



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

مقاله پژوهشی



## ارزیابی خطرات سلامتی و بوم‌شناسی برخی فلزات سنگین در کاهو، کلم و خاک مزارع کشاورزی دزفول، رامهرمز و حمیدیه

زهرا معاوی<sup>۱</sup>، خوشناز پاینده<sup>۲\*</sup>، مهرانوش تدینی<sup>۱</sup>

۱- گروه علوم و صنایع غذایی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۲- گروه خاک‌شناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

### چکیده

**زمینه و هدف:** فلزات سنگین از انواع آلاینده‌های خطرناک موجود در محیط‌زیست هستند که در مواد غذایی انباشته می‌شوند. این پژوهش با هدف ارزیابی خطر سلامت و آلودگی برخی فلزات سنگین در سبزی‌های کاهو و کلم کشت شده در سه شهرستان حمیدیه، دزفول و رامهرمز استان خوزستان انجام شد.

**روش بررسی:** نمونه‌برداری به صورت تصادفی ساده، با سه تکرار و تعداد ۱۵ نمونه از هر کدام از سبزی‌های کاهو و کلم کشت شده در هر منطقه تهیه شدند. فلزات سنگین به کمک دستگاه جذب اتمی مدل پرکین المر ۴۱۰۰ سنجش شدند. ارزیابی خطر فلزات سنگین با استفاده از شاخص‌های آلودگی خاک و ارزیابی خطر سلامت انجام گردید.

**یافته‌ها:** بالاترین میزان فلز در کلم مربوط به روی ( $5/84 \pm 0/15$  mg/kg) و پایین‌ترین مقادیر فلز کروم در کاهو ( $0/11 \pm 0/005$  mg/kg) به دست آمد. بر اساس میزان جذب روزانه فلزات سنگین محصولات کاهو و کلم، نتایج نشان داد که بالاترین مقادیر شاخص مخاطره (HQ) را فلز سرب در کلم برای کودکان و بزرگسالان به ترتیب  $8/5840$  و  $3/4253$  در مقایسه با سایر فلزات سنگین داشتند. شاخص مخاطره فلزات نیکل و کروم در کلم بالاتر از کاهو بود، اما در مورد فلزات روی، مس و کبالت شاخص مخاطره در کاهو بالاتر از کلم به دست آمد. بالاترین مقدار شاخص سرطان‌زایی در کودکان برای مصرف کلم و فلز سرب  $0/291$  بود. شاخص سرطان‌زایی فلز کروم در دو محصول کاهو و کلم ( $0/003$  و  $0/002$ ) پایین‌ترین مقادیر را داشت. خطر بوم‌شناسی فلزات سنگین در خاک مزارع کشاورزی رامهرمز بالاتر از شهرهای دزفول و حمیدیه به دست آمد. فاکتور غنی‌شدگی فلزات سرب، کروم، مس و کبالت در خاک‌های کشاورزی رامهرمز بالاتر از مناطق دیگر بود. شاخص زمین‌انباشتگی کروم، روی و مس در خاک مزارع کشاورزی دزفول بالاتر از خاک‌های حمیدیه و رامهرمز بالاتر بود.

**نتیجه‌گیری:** با توجه به شاخص‌های آلودگی خاک، فلز کبالت نقش مهمی در آلودگی خاک دزفول، حمیدیه و رامهرمز داشت و فلزات سرب، نیکل، کروم، مس و روی آلودگی کمی در خاک مناطق مورد مطالعه داشتند. ارزیابی خطر سلامت فلزات سنگین خاک نشان داد که شاخص خطر فلزات سنگین سرب، نیکل، کروم، مس، روی و کبالت پایین‌تر از ۱ به دست آمد. شاخص سرطان‌زایی فلزات سنگین برای بزرگسالان و کودکان کمتر از  $10^{-4}$  بود. ارزیابی خطر سلامت فلزات سنگین و شاخص مخاطره آنها نشان داد مصرف کاهو و کلم در این مناطق می‌تواند باعث مشکلات سلامتی در افراد شود.

### اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۱۳  
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۱۱/۰۳  
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۰۹  
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۳/۲۱

**واژگان کلیدی:** آلودگی خاک، خطر سلامت، فلزات سنگین، کلم، کاهو

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:

Payandeh426@gmail.com

Please cite this article as: Moavi Z, Payandeh Kh, Tadayoni M. Risk assessment of health and ecological some of heavy metals in lettuce, cabbage, and soil of Dezful, Ramhormoz, and Hamidiyeh farms. Iranian Journal of Health and Environment. 2024;17(1):23-42.

## مقدمه

گرم شدن کره زمین و تغییرات اقلیم و اثر گازهای گلخانه‌ای، تولید کنترل نشده آلاینده‌ها، تغییرات گسترده استفاده از زمین و تخریب پوشش گیاهی موجب شده است که حمل و نقل و جابه‌جایی آلاینده‌ها سریعتر انجام شود. در بین انواع مختلف آلاینده‌ها، فلزات سنگین حتی در غلظت‌های کم به دلیل انباشت زیستی از طریق زنجیره‌های غذایی، به‌طور فزاینده نگرانی‌های سلامتی را ایجاد کرده است (۱، ۲). یکی از راه‌های ورود فلزات سنگین به زنجیره غذایی انسان، جذب این آلاینده‌ها از خاک توسط گیاهان خوراکی به‌ویژه سبزی‌ها است (۳، ۴). منبع و منشا ورود فلزات سنگین به خاک‌های کشاورزی متفاوت است (۵). استفاده بی‌رویه کشاورزان از کودهای شیمیایی، سموم آفت‌کش و علف‌کش و همچنین آبیاری با آب‌های آلوده می‌تواند سبب ورود فلزات سنگین به خاک شود (۶، ۷). از طرف دیگر منبع مهم آلودگی فلزات سنگین در خاک، فعالیت‌های صنعتی و ورود آلاینده‌های انسان‌ساخت است (۸). فلزات سنگین می‌توانند سبب سمیت در گیاهان شده و به راحتی در حالت‌های سمی جذب برگ سبزی‌ها شده و در نهایت موجب بیماری در انسان می‌شوند (۹).

سبزی‌ها به‌دلیل داشتن ترکیبات مغذی فراوان برای حیات و بقای انسان‌ها ضروری هستند و به‌دلیل اینکه از برخی بیماری‌ها جلوگیری می‌کنند، در رژیم غذایی جایگاه ویژه‌ای دارند (۱۰). سبزیجات کشت شده در مزارعی که در نزدیکی منابع آلودگی فلزات سنگین قرار دارند ممکن است غلظت بالاتری از فلزات سنگین را نسبت به سایر سبزی‌ها در مناطق دیگر انباشته کنند. جذب و انباشت فلزات سنگین به غلظت و حالت اکسیداسیون فلزات سنگین، نوع منابع و نحوه جذب بستگی دارد (۱۱). فلزات سنگین روی سطح سبزیجات قرار می‌گیرند و در بافت‌های مختلف سبزیجات جذب می‌شوند (۱۲). سبزی‌های برگ‌ی مقادیر بالاتری از فلزات سنگین را جذب و انباشته می‌کنند، زیرا برگ‌های گیاهان علفی غلظت بیشتری از فلزات سنگین را نسبت به ساقه‌ها و میوه‌ها دریافت می‌کنند (۱۳).

مطالعات و تحقیقات گزارش شده نشان می‌دهند که بیشتر سبزیجات در مناطق مختلف جهان به یک فلز یا فلزات سنگین

آلوده هستند (۱۴، ۱۵). به‌طور کلی ۳۶ نوع سبزی در ۶۱ منطقه جهان آلوده به فلزات سنگین هستند. محتوای فلزات سنگین در سبزیجات تاثیر منفی بر فیزیولوژی گیاه، بهره‌وری و کیفیت مواد مغذی دارد. وجود فلزات سنگین همچنین با انواع مختلفی از عوامل خطر سلامت در انسان با تاثیرات برجسته‌تر بر روی تخمک‌ها و رشد جنین در ارتباط بوده است. اگرچه میزان سمیت فلزات سنگین برای انسان به میزان مصرف روزانه بستگی دارد، اما خطر ناشی از فلزات سنگین آشکار است، زیرا مقادیر بسیار اندک ممکن است منجر به عوارض جانبی شود. کودکان و مادران باردار حساسیت بیشتری نسبت به مواجهه با فلزات سنگین دارند (۹). در یک مطالعه نتایج سطح فلزات سنگین سرب، مس، کبالت، کادمیوم و کروم در سبزیجات مزارع شهرهای اصفهان، فلاورجان و فریدن، گلپایگان و نطنز نشان داده است که در منطقه اصفهان بیشترین میزان مصرف روزانه سرب، مس، کبالت، کادمیوم و کروم برای مصرف تمامی سبزیجات در دریافت‌کنندگان تعیین شده است. همچنین گزارش کردند شاخص غیرسرطان زایی سبزیجات در شهر اصفهان برای کودکان و بزرگسالان به ترتیب ۲۸/۹ و ۲۱/۱ بوده است (۵). در خاک‌های کشاورزی اطراف یک کارخانه صنعتی در کشور چین حداکثر غلظت فلزات کادمیوم، سرب، جیوه، آرسنیک، روی، مس، نیکل و کروم را به ترتیب ۲۶۰۱، ۳/۲۹، ۶۵، ۴۱۰، ۱۵۶/۳۰، ۵۴/۸۰ و ۷۳/۶۰ mg/kg گزارش کردند که خطر سرطان‌زایی آرسنیک برای بزرگسالان و کودکان از سطح قابل قبول فراتر و نتایج حاکی از خطر جدی سلامتی در مناطق آلوده، به‌ویژه برای کودکان را نشان داد (۶). در مجموع ۹۷ نمونه سبزی و ۲۰۲ نمونه خاک کشاورزی منطقه ژیانگ کشور چین با آلودگی فلزات جیوه و کادمیوم گزارش شد. تجزیه و تحلیل همبستگی ساده نشان داد که بین غلظت فلزات در سبزیجات و خاک‌های مربوطه، به‌ویژه برای سبزیجات برگ‌دار کلم و کرفس، همبستگی مثبت معنی‌داری وجود داشت. مقادیر فاکتور غلظت زیستی برای کادمیوم بیشتر از سرب و کروم بود که نشان داد کادمیوم راحت‌تر از سرب و کروم توسط سبزیجات جذب شده است (۱۵). غلظت فلزات سنگین کادمیوم، سرب، روی و مس در محصولات زراعی خیار، گوجه فرنگی، جعفری و تره توزیع شده در میدان میوه و تره‌بار شهرستان سنندج نشان

مختصات جغرافیایی  $24^{\circ} 48'$  شرقی و  $22^{\circ} 32'$  شمالی، رامهرمز با مختصات جغرافیایی  $37^{\circ} 49'$  شرقی و  $16^{\circ} 31'$  شمالی و حمیدیه با مختصات جغرافیایی  $43^{\circ} 48'$  شرقی و  $47^{\circ} 31'$  شمالی تهیه شدند (شکل ۱).

– نمونه برداری کاهو و کلم

به منظور اجرای پژوهش حاضر، نمونه برداری کاهو و کلم به صورت تصادفی ساده و در سه تکرار برداشت شدند. برای هر تکرار در هر شهرستان از سه منطقه ۵ نمونه از هر محصول در فصل زمستان (مجموع ۳۰ نمونه) تهیه شد. تعداد ۴۵ نمونه از هر کدام از کاهو و کلم کشت شده در سه شهرستان حمیدیه، دزفول و رامهرمز استان خوزستان در نایلون های فریزر قرار داده شدند و سپس برای انجام مطالعه فلزات سنگین موجود در نمونه ها و برای آماده سازی نمونه ها به آزمایشگاه های آنالیز شیمیایی عناصر منتقل شدند.

– نمونه برداری خاک

نمونه برداری خاک از ۳ منطقه در هر سه شهرستان حمیدیه، دزفول و رامهرمز از عمق ۰ تا ۱۵ cm مزارع کشاورزی کلم و کاهو برداشت شد و به دلیل ناهمگن بودن شرایط محیطی، محل تهیه نمونه های خاک به صورت یک چند ضلعی در نظر گرفته شد که از قسمت های مختلف مزرعه مورد نظر، ۵ نمونه خاک نمونه برداری شد و در مجموع ۱۵ نمونه خاک از مزارع کشاورزی هر شهرستان تهیه گردید.

داد که میانگین غلظت سرب در نمونه های خیار، گوجه فرنگی، جعفری و تره خیلی بیشتر از حد مجاز است و غلظت سرب در تره بیشتر از سایر محصولات است. میانگین غلظت مس و سرب در جعفری و تره بیشتر از خیار و گوجه فرنگی بود. غلظت سرب در تره بیش از سایر محصولات بود. همچنین بیشترین آلودگی فلزات سنگین به ترتیب شامل سرب، کادمیوم، روی و مس بود (۱۶).

شهرستان های دزفول، رامهرمز و حمیدیه سه منطقه مهم کشت سبزیجات و صیفی جات در استان خوزستان هستند که پایش و بررسی در زمینه ارزیابی مخاطره بوم شناسی فلزات سنگین و خطر سلامت عناصر سمی خاک مناطق کشاورزی و محصولات زراعی آنها ضروری است. همچنین با توجه به اهمیت استان خوزستان از نظر فعالیت های کشاورزی و صنعتی، همچنین جمعیت زیاد این استان و نقش بالای سبزی ها در تغذیه مردم این منطقه، این پژوهش با هدف ارزیابی خطر سلامت و آلودگی برخی فلزات سنگین روی، کروم، مس، کبالت، سرب و نیکل در سبزی های کاهو و کلم کشت شده در سه شهرستان حمیدیه، دزفول و رامهرمز استان خوزستان انجام شد.

## مواد و روش ها

– مناطق مورد بررسی

در این پژوهش نمونه ها از مزارع سه شهرستان دزفول با



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی نمونه برداری کاهو و کلم کشت شده در استان خوزستان

## \_ روش سنجش فلزات سنگین

نمونه‌های کاهو و کلم بلافاصله پس از جمع‌آوری به آزمایشگاه منتقل شدند. پس از شستشوی کامل و جداسازی خاک، ۱ g از نمونه‌ها در بوته چینی حرارت داده شد تا دود حاصل از سوختن آن‌ها خارج گردد. سپس نمونه‌ها به مدت ۳ h در کوره الکتریکی در دمای °C ۴۵۰-۵۰۰ قرار گرفتند تا خاکستر سفید رنگ که بیانگر از بین رفتن مواد آلی است، حاصل شود. بعد از سرد کردن در دسیکاتور، به هر بوته، ۳۰ mL نیتریک اسید غلیظ اضافه شد و بعد از حل شدن کامل، توسط کاغذ صافی واتمن ۴۲ صاف گردید. سپس مخلوط‌ها در دمای °C ۸۰ هضم شده تا اینکه محلول شفاف به دست آمد و با استفاده از آب مقطر به حجم ۵۰ mL رسانده و محلول‌ها جهت اندازه‌گیری غلظت عناصر سنگین آماده شدند (۱۶). نمونه‌های خاک پس از انتقال به آزمایشگاه به مدت ۲۴ h در داخل آون در دمای °C ۷۰ قرار گرفتند تا کاملاً خشک گردند. سپس نمونه‌های خاک را آسیاب و الک (مش ۱۵۰ μ) کرده تا پودر کاملاً یکنواختی به دست آید. مقدار ۰/۵ g از نمونه‌های خاک در بشر پلی اتیلنی قرار داده شده و با اضافه نمودن چند قطره اسید کلریدریک و اسید فلئوریدریک به میزان ۷ mL، نمونه‌ها روی حمام آبی و در °C ۱۰۰ تا مرحله نزدیک به خشک شدن حرارت داده شدند. پس از سرد شدن نمونه‌ها، به هر یک ۷ mL اسید نیتریک و اسید کلریدریک اضافه و بر روی حمام آبی تا نزدیک خشک شدن حرارت داده شد. پس از هضم شیمیایی کلیه نمونه‌ها و با افزودن مقداری آب مقطر به هر یک از آنها و حرارت ملایم، محلولی کاملاً شفاف به دست آمد و به وسیله اسید کلریدریک ۱ نرمال در بالن ژوژه به حجم ۵۰ mL رسیدند. فلزات سنگین نمونه‌های خاک و سبزی به کمک دستگاه جذب اتمی مدل پرکین المر ۴۱۰۰ سنجش شدند. حد تشخیص (Limit of Detection) دستگاه جذب اتمی پرکین المر مدل ۴۱۰۰ برای عناصر کبالت و روی به روش شعله ۲ ppm و برای عناصر نیکل، سرب، کروم و مس به روش کوره گرافیتی ۱ ppb بود. صحت غلظت‌های فلزات با استفاده از روش استاندارد مرجع (Standard Reference Material (SRM)) بررسی

شدند (۱۷).

## \_ شاخص های آلودگی خاک

برای تخمین آلودگی خاک می‌توان از فاکتور آلودگی استفاده کرد که مقدار فلزات را نسبت به مقدار طبیعی آنها می‌سنجد و میزان آلودگی خاک را تعیین می‌کند. رابطه فاکتور آلودگی مطابق معادله ۱ محاسبه شد. در این رابطه CF فاکتور آلودگی، Cn غلظت اندازه‌گیری شده عنصر در نمونه و Bn غلظت همان عنصر در نمونه زمینه است. میانگین غلظت جهانی فلزات روی، مس، کروم، منگنز، کبالت و کبالت mg/kg است. هاگنسون مبنای فاکتور آلودگی را به صورت آلودگی پایین (CF < ۱)، آلودگی متوسط (۱ < CF < ۳)، آلودگی قابل توجه (۳ < CF < ۶) و آلودگی بسیار زیاد (CF ≥ ۶) نشان داد (۱۸):

$$CF = \frac{C_n}{B_n} \quad (1)$$

شاخص بار آلودگی خاک از معادله ۲ محاسبه شد. اگر PLI نزدیک به عدد ۱ باشد، نشان دهنده این است که غلظت فلزات سنگین نزدیک به غلظت زمینه بوده و اگر بیش از ۱ باشد نشان دهنده این است که خاک آلوده است (۱۸):

$$PLI = \sqrt[n]{CF_1 \times CF_2 \times CF_3 \times \dots \times CF_n} \quad (2)$$

فاکتور غنی‌شدگی بیانگر شدت تأثیر عامل خارجی بر خاک است. در فاکتور غنی‌شدگی معمولاً غلظت عناصر در نمونه‌های آلوده با غلظت آن عنصر در نمونه‌های زمینه مقایسه می‌گردد. فاکتور غنی‌شدگی از طریق معادله ۳ برآورده شده است که در این رابطه EF فاکتور غنی‌شدگی،  $\left(\frac{C_x}{C_{ref}}\right)_{sample}$  نسبت غلظت عنصر مورد نظر (اندازه‌گیری شده در خاک) به فلز مبنا در نمونه مورد مطالعه و  $\left(\frac{C_x}{C_{ref}}\right)_{Background}$  نسبت غلظت عنصر مورد نظر در مقادیر ماده زمینه است. درجه آلودگی فلزات سنگین را می‌توان به پنج دسته طبقه‌بندی کرد. سطح آلودگی کم ( $EF < 2$ )، سطح آلودگی متوسط ( $2 \leq EF < 5$ )، سطح آلودگی زیاد ( $5 \leq EF < 20$ ) و سطح آلودگی به شدت زیاد ( $EF \geq 40$ ) (۱۸):

کمی آلوده، ۱-۲ کمی آلوده، ۳-۴ کمی آلوده تا خیلی آلوده،  
Igeo > ۵ خیلی آلوده، ۴-۵ خیلی آلوده تا شدیداً آلوده و  
شدیداً آلوده طبقه‌بندی می‌شود (۱۹):

$$I_{geo} = \log_2 (C_n / 1.5 * B_n) \quad (6)$$

مجموع فاکتورهای آلودگی برای عناصر مورد بررسی نشان  
دهنده درجه آلودگی (Cdeg) است که از معادله ۷ به دست  
آمد که بر اساس درجه آلودگی،  $Cdeg < 7$  آلودگی کم،  
 $7 \leq Cdeg < 28$  آلودگی متوسط،  $28 \leq Cdeg < 14$  آلودگی  
زیاد و  $Cdeg \geq 28$  شدیداً آلوده است (۱۸):

$$Cdeg = \sum CF \quad (7)$$

در شاخص درجه آلودگی ارائه شده توسط Hakanson  
محدودیت‌هایی وجود داشت، به هم‌مین  
دلیل Abraham درجه آلودگی اصلاح شده  
(Modified degree of contamination) را ارائه کرد  
که بر اساس آن CF فاکتور آلودگی و n تعداد فلزات سنگین  
مورد مطالعه است که طبق معادله ۸ محاسبه شد که درجه‌بندی  
آن آلودگی بسیار پایین  $0 \leq mCd < 1/5$ ، آلودگی پایین  
 $1/5 \leq mCd < 2$ ، آلودگی متوسط  $2 \leq mCd < 4$ ، آلودگی بالا  
 $4 \leq mCd < 8$ ، آلودگی بسیار بالا  $8 \leq mCd < 16$ ، آلودگی به  
شدت بسیار بالا  $16 \leq mCd < 32$  و آلودگی با درجه مافوق زیاد  
 $mCd \geq 32$  است (۲۰):

$$mCd = \sum CF / n \quad (8)$$

– روش ارزیابی خطر سلامت سبزیجات

برای میزان جذب روزانه (Estimated Daily Intake)  
فلزات سنگین، شاخص خطر (HQ) و حداکثر میزان مجاز  
مصرف (CR) از معادلات ۹، ۱۰ و ۱۱ استفاده شد (۲۱):

$$EDI (mg/kg/day) = (C \times IR \times FI \times EF \times ED) / BWa \times AT \quad (9)$$

$$EF = \frac{\left(\frac{Cx}{C_{erf}}\right)_{sample}}{\left(\frac{Cx}{C_{erf}}\right)_{Background}} \quad (3)$$

شاخص پتانسیل خطر اکولوژیک برای ارزیابی خطرات بالقوه  
زیست‌محیطی فلزات در خاک استفاده شده است که توسط  
هاکانسون (۱۹۸۰) پیشنهاد شده است. شاخص RI در  
پژوهش‌های متنوعی از جمله جهت برآورد سمیت بیولوژیکی  
استفاده شده و می‌تواند برآورد جامعی از خطرات زیستی فلزات  
در محیط داشته باشد. در این مطالعه شاخص پتانسیل خطر  
اکولوژیک RI از طریق معادلات ۴ و ۵ برآورده شده است که در  
آن  $C_f^i$  شاخص آلودگی یک فلز،  $C_n^i$  غلظت فلز در نمونه،  $C_0^i$   
مقدار غلظت زمینه فلز و  $E_r^i$  ضریب پتانسیل خطر اکولوژیکی  
است.  $T_r^i$  ضریب واکنش (Response factor) سمیت فلز  
است که بر اساس گزارش هاکانسون (۱۹۸۰) مقادیر آن برای  
فلزات سرب، روی، کروم، مولیبدن، نیکل و کادمیوم به ترتیب  
۵، ۱، ۵، ۱۵، ۵ و ۳۰ است. هاکانسون برای خطر اکولوژیک  
(Er) پنج سطح خطر کم  $Er < 40$ ، خطر متوسط  $40 \leq Er < 80$ ،  
خطر قابل توجه  $80 \leq Er < 160$ ، خطر زیاد  $160 \leq Er < 320$  و  
خطر خیلی زیاد  $Er \geq 320$  رده‌بندی ارائه کرده و برای تحلیل  
پتانسیل خطر اکولوژیک (RI) چهار رده خطر اکولوژیکی کم  
 $RI < 150$ ، خطر اکولوژیکی متوسط  $150 \leq RI < 300$ ، خطر  
اکولوژیکی قابل توجه  $300 \leq RI < 600$  و خطر اکولوژیکی  
خیلی زیاد  $RI \geq 600$  طبقه‌بندی کرد (۱۸):

$$E_r^i = T_r^i \times C_f^i \quad (4)$$

$$RI = \sum_{i=1}^n E_r^i \quad (5)$$

شاخص زمین انباشت (Index of Geoaccumulation)  
می‌تواند درجه آلودگی خاک به فلزات سنگین را تعیین کند  
(معادله ۶). در این رابطه Igeo شاخص زمین انباشت، Cn  
غلظت فلز سنگین موجود در خاک و Bn غلظت زمینه (متوسط  
شیل) است. اساس طبقه‌بندی مولر هفت کلاس آلودگی بود که  
شدت آلودگی به صورت  $I_{geo} < 0$  غیر آلوده، ۰-۱ غیر آلوده تا

در این معادله RI ناشی از قرار گرفتن در معرض خطر سرطان‌زایی در طول عمر، EDI میزان جذب فلزات سنگین از طریق مصرف کاهو و کلم (mg/kg/BW/day)، SF ضریب شیب سرطان‌زایی (سرب، نیکل، کروم، ۰/۸۵، ۰/۹۱ و ۰/۵) (۲۱).

– شاخص‌های سلامت خاک

برای ارزیابی خطرات سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی، مواجهه انسان با فلزات خاک از هر سه مسیر بلع، تنفس و جذب پوستی مدنظر قرار می‌گیرد. مقادیر جذب روزانه فلزات سنگین (Average Daily Dose) در هریک از مسیرها با استفاده از معادلات ۱۳، ۱۴ و ۱۵ محاسبه شد (۲۴):

$$ADD_{ing} = \frac{C \times IngR \times CF \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad (13)$$

$$ADD_{inh} = \frac{C \times InhR \times EF \times ED}{PEF \times BW \times AT} \quad (14)$$

$$ADD_{dermal} = \frac{C \times SA \times CF \times AF \times ABF \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad (15)$$

که در این معادلات  $ADD_{ing}$ ،  $ADD_{inh}$  و  $ADD_{dermal}$  به ترتیب مقدار میانگین جذب روزانه فلزات (mg/kg/day) از طریق بلع، تنفس و جذب پوستی، C غلظت فلزات در خاک (mg/kg)،  $IngR$  و  $InhR$  به ترتیب نرخ بلع و نرخ تنفس خاک (mg/day و  $m^3/day$ )، EF فراوانی مواجهه با فلزات (day/year)، ED مدت مواجهه با فلزات (year)، BW وزن بدن شخص در معرض فلزات (kg)، AT مدت زمان مواجهه با هر مقدار از فلزات به طور میانگین (day)، EF فاکتور انتشار فلزات از خاک به هوا ( $m^3/kg$ )، SA ناحیه‌ای از سطح پوست قرار گرفته در معرض فلزات ( $cm^2$ )، AF فاکتور چسبندگی خاک به پوست (mg/cm<sup>2</sup>-day) و ABF فاکتور جذب سطحی پوست (بدون واحد) است (جدول ۱) (۲۴).

که در معادله ۹، EDI میزان جذب فلزات سنگین در بدن در روز از طریق مصرف ماده غذایی (mg/kg/BW/day)، C غلظت فلز در ماده غذایی مورد مصرف (mg/kg ww)، IR نرخ مصرف روزانه سبزیجات (g/day) ۱۲۵ برای کودکان و ۲۵۰ g/day برای بزرگسالان)، FI کسر جذب شده از غلظت HMs که در گیاهان جذب می‌شود (این ضریب در این بررسی ۰/۴ در نظر گرفته شد)، EF فراوانی مواجهه (day/year)، در این بررسی ۳۶۵ day در نظر گرفته شد)، ED مدت زمان مواجهه (تعداد سال‌های مصرف سبزی، بیماری‌های غیر سرطانی برای بزرگسالان و کودکان ۲۴ year و ۴ در نظر گرفته می‌شود)، BWa وزن بدن (kg) ۷۰ برای یک فرد بالغ و ۱۵ kg برای کودکان) و AT زمان متوسط است که از ضرب تعداد سال در تعداد روز به دست می‌آید (۲۱):

$$HQ = \frac{EDI}{RFD} \quad (10)$$

در معادله ۱۰، HQ نسبت خطر (بدون واحد)، EDI میزان جذب روزانه (mg/kg/BW/day) و RFD دوز مرجع برای فلز (mg/kg/day) است (۲۱):

$$CR = (RFD \times BW) / Cm \quad (11)$$

در معادله ۱۱، CR حداکثر میزان مجاز مصرف در روز (g/day)، RFD دوز مرجع یا مجموع جذب مجاز روزانه آلاینده، BW وزن بدن (kg) ۵۵/۹ برای یک فرد بالغ و ۳۲/۷ kg برای کودکان) و Cm میانگین میزان فلز در ماده غذایی (mg/kg) است (۲۲، ۲۳). شاخص خطر سرطان‌زایی فلزات سنگین از معادله ۱۲ به دست آمد (۲۱):

$$RI = EDI \times SF \quad (12)$$

جدول ۱- مقادیر رابطه های ارزیابی خطر سلامت فلزات سنگین (۲۴)

پارامتر	واحد اندازه گیری	بزرگسال	کودکان
IngR	mg/day	۱۰۰	۲۰۰
InhR	m <sup>3</sup> /day	۱۲/۸	۷/۶۳
EF	day/year	۳۵۰	۳۵۰
ED	year	۲۴	۶
BW	kg	۵۵/۹	۱۵
AT	days	ED×۳۶۵	ED×۳۶۵
EF	m <sup>3</sup> /kg	۱/۳۶×۱۰ <sup>۹</sup>	۱/۳۶×۱۰ <sup>۹</sup>
SA	cm <sup>2</sup>	۴۳۵۰	۱۶۰۰
AF	mg/cm <sup>2</sup> -day	۰/۷	۰/۲
ABF	-	۰/۰۰۱	۰/۱۰۰

تجزیه و تحلیل داده‌ها

نتایج حاصل از این مطالعه با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS24 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. میانگین داده‌ها به منظور مقایسه اختلاف معنی‌دار با ضریب اطمینان ۹۵ درصد (p=۰/۰۵) با استفاده از آنالیز واریانس یکطرفه (ANOVA) انجام شد. جهت رسم جداول از نرم‌افزار Excel 2007 استفاده گردید.

یافته‌ها

غلظت فلزات سنگین در کاه و کلم و خاک مزارع کشاورزی دزفول، رامهرمز و حمیدیه در جدول ۲ ارائه شده است. برای کاه میانگین مقادیر نیکل در مناطق مختلف اختلاف معنی‌داری داشت (p<۰/۰۵)، اما در مورد میزان سرب، کروم، مس و کبالت اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (p>۰/۰۵). میزان نیکل و کبالت در کلم اختلاف معنی‌داری داشت (p<۰/۰۵)، اما میزان سرب، کروم، روی و مس اختلاف معنی‌داری نداشت

(p>۰/۰۵). میانگین مقادیر فلزات سنگین سرب، نیکل، کروم، روی و مس در کلم بالاتر از کاه به دست آمد، اما میزان کبالت در کاه بالاتر از کلم بود. بالاترین میزان فلز در کلم مربوط به روی (۵/۸۴±۰/۱۵ mg/kg) و پایین‌ترین مقادیر فلز کروم در کاه (۰/۱۱±۰/۰۰۵ mg/kg) به دست آمد. فلزات سنگین کروم، روی و کبالت در خاک بین مناطق مورد مطالعه، اختلاف معنی‌داری داشت (p<۰/۰۵)، اما سرب و مس اختلاف معنی‌داری نداشت (p>۰/۰۵). میزان فلز روی در خاک سه منطقه مورد مطالعه بالاتر از سایر فلزات سنگین بود. الگوی انباشت فلزات سنگین در خاک مزارع کشاورزی به صورت روی <کروم <مس <کبالت <سرب <نیکل به دست آمد. میانگین غلظت سرب، نیکل، کروم و مس در خاک مزارع کشاورزی به ترتیب در مقایسه با مقادیر پوسته زمین (۱۴، ۸۰، ۱۰۰ و ۵۰ mg/kg) پایین‌تر به دست آمد، اما در مورد فلزات روی و کبالت، میانگین غلظت این عناصر در خاک مزارع کشاورزی نسبت به پوسته زمین (۷۵ و ۱/۵ mg/kg) بالاتر بود (جدول ۲).

جدول ۲- میانگین مقادیر فلزات سنگین (mg/kg) در کاهو و کلم کشت شده و خاک مزارع کشاورزی دزفول، رامهرمز و حمیدیه

ماده غذایی	فلزات سنگین	دزفول	حمیدیه	رامهرمز	میانگین
کاهو	سرب	۱/۴۲±۰/۲۵ <sup>a</sup>	۱/۹۸±۰/۱۲ <sup>a</sup>	۱/۰۲±۰/۱۵ <sup>a</sup>	۱/۴۷±۰/۰۶
	نیکل	۰/۱۲±۰/۰۰۲ <sup>a</sup>	۰/۳۶±۰/۰۰۲ <sup>b</sup>	۰/۲۵±۰/۰۰۵ <sup>c</sup>	۰/۲۴±۰/۰۰۳
	کروم	۰/۱۲±۰/۰۰۳ <sup>a</sup>	۰/۱۱±۰/۰۰۵ <sup>a</sup>	۰/۱۴±۰/۰۰۲ <sup>a</sup>	۰/۱۲±۰/۰۰۱
	روی	۲/۸۵±۰/۲۹ <sup>a</sup>	۴/۴۲±۰/۳۹ <sup>b</sup>	۴/۲۶±۰/۳۵ <sup>b</sup>	۳/۸۴±۰/۲۶
	مس	۱/۳۸±۰/۱۱ <sup>a</sup>	۱/۳۱±۰/۲۲ <sup>a</sup>	۱/۵۳±۰/۲۴ <sup>a</sup>	۱/۴۰±۰/۱۲
	کیالت	۱/۷۱±۰/۲۶ <sup>a</sup>	۲/۴۱±۰/۱۶ <sup>a</sup>	۱/۱۲±۰/۱۸ <sup>a</sup>	۱/۷۴±۰/۱۵
کلم	سرب	۲/۱۲±۰/۱۴ <sup>a</sup>	۲/۷۹±۰/۲۱ <sup>a</sup>	۱/۷۵±۰/۱۹ <sup>a</sup>	۲/۲۲±۰/۱۲
	نیکل	۰/۳۶±۰/۰۰۳ <sup>a</sup>	۰/۵۴±۰/۰۰۳ <sup>b</sup>	۰/۱۶±۰/۰۰۲ <sup>c</sup>	۰/۳۵±۰/۰۰۵
	کروم	۰/۱۵±۰/۰۰۱ <sup>a</sup>	۰/۱۲±۰/۰۰۲ <sup>a</sup>	۰/۱۶±۰/۰۰۵ <sup>a</sup>	۰/۱۴±۰/۰۰۳
	روی	۵/۶۳±۰/۲۵ <sup>a</sup>	۵/۸۰±۰/۱۲ <sup>a</sup>	۵/۸۴±۰/۱۵ <sup>a</sup>	۵/۷۵±۰/۴۵
	مس	۱/۵۵±۰/۲۵ <sup>a</sup>	۲/۳۲±۰/۱۲ <sup>a</sup>	۲/۲۰±۰/۱۵ <sup>a</sup>	۲/۰۲±۰/۰۰۶
	کیالت	۰/۸۱±۰/۲۵ <sup>a</sup>	۰/۴۲±۰/۱۲ <sup>b</sup>	۰/۲۴±۰/۱۵ <sup>c</sup>	۰/۴۹±۰/۰۰۳
خاک کشاورزی	سرب	۱/۷۳±۰/۰۰۳ <sup>a</sup>	۱/۲۷±۰/۱۱ <sup>a</sup>	۱/۹۲±۰/۰۰۵ <sup>a</sup>	۱/۶۴±۰/۰۰۴
	نیکل	۰/۱۷±۰/۰۰۴ <sup>a</sup>	۰/۲۴±۰/۰۰۵ <sup>b</sup>	۰/۱۶±۰/۰۰۲ <sup>a</sup>	۰/۱۹±۰/۰۰۲
	کروم	۱۴۳/۶۵±۶/۷۵ <sup>a</sup>	۱۲/۲۳±۰/۹۵ <sup>b</sup>	۱۱۴/۷۵±۳/۴۹ <sup>c</sup>	۹۰/۲۱±۲/۴۸
	روی	۱۸۶/۲۵±۴/۸۱ <sup>a</sup>	۱۷۷/۹۸±۵/۳۶ <sup>b</sup>	۱۵۷/۱۲±۵/۶۱ <sup>c</sup>	۱۷۳/۷۸±۵/۶۸
	مس	۱۵/۲۱±۰/۰۰۵ <sup>a</sup>	۱۱/۲۵±۰/۰۰۲ <sup>b</sup>	۱۱/۶۱±۰/۰۰۱ <sup>b</sup>	۱۲/۶۹±۰/۰۰۶
	کیالت	۴/۳۹±۰/۱۵ <sup>a</sup>	۵/۹۳±۰/۰۰۶ <sup>b</sup>	۹/۷۱±۰/۱۳ <sup>c</sup>	۶/۶۷±۰/۰۰۷

حروف غیرهمنام در هر ردیف اختلاف معنی‌دار آماری را نشان می‌دهد ( $p < 0.05$ ).

بالاتر از کاهو بود، اما در مورد فلزات روی، مس و کبالت شاخص مخاطره در کاهو بالاتر از کلم بدست آمد. بالاترین مقدار شاخص سرطان‌زایی در کودکان برای مصرف کلم و فلز سرب ۰/۰۲۹۱ بود. شاخص سرطان‌زایی فلز کروم در دو محصول کاهو و کلم (۰/۰۰۰۳ و ۰/۰۰۰۲) پایین‌ترین مقادیر را داشت. مقادیر شاخص سرطان‌زایی فلزات سرب و نیکل در کلم بالاتر از کاهو بودند (جدول ۴). شاخص خطر فلزات سنگین نشان داد، مسیر بلع نسبت به مسیر پوست و تنفس خطرناک‌تر است. شاخص خطر فلز کروم در خاک برای کودکان و بزرگسالان نسبت به فلزات دیگر بالاتر بود و بالاترین شاخص خطر مربوط به بلع در بزرگسالان و کودکان برای فلز کروم بدست آمد. پایین‌ترین شاخص خطر در خاک برای کودکان و بزرگسالان از مسیرهای بلع، پوست و تنفس مربوط به فلز کبالت بود (جدول ۵). شاخص خطر سرطان‌زایی (RI) و شاخص خطر غیرسرطان‌زایی (HI) فلزات سنگین در خاک مزارع کشاورزی دزفول، رامهرمز و حمیدیه در جدول ۶ ارائه شده است. در مورد فلزات سنگین مورد مطالعه شاخص خطر سرطان‌زایی و شاخص خطر غیرسرطان‌زایی فلز کروم بالاتر از سایر فلزات بود. شاخص خطر غیرسرطان‌زایی فلز کبالت در خاک پایین‌تر از فلزات دیگر بدست آمد.

فاکتور آلودگی فلزات کروم، روی و مس در خاک مزارع کشاورزی دزفول بالاتر بود، اما فاکتور آلودگی سرب و کبالت در خاک مزارع شهرستان دزفول بالاتر به دست آمد و فلز نیکل در خاک‌های کشاورزی حمیدیه بالاتر به دست آمد. فاکتور غنی‌شدگی فلزات سرب، کروم، مس و کبالت در خاک‌های کشاورزی رامهرمز بالاتر از مناطق دیگر بود، اما فاکتور غنی‌شدگی نیکل و روی در خاک‌های کشاورزی حمیدیه بالاتر از خاک‌های کشاورزی دزفول و رامهرمز بالاتر به دست آمد. شاخص زمین‌انباشتگی کروم، روی و مس در خاک مزارع کشاورزی دزفول بالاتر بود، اما شاخص زمین‌انباشتگی سرب و کبالت در خاک‌های حمیدیه بالاتر از دزفول و رامهرمز بالاتر به دست آمد و شاخص زمین‌انباشتگی نیکل در خاک مزارع کشاورزی رامهرمز بالاتر از خاک مزارع کشاورزی دزفول و حمیدیه بود (جدول ۳).

بر اساس میزان جذب روزانه فلزات سنگین محصولات کاهو و کلم، نتایج نشان داد که بالاترین مقادیر شاخص مخاطره (HQ) مربوط به فلز سرب در کلم در مقایسه با سایر فلزات سنگین به دست آمد. شاخص مخاطره (HQ) فلز سرب در کلم برای کودکان و بزرگسالان به ترتیب ۸/۵۸۴۰ و ۳/۴۲۵۳ بود. شاخص مخاطره فلزات نیکل و کروم در کلم

جدول ۳- شاخص‌های آلودگی فلزات سنگین در خاک مزارع کشاورزی کاهو و کلم کشت شده دزفول، رامهرمز و حمیدیه

شاخص‌های آلودگی	فلزات سنگین	دزفول	حمیدیه	رامهرمز
فاکتور آلودگی	سرب	۰/۱۲	۰/۰۹	۰/۱۳
	نیکل	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲
	کروم	۱/۴۳	۱/۲۲	۱/۱۴
	روی	۲/۴۸	۲/۳۷	۲/۰۹
	مس	۰/۳۰	۰/۲۲	۰/۲۳
	کبالت	۲/۹۲	۳/۹۵	۶/۴۷
فاکتور غنی‌شدگی	سرب	۱۷۸/۳۱	۱۵۴/۵۰	۲۶۲/۱۸
	نیکل	۲/۶۹	۴/۴۸	۳/۳۵
	کروم	۱۸۲/۱/۶	۱۸۳	۱۹۲۷/۳۸
	روی	۳۱۴۸/۳۱	۳۵۵۰/۹۳	۳۵۱۸/۷۲
	مس	۳۸۵/۶۵	۳۳۶/۶۷	۳۹۰/۰۱
	کبالت	۳۷۰۹/۸۹	۵۹۱۴/۸۲	۱۰۸۷۱/۴۸
شاخص زمین‌انباشت	سرب	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۶
	نیکل	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۰۹
	کروم	۰/۶۴	۰/۰۵	۰/۵۱
	روی	۱/۱۲	۱/۰۷	۰/۹۴
	مس	۰/۱۳	۰/۱۰	۰/۱۰
	کبالت	۱/۳۲	۱/۷۸	۲/۹۲
خطر بوم‌شناسی	سرب	۰/۶	۰/۴۵	۰/۶۵
	نیکل	۰/۰۱	۰/۰۱۵	۰/۰۱
	کروم	۲/۸۶	۲/۴۴	۲/۲۸
	روی	۲/۴۸	۲/۳۷	۲/۰۹
	مس	۱/۵	۱/۱	۱/۱۵
	کبالت	۴۳/۸	۵۹/۲۵	۹۷/۰۵
RI	۵۱/۲۵	۶۵/۶۲	۱۰۳/۲۳	
درجه آلودگی	۷/۲۵	۷/۸۵	۱۰/۰۶	
درجه آلودگی اصلاح شده	۱/۲۰	۱/۳۰	۱/۶۷	
شاخص بار آلودگی	۰/۴۴	۰/۴۴	۰/۴۵	

جدول ۴- ارزیابی خطر سلامت فلزات سنگین مزارع کشاورزی کاهو و کلم کشت شده دزفول، رامهرمز و حمیدیه

ماده خوراکی	فلزات سنگین	میزان جذب روزانه (mg/kg/day)		شاخص مخاطره (HQ)		حداکثر مصرف مجاز روزانه (g/day)		شاخص سرطان‌زایی	
		کودکان	بزرگسالان	کودکان	بزرگسالان	کودکان	بزرگسالان	کودکان	بزرگسالان
کاهو	سرب	۰/۰۰۷۲	۰/۰۲۲۷	۱/۸۱۱	۵/۶۸۴۰	۰/۱۹۰۴	۰/۰۴۰۸	۰/۰۰۶۱	۰/۰۱۹۳
	نیکل	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۳۷	۰/۰۵۹۱	۰/۱۸۵۶	۵/۸۳۳۳	۱/۲۵۰	۰/۰۰۱۰	۰/۰۰۳۳
	کروم	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۱۸	۰/۱۹۷۱	۰/۶۱۸۶	۱/۷۵۰۰	۰/۳۷۵۰	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۹
	روی	۰/۰۱۸۹	۰/۰۵۹۳	۰/۰۶۳۰	۰/۱۹۷۹	۵/۴۶۸۷	۱/۱۷۱۸	-	-
	مس	۰/۰۰۶۹	۰/۰۲۱۶	۰/۱۷۲۵	۰/۵۴۱۳	۲	۰/۴۲۸۵	-	-
	کیالت	۰/۰۰۸۵	۰/۰۲۶۹	۰/۱۹۹۴	۰/۶۲۵۸	۱/۷۲۹۸	۰/۳۷۰۶	-	-
کلم	سرب	۰/۰۱۰۹	۰/۰۳۴۳	۲/۷۳۵۳	۸/۵۸۴۰	۰/۱۲۶۱	۰/۰۲۷۰	۰/۰۰۹۳	۰/۰۲۹۱
	نیکل	۰/۰۰۱۷	۰/۰۰۵۴	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۳۸	۲۸۰	۶۰	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۴۹
	کروم	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۱۴	۷۵۰	۱۶۰/۷۱۴	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۱۰
	روی	۰/۰۲۸۳	۰/۰۸۸۹	۰/۰۹۴۴	۰/۲۹۶۴	۳/۶۵۲۱	۰/۷۸۲۶	-	-
	مس	۰/۰۰۹۹	۰/۰۳۱۲	۰/۲۴۸۸	۰/۷۸۱۰	۱/۳۸۶۱	۰/۲۹۷۰	-	-
	کیالت	۰/۰۰۲۴	۰/۰۰۷۵	۰/۰۵۶۱	۰/۱۷۶۲	۶/۱۴۲۸	۱/۳۱۶۳	-	-

جدول ۵- ارزیابی خطر سلامت فلزات سنگین در خاک مزارع کشاورزی کاهو و کلم کشت شده دزفول، رامهرمز و حمیدیه

پارامترها	فلزات سنگین	بلع		تنفس		پوست	
		بزرگسالان	کودکان	بزرگسالان	کودکان	بزرگسالان	کودکان
میزان جذب روزانه (mg/kg/day)	سرب	$۲/۸۱ \times ۱۰^{-۵}$	$۲/۰۹ \times ۱۰^{-۴}$	$۲/۶۴ \times ۱۰^{-۹}$	$۵/۸۸ \times ۱۰^{-۹}$	$۸/۵۶ \times ۱۰^{-۷}$	$۳/۳۵ \times ۱۰^{-۷}$
	نیکل	$۳/۲۵ \times ۱۰^{-۶}$	$۲/۴۲ \times ۱۰^{-۵}$	$۳/۰۶ \times ۱۰^{-۱۰}$	$۶/۸۱ \times ۱۰^{-۱۰}$	$۹/۹۲ \times ۱۰^{-۸}$	$۳/۸۸ \times ۱۰^{-۸}$
	کروم	$۰/۰۰۰۱$	$۰/۰۰۰۱$	$۱/۴۵ \times ۱۰^{-۷}$	$۳/۲۳ \times ۱۰^{-۷}$	$۴/۷۱ \times ۱۰^{-۵}$	$۱/۸۴ \times ۱۰^{-۵}$
	روی	$۰/۰۰۰۲$	$۰/۰۰۰۲$	$۲/۸۰ \times ۱۰^{-۷}$	$۶/۲۳ \times ۱۰^{-۷}$	$۹/۰۷ \times ۱۰^{-۵}$	$۳/۵۵ \times ۱۰^{-۵}$
	مس	$۲/۱۷ \times ۱۰^{-۴}$	$۰/۰۰۰۱$	$۲/۰۴ \times ۱۰^{-۸}$	$۴/۵۵ \times ۱۰^{-۸}$	$۶/۶۲ \times ۱۰^{-۶}$	$۲/۵۹ \times ۱۰^{-۶}$
	کیالت	$۱/۱۴ \times ۱۰^{-۴}$	$۰/۰۰۰۲$	$۲/۶۷ \times ۱۰^{-۷}$	$۵/۹۵ \times ۱۰^{-۷}$	$۳/۴۸ \times ۱۰^{-۶}$	$۱/۱۳ \times ۱۰^{-۴}$
شاخص خطر (HQ)	سرب	$۰/۰۰۰۸$	$۰/۰۰۰۵$	$۷/۵۲ \times ۱۰^{-۷}$	$۱/۶۷ \times ۱۰^{-۶}$	$۰/۰۰۰۱$	$۶/۳۹ \times ۱۰^{-۴}$
	نیکل	$۰/۰۰۰۳$	$۰/۰۰۰۲$	$۳/۰۶ \times ۱۰^{-۷}$	$۶/۸۱ \times ۱۰^{-۷}$	$۰/۰۰۰۹$	$۰/۰۰۰۳$
	کروم	$۰/۰۵۱$	$۰/۳۸۴$	$۰/۰۰۰۵$	$۰/۰۰۰۱$	$۰/۰۷۸$	$۰/۰۳۰$
	روی	$۰/۰۰۰۹$	$۰/۰۰۰۷$	$۹/۳۵ \times ۱۰^{-۷}$	$۲/۰۷ \times ۱۰^{-۶}$	$۰/۰۰۰۱$	$۵/۹۲ \times ۱۰^{-۴}$
	مس	$۰/۰۰۰۵$	$۰/۰۰۰۴$	$۵/۰۹ \times ۱۰^{-۷}$	$۱/۱۳ \times ۱۰^{-۶}$	$۵/۵۲ \times ۱۰^{-۴}$	$۲/۱۶ \times ۱۰^{-۴}$
	کیالت	$۰/۰۰۰۲$	$۰/۰۰۰۲$	$۲/۶۷ \times ۱۰^{-۷}$	$۵/۹۵ \times ۱۰^{-۷}$	$۲/۹۰ \times ۱۰^{-۴}$	$۱/۱۳ \times ۱۰^{-۴}$

جدول ۶- ارزیابی شاخص خطر سرطان‌زایی (RI) و شاخص خطر غیرسرطان‌زایی (HI) فلزات سنگین در خاک مزارع کشاورزی کاهو و کلم کشت شده دزفول، رامهرمز و حمیدیه

شاخص خطر غیرسرطان‌زایی		شاخص خطر سرطان‌زایی		فلزات سنگین
کودکان	بزرگسالان	کودکان	بزرگسالان	
۰/۰۰۶	۰/۰۰۰۹	$6/47 \times 10^{-9}$	$8/68 \times 10^{-10}$	سرب
۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	$1/12 \times 10^{-7}$	$1/50 \times 10^{-8}$	نیکل
۰/۴۱۶	۰/۱۳۰	$3/56 \times 10^{-4}$	$4/77 \times 10^{-5}$	کروم
۰/۰۰۷	۰/۰۰۱	-	-	روی
۰/۰۰۴	۰/۰۰۰۵	-	-	مس
۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۳	-	-	کبالت

## بحث

یکی از روش‌های ارزیابی شدت آلودگی فلزات سنگین در خاک استفاده از روش کمی‌سازی و شاخص‌های آلودگی محیطی هستند که در بسیاری از تحقیقات و مطالعات پژوهشگران در کشورهای مختلف جهان کاربرد دارند (۳۲، ۳۳). این شاخص‌ها به دو گروه شاخص‌های منفرد (فاکتور آلودگی، فاکتور غنی‌شدگی و شاخص زمین انباشتگی) و شاخص‌های تجمعی (درجه آلودگی، درجه آلودگی اصلاح شده، شاخص بار آلودگی و خطر اکولوژیک زیست‌محیطی) تقسیم‌بندی می‌شوند (۳۴). در این پژوهش نتایج فاکتور آلودگی فلزات سرب، نیکل و مس نشان دهنده آلودگی کم، فلزات کروم و روی آلودگی متوسط و کبالت در خاک دزفول آلودگی متوسط و در خاک رامهرمز و حمیدیه آلودگی زیاد بودند. نتایج سه شاخص مهم شامل درجه آلودگی، درجه آلودگی اصلاح شده و شاخص بار آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های سطحی دزفول، حمیدیه و رامهرمز کمتر از ۱ بود که این نتایج نشان داد که این آلاینده‌ها تأثیر کمی بر خاک داشته و باعث آلودگی بسیار کمی می‌شوند، زیرا مقدار شاخص بار آلودگی تمامی فلزات مورد مطالعه بالاتر از ۱ به‌دست آمده است که هر چه از عدد ۱ بالاتر باشد دفعات آلوده بودن نسبت به محل غیرآلوده را نشان می‌دهد (۳۵)،

میانگین فلزات سرب، نیکل، مس و کروم در خاک مزارع کشاورزی نسبت به مقادیر متوسط پوسته زمین پایین‌تر بود، اما غلظت روی و کبالت نسبت به میانگین پوسته زمین بالاتر به‌دست آمد که نشان دهنده این است که این دو فلز حاصل از فعالیت‌های انسان وارد خاک‌های کشاورزی مناطق مورد مطالعه شده‌اند. در این تحقیق میانگین میزان کبالت در خاک پایین‌تر از غلظت مرجع  $8 \text{ mg/kg}$  بود (۲۵). رسوبات جوی، لجن فاضلاب و فعالیت‌های ذوب و ریخته‌گری فلزی دارای مقادیر مختلفی از فلز کبالت است (۲۶). یکی از منابع مهم کبالت، کودهای حاوی فسفر در خاک هستند که مقادیر از کبالت به همراه دارند و سبب افزایش این عنصر در خاک‌های کشاورزی می‌شوند (۲۷). محتوای روی در خاک طبیعی به ترکیب شیمیایی سنگ مادر و میزان فرآیندهای هوازدگی مربوط است (۲۸). در خاک‌های کشاورزی فلز روی بیشتر به‌صورت یکنواخت توزیع نمی‌شود و محدوده محتوای آن بین  $10 \text{ تا } 300 \text{ mg/kg}$  است (۲۹، ۳۰) و پژوهشگران عقیده دارند که محتوای معمولی روی در خاک‌های آلوده بسیار متفاوت است و می‌تواند از  $10 \text{ تا } 100 \text{ mg/kg}$  باشد (۳۱).

معدنی، پساب صنعتی تصفیه نشده، پسماندها و پساب‌های معدنی منابع اصلی کبالت و سایر مواد معدنی موجود در خاک و آب جزء منابع دیگر این فلز هستند (۴۱، ۴۲). Bhuyan و همکار (۲۰۱۷) آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های کشاورزی کشور بنگلادش را با استفاده از چندین شاخص، فاکتور غنی‌شدگی (CF)، شاخص زمین‌انباشتگی (Igeo) و شاخص بار آلودگی (PLI) مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان از غنی‌شدگی معنی‌دار خاک با فلزات تیتانیم، منگنز، روی، سرب، آرسنیک، آهن، استرانسیم و آنتیموان حاصل از ورودی فعالیت‌های معدنی بود (۴۳). Salman و همکاران (۲۰۱۹) آلودگی فلزات سنگین در مزارع اورایی در شهر البور کشور مصر را ارزیابی کردند. آلودگی خاک با این فلزات با استفاده از فاکتورهای آلودگی، درجه آلودگی، شاخص بار آلودگی، ضریب خطر زیست‌محیطی (Er)، شاخص خطر زیست‌محیطی بالقوه (PRI) و شاخص زمین‌انباشت محاسبه شد. شاخص‌های محاسبه آلودگی یکپارچه شاخص بار آلودگی، درجه آلودگی و شاخص خطر زیست‌محیطی بالقوه نشان داد که نمونه‌های خاک با فلزات سنگین مورد مطالعه آلوده شده‌اند. مقادیر بالای فاکتور آلودگی آرسنیک و کادمیوم نشان داد که این دو عنصر نقش اصلی در آلودگی بالای خاک دارند (۴۴).

ارزیابی خطر سلامت فلزات سنگین خاک نشان داد که شاخص خطر فلزات سنگین سرب، نیکل، کروم، مس، روی و کبالت پایین‌تر از ۱ به دست آمد. شاخص سرطان‌زایی فلزات سنگین برای بزرگسالان و کودکان کمتر از  $10^{-4}$  بود. ارزیابی فلزات سنگین خاک برای سلامت انسان در منطقه حوضه یانگ تسه کشور چین نشان داد که کودکان بدون توجه به خطر سرطان‌زایی یا غیرسرطان‌زایی، مستعد ابتلا به خطرات بالقوه سلامتی مربوط به فلزات هستند. خطرات سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی قابل توجهی در بزرگسالان وجود نداشت، اما کودکان اثر غیرسرطان‌زایی معنی‌داری نشان دادند (۴۵). مقدار کل شاخص خطر (THQ) برای هر یک از فلزات مورد مطالعه در نمونه‌های خاک مزارع کشاورزی دزفول، حمیدیه و رامهرمز پایین‌تر از ۱ به دست آمد و در مقایسه با استاندارد شاخص خطر سرطان‌زایی ( $10^{-6}$ ) کمتر بود که عدم سرطان‌زایی

به‌عبارت دیگر شاخص بار آلودگی تعداد دفعاتی که غلظت فلزات سنگین در خاک نسبت به غلظت زمینه افزایش یافته است و خلاصه‌ای از وضعیت سمیت فلزات مورد بررسی را نشان می‌دهد (۳۶). فلزات سنگین به طور طبیعی در پوسته زمین وجود دارند و علی‌رغم محتوای کم و حلالیت کم، عموماً در اثر هوازدگی و فرسایش از پوسته زمین جدا شده و وارد منابع خاک می‌شوند. آلودگی‌های ساخته شده توسط بشر وارد خاک و اکوسیستم‌های آبی می‌شوند و میزان عناصر سنگین را در این محیط‌ها افزایش می‌دهد که می‌تواند مشکلات زیادی برای حیوانات و گیاهان به‌وجود آورد (۳۷، ۳۸).

مقادیر فاکتور غنی‌سازی سرب، مس، روی، کبالت و کروم نشان داد که خاک مزارع کشاورزی مورد مطالعه دارای غنی‌شدگی به شدت بالا و در مورد نیکل دارای غنی‌شدگی متوسط بودند که مقادیر این فلزات در خاک سه منطقه مورد مطالعه حمیدیه، رامهرمز و دزفول نتیجه فعالیت‌های انسانی بوده که نقش موثری در انباشت این فلزات در خاک داشتند. با این حال در مورد فلزات سرب، مس، روی، کبالت و کروم نشان داده شده است که فاکتور غنی‌سازی بسیار بالا می‌تواند از طریق منابع صنعتی، کشاورزی و شهری وارد مناطق مورد مطالعه شود. از مهمترین منابع آلودگی کادمیوم، سرب و روی خاک و محصولات کشاورزی می‌توان به تخلیه فاضلاب‌های صنعتی، معادن و پالایشگاه‌ها، استفاده از کودهای فسفاته و دفن پسماندها در خاک اشاره کرد (۳۹، ۴۰).

بر اساس مقادیر به‌دست آمده شاخص زمین‌انباشتگی فلزات سنگین سرب، نیکل، کروم، مس و روی در خاک دزفول، حمیدیه و رامهرمز غیر آلوده تا کمی آلوده بوده و برای فلز کبالت این شاخص کمی آلوده تا خیلی آلوده تعیین شد. در مورد خطر اکولوژیک برای فلزات سنگین سرب، روی، مس، نیکل و کروم خطر اکولوژیکی کم و برای فلز کبالت خطر متوسط و قابل توجه تعیین شد. با توجه به شاخص‌های آلودگی خاک، فلز کبالت نقش مهمی در آلودگی خاک دزفول، حمیدیه و رامهرمز داشت. سمیت کبالت تحت تأثیر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی محیط خاک مانند بافت، ماده آلی، اسیدیته و ترکیبات پیچیده قرار گرفته است که صنایع شیمیایی، کودهای

فلزات سرب و نیکل نیز پایین‌تر از  $10^{-4}$  بود. خطر سرطان‌زایی فلزات سنگین در مواد غذایی فاکتوری است که برای ارزیابی خطرات بالقوه سلامت برای انسان به کار می‌رود (۵۳، ۵۴). شاخص‌های خطرات بهداشتی برای ارزیابی خطرات سلامتی انسان حاصل از دریافت رژیم تغذیه محصولات غذایی آلوده به انواع فلزات سنگین است. در مطالعه‌ای در خصوص خطرات سلامتی و سرطان‌زایی دانه‌های غلات و خاک منطقه Anhui کشور چین، شاخص کل خطر ناشی از فلزات سنگین سرب، کادمیوم و کروم بالاتر از ۱ بود. همچنین ارتباط آماری معنی‌داری بین غلظت سرب خاک سطحی با سرطان معده در انسان و جیوه دانه غلات با سرطان کبد انسان گزارش شد (۵۵). در مطالعه دیگری در کشور بنگلادش، ارزیابی ۳۰ منطقه کشاورزی از نظر شاخص‌های بهداشتی فلزات کادمیوم، سرب، کروم، نیکل، مس، روی و منگنز انجام شد و خطرات سلامتی مرتبط با جذب و انباشت فلزات سنگین از طریق مصرف میوه‌ها و سبزیجات مورد مطالعه (پیاز، سیب زمینی، گوجه، فلفل، هویج، بادمجان، لوبیا، انبه، موز) در جمعیت بزرگسال بنگلادش گزارش شد (۵۶).

### نتیجه‌گیری

این مطالعه با هدف ارزیابی خطر سلامت و آلودگی برخی فلزات سنگین روی، کروم، مس، کبالت، سرب و نیکل در سبزی‌های کاهو و کلم کشت شده در سه شهرستان حمیدیه، دزفول و رامهرمز استان خوزستان انجام شد. با توجه به مقادیر شاخص‌های آلودگی خاک، فلز کبالت نقش مهمی در آلودگی خاک دزفول، حمیدیه و رامهرمز داشت و فلزات سرب، نیکل، کروم، مس و روی آلودگی کمی در خاک مناطق مورد مطالعه داشتند. ارزیابی خطر سلامت فلزات سنگین خاک نشان داد که شاخص خطر فلزات سنگین سرب، نیکل، کروم، مس، روی و کبالت پایین‌تر از ۱ به دست آمد. شاخص سرطان‌زایی فلزات سنگین برای بزرگسالان و کودکان کمتر از  $10^{-4}$  بود. با توجه به ارزیابی خطر سلامت فلزات سنگین و شاخص مخاطره آنها، مصرف کاهو و کلم در این مناطق می‌تواند باعث مشکلات سلامتی در افراد شود. به‌دلیل محدودیت زمانی و نبود زمان کافی برای انجام تحقیق این مطالعه به‌صورت

و ریسک سرطان در بزرگسالان و افراد جوان و نوجوان را به دنبال دارد که با نتایج مطالعه بررسی خطر بوم‌شناسی و سلامت فلزات سنگین خاک‌های کشاورزی در مناطق صنعتی منطقه Tangail کشور بنگلادش همخوانی داشت (۴۶). Yang و همکاران (۲۰۱۹) وضعیت و الگوی خطرات بالقوه سلامتی ناشی از تجمع فلزات در خاک‌های کشاورزی در چین را بررسی کردند. در این مطالعه شش فلز آرسنیک، کروم، نیکل، کادمیوم، سرب و روی برای ارزیابی آلودگی و ارزیابی خطر انتخاب شدند. غلظت کادمیوم بالاتر از استاندارد مرجع آنها بود و بیشترین شاخص تجمع متوسط را نشان داد. علاوه بر این میانگین شاخص خطر (HI) از طریق مواجهه فلزات سنگین و آرسنیک، خطرات غیرسرطان‌زایی برای کودکان بالاتر از ۱ بود (۴۷).

میانگین مقادیر فلزات سرب، نیکل، کروم، روی و مس در کلم بالاتر از کاهو به دست آمد، اما میزان کبالت در کاهو بالاتر از کلم بود. ارزیابی خطر سلامت فلزات سنگین کاهو و کلم نشان داد که شاخص مخاطره فلز سرب در کاهو و کلم بالاتر از ۱ به دست آمد، اما شاخص مخاطره فلزات نیکل، کروم، روی، مس و کبالت پایین‌تر از ۱ بود. بالاتر بودن سهم خطر از عدد ۱ نشان دهنده بالا بودن احتمال خطرپذیری به بیماری‌های غیرسرطان‌زا است و نتیجه کمتر از ۱ نشان دهنده آن است که مصرف مواد غذایی مورد مطالعه اثر حاد و مضر بر روی سلامت انسان ندارد (۴۸). تأثیر فعالیت‌های شهری و کاربری‌های صنعتی از علل بالا بودن میزان سرب در خاک این منطقه است. همچنین سوخت‌های فسیلی، سوخت زغال سنگ، ترافیک وسایل نقلیه و مواد پوششی لنت قرمز نیز از عوامل افزایش سرب در خاک هستند (۴۹). همچنین تحرک فلز سرب جهت جذب در سبزیجات در خاک‌های قلیایی کمتر از خاک‌های اسیدی است (۵۰، ۵۱). در مطالعه Zhuang و همکاران (۲۰۰۹) ارزیابی خطر فلزات سنگین از طریق مصرف محصولات زراعی در مجاورت معدن دابائوشان جنوب چین نشان داد که غلظت کادمیوم، سرب و روی در سبزیجات رشد یافته از ماکزیمم غلظت‌های مجاز در چین فراتر رفته است (۵۲).

شاخص سرطان‌زایی فلز کروم در دو محصول کاهو و کلم پایین‌ترین مقادیر را داشت. همچنین مقادیر شاخص سرطان‌زایی

انتشار مقاله در سایر نشریه‌ها، عدم تحریف داده‌ها و پرهیز از داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند.

### تشکر و قدردانی

این مقاله از پایان نامه کارشناسی ارشد گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز با عنوان "بررسی مخاطرات سلامت فلزات در سبزیجات کشت شده در استان خوزستان" استخراج شده است.

مقطعی انجام شده است و اثر عوامل تاثیرگذار مانند فصول سال، منابع کود شیمیایی و آب جهت آبیاری بررسی نشدند، بنابراین توصیه می شود که مطالعات بعدی در زمینه فلزات سنگین، غلظت کادمیوم، جیوه و آرسنیک در سایر محصولات کشاورزی در مناطق مختلف استان خوزستان نیز مطالعه شده و عوامل موثر بر تغییرات فلزات سنگین در سبزیجات و خاک نیز بررسی گردد.

### ملاحظات اخلاقی

نویسندگان همه نکات اخلاقی از جمله عدم سرقت ادبی، عدم

## References

1. Qiu YW. Bioaccumulation of heavy metals both in wild and mariculture food chains in Daya Bay, South China. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2015;163:7-14.
2. Huang L, Rad S, Xu L, Gui L, Song X, Li Y, et al. Heavy metals distribution, sources, and ecological risk assessment in Huixian Wetland, South China. *Water*. 2020;12(2):431.
3. Ali H, Khan E, Ilahi I. Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation. *Journal of Chemistry*. 2019;2019:6730305.
4. Amiri Z, Asgharipour MR, Campbell DE, Armin M. A sustainability analysis of two rapeseed farming ecosystems in Khorramabad, Iran, based on energy and economic analyses. *Journal of Cleaner Production*. 2019;226:1051-66.
5. Miranzadeh Mahabadi H, Ramroudi M, Asgharipour MR, Rahmani HR, Afyuni M. Assessment of heavy metals contamination and the risk of target hazard quotient in some vegetables in Isfahan. *Pollution*. 2020;6(1):69-78.
6. Wu H, Yang F, Li H, Li Q, Zhang F, Ba Y, et al. Heavy metal pollution and health risk assessment of agricultural soil near a smelter in an industrial city in China. *International Journal of Environmental Health Research*. 2020;30(2):174-86.
7. Asgharipour MR, Shahgholi H, Campbell DE, Khamari I, Ghadiri A. Comparison of the sustainability of bean production systems based on energy and economic analyses. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2019;191:1-21.
8. Aiman U, Mahmood A, Waheed S, Malik RN. Enrichment, geo-accumulation and risk surveillance of toxic metals for different environmental compartments from Mehmood Booti dumping site, Lahore city, Pakistan. *Chemosphere*. 2016;144:2229-37.
9. Manzoor J, Sharma M, Wani KA. Heavy metals in vegetables and their impact on the nutrient quality of vegetables: A review. *Journal of Plant Nutrition*.

- 2018;41(13):1744-63..
10. Boeing H, Bechthold A, Bub A, Ellinger S, Haller D, Kroke A, et al. Critical review: Vegetables and fruit in the prevention of chronic diseases. *European Journal of Nutrition*. 2012;51:637-63.
  11. Duruibe JO, Ogwuegbu MO, Ekwurugwu JN. Heavy metal pollution and human biotoxic effects. *International Journal of Physical Sciences*. 2007;2(5):112-8.
  12. Kachenko AG, Singh B. Heavy metals contamination in vegetables grown in urban and metal smelter contaminated sites in Australia. *Water, Air, & Soil Pollution*. 2006;169:101-23.
  13. Izadiyar MH, Yargholi B. Study of cadmium absorption and accumulation in different parts of four forages. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science*. 2010;9(3):231-8.
  14. Abdulazeeza ZM, Azizb JM. Study of heavy metals in some green leafy vegetables in Sulaimani, Kurdistan-Iraq. *International Journal of Multidisciplinary and Current Research*. 2014;2:500-4.
  15. Ye X, Xiao W, Zhang Y, Zhao S, Wang G, Zhang Q, et al. Assessment of heavy metal pollution in vegetables and relationships with soil heavy metal distribution in Zhejiang province, China. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2015;187:1-9.
  16. Tahsini H, Gavilian H. Assessment risk food of heavy metals (cadmium, lead, zinc and copper) from the consumed crops have been distributed in Santandaj. *Zanko Journal of Medical Sciences*. 2016; 17(54):62-72 (in Persian).
  17. Rouessac F, Rouessac A. *Chemical Analysis: Modern Instrumentation Methods and Techniques*. 2nd ed. France: John Wiley & Sons; 2022.
  18. Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Research*. 1980;14(8):975-1001.
  19. Muller GJG., Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. 1969. 2: p. 108-118.
  20. Abraham G, Holocene sediments of Tamaki Estuary: Characterisation and impact of recent human activity on an urban estuary in Auckland, New Zealand [dissertation]. Auckland, New Zealand: University of Auckland; 2005.
  21. Doabi SA, Karami M, Afyuni M, Yeganeh M. Pollution and health risk assessment of heavy metals in agricultural soil, atmospheric dust and major food crops in Kermanshah province, Iran. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2018;163:153-64.
  22. Nasreddine L, Parent-Massin D. Food contamination by metals and pesticides in the European Union. Should we worry?. *Toxicology Letters*. 2002;127(1-3):29-41.
  23. Islam MS, Hoque MF. Concentrations of heavy metals in vegetables around the industrial area of Dhaka city, Bangladesh and health risk assessment. *International Food Research Journal*. 2014;21(6): 2121-26.
  24. United States Environmental Protection Agency (USEPA). Office of Emergency. Risk assessment guidance for superfund: pt. A. Human health evaluation manual. Washington DC: USEPA; 1989.
  25. Sharma S, Nagpal AK, Kaur I. Heavy metal contamination in soil, food crops and associated health risks for residents of Ropar wetland, Punjab, India and its environs. *Food Chemistry*. 2018;255:15-22.

26. Eskandarpour M, Jamshidi P, Moghaddam MR, Ghasmei JB, Shemirani F. Developing a highly selective method for preconcentration and determination of cobalt in water and nut samples using 1-(2-pyridylazo)-2-naphthol and UV-visible spectroscopy. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2020;100(5):2272-9.
27. Senesil GS, Baldassarre G, Senesi N, Radina B. Trace element inputs into soils by anthropogenic activities and implications for human health. *Chemosphere*. 1999;39(2):343-77.
28. Chesworth W. *Geochemistry of micronutrients. Micronutrients in Agriculture*. 1991;4:1-30.
29. Torbati S, Esmailbegi Kermani S. Determining the concentration of Ag, Pb and Zn elements in some indigenous plant species grown in Zarshouran mining area, northwestern Iran. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2022; 15 (3): 379-98 (in Persian).
30. Barber SA. *Soil Nutrient Bioavailability: A Mechanistic Approach*. 2nd ed. West Lafayette, Indiana: John Wiley & Sons; 1995.
31. Mertens J, Degryse F, Springael D, Smolders E. Zinc toxicity to nitrification in soil and soilless culture can be predicted with the same biotic ligand model. *Environmental Science & Technology*. 2007;41(8):2992-7.
32. Liu WH, Zhao JZ, Ouyang ZY, Soderlund L, Liu GH. Impacts of sewage irrigation on heavy metal distribution and contamination in Beijing, China. *Environment International*. 2005;31(6):805-12.
33. Gong M, Wu L, Bi XY, Ren LM, Wang L, Ma ZD, et al. Assessing heavy-metal contamination and sources by GIS-based approach and multivariate analysis of urban-rural topsoils in Wuhan, central China. *Environmental Geochemistry and Health*. 2010;32:59-72.
34. Qingjie G, Jun D, Yunchuan X, Qingfei W, Liqiang Y. Calculating pollution indices by heavy metals in ecological geochemistry assessment and a case study in parks of Beijing. *Journal of China University of Geosciences*. 2008;19(3):230-41.
35. Angulo E. The tomlinson pollution load index applied to heavy metal, 'Mussel-Watch' data: a useful index to assess coastal pollution. *Science of the Total Environment*. 1996;187(1):19-56.
36. Chan LS, Ng SL, Davis AM, Yim WW, Yeung CH. Magnetic properties and heavy-metal contents of contaminated seabed sediments of Penny's Bay, Hong Kong. *Marine Pollution Bulletin*. 2001;42(7):569-83.
37. Sun H, Wan S, Li L, Liu D. Distribution of heavy metals in soil and plant of reed wetland in the Dongting Lake of China during different seasons. *Journal of Soil and Water Conservation*. 2015;29(5):289-93.
38. Ch S, Ch C, Ch B. Assessment of heavy metal pollution of topsoil in settlement area, Darkhan city. *Proceedings of the Mongolian Academy of Sciences*. 2018:55-65.
39. Ojo AA, Osho IB, Adewole SO, Olofintoye LK. Review on heavy metals contamination in the environment. *European Journal of Earth and Environment*. 2017;4(1):1-6.
40. Ericson B, Otieno VO, Nganga C, St. Fort J, Taylor MP. Assessment of the presence of soil lead contamination near a former lead smelter in Mombasa, Kenya. *Journal of Health and Pollution*. 2019;9(21):190307.
41. Luo D, Zheng H, Chen Y, Wang G, Fenghua D.

- Transfer characteristics of cobalt from soil to crops in the suburban areas of Fujian Province, southeast China. *Journal of Environmental Management*. 2010;91(11):2248-53.
42. Gautam SK, Maharana C, Sharma D, Singh AK, Tripathi JK, Singh SK. Evaluation of groundwater quality in the Chotanagpur plateau region of the Subarnarekha river basin, Jharkhand State, India. *Sustainability of Water quality and Ecology*. 2015;6:57-74.
43. Bhuyan MS, Islam MS. A critical review of heavy metal pollution and its effects in Bangladesh. *Science Journal of Energy Engineering*. 2017;5(4):95-108.
44. Salman SA, Zeid SA, Seleem EM, Abdel-Hafiz MA. Soil characterization and heavy metal pollution assessment in Orabi farms, El Obour, Egypt. *Bulletin of the National Research Centre*. 2019;43:1-3.
45. Jia Z, Li S, Wang L. Assessment of soil heavy metals for eco-environment and human health in a rapidly urbanization area of the upper Yangtze Basin. *Scientific reports*. 2018;8(1):3256..
46. Proshad R, Islam MS, Kormoker T, Bhuyan MS, Hanif MA, Hossain N, et al. Contamination of heavy metals in agricultural soils: Ecological and health risk assessment. *SF Journal of Nanochemistry and Nanotechnology*. 2019;2(1):1012.
47. 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. *Environment International*. 2019;128:165-74.
48. 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 (in Persian).
49. Li X, Feng L. Multivariate and geostatistical analyzes of metals in urban soil of Weinan industrial areas, Northwest of China. *Atmospheric Environment*. 2012;47:58-65.
50. Baker AJ, Walker PL. Ecophysiology of metal uptake by tolerant plants. *Heavy metal tolerance in plants: evolutionary aspects*. 1990;2:155-65.
51. Huang JW, Chen J, Berti WR, Cunningham SD. Phytoremediation of lead-contaminated soils: role of synthetic chelates in lead phytoextraction. *Environmental Science & Technology*. 1997;31(3):800-5.
52. Zhuang P, McBride MB, Xia H, Li N, Li Z. Health risk from heavy metals via consumption of food crops in the vicinity of Dabaoshan mine, South China. *Science of The Total Environment*. 2009;407(5):1551-61.
53. Cao S, Duan X, Zhao X, Wang B, Ma J, Fan D, et al. Health risk assessment of various metal (loid) s via multiple exposure pathways on children living near a typical lead-acid battery plant, China. *Environmental Pollution*. 2015;200:16-23.
54. Zeng F, Wei W, Li M, Huang R, Yang F, Duan Y. Heavy metal contamination in rice-producing soils of Hunan province, China and potential health risks. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2015;12(12):15584-93.
55. Zhao Q, Wang Y, Cao Y, Chen A, Ren M, Ge Y, et al. Potential health risks of heavy metals in cultivated topsoil and grain, including correlations with human primary liver, lung and gastric cancer, in Anhui province, Eastern China. *Science of the*

Total Environment. 2014;470:340-7.

56. Shaheen N, Irfan NM, Khan IN, Islam S, Islam MS, Ahmed MK. Presence of heavy metals in fruits and vegetables: Health risk implications in Bangladesh. Chemosphere. 2016;152:431-8.



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



## Risk assessment of health and ecological some of heavy metals in lettuce, cabbage, and soil of Dezful, Ramhormoz, and Hamidiyeh farms

Zahra Moavi<sup>1</sup>, Khoshnaz Payandeh<sup>2,\*</sup>, Mehmosh Tadayoni<sup>1</sup>

1- Department of Food Science and Technology, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

2- Department of Soil Science, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

### ARTICLE INFORMATION:

**Received:** 04 November 2023

**Revised:** 23 January 2024

**Accepted:** 29 January 2024

**Published:** 10 June 2024

**Keywords:** Soil pollution, Health risk, Heavy metals, Cabbage, Lettuce

### \*Corresponding Author:

Payandeh426@gmail.com

### ABSTRACT

**Background and Objective:** Heavy metals are dangerous pollutants in the environment that accumulate in food. This research was conducted with the aim of evaluating the health risks and contamination of some heavy metals in lettuce and cabbage in the cities of Hamidieh, Dezful and Ramhormoz in Khuzestan province.

**Materials and Methods:** The sampling was completely random, with three repetitions, and 15 samples of each of the lettuce and cabbage vegetables grown in each region were prepared. Heavy metals were measured using the Perkin Elmer 4100 atomic absorption device. Heavy metal risk assessment was conducted using soil pollution indicators and health risk assessment method.

**Results:** The highest amount of metal in cabbage is related to zinc ( $5.84 \pm 0.15$  mg/kg), while the lowest amounts of chromium metal in lettuce ( $0.11 \pm 0.005$  mg/kg) was achieved. Based on the daily absorption of heavy metals in lettuce and cabbage products, the results showed that the highest hazard index (HQ) values, related to lead metal in cabbage for children and adults, were 3.9376 and 3.4253, respectively, compared to other heavy metals. The highest value of the carcinogenicity index in children was 0.0133 for cabbage consumption. The carcinogenic index of chromium metal in lettuce and cabbage products had the lowest values (0.0003 and 0.0004). Regarding the metal enrichment factor, lead, chromium, copper and cobalt were higher in the agricultural soils of Ramhormoz compared to other regions, while nickel and zinc were higher in the soils of Hamidiyeh than in Dezful and Ramhormoz. The soil index of accumulation of chromium, zinc and copper in the soil of Dezful agricultural fields was higher, whereas lead and cobalt were higher in Hamidiyeh soils than in Dezful and Ramhormoz. Additionally, nickel was higher in Ramhormoz agricultural fields.

**Conclusion:** According to the soil pollution indicators, cobalt metal played an important role in the soil pollution in Dezful, Hamidiyeh and Ramhormoz, while the metals lead, nickel, chromium, copper and zinc showed minimal pollution levels in the soil of the studied areas. The health risk assessment of soil heavy metals showed that the risk index for lead, nickel, chromium, copper, zinc and cobalt was lower than 1. Additionally, the carcinogenicity index of heavy metals for both adults and children was less than  $10^{-4}$ . The health risk assessment of heavy metals and their risk index showed that the consumption of lettuce and cabbage in these areas can lead to various health problems in people.

Please cite this article as: Moavi Z, Payandeh Kh, Tadayoni M. Risk assessment of health and ecological some of heavy metals in lettuce, cabbage, and soil of Dezful, Ramhormoz, and Hamidiyeh farms. Iranian Journal of Health and Environment. 2024;17(1):23-42.

