

Carcinogenic and Non-carcinogenic Risk Index of As, Pb and Cr in Corn (Zea Mays) of Shushtar and Andimeshk Agricultural Fields

Zeinab Gholami

Department of Environment, Ahv.C,
Islamic Azad University, Ahvaz,
Iran.

Maryam Mohammadi

Rouzbahani

* Department of Environment,
Ahv.C, Islamic Azad University,
Ahvaz, Iran.

(Corresponding Author)

Mmohammadiroozbahani@iau.ac.ir

Khoshnaz Payandeh

Department of Soil Science, Ahv.C,
Islamic Azad University, Ahvaz,
Iran.

Sima Sabzalipour

Department of Environment, Ahv.C,
Islamic Azad University, Ahvaz,
Iran.

Abstract

Background and Objective: *Zea mays* is one of the most widely cultivated cereals globally and is a significant dietary component. This study aimed to assess the human health risks associated with arsenic (As), lead (Pb), and chromium (Cr) contamination in corn grown in Iran.

Material and Methods: A descriptive cross-sectional study was conducted in 2022, involving 60 soil and 60 corn samples collected from agricultural fields in Shushtar and Andimeshk during summer and autumn. Pb and Cr concentrations were measured using atomic absorption spectrometry (AA240Z).

Results: Mean concentrations of Pb, As, and Cr in soils from Shushtar were 12.4, 4.05, and 74.9 mg/kg, respectively, and 13.27, 4.68, and 45.71 mg/kg in Andimeshk. One-way ANOVA revealed no significant seasonal differences for Cr and As in soil ($p>0.05$) or for Pb and Cr across locations ($p>0.05$). However, Pb and As levels significantly differed between regions ($p<0.05$). Pb concentrations in corn were significantly higher in Shushtar ($p<0.05$), while As and Cr showed no significant spatial or seasonal variation ($p>0.05$). No seasonal effect was observed in corn metal levels ($p>0.05$).

Conclusion: Risk assessment indicated potential non-carcinogenic health risks from As and Pb exposure, particularly for vulnerable populations. Cr levels were within safe limits for both adults and children. The transfer factor analysis confirmed that corn can uptake and accumulate metal.

Keywords: Heavy Metal, Health Risk Assessment, Carcinogenic Risk, Corn

Open Access Policy: This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. To view a copy of this licence, visit <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Received: 2025/03/20

Accepted: 2025/07/17

Doi:10.22038/jreh.2025.26066

► **Citation:** Gholami Z, Mohammadi Rouzbahani M, Payandeh Kh, Sabzalipour S. Carcinogenic and Non-carcinogenic Risk Index of As, Pb and Cr in Corn (Zea Mays) of Shushtar and Andimeshk Agricultural Fields. *Journal of Research in Environmental Health*. 11(2):80-94.

شاخص خطر سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی آرسنیک، سرب و کروم در ذرت (Zea Mays) مزارع کشاورزی شوشتر و اندیمشک

زینب غلامی

گروه محیط‌زیست، واحد اهواز، دانشگاه

آزاد اسلامی، اهواز، ایران

مریم محمدی‌روزبهانی

*گروه محیط‌زیست، واحد اهواز،

دانشگاه

آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

(نویسنده مسئول)

Mmohammadiroozbahani@iaau.ac.ir

خوشنار پاینده

گروه خاکشناسی، واحد اهواز، دانشگاه

آزاد اسلامی، اهواز، ایران

سیما سبزی‌پور

گروه محیط‌زیست، واحد اهواز، دانشگاه

آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

چکیده

زمینه و هدف: ذرت یکی از مهمترین غلات می‌باشد که نقش مهمی در سبد غذایی انسان دارد و در بسیاری از مناطق در جهان و ایران کشت داده می‌شود. این پژوهش با هدف ارزیابی سطح خطر فلزات آرسنیک، سرب و کروم در ذرت برای سلامت انسان انجام شد.

مواد و روش‌ها: این پژوهش توصیفی - مقطعی در سال ۱۴۰۱ انجام شد. در مجموع ۶۰ نمونه خاک و ۶۰ نمونه ذرت از مزارع کشاورزی شهرهای شوشتر و اندیمشک در دو فصل تابستان و پاییز تهیه شدند. مقادیر فلزات آرسنیک، سرب و کروم به روش جذب اتمی و به وسیله دستگاه AA240Z اندازه‌گیری شدند. **یافته‌ها:** میانگین سرب، آرسنیک و کروم در نمونه‌های خاک مزارع ذرت در شوشتر به ترتیب ۱۲/۴، ۴/۰۵ و ۷۴/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در اندیمشک به ترتیب ۱۳/۲۷، ۴/۶۸ و ۷۱/۴۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم به دست آمد. بر اساس میانگین غلظت سرب و آرسنیک در نمونه‌های ذرت شاخص خطر غیرسرطان‌زایی برای بزرگسالان و کودکان بالاتر از ۱ به دست آمد، اما شاخص خطر غیرسرطان‌زایی کروم در محصول ذرت پایین‌تر از ۱ به دست آمد. شاخص خطر سرطان‌زایی سرب، آرسنیک و کروم در ذرت برای بزرگسالان و کودکان بالاتر از ۴-۱۰ به دست آمد. بالاترین مقادیر شاخص انتقال مربوط به آرسنیک در فصل تابستان در منطقه شوشتر (۰/۴۴) بود.

نتیجه‌گیری: بر اساس ارزیابی سطح خطر فلزات آرسنیک و سرب می‌تواند برای سلامت انسان خطرناک باشند، اما شاخص خطر غیرسرطان‌زایی برای فلز کروم برای بزرگسالان و کودکان مشکلی ایجاد نمی‌کند. همچنین شاخص انتقال نشان داد که ذرت می‌تواند فلزات را جذب و انباشته کند.

کلیدواژه‌ها: فلزات سنگین، ارزیابی خطر سلامت، خطر سرطان‌زایی، ذرت

◀ **استناد:** غلامی ز، محمدی‌روزبهانی م، پاینده خ، سبزی‌پور س. شاخص خطر سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی آرسنیک، سرب و کروم در ذرت (Zea Mays) مزارع کشاورزی شوشتر و اندیمشک. فصلنامه‌ی پژوهش در بهداشت محیط. تابستان ۱۴۰۴؛ ۱۱(۲): ۸۰-۹۴.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۲۶

نوع مقاله: پژوهشی

مقدمه

خاک یک منبع حیاتی با توانایی خود پالایی است که ورود آلاینده‌ها می‌تواند آلودگی خاک را تشدید کند و بر تولید کشاورزی و محیط‌زیست تأثیر منفی بگذارد (۱). فلزات سنگین آلاینده‌های محیطی پایداری هستند که به‌سختی تجزیه می‌شوند و به راحتی در محیط خاک حفظ می‌شوند که انباشته شدن طولانی مدت آن‌ها می‌تواند ویژگی‌های خاک را تغییر دهد، کیفیت محصول را تحت تأثیر قرار داده و در نهایت برای سلامت انسان به‌واسطه‌ی ورود به زنجیره غذایی خطرناک هستند (۲). فلزات سنگین از منابع بسیاری مانند صنعت، معدن و کشاورزی به‌وجود می‌آیند. از نظر منشأ در بخش کشاورزی، فلزات سنگین را می‌توان به کودهای شیمیایی و آلی، سموم دفع آفات، کود دامی و پساب‌ها و رواناب‌ها طبقه‌بندی کرد (۳). در حقیقت به‌نظر می‌رسد در حال حاضر عوامل اصلی آلودگی فلزات سنگین در محیط زیست، متغیرهای زمین‌شناسی و هواشناسی منحصر به فرد، موقعیت‌های خاص مانند رشد شهرنشینی و افزایش کاربردهای صنعتی، شهری، کشاورزی، مسکونی، پزشکی و فنی هستند (۴، ۵).

مزارع کشاورزی معمولاً تحت تأثیر انواع مختلفی از آلاینده‌ها از جمله آلاینده‌های کشاورزی هستند که به‌عنوان محصولات جانبی زیستی و غیرزیست فعالیت‌های کشاورزی شناخته می‌شوند (۱). این آلاینده‌ها معمولاً باعث آلودگی و تخریب اکوسیستم کشاورزی اطراف می‌شوند (۲). در میان منابع کشاورزی فلزات سنگین، کودها، سموم دفع آفات و لجن فاضلاب رایج‌ترین هستند (۵). فلزات سنگین سمی از نظر ماهیت و نحوه‌ی تجمع در خاک و گیاهان، متفاوت هستند (۱). تأثیر فلزات سنگین بر تولید گیاهان و محصولات کشاورزی موضوع مهمی است که نگرانی‌هایی را در مورد بهره‌وری کشاورزی ایجاد می‌کند (۲). محتوای فلزات سنگین در قسمت‌های خوراکی گیاهان مانند سبزیجات، غلات و میوه‌ها انباشته می‌شود (۶). محصولات با غلظت‌های بالاتر ممکن است برای مصرف نامناسب باشند، زیرا کیفیت محصول برداشت‌شده را کاهش می‌دهند. گیاهانی که در معرض فلزات سنگین هستند ممکن است سطوحی از مواد مغذی ضروری برای انسان مانند ویتامین‌ها و مواد معدنی را نشان دهند (۷).

کروم، آرسنیک و سرب جزء فلزات سنگین اصلی هستند که مسمومیت با این فلزات می‌تواند تأثیرات زیان‌باری بر سلامت انسان و محیط‌زیست داشته باشد (۷). هم‌چنین پژوهشگران اعلام کردند که فلزات کروم، آرسنیک و سرب تقریباً در تمام سطوح آلودگی برای گیاهان و محصولات کشاورزی بسیار سمی هستند و می‌توانند عوارض خطرناکی را در موجودات زنده ایجاد کنند (۸، ۹، ۱۰). احتراق سوخت‌های فسیلی، رنگ‌ها و رنگدانه‌ها، کاربرد سرب در بنزین، کودهای شیمیایی، پسماندهای جامد، سوزاندن ضایعات صنعتی، مواد منفجره، سرامیک و ظروف، گردوغبار و دود صنعتی، ساخت باتری‌های سربی اسیدی، آفت‌کش‌ها، معدن و متالورژی، برخی از انواع مصنوعات پلاستیکی و رواناب‌های شهری منابع مهم سرب در محیط زیست هستند (۵). فلز کروم نیز در نتیجه فعالیت‌های صنعت نساجی، آبکاری فلز، رنگ و رنگدانه، لاستیک، عکاسی، دباغی، صنایع شیمیایی، صنایع چرم، گردوغبار و دود صنعتی، کود، معدن و متالورژی وارد منابع خاک می‌شود (۴، ۸). هم‌چنین گردوغبار و ضایعات صنعتی، ذوب طلا، سرب و معادن، صنایع دارویی، نساجی، آفت‌کش‌ها، رنگ‌ها، تولید مس، فولاد و آهن، کودهای فسفاته و احتراق سوخت‌های فسیلی سبب ورود آرسنیک در منابع آب و خاک می‌شوند (۶).

با توجه به استفاده از مواد غذایی که به فلزات سنگین آلوده شده‌اند، نگرانی‌های سلامتی انسان در چند دهه گذشته به‌طور قابل توجهی افزایش یافته است (۲). پژوهشگران گزارش کردند که کشاورزی و صنعت به‌طور قابل توجهی بر آلودگی فلزات سنگین در خاک و محصولات کشاورزی، به‌ویژه خاک‌های نزدیک به کارخانه‌های سیمان و صنایع مختلف تأثیر می‌گذارند (۱۱، ۱۲). در مطالعات دیگری در مناطق مختلف کشور ایران مشخص شده است که محصولات کشاورزی مانند غلات، سبزیجات، میوه‌ها و حبوبات ممکن است حاوی فلزات سنگین باشند (۱۳، ۱۴، ۱۵). از سوی دیگر، قرار گرفتن طولانی مدت در معرض غلظت‌های بالای فلزات سنگین از طریق غذای آلوده می‌تواند باعث انباشت مزمن فلزات سنگین در کبد، کلیه‌ها و استخوان‌های انسان شود که می‌تواند منجر به مشکلات کلیوی، قلبی عروقی، عصبی، سرطان ریه و شکستگی استخوان در بدن انسان شود (۱۰). حتی مقادیر کمی

از فلزات سنگین برای انسان بسیار سمی هستند (۶). قرار گرفتن در معرض آن‌ها بر اندام‌های اصلی مانند مغز، سیستم عصبی مرکزی، کلیه، دستگاه گوارش و سیستم تولید مثل تأثیر منفی می‌گذارد. فیزیولوژی کودکان مانند سیستم عصبی، مغز، کلیه‌ها و گردش خون نیز تحت تأثیر قرار می‌گیرد (۷). مسمومیت با فلزات سنگین باعث استفراغ، اسهال، حالت تهوع، اختلال در عملکرد نورون‌های حرکتی، اختلال در بینایی و شنوایی، آسیب قلب و مغز، فشار خون بالا و سایر علائم می‌شود (۱). سرب و آرسنیک به سرعت در زنجیره‌ی غذایی جذب می‌شوند و خطرات جدی برای سلامتی ایجاد می‌کنند، زیرا این مواد به سرعت در بافت‌ها و اندام‌های بدن تجمع می‌یابند و باعث عقب‌ماندگی در کودکان می‌شوند و همچنین اثرات شدیدی بر سیستم شنوایی، سیستم قلبی عروقی و کلیه‌ها دارند. کودکان نسبت به بزرگسالان بیشتر مستعد ابتلا به این آلاینده‌های سمی هستند (۱۱). کروم و ترکیبات آن جزء مواد سمی و سرطان‌زا طبقه‌بندی شده‌اند که می‌توانند سبب مسمومیت، بیماری‌زایی و جهش در ساختار سلولی بدن انسان شوند (۹، ۱۰).

علی‌رغم کشت گسترده ذرت^۱ در استان خوزستان و در سراسر ایران، شکاف قابل توجهی در تحقیقات مربوط به نمونه‌برداری و تجزیه و تحلیل جامع از فلزات سنگین و ارزیابی خطرات سلامت مربوط به ذرت وجود دارد. اهمیت مصرف ذرت در بین کودکان و بزرگسالان، همراه با استفاده از آن به عنوان غذا برای دام و نقش آن در صادرات، ضرورت رسیدگی به این موضوع را برجسته می‌کند. این تحقیق با هدف مقایسه ارزیابی‌های خطر سلامتی برای ذرت در شهرهای اندیمشک و شوشتر در استان خوزستان انجام شده است. با توجه به نقش حیاتی تولید ذرت در تامین غذای انسان و حیوانات، همراه با خطرات جدی سلامت مرتبط با فلزات سنگین، این مطالعه با هدف بررسی خطرات سلامت ناشی از سرب، آرسنیک و کروم در خاک و گیاهان ذرت در مزارع کشاورزی انجام شد.

روش کار

در این تحقیق مزارع ذرت شهرستان‌های شوشتر و اندیمشک مورد بررسی قرار گرفت. شوشتر و اندیمشک هر

دو از شهرهای استان خوزستان هستند که در جنوب غربی ایران قرار دارند. در این تحقیق ۵ مزرعه در هر شهرستان به طور تصادفی انتخاب شدند. در فصل تابستان از هر مزرعه ۶ نمونه خاک و ۶ نمونه ذرت تهیه شد. برای فصل پاییز نیز نمونه‌برداری مشابه فصل تابستان انجام شد. بنابراین در سال ۱۴۰۱ در مجموع ۶۰ نمونه خاک و ۶۰ نمونه ذرت از دو منطقه مورد مطالعه شهرستان‌های شوشتر و اندیمشک جمع‌آوری شد و برای جمع‌آوری نمونه‌های ذرت ابتدا مزرعه به دو قسمت مساوی و سپس نمونه ذرت و خاک تقسیم شد. از چهار گوشه و وسط هر قسمت گرفته شد و سپس با اختلاط نمونه‌های جمع‌آوری شده اولین نمونه به دست آمد. و به این ترتیب نمونه‌های بعدی جمع‌آوری شد. نمونه‌های ذرت در کیسه‌های پلی‌اتیلن جمع‌آوری شد. نمونه‌های خاک از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری با استفاده از بیل استنلس استیل برای جلوگیری از آلودگی برداشت و در کیسه‌های پلی‌اتیلن جمع‌آوری شد. پس از نمونه‌برداری از هر مزرعه، نمونه‌های ذرت و خاک برای مدت زمان کوتاه در محیط خشک و دور از نور مستقیم خورشید در دمای ۴ درجه‌ی سانتی‌گراد درون کیف‌های پلاستیکی نایلونی زیپ‌دار به عنوان ظرف نمونه‌برداری نگهداری شدند.

برای هضم شیمیایی ابتدا نمونه‌های ذرت را در پاکت کاغذی قرار داده و به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. سپس برای آسیاب و ایجاد پودر یکنواخت نمونه‌ها را با هاون چینی کوبیده و نمونه‌ها را با الک ۶۳ میکرون جدا کرده و سپس یک گرم از نمونه‌ی پودر شده را برای هضم وزن شدند. برای خشک‌شدن نمونه‌های خاک، نمونه‌ها در پتری دیش در آون با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شدند. خاک‌ها خشک شدند، ذرات کوچکتر از ۶۳ میکرون توسط الک جدا و پودر شدند. سپس یک گرم از نمونه‌ی پودری برای هضم وزن شد (۱۶). برای هضم نمونه‌های ذرت، ۰/۵ گرم از نمونه‌ی پودر شده گیاه به ارلن ۱۰۰ سی‌سی منتقل شد و سپس به هر یک از نمونه‌ها ۱۰ سی‌سی تیزاب سلطانی و با قرار دادن شیشه ساعت روی ارلن‌ها اضافه شد. به مدت ۲۴ ساعت در زیر هود قرار داده شد، سپس ظرف ارلن روی بخاری با دمای ۷۰ تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و فرآیند حرارت

^۱ Zea mays

15189:2022 انجام شد. برای به دست آوردن این دو شاخص انحراف استاندارد در یک نمونه آزمایشی بلانک محاسبه شد که سه نمونه با سه غلظت مختلف انتخاب کرده و هر نمونه را هفت بار اندازه گیری کرده که کوچکترین غلظت انتخاب شده بایستی نزدیک صفر باشد. سپس نمودار انحراف استانداردها بر حسب غلظت ها رسم و مقدار انحراف استاندارد غلظت صفر از روی نمودار به دست آمد. در نهایت حد تشخیص در فاصله ۳ برابر انحراف استاندارد از نمونه شاهد و حد کمی شدن در فاصله ۱۰ برابر انحراف استاندارد از نمونه‌ی شاهد محاسبه شد (۱۸). ارزیابی خطر فلزات سنگین در نمونه‌های ذرت بر اساس تخمین جذب روزانه^۳ فلزات سنگین، شاخص خطر غیرسرطان زایی^۴ و شاخص خطر سرطان زایی^۵ محاسبه شد (۱۹). تخمین جذب روزانه (EDI) برای فلزات سنگین شده بر اساس رابطه ۱ محاسبه شد (۲۰) که در این رابطه DFC^6 میزان مصرف روزانه ذرت (به ترتیب ۲/۱۹ و ۰/۶۳ گرم در روز برای بزرگسالان و کودکان) (۲۱) و MC^7 غلظت فلز مورد مطالعه بر حسب میلی گرم بر کیلوگرم می باشد.

رابطه ۱: $EDI (mg/Kg/day) = DFC \times MC$

شاخص خطر غیرسرطان زایی از طریق محاسبات با استفاده از فرض استاندارد برای تجزیه و تحلیل ریسک یکپارچه USEPA بر اساس رابطه ۲ انجام شد (۱۹) که در رابطه ۲، EFR مواجهه افراد ۳۶۵ روز در سال در نظر گرفته شد، ED مدت زمان قرار گرفتن در معرض، ۷۰ سال معادل متوسط زمان زندگی انسان است (۲۰). FIR نرخ کسر جذب شده فلز ناشی از مصرف ذرت می باشد که ۰/۴ در نظر گرفته شده است (۲۱). C غلظت فلز مورد مطالعه بر حسب میلی گرم بر کیلوگرم می باشد. دوز مرجع فلزات یا RfD^8 برای جیوه، آرسنیک، کادمیوم، سرب، کروم، نیکل، مس و روی به ترتیب ۰/۰۰۵، ۰/۰۰۳، ۰/۰۰۱، ۰/۰۰۴، ۱/۵، ۰/۰۲، ۰/۰۴ و ۰/۳ میلی گرم در کیلوگرم وزن بدن در روز بود (۲۲). BW متوسط وزن بدن انسان است که برای افراد بزرگسالان و کودکان ایرانی

دادن به آرامی شروع شد تا بخار قهوه ای رنگ از همه‌ی نمونه ها خارج شود. سپس ۳ سی سی اسید سلطانی به هر یک از شیشه ها اضافه شد و فرآیند حرارت دادن شدیدتر شد تا این که اکسیداسیون مواد گیاهی به پایان رسید. این روند تا جایی ادامه یافت که حجم نمونه به ۲-۳ سی سی کاهش یافت و نمونه کاملاً بی رنگ شد. پس از بی رنگ شدن کامل نمونه و کاهش حجم آن پس از سرد شدن ظرف، مقداری آب مقطر به آن اضافه و نمونه های محلول با عبور از کاغذ صافی شماره ۴۵ صاف شده و در ارلن ۵۰ سی سی ریخته و اسید نیتریک ۱٪ اضافه گردید. سپس در یک ظرف پلاستیکی قرار داده شد تا مقدار فلزات موجود در نمونه ها توسط طیف سنج پلاسما ی جفت شده ی القایی خوانده شد (۱۷). برای هضم نمونه های خاک از روش EPA 3050 استفاده شد. در این روش ۰/۵ گرم از نمونه خاک پودر شده به یک ارلن ۱۰۰ سی سی منتقل شد و به هر یک از نمونه ها ۵ قطره اسید کلریدریک معمولی اضافه شد و ارلن به صورت دایره ای تکان داده شد تا خاک و اسید کاملاً مخلوط شوند. پس از آن به هر یک از ارلن ها ۵ سی سی تیزاب سلطانی اضافه کرده و مجدداً تکان داده و با قرار دادن شیشه ساعت روی ارلن ها به مدت ۲۴ ساعت در زیر هود قرار داده شد. سپس ارلن را روی بخاری برقی با دمای ۸۰-۹۰ درجه ی سانتی گراد قرار داده شد تا رنگ نمونه ها تیره شود، سپس به هر یک از نمونه ها ۳ سی سی اسید پرکلریک اضافه و مجدداً ارلن روی بخاری قرار داده شد. نمونه ها به ۲-۳ سی سی کاهش یافته و پس از سرد شدن ظرف مقداری آب مقطر به آن اضافه شد و نمونه های محلول از طریق کاغذ صافی شماره ۴۵ صاف کرده و در بالن ۵۰ سی سی ریخته شد و با اسید نیتریک ۱ درصد به حجم ۵۰ سی سی رسانده شد. غلظت فلزات سنگین در هر دو نمونه خاک و ذرت با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل AA240Z ساخت کشور آمریکا تعیین شدند. حد تشخیص^۱ فلزات سرب، آرسنیک و کروم ۰/۰۰۲، ۰/۰۰۸ و ۰/۰۰۵ میلی گرم بر کیلوگرم به دست آمد و حد کمیت^۲ این فلزات به ترتیب ۰/۰۰۸، ۰/۰۰۲ و ۰/۰۰۱ میلی گرم بر کیلوگرم بود. محاسبه حد تشخیص و حد کمیت بر اساس الزامات استاندارد ISO/IEC17025:2017 و ISO

³ Estimated Daily Intake

⁴ Target Hazard Quotient

⁵ Carcinogenic Risk

⁶ Daily Food Consumption

⁷ Mean Metal Concentration

⁸ Oral Reference Dose

¹ Limits of Detection

² limits of Quantification

به ترتیب ۷۰ و ۱۵ کیلوگرم در نظر گرفته می شود (۲۳).
 TA میانگین زمان برای عوامل غیر سرطانزا ۳۶۵ روز
 سال در تعداد سال های مواجهه با فرض ۷۰ سال است
 (۲۰).

$$\text{THQ} = \frac{EF_t \times ED \times FIR \times C}{RfD \times BW \times TA} \times 10^3 \quad \text{رابطه ۲:}$$

اگر مقدار THQ فلز موردنظر کمتر از ۱ باشد، بعید است جمعیت در معرض خطر هیچ گونه خطر نامطلوب سلامتی را تجربه کند، اما اگر THQ مساوی یا بالاتر از ۱ باشد، خطر سلامتی بالقوه وجود دارد (۱۹). شاخص خطر سرطان زایی بر اساس تخمین جذب روزانه فلزات سنگین و فاکتور شیب سرطان^۱ محاسبه شد (رابطه ۳) (۲۲)، که در آن فاکتور شیب سرطان زایی برای فلزات سرب، آرسنیک، کادمیوم، نیکل و کروم ۰/۰۸۵، ۰/۱۵، ۰/۹۱ و ۰/۵ میلی گرم بر کیلوگرم در روز گزارش شده است (۲۴).
 EDI مقدار تخمینی مصرف روزانه فلزات سنگین است.

$$\text{CR} = \text{CSF} \times \text{EDI} \quad \text{رابطه ۳:}$$

شاخص خطر سرطان زایی بر اساس سطوح خطر قابل قبول برای مواد سرطانزا از 10^{-4} (خطر ابتلا به سرطان در طول زندگی انسان ۱ در ۱۰۰۰۰ است) تا 10^{-6} (خطر ابتلا به سرطان در طول زندگی انسان ۱ در ۱۰۰۰۰۰۰ است) تعیین می شود (۲۲).

شاخص انتقال فلزات مورد مطالعه با استفاده از رابطه ۴ محاسبه شد که در این رابطه C_{Plant} مقادیر فلزات در نمونه های ذرت و C_{Soil} غلظت فلزات در خاک می باشد (۲۵).

$$\text{TF} = C_{\text{Plant}} \div C_{\text{Soil}} \quad \text{رابطه ۴:}$$

تجزیه و تحلیل آماری مقادیر فلزات سنگین با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۱۹ و مقایسه دو به دو فصل و مناطق با استفاده از آزمون t مستقل و برای مقایسه ی گروهی از تجزیه و تحلیل واریانس یک طرفه (ANOVA) انجام شد.

یافته ها

غلظت فلزات سنگین در خاک مزارع کشاورزی ذرت در جدول ۱ ارائه شده است. مقایسه آماری آزمون t غلظت

سرب در خاک نشان داد دوره ی نمونه برداری در دو فصل تابستان و پاییز اختلاف معنی داری نداشت ($p > 0.05$)، اما در مورد مقادیر سرب در مزارع دو منطقه اختلاف معنی داری مشاهده شد ($p < 0.05$). غلظت آرسنیک در مزارع کشاورزی شوستر و اندیمشک در دو فصل تابستان و پاییز اختلاف معنی داری نداشت ($p > 0.05$)، اما کروم از نظر فصل تابستان و پاییز و مناطق نمونه برداری اختلاف معنی داری داشت ($p < 0.05$) (جدول ۱).

جدول ۱. میانگین غلظت فلزات سنگین (میلی گرم بر کیلوگرم) در خاک مزارع کشاورزی ذرت شهرهای شوستر و اندیمشک

فصل نمونه برداری	منطقه	سرب	آرسنیک	کروم
تابستان	اندیمشک	۱۳/۴±۱ ^a	۳/۵۴±۰/۳۴ ^a	۸۱/۲±۰/۱۲ ^a
	شوستر	۸/۱۴±۰/۸۱ ^b	۴/۵۲±۰/۰۵ ^a	۵۵/۲±۰/۲۵ ^b
پاییز	اندیمشک	۱۱/۴±۰/۱۴ ^a	۴/۵۶±۰/۴۹ ^a	۶۸/۶±۰/۳۶ ^c
	شوستر	۱۸/۴±۰/۸ ^b	۴/۸۴±۰/۰۴ ^a	۸۷/۷±۱ ^d

حروف متفاوت (a, b و ...) در هر ستون اختلاف معنی دار آماری را نشان می دهد ($P < 0.05$).

نتایج آزمون تجزیه ی واریانس یک طرفه نشان داد بین مقادیر سرب در دو دوره نمونه برداری، اختلاف معنی داری وجود داشته است ($p < 0.05$). مقادیر سرب در خاک در فصل پاییز بیشتر بوده است. اما بین مقادیر آن در مزارع مختلف در شهرهای شوستر و اندیمشک اختلاف معنی داری مشاهده نشده است ($p > 0.05$). در مورد فلز آرسنیک در خاک مزارع کشاورزی نتایج آزمون تجزیه ی واریانس یک طرفه نشان داد در دو دوره نمونه برداری در پاییز و تابستان اختلاف معنی داری وجود نداشت ($p > 0.05$)، اما غلظت آرسنیک در خاک مزارع کشاورزی در مناطق شوستر و اندیمشک اختلاف معنی داری داشت ($p < 0.05$). فلز کروم در خاک در دو فصل نمونه برداری و در مزارع مورد مطالعه اختلاف معنی داری نداشت ($p > 0.05$) (جدول ۲). میانگین سرب در ذرت مزارع کشاورزی شوستر بالاتر مزارع کشاورزی اندیمشک به دست آمد ($p < 0.05$)، اما غلظت آرسنیک و کروم در ذرت در مناطق نمونه برداری شده اختلاف معنی داری نداشت ($p > 0.05$) (جدول ۳). هم چنین مقایسه میانگین مقادیر سرب، آرسنیک و کروم نشان داد که در نمونه های ذرت در دو فصل تابستان و پاییز اختلاف معنی داری نداشتند ($p > 0.05$) (نمودار ۱).

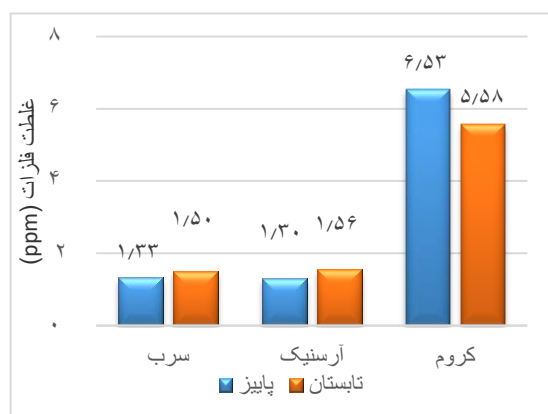
^۱Cancer Slope Factor

جدول ۲. تجزیه و تحلیل واریانس یک طرفه (ANOVA) فلزات در خاک مزارع کشاورزی ذرت شهرهای شوشتر و اندیمشک

فلزات	نمونه	نوع مقایسه	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	Sig
سرب	فصول	بین گروهی	۶۸/۰۵۴	۱	۶۸/۰۵۴	۱۲/۱۸۸	۰/۰۰۱
		درون گروهی	۳۲۳/۸۴۳	۵۸	۵/۵۸۴		
		مجموع	۳۹۱/۸۹۷	۵۹			
	مناطق	بین گروهی	۱۷/۴۴۶	۵	۳/۴۹۸	۰/۵۰۳	۰/۷۷۳
		درون گروهی	۳۷۴/۴۵۱	۵۴	۶/۹۳۴		
		مجموع	۳۹۱/۸۹۶	۵۹			
آرسنیک	فصول	بین گروهی	۰/۲۰۴	۱	۰/۲۰۴	۰/۳۶۲	۰/۵۵۰
		درون گروهی	۳۲/۷۳۸	۵۸	۰/۵۶۴		
		مجموع	۳۲/۹۴۲	۵۹			
	مناطق	بین گروهی	۹/۹۳۱	۵	۱/۹۸۶	۴/۶۶۱	۰/۰۰۱
		درون گروهی	۲۳/۰۱۱	۵۴	۰/۴۲۶		
		مجموع	۳۲/۹۴۲	۵۹			
کروم	فصول	بین گروهی	۱۹۰/۱۴۰	۱	۱۹۰/۱۴۰	۲/۰۸۱	۰/۱۵۵
		درون گروهی	۵۲۹۹/۶۲۸	۵۸	۹۱/۳۷۳		
		مجموع	۵۴۸۹/۷۶۸	۵۹			
	مناطق	بین گروهی	۲۳۸/۷۲۶	۵	۴۷/۷۴۵	۰/۴۹۱	۰/۷۸۲
		درون گروهی	۵۲۵۱/۰۴۲	۵۴	۹۷/۲۴۲		
		مجموع	۵۴۸۹/۷۶۸	۵۹			

جدول ۳. میانگین غلظت فلزات سنگین (میلی گرم بر کیلوگرم) در محصول زراعی ذرت مزارع کشاورزی شهرهای شوشتر و اندیمشک

فلزات	منطقه	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف استاندارد	Value-P	Sig
سرب	اندیمشک	۰/۱۲	۱/۱۱	۰/۵۵	۰/۲۸	۰/۰۰۴	p<۰/۰۵
	شوشتر	۱/۱۰	۲/۵۷	۱/۸۲	۰/۵۰		
آرسنیک	اندیمشک	۰/۱۷	۱/۸۵	۱/۲۶	۰/۵۸	۰/۴۳۲	p>۰/۰۵
	شوشتر	۱	۱/۹۰	۱/۴۶	۰/۲۶		
کروم	اندیمشک	۲/۲۲	۵/۷۹	۳/۸۶	۱/۳۱	۰/۶۷۸	p>۰/۰۵
	شوشتر	۴/۱۲	۴/۹۶	۴/۹۳	۰/۵۸		



نمودار ۱. مقایسه میانگین فلزات در نمونه‌های ذرت در دو دوره نمونه‌برداری مزارع کشاورزی شهرهای شوشتر و اندیمشک

بر اساس میانگین غلظت سرب ($1/39$) میلی گرم بر کیلوگرم) در نمونه های ذرت مزارع کشاورزی شاخص خطر غیرسرطان زایی (THQ) برای بزرگسالان و کودکان به ترتیب $1/98$ و $9/26$ بود. همچنین شاخص خطر سرطان زایی (CR) سرب برای بزرگسالان و کودکان به ترتیب $0/02584$ و $0/07395$ به دست آمد. شاخص خطر غیرسرطان زایی (THQ) آرسنیک ذرت مزارع کشاورزی استان خوزستان برای بزرگسالان و کودکان به ترتیب $2/62$ و $12/26$ بر اساس میانگین غلظت $1/38$

میلی گرم بر کیلوگرم به دست آمد. شاخص خطر سرطان زایی (CR) آرسنیک برای بزرگسالان و کودکان به ترتیب $4/53$ و $1/30$ بود. میانگین غلظت کروم در محصول زراعی ذرت $6/06$ میلی گرم بر کیلوگرم بود که شاخص خطر غیرسرطان زایی (THQ) و شاخص خطر سرطان زایی (CR) برای بزرگسالان $0/02$ و $6/635$ و برای کودکان $0/10$ و $1/905$ به دست آمد (جدول ۴).

جدول ۴. ارزیابی ریسک سلامت فلزات سنگین در محصول زراعی ذرت در مزارع کشاورزی استان خوزستان

فلزات	منطقه	تخمین جذب روزانه (EDI)		شاخص خطر غیرسرطان زایی (THQ)		شاخص خطر سرطان زایی (CR)	
		بزرگسالان	کودکان	بزرگسالان	کودکان	بزرگسالان	کودکان
سرب	اندیمشک	$1/20$	$0/34$	$0/78$	$3/66$	$1/02 \times 10^{-2}$	$2/89 \times 10^{-3}$
	شوشتر	$3/98$	$1/14$	$2/6$	$12/13$	$3/38 \times 10^{-2}$	$9/69 \times 10^{-3}$
	میانگین	$3/04$	$0/87$	$1/98$	$9/26$	$2/58 \times 10^{-2}$	$7/39 \times 10^{-3}$
آرسنیک	اندیمشک	$2/75$	$0/79$	$2/40$	$11/20$	$4/12$	$1/90$
	شوشتر	$3/19$	$0/91$	$2/78$	$12/97$	$4/78$	$1/37$
	میانگین	$3/02$	$0/86$	$2/62$	$12/26$	$4/53$	$1/30$
کروم	اندیمشک	$8/45$	$2/43$	$0/01$	$0/06$	$4/225$	$1/215$
	شوشتر	$10/79$	$3/10$	$0/01$	$0/08$	$5/395$	$1/550$
	میانگین	$13/27$	$3/81$	$0/02$	$0/10$	$6/635$	$1/905$

شاخص انتقال آرسنیک در دو فصل نمونه برداری در دو منطقه شوشتر و اندیمشک بالاتر از شاخص انتقال فلزات سرب و کروم به دست آمد. بالاترین مقادیر شاخص انتقال مربوط به آرسنیک در فصل تابستان در منطقه شوشتر ($0/44$) بود و پایین ترین مقادیر شاخص انتقال مربوط به فلز سرب در فصل پاییز در شهر اندیمشک ($0/01$) به دست آمد (جدول ۵).

جدول ۵. مقادیر شاخص انتقال فلزات در خاک مزارع کشاورزی ذرت شهرهای شوشتر و اندیمشک

فصل نمونه برداری	منطقه	سرب	آرسنیک	کروم
تابستان	اندیمشک	$0/08$	$0/32$	$0/04$
	شوشتر	$0/16$	$0/44$	$0/05$
پاییز	اندیمشک	$0/01$	$0/29$	$0/05$
	شوشتر	$0/11$	$0/28$	$0/07$

بحث

در این تحقیق در فصل پاییز غلظت سرب، آرسنیک و کروم در نمونه های خاک مزارع کشاورزی ذرت شهرستان شوشتر بالاتر از شهرستان اندیمشک بالاتر بود، اما در فصل

تابستان سرب و کروم در در نمونه های خاک مزارع کشاورزی ذرت شهرستان شوشتر پایین تر از شهرستان اندیمشک به دست آمد. همچنین غلظت آرسنیک در فصل تابستان در نمونه های خاک مزارع کشاورزی ذرت شهرستان شوشتر بالاتر از شهرستان اندیمشک بالاتر بود. شوشتر علاوه بر خاک آبرفتی دامنه زاگرس که بسیار حاصل خیز است دارای معادن گچ، آهک، سنگ ساختمانی، شن و ماسه است. شوشتر دارای دو شهرک صنعتی و صنایع مختلف نظیر کارخانه های صنایع غذایی آذین، شرکت گل پونه خوزستان، مجتمع صنایع غذایی سبزنام، شرکت پارس پترو شوشتر و کشت و صنعت کارون در شهر شوشتر نیز وجود دارد (۲۶). اندیمشک از شمال به خرم آباد، از جنوب به شوش، از غرب به دره شهر در استان ایلام و از شرق به دزفول می رسد از غرب به دهلران، از شمال شرق به سد دز و از شمال غرب به سد کرخه محدود می شود و از مهم ترین دپوهای راه آهن کشور است و جایگاه مهمی در خط آهن تهران به جنوب دارد. این شهر بخش زیادی از نیروی برق کشور را تامین می کند و سه سد

شوستر ۰/۰۸ میلی گرم بر کیلوگرم گزارش شده است (۲۶)، اما در این تحقیق مقادیر کروم در خاک مزارع کشاورزی ذرت در شهرهای شوستر و اندیمشک ۵۰-۹۰ میلی گرم بر کیلوگرم به دست آمد. تعیین غلظت های بالای فلز کروم در خاک می تواند به دلیل پساب کارخانه ها و کارگاه های صنعتی، دودها و بخارات وسایل نقلیه موتوری سبک و سنگین و ناخالصی موجود در کودهای شیمیایی باشد (۳۴). همچنین کروم در صنایع خودروسازی، آب-کاری، پتروشیمی، نیروگاهی، فولادسازی و الکترونیک کاربردهای متعددی دارد. پژوهشگران گزارش کردند که فلز کروم یکی از مهم ترین فلزات سنگین آلاینده منابع خاک می باشد و سبب آلودگی گیاهان و محصولات کشاورزی می شود (۳۵، ۳۶). غلظت آرسنیک در خاک مزارع برنج شوستر ۱۶/۱۱ میلی گرم بر کیلوگرم گزارش شده است (۳۷)، اما در این تحقیق مقادیر آرسنیک در خاک مزارع ذرت شوستر و اندیمشک ۳-۵ میلی گرم بر کیلوگرم به دست آمد. آرسنیک در مدت زمان طولانی به واسطه کودهای فسفاته در خاک افزایش می یابد (۳۷). به نظر می رسد پایین بودن غلظت آرسنیک در خاک می تواند به این دلیل باشد. شوستر به دلیل مزارع کشاورزی متعدد و کارخانه های صنایع غذایی و معادن شن و ماسه فراوان دارای تردد بالایی از خودروهای سبک و سنگین می باشد که می توانند سبب افزایش فلزات سرب، کروم و آرسنیک در خاک شوند. همچنین اندیمشک شهری است که گذرگاه عبور و مرور وسایل نقلیه سبک و سنگین و ورود به استان خوزستان از قسمت شمال غرب می باشد و به دلیل تردد کامیون ها و کشنده های باری متعدد و سفرهای پر شمار خودروهای سبک به استان های شمالی و مرکزی ایران می توانند سبب انتشار فلزات سرب، کروم و آرسنیک در خاک های نواحی اطراف این شهر شوند. میانگین سرب، کروم و آرسنیک در ذرت مزارع کشاورزی شوستر بالاتر از مزارع کشاورزی اندیمشک به دست آمد و نتایج نشان داد که فلزات مورد مطالعه در محصول ذرت مزارع کشاورزی دو شهر شوستر و اندیمشک شناسایی شدند. پژوهشگران در مطالعات و تحقیقات متعددی انباشته شدن غلظت فلزات سنگین را در ذرت گزارش کردند (۳۸، ۳۹، ۴۰). ذرت می تواند فلزات سنگین را از خاک های آلوده با انتقال آن ها از ریشه به شاخه به صورت

کرخه، دز و بالارود را در دل خود جا داده است. وجود معدن های سنگ آهک و دولومیت چناره، معدن شن، سنگ و گچ در ایستگاه شهبازان، چند سد و نیروگاه و قرار گرفتن در مسیر راه آهن سراسری و ترانزیت کشوری بر ارزش اقتصادی اندیمشک افزوده است (۲۷، ۲۸). پژوهشگران در مطالعات متعددی آلودگی کروم، سرب و آرسنیک را خاک های سطحی مزارع کشاورزی و شهری شوستر را گزارش کردند (۲۹، ۲۶). همچنین در مورد خاک های سطحی اندیمشک نیز آلودگی سرب، آرسنیک و کروم در ذرات معلق و خاک تایید شده است (۲۷، ۲۸). میانگین غلظت سرب در خاک مزارع ذرت شهرهای شوستر و اندیمشک در استان خوزستان از میانگین جهانی (۲۷ میلی گرم در کیلوگرم) و استاندارد کیفیت منابع خاک ایران از دیدگاه محیط زیست (۳۰۰ میلی گرم در کیلوگرم) (۳۰) پایین تر به دست آمد. همچنین در این پژوهش مقادیر فلزات سنگین سرب، آرسنیک، کروم، مس و روی در خاک های سطحی شوستر و اندیمشک نشان دادند که در مقایسه با استاندارد^۱ JRC (سرب، آرسنیک، کروم به ترتیب ۱۰۰، ۷۰، ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم) (۳۱) پایین تر بودند. در خصوص مقایسه مقادیر فلزات سنگین با حد مجاز استانداردها می بایست بیان کرد که شدت آلودگی خاک را نشان نمی دهد و فقط آلوده بودن یا عدم آلودگی خاک به فلزات سنگین را نشان می دهد (۳۱). در واقع حدود آستانه هر فلز اختصاصی است و خطرات هر فلز به طور جداگانه در نظر گرفته می شود (۳۲). همچنین حد مجاز فلزات سنگین در مناطق مختلف، کشورها و کاربری های مختلف متفاوت است (۳۳). مقادیر سرب در خاک مزارع صیفی جات و برنج شوستر به ترتیب ۱۸/۹۰ و ۴۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم گزارش شده است (۲۹، ۲۶) که نشان دهنده آلودگی سرب در خاک های منطقه شوستر دارند. فعالیت های شهری و پساب خانگی، دود آگروز ناشی از تردد خودروها و ترافیک شهری و سایش لنت ترمز، فرونشست های اتمسفری حاصل از صنایع و کارخانه ها و احتراق سوخت های فسیلی علل اصلی افزایش سرب در خاک هستند (۵، ۷). در تحقیقی غلظت کروم در خاک های مزارع صیفی جات

^۱ Joint Research Centre Institute for Environment and Sustainability Soil and waste Unit (JRC)

زیستی انباشته کند (۳۸). ذرت با توجه به قابلیت جذب فلزات سنگین و حساسیت به سطوح بالای آلودگی فلزات، به عنوان یک گیاه انباشته کننده و مقاوم به فلز به ویژه برای سرب، کادمیوم و روی در نظر گرفته می شود (۴۰). در یک مطالعه غلظت های بالای فلزات کروم و سرب در ذرت گزارش شده است (۳۸). انباشت بیش از حد فلزات سنگین در خاک های کشاورزی اغلب منجر به افزایش جذب فلزات سنگین توسط محصولات می شود (۸، ۱۵). فاکتور انتقال فلزات سرب، کروم و آرسنیک در ذرت مزارع کشاورزی شوشتر و اندیمشک پایین تر از ۱ به دست آمد. فاکتور انتقال فلزات یکی از اجزای کلیدی برای ارزیابی قرار گرفتن انسان در معرض فلزات از طریق زنجیره غذایی است (۴۱). مقادیر فاکتور انتقال فلزات بالاتر از ۱ نشان دهنده جذب بیشتر فلزات از خاک توسط گیاهان است که می تواند به سلامت انسان آسیب برساند. در مقابل، مقدار فاکتور انتقال فلزات کمتر از ۱ نشان دهنده واکنش ضعیف گیاه به جذب فلز است و گیاهان برای مصرف انسان ایمن هستند (۴۲). با این حال، اگر مقدار فاکتور انتقال فلزات بالاتر از ۱ باشد، نمی توان نتیجه گرفت که خاک تنها منبع آلودگی گیاهان به فلزات سنگین است. منبع فلزات سنگین در گیاهان می تواند از رسوب هوا یا سایر منابع ناشناخته باشد (۴۳).

بر اساس میانگین غلظت سرب و آرسنیک در نمونه های ذرت مزارع کشاورزی شوشتر و اندیمشک در فصول تابستان و پاییز، شاخص خطر غیرسرطان زایی (THQ) برای بزرگسالان و کودکان بالاتر از ۱ به دست آمد، اما شاخص خطر غیرسرطان زایی (THQ) کروم در محصول ذرت پایین تر از ۱ به دست آمد. با توجه به گزارش آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا، اگر مقدار THQ فلز موردنظر کمتر از ۱ باشد، بعید است جمعیت در معرض خطر هیچ گونه خطر نامطلوب سلامتی را تجربه کند، اما اگر THQ مساوی یا بالاتر از ۱ باشد، خطر سلامتی بالقوه وجود دارد (۱۹). شاخص خطر سرطان زایی (CR) سرب، آرسنیک و کروم در محصول زراعی ذرت مزارع کشاورزی شوشتر و اندیمشک برای بزرگسالان و کودکان بالاتر از 10^{-4} به دست آمد. شاخص خطر سرطان زایی (CR) بر اساس سطوح خطر قابل قبول برای مواد سرطان زا از 10^{-4} (خطر ابتلا به سرطان در طول زندگی انسان ۱ در ۱۰۰۰۰ است) تا 10^{-6} (خطر ابتلا به سرطان در طول زندگی انسان

۱ در ۱۰۰۰۰۰۰ است) تعیین می شود (۲۲). یک جنبه مهم در ارزیابی خطر برای سلامتی انسان از مواد شیمیایی بالقوه مضر در غذا، آگاهی از دریافت رژیم غذایی مواد غذایی مختلف است (۱۰). آرسنیک که یکی از سمی ترین فلزات در زنجیره ی غذایی است و در بسیاری از محیط ها وجود دارد. جذب و ورود آرسنیک در غلظت های بالا می تواند منجر به عواقب جدی سلامتی مانند سرطان مثانه، کلیه، کبد، ریه، پروستات و پوست شود (۶، ۳۷). خطرات سلامتی فلزات سرب و کروم در خاک مزارع کشاورزی گندم و محصول گندم در اطراف شهر شوشتر در منطقه عرب اسد و ویس گزارش شده است. با توجه به نتایج به دست آمده، به نظر می رسد به دلیل وجود فلز منگنز، مصرف گندم برای سلامتی در گروه های سنی مختلف خطرناک باشد. به طور کلی، نتایج ارزیابی خطر سلامتی فلزات سنگین در گندم نشان داد که مصرف این محصول می تواند اثرات نامطلوب حادی بر سلامت انسان داشته باشد (۴۴، ۴۵، ۴۶). غلظت سرب و کروم در محصول برنج در استان خوزستان به ترتیب $0/17$ و $0/69$ میلی گرم بر کیلوگرم و در خاک مزارع برنج $10/99$ و $81/23$ میلی گرم بر کیلوگرم گزارش شده است که مقادیر مربوط به کادمیوم در سطح خطرناک بود که مصرف برنج در استان خوزستان می تواند در طول زندگی مصرف کنندگان برنج باعث سرطان شود (۴۷). میانگین غلظت کادمیوم، نیکل، روی و مس در نمونه های ذرت مزارع کشاورزی در استان خوزستان در طول فصل تابستان و پاییز نشان داد مقادیر THQ برای فلزات سنگین مورد مطالعه در محصول ذرت برای کودکان بالاتر از ۱ بود. علاوه بر این، THQ برای نیکل در بزرگسالان بالاتر از ۱ بود که نشان دهنده ی خطر بالقوه ی سلامتی است. بنابراین، بر اساس تجزیه و تحلیل داده ها، THQ کادمیوم، نیکل، مس و روی در ذرت می تواند خطری برای سلامت انسان باشد. با توجه به نتایج شاخص خطر سرطان زایی کادمیوم، مصرف ذرت برای بزرگسالان و کودکان خطرناک به نظر می رسد (۴۸). به طور کلی استفاده بیش از حد از کودهای کشاورزی (فسفات و نیتрат)، فعالیت های صنعتی و انسانی می تواند آلودگی منابع و محصولات را افزایش دهد که اثرات جبران ناپذیری بر سلامت انسان به ویژه در خطر سرطان زایی دارد (۴۴، ۴۹). ورود پساب های شهری و روستایی و پساب کارخانجات صنعتی و معادن به منابع آبی و آلاینده های

خوزستان انجام شود. علاوه بر این، نظارت بر عناصر سمی مانند جیوه ضروری است. ارزیابی ریسک اکولوژیکی عناصر سمی در منطقه مورد مطالعه نیز باید انجام شود. نتایج حاصل از شاخص خطر سرطان زایی برای کادمیوم نشان می‌دهد که مصرف ذرت ممکن است خطرات سلامتی را برای بزرگسالان و کودکان ایجاد کند.

تشکر و قدردانی: نویسندگان مقاله مراتب تشکر و قدردانی را از معاونت پژوهشی دانشگاه اعلام می‌نمایند. شایان ذکر است با توجه به نوع روش این مطالعه در رابطه با حقوق مادی و معنوی جوامع انسانی و آسیب‌های وارده به حیات وحش هیچ‌گونه نقشی وجود نداشته است.

تعارض منافع: نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافع با یکدیگر ندارند.

حمایت مالی: نویسندگان مقاله در راستای کمک‌های مالی تشکر و قدردانی خود را از مدیریت و معاونت پژوهشی و همکاران محترم این دانشگاه اعلام می‌نمایند.

ملاحظات اخلاقی: این مقاله حاصل پایان‌نامه مقطع کارشناسی‌ارشد گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز می‌باشد. نویسندگان تمام نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند. همچنین هرگونه تضاد منافع حقیقی یا مادی که ممکن است بر نتایج یا تفسیر مقاله تاثیر بگذارد را رد می‌کنند.

سهم نویسندگان: نویسندگان مقاله خانم مریم محمدی‌روزبهانی، خانم زینب غلامی، خانم خوشنار پاینده و خانم سیما سبزه‌علیپور در مراحل مختلف انجام پژوهش شامل طراحی و ایده، نمونه‌برداری، عملیات آزمایشگاهی و نگارش مقاله همکاری متقابل داشتند.

References

1. Tomczyk P, Wdowczyk A, Wiatkowska B, Szymanska-Pulikowska A. Assessment of heavy metal contamination of agricultural soils in Poland using contamination indicators. Ecological Indicators. 2023;156:111161. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.111161>
2. Mai X, Tang J, Tang J, Zhu X, Yang Z, Liu X, Zhuang X, Feng G, Tang L. Research progress on the environmental

ناشی از فعالیت‌های نفتی و پتروشیمی و نفوذ به خاک‌های سطحی اطراف می‌تواند سبب افزایش غلظت فلزات سنگین در خاک شود. همچنین منابع طبیعی شامل هوازدگی خاک و سنگ، فرسایش محیطی، آتش‌سوزی جنگل‌ها و فوران‌های آتشفشانی می‌توانند باعث ورود و جذب فلزات سنگین در منابع خاک شوند (۵۰، ۵۱).

نتیجه‌گیری

توانایی گیاه ذرت برای انباشت فلزات از خاک به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر تعدادی از عوامل دیگر علاوه بر غلظت فلزات سنگین در خاک است. با این حال، بر اساس نتایج مطالعه حاضر، این نتیجه حاصل شد که ذرت می‌تواند فلزات را جذب و انباشته کند. با توجه به مقادیر فاکتور انتقال فلزات آرسنیک، سرب و کروم می‌توان چنین بیان کرد که ذرت در جذب فلزات توانایی پایینی دارد. همچنین بنابراین با توجه به تحلیل داده‌ها برای شاخص خطر غیرسرطان‌زایی (THQ) و شاخص خطر سرطان‌زایی (CR) فلزات مورد مطالعه می‌توانند برای سلامت انسان خطرناک باشند، اما شاخص خطر غیرسرطان‌زایی (THQ) برای فلز کروم برای بزرگسالان و کودکان و شاخص خطر غیرسرطان‌زایی (THQ) کادمیوم و مس برای بزرگسالان مشکلی ایجاد نمی‌کند. یکی از محدودیت‌های مهم این مطالعه چالش انجام نمونه‌گیری همزمان در دو منطقه شوشتر و اندیمشک بود که از نظر لجستیکی فاصله دارند. علاوه بر این، شرایط آب‌وهوایی، به‌ویژه دمای بسیار بالا در طول فصل تابستان، چالش‌های بیشتری را برای این تحقیق ایجاد کرد. بر اساس نتایج این مطالعه، توصیه می‌شود که ارزیابی ریسک سلامتی برای عناصر بالقوه سمی در سایر محصولات کشاورزی پرمصرف استان

risk assessment and remediation technologies of heavy metal pollution in

agricultural soil. Journal of Environmental Sciences. 2024;149:1-20.

<https://doi.org/10.1016/j.jes.2024.01.045>
PMid:39181626

3. Karyab H, Emamjomeh M M, Zakariaie S. Risk assessment of exposure to heavy metals (Pb, Cd, Cr, and Ni) in the hazardous solid wastes identified in the wastewater treatment plant of industrial city. Iranian Journal of Health and

- Environment. 2023;15(4):601-616. [In Persian].
4. Selahvarzi M, Sobhanardakani S, Hemmasi A H, Taghavi L, Ghoddousi J. Contamination and source apportionment of iron, zinc, cadmium and chromium elements in surface soil of Khorramabad county, Iran. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2023;15(4):651-670. [In Persian].
 5. Dadban Shahamat Y, Mohammadi H, Sangbari N, Roshandel G, Ghahrchi M. Investigation of Pb and Cd concentrations in drinking water samples of Gorgan water supply network: preparation of zoning maps by geographic information system. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2022; 15(1):181-192. [In Persian].
 6. Bhardwaj S, Soni R, Gupta SK, Shukla DP. Mercury, arsenic, lead and cadmium in waters of the Singrauli coal mining and power plants industrial zone, Central East India. *Environmental monitoring and assessment*. 2020;192(4):251. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-8225-2> PMID:32215781
 7. Angon PB, Islam MS, Kc S, Das A, Anjum N, Poudel A, Suchi SA. Sources, effects and present perspectives of heavy metals contamination: Soil, plants and human food chain. *Heliyon*. 2024;10 (7): e28357. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28357> PMID:38590838 PMCID:PMC10999863
 8. Singh S, Parihar P, Singh R, Singh VP, Prasad SM. Heavy metal tolerance in plants: role of transcriptomics, proteomics, metabolomics, and ionomics. *Frontiers in plant science*. 2016;6:1143. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.01143> PMID:26904030 PMCID:PMC4744854
 9. Tiwari S, Lata C. Heavy metal stress, signaling, and tolerance due to plant-associated microbes: an overview. *Frontiers in plant science*. 2018;9:452. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00452> PMID:29681916 PMCID:PMC5897519
 10. Rai PK, Lee SS, Zhang M, Tsang YF, Kim KH. Heavy metals in food crops: Health risks, fate, mechanisms, and management. *Environment international*. 2019 Apr 1;125:365-85. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.01.067> PMID:30743144
 11. Alengebawy A, Abdelkhalek ST, Qureshi SR, Wang MQ. Heavy metals and pesticides toxicity in agricultural soil and plants: Ecological risks and human health implications. *Toxics*. 2021;9(3):42. <https://doi.org/10.3390/toxics9030042> PMID:33668829 PMCID:PMC7996329
 12. Xiao R, Wang S, Li R, Wang JJ, Zhang Z. Soil heavy metal contamination and health risks associated with artisanal gold mining in Tongguan, Shaanxi, China. *Ecotoxicology and environmental safety*. 2017;141:17-24. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.03.002> PMID:28285205
 13. Abbasi N, Mohammadi Galangash M. Investigation of heavy metal concentrations in agricultural topsoil of Miandoab landfill area. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2024;17(2):343-358. [In Persian].
 14. Moavi Z, Payandeh K, 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. [In Persian].
 15. Ghayour S, Rezaee A, Heidari M. Assessment of pollution level and health risk of some trace elements in agricultural lands around Tehran. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2023; 16(1):69-84. [In Persian].
 16. Bahemuka TE, Mubofu EB. Heavy metals in edible green vegetables grown along the sites of the Sinza and Msimbazi rivers in Dar es Salaam, Tanzania. *Food Chemistry*. 1999;66(1):63-66. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00213-1](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00213-1)
 17. Johnson CM, Ulrich A. *Analytical Methods for Use in Plant Analysis*.

Bulletin 766. University of California Agricultural Experiment Station, Berkeley, C A. 1959.

18. Kimbrough DE, Wakakuwa JR. Acid digestion for sediments, sludges, soils, and solid wastes. A proposed alternative to EPA SW 846 Method 3050. Environmental science & technology. 1989;23(7):898-900.

<https://doi.org/10.1021/es00065a021>

19. USEPA. Risk assessment guidance for superfund. Human Health Evaluation Manual , Part A. EPA/540/1 - 89/002. Office of Health and Environmental Assessment, Washington, DC, USA. 1989.

20. Ullah AA, Maksud MA, Khan SR, Lutfu LN, Quraishi SB. Dietary intake of heavy metals from eight highly consumed species of cultured fish and possible human health risk implications in Bangladesh. Toxicology Reports. 2017;4:574-579.

<https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2017.10.002> PMID:29152462 PMCID:PMC5671616

21. Kheirabadi H, Afyuni M, Ayoubi S, Soffianian A. Risk assessment of heavy metals in soils and major food crops in the province of Hamadan. JWSS-Isfahan University of Technology. 2016;19(74):27-38. [In Persian].

<https://doi.org/10.18869/acadpub.jstnar.19.74.3>

22. UEPA. Risk-based concentration table. Philadelphia PA: United States Environmental Protection Agency, Washington DC. 2000.

23. 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;163:153-164.

<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.07.057> PMID:30053585

24. Wang X, Sato T, Xing B, Tao S. Health risks of heavy metals to the general public in Tianjin, China via consumption of vegetables and fish. Science of the Total Environment. 2005;350(1-3):28-37.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.09.044> PMID:16227070

25. Zacchini M, Pietrini F, Scarascia Mugnozza G, Iori V, Pietrosanti L, Massacci A. Metal tolerance, accumulation and translocation in poplar and willow clones treated with cadmium in hydroponics. Water, Air, and Soil Pollution. 2009;197:23-34.

<https://doi.org/10.1007/s11270-008-9788-7>

26. Payandeh K. Ecological and Human Health Risks Assessment of Potentially Toxic Elements Contamination of Surface Soils in Shushtar and Dezful, Iran. Journal of Advances in Environmental Health Research. 2023;11(1):28-39.

<https://doi.org/10.34172/jaehr.2023.04>

27. Hosseini Mousavi F, Gholami A, and Hani A. Determining the dispersion of lead and cadmium heavy elements in surface soils of Andimeshek city. National Conference on Optimal Use of Water Resources, Dezful, 2012; 7 p. [In Persian].

28. Rajabi M, Biranvand M. Evaluation of Amount of Concentration and Contamination Levels of Heavy Metals Among Dust-Fall Particles in Sanandaj, khorramabad and Andimeshk. Environmental Sciences. 2015;13(4):9-16. [In Persian].

29. Mousavi Mourd Ghafari S M, Payandeh K, Goosheh M. Evaluation of cancer risk index of cadmium, lead and nickel heavy metals in agricultural lands of some cities of Khuzestan province. Archives of Hygiene Sciences. 2023; 12(4):161-168.

<https://doi.org/10.34172/AHS.12.4.3.314>

30. United States Environmental Protection Agency (USEPA), "User's Guide (EB/OL).

31. Hamzenejhad R. Quantitative assessment of soil heavy metals pollution. *Applied Soil Research*. 2020;8(2):37-52. [In Persian].
32. Ansari A, Rahnavard A, Savadkouhi F. Estimation of Pb and Cadmium Heavy Metals Concentrations in Lenjan Soil Using Ground Measurement and Satellite Imaging. *Journal of Environmental Science Studies*. 2021;6(1):3459-3465. [In Persian].
33. Sadr S, Movahedi Rad Z. Investigating the spatial pattern of total selenium concentration in soil surface in Central Iran (case study: Isfahan Province). *Environmental Sciences*. 2020;18(3):106-121. [In Persian].
<https://doi.org/10.29252/envs.18.3.106>
34. Saleh J, Hosseini Y, Saleh I. Evaluation of Chromium Contamination in Tomato Farms (Case study: Western Hormozgan Province). *Journal Of Agroecology*. 2021;13(3):507-517. [In Persian].
35. Tavakoli AR, Yargholi B, Akhyani A. Chromium Contamination in Water, Soil and Agricultural Products of Mayamey Area. *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 2022;2423:7833. [In Persian].
36. Sharma DC, Sharma CP, Tripathi RD. Phytotoxic lesions of chromium in maize. *Chemosphere*. 2003;51(1):63-68.
[https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(01\)00325-3](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(01)00325-3) PMid:12586157
37. Shirzad B, Khakipour N. Investigation the Contamination of Heavy Metals Lead, Cadmium and Arsenic in High Consumption Rice Samples of Anbarbo in Some Parts of Khuzestan Province. *Food Technology & Nutrition*. 2022; 19(1):45-54. [In Persian].
38. Aladesanmi OT, Oroboade JG, Osisioogu CP, Osewole AO. Bioaccumulation factor of selected heavy metals in Zea mays. *Journal of Health and Pollution*. 2019;9(24):191207.
<https://doi.org/10.5696/2156-9614-9.24.191207> PMid:31893168
PMCID:PMC6905145
39. Atta MI, Zehra SS, Ali H, Ali B, Abbas SN, Aimen S, Sarwar S, Ahmad I, Hussain M, Al-Ashkar I, Elango D. Assessing the effect of heavy metals on maize (*Zea mays* L.) growth and soil characteristics: plants-implications for phytoremediation. *PeerJ*. 2023;11:e16067.
<https://doi.org/10.7717/peerj.16067>
PMid:39991009 PMCID:PMC11843480
40. Alushllari M, Civici N, Deda A. The bioaccumulation factor of essential metals in maize plant. *Science Agriculture*. 2014;5(2):76-79.
41. Rehman ZU, Sardar KH, Shah MT, Brusseau ML, Khan SA, Mainhagu J. Transfer of heavy metals from soils to vegetables and associated human health risks at selected sites in Pakistan. *Pedosphere*. 2018;28(4):666-79.
[https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(17\)60440-5](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60440-5) PMid:31123392
42. Mirecki N, Agic R, Sunic L, Milenkovic L, Ilic ZS. Transfer factor as indicator of heavy metals content in plants. *Fresenius environmental bulletin*. 2015;24(11c):4212-9.
43. Yan X, Zhang F, Zeng C, Zhang M, Devkota LP, Yao T. Relationship between heavy metal concentrations in soils and grasses of roadside farmland in Nepal. *International journal of environmental research and public health*. 2012;9(9):3209-26.
<https://doi.org/10.3390/ijerph9093209>
PMid:23202679 PMCID:PMC3499862
44. Mansouri Moghadam S, Payandeh K, Koushafar A, Goosheh M, Rouzbahani MM. Human health risk assessment and carcinogenicity due to exposure to potentially toxic elements on soil pollution in Southwest Iran. *Clinical Epidemiology and Global Health*. 2024;25:101492.
<https://doi.org/10.1016/j.cegh.2023.101492>
45. Mansouri Moghadam S, Payandeh K, Kooshafar A, Goosheh M, Mohammadi Roozbahani M. Health Risk Assessment of Heavy Metals in Wheat Farms in the Northern Regions of Ahvaz. *Journal of Advances in Environmental Health Research*. 2022;10(4):291-304.
<https://doi.org/10.32598/JAEHR.10.4.1263>

46. Mansouri Moghadam S, Payandeh K, Koushifar A, Goosheh M, Mohammadi Rouzbahani M. Level of heavy metals and environmental pollution index in Ahvaz, Southwest Iran. *Scientific Reports*. 2024;14(1):14754.
<https://doi.org/10.1038/s41598-024-64192-4> PMid:38926447 PMCID:PMC11208444
47. Fouladi M, Mohammadi Rouzbahani M, Attar Roshan S, Sabz Alipour S. Health risk assessment of potentially toxic elements in common cultivated rice (*Oryza sativa*) emphasis on environmental pollution. *Toxin Reviews*. 2021;40(4):1019-34.
<https://doi.org/10.1080/15569543.2020.1818106>
48. Gholami Z, Mohammadi Rouzbahani M, Payandeh K, Sabzalipour S. Health risk assessment of potentially toxic elements of corn fields in southern Iran. *Toxin Reviews*. 2024:1-11.
<https://doi.org/10.1080/15569543.2024.2414098>
49. Abbaszadeh H, Roozbahani MM, Sobhanardakani S. Use of *Ziziphus spina-christi* and *Prosopis cineraria* leaves as bio-indicators of environmental pollution emitted from industrial areas. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2019; 12 (1): 87-100. [In Persian].
50. Ghanavati Asl A, Nabavi SM, Mohammadi Roozbahani M, Sabzalipour S, Monavari SM. Investigating four Metal (Ni, V, Co, Fe) and Organic (Petroleum) Pollutants in the Sediments of Nayband Gulf. *Environmental Researches*. 2023;14(27):305-323. [In Persian].
51. Ghanavati Asl A, Nabavi SM, Rouzbahani MM, Alipour SS, Monavari SM. Evaluation of metals contamination using ecological quality indices in the Nayband bay (Northern Persian Gulf, Iran): As one of the biggest petrochemical regions in the world. *Regional Studies in Marine Science*. 2022;53:102397.
<https://doi.org/10.1016/j.rsma.2022.102397>