JEHE Alborz University of Medical Sciences Journal of Environmental Health Engineering , 2025; 13(2):215-232 Original Article

# Assessment of Potentially Toxic Elements Contamination of Soils in Agricultural Farms Northeast of Ahvaz in the Veys Region

Received: 08 April 2025, Accepted: 21 May 2025

**Khoshnaz Payandeh[1*], Mehdi Forouzanfar[2], Anna Pinnarelli[3], Ahad Nazarpour[4], Mohammad Velayatzadeh[5], Vahid Mirahi[2]**

[1] *Department of Soil Science, Ahv.C., Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.*
[2] *Department of Electrical Engineering, Ahv.C., Islamic Azad University, Ahvaz, Iran*
[3] *Department of Mechanical Energy and Management Engineering (DIMEG), University of Calabria, Cosenza, Italy*
[4] *Department of Geology, Ahv.C., Islamic Azad University, Ahvaz, Iran*
[5] *Young Researchers and Elites Club, Ahv.C., Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.*

***Corresponding Author:**
khpayandeh@iau.ac.ir

**How to Cite This Article:**
Payandeh K, Forouzanfar M, Nazarpour A, Velayatzadeh M, Mirahi V, Pinarelli A. Assessment of potentially toxic elements contamination of soils in agricultural farms northeast of Ahvaz in the Veys region. Journal of Environmental Health Engineering. 2025;13(2):215–32.

**DOI:**

## ABSTRACT

**Background:** The Veys region in Khuzestan Province is one of the important agricultural regions in the northeast of Ahvaz, where various vegetables, herbs, and grains are grown in its fields. The present study was conducted in the autumn of 2024 with the aim of evaluating the status of potentially toxic elements in the soil of agricultural fields in the city of Veys.

**Materials and Methods:** In this study, 80 samples were taken from the surface soils of agricultural fields in the Veys region in the northeast of Ahvaz. A Varian 710-ES ICP-AES atomic absorption-plasma device manufactured by Agilent, USA, was used to measure metals.

**Results:** The average $C_f$, Cdeg, mCd and PLI of toxic elements in the surface soils of agricultural fields in the city of Veys, northeast of the Ahvaz metropolis were 1.46, 14.41, 2.40 and 1.23. Also, the NIPI and the Er index of toxic elements were calculated to be 5.19 and 260.05. The highest carcinogenic risk index of toxic elements in the surface soils was obtained for chromium metal for children ($1.52\times10^{-1}$) and adults ($4.79\times10^{-2}$). The lowest carcinogenic risk index for adults was for cadmium metal ($9.20\times10^{-3}$) and for children it was for arsenic metal ($9\times10^{-2}$).

**Conclusion:** The values of $C_f$, Igeo and Er showed that the soils of the studied areas are contaminated with potentially toxic elements. Evaluation of the non-carcinogenic risk index and carcinogenic risk index of potentially toxic elements of surface soils of agricultural fields in the northeastern city of Weiss showed that the elements Cd, Pb, As, Cu, Zn and Cr do not pose a problem for human health.

**Keywords:** Pollution of agricultural fields, potentially toxic elements, human health risk, ecological hazard

[ Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-09-16 ]

Copyright © 2025 The Authors.
Published by Alborz University of Medical Sciences
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International License. (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).Non-commercial uses of the work are permitted,provided the original work is properly cited.

JEHE
مجله مهندسی بهداشت محیط، دوره ۱۳، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۴، صفحات ۲۱۵ تا۲۳۲
Alborz University of Medical Sciences
مقاله پژوهشی

# ارزیابی آلودگی عناصر بالقوه سمی خاک مزارع کشاورزی شمال شرق اهواز در منطقه ویس

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۳۱

**خوشناز پاینده[۱*]، مهدی فروزانفر[۲]، آنا پینارلی [۳]، احد نظرپور [۴] ، محمد ولایت زاده [۵] ، وحید میراهی [۲]**

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

[۲] گروه مهندسی برق، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

[۳] دانشکده مهندسی مکانیک، انرژی و مدیریت، دانشگاه کالابریا، کوزانزا، ایتالیا

[۴] گروه زمین شناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

[۵] باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

***پست الکترونیکی نویسنده مسئول:**
khpayandeh@iau.ac.ir

**نحوه استناد به این مقاله:**
Payandeh K, Forouzanfar M, Nazarpour A, Velayatzadeh M, Mirahi V, Pinarelli A. Assessment of potentially toxic elements contamination of soils in agricultural farms northeast of Ahvaz in the Veys region. Journal of Environmental Health Engineering. 2025;13(2):215–32.

**DOI:**

## چکیده

**زمینه و هدف:** منطقه ویس در استان خوزستان یکی از مناطق مهم کشاورزی در شمال شرق اهواز می باشد که محصولات مختلف سبزیجات، صیفی‌جات و غلات در مزارع آن کشت می‌گردد. پژوهش حاضر در پاییز سال ۱۴۰۳ با هدف ارزیابی وضعیت عناصر بالقوه سمی در خاک مزارع کشاورزی شهر ویس انجام شد.

**مواد و روش ها:** در این تحقیق ۸۰ نمونه از خاک‌های سطحی مزارع کشاورزی منطقه ویس در شمال شرق اهواز نمونه‌برداری شد. برای سنجش فلزات از دستگاه جذب اتمی ـــ پلاسما ICP-AES مدل Varian 710-ES ساخت شرکت اجیلنت آمریکا استفاده شد.

**یافته ها:** میانگین فاکتور آلودگی، درجه آلودگی، درجه آلودگی اصلاح شده و شاخص بار آلودگی عناصر باقوه سمی در خاک‌های سطحی مزارع کشاورزی شهر ویس شمال شرق کلانشهر اهواز ۱/۴۶، ۱۴/۴۱، ۲/۴۰ و ۱/۲۳ بود. همچنین شاخص آلودگی نمرو و شاخص خطر زیستی عناصر باقوه سمی ۵/۱۹ و ۲۶۰/۰۵ محاسبه شدند. بالاترین شاخص خطر سرطان‌زایی عناصر باقوه سمی خاک های سطحی مربوط به فلز کروم برای کودکان($۱/۵۲\times۱۰^{-۱}$) و بزرگسالان ($۴/۷۹\times۱۰^{-۲}$) به دست آمد. پایین‌ترین شاخص خطرسرطان زایی برای بزرگسالان مربوط به فلز کادمیوم ($۹/۲۰\times۱۰^{-۳}$) و برای کودکان مربوط به فلز آرسنیک ($۹\times۱۰^{-۲}$) بود.

**نتیجه گیری:** مقادیر شاخص های فاکتور آلودگی، زمین انباشتگی و خطر بوم شناسی نشان داد که خاک مناطق مورد مطالعه به عناصر بالقوه سمی آلودگی دارند. ارزیابی شاخص خطر غیرسرطان‌زایی و شاخص خطر سرطان‌زایی عناصر بالقوه سمی خاک‌های سطحی مزارع کشاورزی شهر ویس شمال شرق نشان داد که عناصر کادمیوم، سرب، آرسنیک، مس، روی و کروم برای سلامتی انسان مشکلی ایجاد نمی کنند.

**واژه های کلیدی:** آلودگی مزارع کشاورزی، عناصر بالقوه سمی، ریسک سلامت انسان، مخاطره بوم شناسی

[ Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-09-16 ]

## مقدمه

جهان در حال شهرنشینی سریع و پیشرفت بی‌سابقه‌ای است که تأثیرات عمیقی بر منابع مختلف نظیر آب و خاک در سراسر جهان دارد[1]. در بسیاری از مناطق، استقرار و رشد شهرها به‌طور مستقیم تحت تأثیر دسترسی به آب و خاک قابل استفاده است[2]. رشد جمعیت انسانی در محیط‌های شهری و روستایی با افزایش متعاقب پسماندهای تولید شده از فعالیت‌های مسکونی، تجاری و صنعتی همراه بوده است[3] که در نهایت منجربه آلودگی منابع مورد نیاز انسان نظیر آب و خاک می‌شوند[4]. علاوه بر این صنعتی شدن، استخراج معادن، استفاده گسترده از مواد شیمیایی و سموم کشاورزی، مدیریت ضعیف حفاظت از زمین و محیط‌زیست، اقدامات غیربهداشتی و مصرف بیش از حد آب به‌طور قابل توجهی در افزایش آلاینده‌ها و کاهش کیفیت خاک‌های کشاورزی نقش دارند[5].

عناصر سمی بالقوه[1] مانند سرب، کادمیوم و آرسنیک در خاک‌های کشاورزی برای سال‌ها به‌عنوان یک موضوع مهم زیست‌محیطی در جهان مطرح شده‌اند[4] و انباشت این عناصر در خاک‌های کشاورزی ناشی از صنعتی شدن مناطق مختلف جهان می‌باشد[1,2,6,7,8]. عناصر بالقوه سمی به فلزات، متالوئیدها و غیرفلزاتی اطلاق می‌شود که به‌دلیل شدت و سمیت آن‌ها برای اشکال مختلف حیات، در بین بزرگترین گروه‌های تهدید کننده آلاینده‌های محیطی طبقه‌بندی می‌شوند[9]. عناصر بالقوه سمی به‌طور طبیعی وجود دارند و چگالی آن‌ها می‌تواند بیشتر از ۵ گرم در سانتیمتر مکعب بوده و اعداد اتمی این عناصر بیشتر از ۲۰ باشد[10]. با توجه به خطرات بهداشتی و سلامتی، عناصر بالقوه سمی معمولاً به‌عنوان غیر سرطان‌زا مانند آهن، منگنز، روی و سرطان‌زا مانند آرسنیک، کادمیوم و سرب برای انسان طبقه‌بندی می‌شوند[4].

ویژگی‌های عناصر سمی بالقوه در منابع خاک مانند انباشت زیستی، سمیت زیاد و تحرک بالا می‌تواند خطر مستقیم یا غیرمستقیم برای سلامت انسان داشته باشد[5]. فعالیت‌های انسانی فشرده مانند فعالیت‌های صنعتی، معدنی و کشاورزی از عوامل اصلی آلودگی عناصر سمی بالقوه در خاک هستند[8]. کودهای شیمیایی عملکرد محصول را در تولیدات کشاورزی بسیار افزایش می‌دهند، با این حال ناخالصی‌ها، به‌ویژه عناصر سمی بالقوه در کودهای معدنی یا آلی به خاک کشاورزی اضافه می‌شوند که ممکن است خطر بالایی برای تولید محصول داشته باشد[11]. کوددهی به‌عنوان یک مسیر ورودی مهم عناصر سمی بالقوه در خاک شناخته شده است و تجمع در خاک با نرخ‌های نسبتا کم، اما در مقیاس‌های بزرگ صورت می‌گیرد[2]. برخی از عناصر سمی بالقوه از جمله روی، مس و کادمیوم و همچنین مواد مغذی اجزای طبیعی در کودهای دامی هستند. بنابراین با توجه به منابع و منشا مختلف و متعدد عناصر سمی بالقوه، آلودگی خاک با این نوع آلاینده‌ها ممکن است تشدید شود[5].

تنوع مکانی عناصر سمی بالقوه در خاک ممکن است به ترکیبی از عوامل متعدد نسبت داده شود. سطوح طبیعی این عناصر عمدتاً توسط مواد اولیه و فرآیندهای هوازدگی و فرسایش منشا می‌شود[8]. منابع انسانی مهم عناصر فلزی در خاک‌های کشاورزی شامل کاربرد کودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها و سموم علف‌کش، به‌ویژه برای کادمیوم و روی است[1]. انتشارات صنعتی، اگزوز وسایل نقلیه و احتراق سوخت‌های فسیلی نیز می‌تواند منجر به غنی‌سازی قابل توجه عناصر سمی بالقوه در خاک‌های کشاورزی مانند سرب و جیوه شود[3]. علی‌رغم پیشرفت قابل توجه، تمایز غنی‌سازی طبیعی از انسانی این عناصر سمی بالقوه در مقیاس فضایی که هر دو منبع بالقوه را در بر می‌گیرد، همچنان یک چالش است و بنابراین یک اولویت تحقیقاتی است[6].

عناصر سمی بالقوه مانند سرب، کادمیوم، آرسنیک، کروم و نیکل با سرطان در قسمت‌های مختلف بدن که شامل قلب، کلیه، کبد، معده، خون، استخوان، سیستم عصبی می‌شود،

1.Potentially toxic elements

[ Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-09-16 ]

مرتبط هستند[۱۲]. عناصر سمی غیر قابل تجزیه هستند که باعث ایجاد اثرات مسمومیت، جهش‌زایی و سرطان‌زایی در موجودات زنده می‌شوند[۹]. این آلاینده‌ها علاوه بر اینکه توانایی ذخیره در اندام‌های مختلف بدن را دارند، تماس طولانی با کادمیوم، مس، سرب، نیکل، آرسنیک، کروم و روی می‌تواند منجربه مشکلات در انسان شود[۱۳]. عناصر سمی باعث تشدید تومور و جهش در جانوران و انسان می شوند. آن‌ها توانایی ایجاد آسیب ژنتیکی به سلول‌های جنسی هر دو جنس نر و ماده را دارند[۸]. مواد غذایی آلوده به عناصر سمی می توانند برخی از مواد مغذی حیاتی بدن را به شدت کاهش دهند و سبب ناتوانی‌های مرتبط با سوء تغذیه و بروز بیشتر سرطان، به‌ویژه سرطان دستگاه گوارش فوقانی شوند[۱۴]. مقادیر بالای برخی عناصر سمی ممکن است سبب کم‌خونی و یک بیماری خونی در انسان شود. راه‌های گزارش شده برای اتصال فلزات سنگین به بدن انسان شامل تنفس مستقیم هوای آلوده، نوشیدن آب آلوده و تماس مستقیم با خاک و مصرف مواد غذایی شامل گیاهانی است که در خاک آلوده به فلزات ایجاد شده‌اند[۷،۱۰].

پژوهشگران در یک مطالعه درمورد عناصر سمی بر روی خاک مزارع گندم در شمال شهر اهواز گزارش کردند که به طور کلی، استفاده بیش از حد از کودهای کشاورزی (فسفات و نیترات)، فعالیت‌های صنعتی و انسانی می‌تواند آلودگی منابع و محصولات را افزایش دهد که اثرات جبران‌ناپذیری بر سلامت انسان، به ویژه در ریسک سرطان‌زایی، دارد[۱۱]. Mousavi Mourd Ghafari و همکاران (۲۰۲۳) گزارش کردند طبق محاسبه شاخص‌های آلودگی، خاک مزارع کشاورزی باغملک، شاوور و شوشتر آلوده به فلزات سنگینی مانند کادمیوم، سرب و نیکل بوده و منشأ انسانی دارند. همچنین نشان دادند شاخص ریسک فلزات سنگین کمتر از ۱ بود، تنها در مورد فلز سرب در کودکان، جذب از طریق بلع بالاتر از ۱ بود. شاخص ریسک سرطان‌زایی نیز نشان داد که فلز نیکل پتانسیل سرطان‌زایی برای کودکان دارد[۱۵]. در مطالعه دیگری Pour Abbasi و همکاران (۲۰۲۴) بر روی فلزات سنگین خاک‌های سطحی دشت های سنندج و اسلام آباد غرب در کرمانشاه گزارش کردند غنی شدگی فلز آهن به شدت زیاد و منگنز بسیار زیاد و فاکتور غنی شدگی آلومینیوم، جیوه و کادمیوم زیاد و نیکل، مس و آرسنیک در منطقه اسلام‌آباد غنی شدگی متوسط دارند. بر اساس این شاخص می‌توان چنین استنباط کرد که خاک‌های مناطق اسلام‌آباد و سنندج تحت تاثیر فلزات سنگین منابع انسان زاد در منطقه هستند[۱۶]. در تحقیق دیگری درخصوص آلودگی فلزات سنگین شامل سرب، روی، مس، آرسنیک، کروم و کادمیوم در خاک‌های سطحی اهواز گزارش شد که میزان آرسنیک، کروم و کادمیوم در خاک سطحی اهواز بالاتر از مقادیر استاندارد خاک ایران بود؛ با این حال، میزان سرب، روی و مس کمتر بود. بر اساس شاخص‌های ریسک اکولوژیکی، خاک‌های سطحی به شدت به کادمیوم و سرب آلوده بودند[۱۷]. Payandeh (۲۰۲۳) گزارش کرد خطر اکولوژیکی کادمیوم در خاک‌های سطحی دزفول و شوشتر بیشتر از سرب، روی، مس، کروم و نیکل بود و کادمیوم، سرب و مس باعث آلودگی زیاد در خاک‌های شوشتر و دزفول شده‌اند که به دلیل فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و شهری در این مناطق است[۱۸].

این تحقیق با هدف تعیین وضعیت میزان عناصر بالقوه سمی و ارزیابی آلودگی کادمیوم، سرب، آرسنیک، مس، روی و کروم در خاک‌های سطحی مزارع کشاورزی شهر ویس در شمال شرق اهواز و مقایسه با آستانه مجاز استانداردها انجام شد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مطالعه

شهر ویس از توابع شهرستان باوی در ۱۵ کیلومتری شمال شرق کلانشهر اهواز در استان خوزستان قرار دارد که از شمال در مجاورت شهر ملاثانی و از جنوب به شهر شیبان منتهی می شود. این منطقه یکی از سرسبزترین مناطق استان خوزستان است و دارای زمین‌های زراعی و دشت‌های وسیع و درختانی شامل درختانی چون خرما، پرتقال، انجیر، کنار

[ Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-09-16 ]

هستند. ویژگی‌های اراضی کشاورزی شهر ویس شامل خاکی با بافت متوسط تا سنگین و با شرایط زهکشی متوسط تا ضعیف، با سطح ایستابی نیمه عمیق در تابستان و کم عمق در پاییز و زمستان است. خاک منطقه مورد مطالعه قلیایی و آهکی است[۱۹،۱۱].

## نمونه‌برداری خاک

نمونه‌برداری خاک‌های سطحی مزارع کشاورزی منطقه ویس (مختصات جغرافیایی طول جغرافیایی ″۰۴/۹۵ ′۵۵ °۴۸ و عرض جغرافیایی ″۴۷/۷۶ ′۳۰ °۳۱) در فصل پاییز سال ۱۴۰۳ از خاک‌های سطحی به عمق ۱۰ سانتیمتری صورت گرفت. در مجموع ۸۰ نمونه خاک از ۴ مزرعه شهر ویس و از هر مزرعه ۲۰ نمونه خاک نمونه برداری شد. نمونه های خاک با استفاده از بیل از تمام نقاط نمونه برداری انتخاب شده جمع آوری شد. سپس نمونه‌های فرعی جمع‌آوری‌شده با هم مخلوط شدند تا یک کیلوگرم نمونه نماینده به‌دست آید. در نهایت، نمونه‌های خاک در کیسه‌های پلی‌اتیلن زیپ‌دار برای جلوگیری از آلودگی بیشتر گرفته شدند و بلافاصله برای تجزیه و تحلیل بیشتر به آزمایشگاه منتقل شدند[۲۰].

## هضم شیمیایی نمونه‌ها

در آزمایشگاه ابتدا نمونه‌های خاک در دمای ۶۰-۴۰ درجه سانتیگراد در کوره خشک شدند. پس از خشک شدن، نمونه‌های خاک با استفاده از هاون و دسته هاون به ذرات ریز تبدیل و سپس برای جدا کردن ناخالصی ها از نمونه های خاک بر اساس استاندارد ASTM E11 از الک شماره ۲۰۰ با اندازه ۷۵ میکرون استفاده شد. بعد از الک کردن و جداسازی، نمونه‌های خاک را در بشر پلی‌اتیلنی قرار داده و با اضافه نمودن چند قطره اسید کلریدریک و اسید فلوئوریدریک به میزان ۷ سی سی، نمونه‌ها روی حمام آبی و در ۱۰۰ درجه سانتیگراد تا مرحله نزدیک به خشک شدن حرارت داده می‌شد. پس از سرد شدن نمونه‌ها، به هر یک ۷ سی سی اسید نیتریک و اسید کلریدریک اضافه و بر روی حمام آبی تا نزدیک خشک شدن حرارت داده شد. پس از هضم شیمیایی کلیه نمونه‌ها با افزودن مقداری آب مقطر به هر یک از آن‌ها و حرارت ملایم، محلولی کاملا شفاف به‌دست می‌آید. نمونه‌ها توسط اسید کلریدریک یک نرمال در بالن ژوژه به حجم ۵۰ سی سی رسید[۲۱].

## اندازه‌گیری فلزات

در این تحقیق فلزات خاک با استفاده از دستگاه جذب اتمی ـ پلاسما ICP-AES مدل Varian 710-ES ساخت شرکت اجیلنت آمریکا که از قبل کالیبره شده بود تزریق گردید و میزان عناصر مورد نظر در هر یک از نمونه‌ها مشخص شد. پلاسمای جفت شده القایی در یک گاز بی اثر (معمولاً آرگون) در یک مشعل با سه لوله متحدالمرکز ساخته شده از کوارتز یا سرامیک، با کمک یک ژنراتور فرکانس رادیویی و یک سیم‌پیچ القایی تولید می شود. فرکانس‌های مجاز برای ژنراتورهای پلاسما ۲۷/۱۲ مگاهرتز و ۴۰/۶۸ مگاهرتز هستند، اما فرکانس ۴۰/۶۸ مگاهرتز به طور فزاینده‌ای در تجهیزات مدرن استفاده می‌شود، زیرا پایداری پلاسما بالاتر را تضمین می‌کند و کانال مرکزی بالاتری را در پلاسمای جفت شده القایی ایجاد می‌کند و به معرفی در دسترس‌تر به افزایش عملکرد نمونه کمک می‌کند. خطی بودن روش پیشنهادی با ساخت منحنی های کالیبراسیون برای هر عنصر ارزیابی شد. بنابراین، سطح پیک هر خط انتشار انتخاب شده در برابر غلظت یک سری محلول استاندارد در محدوده بین ۰/۱ میلی گرم در لیتر در و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر، که در رقیق کننده همسان با ماتریس حاوی ۲۰ درصد اسید نیتریک غلیظ و ۲ درصد آب اکسیژنه به منظور تقلید از شرایط اکسیداتیو پس از فرآیند هضم اسیدی تهیه شد، ترسیم شد. سپس از تحلیل رگرسیون خطی حداقل مربعات استفاده شد و شیب، فاصله و ضریب تعیین منحنی‌های کالیبراسیون برای هر فلز سمی محاسبه شد[۲۲،۲۳]. برای محاسبه حدود تشخیص (LODs) و حدود کمی (LOQs) برای تجزیه‌های مورد بررسی، ۱۰ محلول خالی حاوی ۲۰ درصد اسید نیتریک غلیظ و ۲ درصد آب اکسیژنه تهیه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مقدار LOD هر

[ Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-09-16 ]

آنالیت غلظتی در نظر گرفته شد که برابر با سه برابر انحراف استاندارد پاسخ محلول‌های خالی در مقابل شیب منحنی کالیبراسیون بود. به طور مشابه، مقدار LOQ هر آنالیت، غلظتی در نظر گرفته شد که برابر با ده برابر انحراف استاندارد پاسخ محلول‌های خالی در مقابل شیب منحنی کالیبراسیون بود. حد تشخیص[1] کادمیوم، سرب، آرسنیک، مس، روی و کروم به ترتیب ۱/۵۷، ۵/۹۵، ۰/۱۸، ۰/۱۵، ۱/۵۵ و ۰/۴۳ میلی گرم بر کیلوگرم و حد کمیت[2] فلزات کادمیوم، سرب، آرسنیک، مس، روی و کروم به ترتیب ۵/۲۴، ۱۹/۸۳، ۰/۶۱، ۰/۵۲، ۵/۱۸ و ۱/۴۵ میلی گرم بر کیلوگرم بود. همچنین خط انتشار[3] عناصر کادمیوم، سرب، آرسنیک، مس، روی و کروم به ترتیب ۲۲۶/۵۰۲، ۲۱۷، ۳۲۸/۰۶۸، ۳۲۴/۷۵۲، ۲۱۳/۸۵۷ و ۳۵۷/۸۶۹ نانومتر و حد بالای منحنی کالیبراسیون[4] برای همه فلزات ۱۰۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم بود.

## شاخص‌های آلودگی خاک

در این تحقیق برای تعیین شدت و سطوح مختلف آلودگی در خاک از برخی شاخص های آلودگی محیط زیست استفاده شد. برای ارزیابی آلودگی عناصر در خاک‌های سطحی مورد مطالعه از فاکتور آلودگی (CF) استفاده شد (رابطه ۱) که در این رابطه $C_n$ غلظت هر فلز در خاک و $C_o$ متوسط غلظت هر عنصر در زمینه می‌باشد. غلظت زمینه فلزات کادمیوم، سرب، آرسنیک، مس، روی و کروم به ترتیب ۰/۳، ۲۰، ۱۳، ۴۵، ۹۵ و ۹۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم درنظرگرفته شد[24]. بر اساس طبقه بندی ارائه شده توسط هاکانسون، $CF<1$ آلودگی کم، $1\leq CF<3$ آلودگی متوسط، $3\leq CF<6$ آلودگی زیاد و $CF\geq 6$ آلودگی شدید را نشان می دهند[25]:

رابطه ۱:

$$C_f = C_o / C_n$$

مجموع فاکتورهای آلودگی برای عناصر مورد بررسی نشان دهنده درجه آلودگی (Cdeg) است که از رابطه ۲ به دست آمد. بر اساس طبقه‌بندی سطوح درجه آلودگی، $Cdeg<8$ آلودگی کم، $8\leq Cdeg<16$ آلودگی متوسط، $16\leq Cdeg<32$ آلودگی زیاد و $Cdeg\geq 32$ آلودگی شدید را نشان می دهند[25]:

رابطه ۲:

$$Cdeg = \Sigma CF$$

در شاخص درجه آلودگی ارائه شده توسط Hakanson محدودیت‌هایی وجود داشت[25]، به همین دلیل Abrahim درجه آلودگی اصلاح شده[5] را ارائه کرد که بر اساس آن CF فاکتور آلودگی و n تعداد فلزات سنگین مورد مطالعه می‌باشد که طبق رابطه ۳ محاسبه شد. بر اساس طبقه بندی سطوح درجه آلودگی اصلاح شده، $mCd<1/5$ عدم آلودگی تا آلودگی بسیار کم، $1/5\leq mCd<2$ آلودگی کم، $2\leq mCd<4$ آلودگی متوسط، $4\leq mCd<8$ آلودگی زیاد، $8\leq mCd<16$ آلودگی بسیار زیاد، $16\leq mCd<32$ آلودگی فوق العاده زیاد و $Cdeg\geq 32$ آلودگی بی نهایت زیاد را نشان می دهند[26]:

رابطه ۳:

$$mCd = \Sigma CF / n$$

فاکتور غنی شدگی برای هر فلز از نسبت بین عنصر نرمالیزه کننده به مقدار زمینه عناصر، طبق رابطه ۴ محاسبه شد. عنصر مرجع در تعیین فاکتور غنی‌شدگی عنصری است که منشا کاملاً زمین‌شناسی داشته باشد. در این تحقیق از عنصر آهن به عنوان فلز مرجع (۴۷۰۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم) استفاده گردید[24]. برای غلظت زمینه فلزات سنگین در خاک های مورد مطالعه، نمونه‌هایی از مناطق بکر و دست نخورده مزارع کشاورزی مورد مطالعه تهیه و فلزات سنگین در آن ها تعیین خواهد شد[27].

1.Limit of Detection
2.Limit of quantification
3.Emission Line
4.Upper Limit of Calibration Curve
5.Modified degree of contamination

[ Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-09-16 ]

بر اساس طبقه بندی ارائه شده، EF<۲ آلودگی کم، ۲≤EF<۵ آلودگی متوسط، ۵≤EF<۲۰ آلودگی زیاد، ۲۰≤EF<۴۰ آلودگی بسیار زیاد و CF≥۴۰ آلودگی به شدت زیاد را نشان می دهند[۲۵]:

رابطه ۴:

$$EF = (Metal / Fe)_{Sample} / (Metal/ Fe)_{Background}$$

ارزیابی خطر اکولوژیک[۱](Er) و شاخص پتانسیل خطر زیستی[۲] (RI) خاک‌های مورد مطالعه از رابطه‌های ۵ و ۶ محاسبه شد. در این رابطه CF فاکتور آلودگی، Er ریسک اکولوژیکی هر عنصر مورد مطالعه، RI ریسک اکولوژیکی مجموع عناصر را نشان می‌دهد. Hakanson (۱۹۸۰) مقدار TR[۳] را که شاخص سمی بودن فلزات سنگین می‌باشد برای تحلیل مقادیر به‌دست آمده تعریف کرده است. نرخ سمیت فلزات کادمیوم، سرب، آرسنیک، مس، روی و کروم به ترتیب ۳۰، ۵، ۱۰، ۵، ۱ و ۲ درنظر گرفته شد. ریسک اکولوژیک برای هر عنصر در پنج سطح خطر کم Er<۴۰، خطر متوسط ۴۰≤Er<۸۰، خطر قابل توجه ۸۰≤Er<۱۶۰، خطر زیاد ۱۶۰≤Er<۳۲۰ و خطر خیلی زیاد Er≥۳۲۰ رده بندی شده است. برای تحلیل پتانسیل ریسک اکولوژیک (RI) چهار رده ریسک اکولوژیکی کم RI<۱۵۰، ریسک اکولوژیکی متوسط ۱۵۰≤RI<۳۰۰، ریسک اکولوژیکی قابل توجه ۳۰۰≤RI<۶۰۰ و ریسک اکولوژیکی خیلی زیاد RI≥۶۰۰ طبقه بندی شده است[۲۵]:

رابطه ۵:

$$Er = TR \times CF$$

رابطه ۶:

$$RI = \sum Er$$

شاخص زمین انباشت برای اولین بار توسط مولر ارائه شد و درجه آلایندگی خاک را تعیین می کند. در تحلیل‌های زیست محیطی به منظور مشخص کردن سطوح آلوده کاربرد دارد و از رابطه ۷ محاسبه شد. در این رابطه Igeo شاخص زمین انباشتگی، Cn غلظت فلز سنگین موجود در خاک، Bn غلظت زمینه می باشد. غلظت زمینه فلزات کادمیوم، سرب، آرسنیک، مس، روی و کروم به ترتیب ۰/۳، ۲۰، ۱۳، ۴۵، ۹۵ و ۹۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم درنظر گرفته شد[۲۴]. برای این که اثرات مواد مادری خاک و نوسانات طبیعی محتوای ماده داده شده در محیط زیست و تغییرات بسیار کم ایجاد شده در اثر فعالیت های انسانی تصحیح شود از ضریب ۱/۵ استفاده می گردد. اساس طبقه‌بندی مولر هفت کلاس آلودگی، Igeo<۰ غیرآلوده، ۱-۰ غیر آلوده تا کمی آلوده، ۲-۱ کمی آلوده، ۳-۲ کمی آلوده تا خیلی آلوده، ۴-۳ خیلی آلوده، ۵-۴ خیلی آلوده تا شدیداً آلوده و ۵ < شدیدا آلوده طبقه بندی شده است[۲۸]:

رابطه ۷:

$$Igeo = Log_2 (Cn/1.5*Bn)$$

شاخص بار آلودگی (PLI)[۴] برای ارزیابی کل درجه آلودگی خاک کاربرد دارد. این شاخص میزان تخریب خاک در اثر انباشت فلزات سنگین را فراهم می کند. شاخص بار آلودگی با استفاده از رابطه ۸ به دست آمد که از رادیکال فرجه ۲ مجموع فاکتور آلودگی فلزات سنگین مورد مطالعه محاسبه شد. شاخص بار آلودگی بر اساس ۳ سطح آلودگی شامل ۱ >PLIغیرآلوده، ۱ سطوح آلودگی پایه و ۱<PLI آلودگی و بد بودن کیفیت خاک طبقه بندی شده است[۲۹]:

رابطه ۸:

$$PLI = \sqrt[n]{CF_{Cd} \times CF_{Pb} \times CF_{As} \times CF_{Cu} \times CF_{Zn} \times CF_{Cr}}$$

شاخص آلودگی نمرو (NIPI)[۵] برای بررسی پتانسیل کمیت خطر آلودگی فلزات سنگین خاک مورد مطالعه در منطقه

1.Ecological Risk
2.Risk Index
3.Toxic rate
4.Pollution Load Index
5.Nemerow Pollution Index

[ Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-09-16 ]

مورد نظر به کار می رود. این شاخص بر اساس رابطه ۹ محاسبه شد که در آن PI شاخص آلودگی، $PI_{max}$ بیشینه شاخص آلودگی فلزات و n تعداد فلزات سنگین مورد مطالعه در خاک هستند. بر اساس شاخص آلودگی نمرو، کیفیت خاک در ۵ سطح رده‌بندی می‌شوند که ۰/۷ >NIPIغیرآلوده، ۱-۰/۷ محدوده هشدار، ۲-۱ آلودگی کم، ۳-۲ آلودگی متوسط و ۳ < آلودگی شدید طبقه بندی شده است[۲۹]:

رابطه ۹:

$$NIPI = \sqrt{\frac{\left(\frac{1}{n}\sum_{i-1}^{n} PI\right)^2 + PI_{max}^2}{n}}$$

## ارزیابی ریسک سلامت خاک

فلزات سنگین بر اساس روش خطر بهداشتی ارائه شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (USEPA)[1]ارزیابی شد[۳۰]. این ارزیابی در دو بخش خطرات سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی و قرارگیری انسان در معرض فلزات از هر سه مسیر بلع، تنفس و جذب پوستی مدنظر قرار می گیرد. مقادیر جذب روزانه فلزات سنگین (ADD)[2] در هریک از مسیرها با استفاده از رابطه های ۱۰، ۱۱ و ۱۲ محاسبه شد که در این رابطه ها، $ADD_{ing}$، $ADD_{inh}$ و $ADD_{dermal}$ به ترتیب مقدار میانگین جذب روزانه فلزات (mg/kg-day) از طریق بلع، تنفس و جذب پوستی است. C غلظت فلزات در خاک (mg/kg)، IngR و InhR به ترتیب نرخ بلع و نرخ تنفس خاک (mg/day و $m^3$/day)، EF فراوانی قرارگیری در معرض فلزات (day/year)، ED مدت قرار گیری در معرض فلزات (year)، BW وزن بدن شخص قرار گرفته در معرض فلزات (کودکان ۱۴/۵ کیلوگرم و بزرگسالان ۷۰ کیلوگرم)، AT مدت زمان قرارگیری در معرض هر مقدار از فلزات به طور میانگین (day)، EF فاکتور انتشار فلزات از خاک به هوا ($m^3$/kg)، SA ناحیه ای از سطح پوست قرار گرفته در معرض فلزات ($cm^2$)، AF فاکتور چسبندگی خاک به پوست (mg/$cm^2$-day) و ABF فاکتور جذب سطحی پوست (بدون واحد) است[۳۱]:

رابطه ۱۰:

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

رابطه ۱۱:

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

رابطه ۱۲:

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

خطر غیرسرطان‌زایی (HQ) کل مسیرهای بلع، تنفس و جذب پوستی برای کودکان و بزرگسالان از مجموع میزان جذب روزانه فلزات سنگین (ADD) در هر مسیر به مقدار مرجع سمیت آن فلز به کمک رابطه ۱۳ تعیین شد که در این رابطه، HQ خطر غیرسرطان‌زایی فلزات در هر مسیر، $ADD_i$ مقادیر جذب روزانه فلزات در هر یک از مسیرهای قرارگیری در معرض فلزات (mg/kg-day) است. اگر HQ کمتر از ۱ باشد، با سلامت انسان سازگار است و اگر HQ بالاتر از ۱ باشد، اثرات نامطلوب و نگران کننده‌ای بر سلامت انسان دارد[۳۰]:

رابطه ۱۳:

$$HQ_i = \sum \frac{ADD_i}{R_fD_i}$$

مقدار شاخص خطر تجمعی غیرسرطان‌زایی (HI)[3] کل فلزات برای هر دو گروه بزرگسالان و کودکان بر اساس رابطه ۱۴ به‌دست آمد[۳۰]:

رابطه ۱۴:

$$HI = \sum HQ_i$$

1.U.S. Environmental Protection Agency
2.Average Daily Dose
3.Hazard Index

[ Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-09-16 ]

ارزیابی خطر سرطان‌زایی هر یک از مسیرهای سه گانه برای این فلزات با استفاده از رابطه ۱۵ انجام شد که در این رابطه RI ریسک خطر سرطان‌زایی، $ADD_i$ مقادیر جذب روزانه فلزات در هریک از مسیرهای قرارگیری در معرض فلزات (mg/kg-day) و $SF_i$ فاکتور احتمال ابتلا به سرطان در هر واحد قرارگیری در معرض فلزات (mg/kg/day) است[۳۰]:

رابطه ۱۵:

$$RI = \sum ADD_i \times SF_i$$

## تجزیه و تحلیل داده‌ها

داده‌های این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS24 تجزیه و تحلیل شدند. از آزمون کولموگراف ـ اسمیرنوف برای نرمال بودن داده‌ها استفاده شد. همچنین برای رسم جداول و محاسبات شاخص‌های آلودگی از نرم‌افزار Excel 2007 استفاده گردید.

## یافته‌ها

پارامترهای آماری داده‌های عناصر باقوه سمی شامل کمینه، بیشینه، میانگین، انحراف معیار، خطای استاندارد، واریانس، چولگی و کشیدگی در خاک‌های سطحی مزارع کشاورزی شهر ویس در شمال شرق کلانشهر اهواز در جدول ۴-۱ ارائه شده است. مقادیر کشیدگی و چولگی نشان داد که داده های مربوط به عناصر باقوه سمی کادمیوم، سرب، آرسنیک، روی، مس و کروم در نمونه‌های خاک نرمال است، زیرا مقادیر به دست آمده از نرم افزار SPSS بین ۲- و ۲ به دست آمد. الگوی انباشته شدن عناصر باقوه سمی در خاک-های سطحی مزارع کشاورزی شهر ویس شمال شرق کلانشهر اهواز به صورت سرب> روی> کروم> مس> آرسنیک> کادمیوم به دست آمد (جدول ۱). تجزیه و تحلیل آزمون های کولموگراف ـ اسمیرنوف و شاپیرو ـ ویلک داده‌های عناصر باقوه سمی در مزارع کشاورزی شهر ویس شمال شرق کلانشهر اهواز نشان داد که مقادیر به دست آمده نرمال بودند و مقادیر آماری در بازه ۲- و ۲ به دست آمدند (جدول ۲).

**جدول ۱. داده‌های توصیفی غلظت عناصر بالقوه سمی (میلی‌گرم بر کیلوگرم) خاک‌های سطحی مزارع کشاورزی شهر ویس شمال شرق کلانشهر اهواز**

| عناصر بالقوه سمی | کمینه | بیشینه | میانگین | انحراف معیار | خطای استاندارد | واریانس | چولگی | کشیدگی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| کادمیوم | ۱/۱۱ | ۱/۹۲ | ۱/۵۰ | ۰/۲۳ | ۰/۰۲ | ۰/۰۵۴ | ۰/۰۰۷ | -۱/۱۹۰ |
| سرب | ۳۰/۱۷ | ۴۹/۶۶ | ۳۹/۸۰ | ۵/۴۷ | ۰/۶۱ | ۲۹/۹۷۳ | -۰/۱۹۷ | -۱/۱۴۶ |
| آرسنیک | ۴/۱۲ | ۷/۸۹ | ۶/۰۷ | ۰/۸۶ | ۰/۰۹ | ۰/۷۵۲ | ۰/۰۶۳ | -۰/۴۲۰ |
| مس | ۹/۳۶ | ۱۴/۹۸ | ۱۲/۰۵ | ۱/۴۲ | ۰/۱۵ | ۲/۰۲۱ | -۰/۱۷۸ | -۰/۷۴۳ |
| روی | ۳۱/۲۷ | ۴۷/۸۸ | ۳۹/۵۰ | ۴/۴۴ | ۰/۴۹ | ۱۹/۷۸۵ | -۰/۰۵۶ | -۰/۹۴۹ |
| کروم | ۲۱/۷۱ | ۴۷/۹۵ | ۳۳/۱۴ | ۴/۹۴ | ۰/۵۵ | ۲۴/۴۰۹ | ۰/۶۴۰ | ۰/۵۴۴ |

[ Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-09-16 ]

**جدول ۲. تحلیل آزمون نرمالیتی عناصر باقوه سمی خاک‌های سطحی مزارع کشاورزی شهر ویس شمال شرق کلانشهر اهواز**

| عناصر بالقوه | آزمون Kolmogorov-Smirnov | | | آزمون Shapiro-Wilk | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| سمی | آماره | درجه آزادی | سطح معنی‌داری | آماره | درجه آزادی | سطح معنی‌داری |
| کادمیوم | ۰/۰۶۲ | ۸۰ | ۰/۲۰۰ | ۰/۹۵۷ | ۸۰ | ۰/۰۰۹ |
| سرب | ۰/۱۱۵ | ۸۰ | ۰/۰۱۱ | ۰/۹۴۴ | ۸۰ | ۰/۰۰۱ |
| آرسنیک | ۰/۰۸۳ | ۸۰ | ۰/۲۰۰ | ۰/۹۸۴ | ۸۰ | ۰/۴۴۲ |
| مس | ۰/۱۲۰ | ۸۰ | ۰/۰۰۶ | ۰/۹۶۴ | ۸۰ | ۰/۰۲۵ |
| روی | ۰/۰۸۷ | ۸۰ | ۰/۲۰۰ | ۰/۹۶۶ | ۸۰ | ۰/۰۳۴ |
| کروم | ۰/۱۲۶ | ۸۰ | ۰/۰۰۳ | ۰/۹۶۶ | ۸۰ | ۰/۰۳۰ |

الگوی فاکتور آلودگی عناصر باقوه سمی در خاک‌های سطحی مزارع کشاورزی شهر ویس شمال شرق کلانشهر اهواز به صورت کادمیوم> آرسنیک> سرب> روی> مس> کروم به‌دست آمد. بالاترین فاکتور آلودگی برای فلز کادمیوم ۷/۱۹ و پایین‌ترین این شاخص فلز کروم ۰/۲۸ بود. میانگین فاکتور آلودگی عناصر باقوه سمی در خاک‌های سطحی مزارع کشاورزی شهر ویس شمال شرق کلانشهر اهواز ۱/۴۶ به دست آمد. الگوی مقادیر فاکتور غنی‌شدگی عناصر باقوه سمی به صورت کادمیوم> سرب> روی> مس> آرسنیک> کروم بود. بالاترین و پایین‌ترین مقادیر فاکتور غنی‌شدگی برای عناصر باقوه سمی کادمیوم و کروم به ترتیب ۳۲۴/۰۳ و ۱۲/۶۰ به دست آمد. در این تحقیق عنصر مرجع برای نرمال‌سازی آلومینیوم استفاده شد که میانگین غلظت این فلز در خاک‌های سطحی مزارع کشاورزی شهر ویس شمال شرق کلانشهر اهواز ۱۸۷۸/۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. الگوی مقادیر شاخص زمین انباشتگی عناصر باقوه سمی به صورت کادمیوم> آرسنیک> سرب> روی> مس> کروم بود. شاخص خطر بوم‌شناسی فلز کادمیوم در خاک‌های سطحی مزارع کشاورزی شهر ویس شمال شرق کلانشهر اهواز از سایر عناصر باقوه سمی مورد مطالعه بیشتر بود. مقادیر شاخص خطر بوم‌شناسی عناصر باقوه سمی خاک‌های سطحی مزارع کشاورزی شهر ویس شمال شرق کلانشهر اهواز به صورت کادمیوم> آرسنیک> سرب> مس> روی> کروم بود. درجه آلودگی، درجه آلودگی اصلاح شده و شاخص بار آلودگی عناصر باقوه سمی خاک‌های سطحی مزارع کشاورزی شهر ویس شمال شرق کلانشهر اهواز به ترتیب ۱۴/۴۱، ۲/۴۰ و ۱/۲۳ به دست آمد. همچنین شاخص آلودگی نمرو (Nemerow Pollution Index) و شاخص خطر زیستی عناصر باقوه سمی خاک‌های سطحی مزارع کشاورزی شهر ویس شمال شرق کلانشهر اهواز به ترتیب ۵/۱۹ و ۲۶۰/۰۵ محاسبه شدند (جدول ۳).

[ Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-09-16 ]

**جدول ۳. مقادیر شاخص‌های آلودگی محیط‌زیست عناصر باقوه سمی خاک‌های سطحی مزارع کشاورزی شهر ویس شمال شرق کلانشهر اهواز**

| عناصر سمی بالقوه | فاکتور آلودگی | فاکتور غنی‌سازی | شاخص زمین‌انباشتگی | شاخص خطر بوم‌شناسی | شاخص خطر زیستی | درجه آلودگی | درجه آلودگی اصلاح شده | شاخص بار آلودگی | شاخص آلودگی نمرو |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| کادمیوم | ۷/۱۹ | ۳۲۴/۰۳ | ۲/۲۵ | ۲۱۵/۶۷ | ۲۶۰/۰۵ | ۱۴/۴۱ | ۲/۴۰ | ۱/۲۳ | ۵/۱۹ |
| سرب | ۲/۳۱ | ۱۰۴/۴۰ | ۰/۶۰ | ۱۱/۵۷ | | | | | |
| آرسنیک | ۲/۹۱ | ۱۳/۰۱ | ۰/۹۴ | ۲۹/۰۷ | | | | | |
| مس | ۰/۳۶ | ۱۶/۳۷ | -۲/۰۵ | ۱/۸۱ | | | | | |
| روی | ۱/۳۶ | ۶۱/۴۴ | -۰/۱۵ | ۱/۳۶ | | | | | |
| کروم | ۰/۲۸ | ۱۲/۶۰ | -۲/۴۳ | ۰/۵۶ | | | | | |

ارزیابی خطر سلامت عناصر باقوه سمی نشان داد که در خاک های سطحی مزارع کشاورزی شهر ویس شمال شرق کلانشهر اهواز میزان جذب روزانه توسط بلع (دستگاه گوارش) برای رده سنی بزرگسالان و کودکان برای فلزات سنگین بیشتر از تنفس (دستگاه تنفسی) و پوست بود. بیشترین میزان جذب روزانه عناصر باقوه سمی مربوط به سرب در کودکان ($۵/۰۸\times۱۰^{-۴}$ میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز) و بزرگسالان ($۶/۸۲\times۱۰^{-۵}$ میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز) بود. پایین‌ترین جذب روزانه عناصر باقوه سمی مربوط به فلز کادمیوم در کودکان ($۵/۳۷\times۱۰^{-۱۰}$ میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز) و بزرگسالان ($۲/۴۲\times۱۰^{-۱۰}$ میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز) مشاهده شد (جدول ۴).

**جدول ۴. میانگین میزان جذب روزانه (میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز) عناصر باقوه سمی خاک‌های سطحی مزارع کشاورزی شهر ویس شمال شرق کلانشهر اهواز**

| عناصر سمی بالقوه | دستگاه گوارش | | دستگاه تنفس | | پوست | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | بزرگسالان | کودکان | بزرگسالان | کودکان | بزرگسالان | کودکان |
| کادمیوم | $۲/۵۷\times۱۰^{-۶}$ | $۱/۹۱\times۱۰^{-۵}$ | $۲/۴۲\times۱۰^{-۱۰}$ | $۵/۳۷\times۱۰^{-۱۰}$ | $۷/۸۳\times۱۰^{-۸}$ | $۳/۰۶\times۱۰^{-۸}$ |
| سرب | $۶/۸۲\times۱۰^{-۵}$ | $۵/۰۸\times۱۰^{-۴}$ | $۶/۴۲\times۱۰^{-۹}$ | $۱/۴۲\times۱۰^{-۸}$ | $۲/۰۷\times۱۰^{-۶}$ | $۸/۱۴\times۱۰^{-۷}$ |
| آرسنیک | $۱/۰۴\times۱۰^{-۵}$ | $۷/۷۶\times۱۰^{-۵}$ | $۹/۷۹\times۱۰^{-۱۰}$ | $۲/۱۷\times۱۰^{-۹}$ | $۳/۱۷\times۱۰^{-۷}$ | $۱/۲۴\times۱۰^{-۷}$ |
| مس | $۲/۰۶\times۱۰^{-۵}$ | $۱/۵۰\times۱۰^{-۴}$ | $۱/۹۴\times۱۰^{-۹}$ | $۴/۳۲\times۱۰^{-۹}$ | $۶/۲۹\times۱۰^{-۷}$ | $۲/۴۶\times۱۰^{-۷}$ |
| روی | $۶/۷۷\times۱۰^{-۵}$ | $۵/۰۵\times۱۰^{-۴}$ | $۶/۳۷\times۱۰^{-۶}$ | $۱/۴۲\times۱۰^{-۸}$ | $۲/۰۶\times۱۰^{-۶}$ | $۸/۰۸\times۱۰^{-۸}$ |
| کروم | $۵/۶۸\times۱۰^{-۵}$ | $۴/۲۳\times۱۰^{-۴}$ | $۵/۳۵\times۱۰^{-۹}$ | $۱/۱۸\times۱۰^{-۸}$ | $۱/۷۳\times۱۰^{-۶}$ | $۶/۷۷\times۱۰^{-۷}$ |

بالاترین شاخص خطر غیرسرطان‌زایی عناصر باقوه سمی خاک‌های سطحی مزارع کشاورزی شهر ویس شمال شرق کلانشهر اهواز مربوط به فلز کروم ($۱/۴۱\times۱۰^{-۱}$) و سرب ($۱/۴۵\times۱۰^{-۱}$) برای دستگاه گوارش کودکان بود. پایین‌ترین شاخص خطر غیرسرطان‌زایی عناصر باقوه سمی مربوط به فلز روی دستگاه تنفس کودکان ($۴/۷۲\times۱۰^{-۸}$) و بزرگسالان ($۲/۱۲\times۱۰^{-۸}$) بود. شاخص خطر غیر سرطان‌زایی فلز سرب در دستگاه گوارش، فلز کروم در دستگاه تنفسی و فلز آرسنیک در پوست کودکان و بزرگسالان بالاتر از شاخص خطر غیر سرطان‌زایی سایر عناصر باقوه سمی به دست آمد.

[ Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-09-16 ]

برای عناصر باقوه سمی مس و روی شاخص خطر سرطان‌زایی را نمی‌توان محاسبه کرد. بالاترین شاخص خطر سرطان‌زایی عناصر باقوه سمی خاک های سطحی مزارع کشاورزی شهر ویس شمال شرق کلانشهر اهواز مربوط به فلز کروم برای کودکان ($۱/۵۲\times۱۰^{-۱}$) و بزرگسالان ($۴/۷۹\times۱۰^{-۲}$) به دست آمد. پایین‌ترین شاخص خطرسرطان زایی برای بزرگسالان مربوط به فلز کادمیوم ($۹/۲۰\times۱۰^{-۳}$) و برای کودکان مربوط به فلز آرسنیک ($۹\times۱۰^{-۲}$) بود. همچنین بالاترین مجموع شاخص خطر غیرسرطان‌زایی برای بزرگسالان و کودکان به ترتیب مربوط به فلزات مس ($۵\times۱۰^{-۴}$) و روی ($۱/۶۰\times۱۰^{-۲}$) بود (جدول ۵).

**جدول ۵. ارزیابی شاخص خطر غیرسرطان‌زایی (HQ) عناصر باقوه سمی خاک‌های سطحی مزارع کشاورزی شهر ویس شمال شرق کلانشهر اهواز**

| عناصر باقوه | دستگاه گوارش | | دستگاه تنفس | | پوست | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| سمی | بزرگسالان | کودکان | بزرگسالان | کودکان | بزرگسالان | کودکان |
| کادمیوم | $۸/۵۷\times۱۰^{-۳}$ | $۶/۳۹\times۱۰^{-۲}$ | $۷/۸۱\times۱۰^{-۷}$ | $۱/۷۳\times۱۰^{-۶}$ | $۶/۳۰\times۱۰^{-۴}$ | $۲/۴۰\times۱۰^{-۴}$ |
| سرب | $۱/۹۵\times۱۰^{-۲}$ | $۱/۴۵\times۱۰^{-۱}$ | $۱/۸۲\times۱۰^{-۶}$ | $۴/۰۵\times۱۰^{-۶}$ | $۳/۹۵\times۱۰^{-۳}$ | $۱/۵۵\times۱۰^{-۳}$ |
| آرسنیک | $۱/۰۴\times۱۰^{-۲}$ | $۷/۷۶\times۱۰^{-۲}$ | $۹/۷۹\times۱۰^{-۷}$ | $۲/۱۷\times۱۰^{-۶}$ | $۳/۱۷\times۱۰^{-۲}$ | $۱/۲۴\times۱۰^{-۲}$ |
| مس | $۵\times۱۰^{-۴}$ | $۳/۸۰\times۱۰^{-۳}$ | $۴/۸۳\times۱۰^{-۸}$ | $۱/۰۷\times۱۰^{-۷}$ | $۵/۲۴\times۱۰^{-۵}$ | $۲/۰۵\times۱۰^{-۵}$ |
| روی | $۲\times۱۰^{-۴}$ | $۱/۶۰\times۱۰^{-۳}$ | $۲/۱۲\times۱۰^{-۸}$ | $۴/۷۲\times۱۰^{-۸}$ | $۳/۴۳\times۱۰^{-۵}$ | $۱/۳۴\times۱۰^{-۵}$ |
| کروم | $۱/۸۹\times۱۰^{-۲}$ | $۱/۴۱\times۱۰^{-۱}$ | $۱/۸۰\times۱۰^{-۴}$ | $۴/۱۰\times۱۰^{-۴}$ | $۲/۸۸\times۱۰^{-۲}$ | $۱/۱۲\times۱۰^{-۲}$ |

برای عناصر باقوه سمی مس و روی شاخص خطر سرطان‌زایی محاسبه و برآورد نشده است. بالاترین شاخص خطر سرطان‌زایی عناصر باقوه سمی خاک های سطحی مزارع کشاورزی شهر ویس شمال شرق کلانشهر اهواز مربوط به فلز کروم برای کودکان ($۱/۳۰\times۱۰^{-۵}$) و بزرگسالان ($۱/۷۵\times۱۰^{-۶}$) به دست آمد. پایین‌ترین شاخص خطرسرطان زایی برای بزرگسالان مربوط به فلز کادمیوم ($۲/۸۳\times۱۰^{-۹}$) و برای کودکان مربوط به فلز سرب ($۱/۵۷\times۱۰^{-۸}$) بود. همچنین بالاترین مجموع شاخص خطر غیرسرطان‌زایی برای بزرگسالان و کودکان به ترتیب مربوط به فلز سرب به ترتیب $۲/۳۴\times۱۰^{-۲}$ و $۱/۴۶\times۱۰^{-۱}$ بود. پایین‌ترین مقادیر شاخص غیرسرطان‌زایی عناصر باقوه سمی خاک های سطحی مزارع کشاورزی شهر ویس شمال شرق کلانشهر اهواز برای بزرگسالان و کودکان به ترتیب مربوط به فلز روی ($۲\times۱۰^{-۴}$) و مس ($۳/۸۰\times۱۰^{-۳}$) به دست آمد (جدول ۶).

[ Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-09-16 ]

**جدول ۶. ارزیابی شاخص خطر سرطان زایی (RI) و مجموع شاخص خطر غیرسرطانزایی (HI) عناصر باقوه سمی خاک‌های سطحی مزارع کشاورزی شهر ویس شمال شرق کلانشهر اهواز**

| عناصر سمی بالقوه | مجموع شاخص غیرسرطانزایی | | شاخص سرطانزایی | |
|---|---|---|---|---|
| | بزرگسالان | کودکان | بزرگسالان | کودکان |
| کادمیوم | $۹/۲۰\times۱۰^{-۳}$ | $۶/۴۱\times۱۰^{-۲}$ | $۲/۸۳\times۱۰^{-۹}$ | $۲/۱۱\times۱۰^{-۸}$ |
| سرب | $۲/۳۴\times۱۰^{-۲}$ | $۱/۴۶\times۱۰^{-۱}$ | $۲/۱۰\times۱۰^{-۸}$ | $۱/۵۷\times۱۰^{-۸}$ |
| آرسنیک | $۴/۲۱\times۱۰^{-۲}$ | $۹\times۱۰^{-۲}$ | $۴/۸۲\times۱۰^{-۸}$ | $۳/۵۹\times۱۰^{-۸}$ |
| مس | $۵\times۱۰^{-۴}$ | $۳/۸۰\times۱۰^{-۳}$ | – | – |
| روی | $۲\times۱۰^{-۴}$ | $۱/۶۰\times۱۰^{-۲}$ | – | – |
| کروم | $۴/۷۹\times۱۰^{-۲}$ | $۱/۵۲\times۱۰^{-۱}$ | $۱/۷۵\times۱۰^{-۶}$ | $۱/۳۰\times۱۰^{-۵}$ |

## بحث

در این تحقیق میانگین غلظت فلزات کادمیوم، سرب، آرسنیک، مس، روی و کروم در خاک مزارع کشاورزی شهر ویس (به ترتیب ۱/۵۰، ۳۹/۸۰، ۶/۰۷، ۱۲/۰۵، ۳۹/۵۰ و ۳۳/۱۴ میلی گرم بر کیلوگرم) در مقایسه با استاندارد سازمان محیط‌زیست ایران (کادمیوم، سرب، آرسنیک، مس، روی و کروم به ترتیب ۵، ۷۵، ۴۰، ۱۰۰، ۵۰۰ و ۱۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم)[۳۲] پایین تر بود و در مقایسه با میانگین پوسته زمین (کادمیوم، سرب، آرسنیک، مس، روی و کروم به ترتیب ۰/۲، ۱۴، ۱/۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم)[۳۲] کادمیوم، سرب و آرسنیک بالاتر بودند، اما مس، روی و کروم پایین تر هستند. سازمان بهداشت جهانی حد مجاز غلظت فلزات کادمیوم، سرب، آرسنیک، مس، روی و کروم در خاک را ۳، ۱۰۰، ۲۰، ۱۰۰، ۳۰۰ و ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم اعلام کرده است[۳۲] که در مقایسه با نتایج مقادیر فلزات خاک مزارع کشاورزی شهر ویس بالاتر گزارش شده‌اند. همچنین آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا آستانه مجاز فلزات کادمیوم، سرب، آرسنیک، مس، روی و کروم در خاک را ۵، ۱۵۰، ۳۰، ۱۰۰، ۵۰۰ و ۲۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم تعیین کرده است[۳۳] که مقادیر این فلزات در خاک مزارع کشاورزی شهر ویس پایین تر به دست آمد. علت تفاوت در مقایسه‌های غلظت عناصر بالقوه سمی با حد مجاز و آستانه استانداردها می تواند این مورد باشد که شرایط زمین‌شناسی، اقلیمی و محیطی گوناگونی در مناطق مختلف جهان باعث می شود که مقادیر متفاوتی از این آلاینده‌ها در خاک انباشته شود[۳۴]. 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[۳۴،۲۵]. در واقع حدود آستانه هر عنصر اختصاصی است و خطرات هر عنصر به طور جداگانه در نظر گرفته می شود. همچنین حد مجاز فلزات سنگین در مناطق مختلف، کشورها و کاربری های مختلف متفاوت است[۱۰،۶].

مقادیر فاکتور آلودگی عناصر کروم و مس آلودگی کم، روی، سرب و آرسنیک آلودگی متوسط و کادمیوم آلودگی شدید را نشان داده است. همچنین شاخص زمین انباشتگی عناصر مس، روی، سرب، آرسنیک و کروم حاکی از غیرآلایندگی این عناصر بود، اما شاخص زمین انباشتگی کادمیوم کمی آلوده تا خیلی آلوده را در نمونه‌ای خاک نشان داد. مقادیر فاکتور غنی‌سازی عناصر بالقوه سمی در خاک مزارع کشاورزی شهر ویس نشان دهنده آلودگی متوسط تا آلودگی به شدت زیاد می باشد. در این تحقیق مقادیر شاخص های درجه آلودگی، درجه آلودگی اصلاح شده، شاخص بار

[ Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-09-16 ]

آلودگی و شاخص نمرو عناصر بالقوه سمی در خاک مزارع کشاورزی شهر ویس نشان دهنده آلودگی این عناصر بودند. بعد از مقایسه غلظت عناصر بالقوه سمی با حد آستانه استانداردهای ملی و بین المللی، یکی از معیارهای مهم و برتر برای بررسی آلاینده های فلزی و سمی، استفاده از کمی‌سازی داده‌ها نظیر شاخص‌های محیط‌زیستی آلودگی عناصر سمی خاک است[۳۴]. شاخص های آلودگی عناصر بالقوه شمی در خاک، شاخص های منفرد و شاخص های تجمعی می باشند که فاکتور آلودگی، فاکتور غنی شدگی و زمین انباشتگی شاخص منفرد هستند و درجه آلودگی، درجه آلودگی اصلاح شده، شاخص نمرو، خطر زیستی بالقوه و شاخص بار آلودگی شاخص های تجمعی می باشند که تاثیر انباشت همه عناصر مورد مطالعه را ارزیابی می کنند[۳۵]. در حقیقت شاخص های منفرد، آلودگی یک عنصر بالقوه سمی در خاک را مورد ارزیابی قرار می دهد و غلظت عنصر هدف با یک مقدار مرجع مورد مقایسه قرار می گیرد تا درجه آلودگی آن عنصر ارزیابی شود. با این حال، مقادیر مرجع عناصر بالقوه سمی متفاوت هستند و می توانند شامل سطح میانگین پوسته، سطوح مرجع قبل از صنعتی شدن منطقه، سطوح زمینه و پایه، غلظت آستانه آلودگی و راهنمای کیفیت خاک باشند. البته باید توجه داشت که شاخص های منفرد مقدار آلوده بودن یا آلوده نبودن را نشان نمی دهند، بلکه شدت آلوده شدن خاک را مشخص می کنند که در نهایت مقادیر آن ها نسبی بوده و بر اساس نسبت غلظت عناصر یک مرجع گزارش می شود. بیشترین انحراف معیار و تغییرات غلظت و آلودگی فلزات در خاک برای سرب، روی و کروم مشاهده شد که چنین می توان استنباط کرد که این عناصر تحت تاثیر فعالیت‌های انسان‌زاد هستند. در این تحقیق غنی سازی بالای عناصر بالقوه سمی در خاک نشان دهنده ورود این آلاینده های به واسطه پساب‌های کشاورزی، شهری، روستایی و صنایع در منطقه ویس می باشد. وجود نیروگاه های رامین و شهید مدحج در مجاورت و نزدیکی شهر ویس، صنایع کوچک و بزرگ نظیر کارخانجات چرم سازی، پلاستیک سازی و رنگ و مواد شیمیایی می تواند از دلایل آلودگی خاک منطقه باشد. همچنین زمین های کشاورزی فراوان و متعدد اطراف شهر ویس که محصولات متنوع شامل برنج، گندم، جو، کلزا، خرما، سبزیجات و صیفی جات را کشت می کنند به دلیل استفاده از سموم علف کش، آفت کش و کودهای شیمیایی نیز سبب افزایش عناصری نظیر آرسنیک، کروم و کادمیوم در خاک اراضی کشاورزی می شوند[۳۶،۳۷]. Rashed (۲۰۱۰) عنوان کرد که مقادیر غنی سازی عناصر بالقوه سمی بالا نشان دهنده آلودگی خاک تحت تاثیر فعالیت های انسان زاد می باشد[۳۸] که نتایج این تحقیق را تایید می کند. احتمالا عبور جاده اهواز ـ شوشتر از مجاورت مزارع کشاورزی شهر ویس نیز یکی دیگر از دلایل آلودگی عناصر بالقوه سمی در خاک منطقه می باشد. پژوهشگران در یک مطالعه گزارش کردند در منطقه ملاثانی که در مجاورت شهر ویس قرار دارد، به علت مصرف بسیار زیاد سموم شیمیایی و کود، منابع آبی برای مزارع کشاورزی دارای آلودگی می باشند[۳۹]. به عبارت دیگر رودخانه کارون در شهر ویس، جزء مناطق پایین دست محسوب می شود که جریان آب این رودخانه از بالادست پساب های مختلف را در راستای آبیاری اراضی کشاورزی وارد خاک می کند و چنین به نظر می رسد که اثر آلایندگی در خاک های کشاورزی شهر ویس دارد. رودخانه کارون پذیرنده منابع متعدد آلودگی است که متاثر از پساب های شهری و روستایی فراوان در بالادست شهر ویس، مجتمع های پرورش ماهیان و آبزی‌پروری، پساب کشاورزی و باغ‌های اطراف و مجاور رودخانه، پساب صنایع کوچک و بزرگ مختلف می باشد[۴۰،۴۱،۴۲].

در تحقیقی غلظت عناصر سمی، ارزیابی خطر سلامت انسان و سرطان زایی آن در شمال اهواز گزارش شد که بیشترین میزان آهن در نمونه‌های خاک مناطق ویس و عرب اسد به میزان ۹۰۱۳/۷۰ و ۹۲۰۸/۹۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده شد، در حالی که کادمیوم کمترین غلظت را در خاک‌های مزارع ویس و عرب اسد به ترتیب ۱/۵۸ و ۱/۵۶ میلی گرم

[ Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-09-16 ]

بر کیلوگرم نشان داد. ضریب خطر عناصر بالقوه سمی، خطر غیر سرطان زایی و شاخص خطر سرطان زایی در خاک مزارع کشاورزی در مناطق عرب اسد و ویس نشان داد که کادمیوم، سرب، نیکل، مس، کروم، روی آهن، منگنز و کبالت خطر قابل توجهی برای سلامت انسان به همراه داشتند[11]. Mousavi Mourd Ghafari و همکاران (۲۰۲۳) فلزات سنگین کادمیوم، سرب و نیکل در اراضی کشاورزی استان خوزستان را بررسی و گزارش کردند که میانگین میزان کادمیوم، نیکل و سرب در خاک مزارع کشاورزی شهرستان-های باغملک، شاور و شوشتر به ترتیب ۵/۰۴، ۸۳/۴۴ و ۳۱۲/۶۴ میلی گرم بر کیلوگرم بود. میانگین مقادیر کادمیوم و نیکل در خاک مزارع مورد مطالعه بالاتر از میانگین جهانی بود، اما سرب در خاک مناطق مورد مطالعه کمتر از میانگین جهانی بود. خطر اکولوژیکی فلزات سنگین در خاک نشان داد که مزارع شهرستان‌های باغملک و شاوور دارای خطر اکولوژیکی بسیار بالا و شهرستان شوشتر دارای خطر اکولوژیکی شدید است. با توجه به محاسبه شاخص‌های آلودگی، خاک مزارع باغملک، شاوور و شوشتر آلوده به فلزات سنگین مانند کادمیوم، سرب و نیکل بوده و منشأ انسانی دارند. در این مطالعه، شاخص خطر فلزات سنگین کمتر از ۱ بود، تنها در مورد عنصر سرب در کودکان، جذب با بلع بالاتر از ۱ بود. شاخص خطر سرطان عنصر نیز نشان داد که عنصر نیکل دارای پتانسیل سرطان‌زایی برای کودکان است[15]. میزان آلودگی فلزات سنگین شامل سرب، روی، مس، آرسنیک، کروم و کادمیوم در خاک‌های سطحی شهر اهواز با استفاده از شاخص‌های آلودگی و ارزیابی ریسک سلامت گزارش شده است که بیشترین میزان آلودگی مربوط به کادمیوم و سرب و کمترین سطح مربوط به کروم بود. فاکتور غنی‌سازی فلزات سنگین آلودگی متوسط به کروم، سطوح آلودگی بالای مس، کادمیوم و آرسنیک و سطوح آلودگی بسیار بالای سرب و روی را نشان داد. سطوح کادمیوم، کروم و آرسنیک در خاک سطحی اهواز بالاتر از مقادیر استاندارد خاک ایران بود. با این حال، سطوح سرب، روی و مس کمتر بود[17]. به طور کلی استفاده بیش از حد از کودهای کشاورزی (فسفات و نیترات)، فعالیت های صنعتی و انسانی می تواند آلودگی عناصر سمی منابع و محصولات را افزایش دهد که اثرات جبران ناپذیری بر سلامت انسان به ویژه در خطر سرطان زایی دارد[11]. همچنین صنعتی شدن سریع، رسوب در هوا، کود کشاورزی، لجن فاضلاب و استفاده گسترده از کودهای مصنوعی، همگی از عواملی هستند که به وجود عناصر سمی در خاک کمک می‌کنند[5]. از سوی دیگر عناصر سمی به طور طبیعی در نتیجه فرآیند هوازدگی در خاک ایجاد می‌شوند، زیرا منشأ آن‌ها پوسته زمین است. عناصر کمیاب موجود در سنگ‌ها ممکن است در نتیجه فرآیندهای طبیعی مختلفی مانند فرسایش، شسته شدن، فوران‌های آتشفشانی، فرآیندهای بیولوژیکی، فرآیندهای زمین‌شناختی، توفان‌ها و بادهای سطحی به محیط خاک آزاد شوند[24,8].

## نتیجه‌گیری

غلظت سرب در خاک مزارع کشاورزی شهر ویس بالاتر از سایر عناصر بالقوه سمی بود. مقادیر شاخص های فاکتور آلودگی، زمین انباشتگی و خطر بوم شناسی نشان داد که خاک مناطق مورد مطالعه به عناصر بالقوه سمی آلودگی دارند. ارزیابی شاخص خطر غیرسرطان‌زایی (HQ) عناصر بالقوه سمی خاک‌های سطحی مزارع کشاورزی شهر ویس شمال شرق نشان داد که این شاخص کمتر از ۱ به دست آمد. همچنین ارزیابی شاخص خطر سرطان‌زایی (RI) عناصر بالقوه سمی خاک‌های سطحی مزارع کشاورزی شهر ویس شمال شرق نشان داد که مقادیر این شاخص کمتر از $10^{-4}$ به دست آمد. بنابراین ارزیابی ریسک سلامت عناصر بالقوه سمی در خاک نشان داد که عناصر کادمیوم، سرب، آرسنیک، مس، روی و کروم برای سلامتی انسان مشکلی ایجاد نمی کنند. پیشنهاد می شود که میزان عناصر بالقوه سمی به طور مستمر و متناوب در خاک‌های سطحی شهرهای صنعتی و بزرگ استان خوزستان پایش شوند. همچنین توصیه می گردد میزان عناصر بالقوه سمی سرب، آرسنیک و

[ Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-09-16 ]

کادمیوم در سایر محصولات زراعی و باغی شهر ویس سنجش شوند. ارزیابی ریسک سلامت عناصر بالقوه سمی در آب آبیاری، کود، بذر، محصولات زراعی و بوته و ریشه و برگ آن ها مطالعه شود. سایر عناصر بالقوه سمی و خطرناک نظیر جیوه، نیکل، وانادیوم نیز در خاک و محصولات کشاورزی شهرهای ویس، حمیدیه و کارون مطالعه گردد. به کشاورزان، باغداران و ساکنان محلی در خصوص مضرات و مشکلات استفاده از فاضلاب جهت آبیاری اراضی تحت کشت کشاورزی اطلاع رسانی گردد. اداره آب و فاضلاب و مراکز بهداشت شهری و روستایی و سازمان جهاد کشاورزی بر روند استفاده از فاضلاب در زمین های کشاورزی نظارت نمایند. در مناطقی که آب رودخانه و آب مصرفی مناسب جهت کشاورزی وجود ندارد، مجوز کشت محصولات کشاورزی داده نشود. در مواقع خشکسالی منطقه به کشاورزان در عوض عدم استفاده از فاضلاب در کشاورزی مشوق های اقتصادی لازم داده شود.

## سپاسگزاری

سپاسگزاریاین مقاله از طرح پژوهشی درون دانشگاهی تحت عنوان "بررسی تأثیر فعالیتهای صنعتی بر آلودگی خاک و محصولات کشاورزی در کلانشهر اهواز: رویکرد یادگیری ماشین" استخراج شده است. نویسندگان مقاله، تشکر و قدردانی خود را در راستای انجام این تحقیق از مدیریت و معاونت پژوهشی و همکاران محترم این دانشگاه اعلام مینمایند.

## تعارض منافع

نویسندگان هیچ-گونه تعارض منافع با یکدیگر ندارند.

## حمایت مالی

نویسندگان مقاله اعلام مینمایند که هزینه این تحقیق توسط دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز تأمین شده است که بدین -وسیله قدردانی می‌شود.

## ملاحظات اخلاقی

این تحقیق بر روی موجودات زنده و انسان انجام نشده است. نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده ها و داده سازی را در این مقاله رعایت کرده اند. هم‌چنین هر گونه تضاد منافع حقیقی یا مادی که ممکن است بر نتایج یا تفسیر مقاله تاثیر بگذارد را رد میکنند

## مشارکت نویسندگان

نویسندگان مقاله خانم خوشناز پاینده، آقای مهدی فروزانفر، آقای احد نظرپور، آقای محمد ولایت زاده، آقای وحید میراهی و خانم آنا پینارلی در مراحل مختلف انجام پژوهش شامل طراحی وایده، نمونه برداری، عملیات آزمایشگاهی و نگارش مقاله همکاری متقابل داشتند.

[ Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-09-16 ]

## References


1. Velayatzadeh M, Payandeh K. Effect of household water treatment on the concentration of heavy metals of drinking water in Ahvaz city. Iranian South Medical Journal. 2020;22(6):402-414. [In persian].
2. Ajloon FH, Dong X, Ayejoto DA, Ayeni EA, Sabo MY. Seasonal assessment of water quality and water quality index (WQI) variations, in Jiangsu Kunshan Tianfu National Wetland Park, China. International Journal of Environmental Analytical Chemistry. 2024;104(17):5444-5463.
3. Edogbo B, Okolocha E, Maikai B, Aluwong T, Uchendu C. Risk analysis of heavy metal contamination in soil, vegetables and fish around Challawa area in Kano State, Nigeria. Scientific African. 2020;7:e00281.
4. Orosun MM, Nwabachili S, Alshehri RF, Omeje M, Alshdoukhi IF, Okoro HK, Ogunkunle CO, Louis H, Abdulhamid FA, Osahon SE, Mohammed AU. Potentially toxic metals in irrigation water, soil, and vegetables and their health risks using Monte Carlo models. Scientific reports. 2023;13(1):21220.
5. Okoro HK, Orosun MM, Oriade FA, Momoh-Salami TM, Ogunkunle CO, Adeniyi AG, Zvinowanda C, Ngila JC. Potentially toxic elements in pharmaceutical industrial effluents: a review on risk assessment, treatment, and management for human health. Sustainability. 2023;15(8):6974.
6. Egbe ER, Nsonwu-Anyanwu AC, Offor SJ, Opara Usoro CA, Etukudo MH. Heavy metal content of the soil in the vicinity of the united cement factory in Southern Nigeria. Journal of Advances in Environmental Health Research. 2019;7(2):122-30.
7. Ericson B, Otieno VO, Nganga C, St. Fort J, Taylor MP. Assessment of the presence of soil lead contamination near a former lead smelter in Mombasa, Kenya. Journal of Health and Pollution. 2019;9(21):190307.
8. Santos-Frances F, Martínez-Grana A, Avila Zarza C, Garcia Sanchez A, Alonso Rojo P. Spatial distribution of heavy metals and the environmental quality of soil in the Northern Plateau of Spain by geostatistical methods. International journal of environmental research and public health. 2017;14(6):568.
9. Abu Khatita AM. Risk assessment of potentially toxic elements in street dust from Mahd Ad Dhahab gold mine, Saudi Arabia. Journal of Taibah University for Science. 2024;18(1):2281067.
10. Ke W, Li C, Zhu F, Luo X, Feng J, Li X, Jiang Y, Wu C, Hartley W, Xue S. Effect of potentially toxic elements on soil multifunctionality at a lead smelting site. Journal of Hazardous Materials. 2023;454:131525.
11. Mansouri Moghadam S, Payandeh K, Koushafar A, Goosheh M, Mohammadi Rouzbahani M. Level of heavy metals and environmental pollution index in Ahvaz, Southwest Iran. Scientific Reports. 2024;14(1):14754.
12. Jia Z, Li S, Wang L. Assessment of soil heavy metals for eco-environment and human health in a rapidly urbanization area of the upper Yangtze Basin. Scientific reports. 2018;8(1):3256.
13. Agbasi JC, Egbueri JC. Assessment of PTEs in water resources by integrating HHRISK code, water quality indices, multivariate statistics, and ANNs. Geocarto international. 2022 Dec 13;37(25):10407-33.
14. Huang Y, Wang L, Wang W, Li T, He Z, Yang X. Current status of agricultural soil pollution by heavy metals in China: A meta-analysis. Science of the Total Environment. 2019; 651:3034-3042.
15. Mousavi Mourd Ghafari SM, 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.
16. Pour Abbasi H, Payanadeh K, Tadayouni M. Evaluation of some heavy metals and possible health and ecological risk indicators of surface soils of the west of the country: A case study. Journal of Research in Environmental Health. 2024; 10(1):31-47. [In Persian].
17. Boroujerdnia A, Mohammadi Roozbahani M, Nazarpour A, Ghanavati N, Payandeh K. Heavy metal pollution in surface soils of Ahvaz, Iran, using pollution indicators and health risk assessment. Archives of Hygiene Sciences. 2020; 9(4): 299-310.
18. 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.
19. 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.
20. Gupta N, Yadav KK, Kumar V, Prasad S, Cabral-Pinto MM, Jeon BH, Kumar S, Abdellattif MH, Alsukaibia AK. Investigation of heavy metal accumulation in vegetables and health risk to humans from their consumption. Frontiers in Environmental Science. 2022;10:791052.
21. Guven D, Akinci G. Comparison of acid digestion techniques to determine heavy metals in sediment and soil samples. Gazi University Journal of Science. 2011;24(1):29-34.
22. Lo Feudo G, Naccarato A, Sindona G, Tagarelli A. Investigating the origin of tomatoes and triple concentrated tomato pastes through multielement determination by inductively coupled plasma mass spectrometry and statistical analysis. Journal of agricultural and food chemistry. 2010; 58(6): 3801-3807.
23. Senila M. Recent advances in the determination of major and trace elements in plants using inductively coupled plasma optical emission spectrometry. Molecules. 2024;29(13):3169.
24. Turekian KK, Wedepohl KH. Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. Geological society of America bulletin. 1961;72(2):175-192.
25. Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. Water research. 1980;14(8):975-1001.
26. Abrahim, G., 2005. Holocene sediments of Tamaki Estuary: characterisation and impact of recent human activity on an urban estuary in Auckland. New Zealand. Ph.D. thesis, University of Auckland, Auckland, New Zealand,361 p.
27. Sistani N, Moeinaddini M, Khorasani N, Hamidian AH, Ali-Taleshi MS, Yancheshmeh RA. Heavy metal pollution in soils nearby Kerman steel industry: metal richness and degree of contamination assessment. Iranian Journal of Health and Environment. 2017; 10 (1) :75-86. [In Persian].
28. Muller G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. Geo Journal. 1979;2:108-18.
29. Kowalska JB, Mazurek R, Gąsiorek M, Zaleski T. Pollution indices as useful tools for the comprehensive evaluation of the degree of soil contamination–A review.




[ Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-09-16 ]

Environmental geochemistry and health. 2018; 40:2395-420.
30. Ashraf MA, Maah MJ, Yusoff I. Soil contamination, risk assessment and remediation. Environmental risk assessment of soil contamination. 2014;1:3-56.
31. Ihedioha JN, Ukoha PO, Ekere NR. Ecological and human health risk assessment of heavy metal contamination in soil of a municipal solid waste dump in Uyo, Nigeria. Environmental geochemistry and health. 2017;39:497-515.
32. 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].
33. Fisher DJ, Burton DT. Comparison of two US environmental protection agency species sensitivity distribution methods for calculating ecological risk criteria. Human and Ecological Risk Assessment. 2003;9(3):675-90.
34. Hamzenejhad R, Khodaveriloo H. Quantitative assessment of soil heavy metals pollution. Applied Soil Research. 2020; 8(2):37-52. [In Persian].
35. Qingjie G, Jun D, Yunchuan X, Qingfei W, Liqiang Y. Calculating pollution indices by heavy metals in ecological geochemistry assessment and a case study in parks of Beijing. Journal of China university of geosciences. 2008;19(3):230-41.
36. Hojati S. Pollution assessment and source apportionment of arsenic, lead and copper in selected soils of Khuzestan Province, southwestern Iran. Arabian Journal of Geosciences. 2017;10:1-3.
37. Sahraei N, Landi A, Hojati S, Pasolli E. Assessment of pollution in the central soils of Khuzestan province with potentially toxic elements (PTEs) and their origins. Water and Soil. 2023;37(3):457-471. [In Persian].
38. Rashed MN. Monitoring of contaminated toxic and heavy metals, from mine tailings through age accumulation, in soil and some wild plants at Southeast Egypt. Journal of hazardous materials. 2010;178(1-3):739-746.
39. Aghapour Sabaghi M, Masihi S. Economic Valuation of Karu Rivers Water from the View Point of Wheat Farmers in Molasani District. Journal of Water Research in Agriculture. 2014; 28 (1): 107-117. [In Persian].
40. Ghadiri H. Salinization of Karun River in Iran by shallow groundwater and seawater encroachment. Advances in Hydro-Science and Engineering. 2016;4:1-9.
41. Karamouz M, Mahjouri N, Kerachian R. River water quality zoning: a case study of Karoon and Dez River system. Environmental Health Science and Engineering. 2004; 1 (2): 16-27.
42. Naddafi K, Honari H, Ahmadi M. Water quality trend analysis for the Karoon River in Iran. Environmental monitoring and assessment. 2007;134:305-12.

[ Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-09-16 ]