیل فعالیت‌های انسانی است. ضرایب تغییرات دو عنصر کادمیوم و وانادیوم تغییرپذیری متوسطی را نشان می‌دهد که بازتاب‌کننده توزیع نسبتاً غیرهمگن این دو عنصر در منطقه است. مقادیر بالای انحراف معیار نشان‌دهندهٔ تغییرات زیاد غلظت‌های فلزات سنگین موجود در منطقه صنعتی ماهشهر است که این موضوع برای عناصر روی و سرب در این مطالعه مشاهده شد.

[1] Coefficient Variation (CV)

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-18]

[DOI: 10.52547/jehe.8.3.245]

جدول ۱: آمارهای توصیفی غلظت فلزات سنگین خاک منطقه مورد مطالعه.

عنصر (میلی‌گرم/ کیلوگرم)	مس	سرب	روی	کادمیوم	آرسنیک	وانادیوم	کروم	نیکل
حداقل	۹/۵۸	۲٤/۳۰	۲۹/۸۸	۰/۱٤	۰/۳۲	۰/۲۱	۲۳/٦٤	٥۱/۳٦
حداکثر	۹۱/۷۸	۲۹۸/۳٦	٤۱۰/۲٦	۱۱/۰۲	۰/٤٤	۱/۲۳	٥۲/۲٦	۹۹
میانگین	۲۰/۸۸	۳۹/٦٥	٦۲/۹۸	۳/٥۸	۰/۳۷	۰/٥۳	۲۳/٦٤	۷۰/۸۹
میانه	۱٤/۲۸	۳۱/۷	٥۰/٤۸	۳/۲٤	۰/۳۷	۰/٤۸	۳۸/۸۳	۷۱
انحراف معیار	۱۷/۱٦	۳۹/۳۱	٥٥/۲۲	۱/٤۸	۰/۰۳۲	۰/۲۰	٦/۸٥	۱۱/۱۳
ضریب تغییرات (٪)	۸۲/۱	۹۹/۱٤	۸۷/٦۷	٤۱/۳٤	۸/٦٤	۳۷/۷۳	۲۸/۹۷	۱٥/۷

ریسک سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی

ارزیابی ریسک سلامت مواجهه با فلزات سنگین خاک‌های منطقه صنعتی ماهشهر از سه مسیر اصلی بلع، تنفس و جذب پوستی برای کودکان و بزرگسالان در جدول ۲ ارائه شده است. مطابق نتایج HQ در گروه سنی کودکان و بزرگسالان تمامی فلزات مورد مطالعه به ترتیب مسیر بلع> جذب پوستی> تنفس بود. همچنین میزان HQ در مسیرهای جذب پوستی، تنفس و بلع برای کودکان بیشتر از بزرگسالان بوده است. برای هر دو گروه سنی بیشترین میزان HQ مربوط به فلز کروم و از طریق مسیر بلع بود. بررسی HQ فلزات سنگین در هر سه مسیر بلع، جذب پوستی و تنفس کم‌تر از ۱ تخمین زده شده است، لذا سلامت انسان را تهدید نخواهد کرد. طبق جدول ۳ مقادیر شاخص خطر غیرسرطان‌زایی (HI) کل مسیرهای جذب در گروه سنی کودکان بیشتر از بزرگسالان است. که این امر نشان‌دهندهٔ مواجهه بیشتر کودکان نسبت به بزرگسالان در برابر فلزات سنگین است. HI کل مسیرهای جذب در گروه‌های سنی کودکان و بزرگسالان در شکل ۳ ارائه شده است. نتایج ارزیابی خطر سرطان‌زایی (RI) فلزات سنگین به تفکیک کودکان و بزرگسالان در جدول ۳ و شکل ٤ ارائه شده است. مقادیر RI در کودکان بیشتر از بزرگسالان تخمین شد. خطر سرطان‌زایی به ترتیب برای فلزات نیکل> کروم> آرسنیک> روی بیش از سایر فلزات بود.

جدول ۲: ریسک غیرسرطان‌زایی **(HQ)** فلزات سنگین موجود در خاک‌های سطحی در هر سه مسیر ورود به بدن انسان به تفکیک بزرگسالان و کودکان.

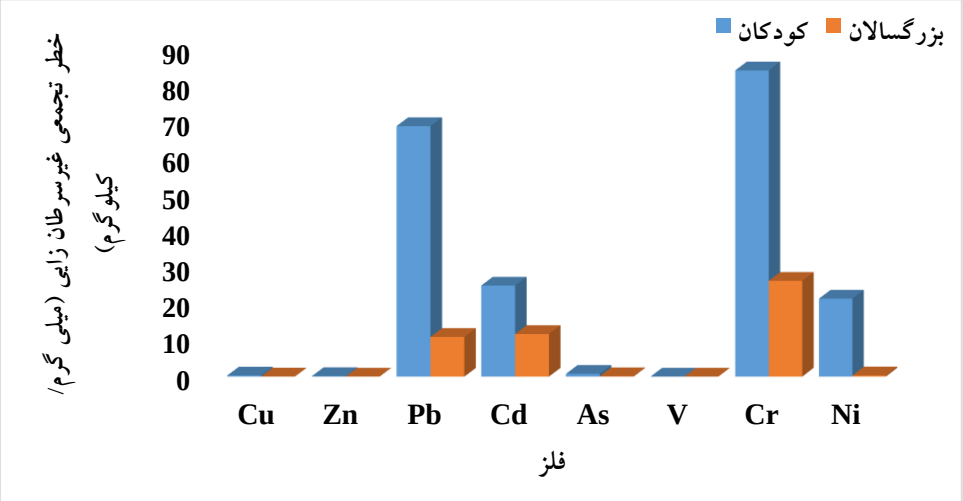
	$HQ_{ingestion}$		$HQ_{inhalation}$		HQ_{dermal}	
فلز	کودک	بزرگسال	کودک	بزرگسال	کودک	بزرگسال
مس	$٦/٦۷ \times ۱۰^{-۳}$	$۸/۹٥ \times ۱۰^{-٤}$	$۱/۸٦ \times ۱۰^{-۷}$	$۸/۲۰ \times ۱۰^{-۸}$	$۳/٥ \times ۱۰^{-٥}$	$۹/۰۹ \times ۱۰^{-٥}$
روی	$۲/٦۸ \times ۱۰^{-۳}$	$۳/٦۰ \times ۱۰^{-٤}$	$۷/٥۲ \times ۱۰^{-۸}$	$۳/۳۸ \times ۱۰^{-۸}$	$۲/۱٤ \times ۱۰^{-٥}$	$٥/٤۸ \times ۱۰^{-٥}$
سرب	$۱/٤٤ \times ۱۰^{-۱}$	$۱/۹٤ \times ۱۰^{-۲}$	$٤/۰٤ \times ۱۰^{-٦}$	$۱/۸۱ \times ۱۰^{-٦}$	$۱/٥٤ \times ۱۰^{-۳}$	$۳/۹٤ \times ۱۰^{-۳}$
کادمیوم	$٤/٥۸ \times ۱۰^{-۲}$	$٦/۱٥ \times ۱۰^{-۳}$	$۱/۲۸ \times ۱۰^{-٦}$	$٥/۷۹ \times ۱۰^{-۷}$	$۷/۳٤ \times ۱۰^{-۳}$	$۱/۸۷ \times ۱۰^{-۲}$
آرسنیک	$۱/٥۹ \times ۱۰^{-۲}$	$۲/۱۳ \times ۱۰^{-۳}$	$٤/۳۲ \times ۱۰^{-۷}$	$۱/۹٤ \times ۱۰^{-۷}$	$٦/۲۱ \times ۱۰^{-٥}$	$۱/٥۸ \times ۱۰^{-٤}$
وانادیوم	$٦/۷۹ \times ۱۰^{-٦}$	$۹/۱۱ \times ۱۰^{-۷}$	$٤/٥۹ \times ۱۰^{-۱۳}$	$۹/٥۳ \times ۱۰^{-۱٥}$	$۱/۰۸ \times ۱۰^{-۱۰}$	$۲/۷۷ \times ۱۰^{-۱۰}$
کروم	$۱/٦٥ \times ۱۰^{-۱}$	$۲/۲۱ \times ۱۰^{-۲}$	$٤/۸٦ \times ۱۰^{-٤}$	$۲/۱۸ \times ۱۰^{-٤}$	$۱/۳۲ \times ۱۰^{-۲}$	$۳/۳۷ \times ۱۰^{-۲}$
نیکل	$٤/٥۳ \times ۱۰^{-۲}$	$٦/۰۸ \times ۱۰^{-۳}$	$۱/۲۳ \times ۱۰^{-٦}$	$٥/٥٥ \times ۱۰^{-۷}$	$۲/٦۸ \times ۱۰^{-٤}$	$٦/٥۸ \times ۱۰^{-٤}$

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-18]

[DOI: 10.52547/jehe.8.3.245]

جدول ۳: ریسک تجمعی غیرسرطان‌زایی (HI) و ریسک سرطان‌زایی (RI) فلزات سنگین موجود در خاک‌های سطحی به تفکیک بزرگسالان و کودکان.

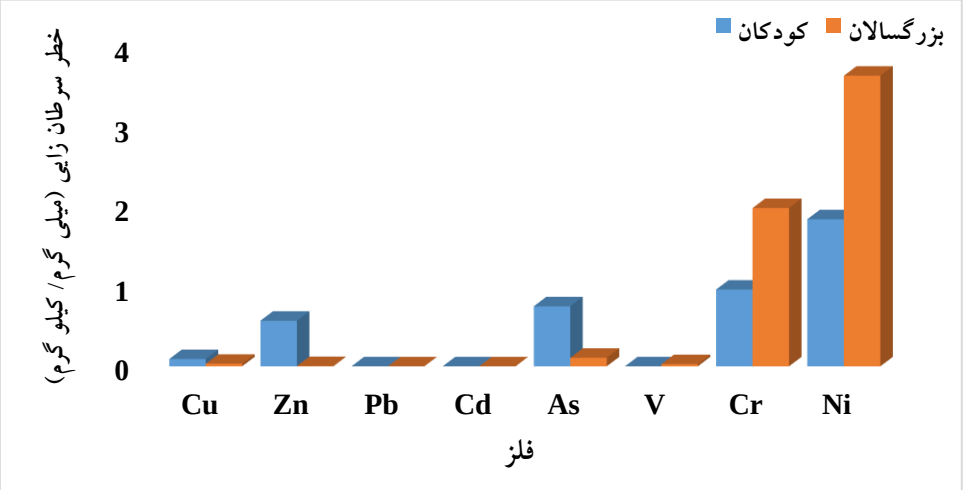
	HI		RI	
فلز	کودک	بزرگسال	کودک	بزرگسال
مس	$۳/۱۵ \times ۱۰^{-۱}$	$٤/٦۳ \times ۱۰^{-۲}$	$۹/۱ \times ۱۰^{-۲}$	$۳/۲ \times ۱۰^{-۲}$
روی	$۱/۲۷ \times ۱۰^{-۱}$	$۱/۹۵ \times ۱۰^{-۲}$	$۵/۷\times ۱۰^{-۱}$	۳×۱۰^{-۳}
سرب	٦۸۸×۱۰^{-۱}	۱۰۹×۱۰^{-۱}	۲×۱۰^{-۵}	۲×۱۰^{-٦}
کادمیوم	۲۵۰×۱۰^{-۱}	۱۱۷×۱۰^{-۱}	۲×۱۰^{-۵}	۳×۱۰^{-٦}
آرسنیک	$۷/۵۱ \times ۱۰^{-۱}$	$۱/۰۷ \times ۱۰^{-۱}$	$۷/۵۱\times ۱۰^{-۱}$	$۱/۰۷ \times ۱۰^{-۱}$
وانادیوم	$۳/۱۹ \times ۱۰^{-٤}$	$٤/۲۸ \times ۱۰^{-۵}$	۰	$۲/۷ \times ۱۰^{-۲}$
کروم	۸٤۱×۱۰^{-۱}	۲٦۳×۱۰^{-۱}	$۹/٦ \times ۱۰^{-۱}$	$۱۹/۸ \times ۱۰^{-۱}$
نیکل	۲۱۴×۱۰^{-۱}	$۳/۱۸ \times ۱۰^{-۱}$	$۱۸/۴ \times ۱۰^{-۱}$	$۳۶/۳ \times ۱۰^{-۱}$



شکل ۳: خطر تجمعی غیرسرطان‌زایی کل مسیرهای جذب فلزات سنگین خاک منطقه صنعتی ماهشهر به تفکیک بزرگسالان و کودکان.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-18]

[DOI: 10.52547/jehe.8.3.245]



شکل ٤: خطر سرطان‌زایی فلزات سنگین خاک سطحی منطقه صنعتی ماهشهر به تفکیک بزرگسالان و کودکان.

بحث

بررسی غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های خاک نشان داد بیشترین و کم‌ترین غلظت به ترتیب مربوط به فلزات نیکل و آرسنیک است. قرار گرفتن فلز نیکل در بالاترین غلظت در منطقه نشان‌دهندهٔ گستردگی استفاده از این فلز در صنعت پتروشیمی است. در حالی‌که در تحقیقات متعددی همچون Oyleke و همکاران[۲۵] و Wu و همکاران[۲۶] که در خاک مناطق شهری نیجریه و یک منطقه صنعتی در شهر دونگان چین صورت گرفت، سرب و آرسنیک دارای بالاترین غلظت و ریسک بهداشتی بودند. غلظت بالای فلزات سنگین موجود در منطقه منعکس‌کنندهٔ فعالیت‌های صنعتی و انتشارات ناشی از تردد خودروها در منطقه مورد مطالعه است. مقادیر HQ و HI در هر سه مسیر جذب پوستی، تنفس و بلع برای ارزیابی ریسک غیرسرطان‌زایی فلزات در خاک‌های منطقه مورد مطالعه کوچکتر از ۱ بدست آمد. همانند مطالعه Tepanosyan و همکاران[۲۷] جذب پوستی، تنفس و بلع برای کودکان بیشتر از بزرگسالان بود. در مجموع شاخص خطر (HI) کلیه فلزات سنگین در هر سه مسیر جذب برای کودکان بیشتر از ۱ و برای بزرگسالان کوچک‌تر از ۱ محاسبه شد. نتایج ارزیابی شاخص ریسک سرطان‌زایی (RI) فلزات سنگین به تفکیک کودکان و بزرگسالان نشان داد که دو فلز نیکل و کروم بیشترین ریسک سرطان‌زایی را دارند. دو فلز نیکل و کروم در نواحی نزدیک به مناطق مسکونی پیش‌بینی شد که منعکس‌کنندهٔ خطر جدی کودکان و بزرگسالان در اثر مواجهه استنشاقی و گوارشی با این فلزات است. این نتایج نشان می‌دهد که شاخص‌های ریسک سرطان‌زایی عناصر نیکل و کروم در محدوده منطقه صنعتی ماهشهر در شرایط نگران کننده‌ای قرار دارد. همچنین وضعیت ریسک سرطان‌زایی عناصر آرسنیک و روی برای کودکان نیز در محدوده مرزی خطر قرار گرفته است. این نتایج مبین آن است که وجود آلودگی عناصر سنگین در خاک‌های محدوده صنعتی ماهشهر، نیازمند اجرای طرح‌های پالایش زیستی همچون گیاه پالایی است. شایان ذکر است که مطالعهٔ حاضر دارای کاستی‌ها و محدودیت‌هایی است. در این مطالعه سطح آلودگی برخی فلزات سنگین خاک‌های منطقه مورد مطالعه تعیین شد. پیشنهاد می‌شود که در مطالعات آتی علاوه بر تعیین سطح آلودگی برای فصول پاییز، زمستان و بهار مورد ارزیابی قرار گیرد. همچنین برای تحلیل دقیق‌تر باید خصوصیات فیزیکی، توزیع اندازه ذرات و کانی‌شناسی خاک‌ها نیز بررسی شود اما به دلیل نبود امکانات کافی و هزینه زیاد این پژوهش میسر نبود.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-18]

[DOI: 10.52547/jehe.8.3.245]

نتیجه‌گیری

در این مطالعه مشـــخص گردید، غلظت غیرقابل قبولی از برخی فلزات سنگین همچون نیکل، کروم و آرسنیک در منطقه مورد مطـالعه وجود دارد. از آنجایی‌که خاک‌های نواحی منطقه صـنعتی به راحتی توسط باد و وسایل نقلیه به خاک‌های منطقه باز می‌گردد، بنابراین می‌تواند از مسـیرهای اسـتنشـاق، تماس پوستی و مصرف خوراکی وارد بدن جمعیت انسانی در مناطق مسـکونی و کارکنان منطقه مورد مطالعه بررسـی شود. در این مطالعه با تخمین ریســک ســرطان‌زایی فلزات ســنگین در خاک‌های منطقه صـنعتی ماهشهر مشخص گردید دو فلز نیکل و کروم در ناحیهٔ مورد مطالعه غیرمجاز و برای سلامت ساکنین مخاطره‌آمیز اسـت. مقایسـه نتایج تخمین شاخص خطر اثرات تجمعی کلیـه فلزات ســنگین خـاک‌هـای منطقه مورد مطالعه بیانگر ریسـک غیرســرطان‌زایی بیشـتر در کودکان نسـبت به بزرگسـالان اسـت. در مجموع آنچه از نتایج تحقیق حاضـر بر می‌آید بیانگر نقش موثر صـــنایع موجود در منطقه در افزایش غلظت فلزات ســـنگین خاک‌های منطقه اســـت. برای کاهش سـطح آلودگی و در نتیجه کاهش ایجاد ریسک‌های سرطانی و غیرسرطانی در منطقه باید منابع انتشار نیکل و کروم با استفاده از تکنولوژی‌های کنترل آلاینده‌های مجهز گردند.

تقدیر و تشکر

پژوهش حاضـر قسـمتی از رساله دکتری با عنوان "توزیع مکانی و بررسـی ریسـک سـلامت فلزات سـنگین بر سلامت انسـان در خاک سـطحی منطقه صـنعتی شـهرسـتان ماهشهر" می‌باشـد که در دانشـگاه آزاد اسـلامی واحد اهواز صـورت پذیرفته است.

References

1. Sungur A, Soylak M, Ozcan H. Fractionation, source identification and risk assessments for heavy metals in soils near a small-scale industrial area (Çanakkale-Turkey). Soil and Sediment Contamination: An Int J 2019; 28(2): 213-27.
2. Ravankhah N, Mirzaei R, Masoum S. Human health risk assessment of heavy metals in surface soil. J Mazandaran Univ Med Sci 2016; 26(136) :109-20 (In Perisan).
3. Mazloomi S, Esmaeili-Sari A, Bahramifar N, Moeinaddini M. Assessment of the metals and metalloids level in street dust of the east and west of Tehran. Iran J of Health and Environ 2017; 10(2): 281-92 (In Perisan).
4. World Cancer Report 2014. Geneva, Switzerland: World Health Organization, Int Agency for Research on Cancer, WHO Press, 2015
5. Suvarapu LN, Baek SO. Determination of heavy metals in the ambient atmosphere: A review. Toxicology and industrial health 2017; 33(1):79-96.
6. Pearce N, Blair A, Vineis P, Ahrens W, Andersen A, Anto JM, Armstrong BK, Baccarelli AA, Beland FA, Berrington A, Bertazzi PA. IARC monographs: 40 years of evaluating carcinogenic hazards to humans. Environ health perspectives 2015; 123(6): 507-14.
7. Mishra S, Bharagava RN, More N, Yadav A, Zainith S, Mani S, Chowdhary P. Heavy metal contamination: an alarming threat to environment and human health. In Environ biotechnology: For sustainable future 2019; 103-125. Springer, Singapore.
8. Rai PK, Lee SS, Zhang M, Tsang YF, Kim KH. Heavy metals in food crops: Health risks, fate, mechanisms, and management. Environ int 2019; 125: 365-85.
9. Kabisch N, Strohbach M, Haase D, Kronenberg J. Urban green space availability in European cities. Ecological indicators 2016; 70: 586-96.
10. Norouzi M, Bagheri Tavani M. The assessment of the accumulation and consumption hazard of five heavy metals in eleven species of fish in Persian Gulf waters (Bandar Mahshahr, Khuzestan Province). Fisheries Sci and Technol 2018; 7(4): 263-70.
11. Vaezi AR, Karbassi AR, Fakhraee M. Assessing the trace metal pollution in the sediments of Mahshahr Bay, Persian Gulf, via a novel pollution index. Environ monitoring and assessment 2015; 187(10): 1-2.
12. Huang S, Yuan C, Li Q, Yang Y, Tang C, Ouyang K, Wang B. Distribution and risk assessment of heavy metals in soils from a typical Pb-Zn mining area. Polish J Environ Studies 2017; 26(3): 1105-12.
13. Aluko T, Njoku K, Adesuyi A, Akinola M. Health risk assessment of heavy metals in soil from the iron mines of Itakpe and Agbaja, Kogi State, Nigeria. Pollut 2018; 4(3): 527-38 (In Persian).
14. Jamal A, Delavar MA, Naderi A, Nourieh N, Medi B, Mahvi AH. Distribution and health risk assessment of

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-18]

[DOI: 10.52547/jehe.8.3.245]

heavy metals in soil surrounding a lead and zinc smelting plant in Zanjan, Iran. Human and Ecological Risk Assessment: An Int J 2018.

15. Baldacchini C, Castanheiro A, Maghakyan N, Sgrigna G, Verhelst J, Alonso R, Amorim JH, Bellan P, Bojović DĐ, Breuste J, Bühler O. How does the amount and composition of PM deposited on Platanus acerifolia leaves change across different cities in Europe?. Environ sci & technol 2017; 51(3): 1147-56.
16. Liu E, Yan T, Birch G, Zhu Y. Pollution and health risk of potentially toxic metals in urban road dust in Nanjing, a mega-city of China. Sci the Total Environ 2014; 476: 522-31.
17. Almasoud FI, Usman AR, Al-Farraj AS. Heavy metals in the soils of the Arabian Gulf coast affected by industrial activities: analysis and assessment using enrichment factor and multivariate analysis. Arabian J Geosciences 2015; 8(3): 1691-703.
18. Sposito G, Lund LJ, Chang AC. Trace metal chemistry in arid-zone field soils amended with sewage sludge: I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd, and Pb in solid phases. Soil Sci Society America J 1982; 46(2): 260-4.
19. U.S. EPA. Exposure Factors Handbook: National Center for Environmental Assessment, Office of Research and Assessment. EPA/600/C-99/001. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, 1997.
20. Kamalu OJ, Wokocha CC. Land resource inventory and ecological vulnerability: Assessment of Onne area in Rivers State, Nigeria. Research J Environ and earth Sci 2011; 3(5): 438-47.
21. Sadeghdoust F, Ghanavati N, Nazarpour A, Babaenejad T, Watts MJ. Hazard, ecological, and human health risk assessment of heavy metals in street dust in Dezful, Iran. Arabian J Geosciences 2020; 13(17): 1-4.
22. Means B. Risk-assessment guidance for superfund. Volume 1. Human health evaluation manual. Part A. Interim report (Final). Environmental Protection Agency, Washington, DC (USA). Office of Solid Waste and Emergency Response 1989.
23. USEPA. Exposure factors handbook 2011 edition. Washington DC: United States Environmental Protection Agency; 1989. Report No.: EPA/600/R- 09/052F.
24. Keshavarzi B, Najmeddin A, Moore F, Moghaddam PA. Risk-based assessment of soil pollution by potentially toxic elements in the industrialized urban and peri-urban areas of Ahvaz metropolis, southwest of Iran. Ecotoxicology and Environ safety 2019; 167: 365-75.
25. Oyeleke PO, Abiodun OA, Salako RA, Odeyemi OE, Abejide TB. Assessment of some heavy metals in the surrounding soils of an automobile battery factory in Ibadan, Nigeria. African Journal of Environ Sci and Technol 2016; 10(1) :1-8.
26. Wu SS, Yang H, Guo F, Han RM. Spatial patterns and origins of heavy metals in Sheyang River catchment in Jiangsu, China based on geographically weighted regression. Sci of the Total Environ 2017; 580: 1518-29.
27. Tepanosyan G, Sahakyan L, Pipoyan D, Saghatelyan A. Risk assessment of heavy metals pollution in urban environment. In: Svalova V., editor. Risk assessment. Zagreb: IntechOpen 2018.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-18]

[DOI: 10.52547/jehe.8.3.245]

[DOI: 10.52547/jehe.8.3.245] [Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-18]

Journal of Environmental Health Engineering, May 2021; Vol. 8, No. 3: 245-256

Assessment of carcinogenic and non-carcinogenic hazards of heavy metals in surface soils of Bandar Mahshahr industrial zone in 1398

Farzaneh Nikfar [1], Sima Sabzalipour[1*], Ali Gholami [2], Ahad Nazarpour [3]

[1] Department of Environment, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran
[2] Department of Soil science, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran
[3] Department of Geology, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

[*] E-mail: shadi582@yahoo.com

Received: 4 February2021; Accepted: 17 May 2021

ABSTRACT

Background: Non-biodegradation in nature and the creation of adverse health effects in humans is important features of heavy metals. The main purpose of this study was to determine the carcinogenic and non-carcinogenic risks of heavy metals As, Cd, Cu, Cr, Pb, Ni, V, and Zn in the soils of industrial areas of Mahshahr port for adults and children.

Methods: To study the environmental effects of the petrochemical industry in the study area, sampling was performed from 47 soil points in the study area. Samples were taken from a depth of 0-10 cm of soil and analyzed according to the required acidic digestion method of Esposito et al. Ecological risk indices for determining the level of contamination and proposed relationships proposed by the US Environmental Protection Agency were used to assess the carcinogenic and non-carcinogenic risks.

Results: Descriptive statistics of heavy metal concentration showed that the highest average concentration of metals in the soil of the study area is related to Ni metal (70.89 mg/kg) and the lowest to as metal (0.32 mg/kg).

The carcinogenic risk of nickel and chromium in children and adults was estimated to be higher than other metals (CRI >1). In both age groups, the risk index for children was higher than for adults.

Conclusion: The results show that the presence of heavy elements in the soil of the industrial area of Mahshahr port requires the implementation of bioremediation projects such as phytoremediation.

Keywords: Heavy metals, Soil pollution, Carcinogenic risk, Non-carcinogenic risk, Mahshahr Port Industrial

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-18]

[DOI: 10.52547/jehe.8.3.245]