

Carcinogenic and non-carcinogenic risk assessment of heavy metals in lettuce in Varamin plain region in 2022

Nasrin Ebadi¹ , Anooshiravan Mohseni Bandpey^{1, 2} , Abbas Shamsavani^{1, 2} , Mohsen Seilsepour³, Mehrnoosh Abtahi^{1, 2*} 

¹ Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

² Research Institute for Health Sciences and Environment, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

³ Greenhouse Cultivation Research Department, Tehran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Varamin, Iran

Abstract

Background and Aims: Vegetables are one of the essential food items in life and the main source of important elements for the human body, therefore, an increase in the concentration of heavy metals in vegetables can cause significant harm to human health. This study was conducted in 2022 with the aim of assessing the health risks of heavy metals in lettuce in the Varamin Plain region.

Materials and Methods: The present descriptive study was conducted to measure the concentration of heavy metals in 48 lettuce samples. Lettuce samples were taken from agricultural land and greenhouses using two irrigation methods with water and wastewater. The concentration of heavy metals was measured using an MP-AES device. All stages of this research were conducted in accordance with ethical and research standards.

Results: The finding of the present study showed that the average concentration of arsenic, cadmium, chromium, and lead in lettuce leaves in agricultural land irrigated with effluent was 0.51, 0.40, 0.09, and 0.46 mg/kg, respectively, in irrigated lettuce leaves with groundwater were 0.62, 0.4, 0.29, and 0.84 mg/kg, respectively, and in greenhouse lettuce leaves irrigated with underground water were 0.53, 0.23, 0.20, and 0.70 mg/kg, respectively. The non-carcinogenic risk assessment showed that arsenic and cadmium posed a higher risk than one for adults and children, and the carcinogenic risk of these two metals ranged from 10^{-6} to 10^{-4} , which was within an acceptable range.

Conclusion: Considering the carcinogenic and non-carcinogenic risks of arsenic and cadmium for adults and children, corrective actions and continuous monitoring of lettuce in the Varamin Plain region appear necessary.

Keywords: Heavy metals, Lettuce, Effluent, Health Risk Assessment

Please cite this article as: Ebadi N, Mohseni Bandpey A, Shamsavani A, Seilsepour M, Abtahi M. Carcinogenic and non-carcinogenic risk assessment of heavy metals in lettuce in Varamin plain region in 2022. Journal of Health in the Field 2024; 12(1):1-10. Doi: <https://doi.org/10.22037/jhf.v12i1.44129>.

Corresponding Author: Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

Corresponding Author: Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

Email: mehrabtahi@yahoo.com

Received: 17 December 2023

Accepted: 19 June 2024



ارزیابی خطر سرطان زایی و غیر سرطان زایی فلزات سنگین موجود در کاهو در منطقه دشت ورامین در سال ۱۴۰۱

نسرین عبادی^۱، انوشیروان محسنی بندپی^{۱،۲}، عباس شاهسونی^{۱،۲}، محسن سیل سپور^۳،

مهرنوش ابطاحی^{۱،۲} 

^۱ گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

^۲ پژوهشکده علوم بهداشتی و محیط زیست، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

^۳ بخش تحقیقات کشت گلخانه‌ای، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ورامین، ایران

مقاله پژوهشی

چکیده

زمینه و اهداف: سبزی‌ها یکی از مواد غذایی ضروری در زندگی و منبع اصلی عناصر مهم برای بدن انسان هستند، بنابراین افزایش غلظت فلزات سنگین در سبزی‌ها می‌تواند صدمات زیادی به سلامت انسان وارد کند. این مطالعه با هدف ارزیابی خطر بهداشتی فلزات سنگین موجود در کاهو در منطقه دشت ورامین در سال ۱۴۰۱ صورت گرفت.

مواد و روش‌ها: مطالعه توصیفی حاضر جهت اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین بر روی ۴۸ نمونه کاهو انجام گرفت. نمونه‌های کاهو از زمین کشاورزی و گلخانه با دو روش آبیاری با آب و پساب برداشت شد. غلظت فلزات سنگین با استفاده از دستگاه MP-AES سنجش شد. تمام مراحل این تحقیق با رعایت موازین اخلاقی و پژوهشی انجام شد.

یافته‌ها: نتایج مطالعه حاضر نشان داد که میانگین غلظت آرسنیک، کادمیوم، کروم و سرب در برگ کاهو، در زمین کشاورزی آبیاری شده با پساب به ترتیب ۰/۵۱، ۰/۴۰، ۰/۰۹ و ۰/۴۶ میلی‌گرم در کیلوگرم، در برگ کاهو آبیاری شده با آب زیرزمینی به ترتیب ۰/۶۲، ۰/۴۶، ۰/۲۹ و ۰/۸۴ میلی‌گرم در کیلوگرم و در برگ کاهو گلخانه‌ای آبیاری شده با آب زیرزمینی به ترتیب ۰/۵۳، ۰/۲۳، ۰/۲۰ و ۰/۷۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. ارزیابی ریسک غیر سرطان‌زایی نشان داد که آرسنیک و کادمیوم در بزرگسالان و خردسالان خطر بالاتر از یک داشتند و خطر سرطان‌زایی این دو فلز بین 10^{-6} تا 10^{-4} و در محدوده قابل قبول بوده است.

نتیجه‌گیری: با توجه به خطر سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی فلزات آرسنیک و کادمیوم برای بزرگسالان و خردسالان، اقدامات اصلاحی و پایش مداوم کاهو در منطقه دشت ورامین ضروری به نظر می‌رسد.

کلیدواژه‌ها: فلزات سنگین، کاهو، پساب، ارزیابی ریسک بهداشتی

Please cite this article as: Ebadi N, Mohseni Bandpey A, Shahsavani A, Seilsepour M, Abtahi M. Carcinogenic and non-carcinogenic risk assessment of heavy metals in lettuce in Varamin plain region in 2022. Journal of Health in the Field 2024; 12(1):1-10. **Doi:** <https://doi.org/10.22037/jhf.v12i1.44129>.

*نویسنده مسئول: گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران.

Email: mehrabtahi@yahoo.com

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۹/۲۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۳/۳۰

مقدمه

با افزایش روزافزون جمعیت، تهیه غذای کافی یکی از مسائل پیچیده و مهم جهان امروز به شمار می‌رود. هرساله میلیون‌ها مورد بیماری در جهان بر اثر استفاده مواد غذایی ناسالم ثبت می‌شود. به نحوی که سازمان جهانی بهداشت در تخمین از میزان بیماری‌های منتقله از غذا در بازه زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۵ نشان داد که هرساله از هر ۱۰ نفر یک نفر مبتلا به بیماری‌های منتقله از غذا می‌شود. این موضوع موجب سالانه ۳۳ میلیون بیماری و ۴۲۰ هزار مرگ می‌شود که یک سوم مرگ‌ها بین کودکان اتفاق می‌افتد. این تخمین برای منطقه مدیترانه شرقی بیش از ۱۰۰ میلیون بیماری و ۳۷۰۰۰ مرگ در سال را نشان داد که از ۱۰۰ میلیون مرگ ۳۲ میلیون در بین کودکان زیر ۵ سال رخ می‌دهد [۱].

عوامل مختلفی بر کیفیت مواد غذایی تأثیر می‌گذارد که شامل عوامل درونی و بیرونی در ماده غذایی می‌باشد. از عوامل بیرونی مؤثر بر کاهش کیفیت ماده غذایی، آلاینده‌های محیطی دارای تأثیر و اهمیت قابل توجهی هستند. آلاینده‌های محیطی در مراحل مختلف تهیه مواد غذایی می‌تواند ماده غذایی را متأثر نماید؛ اما بر اساس مطالعات انجام شده، ورود و تغلیظ آلاینده‌ها در مرحله کاشت و تولید مواد اولیه، پتانسیل آلودگی بیشتری در مواد غذایی دارد، به‌ویژه در سبزی‌هایی که به‌صورت خام مصرف می‌شوند. از سویی دیگر احتمال به خطر افتادن امنیت غذایی، جوامع انسانی را مجبور به استفاده از روش‌های نامتعارف در تولید مواد غذایی نموده است؛ به‌نحوی که در کشورهای با شرایط بحرانی از نظر منابع آبی، کشاورزی با آب‌های نامتعارف و حتی با فاضلاب تصفیه نشده، به روشی گریزناپذیر تبدیل شده است. ضمن اینکه آب‌های سطحی و زیرزمینی مورد استفاده برای کشاورزی به دلیل ورود آلاینده‌ها از منابع انسانی و طبیعی خود حاوی آلودگی قابل توجهی هستند که بهداشت مواد غذایی را تهدید می‌کنند. علاوه بر آن استفاده از کودها و آفت‌کش‌ها در راستای افزایش بهره‌وری تولید مواد غذایی، منبع دیگر از ورود آلاینده‌ها به‌ویژه فلزات سنگین می‌باشد [۱، ۲].

در سال‌های اخیر استفاده از پساب و فاضلاب برای آبیاری کشاورزی در جهان گسترش چشمگیری داشته است، به‌نحوی که حدود ۱۰ درصد از کل آبیاری جهان با استفاده از فاضلاب‌ها انجام می‌شود. انتقال فلزات سنگین از پساب، یک منبع عمده آلودگی محصولات کشاورزی می‌باشد. در مطالعه Khan و همکارانش (۲۰۲۰) در کراچی، نتایج نشان داد که میزان فلزات سنگین در کاهو به ترتیب: نیکل ۱/۳۴۹ و سرب ۱/۱۸۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم و غلظت آرسنیک در محدوده ۲۱ تا ۱۰۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که بالاتر از حد تعیین شده توسط اداره حفاظت از محیط‌زیست ایالتی (SEPA)، چین و سازمان بهداشت جهانی (WHO) بودند. قرار گرفتن طولانی مدت در معرض این فلزات سمی از طریق غذا ممکن است باعث تظاهرات بالینی مختلف، آسیب به اندام‌های حیاتی و ایجاد سرطان همراه باشد [۳، ۴].

آلودگی مواد غذایی به فلزات سنگین از مشکلات رو به افزایش بهداشتی است. بعضی از فلزات سنگین از جمله کروم، نیکل، مس و کبالت در مقادیر کم برای رشد و حیات گیاهان یا جانوران ضروری می‌باشند و نقش مهمی در متابولیسم انسان دارند؛ اگرچه می‌توانند در غلظت‌های بالا سمی باشند. اما برخی دیگر مانند کادمیوم، سرب، جیوه، غیرضروری بوده و حتی در غلظت‌های کم برای موجودات زنده سمی است [۵، ۱].

اثر سمیت عناصری مثل سرب و کادمیوم ناشی از رقابت آن‌ها با عناصر ضروری سبک‌تر و جذب به‌وسیله گیاه است که در نتیجه جای آن‌ها را در وظایف بیوشیمیایی می‌گیرند. به‌عنوان مثال کادمیوم می‌تواند جذب گیاه شده و وظایف متابولیسمی شبیه روی داشته باشد [۶]. تجمع بالای فلزات سنگین در خاک نه تنها عملکرد و کیفیت محصول را کاهش می‌دهد، بلکه تهدیدی جدی برای اکوسیستم و سلامت انسان، به شمار می‌رود [۷، ۸]. به دلیل حالیت فلزات سنگین در آب، منبع عمده ورود به محصولات کشاورزی آب محسوب می‌شود؛ اما از طرفی خاک منبع اصلی تغذیه معدنی گیاهان است. گیاهان از اولین ارگانیسم‌هایی هستند که وقتی شرایط خاکی تغییر می‌کند، واکنش نشان می‌دهند و این امر آن‌ها را به‌عنوان نشانگرهای زیستی عالی در مورد تغییرات نامطلوب خاک مانند انباشتگی فلزات سنگین درمی‌آورد [۹، ۳]. سبزی‌ها یکی از مواد غذایی ضروری در زندگی و منبع اصلی عناصر مهم برای بدن انسان هستند. در قاره آسیا و به‌خصوص در کشورهای در حال توسعه، مردم از سبزی‌ها بیش از گوشت استفاده می‌کنند. در کشور ما نیز، سبزی‌ها جزء مواد غذایی پرمصرف محسوب می‌شود؛ بنابراین افزایش غلظت فلزات سنگین در سبزی‌ها می‌تواند صدمات زیادی به سلامت انسان وارد کند [۱۰]. به دلیل قدرت جذب بالای فلزات سنگین از خاک توسط سبزی‌ها، به شکل هم‌زمان با مواد مغذی، این آلاینده‌ها از طریق مصرف سبزی‌ها وارد بدن شده و منجر به اختلالات متعددی مانند آسیب کلیه، اختلالات عصبی و بیماری‌های استخوانی می‌شوند [۱۳-۱۱].

در بین سبزی‌هایی که مورد مطالعه قرار گرفته‌اند مشخص شده است که گیاه کاهو تمایل بیشتری به جذب و انباشت فلزات سنگین به‌ویژه کادمیوم و سرب را دارد [۱۴، ۱۵]. ارزیابی خطر سلامتی انسان فرآیندی است برای محاسبه خطر برای یک جمعیت معین که در معرض یک عامل خاص قرار گرفته‌اند. ثابت شده است که قرار گرفتن در معرض فلزات سنگین یک خطر بزرگ، برای سلامتی انسان محسوب می‌شود [۱۶].

دشت ورامین یکی از مهم‌ترین قطب‌های کشاورزی در استان تهران محسوب می‌شود. در سال‌های اخیر، کمبود آب منجر به استفاده گسترده از پساب و پساب برای آبیاری کشاورزی در این منطقه شده است و به همین دلیل آلودگی سبزی‌های برگی آبیاری شده با پساب به‌ویژه کاهو به فلزات سنگین، یکی از نگرانی‌های مصرف‌کنندگان محصولات این منطقه شده است [۱۷]. مطالعه حاضر با هدف بررسی میزان آلودگی

می‌تواند نماینده فلزات زمینه باشد، انتخاب شدند و شامل کادمیوم (Cd)، سرب (Pb)، آرسنیک (As) و کروم (Cr) هستند.

نمونه‌برداری و آنالیز نمونه

در انتخاب نقاط جهت نمونه‌برداری، محل‌های نمونه‌برداری طوری انتخاب شدند که زمین و گلخانه کشت داده شده با آب زیرزمینی در یک سمت و همچنین زمین و گلخانه آبیاری شونده با پساب در سمت دیگر قرار گیرد. آبخوان دشت ورامین در شمال غرب با آبخوان دشت تهران و در جنوب غرب با حوزه آبخیز کرج مرتبط است. در ضمن رودخانه شور که مرز غربی دشت ورامین محسوب می‌شود، دارای نقش تغذیه‌کنندگی می‌باشد. منبع اصلی تأمین‌کننده آب این رودخانه روان آب‌های سطحی و فاضلاب‌های خام تهران و شمیرانات است [۱۹]. در راستای انجام این مطالعه نمونه‌های کاهو از نقاط مشخص شده جمع‌آوری، داخل کیسه‌های پلی‌اتیلن قرا داده شده و به آزمایشگاه منتقل شد و بعد از مرحله هضم اسیدی - حرارتی جهت تعیین غلظت فلزات سنگین توسط دستگاه MP-AES آنالیز شد. تعداد نمونه کاهو بر اساس نتایج مطالعه خرازی و همکاران برآورد شد که در آن میانگین و انحراف معیار سرب برابر 0.05 ± 0.12 میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شده است. بدین صورت حجم نمونه به‌صورت زیر محاسبه گردید [۵].

$$n = \frac{(Z_{1-\frac{\alpha}{2}} + Z_{1-\beta})^2 (s_1 + s_2)^2}{(\mu_1 - \mu_2)^2} \quad (1)$$

$$= \frac{(1.96 + 1.28)^2 * (0.05 + 0.02)^2}{(0.12 - 0.08)^2} = 47.23$$

$$\approx 48$$

برای نمونه‌برداری از کاهو، زمین کشاورزی به سه قسمت بالایی، میانی و پایینی تقسیم و سپس از این سه بخش تعداد ۵ بوته کاهو با استفاده از چاقو تمیز به‌عنوان نمونه برداشته شد. نمونه‌ها در کیسه‌های پلی‌اتیلن با نوار چسب بسته و برچسب‌گذاری (مشخصات مکان و تاریخ نمونه‌برداری) شده و به آزمایشگاه منتقل شدند. در آزمایشگاه، یک نمونه مرکب به وزن یک کیلوگرم (برگ و ساقه به صورت جداگانه) جهت شستشو آماده گردید. شستشو ابتدا با آب لوله‌کشی شهری و سپس با آب مقطر انجام شد تا هرگونه آلاینده احتمالی حذف شود. در مرحله بعد نمونه‌ها خرد شده و بر روی ورقه‌های آلومینیومی جهت رفع رطوبت اضافی قرار گرفت.

نمونه‌ها به منظور خشک شدن در آون با دمای 60°C به مدت ۱۲ ساعت قرار داده شد. سپس نمونه‌های خشک شده به‌وسیله هاون آسیاب شده و ۲ گرم از نمونه پودر شده را داخل بوته چینی ریخته و در کوره الکتریکی به مدت ۲ ساعت قرار داده شد تا خاکستر شود. برای هضم کاهو بعد از خنک شدن خاکستر، نمونه به داخل ارلن منتقل شده و با مخلوطی از ۱۰ mL اسید هیدروکلریک غلیظ (HCl) و ۵ mL اسید نیتریک غلیظ (HNO_3) برای مدت دو ساعت در دمای 90°C روی هیتر قرار داده شد. بعد از خنک شدن محلول را از کاغذ صافی واتمن

فلزات سنگین در کاهوهای کشت شده در زمین‌های کشاورزی و گلخانه آبیاری شده با آب زیرزمینی و پساب اندازه‌گیری شد و جهت بررسی میزان خطرات احتمالی ایجاد شده برای جامعه مصرف‌کننده ارزیابی ریسک سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی محاسبه گردید.

مواد و روش‌ها

منطقه جغرافیایی دشت ورامین

دشت ورامین با مساحت ۱۵۸۴ کیلومتر مربع در جنوب شرقی تهران و بین طول‌های جغرافیایی ۵۱ درجه و ۵۵ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی بین ۳۵ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۴۶ دقیقه شمالی واقع شده است [۱۵]. دشت ورامین در ارتفاع تقریبی ۱۰۰۰ متر از سطح دریا واقع شده است. مساحت دشت آبرفتی آن حدود ۱۳۸۰۰۰ هکتار است که بیش از ۵۰۰۰۰ هکتار از آن جزء اراضی کشاورزی محسوب می‌شود. دشت ورامین دارای اقلیم خشک بوده و از ویژگی‌های آن بارندگی کم، گرمای زیاد و دوره خشک طولانی است. نواحی شمالی این منطقه با میانگین دمای سالانه ۱۱ درجه سانتی‌گراد کمترین دمای منطقه و نواحی جنوبی منطقه با میانگین سالانه ۱۸ درجه سانتی‌گراد بیشترین دما را دارند. توزیع فضایی بارش در این منطقه بیانگر آن است که از شمال به جنوب و از غرب به شرق از میزان بارش منطقه کاسته می‌شود. مقدار بارش میانگین سالانه در این منطقه ۱۷۳ میلی‌متر است [۱۸].

شرایط کاشت و آبیاری محصول

این مطالعه در سال ۱۴۰۱ و در اراضی دشت ورامین که شامل شهرستان‌های قرچک، ورامین، پیشوا هستند، انجام شد. سبزی مورد مطالعه در این تحقیق کاهو پیچ با نام علمی (*Lactuca sativa* var *longifolia*) می‌باشد. بر اساس تحقیقاتی که به‌صورت میدانی صورت گرفت، مشخص گردید کوددهی زمین‌های کشاورزی، بدون آزمون خاک و تنها بر اساس تجربیات شخصی کشاورز و به‌صورت سنتی انجام می‌شود. منبع کود نیتروژن مصرفی به طور عمده کود اوره با ۴۸٪ نیتروژن و منبع کود فسفره، سوپر فسفات تریپل با ۴۸٪ پنتا اکسید فسفر و از کنفیدور (ایمیداکلوپراید) به‌عنوان آفت‌کش استفاده می‌شود [۱۵]. در این منطقه کشت سبزی‌ها و صیفی‌جات در زمین‌های کشاورزی و گلخانه‌هایی انجام می‌شود که با آب چاه و پساب آبیاری می‌شوند؛ نمونه‌برداری از کاهو، پساب، آب، خاک، کود و آفت‌کش در فصل کشت از مزارع تعیین‌شده انجام شد. بدین ترتیب که تعدادی از نمونه‌ها از کشت آبیاری شده با آب زیرزمینی و تعدادی از کشت آبیاری شده با پساب گرفته شد. علاوه بر بررسی میزان فلزات سنگین در گیاه، میزان فلزات و بعضی از دیگر ویژگی‌های فیزیک و شیمیایی در محیط‌های دیگر یعنی آب‌های متعارف و نامتعارف (پساب) مورد استفاده آبیاری، خاک، کودها و آفت‌کش‌های بکار رفته انجام شد. فلزات سنگین مورد اندازه‌گیری از میان فلزات سنگین سمی غیر ضروری به‌اضافه فلزی که

(۲۰۱۸) به ترتیب برای آرسنیک ۰/۰۰۰۳ کادمیوم ۰/۰۰۰۵، سرب ۰/۰۰۳۵ و کروم ۰/۰۰۳ در نظر گرفته شد [۲۲]. ریسک سرطان‌زایی (Carcinogenic risk: CR)، با استفاده از رابطه شماره ۴ محاسبه شد که در آن SF فاکتور شیب (Slope factor) است. مقادیر SF برای آرسنیک، کادمیوم، کروم و سرب به ترتیب برابر با ۱/۵، ۶/۱۰، ۰/۰۸۴ و ۰/۰۰۸۵ می‌باشد. مقدار بزرگ‌تر از 10^{-4} خطر افزایشی سرطان در طول عمر (Incremental Lifetime Cancer Risk: ILCR) بیانگر این است ریسک سرطان‌زایی وجود دارد و در صورتی که ILCR در محدوده $10^{-4} < \text{ILCR} < 10^{-6}$ باشد، ریسک ایجاد شده قابل قبول می‌باشد.

$$ILCR = CDI \times SF \quad (۴)$$

یافته‌ها

میانگین غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های برگ کاهو کشت داده شده در زمین کشاورزی و گلخانه آبیاری شده با آب زیرزمینی و پساب در جدول شماره ۲ گزارش شده است. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود، بالاترین غلظت فلزات در نمونه‌های کاهوهای کشت داده شده با آب زیرزمینی تعیین شد و بین میزان فلزات سنگین کاهوها با این دو نوع آبیاری (به جز میزان آرسنیک) تفاوت معنی‌داری وجود دارد ($P < ۰/۰۵$). بیشترین مقدار غلظت فلز کادمیوم ($۰/۰۴۶ \text{ mg/kg}$)، فلز سرب ($۰/۰۸۴ \text{ mg/kg}$)، کروم ($۰/۰۲۹ \text{ mg/kg}$) و آرسنیک ($۰/۰۶۲ \text{ mg/kg}$) در زمین کشاورزی بود که با آب زیرزمینی آبیاری می‌شد (جدول شماره ۲). بر اساس نتایج جدول شماره ۳، مشاهده می‌شود که آبیاری با آب زیرزمینی نسبت به آبیاری با پساب موجب تجمع بیشتر فلزات سنگین در ساقه گیاه شده است، به صورتی که بیشترین مقدار غلظت فلزات در ساقه گیاه کاهو به ترتیب کادمیوم و کروم در غلظت‌های ۰/۰۰۳ و $۰/۰۱۶ \text{ mg/kg}$ تعیین شد که محصول زمین کشاورزی آبیاری شده با آب زیرزمینی بود.

همچنین بیشترین غلظت فلز آرسنیک ($۰/۰۶۹ \text{ mg/kg}$) در ساقه کاهوی گلخانه‌ای که با آب زیرزمینی آبیاری شده بود، اندازه‌گیری شد. بیشترین غلظت فلز سرب ($۰/۰۶ \text{ mg/kg}$) در زمین کشاورزی بود که با پساب آبیاری شده بود. ریسک سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی که افراد مصرف‌کننده کاهوی کشت شده در این منطقه را تهدید می‌کند در جدول شماره ۴ نشان داده شده است. بر اساس نتایج جدول، فلزات آرسنیک و کادمیوم بیشترین جذب روزانه را در بزرگسالان و خردسالان داشتند. بر اساس ارزیابی ریسک غیر سرطان‌زایی، مصرف کاهو بالاترین خطر ناشی از فلز آرسنیک را در بزرگسالان و فلزات آرسنیک و کادمیوم در خردسالان نشان می‌دهد.

۴۲ عبور داده و داخل بالن ژوژه جمع کرده و با آب مقطر به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده و سپس عصاره حاصل توسط دستگاه MP-AES آنالیز شد [۲۰، ۲۱]. حد تشخیص دستگاه MP-AES برای فلزات مورد اندازه‌گیری در این تحقیق و همچنین درصد ریکاوری فلزات در جدول شماره ۱ آورده شده است.

جدول ۱- حد تشخیص دستگاه MP-AES برای فلزات سنگین
Table 1- Detection Limits of Heavy Metals Using MP-AES Technology

فلزات	واحد	آرسنیک	کروم	کادمیوم	سرب
میزان بازیابی	درصد	۹۴	۹۹	۹۳	۹۵
حد تعیین کمی (LOQ)	ppb	۹/۳	۶/۱	۸/۴	۴/۸
حد تشخیص (LOD)	ppb	۱/۱	۰/۵	۴/۱	۸/۲

تعیین ریسک سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی حاصل از مصرف کاهو در این مطالعه همچنین خطر غیرسرطان‌زایی فلزات سنگین ناشی از مصرف کاهو با محاسبه ضریب خطر (Hazard Quotient: HQ) و شاخص خطر (Hazard Index: HI) ارزیابی شد. برای محاسبه ریسک غیرسرطان‌زایی از فرمول ارائه شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (USEPA) استفاده شد. به این ترتیب که ابتدا میزان جذب روزانه مزمن (CDI) از طریق مصرف کاهو به ازای هر کیلوگرم وزن بدن با استفاده از رابطه شماره ۲ محاسبه شد:

$$CDI = \frac{C_{medium} \times IngR}{BW} \quad (۲)$$

CDI: جذب روزانه مزمن (mg/kg-day)

C_{medium} : غلظت فلز سنگین در ماده غذایی (e.g., mg/L , g/kg)
IngR (Ingestion rate): میزان مصرف روزانه (e.g., L/day , mg/day) برای بزرگسالان ۵۸ و برای خردسالان ۴۰
BW (Body weigh): وزن بدن (kg) برای بزرگسالان ۶۸/۷۲ و برای خردسالان ۱۵ kg

با به دست آمدن میانگین دوز روزانه دریافتی و داشتن دوز مرجع مربوط به خوردن (RFD) آلاینده مورد نظر می‌توان ریسک غیر سرطان‌زایی آن را با استفاده از رابطه شماره ۳ محاسبه نمود [۱۳، ۲۱].

$$HQ = \frac{CDI}{RfD} \quad (۳)$$

RFD (Reference dose): دوز مرجع فلزات سنگین با واحد mg/kg-day در شرایط معین است. دوزهای مرجع خوراکی (برای هر فلز) از سیستم اطلاعات جامع مدیریت ریسک حفاظت محیط زیست آمریکا گرفته شده است. RFD، حداکثر مقداری از فلز که بالقوه فاقد اثرات مزمن از طریق بلع بوده و مقدار آن برای فلزات مورد مطالعه طبق آخرین چاپ EPA

سرطان‌زایی در طول عمر را داشتند. خطر سرطان‌زایی فلزات مورد مطالعه به ترتیب کادمیم < آرسنیک < کروم < سرب کاهش می‌یافت.

خطر غیرسرطان‌زایی فلزات مورد مطالعه آرسنیک < کادمیم < سرب < کروم بود و در بزرگسالان به ترتیب ۱/۶۶، ۰/۳۳، ۰/۱۳ و ۰/۰۵ به دست آمد. خطر سرطان‌زایی تمام طول عمر فلز کادمیم برای بزرگسالان و آرسنیک و کادمیم برای خردسالان بزرگ‌تر از 10^{-4} بود که خطر

جدول ۲- میانگین غلظت فلزات سنگین (mg/kg) در برگ کاهوی کشت شده در زمین کشاورزی و گلخانه در دشت ورامین

Table 2- Average levels of heavy metals (mg/kg) in lettuce leaves grown on farmland and greenhouses of Varamin Plain

نام فلز	نوع خاک	منبع آبیاری	میانگین	انحراف معیار	دامنه تغییرات	P-Value
آرسنیک	زمین کشاورزی	پساب	۰/۵۱	۰/۰۹	۰/۶۴ - ۰/۳۸	<۰/۰۰۱
		آب‌های زیرزمینی	۰/۶۲	۰/۲۵	۱/۰۹ - ۰/۳۹	۰/۰۰۲
	گلخانه	آب‌های زیرزمینی	۰/۵۳	۰/۱۸	۰/۸۵ - ۰/۳۵	۰/۰۰۱
کادمیم	زمین کشاورزی	پساب	۰/۴۰	۰/۰۱	۰/۵۷ - ۰/۲۸	۰/۰۰۳
		آب‌های زیرزمینی	۰/۴۶	۰/۱۱	۰/۵۷ - ۰/۳۷	<۰/۰۰۱
	گلخانه	آب‌های زیرزمینی	۰/۲۳	۰/۰۷	۰/۵۱ - ۰/۰۲	۰/۳۹
کروم	زمین کشاورزی	پساب	۰/۰۹	۰/۰۳	۰/۱۸ - ۰/۰۶	۰/۹۸
		آب‌های زیرزمینی	۰/۲۹	۰/۴۶	۱/۲۴ - ۰/۰۴	۰/۸۲
	گلخانه	آب‌های زیرزمینی	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۵۲ - ۰/۰۴	۰/۹۹
سرب	زمین کشاورزی	پساب	۰/۴۶	۰/۱۹	۰/۶۲ - ۰/۰۷	۰/۰۴
		آب‌های زیرزمینی	۰/۸۴	۰/۳۸	۱/۱۸ - ۰/۱۸	۰/۰۰۱
	گلخانه	آب‌های زیرزمینی	۰/۷۰	۰/۳۲	۱/۱۶ - ۰/۳۶	۰/۰۱

*سطح معناداری کمتر از ۰/۰۵ می‌باشد.

جدول ۳- میانگین غلظت فلزات سنگین (mg/kg) در ساقه کاهوی کشت شده در زمین کشاورزی و گلخانه در دشت ورامین

Table 3- Average levels of heavy metals (mg/kg) in lettuce stems grown on farmland and greenhouses of Varamin Plain

نام فلز	نوع خاک	منبع آبیاری	میانگین	انحراف معیار	دامنه تغییرات	P-Value
آرسنیک	زمین کشاورزی	پساب	۰/۵۳	۰/۰۹	۰/۶۵ - ۰/۴۰	<۰/۰۰۱
		آب‌های زیرزمینی	۰/۶۳	۰/۱۵	۰/۸۷ - ۰/۴۶	۰/۰۰۶
	گلخانه	آب‌های زیرزمینی	۰/۶۹	۰/۰۵	۰/۷۷ - ۰/۶۲	<۰/۰۰۱
کادمیم	زمین کشاورزی	پساب	۰/۰۲	۰/۰۰۸	۰/۰۳ - ۰/۰۱	۰/۹۹
		آب‌های زیرزمینی	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۵ - ۰/۰۱	۰/۹۸
	گلخانه	آب‌های زیرزمینی	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۴ - ۰/۰۱	۰/۹۹
کروم	زمین کشاورزی	پساب	۰/۰۹	۰/۰۲	۰/۱۳ - ۰/۰۶	۰/۹۹
		آب‌های زیرزمینی	۰/۱۶	۰/۱۴	۰/۴۶ - ۰/۰۸	۰/۹۷
	گلخانه	آب‌های زیرزمینی	۰/۱۴	۰/۰۱	۰/۱۷ - ۰/۱۲	۰/۹۱
سرب	زمین کشاورزی	پساب	۰/۶۰	۰/۷۳	۱/۶۲ - ۰/۰۳	۰/۲۴
		آب‌های زیرزمینی	۰/۴۳	۰/۵۴	۱/۳۶ - ۰/۰۴	۰/۲۹
	گلخانه	آب‌های زیرزمینی	۰/۲۴	۰/۰۲	۰/۲۸ - ۰/۲۱	۰/۹۹

*سطح معناداری کمتر از ۰/۰۵ می‌باشد.

جدول ۴- میزان جذب روزانه مزمن و ریسک سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی حاصل از مصرف کاهوی کشت‌شده برای بزرگسالان و خردسالان
Table 4- Chronic daily intake (CDI) and risk assessment of carcinogenic and non-carcinogenic hazards through lettuce consumption by adults and children

ILCR	HQ	CDI	فلز	مکان نمونه‌گیری	گروه سنی		
۰/۰۰۰۶	۱/۴۷	۰/۰۰۰۴	آرسنیک	زمین کشاورزی آبیاری با پساب	بزرگسالان		
۰/۰۰۱	۰/۳۵	۰/۰۰۰۱	کادمیوم				
۰/۰۰۰۰۰۶	۰/۰۲	۰/۰۰۰۰۷	کروم				
۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۱۲	۰/۰۰۰۴	سرب				
۰/۰۰۰۰۸	۱/۷۷	۰/۰۰۰۵	آرسنیک	زمین کشاورزی آبیاری با آب زیرزمینی		بزرگسالان	
۰/۰۰۱	۰/۴۲	۰/۰۰۰۲	کادمیوم				
۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰۶	۰/۰۰۰۲	کروم				
۰/۰۰۰۰۰۶	۰/۱۵	۰/۰۰۰۵	سرب				
۰/۰۰۰۰۷	۱/۷۲	۰/۰۰۰۵	آرسنیک	گلخانه			خردسالان
۰/۰۰۰۰۶	۰/۲۱	۰/۰۰۰۱	کادمیوم				
۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰۴	۰/۰۰۰۱	کروم				
۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۱۱	۰/۰۰۰۴	سرب				
۰/۰۰۲	۴/۶۶	۰/۰۰۱	آرسنیک	زمین کشاورزی آبیاری با پساب	خردسالان		
۰/۰۰۳	۱/۱۳	۰/۰۰۰۵	کادمیوم				
۰/۰۰۰۰۰۲	۰/۰۸	۰/۰۰۰۲	کروم				
۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۴۰	۰/۰۰۱	سرب				
۰/۰۰۲	۵/۶۰	۰/۰۰۱	آرسنیک	زمین کشاورزی آبیاری با آب زیرزمینی		خردسالان	
۰/۰۰۴	۱/۳۳	۰/۰۰۰۶	کادمیوم				
۰/۰۰۰۰۰۵	۰/۲۰	۰/۰۰۰۶	کروم				
۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۴۸	۰/۰۰۱	سرب				
۰/۰۰۲	۵/۴۴	۰/۰۰۱	آرسنیک	گلخانه			خردسالان
۰/۰۰۲	۰/۶۸	۰/۰۰۰۳	کادمیوم				
۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۱۵	۰/۰۰۰۴	کروم				
۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۳۶	۰/۰۰۱	سرب				

بحث

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که میانگین غلظت فلزات کادمیوم، سرب، کروم و آرسنیک در برگ کاهوی محصول زمین کشاورزی آبیاری شده با پساب به ترتیب ۰/۴۰، ۰/۴۶، ۰/۰۹ و ۰/۵۱ میلی‌گرم در کیلوگرم بود؛ در حالی که در محصول آبیاری شده با آب زیرزمینی ۰/۴۶، ۰/۸۴، ۰/۲۹ و ۰/۶۲ میلی‌گرم در کیلوگرم تعیین شد و در محصول گلخانه‌ای آبیاری شده با آب زیرزمینی ۰/۲۳، ۰/۷۰، ۰/۲۰ و ۰/۵۳ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. همچنین این فلزات در ساقه کاهو، در زمین کشاورزی آبیاری شده با پساب به ترتیب ۰/۰۲، ۰/۶۰، ۰/۰۹ و ۰/۵۳ میلی‌گرم در

کیلوگرم در زمین کشاورزی آبیاری شده با آب‌های زیرزمینی ۰/۰۳، ۰/۴۳، ۰/۱۶ و ۰/۶۳ میلی‌گرم در کیلوگرم و در گلخانه آبیاری شده با آب زیرزمینی ۰/۰۲، ۰/۲۴، ۰/۱۴ و ۰/۶۹ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. نتایج مطالعه خرازی و همکاران که در همدان در سال ۲۰۲۱ انجام دادند، نشان داد که میانگین فلزات سرب، کادمیوم، آرسنیک و کروم در گیاه کاهو در زمین کشاورزی که با آب چاه آبیاری می‌شدند به ترتیب ۰/۰۸، ۰/۰۱، ۰/۰۱ و ۰/۰۳ میلی‌گرم در کیلوگرم و میانگین فلزات سرب، کادمیوم، آرسنیک و کروم در گیاه کاهو در زمین کشاورزی که با

مطالعه شکوهمیان و همکاران نشان داد که میانگین غلظت آرسنیک ۴/۵ (۰/۶)، کادمیوم ۵/۱ (۱/۲)، کروم ۴/۱ (۰/۹) و سرب ۲۶ (۷) میلی‌گرم در کیلوگرم بود که از میانگین غلظت فلزات مطالعه حاضر، بالاتر بودند. همچنین مقایسه مجموع غلظت فلزات سنگین نشان داد که به ترتیب کاهو، تره‌فرنگی، شوید، گوجه‌فرنگی، بادمجان، سیب‌زمینی، پیاز، گل‌گلم بالاترین غلظت را داشتند [۲۸]. در مطالعه‌ای دیگر که در یزد انجام شد، میانگین فلز کادمیوم ۳۴/۵، فلز آرسنیک ۲۹۴ و سرب ۱۴ میلی‌گرم در کیلوگرم در کاهو گزارش گردید که همه فلزات مورد بررسی از حد استاندارد سازمان جهانی بهداشت بالاتر بودند و در میان سبزی‌های مورد بررسی بیشترین غلظت فلزات در سبزی جعفری و کمترین در سبزی کاهو بود [۲۹]. در مطالعه‌ای دیگر در تبریز در گیاه کاهو میانگین سرب ۱/۸۸، کادمیوم ۱/۱۰، آرسنیک ۱/۰۳ و کروم ۶/۸۹ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شد [۳۰]. سیل‌سپور در منطقه ورامین در زمین‌های کشاورزی، میانگین غلظت فلز سرب و کادمیوم در کاهو را ۱/۴۶ و ۰/۱۱ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش کرد [۱۷]. در اراضی زیر کشت اصفهان نتایج نشان داد که میانگین غلظت فلز سرب در نمونه‌های کاهو ۴/۲ و کادمیوم ۰/۲۷ میلی‌گرم در کیلوگرم بود [۳۱]. در مطالعه‌ای که در چین انجام شد نتایج نشان داد که میانگین فلزات سنگین در گیاهان برگ‌گلخانه‌ای برای فلزات کادمیوم، آرسنیک و سرب به ترتیب ۰/۰۸، ۰/۰۱ و ۰/۱۲ بود [۳۲]. همچنین در مطالعه رونبایی و همکاران و Akan و همکاران نتایج نشان داد که غلظت فلز کروم و منگنز بالاتر از حد استاندارد برای کاهو بود [۲۴، ۳۳].

منابع اصلی آلودگی فلزات سنگین بر اساس موقعیت جغرافیایی، آب و هوا، اقلیم کاملاً متفاوت است، از عوامل صنعتی و مسئله ترافیک گرفته تا خالص‌سازی و پالایش لجن‌ها، فعالیت‌های کشاورزی از قبیل استفاده از کودهای شیمیایی، کودهای حیوانی، کمپوست، آفت‌کش‌ها، فرونشست‌های جوی حاصل از ریزگردها، پساب‌های صنعتی حاصل از کارخانه‌های تولیدی، آب فلزکاری و معادن می‌باشد و سایر منابع این فلزات در آب‌های سطحی، فاضلاب‌های شهری و همچنین، آب‌های حاصل از شستشوی جاده‌ها است می‌باشد. همچنین می‌توان علت آن را به آبیاری طولانی‌مدت سبزی‌ها با فاضلاب دانست که سبب تجمع فلزات در خاک و انتقال آن به بافت گیاهان می‌گردد [۳۴]. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که در بزرگسالان و خردسالان فلزات آرسنیک و سرب بیشترین جذب روزانه و فلزات آرسنیک و کادمیوم برای خردسالان و آرسنیک برای بزرگسالان خطر غیرسرطان‌زایی بیشتر از یک داشتند. در بزرگسالان فلز آرسنیک و کادمیوم دامنه خطر سرطان‌زایی قابل قبول یا قابل تحمل و در خردسالان فلزات آرسنیک و کادمیوم خطر سرطان‌زایی در محدوده احتمال سرطان‌زایی داشتند. در مطالعه‌ای که در ورامین انجام شد نتایج نشان داد که شاخص خطرپذیری HQ برای فلز سرب

پساب آبیاری می‌شدند به ترتیب ۰/۱۸، ۰/۱۹، ۰/۰۷ و ۰/۲۲ میلی‌گرم در کیلوگرم بود [۵]. که این مقادیر کمتر از مطالعه حاضر بود. در مطالعه سوری و همکاران در سال ۲۰۱۸، نتایج نشان داد که در زمین‌های کشاورزی که با پساب آبیاری می‌شدند میانگین غلظت فلزات سنگین کادمیوم، سرب و آرسنیک در برگ‌های داخلی کاهو کمتر بود و همچنین نتایج نشان داد که مقادیر سرب، کادمیوم و کروم در گیاهان مورد بررسی از حد مجاز سازمان جهانی بهداشت بالاتر است [۲۳].

درحالی‌که نتایج مطالعه ما نشان داد که غلظت فلز سرب و کادمیوم از حد استاندارد ملی پایین‌تر بود. در مطالعه‌ای دیگر میانگین فلز کروم در ساقه ۳/۳۶ و در برگ ۳/۷۱ میلی‌گرم در کیلوگرم بود [۲۴]. سبحان اردکانی و همکاران در مطالعه خود نشان داد که میانگین غلظت تجمع یافته عناصر سرب، کادمیم، کروم و نیکل در بخش‌های برگ و ساقه کاهوی ایرانی به ترتیب برابر با ۳/۱۹ و ۶/۴۰ و ۱۰۳ و ۲۳۳ و ۰/۸ و ۰/۲۳ و ۳۰/۲ و ۱۷۱ میلی‌گرم در کیلوگرم بود و میانگین غلظت عناصر سرب، کادمیم، کروم و نیکل در هر دو قسمت برگ و ساقه هر دو نمونه کاهوی ایرانی و گرد با حد استاندارد اختلاف معنی‌دار آماری داشته و در نمونه ساقه بیشتر از برگ بوده است [۲۵]. درحالی‌که در مطالعه ما، غلظت فلز کادمیوم در برگ بیشتر از حد استاندارد ولی در ساقه کمتر از حد استاندارد WHO/FAO بود فلزات سرب و آرسنیک هم در ساقه و هم در برگ از حد استاندارد بالاتر بودند و فلز کروم هم در ساقه و هم در برگ کمتر از حد استاندارد بود. در مطالعه‌ای دیگر که از آب زیرزمینی برای کشاورزی کشت کاهو استفاده شد نتایج نشان داد که غلظت فلز کروم ۰/۲۶، کادمیوم ۰/۱۳ و سرب ۲/۶۲ میلی‌گرم در کیلوگرم و در مزارعی که از آب رودخانه آلوده به پساب برای کشاورزی کشت کاهو استفاده شد، غلظت فلز کروم ۰/۴۱، کادمیوم ۰/۵۷ و سرب ۳/۱۳ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شد که با توجه یافته‌ها این مقادیر فلزات در کاهوی آبیاری شده با پساب بیشتر و با مطالعه حاضر ناهمسو بود و همچنین نتایج مطالعه پیش‌گفته نشان داد که میانگین غلظت فلز سرب در تمام گیاهان مورد بررسی (کاهو، اسفناج، کلم، پیاز، سیب‌زمینی، گوجه و فلفل سبز) که با آب زیرزمینی و یا آب رودخانه آلوده به پساب آبیاری شدند از کادمیوم و کروم بالاتر بود. یافته‌های این مطالعه نشان دادند که میزان آلودگی به فلزات سنگین در خاک آبیاری شده با آب آلوده به پساب شهری و صنعتی بالاتر از خاکی بود که با آب زیرزمینی آبیاری می‌شدند. ترتیب مقادیر فلزات سنگین در هر دو نوع مزارع به ترتیب: کادمیوم، کروم، سرب، مس، روی و منگنز بودند [۲۶]. درحالی‌که در مطالعه‌ای دیگر غلظت آرسنیک، کادمیوم، مس، جیوه و روی سبزی‌ها برگی در مزارع فضای باز، در مقایسه با سبزی‌ها برگی گلخانه‌ای تفاوت معناداری نداشت؛ اما غلظت سرب سبزی‌ها برگی در مزارع فضای باز به‌طور معنی‌داری بالاتر از سبزی‌ها برگ گلخانه‌ای بود که با مطالعه حاضر ناهمسو بود [۲۷]. بررسی غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های کاهو در

۰/۱۷ و کادمیوم ۰/۵ برآورد گردید؛ که نشان‌دهنده این است که خطر آشکاری برای مصرف‌کنندگان وجود ندارد [۱۷].

در مطالعه شکوهمیان و همکاران مقایسه ریسک غیرسرطان‌زایی فلزات سنگین برای تمامی عناصر در دو گروه کودکان و بزرگسالان مقادیر HI و HQ کوچک‌تر از یک می‌باشد. بیشترین مقدار HI در کودکان و بزرگسالان مربوط به کاهو با مقادیر ۰/۱۶۶ و ۰/۱۱۵ بوده است. ریسک سرطان‌زایی در کودکان به ترتیب در گیاه کاهو، شوید، تره‌فرنگی، بادمجان و گوجه‌فرنگی و در بزرگسالان به ترتیب در گیاه کاهو، شوید، تره‌فرنگی وجود داشت و ریسک سرطان‌زایی ایجادشده ناشی از بقیه سبزی‌ها در بزرگسالان قابل تحمل بوده است [۲۸]. نتایج مطالعه‌ای در تایلند نشان دادند که سبزی‌ها کشت شده در محدوده لندفیل دارای ریسک سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی بوده و بالاترین ریسک سرطان‌زایی مربوط به فلزات آرسنیک و سرب بوده است [۳۵].

ارفعی‌نیا و همکاران در مطالعه خود که در شهر دیر استان بوشهر در مزارع کشاورزی انجام دادند نشان دادند که در هر دو نوع مزرعه (آبیاری با آب زیرزمینی و آبیاری با آب رودخانه آلوده به پساب) بالاترین میزان THQ (Target Hazard Quotient) مربوط به منگنز بوده است و بعد از آن به ترتیب سرب، کادمیوم، مس، روی و کروم قرار داشتند. در مزارع آبیاری شده با آب زیرزمینی بالاترین میزان THQ در اسفناج یافت شد که مقدار ۰/۱۱۵۰ برای روی، ۱/۲۸۴۶ برای کادمیوم، ۰/۲۰۳۰ برای مس و ۰/۹۱۴۱ برای سرب گزارش شده است. میزان THQ در گیاه کاهو برای فلزات کروم، کادمیوم و سرب در مزرعه آبیاری شده با آب زیرزمینی به ترتیب ۰/۰۰۰۴، ۰/۳۳ و ۱/۶۸ و در مزرعه آبیاری شده با آب رودخانه آلوده به پساب به ترتیب ۰/۰۰۰۷، ۱/۴۶ و ۲/۰۱ بود [۲۶]. نتایج مطالعه شرفی و همکاران در کرمانشاه نشان داد، شاخص خطر غیرسرطان‌زایی کل هدف (TTHQ: Total Target Hazard Quotient) فلزات سمی در سبزی‌ها کمتر از حد مجاز است (TTHQ=۱). همچنین، پساب فاضلاب تصفیه شده بهترین نوع آب آبیاری بود زیرا محتوای فلزات سنگین سبزی‌ها کم بود. با مقایسه نتایج با استانداردهای ملی و بین‌المللی می‌توان نتیجه گرفت که آب رودخانه قره‌سو برای آبیاری سبزی‌ها خوراکی نامناسب بوده است [۳۶]. در مطالعه‌ای که در تبریز از نمونه‌های سبزی‌های خوراکی سبزی‌فروشی‌ها انجام شد، نتایج نشان داد که ضریب خطرپذیری هدف برای فلزات سرب، کروم و کادمیوم بیشتر از یک بود و فلزات سرب و آرسنیک به‌عنوان فلزات بالقوه که خطر ابتلا به سرطان را افزایش می‌دهند، شناسایی شدند [۳۰]. رضائیان و همکاران در مطالعه‌ای که در منطقه شهری تهران انجام داد، نشان دادند که خطر سرطان آرسنیک، نیکل و کروم در محدوده غیرقابل قبولی است. علاوه بر این، خطر ابتلا به سرطان فلزات سرب و کادمیوم در محدوده قابل قبولی است و عواقب سلامتی قابل توجهی ندارد. کروم و نیکل بالاترین خطر ابتلا به سرطان را دارند؛ درحالی‌که

فلزات کروم و نیکل به دلیل غلظت بالا و خواص سرطان‌زایی، نرخ سرطان بالاتری دارند [۳۷].

در مطالعه‌ای که Hu و همکاران در چین بر روی محصولات گلخانه‌ای از قبیل سبزی‌ها ریشه‌ای، میوه‌ای و برگ‌ی انجام دادند، نتایج نشان داد که مجموع THQ فلزات سنگین برای سبزی‌ها برگ‌ی برای هر سه گروه سنی مختلف بیشتر از ۱ بود که نشان می‌دهد ساکنان محلی در معرض خطر بالقوه سلامتی ناشی از مصرف رژیمی سبزی‌ها برگ‌ی هستند که حاوی فلزات سنگین است. مجموع THQ فلزات سنگین برای کودکان (۱/۸۲) نسبتاً بالاتر از بزرگسالان (۱/۲۴) و سالمندان (۱/۳۳) بود که حاکی از بالاترین خطر بالقوه سلامتی فلزات سنگین برای کودکان از طریق مصرف سبزی‌ها است [۳۲].

در مطالعه خرازی که در سال ۲۰۲۱ در همدان انجام شد نتایج نشان داد که آرسنیک با HI محاسبه شده ۱/۵، تنها فلز سنگین با مقادیر HI بالاتر از آستانه در خاک آبیاری شده با پساب بود.

ترتیب مقادیر غیر سرطان‌زا (HI) برای فلزات سنگین در خاک‌های آبیاری شده با آب چاه در کودکان و بزرگسالان به شرح: $As > Pb > Mn > Fe > Cd > Hg > Ni > Co > Cu > Zn$ همچنین ترتیب مقادیر شاخص خطر برای فلزات سنگین در خاک‌های آبیاری شده با پساب به شرح: به‌صورت $As > Fe > Mn > Pb > Ni > Co > Cu > Cd > Hg > Zn$ در بزرگسالان و $As > Pb > Mn > Fe > Ni > Cu > Co > Cd > Hg > Zn$ در کودکان گزارش شد. علاوه بر این هم در کودکان و هم در بزرگسالان، مقادیر خطرات سرطان‌زایی (CRs) برای فلزات سنگین در خاک‌های کشاورزی، به ترتیب از $As > Pb > Co > Ni > Cd$ را به همراه داشت. خطر سرطان‌زایی‌های به‌دست‌آمده برای بزرگسالان و کودکان در محدوده قابل قبول برای همه فلزات، به‌جز آرسنیک در نمونه‌های خاک کشاورزی در کودکان بود [۵].

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، غلظت و خطر سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی فلزات سنگین سرب، کروم، کادمیوم و آرسنیک در گیاه کاهو منطقه دشت ورامین مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که میانگین غلظت فلزات کادمیوم، سرب، کروم و آرسنیک در برگ کاهو، در زمین کشاورزی آبیاری شده با پساب پایین‌تر از زمین کشاورزی آبیاری شده با آب زیرزمینی و همچنین گلخانه آبیاری شده با آب زیرزمینی بود. فلزات آرسنیک و سرب بیشترین جذب روزانه را در بزرگسالان داشتند. فلزات آرسنیک و کادمیوم خطر غیرسرطان‌زایی بالاتر از یک و سرب و کروم خطر غیرسرطان‌زایی کمتر از یک داشتند. همه فلزات خطر سرطان‌زایی ناچیز و قابل چشم‌پوشی داشتند به‌جز فلز آرسنیک و کادمیوم که دامنه خطر سرطان‌زایی آن بین $10^{-۶}$ تا $10^{-۴}$ است که قابل قبول یا قابل تحمل می‌باشد. در خردسالان فلزات آرسنیک

شهید بهشتی، دانشکده بهداشت و ایمنی است. نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از حمایت‌های گروه مهندسی بهداشت محیط این دانشگاه برای انجام این پایان‌نامه تشکر نمایند.

تضاد منافع

در این مطالعه نویسندگان هیچگونه تضاد منافی ندارند.

References

- 1-Sayo S, Kiratu JM, Nyamato GS. Heavy metal concentrations in soil and vegetables irrigated with sewage effluent: A case study of Embu sewage treatment plant, Kenya. *Scientific African* 2020; 8:e00337. Doi: 10.1016/j.sciaf.2020.e00337.
- 2-Dalzell H, Dalzell H, Biddlestone A, Gray K, Thurairajan K. Soil management: compost production and use in tropical and subtropical environments. Rome: Food and Agriculture Organization; 1987.
- 3-Arora M, Kiran B, Rani S, Rani A, Kaur B, Mittal N. Heavy metal accumulation in vegetables irrigated with water from different sources. *Food Chemistry* 2008; 111(4):811-15.
- 4-Khan M, Majeed R, Fatima U, Khan M, Shaukat S. Occurrence, distribution and health effects of heavy metals in commercially available vegetables in Karachi. *International Journal of Biology and Biotechnology* 2020; 17:319-28.
- 5-Kharazi A, Leili M, Khazaei M, Alikhani MY, Shokoohi R. Human health risk assessment of heavy metals in agricultural soil and food crops in Hamadan, Iran. *Journal of Food Composition and Analysis* 2021; 100:103890. Doi: 10.1016/j.jfca.2021.103890.
- 6-Su H, Hu Y, Wang L, Yu H, Li B, Liu J. Source Apportionment and Geographic Distribution of Heavy Metals and as in Soils and Vegetables Using Kriging Interpolation and Positive Matrix Factorization Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2022; 19(1):485. Doi: 10.3390/ijerph19010485.
- 7-Eissa MA, Negim OE. Heavy metals uptake and translocation by lettuce and spinach grown on a metal-contaminated soil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 2018; 18(4):1097-107.
- 8-Eslami A, Nemati R. Removal of Heavy metal from aqueous environments using Bioremediation technology –review. *Journal of Health in the Field* 2016; 3(2):43-5 (In Persian).
- 9-Simon T, Eberhard A, Rohr R. Effect of Ni and As on radish tuber cultivated on artificially polluted soils. *European Journal of Soil Biology* 2000; 36:73-80.
- 10-Yao J, Tu C, Yang X, Liu Y, Lu X, Cheng S, et al. Characteristics of Cd Contents in Vegetables Around an Abandoned Aluminum Factory and the Potential Health Risks. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2022;

و سرب بیشترین جذب را داشتند. خطر غیرسرطان‌زایی آرسنیک و کادمیوم بالاتر از یک بود. فلز کروم و سرب خطر سرطان‌زایی ناچیز و قابل چشم‌پوشی داشتند ولی فلزات آرسنیک و کادمیوم خطر سرطان‌زایی بزرگ‌تر از 10^{-4} داشتند که در محدوده احتمال سرطان‌زایی قرار گرفتند.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از پایان‌نامه مقطع کارشناسی ارشد با کد اخلاق IR.SBMU.PHNS.REC.1401.119 مصوب دانشگاه علوم پزشکی

31(4):3403-14.

- 11-Hashemi SA, Zargham Inanlou M, Firouzan AH. Zinc absorption in two-year old Poplar seedlings (*Populus deltoids*) in the environment. *Journal of Health in the Field* 2016; 4(1):25-31 (In Persian)
- 12-Ghanevati M, Roozbahani MM, Payandeh K. investigation of concentration of heavy metals in lead, nickel, arsenic and cadmium in soil, parsley vegetables and downstream of Karun River. *Journal of Innovation in Food Science & Technology* 2021; 13(3):147-57.
- 13-Uroko RI, Njoku OU. Ecological and human health risks assessment of heavy metals in vegetables grown in palm oil mill effluents irrigated farmland. *Journal of Applied Research in Water and Wastewater* 2021; 8(2):140-49.
- 14-Radwan MA, Salama AK. Market basket survey for some heavy metals in Egyptian fruits and vegetables. *Food and Chemical Toxicology* 2006; 44(8):1273-78.
- 15-Seilsepour M. Study of heavy metal pollutant concentration in soil and edible leafy vegetables and risk assessment of its consumption with hazard quotient index. *Horticultural Plants Nutrition* 2020; 3(2):145-58 (In Persian).
- 16-Abtahi M, Dobaradaran S, Koolivand A, Jorfi S, Saeedi R. Assessment of cause-specific mortality and disability-adjusted life years (DALYs) induced by exposure to inorganic arsenic through drinking water and foodstuffs in Iran. *Science of The Total Environment* 2023; 856:159118. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.159118.
- 17-Seilsepour M. Study of concentrations of nitrates and heavy metals in the soil and lettuce and risk assessment of its consumption. *Journal of Crops Improvement* 2022; 24(3):977-93 (In Persian).
- 18-Ahmadi A. Investigation of groundwater quality changes in Varamin Plain of Tehran. *Water and Soil Management and Modelling* 2021; 2(1):14-26 (In Persian).
- 19-Azizi HR, Nejatian N. Computation of groundwater balance in Varamin Plain. *Journal of Geography and Human Relations* 2021; 3(3):189-204 (In Persian).
- 20-Malikula R, Kaonga C, Mapoma H, Thulu F, Chiipa P. Heavy metals and nutrients loads in water, soil, and crops irrigated with effluent from WWTPs in Blantyre City, Malawi. *Water* 2022; 14:121. Doi: 10.3390/w14010121.

- 21-Hu B, Jia X, Hu J, Xu D, Xia F, Li Y. Assessment of heavy metal pollution and health risks in the soil-plant-human system in the Yangtze River Delta, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2017; 14(9):1042. Doi: 10.3390/ijerph14091042.
- 22-Shahriyari J, Rezaei MR, Kamani H. Carcinogenic and non-carcinogenic risk assessment of heavy metals in drinking tap water in Zabol City, Iran. *Journal of Neyshabur University of Medical Sciences* 2020; 8(3):59-75 (In Persian).
- 23-Souri MK, Alipanahi N, Hatamian M, Ahmadi M, Tesfamariam T. Elemental profile of heavy metals in garden cress, coriander, lettuce and spinach, commonly cultivated in Kahrizak, South of Tehran-Iran. *Open Agriculture* 2018; 3(1):32-37.
- 24-Rouniasi N, Mosaed HP. Investigating the amount of heavy metals in different parts of some consumable vegetables in Karaj City. *Iranian Journal of Health and Environment* 2016; 9(2):171-84 (In Persian).
- 25-Sobhan Ardakani S, Jafari SM. Levels of heavy metals (Pb, Cd, Cr and Ni) in two types of lettuce marketed in city of Hamedan. *Journal of Sustainability, Development and Environment*. 2022; 3(4):1-20 (In Persian).
- 26-Arfaeina H, Ranjbar Vakil Abadi D, Seifi M, Asadgol Z, Hashemi SE. Study of concentrations and risk assessment of heavy metals resulting from the consumption of agriculture product in different farms of Dayyer City, Bushehr. *Iranian South Medical Journal* 2016; 19(5):839-54 (In Persian).
- 27-Chen Y, Hu W, Huang B, Weindorf DC, Rajan N, Liu X, et al. Accumulation and health risk of heavy metals in vegetables from harmless and organic vegetable production systems of China. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 2013; 98:324-30.
- 28-Shekoohiyan S, Karimian S, Moussavi G. Health risk assessment of heavy metals in vegetables cultivated around Tehran Landfill area. *Journal of Preventive Medicine* 2021; 8(3):48-59 (In Persian).
- 29-Miri M, Mosavi Bideli SM, Mokhtari M, Ebrahimi Aval H. Survey of heavy metals amounts in distributed vegetables in Yazd city. *Journal of Sabzevar University of Medical Sciences* 2016; 23(3):392-97 (In Persian).
- 30-Khezerlou A, Dehghan P, Moosavy M-H, Kochakkhani H. Assessment of heavy metal contamination and the probabilistic risk via salad vegetable consumption in Tabriz, Iran. *Biological Trace Element Research* 2021; 199(7):2779-87.
- 31-Mohajer R, Salehi MH, Mohammadi J. Lead and cadmium concentration in agricultural crops (lettuce, cabbage, beetroot, and onion) of Isfahan Province, Iran. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2014; 7(1):1-10 (In Persian).
- 32-Hu W, Chen Y, Huang B, Niedermann S. Health risk assessment of heavy metals in soils and vegetables from a typical greenhouse vegetable production system in China. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. 2014; 20(5):1264-80.
- 33-Akan J, Kolo B, Yikala B, Ogugbuaja V. Determination of some heavy metals in vegetable samples from Biu local government area, Borno State, North Eastern Nigeria. *International Journal of Environmental Monitoring and Analysis* 2013; 1(2):40-46.
- 34-Meng W, Wang Z, Hu B, Wang Z, Li H, Goodman RC. Heavy metals in soil and plants after long-term sewage irrigation at Tianjin China: A case study assessment. *Agricultural water management* 2016; 171:153-61.
- 35-Ruchuwarak P, Intamat S, Tengjaroenkul B, Neeratanaphan L. Bioaccumulation of heavy metals in local edible plants near a municipal landfill and the related human health risk assessment. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal* 2019; 25(7): 1760-72.
- 36-Sharafi K, Mansouri B, Omer AK, Bashardoust P, Ebrahimzadeh G, Sharifi S, et al. Investigation of health risk assessment and the effect of various irrigation water on the accumulation of toxic metals in the most widely consumed vegetables in Iran. *Scientific Reports* 2022; 12(1):20806. Doi: 10. 1038/s41598-022-25101-9.
- 37-Rezayani N, Mirmohammadi M, Mehrdadi N. Origin and risk assessment, and evaluation of heavy metal pollution in the soil of Tehran, Iran. *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering* 2022; 41(9):3100-26.