Evaluation of Pollution and Carcinogenic Risk of Heavy Metals in Agricultural Soil, Wheat and Flour in Bijar City

Mahdieh Mohammadi[1], Mostafa Leili [2], Alireza Rahmani [3], Mohammad Khazaei [4]

1. MSc Student, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health and Research Center for Health Sciences, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran. ORCID: 0000-0001-6798-3679

2. Professor .Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health and Research Center for Health Sciences, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran. (Corresponding Author), Tel: 8138380026, Email: mostafa.leili@gmail.com
ORCID: 0000-0002-5458-8632

3. Professor. Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health and Research Center for Health Sciences, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran. ORCID: 0000-0001-8067-3405

4. Assistant Professor Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health and Research Center for Health Sciences, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran. ORCID: 0000-0002-7810-522X

ABSTRACT

Background and Aim: The purpose of this study was to investigate the level of pollution and concentration of heavy metals in agricultural soil, wheat and flour and to evaluate the consequent health risks in the residents of Bijar city in 2021.

Materials and Methods: To determine the total content of heavy metals, after acid digestion, the dry soil samples were converted into powder and prepared according to the steps of acid digestion for reading by graphite furnace atomic absorption spectrometry (GFAAS). Extraction from the samples was also done by acid digestion method. In the flour sample, direct acid digestion was done. For non-carcinogenic risk assessment studies, two routes including direct consumption (ingestion) and dermal absorption of heavy metals were considered. To calculate carcinogenic and non-carcinogenic risks, we considered heavy metals including cadmium, lead, zinc and arsenic.

Results: The concentrations of heavy metals studied in the soil, wheat and flour samples of four regions were similar to one another and no significant differences were observed. The results of the risk assessment showed that the soil samples of all four studied areas were in class III (moderate risk) in regard to the carcinogenic risk of arsenic. Also, the soil samples of all four regions showed a low cancer risk in relation to cadmium. All other samples showed a low risk less than 10^{-6}. In all of the samples of flour, wheat and soil from the four regions, we found no risk higher than 10^{-4} and, thus they were considered safe.

Conclusion: The results of this study showed non-carcinogenic risk in relation to zinc, lead, arsenic, and cadmium based on the results of examined samples, but the concentration of some of these metals, such as arsenic, is close to the risk level for the vulnerable populations such as children, and appropriate measures should be taken to evaluate and reduce these heavy metals concentrations.

Keywords: Heavy metals, Health risk assessment, Soil, Wheat, Flour

Received: Sep 8, 2022 **Accepted:** Feb 20, 2024

How to cite the article: Mahdieh Mohammadi, Mostafa Leili, Alireza Rahmani, Mohammad Khazaei. Evaluation of Pollution and Carcinogenic Risk of Heavy Metals in Agricultural Soil, Wheat and Flour in Bijar City.ŞJKU 2024;28(6):33-47.

Copyright © 2018 the Author (s). Published by Kurdistan University of Medical Sciences. This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Non Commercial License 4.0 (CCBYNC), where it is permissible to download, share, remix, transform, and buildup the work provided it is properly cited. The work cannot be used commercially without permission from the journal

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-06-25]

[DOI: 10.61186/sjku.28.6.33]

مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی کردستان / دوره بیست و هشت / بهمن اسفند ۱۴۰۲/۴۷-۳۳

ارزیابی میزان آلودگی و خطر سرطان زایی ناشی از فلزات سنگین در خاک کشاورزی، گندم و آرد در شهرستان بیجار

مهدیه محمدی [۱]، مصطفی لیلی [۲]، علیرضا رحمانی [۳]، محمد خزائی [۴]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، گرایش بهره برداری و نگهداری از تأسیسات بهداشتی شهری، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران. کد ارکید: ۰۰۰۰-۰۰۰۱-۶۷۹۸-۳۶۷۹

۲. استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران. پست الکترونیک: m.leili@umsha.ac.ir ; mostafa.leili@gmail.com

تلفن/ فکس: ۰۸۱۱۸۳۸۰۳۹۸ ؛ کد ارکید: ۰۰۰۰-۰۰۰۲-۵۳۵۸-۸۶۳۲

۳. استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران. کد ارکید: ۰۰۰۰-۰۰۰۱-۸۰۶۷-۳۴۰۵

۴. استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران. کد ارکید: ۰۰۰۰ - ۰۰۰۲ – ۷۸۱۰ - ۵۲۲X

چکیده

زمینه و هدف: هدف از این مطالعه، بررسی میزان آلودگی و غلظت فلزات سنگین شاخص در خاک کشاورزی، گندم و آرد و ارزیابی خطر سرطانزایی ناشی از آن در ساکنین شهرستان بیجار در سال ۱۴۰۰ بود.

مواد و روش‌ها: برای تعیین محتوای کل فلزات سنگین، نمونه خاک خشک پس از هضم اسیدی، به حالت پودر تبدیل و طبق مراحل هضم اسیدی جهت قرائت در دستگاه جذب اتمی کوره گرافیتی آماده شدند. عصاره گیری از نمونه‌ها به روش هضم اسیدی انجام شد. در نمونه‌های آرد نیز، هضم اسیدی بصورت مستقیم انجام گرفت. برای مطالعات ارزیابی خطرات غیر سرطانزایی، دو مسیر، مصرف مستقیم (بلع) و جذب پوستی فلزات سنگین مورد ملاحظه قرار گرفت. در محاسبه خطر سرطانزایی و غیر سرطانزایی، تمام فلزات سنگین شامل کادمیوم، سرب، روی و آرسنیک لحاظ شدند.

یافته‌ها: غلظت فلزات سنگین مورد مطالعه در چهار منطقه در نمونه های خاک، گندم و آرد نزدیک به هم بود و تفاوت قابل توجهی وجود نداشت. نتایج مربوط به ارزیابی خطر نشان داد که نمونه‌های خاک هر چهار منطقه مورد مطالعه از نظر خطر سرطان زایی ناشی از فلز آرسنیک در class III (ریسک متوسط) قرار داشتند. همچنین نمونه‌های خاک هر چهار منطقه ریسک پایین سرطانی مربوط به فلز کادمیم را نشان دادند. بقیه نمونه‌ها همگی خطر کمتر از 10^{-6} را نشان دادند. در هیچ یک از نمونه‌های آرد، گندم و خاک هر ۴ منطقه مورد مطالعه ریسک بالاتر از 10^{-4} وجود نداشت.

نتیجه‌گیری: نتایج مطالعه حاضر نشان داد که ریسک بالایی برای خطر غیرسرطانی مربوط به فلز روی، سرب، آرسنیک، کادمیم بر اساس نمونه‌های بررسی شده وجود نداشت اما غلظت برخی از این فلزات مانند آرسنیک برای جمعیت‌های حساس تر مانند کودکان نزدیک به میزان خطر است و باید اقدامات لازم جهت ارزیابی و کاهش این فلزات سنگین انجام گردد.

کلمات کلیدی: فلزات سنگین، ارزیابی ریسک سلامتی، خاک، گندم، آرد

وصول مقاله:۱۴۰۱/۶/۱۷ اصلاحیه نهایی:۱۴۰۲/۱۰/۲۷ پذیرش:۱۴۰۲/۱۲/۱

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-06-25]

[DOI: 10.61186/sjku.28.6.33]

مقدمه

با پیشرفت و توسعه فناوری و افزایش جمعیت، گسترش آلودگی در مناطق مختلف جهان به ویژه مناطق صنعتی، معدنی و کشاورزی رشد چشمگیری داشته است. به طوری که بهره-گیری روزافزون از منابع، پیامدهایی از جمله تخریب محیط - زیست را به همراه داشته که خود می‌تواند باعث تهدید محیط زیست شود. آب و خاک دو منبع اصلی در تولید محصولات کشاورزی هستند، بنابراین هرگونه آسیب به منابع آب و خاک به طور مستقیم بر کیفیت وکمیت تولیدات مؤثر بوده و خسارتی جبران ناپذیر را برای سلامتی انسان و کیفیت محیط زیست در پی داشته و خواهد داشت(۱). امنیت غذایی از دغدغه‌های جدی جوامع امروز است که سلامت روحی و جسمی جامعه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. نان غذای اصلی و پایه‌ی بسیاری از مردم جهان است و روزانه قسمت اعظمی از انرژی، پروتئین، املاح و ویتامین‌های مورد نیاز مردم را تأمین می‌کند(۳ و ۲). در سال‌های اخیر، مصرف نان‌های تهیه شده از آرد کامل یا آرد با درصد استخراج بالا توصیه می‌گردد زیرا این آردها حاوی مقادیر زیادتری فیبر، ویتامین و املاح معدنی نسبت به آردهای سفید می‌باشند. اما علیرغم فواید تغذیه‌ای، میزان برخی مواد نامطلوب آرد کامل همچون اسید فیتیک بیشتر از آردهای سفید است(۴ و ۳). در جوامع امروزی با کنترل بیماری‌های عفونی و افزایش امید به زندگی، بیماری-های غیر واگیر و مزمن از جمله سرطان از مهم‌ترین علل مرگ و میر محسوب می‌شود. نتایج مطالعات نشان داده که در حدود ۳۰٪ از سرطان‌های انسانی از طریق تماس کوتاه‌مدت با آلاینده‌های سرطانزا در رژیم غذایی اتفاق می‌افتد(۵). فلزات سنگین از جمله آلوده کننده‌هایی هستند که با پیشرفت صنایع توجه زیادی را به خود معطوف نموده‌اند. نتایج تحقیقات نشان داده که نزدیک به نیمی از فلزات سنگین از طریق گیاهان، سبزیجات و غلات وارد بدن می‌شود(۶). فلزات سنگین پس از ورود به بدن در بافت‌هایی مثل چربی، استخوان، عضلات و مفاصل رسوب کرده و انباشته می‌گردند که همین امر موجب بروز بیماری‌ها و عوارض متعددی در بدن می‌گردد(۷). انسان در درجه اول از طریق استنشاق و بلعیدن با آلاینده‌های مختلف هوا در تماس است، در حالی که تماس پوستی یک مسیر جزئی از قرار گرفتن در معرض آلودگی با فلزات سنگین محسوب می‌شود. آلودگی هوا تا حد زیادی به آلودگی غذا و آب منجر می‌شود که باعث می‌شود بلع به عنوان مسیر اصلی مصرف آلاینده تلقی شود(۸). بدین ترتیب فلزات سنگین می‌توانند از طریق آب، هوا و تماس پوستی وارد بدن انسان شده و به راحتی در اندام‌های بدن و موجودات زنده تجمع پیدا کنند که نهایتا این ترکیبات نسبت به تجزیه (متابولیسم) یا دفع آنها، سریعتر در ارگانیسم‌ها تجمع می‌یابند(۹ و ۸).

یکی از این فلزات سنگین کادمیوم است که عمدتا از فعالیت‌های صنعتی آزاد شده و پایداری زیادی در محیط دارد(۱۱ و ۱۰). کادمیوم می‌تواند رشد گیاهان را با انباشته شدن در بافت آنها مهار کند. بیش از ۴۰٪ کادمیوم می‌تواند به بخش‌های بالایی گیاه راه پیدا کرده و سلامت انسان را به خطر اندازد(۱۲). سرب یک فلز سنگین دیگر است که همراه با کادمیوم برای گیاه و انسان سمیت فراوانی دارد. درصورتی که غلظت سرب در خاک به ۱۰۰ تا ۵۰۰ parts per million (ppm) برسد، از محدوده نرمال خارج شده است(۷ و ۴). این فلز با مکانیسم‌های مختلف از جمله تداخل با آنزیم‌های حیاتی برای متابولیک و رشد، فرآیندهای فتوسنتزی، جذب آب و مواد مغذی معدنی و تغییرات در فراساختار سلولی، موجب اختلال در رشد گیاهان می‌شود(۱۳). روی فلز سنگین ضروری است که با وجود اینکه کمبود آن با اختلال در رشد، عملکرد و کیفیت دانه گیاه مرتبط است، اما غلظت بیش از حد روی ممکن است باعث سمیت شود و بر فیزیولوژی گیاه تأثیر بگذارد(۱۴). آرسنیک فلزی است که ورود مقادیر زیاد آن به بدن می‌تواند منجر به علائم گوارشی مانند استفراغ شدید، اختلال در گردش خون و گردش خون، آسیب به سیستم

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-06-25]

[DOI: 10.61186/sjku.28.6.33]

عصبی و در نهایت مرگ شود. اختلال در عملکرد دستگاه گوارش و کلیه، اختلالات سیستم عصبی، ضایعات پوستی، آسیب عروقی، اختلال عملکرد سیستم ایمنی، نقص مادرزادی و سرطان نمونه‌هایی از عوارض ناشی از اثرات سمی این فلزات سنگین هستند(۱۵).

فلزات سنگین می‌توانند منشأ طبیعی یا انسان ساخت داشته باشند. از مهم‌ترین دلایل انتشار منابع انسانی، عملیات استخراج است(۱۶). در بعضی موارد، حتی مدت‌ها پس از پایان فعالیت-های استخراج، فلزات ساطع شده همچنان در محیط باقی می-مانند. معادن سنگ سخت از ۱۵-۵ سال تا زمان تخلیه مواد معدنی کار می‌کنند، اما آلودگی فلزی که در نتیجه استخراج سنگ سخت اتفاق می‌افتد، صدها سال پس از توقف عملیات استخراج همچنان ادامه دارد. جدا از عملیات استخراج، برخی از فلزات مانند سرب و کادمیم و جیوه از طریق محصولات آرایشی و همچنین فرایندهای تولید مانند ساخت هیدروکسید سدیم نیز به محیط وارد می‌شوند(۱۷). نتایج پژوهشی توسط بیگی و همکاران در سال ۱۳۹۲ در در منطقه طاقانک شهرکرد انجام شد بیانگر آن بود که آبیاری با پساب‌های آلوده دلیل اصلی افزایش غلظت تجمع یافته عنصر کادمیوم در محصول گندم است (۱۸). با توجه به اینکه نان بخش بزرگی از سبد غذایی بیشتر مردم ایران را تشکیل می‌دهد و مصرف سرانه نان در ایران حدود ۳۰۰ کیلوگرم است (۱)، لذا وجود هرآلاینده-ای در نان می‌تواند منجر به ایجاد اثرات بهداشتی و اقتصادی شود بنابراین نیاز به بررسی‌های بیشتر برای ارزیابی همه ابعاد سلامت آن وجود دارد. خطر سرطانزایی به عنوان احتمال وقوع هر نوع سرطان در صورت قرار گرفتن در معرض عنصر سرطان‌زا در طول زندگی تعریف می‌شود. با توجه به اهمیت مسئله سلامتی در مواد غذایی، در این مطالعه میزان آلودگی و غلظت فلزات سنگین منتخب و همچنین اثرات بهداشتی سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی ناشی از این فلزات موجود در خاک کشاورزی، گندم و آرد بر سلامت ساکنین شهرستان بیجار مورد ارزیابی قرار گرفت.

روش بررسی

نمونه برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها

این مطالعه پس از تصویب و دریافت کد اخلاق (شناسه اختصاصی کمیته اخلاق: IR.UMSHA.REC.1400.022) انجام گرفت. در این مطالعه از خاک زمین‌های کشاورزی، گندم و آرد ۴ مزرعه نمونه برداری شد. نمونه‌برداری در اواخر فصل بهار و فصل تابستان ۱۴۰۰ انجام گرفت. جهت نمونه‌برداری، از گندم هر کدام از مناطق تعداد ۴ نمونه ۵۰ گرمی (از برداشت قسمت های مختلف مزرعه) برای بررسی غلظت فلزات سنگین برداشت شد. نمونه برداری خاک نیز از ۴ منطقه مختلف هر مزرعه صورت گرفت. جهت تعیین غلظت فلزات در آرد مصرفی نیز تعداد ۲ نمونه برداشت شده از هر مزرعه نمونه برداری شد. نمونه‌ها از چهار روستای شریف آباد، زاغه فولاد، موخور و علی بدل جمع آوری شدند. با توجه به استعلام اخذ شده از اداره کل غله و خدمات بازرگانی استان کردستان این روستاها بیشترین مزارع کاشت گندم در شهرستان بیجار را در اختیار دارند و نزدیک‌ترین مناطق به برخی منابع آلاینده از جمله جاده پرتردد و کارخانه‌های سیمان می‌باشند. از این رو ارزیابی محتوی فلزات سنگین خاک و نمونه‌های این مناطق می‌تواند حائز اهمیت باشد و اطلاعات بدست آمده می‌تواند بعنوان اطلاعات پایه‌ای جهت برآورد کلی میانگین غلظت فلزات و احتمال خطر ناشی از مواجهه با برخی از فلزات سنگین مورد استفاده قرار گیرد. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی این مناطق مورد مطالعه در شهرستان بیجار را نشان می‌دهد.

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-06-25]

[DOI: 10.61186/sjku.28.6.33]

شکل ۱: موقعیت جغرافیایی مناطق مورد مطالعه

نمونه‌های خاک پس از انتقال به آزمایشگاه، خشک شده و با الک ضدزنگ سرند شده و در کیسه‌های پلی‌اتیلنی تا زمان آنالیز نگهداری شدند. برای تعیین محتوای کل فلزات سنگین، ۳-۲ گرم نمونه خاک خشک توزین توسط $HCl:HNO_3=3:1$ هضم، سپس نمونه‌ها در داخل آون در دمای ۱۰۵-۱۰۳ °C برای مدت حداقل ۱۲ ساعت قرار داده شدند تا وزن نمونه تثبیت و رطوبت آن حذف شود. در نهایت نمونه‌ها به حالت پودر تبدیل و طبق مراحل هضم اسیدی جهت قرائت توسط دستگاه جذب اتمی کوره گرافیتی آماده شدند (۲۰ و ۱۹). درست قبل از برداشت گندم، ۴ نمونه ۵۰ گرمی گندم از ۴ مرزعه در سایت‌های منتخب جمع‌آوری شد. نمونه‌های گندم بعد از جدا شدن از ریشه، شاخه‌ها و دانه‌ها، با آب مقطر شسته شده و در دمای ۶۵ درجه سانتیگراد به مدت ۴۸ تا ۷۲ ساعت خشک شده و توسط فولاد ضد زنگ آسیاب شده و از الک ۰/۳۵ مش عبور داده شد(۲۱). نمونه‌های گندم در دمای ثابت ۴۰ درجه سلسیوس خشک و سپس برای اطمینان از خشک شدن کامل به مدت ۲۴ ساعت در آون ۶۰ درجه سلیسیوس قرار گرفتند. نمونه‌های خشک شده توسط آسیاب کاملا پودر و در ظروف پلی اتیلنی نگهداری شدند.

سپس، یک گرم از هر نمونه در کوره الکتریکی با درجه حرارت ۴۵۰ درجه سلیسیوس تا دستیابی به خاکستر سفید و بدون کربن قرار داده شدند. عصاره‌گیری از نمونه‌ها به روش هضم اسیدی و توسط اسید نیتریک ۴ مولار در حرارت ۹۵ درجه سلسیوس انجام شد. برای تعیین فلزات سنگین در قسمت‌های مختلف گیاه گندم، ۱ گرم نمونه گندم در دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس به مدت ۱۲ ساعت خاکستر شده شدند (۲۳ و ۲۲). نمونه‌های گندم توسط HCl به مدت ۵ ساعت حرارت دیده و استخراج شد، سپس نمونه‌ها را با آب مقطر به حجم رسانده و جهت آنالیزهای بعدی ذخیره شدند.

در بررسی نمونه‌های آرد، از هر نمونه یک گرم در لوله‌های آزمایش توزین و ۳ میلی‌لیتر اسید نیتریک اضافه شد. لوله‌ها ۲۴ ساعت در دمای اتاق قرار گرفتند. سپس با استفاده از واحد ترموستات بلوک فلزی به مدت ۵ ساعت تا ۱۳۰ درجه سانتیگراد حرارت دیده و قبل از افزودن ۲ میلی‌لیتر اسید نیتریک ، ۰/۷ اسید پرکلریک و ۴۳ میلی‌لیتر آب مقطر به هر لوله، سرد شدند. با افزایش دما به ۲۳۰ درجه سلسیوس خاکستر ایجاد و سپس نمونه‌ها با آب مقطر به حجم ۵۰ میلی-لیتر رسانده و جهت آنالیزهای بعدی ذخیره شدند(۲۳). به

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-06-25]

[DOI: 10.61186/sjku.28.6.33]

منظور بررسی صحت و دقت نتایج و اطمینان از عملکرد مناسب دستگاه جذب اتمی کوره گرافیتی، تعدادی از نمونه‌ها توسط دستگاه پلاسمای کوپل القائی (ICP-MS) Inductively coupled plasma mass spectrometry (سری ۷۵۰۰، ساخت کشور انگلستان)، مجهز شده به نمونه بردار خودکار ASX-۵۲۰ (انگلستان) و یک نبولایزر مین‌هارد شیشه ای (ساخت کشور آمریکا) اندازه‌گیری شدند.

ارزیابی خطر فلزات سنگین

محاسبه خطر سرطان زایی

خطر سرطانزایی به عنوان احتمال وقوع هر نوع سرطان در صورت قرار گرفتن در معرض عنصر سرطان‌زا در طول زندگی تعریف می‌شود. محدوده خطر مجاز $۱۰^{-۴}$ -$۱۰^{-۶}$ تعریف شده است. در مورد یک عنصر واحد حد مجاز خطر سرطانزایی $۱۰^{-۶}$ است، در حالی که حد مجاز خطر سرطان زایی ترکیبی عناصر $۱۰^{-۴}$ است. طبق دستورالعمل آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان، کروم، کادمیوم، نیکل و کبالت دارای اثرات سرطان زا هستند (۲۴).

میانگین دوز روزانه طول عمر (۷۰ سال) از مسیر بلع با فرمول ذیل محاسبه شد (۲۵).

$$LADD_{ing} = \frac{C \times EF \times 10^{-6}}{AT \times LT} \times \left(\frac{ED_{child} \times IngR_{child}}{BW_{child}} + \frac{(EDadult - EDchild) \times IngRadultBWadult}{}\right) \quad (۱)$$

در رابطه بالا C غلظت متوسط فلزات سنگین، IngR (Ingestion Rate) میزان مصرف روزانه، EF (Exposure Frequency) فرکانس قرار گرفتن در معرض فلزات (۳۶۵ روز در سال)، ED (Exposure Duration) مدت زمان قرار گرفتن در معرض فلزات، BW (Body Weight) وزن بدن شخص قرار گرفته در معرض فلزات و AT (Averaging Time) متوسط زمان قرار گرفتن در معرض اثرات غیر سرطانزا می‌باشد.

خطر سرطانزایی مصرف هر عنصر با فرمول (۱) ارزیابی می‌شود، و خطر سرطان زایی ترکیبی (RI) (Carcinogenic Risk) با جمع مقادیر خطر سرطانزایی عناصر محاسبه می‌شود (۲۶):

$$Oral\ Risk = LADD_{ing} \times SF \quad (۲)$$

در رابطه بالا SF (Slope Factor) فاکتور شیب سرطان و LADD (Lifetime Average Daily Dose) میزان مواجهه در طول عمر می‌باشد.

تخمین مقدار آستانه فلزات سنگین در خاک (STVs) (Soil Threshold Values):

با استفاده از بهره (نسبت) خطر (HQ) (Hazard Quotient) هر فلز STVs آن مطابق با رابطه زیر تعیین شد (۲۶).

$$STV_s = \left[\frac{C=(THQ=1)}{TF}\right] \quad (۳)$$

$$STV_S = \left[\frac{BW \times ATn \times RfD}{IR \times EF \times ED \times TF}\right] \quad (۴)$$

تجزیه و تحلیل داده‌ها

آنالیزهای آماری مقادیر انجام گرفت و شاخص‌های آماری شامل حداکثر و حداقل، میانگین، دامنه و انحراف معیار (SD) و ضریب تغییرات (درصد CV) فلزات سنگین در نمونه‌های خاک، گندم و آرد از مناطق مختلف ارائه شد.

یافته‌ها

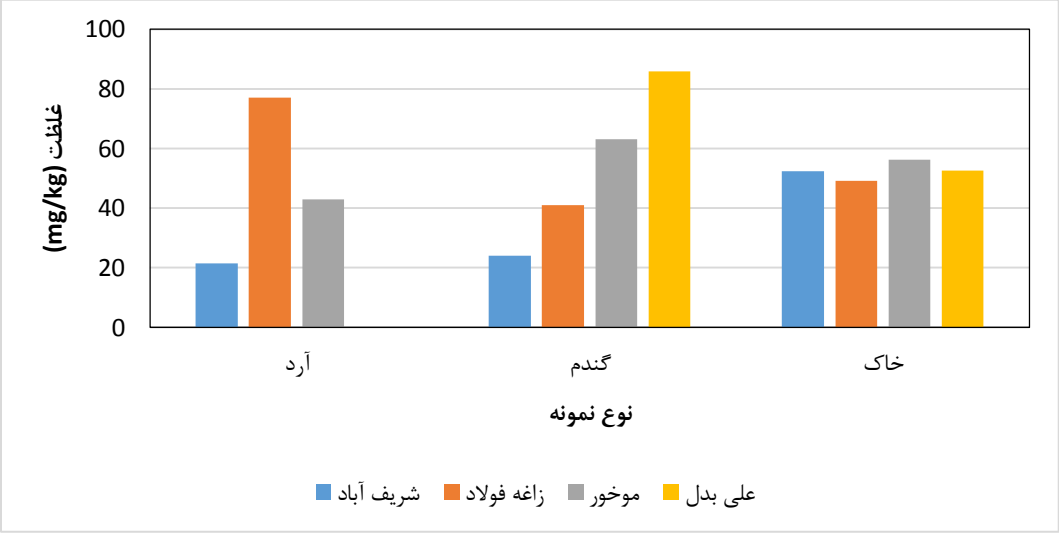
غلظت فلزات سنگین مورد مطالعه

نمونه‌های خاک و گندم از ۴ منطقه مورد مطالعه به درستی جمع‌آوری شد اما نمونه آرد منطقه علی بدل مخدوش شده بود لذا از مطالعه حذف شد. با توجه به نمودار ۱، غلظت فلز روی در نمونه‌های آرد و گندم به دست آمده از روستای شریف آباد کمترین میزان را بین ۴ منطقه مورد مطالعه داشته

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-06-25]

[DOI: 10.61186/sjku.28.6.33]

است. بیشترین غلظت فلز روی در نمونه‌های گندم و آرد به ترتیب در روستای علی بدل (۸۵/۸۱ mg/kg) و زاغه فولاد (۷۷/۰۴mg/kg) مشاهده شد. غلظت فلز روی در نمونه‌های خاک ۴ روستا بسیار به هم نزدیک بود و غلظت آن در روستای موخور کمی بیشتر از سایر مناطق بود. با توجه به جدول ۱، غلظت فلز آرسنیک در نمونه‌های خاک چندین برابر نمونه‌های آرد و گندم بود. نمونه‌های آرد نیز به طور محسوسی غلظت آرسنیک بیشتری نسبت به نمونه‌های گندم داشتند. بیشترین غلظت آرسنیک در نمونه‌های آرد، گندم و خاک در روستای زاغه فولاد مشاهده شد. کمترین غلظت آرسنیک در هر سه نوع نمونه نیز در روستای موخور گزارش شد.



نمودار ۱: غلظت عنصر روی در نمونه‌های مختلف آرد، گندم و خاک چهار منطقه مورد مطالعه

جدول ۱: غلظت عنصر آرسنیک در نمونه‌های مختلف آرد، گندم و خاک چهار منطقه مورد مطالعه

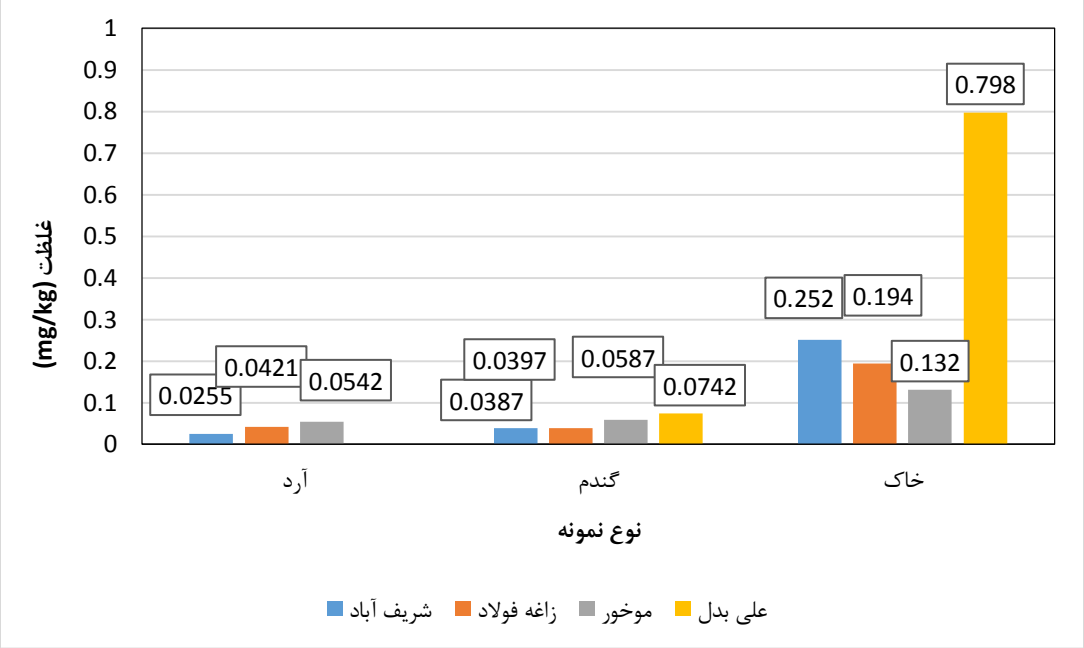
غلظت آرسنیک (mg/kg)	خاک	گندم	آرد
شریف آباد	۸/۷۸	۰/۰۱۸	۰/۰۴۶
زاغه فولاد	۹/۴۶	۰/۰۲۵	۰/۰۷۳
موخور	۶/۴۴	۰/۰۱۷	۰/۰۲۴
علی بدل	۸/۹۶	۰/۰۲۱	–

با توجه به نمودار۲، میانگین غلظت کادمیم در نمونه‌های خاک بیشتر از نمونه‌های آرد و گندم بود. بیشترین غلظت کادمیم در نمونه‌های خاک به دست آمده از روستای شریف آباد به دست آمد درحالی که نمونه‌های گندم و آرد این روستا کمترین میزان کادمیم بین ۴ منطقه مورد مطالعه را داشتند. در نمونه‌های گندم، بیشترین میزان کادمیم در علی

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-06-25]

[DOI: 10.61186/sjku.28.6.33]

بدل و در نمونه‌های آرد، بیشترین کادمیم در موخور گزارش شد. با توجه به جدول ۲، بیشترین غلظت سرب در نمونه‌های خاک روستای شریف آباد مشاهده شد، با این حال غلظت این فلز در نمونه‌های گندم این روستا نسبت به مناطق دیگر کمتر بود. بیشترین غلظت سرب در نمونه‌های گندم و آرد به ترتیب مربوط به روستاهای علی بدل (۰/۱۶۴ mg/kg) و موخور (۰/۲۴۰ mg/kg) بود.



نمودار ۲: غلظت عنصر کادمیم در نمونه‌های مختلف آرد، گندم و خاک چهار منطقه مورد مطالعه

جدول ۲: غلظت عنصر سرب در نمونه‌های مختلف آرد، گندم و خاک چهار منطقه مورد مطالعه

غلظت سرب (mg/kg)	خاک	گندم	آرد
شریف آباد	**۱۲/۷۹**	**۰/۱۳**	**۰/۱۰۴**
زاغه فولاد	**۱۰/۷۵**	**۰/۰۹۶**	**۰/۱۹۳**
موخور	**۱۰/۱**	**۰/۱۶**	**۰/۲۴**
علی بدل	**۱۰/۴۴**	**۰/۱۶۴**	–

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-06-25]

[DOI: 10.61186/sjku.28.6.33]

ارزیابی ریسک سرطانزایی

جدول ۳ خطر سرطانزایی ناشی از فلزات سنگین موجود در نمونه های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در مورد یک عنصر واحد حد مجاز خطر سرطانزایی باید کمتر از $۱۰^{-۶}$ باشد. نتایج نشان داد که نمونه‌های خاک هر چهار منطقه مورد مطالعه از نظر خطر سرطان زایی ناشی از فلز آرسنیک در class III (ریسک متوسط) قرار داشتند. همچنین نمونه‌های خاک هر چهار منطقه ریسک پایین سرطانی مربوط به فلز کادمیم را نشان دادند (class II). بقیه نمونه‌ها همگی خطر کمتر از $۱۰^{-۶}$ را نشان دادند.

جدول ۳: بررسی ریسک سرطان زایی (LCR) و گرید بندی سرطانزایی ناشی از فلزات سنگین در نمونه‌های مختلف آرد، گندم و خاک چهار منطقه مورد مطالعه

ریسک سرطانزایی			شریف آباد	زاغه فولاد	موخور	علی بدل
آرسنیک (As)	آرد	LCR	$۱/۰۲\times۱۰^{-۷}$	$۱/۶۰\times۱۰^{-۷}$	$۵/۲۲\times۱۰^{-۸}$	–
		Class	I	I	I	-
	گندم	LCR	$۳/۹۷\times۱۰^{-۸}$	$۵/۶۰\times۱۰^{-۸}$	$۳/۸۱\times۱۰^{-۸}$	$۴/۷۳\times۱۰^{-۸}$
		Class	I	I	I	I
	خاک	LCR	$۱/۹۳\times۱۰^{-۵}$	$۲/۰۶\times۱۰^{-۵}$	$۱/۴۰\times۱۰^{-۵}$	$۱/۹۵\times۱۰^{-۵}$
		Class	III	III	III	III
کادمیم (Cd)	آرد	LCR	$۲/۳۳\times۱۰^{-۷}$	$۴/۸۶\times۱۰^{-۷}$	$۴/۹۶\times۱۰^{-۷}$	–
		Class	I	I	I	-
	گندم	LCR	$۳/۵۴\times۱۰^{-۷}$	$۳/۶۳\times۱۰^{-۷}$	$۵/۳۷\times۱۰^{-۷}$	$۶/۷۸\times۱۰^{-۷}$
		Class	I	I	I	I
	خاک	LCR	$۲/۳۰\times۱۰^{-۶}$	$۱/۷۷\times۱۰^{-۶}$	$۱/۲۱\times۱۰^{-۶}$	$۱/۸۱\times۱۰^{-۶}$
		Class	II	II	II	II
سرب (Pb)	آرد	LCR	$۱/۲۸\times۱۰^{-۹}$	$۲/۳۸\times۱۰^{-۹}$	$۲/۹۶\times۱۰^{-۹}$	–
		Class	I	I	I	-
	گندم	LCR	$۱/۶۱\times۱۰^{-۹}$	$۱/۱۹\times۱۰^{-۹}$	$۱/۹۸\times۱۰^{-۹}$	$۲/۰۳\times۱۰^{-۹}$
		Class	I	I	I	I
	خاک	LCR	$۱/۵۸\times۱۰^{-۷}$	$۱/۳۳\times۱۰^{-۷}$	$۱/۲۵\times۱۰^{-۷}$	$۱/۲۹\times۱۰^{-۷}$
		Class	I	I	I	I

ریسک سرطانزایی			شریف آباد	زاغه فولاد	موخور
آرسنیک (As)	آرد	LCR	$۱/۰۲\times۱۰^{-۷}$	$۱/۶۰\times۱۰^{-۷}$	$۵/۲۲\times۱۰^{-۸}$
		Class	I	I	I
	گندم	LCR	$۳/۹۷\times۱۰^{-۸}$	$۵/۶۰\times۱۰^{-۸}$	$۳/۸۱\times۱۰^{-۸}$
		Class	I	I	I
	خاک	LCR	$۱/۹۳\times۱۰^{-۵}$	$۲/۰۶\times۱۰^{-۵}$	$۱/۴۰\times۱۰^{-۵}$
		Class	III	III	III
کادمیم (Cd)	آرد	LCR	$۲/۳۳\times۱۰^{-۷}$	$۴/۸۶\times۱۰^{-۷}$	$۴/۹۶\times۱۰^{-۷}$
		Class	I	I	I
	گندم	LCR	$۳/۵۴\times۱۰^{-۷}$	$۳/۶۳\times۱۰^{-۷}$	$۵/۳۷\times۱۰^{-۷}$

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-06-25]

[DOI: 10.61186/sjku.28.6.33]

سرب (Pb)			Class	I	I	I
	خاک		LCR	$۲/۳۰\times۱۰^{-۶}$	$۱/۷۷\times۱۰^{-۶}$	$۱/۲۱\times۱۰^{-۶}$
	آرد		Class	II	II	II
			LCR	$۱/۲۸\times۱۰^{-۹}$	$۲/۳۸\times۱۰^{-۹}$	$۲/۹۶\times۱۰^{-۹}$
	گندم		Class	I	I	I
			LCR	$۱/۶۱\times۱۰^{-۹}$	$۱/۱۹\times۱۰^{-۹}$	$۱/۹۸\times۱۰^{-۹}$
	خاک		Class	I	I	I
			LCR	$۱/۵۸\times۱۰^{-۷}$	$۱/۳۳\times۱۰^{-۷}$	$۱/۲۵\times۱۰^{-۷}$
			Class	I	I	I

جدول ۴ خطر سرطانزایی ترکیبی ناشی از فلزات سنگین موجود در نمونه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. حد مجاز خطر سرطانزایی ترکیبی برابر $۱۰^{-۴}$ است. نتایج نشان داد که در هیچ یک از نمونه‌های آرد، گندم و خاک از ۴ منطقه مورد مطالعه ریسک بالاتر از $۱۰^{-۴}$ وجود ندارد و از این نظر بی خطر می‌باشد.

جدول ۴: بررسی ریسک سرطان‌زایی ترکیبی و گرید بندی سرطانزایی ناشی از فلزات سنگین در نمونه‌های مختلف آرد، گندم و خاک چهار منطقه مورد مطالعه

ریسک سرطان زایی ترکیبی	آرد	گندم	خاک
شریف آباد	$۳/۳۶\times۱۰^{-۷}$	$۳/۹۵\times۱۰^{-۷}$	$۲/۱۸\times۱۰^{-۵}$
زاغه فولاد	$۶/۴۹\times۱۰^{-۷}$	$۴/۲۰\times۱۰^{-۷}$	$۲/۲۵\times۱۰^{-۵}$
موخور	$۵/۵۱\times۱۰^{-۷}$	$۵/۷۷\times۱۰^{-۷}$	$۱/۵۳\times۱۰^{-۵}$
علی بدل	-	$۷/۲۸\times۱۰^{-۷}$	$۲/۱۴\times۱۰^{-۵}$

بحث

در این مطالعه غلظت فلز روی در نمونه‌های آرد و گندم به دست آمده از روستای شریف آباد کمترین میزان را بین ۴ منطقه مورد مطالعه داشت. بیشترین غلظت فلز روی در نمونه-های گندم و آرد به ترتیب در روستای علی بدل (mg/kg ۸۵/۸۱) و زاغه فولاد (۷۷/۰۴mg/kg) مشاهده شد. غلظت فلز روی در نمونه‌های خاک ۴ روستا بسیار به هم نزدیک بود و غلظت آن در روستای موخور کمی بیشتر از سایر مناطق بود. غلظت فلز آرسنیک در نمونه‌های خاک چندین برابر نمونه-های آرد و گندم بود. بیشترین غلظت آرسنیک در نمونه‌های آرد، گندم و خاک در روستای زاغه فولاد و کمترین غلظت آرسنیک در هر سه نوع نمونه در روستای موخور گزارش شد. میانگین غلظت کادمیم در نمونه‌های خاکی بیشتر از نمونه‌های آرد و گندم بود. بیشترین غلظت سرب در نمونه‌های خاک روستای شریف آباد مشاهده شد، با این حال غلظت این فلز در نمونه‌های گندم این روستا نسبت به مناطق دیگر کمتر بود. بیشترین غلظت سرب در نمونه‌های گندم و آرد به ترتیب مربوط به روستاهای علی بدل (۰/۱۶۴ mg/kg) و موخور (۰/۲۴۰ mg/kg) بود. بیشترین میزان سرب خاک در روستای شریف آباد ۱۲۷/۹ میکروگرم بر کیلوگرم بود. میزان شاخص خطر (HI) در هیچ یک از نمونه‌ها به عدد ۱ نرسید که نشان دهنده عدم وجود ریسک بالا برای خطرات غیرسرطانی ناشی از فلز سرب در مناطق و نمونه‌های مورد مطالعه می‌باشد. بیشترین HI بزرگسالان مربوط به میزان آرسنیک موجود درخاک روستای زاغه فولاد بود.

محصولات کشاورزی که بخش مهمی از رژیم غذایی روزانه انسان را تشکیل می‌دهند، می‌توانند با فلزات سمی مانند جیوه، کادمیوم، سرب آلوده شوند و به‌عنوان یک نگرانی جدی برای

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-06-25]

[DOI: 10.61186/sjku.28.6.33]

سلامت انسان در نظر گرفته شود (۲۷). آلودگی محصولات کشاورزی مورد مطالعه به فلزات سمی می‌تواند به منابع محیطی یا فعالیت‌های انسانی مانند فرآوری صنعتی، معدن، دفع زباله، استفاده از پساب، لجن فاضلاب برای آبیاری محصولات کشاورزی و حتی استفاده از کودهای شیمیایی (به ویژه نوع فسفاته) و آفت کش‌ها مربوط باشد. در این راستا، محصولات کشاورزی می‌توانند فلزات سمی را از خاک، آب و هوا جذب کرده و آنها را در قسمت‌های مختلف مانند ریشه، برگ و غلات متمرکز کنند(۲۸). حتی در مقادیر کم، فلزات سمی به عنوان ترکیبات غیر ضروری برای بدن انسان می‌توانند اثرات نامطلوبی بر سلامتی داشته باشند. به دلیل ماهیت غیر قابل تجزیه آنها، آنها می‌توانند پس از مصرف از طریق رژیم غذایی و همچنین مسیرهای استنشاق، از نظر بیولوژیکی در بافت‌های مختلف (کلیه، کبد، استخوان و مغز) تجمع کنند و عوارض مختلفی ایجاد کنند. مشخص شده است که اختلالات رشدی در نوزادان و کودکان مانند کاهش ضریب هوشی (IQ) می‌تواند با جیوه و سرب مرتبط باشد (۲۹). همچنین ورود بیش از حد فلزات سنگین و مواد شیمیایی مصنوعی به خاک‌های مورد مطالعه ممکن است منجر به تخریب بیولوژی خاک و در نتیجه تغییر خواص فیزیکوشیمیایی خاک و ایجاد سایر مشکلات زیست محیطی شود. Pruvot و همکاران (۲۰۰۶) نشان دادند که خاک نزدیک کارخانه ذوب، آلوده‌تر از خاک مرجع است. همچنین سطوح بالاتر فلزات سمی در مناطق صنعتی و معدنی به دلیل عدم حفاظت از محیط زیست و آلودگی است(۳۰). آگراوال و همکاران (۲۰۰۳) نشان دادند که زمین‌های کشاورزی نزدیک مراکز صنعتی و بزرگراه ها نیز باید به دلیل آلودگی هوای اطراف آنها آلوده شوند(۳۱). گندم به عنوان یک غلات مهم در رژیم غذایی محسوب می شود و ۵۰ تا ۹۰ درصد نیاز پروتئین و کالری کل را در بسیاری از کشورها به ویژه در ایران تأمین می‌کند.

هرچند غلظت فلزات سنگین در شبکه توزیع آب آشامیدنی شهرستان بیجار در مطالعات گذشته بررسی شده است(۳۲) ولی با این حال هیچ مطالعه‌ای غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های خاک، گندم و آرد شهرستان بیجار را مورد بررسی قرار نداده است لذا بررسی غلظت این فلزات در گندم و آرد می‌تواند میزان مواجهه ساکنین با این فلزات سنگین را مشخص نموده یک برآورد کلی از میزان خطر بر اثر مصرف نان را نشان دهد. در این مطالعه، غلظت فلز روی در نمونه‌های آرد و گندم به دست آمده از روستای شریف آباد کمترین میزان را بین ۴ منطقه مورد مطالعه داشت. بیشترین غلظت فلز روی در نمونه‌های گندم و آرد به ترتیب در روستای علی بدل (۸۵/۸۱ mg/kg) و زاغه فولاد (۷۷/۰۴mg/kg) مشاهده شد. با این حال با توجه به نتایج تحقیق، غلظت فلز روی در نمونه-های خاک ۴ روستا بسیار به هم نزدیک بود و غلظت آن در روستای موخور کمی بیشتر از سایر مناطق بود. مطالعه‌ی کیان پور و همکاران در سال ۱۳۹۸ با هدف تعیین شاخص مخاطره سلامت فلزات سنگین در نان مصرفی برخی مناطق شهر همدان نشان داد که در بین نمونه‌های نان مورد مطالعه، غلظت روی در دامنه ۳/۰۷ تا ۸/۸۴ میلی‌گرم درکیلوگرم است و شاخص مخاطره سلامت عناصر روی برای مصرف‌کنندگان از سطح ایمن (HI $<$ ۱) بزرگ‌تر بود (۳۳). با توجه به غلظت‌های اندازه‌گیری شده و بر اساس محاسبات، میزان HQ در هیچ یک از نمونه‌ها به عدد ۱ نمی‌رسد که نشان‌دهنده عدم وجود ریسک بالا برای خطرات غیرسرطانی ناشی از فلز روی (چه از راه دهان چه پوست) در مناطق و نمونه‌های مورد مطالعه می-باشد. بر اساس نتایج تحقیق حاضر، غلظت فلز آرسنیک در نمونه‌های خاک چندین برابر نمونه‌های آرد و گندم بود که می‌تواند به دلیل آلودگی طولانی مدت منطقه با آرسنیک و سازش گندم به آلودگی آرسنیک و اجتناب از برداشت آن باشد که در مطالعه کریمی و همکاران نیز مشاهده شده است(۳۵ و ۳۴). از طرفی نمایانگر نقش جزئی گیاهان در

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-06-25]

[DOI: 10.61186/sjku.28.6.33]

چرخه بیوژئوشیمیایی آرسنیک است. بیشترین غلظت آرسنیک در نمونه‌های آرد، گندم و خاک در روستای زاغه فولاد مشاهده شد. با توجه به این که در محدوده مطالعاتی هیچگونه فعالیت آلوده کننده صنعتی و شهری دیده نمی‌شود، تنها منبع آنتروپوژنیک (انسان ساخت) که می‌توان برای این آلودگی فرض کرد استفاده از کود و سموم شیمیایی حاوی آرسنیک است، اما از طرفی چون کشاورزی بطور عمده بصورت دیم صورت می‌گیرد و کود و سموم مصرف زیادی ندارد و این سموم حتی در مناطق غیرآلوده مجاور محدوده مطالعاتی نیز استفاده می‌شوند، بنابراین عامل اصلی آلودگی محسوب نمی‌شوند. لذا گزینه خاکستر آتشفشانی که در مطالعات انجام شده در آرژانتین نیز نقش آن‌ها در آلودگی آب به آرسنیک را تأئید می‌کند، می‌تواند قابل استناد باشد(۳۶). کمترین غلظت آرسنیک در هر سه نوع نمونه در روستای موخور گزارش شد. در مطالعه‌ی صادقی و همکاران (۲۰۲۰)، میانگین غلظت آرسنیک، کروم، جیوه و نیکل در گندم اندازه‌گیری شد که از این میان آرسنیک بیشترین میزان را داشت که ممکن است به دلیل فاضلاب آزاد شده از فعالیت های انسانی در منطقه باشد(۳۷). میزان HQ در هیچ یک از نمونه‌ها به عدد ۱ نرسید که نشان‌دهنده عدم وجود ریسک بالا برای خطرات غیرسرطانی ناشی از فلز آرسنیک (در مواجهه از راه دهان و مواجهه از راه پوست) در مناطق و نمونه‌های مورد مطالعه می‌باشد. البته میزان HQ (کودکان) (در مواجهه از راه دهان) برای نمونه‌های خاک زاغه فولاد تا ۰/۴۰۳ رسید که نشان‌دهنده این است که میزان آرسنیک موجود در خاک این مناطق نزدیک به آستانه خطر است. میانگین غلظت کادمیم در نمونه‌های خاکی بیشتر از نمونه‌های آرد و گندم بود. در مطالعه‌ی Khaniki و همکاران (۲۰۰۵)، میانگین غلظت کادمیوم در انواع نان‌های سنتی ایران ۱۲-۶۵ میلی گرم بر کیلوگرم تعیین شد (۲۳). میزان HQ در هیچ یک از نمونه‌ها به عدد ۱ نرسید که نشان‌دهنده عدم وجود ریسک بالا برای خطرات غیرسرطانی ناشی از فلز کادمیم (چه از راه مواجهه با دهان چه پوست) در مناطق و نمونه‌های مورد مطالعه می‌باشد.

بیشترین غلظت سرب در نمونه‌های خاک روستای شریف آباد مشاهده شد، با این حال غلظت این فلز در نمونه‌های گندم و جو این روستا نسبت به مناطق دیگر کمتر بود. بیشترین غلظت سرب در نمونه‌های گندم و آرد به ترتیب مربوط به روستاهای علی بدل (۰/۱۶۴ mg/kg) و موخور (۰/۲۴۰ mg/kg) بود. مطالعات مشابه نشان داده است که غلظت سرب در سبزیجات و محصولات زراعی بیشتر از سایر فلزات سمی است، که این امر به دلیل توانایی بالای آنها در جذب حتی مقادیر کمی سرب از آلودگی هوا، خاک و آب می‌باشد(۳۸). این نتایج با نتیجه‌ی مطالعه‌ی حاضر مغایر بود زیرا در خاکی که بیشترین سرب وجود داشت گندم و جو آن کمترین سرب را داشت در حالی‌که اگر توانایی جذب سرب از خاک بسیار بالا باشد، باید گندم و جو آن نیز میزان بالای سرب را دارا بود. در مطالعه‌ی حاضر بیشترین میزان سرب خاک در روستای شریف آباد ۱۲۷/۹ میکروگرم بر کیلوگرم بود که از مطالعه‌ی قاسمی ده کردی و همکاران بسیار بیشتر است. میانگین غلظت سرب در انواع نان‌های سنتی در ایران توسط Khaniki و همکاران (۲۰۰۵)، بین ۲۷ و ۵۲ میلی‌گرم برکیلوگرم گزارش شده است(۲۳).

میزان HI در هیچ یک از نمونه‌ها به عدد ۱ نرسید که نشان‌دهنده عدم وجود ریسک بالا برای خطرات غیرسرطانی ناشی از فلز سرب در مناطق و نمونه‌های مورد مطالعه می‌باشد. بیشترین HI بزرگسالان مربوط به میزان آرسنیک موجود درخاک روستای زاغه فولاد بود. مطالعه ی Yu min lio و همکاران در سال ۲۰۲۰ با هدف بررسی ارزیابی خطر سلامتی فلزات سنگین (Zn، Cu، Cd، Pb، As و Cr) در دانه گندم با دریافت کودهای مکرر حاوی روی انجام شد. نتایج این مطالعه نشان داد کاربرد طولانی مدت روی به میزان قابل توجهی خطر سرطان‌زایی ناشی از آرسنیک را کاهش

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-06-25]

[DOI: 10.61186/sjku.28.6.33]

می‌دهد(۲۰). در مطالعه‌ای که توسط مالکی و همکاران بر روی غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های خاک، آب و سبزیجات مزارع شهرسستان سنندج انجام شد، غلظت کروم و سرب در سبزیجات بیش از حد مجاز سازمان خواربار و کشاورزی (FAO) و سازمان بهداشت جهانی (WHO) گزارش شد(۳۹). در مطالعه حاضر به طور مشابه غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های خاک کمتر از حد مجاز بود. مقایسه نتایج بدست آمده از مطالعه حاضر با مطالعه فوق نشان می‌دهد که غلظت کروم و سرب در نمونه گندم شهرستان بیجار در محدوده مجاز بود اما در سبزیجات شهرستان سنندج غلظت این فلزات بیشتر از حد مجاز بود که نشان دهنده خطر کمتر گندم کشت‌شده در منطقه شهرستان بیجار در مقایسه با سبزیجات می‌باشد که می‌تواند ناشی از مصرف کود یا استفاده از فاضلاب یا آب‌های آلوده جهت آبیاری این محصولات در منطقه مورد بررسی باشد. البته مطالعه اخیر گلی نژاد نشان داد که عمق لایه خاک و فاصله از کارخانه به طور معنی داری بر انباشتگی فلزات سنگین در خاک تأثیر می‌گذارد که می‌تواند یکی دیگر از دلایل اختلاف غلظت‌ها و خطرات ناشی از آنها باشد(۴۰). بنابراین یکی از محدودیت‌های مطالعه حاضر می‌تواند عدم نمونه‌برداری از عمق‌های مختلف خاک و مقایسه غلظت‌های فلزات در عمق‌های مختلف خاک باشد.

نتیجه گیری

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که ریسک بالایی برای خطر غیرسرطانی مربوط به فلز روی، سرب، آرسنیک، کادمیم وجود ندارد اما غلظت برخی از این فلزات مانند آرسنیک برای جمعیت‌های حساس‌تر مانند کودکان نزدیک به میزان خطر است و باید اقدامات لازم جهت ارزیابی و کاهش این فلزات سنگین انجام گردد. همچنین خطر سرطانزایی این فلزات در ۴ منطقه مورد مطالعه متوسط بود. از طرفی، متفاوت بودن میزان عناصر سنگین در خاک را نیز میتوان به متنوع بودن منشا ژئوشیمیایی و صنعتی عناصر سنگین مورد مطالعه در این تحقیق که از راه‌های مختلف وارد خاک می‌شوند منتسب دانست. استفاده بی‌رویه و طولانی مدت از نهاده‌های کشاورزی، استقرار صنایع در مجاورت اراضی کشاورزی، مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی به‌ویژه کودهای فسفاته، کاربرد لجن فاضلاب به عنوان کود، کشت گندم در مجاورت راه‌های مواصلاتی پرتردد و استفاده از فاضلاب شهری برای آبیاری می‌تواند ضمن آلودگی محصول گندم و به تبع آن سایر فرآورده‌های حاصل مانند نان، تبعات بهداشتی غیر قابل جبرانی را برای مصرف‌کنندگان به دنبال داشته باشد.

تقدیر و تشکر

این مقاله حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد است که با حمایت مالی دانشگاه علوم پزشکی همدان انجام شده است. بدین وسیله از دانشگاه علوم پزشکی همدان جهت فراهم نمودن امکانات آزمایشگاهی برای اجرایی شدن این پژوهش تشکر و قدر دانی می‌شود. (شماره پایان نامه ۱۴۰۰۰۲۰۷۱۰۵۶). در ضمن هیچ کدام از نویسندگان این مطالعه، تعارض منافعی با انتشار این مقاله ندارند.

منابع

1.Amini M, Afyuni M, Khademi H, Abbaspour KC, Schulin R. Mapping risk of cadmium and lead contamination to human health in soils of Central Iran. Sci. Total Environ. 2005;347(1-3):64-77.
2.Rajabzadeh NT. Bread Technolog. Tehran University publishing Institute. 2008;5th edition:376-89.
3.Gębski J, Jezewska-Zychowicz M, Szlachciuk J, Kosicka-Gębska M. Impact of nutritional claims on consumer preferences for bread with varied fiber and salt content. Food Qual. Prefer. 2019;76:91-9.

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-06-25]

[DOI: 10.61186/sjku.28.6.33]

4.Ghanbari M, Farmani J. Influence of hydrocolloids on dough properties and quality of barbari: an Iranian leavened flat bread. J Agr. Sci. Tech. 2013; 15: 545-555
5.Mansour SA, Belal MH, Abou-Arab AA, Gad MF. Monitoring of pesticides and heavy metals in cucumber fruits produced from different farming systems. Chemosphere. 2009;75(5):601-9.
6.Bigdeli M, Seilsepour M. Investigation of metals accumulation in some vegetables irrigated with waste water in Shahre Rey-Iran and toxicological implications. Am. Eurasian J Agric. Environ. Sci. 2008;4(1):86-92.
7.Llobet J, Falco G, Casas C, Teixido A, Domingo J. Concentrations of arsenic, cadmium, mercury, and lead in common foods and estimated daily intake by children, adolescents, adults, and seniors of Catalonia, Spain. J Agric. Food Chem. 2003;51(3):838-42.
8.Kampa M, Castanas E. Human health effects of air pollution. Environ. Pollut. 2008;151(2):362-7.
9.Bravi E, Marconi O, Sileoni V, Perretti G. Determination of free fatty acids in beer. Food chem. 2017;215:341-6.
10.Dong Q, Fang J, Huang F, Cai K. Silicon amendment reduces soil Cd availability and Cd uptake of two Pennisetum species. Int. J. Environ. Res. Public Health. 2019;16(9):1624.
11.ur Rehman MZ, Zafar M, Waris AA, Rizwan M, Ali S, Sabir M, et al. Residual effects of frequently available organic amendments on cadmium bioavailability and accumulation in wheat. Chemosphere. 2020;244:125548.
12.Retamal-Salgado J, Hirzel J, Walter I, Matus I. Bioabsorption and bioaccumulation of cadmium in the straw and grain of maize (Zea mays L.) in growing soils contaminated with cadmium in different environment. Int. J. Environ. Res. Public Health. 2017;14(11):1399.
13.Pateriya A, Verma RK, Sankhla MS, Kumar R. Heavy metal toxicity in rice and its effects on human health. Lett. Appl. NanoBio. Sci. 2020;10(1):1833-45.
14.Broadley MR, White PJ, Hammond JP, Zelko I, Lux A. Zinc in plants. New phytol. 2007;173(4):677-702.
15.Mahurpawar M. Effects of heavy metals on human health. Int. J Res. Granthaalayah. 2015;530:1-7.
16.Hutton M, Symon C. The quantities of cadmium, lead, mercury and arsenic entering the UK environment from human activities. Sci. Total Environ. 1986;57:129-50.
17.Why The Marine Environment Needs Protection From Heavy Metals HM, UNEP/GPA Coordination Office. United Nations Environmental Protection/Global Program of Action. United Nations Environment Programme: Nairobi, Kenya, 2004.
18.Koki IB, Bayero AS, Umar A, Yusuf S. Health risk assessment of heavy metals in water, air, soil and fish. Afr. J. Pure Appl. Chem. 2015;9(11):204-10.
19.Ali MH, Al-Qahtani KM. Assessment of some heavy metals in vegetables, cereals and fruits in Saudi Arabian markets. Egypt. J. Aquat. Res. 2012;38(1):31-7.
20.Muchuweti M, Birkett J, Chinyanga E, Zvauya R, Scrimshaw MD, Lester J. Heavy metal content of vegetables irrigated with mixtures of wastewater and sewage sludge in Zimbabwe: implications for human health. Agric. Ecosyst. Environ. 2006;112(1):41-8.
21.Rezapour S AB, Moghaddam SS, Damalas CA. . Heavy metal bioavailability and accumulation in winter wheat (Triticum aestivum L.) irrigated with treated wastewater in calcareous soils. Sci. Total Environ. 2019; 15;656:261-9.
22.Ahmed MT, Abdel Hadi E-S, El Samahy S, Youssof K. The influence of baking fuel on residues of polycyclic aromatic hydrocarbons and heavy metals in bread. J. Hazard. Mater. 2000;80(1):1-8.
23.Khaniki GRJ, Yunesian M, Mahvi AH, Nazmara S. Trace metal contaminants in Iranian flat breads. J Agric. Soc. Sci. 2005;1(4):301-3.
24.USEPA. USEPA region III risk-based concentration table: technical background information. Unites States Environmental Protection Agency; Washington, D.C., United States. 2006.

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-06-25]

[DOI: 10.61186/sjku.28.6.33]

25.Assessment, Probabilistic Risk. "Risk Assessment guidance for superfund: volume III-part a." Process for Conducting Probabilistic Risk Assessment. Unites States Environmental Protection Agency Washington; Washington, D.C., United States. 2001.
26.USEPA. Risk-based concentration table. Philadelphia PA: United States Environmental Protection Agency, Washington, D.C., United States. 2000.
27.Stefanović VŽ, Filipović NK, Jovanović BM. Undesirable metals content in wheat of different wheat varieties. Acta Period. Technol. 2008(39):69-76.
28.Qu C-S, Ma Z-W, Yang J, Liu Y, Bi J, Huang L. Human exposure pathways of heavy metals in a lead-zinc mining area, Jiangsu Province, China. PloS one. 2012;7(11):e46793.
29.Raj D, Maiti SK. Sources, toxicity, and remediation of mercury: an essence review. Environ. Monit. Assess. 2019;191(9):1-22.
30.Pruvot C, Douay F, Hervé F, Waterlot C. Heavy metals in soil, crops and grass as a source of human exposure in the former mining areas (6 pp). J. Soils Sediments. 2006;6(4):215-20.
31.Agrawal M, Singh B, Rajput M, Marshall F, Bell J. Effect of air pollution on peri-urban agriculture: a case study. Environ. Pollut. 2003;126(3):323-9.
32.Ebrahimi SJA, Ebrahimzadeh L. Evaluation of heavy metals concentration in drinking water resources in the cities of Kurdistan province. Adv. Biores. 2015;6:55-61.
33.SAS. KS. Determining the health risk index of heavy metals in bread consumed in some areas of Hamadan. Innovation in Food Science and Technology. Food Sci. Technol. 2019:87-94.
34.Karimi N, Pormehr M, Ghasempour HR. Contamination study of water, soil and wheat to arsenic of the Bijar region. Environ. Sci. 2014;12(4):25-36.
35.Zandsalimi S, Karimi N, Kohandel A. Arsenic in soil, vegetation and water of a contaminated region. Int. J. Environ. Sci. Technol. 2011;8(2):331-8.
36.Bhattacharya P, Claesson M, Bundschuh J, Sracek O, Fagerberg J, Jacks G, et al. Distribution and mobility of arsenic in the Rio Dulce alluvial aquifers in Santiago del Estero Province, Argentina. Sci. Total Environ. 2006;358(1-3):97-120.
37.Sadeghi M, Noroozi M, Kargar F, Mehrbakhsh Z. Heavy metal concentration of wheat cultured in golestan province, Iran and its health risk assessment. J. Environ. Health Sustain. Dev. 2020;5(2):993-1000.
38.Liu X, Song Q, Tang Y, Li W, Xu J, Wu J, et al. Human health risk assessment of heavy metals in soil–vegetable system: a multi-medium analysis. Sci. Total Environ. 2013;463:530-40.
39.Maleki A, Amini H, Nazmara S, Zandi S, Mahvi AH. Spatial distribution of heavy metals in soil, water, and vegetables of farms in Sanandaj, Kurdistan, Iran. J. Environ. Health Sci. Eng. 2014;12(1):1-10.
40.Gholinejad B, Mehrju S, Bandak I, Osati K, Ghorbani F, Farajollahi A. Spatial distribution of heavy metal concentrations surrounding a cement factory and its effect on Astragalus gossypinus and wheat in Kurdistan Province, Iran. Glob. J. Ecol. 2021;6(1):014-27.

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-06-25]

[DOI: 10.61186/sjku.28.6.33]