JEHE Alborz University of Medical Sciences Journal of Environmental Health Engineering , 2025; 13(2):118-133 Original Article

Investigation of the bioaccumulation of heavy metals Pb, Cd, Ni and Fe in the leaves of sugarcane (Saccharum officinarum): A case study of Amirkabir Company farms

Received: 18 May 2025, Accepted: 02 June 2025

Leila Bovard[1], Maryam Mohammadi Roozbahani[1*]

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

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

How to Cite This Article:
Bovard L, Mohammadi Roozbahani M. Investigation of the bioaccumulation of heavy metals Pb, Cd, Ni and Fe in the leaves of sugarcane (Saccharum officinarum): A case study of Amirkabir Company farms. Journal of Environmental Health Engineering. 2025;13(2):118-33.

DOI:
10.61882/jehe.13.2.118

ABSTRACT

Background: Plants are one of the biological indicators that can be used to determine the state of heavy metal pollution in the soil. This study was conducted in 2024 with the aim of bio-investigating the heavy metals Pb, Cd, Fe and Ni in sugarcane (*Saccharum officinarum*) at Amirkabir Agriculture and Industry Company.

Materials and Methods: According to the farms of Amirkabir Agriculture and Industry Company, 6 stations were selected, from which 18 soil samples and 36 leaf samples were collected randomly with 3 replications from 4 different geographical directions. In order to investigate the bioaccumulation of heavy metals in leaves, the bioaccumulation coefficient was used.

Results: The results showed that there was a significant difference between the soil and washed and unwashed sugarcane leaves in six stations ($P<0.05$). The concentration of Pb, Cd, Fe and Ni in soil samples was higher than in *Saccharum officinarum*. Also, in six stations, the concentration of heavy metals in unwashed leaves was higher than in washed leaves. The highest average concentration of heavy metals in plants among the four metals studied belonged to Fe (198.08±3.68 mg kg^{-1}) and the lowest concentration belonged to Cd (4.86±0.33 mg kg^{-1}). The average bioaccumulation coefficients of Pb, Cd, Fe and Ni were 0.95, 0.62, 0.26 and 0.77, respectively.

Conclusion: The bioaccumulation coefficient values of heavy metals were less than 1. Pb had the highest and Fe the lowest bioaccumulation coefficient, so it can be concluded that sugarcane has the potential to phytoremediate Pb.

Keywords: Plant leaf contamination, heavy metal toxicity, bioaccumulation index, sugarcane phytoremediation

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-28]

[DOI: 10.61882/jehe.13.2.118]

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
Alborz University of Medical Sciences
مجله مهندسی بهداشت محیط، دوره ۱۳، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۴، صفحات ۱۱۸ تا۱۳۳
مقاله پژوهشی

بررسی انباشت زیستی فلزات سنگین سرب، کادمیوم، نیکل و آهن در برگ گیاه نیشکر (*Saccharum officinarum*): مطالعه موردی مزارع شرکت امیرکبیر

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۱۲

لیلا بورد[۱]، مریم محمدی روزبهانی[۱*]

[۱] گروه محیط زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

چکیده

زمینه و هدف: گیاهان یکی از شاخص‌های زیستی هستند که با استفاده از آن‌ها می‌توان وضعیت آلودگی فلزات سنگین خاک را مشخص کرد. پژوهش حاضر در سال ۱۴۰۳ با هدف بررسی زیستی فلزات سنگین سرب، کادمیوم، نیکل و آهن نیشکر (Saccharum officinarum) در شرکت کشت و صنعت امیرکبیر انجام شد.

مواد و روش ها: با توجه به مزارع شرکت کشت و صنعت امیرکبیر تعداد ۶ ایستگاه انتخاب شد که ۱۸ نمونه خاک و ۳۶ نمونه برگ به صورت تصادفی با ۳ تکرار، از ۴ جهت مختلف جغرافیایی جمع‌آوری شد. به منظور بررسی انباشت زیستی فلزات سنگین در برگ از ضریب تجمع زیستی استفاده گردید.

یافته ها: نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین گروه‌های خاک و برگ‌های شسته شده و شسته نشده نیشکر در شش ایستگاه وجود داشت ($P<۰/۰۵$). غلظت فلزات سرب، کادمیوم، آهن و نیکل در نمونه‌های خاک بیشتر از نمونه گیاهی بود. همچنین در شش ایستگاه غلظت فلزات سنگین در برگ شسته نشده بیشتر از برگ شسته شده بود. بیشترین میانگین غلظت فلزات سنگین گیاه بین چهار فلزات مورد بررسی متعلق به آهن (۱۹۸/۰۸±۳/۶۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) وکمترین غلظت متعلق به کادمیوم (۴/۸۶±۰/۳۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) به دست آمد. میانگین ضریب انباشت زیستی فلزات سنگین سرب، کادمیوم، آهن و نیکل به ترتیب برابر ۰/۹۵، ۰/۶۲، ۰/۲۶ و ۰/۷۷ بود.

نتیجه گیری: مقادیر ضریب انباشت زیستی فلزات سنگین کمتر ۱ به دست آمد. فلز سرب بیشترین و فلز آهن کمترین ضریب انباشت زیستی را داشتند، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که گیاه نیشکر پتانسیل گیاه‌پالایی فلز سرب را داشت.

واژه های کلیدی: آلودگی برگ گیاهان، سمیت فلزات سنگین، شاخص انباشت زیستی، گیاه‌پالایی نیشکر

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

نحوه استناد به این مقاله:
Bovard L, Mohammadi Roozbahani M. Investigation of the bioaccumulation of heavy metals Pb, Cd, Ni and Fe in the leaves of sugarcane (Saccharum officinarum): A case study of Amirkabir Company farms. Journal of Environmental Health Engineering. 2025;13(2):118-33.

DOI:
10.61882/jehe.13.2.118

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-28]
[DOI: 10.61882/jehe.13.2.118]

مقدمه

فلزات سنگین عناصر طبیعی و سمی در محیط‌زیست هستند که افزایش غلظت آن‌ها به طور مستقیم به منابع منشأ انسانی مرتبط است[۱]. آلودگی خاک با فلزات سنگین به دلیل تأثیر بالقوه آن بر محیط‌زیست و سلامت انسان، یک نگرانی جهانی است. بخش وسیعی از زمین‌های کشاورزی در نتیجه فعالیت‌های معدن، ذوب فلزات، سوزاندن سوخت‌های فسیلی، کودهای فسفاته و لجن فاضلاب به فلزات آلوده شده‌اند[۲]. بر اساس سمیت بالای فلزات سنگین، انباشت آن‌ها در زمین‌های کشاورزی می‌تواند منجر به آلودگی خاک کشاورزی شود و علاوه بر اینکه بر رشد سریع محصولات و عملکرد کیفی محصولات کشاورزی تأثیر می گذارد، سلامت انسان را از طریق زنجیره غذایی تهدید می کند[۳]. اثرات مزمن فلزات سنگین اختلالات سیستم مغزی، نارسایی کلیه و کبد، افسردگی و کم خونی را بوجود می‌آورند. آن‌ها همچنین می‌توانند در برخی موارد و شرایط سرطان‌زا باشند. یک نقش بسیاری از اثرات نامطلوب سلامتی ناشی از فلزات سنگین ناشی از ایجاد رادیکال های آزاد است که باعث آسیب DNA، پراکسیداسیون لیپیدی و کاهش پروتئین سولفیدریل ها مانند گلوتاتیون می شود[۴،۵].

کادمیوم و سرب جزء فلزات سنگین می‌باشند که برای انسان بسیار سمی هستند[۶]. کادمیوم به دلیل اثراتی که بر محیط-زیست و سلامت انسان دارد یکی از خطرناک‌ترین فلزات سنگین است. کادمیوم در بافت‌ها و اندام‌های مختلف انباشته می‌شود و باعث ایجاد اثرات کلیوی، کبدی و سرطان‌زایی می‌شود. در بدن انسان، قرار گرفتن در معرض کادمیوم می تواند منجر به اثرات سمی مانند توقف رشد و همچنین سمیت در کلیه‌ها و کبد شود. کادمیوم در سطح مولکولی، کادمیوم به تولید گونه‌های فعال اکسیژن کمک می‌کند، باعث آسیب DNA می‌شود و فرآیندهای ترمیم DNA را مختل می‌کند که در نهایت منجر به سرطان خواهد شد[۷]. سرب دومین عنصر خطرناک، دارای ویژگی‌های توزیع پایدار و سمیت در اکوسیستم ها است. با در نظر گرفتن علل انسانی، منابع اولیه سرب، نهاده های کشاورزی و پساب‌های صنعتی و شهری است[۸]. اثرات سرب بر سلامت انسان شامل آسیب به سیستم عصبی و گوارشی، فشار خون بالا، نارسایی کلیه، اختلالات خونساز و سرطان است. علاوه بر این، در کودکان، می تواند باعث تاخیر در رشد ذهنی، نقص توجه و اختلال شنوایی شود. علاوه بر این، بی اشتهایی، کم خونی، آسیب مغزی، استفراغ و بیماری های سیستم گردش خون و عصبی نمونه های قابل توجهی از اثرات نامطلوب آلودگی سرب هستند[۹].

نیکل و ترکیبات آن کاربردهای گسترده‌ای در صنایع مختلف دارند، بنابراین انتشار این عنصر در بیوسفر ممکن است بر روند فرآیندهای فیزیولوژیکی و متابولیک موجود در ارگانیسم‌ها تأثیر منفی بگذارد که منجر به عدم تعادل می‌شود[۱۰،۱۱]. نیکل در محیط طبیعی بسیار متحرک است و به طور یکنواخت در خاک توزیع می‌شود و محتوای نیکل معمولی خاک به طور گسترده‌ای بر اساس های مادری متفاوت است. این فلز با سطوح بالا در خاک های سطحی با فرآیندهای تشکیل خاک و آلودگی‌های انسانی مرتبط است[۱۲]. آهن برای گیاهان و حیوانات ضروری بوده و چهارمین عنصر و دومین فلز رایج در پوسته زمین است و نسبتاً فراوان در بسیاری از خاک‌های کشت شده می باشد که در خاک‌های بدون اکسیژن به صورت آهن دوظرفیتی و اکسیداسیون آن به حالت آهن سه ظرفیتی منجر به تغییرات مهمی در فرآیندهای پدوژنتیک می‌شود. کمبود آهن در خاک های قلیایی که حلالیت آهن در آن‌ها کم است و خاک‌هایی با سطوح بالای فسفر، منگنز یا روی بیشتر دیده می شود. سمیت آهن در خاک‌های اسیدی که حلالیت آهن در آن زیاد است، بیشتر است. علائم مسمومیت با آهن معمولاً روی برگ‌های مسن به صورت لکه های قهوه ای تیره یا ضایعات نکروزه ظاهر می شود. برگ های آسیب دیده ممکن است برنزی یا خشک شوند[۱۳،۱۴].

مطالعات متعددی در زمینه انباشت فلزات سنگین در برگ گیاهان، درختان، سبزیجات و خاک آن‌ها انجام شده است.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-28]

[DOI: 10.61882/jehe.13.2.118]

بررسی میزان تجمع زیستی فلزات سنگین کادمیوم، سرب و نیکل در خاک و گیاه چغندر و هویج زمین‌های کشاورزی شهرستان شوش ضریب تجمع زیستی فلز سرب، نیکل و کادمیوم در گیاه چغندر و هویج پایین‌تر از ۱ و غلظت کادمیوم، سرب و نیکل در خاک و گیاه چغندر و هویج بالاتر از حد مجاز استاندارد سازمان بهداشت جهانی (سرب و کادمیوم به ترتیب ۰/۳ و ۰/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) گزارش شده است[۶]. همچنین پایش زیستی فلزات سنگین سرب، کادمیوم، نیکل و آهن در نمونه های خاک نسبت به برگ درختان کهور (*Prosopis juliflora*) و نخل (*Phoenix dactylifera*) در کارخانه فولاد شادگان بالاتر گزارش شده است[۱۰]. در تحقیقی مقادیر تجمع زیستی فلزات سنگین آهن، سرب و کادمیوم توسط برگ درختان کنار (*Ziziphus spina-christi*) و کهور (*Prosopis juliflora*) مستقر در حاشیه یک مجتمع فولاد بزرگ‌تر از ۱ گزارش شده است[۱۵]. مطالعه ای نشان داد جذب زیستی سرب (II) از محلول‌های آبی با استفاده از برگ گیاه نیشکر نشان داد بیومس برگ گیاه نیشکر به عنوان یک جاذب ارزان و با امکان آماده‌سازی در شرایط مختلف می‌تواند به عنوان یک جاذب در حذف یون سرب (II) از محلول‌های آبی مورد استفاده قرار گیرد[۱۶]. در تحقیق دیگری مقدار فاکتور تجمع زیستی فلز سرب در هر دو گونه برهان (*Albizia lebbeck*) و کنوکارپوس (*Conocarpus erectus*) کمتر از ۱ و درمورد فلز نیکل، میانگین هر دو گونه بیشتر از ۱ به‌دست آمد که نشان می‌دهد گونه‌های مذکور قادر به استخراج فلز نیکل از خاک هستند[۱۷]. همچنین مقادیر تجمع زیستی فلزات سرب، نیکل و کروم دو گونه اوکالیپتوس (*Eucalyptus microtheca*) و برهان (*Albizia lebbeck*) در محدوده شرکت گروه ملی صنعتی فولاد ایران، کمتر از ۱، اما در ارتباط با فلز کادمیوم بیشتر از ۱ گزارش شده است که نشان دهنده توانایی این دو گونه در پالایش خاک های آلوده به فلز سنگین کادمیوم است[۱۸].

بنابراین با توجه به مطالب یاد شده، پایش و اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین در محصولات زراعی برای محافظت از سلامت جمعیت و کاهش خطرات مرتبط با قرار گرفتن در معرض فلزات سنگین ضروری است. این تحقیق با هدف بررسی ضریب انباشت زیستی فلزات سنگین سرب، کادمیوم، نیکل و آهن در گیاه نیشکر و خاک پای این گیاه در کشت و صنعت امیرکبیر انجام شد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در سال زراعی ۱۴۰۳ و فصل تابستان در مزارع شرکت کشت و صنعت نیشکر امیرکبیر اجرا شد. کشت و صنعت امیرکبیر در ۴۵ کیلومتری جنوب اهواز، غرب رودخانه کارون و شرق جاده اهواز به خرمشهر قرار دارد. این منطقه بین طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۱۲ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۳۰ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۴۰ دقیقه واقع شده است. مساحت ناخالص اراضی این کشت و صنعت ۱۵۰۰۰ هکتار و مساحت خالص آن ۱۲۰۰۰ هکتار است که تقسیمات مزارع معمولا به شکل‌های هندسی منظم (عموماً مستطیل شکل و دارای ۲۵۰ متر عرض و ۱۰۰۰ متر طول است) در قطعات ۲۵ هکتاری صورت می‌گیرد.

برای تعیین ایستگاه‌های نمونه‌برداری با توجه به بازدید میدانی از مزرعه انجام شد. در مرحله مطالعه میدانی با توجه به منابع آلاینده نفتی در منطقه و غبور جاده اهواز ـ خرمشهر در کنار مزرعه، ۶ ایستگاه در محدوده مطالعاتی انتخاب شد. سپس با استفاده از دستگاه GPS مکان دقیق نمونه‌برداری از نظر طول و عرض جغرافیایی منطقه تعیین و یادداشت شد (جدول ۱).

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-28]

[DOI: 10.61882/jehe.13.2.118]

جدول ۱. موقعیت جغرافیایی نقاط نمونه‌برداری شرکت کشت و صنعت امیرکبیر

ایستگاه	X	Y	موقعیت
۱	۲۳۳۸۷۸/۷۴۳۶	۳۴۳۴۸۳۶/۷۰۹	نزدیک به جاده
۲	۲۳۳۸۵۱/۵۵۶	۳۴۳۴۵۹۳/۲۹۸	
۳	۲۳۳۸۲۴/۳۶۸۵	۳۴۳۴۳۴۹/۸۸۶	
۴	۲۳۳۶۲۴/۸۹۲۲	۳۴۳۴۴۴۴/۱۹۸	نزدیک به فلر نفتی
۵	۲۳۳۶۶۲/۳۳۱	۳۴۳۴۷۶۸/۶۱۱	
۶	۲۳۳۶۳۹/۱۱۰۳۶۹	۳۴۳۴۸۹۱/۹۳۳۶۰	

در این پژوهش عوامل آزمایش شامل خاک و برگ گیاه نیشکر بود. تیمارها شامل نمونه های گیاهی شامل دو گروه شسته شده و شسته نشده، چهار فلز سرب، کادمیوم، نیکل و آهن و شش ایستگاه نمونه برداری بود. نمونه‌های نیشکر شامل ۱۴۴ نمونه گیاه (۴ جهت جغرافیایی × ۲ تیمار شسته و نشسته × ۶ ایستگاه × ۳ تکرار) و همچنین نمونه خاک شامل خاک پای هر گیاه با سه تکرار (۴ جهت جغرافیایی × ۶ ایستگاه × ۳ تکرار)و کل نمونه های خاک ۷۲ نمونه بود. جهت نمونه‌برداری از برگ نیشکر در ایستگاه‌ها، برگ‌ها از ۴ جهت مختلف با استفاده از قیچی باغبانی برداشت و از هر ایستگاه ۳ تکرار نمونه‌برداری انجام گرفت و جهت انتقال به آزمایشگاه در کیسه‌های کاغذی قرار داده شد. به منظور برداشت نمونه های خاک از هر ایستگاه ۴ نمونه خاک از عمق ۳۰-۰ سانتیمتر با ۳ تکرار برداشت شد.

نمونه‌های برگ بعد از انتقال به آزمایشگاه برای هر ایستگاه به دو گروه تقسیم شد که یک گروه شسته شده و یک گروه به همان شکل شسته نشده خشک شد. برای هضم نمونه‌های برگ نیشکر آنالیز با استفاده از روش جکسون ۱۹۸۰ انجام شد. نمونه‌های گیاه نیشکر در پاکت‌های کاغذی و درون دستگاه آون ساخت شرکت Memmert مدل UN30 در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد تا خشک شدند. پس از خشک شدن نمونه‌ها توسط هاون چینی و آسیاب برقی برگ‌ها را به شکل پودر درآورده و پس از غربال کردن با استفاده از الک ۶۳ میکرون ۱ گرم از گیاه پودر شده با استفاده از ترازوی ساخت شرکت Sartorius مدل TE214S توزین شد[۲۵]. برای هضم نمونه های برگ نیشکر، ۰/۵ گرم از نمونه پودر شده برگ گیاه به ارلن ۱۰۰ منتقل و سپس به‌وسیله پیپت ۵ سی سی اسید نیتریک غلیظ به هر کدام از نمونه‌ها اضافه شد و با گذاشتن شیشه ساعت بر روی ارلن‌ها به مدت ۲۴ ساعت زیر هود قرار گرفتند. سپس ارلن‌ها را بر روی هیتر با دمای ۸۰ الی ۹۰ درجه سانتیگراد در زیر هود قرار گرفتند و عمل حرارت دادن به ملایمت آغاز تا بخار خرمایی رنگی از تمامی نمونه‌ها متصاعد شد. پس از گذشت ۱۰ دقیقه مقدار ۲ سی سی آب اکسیژنه ۳۰ درصد به هریک از ارلن‌ها اضافه و به‌صورت دورانی تکان داده شدند و دوباره روی هیتر گذاشته شدند و عمل حرارت دادن شدیدتر شد و هر ۱۵ دقیقه با کم شدن حجم محلول دو مرتبه ۲ سی سی آب اکسیژنه ۳۰ درصد به آن افزوده شد تا زمانی که محلول به رنگ زرد کم رنگ و یا بیرنگ شد و در این مرحله اکسیداسیون مواد گیاهی به اتمام رسید. این عمل تا زمانی ادامه یافت که حجم نمونه به ۲ الی ۳ سی سی کاهش یافت و نمونه کاملاً بیرنگ شد. پس از بیرنگ شدن کامل نمونه و کاهش حجم آن پس از خنک شدن ظرف سپس مقداری آب مقطر به آن اضافه و با عبور از کاغذ صافی واتمن ۴۰ میکرون با استفاده از قیف محلول را به درون بالون روژه ۵۰ سی سی که از قبل اسیدشویی شده بود ریخته و با اسید نیتریک ۱۰ درصد آن را به حجم ۵۰ سی سی رسانده شد، سپس به ظرف پلی اتیلنی درب‌دار

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-28]

[DOI: 10.61882/jehe.13.2.118]

منتقل شد و غلظت آهن، نیکل، کادمیوم و سرب موجود در نمونه‌ها توسط دستگاه جذب اتمی ساخت شرکت Perkin Elmer مدل 900T قرائت گردید[۲۶].

برای هضم نمونه‌های خاک از روش استاندارد EPA ۳۰۵۰ استفاده شد. برای آماده‌سازی نمونه‌های خاک، ابتدا خاک‌ها را در ظرف‌های شیشه‌ای مخصوص نمونه خاک‌ریخته و در دستگاه آون ساخت شرکت Memmert مدل UN30 به مدت ۲۴ ساعت با دمای ۸۰ درجه سانتیگراد قرار داده شدند تا کاملا خشک و پس از خشک شدن نمونه‌ها در هاون چینی پودر و از الک ۶۳ میکرون عبور داده و به میزان ۱ گرم با استفاده از ترازوی ساخت شرکت Sartorius مدل TE214S جهت آزمایش توزین شدند[۲۵]. سپس ۰/۵ گرم از نمونه پودر شده خاک به ارلن ۱۰۰ منتقل و به‌وسیله پیپت ۵ قطره اسید کلریدریک ۱ نرمال به هر کدام از نمونه‌ها اضافه نموده و ارلن‌ها را به شکل دورانی تکان داده تا خاک و اسید کاملاً با هم مخلوط گردید. بعد از آن ۵ سی سی تیزاب سلطانی به هر کدام از ارلن‌ها اضافه کرده و دوباره تکان داده شدند سپس ارلن‌ها را بر روی هیتر برقی با دمای ۱۰۰ الی ۱۵۰ درجه سانتیگراد به مدت ۱۵ دقیقه در زیر هود حرارت داده تا رنگ نمونه‌ها تیره گردید و بخار اسید از آن خارج شد. سپس به هریک از نمونه‌ها ۵ سی سی اسید پرکلریک اضافه نموده و مجدداً ارلن‌ها را بر روی هیتر قرار داده شدند تا حجم نمونه‌ها به ۲ الی ۲۳ کاهش یافت. پس از خنک شدن ظرف مقداری آب مقطر به محلول اضافه و با استفاده از قیف و کاغذ صافی واتمن ۴۰، درون بالون ژوژه ۵۰ سی سی ریخته و با اسیدکلریدریک ۱ نرمال آن را به حجم ۵۰ سی سی رسانده و در آخر محلول نهایی را به ظرف پلی اتیلنی درب‌دار قرار داده شد و غلظت آهن، نیکل، کادمیوم و سرب موجود در نمونه‌ها توسط دستگاه جذب اتمی ساخت شرکت Perkin Elmer مدل 900T قرائت گردید[۲۷].

ضریب انباشت زیستی (Bioconcentration Factor; BCF) از طریق رابطه ۱ محاسبه گردید که C_{Plant} غلظت فلز موجود در برگ گیاه نیشکر و C_{Soil} غلظت فلز در خاک پای گیاه نیشکر بود. بر اساس این رابطه گیاهانی که دارای ضریب انباشت زیستی بیشتر از ۱ به خصوص در مجموع اندام‌های هوایی خود باشند، جهت استخراج گیاهی مناسب هستند. از آنجایی که نمونه‌برداری برگ گیاه نیشکر در این آزمایش اندام هوایی هر گونه گیاهی را در برمی‌گیرد، ضریب انباشت زیستی در اندام هوایی با استفاده از مقادیر انباشت فلزات در برگ‌ها محاسبه گردید[۲۸].

رابطه ۱:

$$BCF = \frac{C_{Plant}}{C_{Soil}}$$

به منظور تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ استفاده شد. مقایسه میانگین فلزات سنگین به‌روش آزمون t انجام گردید. همچنین واریانس داده ها به کمک ANOVA تحلیل و جدول‌ها با استفاده از نرم افزار Excel نسخه ۲۰۰۷رسم شدند.

یافته‌ها

نتایج غلظت فلزات سنگین نشان داد در تمام ایستگاه‌ها غلظت فلزات سرب، کادمیوم، آهن و نیکل نمونه‌های خاک بیشتر از نمونه گیاهی بود. همچنین در شش ایستگاه ترتیب غلظت فلزات سنگین در خاک و برگ گیاه نیشکر از بیشترین به کمترین به صورت آهن>نیکل>سرب>کادمیوم بود. در بین برگ شسته شده و شسته نشده بیشترین غلظت فلز سرب در ایستگاه ۲ مربوط به برگ شسته نشده ۱۵/۹۰±۰/۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. بیشترین غلظت فلز کادمیوم مربوط به ایستگاه ۴ برای برگ شسته نشده ۵/۶۵±۰/۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم به دست آمد. مقایسه غلظت فلز آهن در شش ایستگاه نشان داد که ایستگاه ۶ بیشترین غلظت این فلز را در برگ شسته نشده ۱۹۹/۲۵±۰/۴۵میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. بیشترین غلظت فلز نیکل نیز در برگ شسته نشده در ایستگاه شماره ۱، ۳۷/۴۰±۰/۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده شد (جدول ۲).

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-28]

[DOI: 10.61882/jehe.13.2.118]

جدول ۲. میانگین غلظت فلزات سنگین (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در برگ نیشکر و خاک مزارع کشت نیشکر

ایستگاه‌ها	نمونه‌ها	سرب	کادمیوم	آهن	نیکل
۱	شسته شده	۱۱/۰±۳۵/۰۵	۴/۰±۵۷/۳۵	۱۹۴/۰±۸۰/۷۰	۰±۳۶/۱۰
	شسته نشده	۱۳/۰±۸۰/۴۰	±۸۵/۴ ۰/۳۵	۱۹۹/ ۰±۰۰/۵۰	۳۷/۰±۴۰/۸۰
	خاک	۱۴/۰±۹۰/۴۰	۸/۰±۰۵/۲۵	۷۶۴/۰±۴۵/۴۵	۴۷/۱±۳۵/۸۹
۲	شسته شده	۱۱/۰±۸۰/۲۰	۴/۰±۷۰/۴۰	۱۵۳/۳۸±۷۰/۱۱	۳۵/۰±۱۵/۰۵
	شسته نشده	۱۵/۰±۹۰/۳۰	۵/۰±۰۵/۲۵	۱۹۶/۰±۸۰/۴۰	۳۶/۰±۶۰/۵۰
	خاک	۱۶/۰±۵۶/۳۸	۸/۰±۱۸/۲۶	۷۶۰/۱±۶۵/۶۰	۴۷/۱±۳۱/۱۴
۳	شسته شده	۱۱/۰±۹۰/۲۰	۴/۰±۴۵/۳۵	۱۹۵/۰±۴۵/۶۵	۳۵/۰±۱۵/۰۵
	شسته نشده	۱۳/۰±۵۰/۴۰	۵/۰±۳۵/۲۵	۱۹۷/۰±۰۳/۴۵	۳۶/۰±۸۰/۴۰
	خاک	۱۴/۰±۱۵/۳۵	۷/۱±۸۸/۰۴	۷۴۵/۰±۴۰/۴۰	۴۶/۰±۸۷/۵۸
۴	شسته شده	۱۲/۰±۱۰/۲۰	۴/۰±۲۰/۳۰	۱۹۶/۰±۲۵/۷۵	۳۳/۰±۱۰/۱۰
	شسته نشده	۱۴/۰±۳۵/۳۵	۵/۰±۶۵/۲۵	۱۹۸/۰±۷۵/۴۵	۳۴/۰±۳۵/۴۵
	خاک	۱۵/۰±۱۴/۱۹	۸/۰±۰۰/۲۴	۷۴۳/۱±۸۹/۶۴	۴۶/۱±۸۰/۰۸
۵	شسته شده	۱۲/۰±۳۵/۲۵	۴/۰±۹۵/۴۵	۱۹۶/۰±۲۰/۷۰	۳۴/۰±۱۵/۰۵
	شسته نشده	۱۵/۰±۸۵/۲۵	۵/۰±۴۵/۳۵	۰±۱۹۸/۳۰	۳۵/۰±۶۵/۰۵
	خاک	۱۶/۰±۴۹/۵۰	۹/۰±۱۸/۴۲	۷۴۰/۳±۰۱/۳۷	۴۷/۱±۴۰/۵۰
۶	شسته شده	۱۱/۰±۴۵/۴۵	۴/۰±۷۰/۴۰	۱۹۶/۰±۹۰/۷۰	۰±۳۵/۱۰
	شسته نشده	۱۴/۰±۵۰/۴۰	۴/۰±۴۰/۳۰	۱۹۹/۰±۲۵/۴۵	۰±۳۷/۷۰
	خاک	۱۵/۰±۳۰/۳۶	۸/۰±۷۵/۳۵	۷۳۴/۰±۴۰/۴۰	۴۷/۰±۱۰/۵۰

نتایج مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین خاک در شش ایستگاه بر اساس آزمون t بین غلظت فلزات سنگین (به جز نیکل) بین شش ایستگاه نمونه‌برداری اختلاف معنی دار مشاهده گردید. بیشترین غلظت فلز سرب خاک مربوط به ایستگاه ۲ برابر ۱۶/۵۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم و کمترین غلظت این فلز مربوط به ایستگاه ۳ برابر ۱۴/۱۵ میلی گرم بر کیلوگرم بود. بین ایستگاه‌های ۲ و ۵ با ایستگاه‌های ۱ و ۳ از نظر مقدار سرب اختلاف معنی‌داری مشاهده شد ($P<۰/۰۵$)، بین سایر ایستگاه‌ها با یکدیگر تفاوت معنی داری مشاهده نشد ($P>۰/۰۵$). بیشترین و کمترین غلظت کادمیوم به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ۵ و ۳ به ترتیب برابر ۹/۱۸ و ۷/۸۸ میلی گرم بر کیلوگرم بود. همچنین نتایج نشان داد که بین ایستگاه‌های ۵ و ۶ با سایر ایستگاه‌ها تفاوت معنی دار مشاهده گردید ($P<۰/۰۵$). بیشترین و کمترین غلظت آهن خاک به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ۱ و ۶ با غلظت ۷۶۴/۴۵ و ۷۳۴/۴۰ میلی گرم بر کیلوگرم بود. بین ایستگاه‌های ۱ و ۲ با سایر ایستگاه‌های نمونه برداری اختلاف معنی‌داری مشاهده شد ($P<۰/۰۵$). بین ایستگاه‌های مختلف، بیشترین غلظت نیکل خاک مربوط به ایستگاه ۵ برابر ۴۷/۴۰ میلی گرم بر کیلوگرم و کمترین غلظت نیکل در ایستگاه ۴ با غلظت ۴۶/۸۰ میلی گرم بر کیلوگرم بود. بین ایستگاه‌های

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-28]

[DOI: 10.61882/jehe.13.2.118]

نمونه برداری تفاوت معنی‌داری از نظر مقدار نیکل خاک مشاهده نشد (P>۰/۰۵).

جدول ۳. مقایسه آماری غلظت فلزات سنگین (میلی‌گرم بر کیلوگرم) نمونه‌های خاک مزارع کشت نیشکر

ایستگاه	سرب	کادمیوم	آهن	نیکل
۱	۱۴/۰±۹۰/۴۰^{b}	۸/۰±۰۵/۲۵^{b}	۷۶۴/۰±۴۵/۴۵^{a}	۴۷/۱±۳۵/۸۹^{a}
۲	۱۶/۰±۵۶/۳۸^{a}	۸/۰±۱۸/۲۶^{b}	۷۶۰/۱±۶۵/۶۰^{a}	۴۷/۱±۳۱/۱۴^{a}
۳	۱۴/۰±۱۵/۳۵^{b}	۷/۱±۸۸/۰۴^{b}	۷۴۵/۰±۴۰/۴۰^{b}	۴۶/۰±۸۷/۵۸^{a}
۴	۱۵/۰±۱۴/۱۹^{ab}	۸/۰±۰۰/۲۴^{b}	۷۴۳/۱±۸۹/۶۴^{b}	۴۶/۱±۸۰/۰۸^{a}
۵	۱۶/۰±۴۹/۵۰^{a}	۹/۰±۱۸/۴۲^{a}	۷۴۰/۳±۰۱/۳۷^{b}	۴۷/۱±۴۰/۵۰^{a}
۶	۱۵/۰±۳۰/۳۶^{ab}	۸/۰±۷۵/۳۵^{a}	۷۳۴/۰±۴۰/۴۰^{b}	۴۷/۰±۱۰/۵۰^{a}

در هر ستون حروف غیرمشابه (a, b, ..) نشان دهنده اختلاف معنی‌دار آماری (P<۰/۰۵) بر اساس آزمون t غیرجفتی بود.

با توجه به نتایج بین غلظت سرب برگ شسته شده و نشده در شش ایستگاه نمونه برداری تفاوت معنی دار مشاهده گردید (P<۰/۰۵). بررسی مقایسه میانگین مقدار کادمیوم بین برگ شسته شده و نشده نشان داد که در ایستگاه ۳ و ۴ بین دو نمونه برگ اختلاف معنی دار مشاهده شد (P<۰/۰۵)، اما در سایر ایستگاه غلظت کادمیوم برگ شسته شده و نشده با هم اختلاف معنی داری نداشتند (P>۰/۰۵). غلظت آهن نیز در ایستگاه ۲ نشان داد که بین دو نمونه برگ شسته شده و نشده اختلاف معنی دار مشاهده شد (P<۰/۰۵)، اما در سایر ایستگاه غلظت آهن برگ شسته شده و نشده با هم اختلاف معنی دار نداشتند (P>۰/۰۵). برای فلز نیکل در تمام ایستگاه‌ها بین دو نمونه برگ شسته شده و نشده اختلاف معنی دار مشاهده نشد (P>۰/۰۵). بیشترین و کمترین مقدار سرب نمونه گیاه به ترتیب در ایستگاه ۵ و ۱ به ترتیب برابر ۱۴/۱۰ و ۱۲/۵۸ میلی گرم بر کیلوگرم به دست آمد. همچنین نتایج نشان داد که بین ایستگاه های ۲ و ۵ با ایستگاه‌های دیگر و بین ایستگاه ۴ با سایر ایستگاه ها اختلاف معنی داری مشاهده شد (P<۰/۰۵). بین ایستگاه های ۱، ۳ و ۶ از نظر مقدار سرب اختلاف معنی داری مشاهده نشد (P>۰/۰۵). بیشترین و کمترین مقدار کادمیوم نمونه گیاه به ترتیب در ایستگاه ۵ و ۶ به ترتیب برابر ۵/۲۰ و ۴/۵۵ میلی گرم بر کیلوگرم به دست آمد. بین ایستگاه‌های ۵ با ایستگاه‌های دیگر و بین ایستگاه های ۲، ۳ و ۴ با سایر ایستگاه ها اختلاف معنی‌داری مشاهده شد (P<۰/۰۵). بین ایستگاه های ۲، ۳ و ۴ با یکدیگر و بین ایستگاه های ۱ و ۶ با یکدیگر از نظر مقدار کادمیوم اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (P>۰/۰۵). مقدار آهن نمونه‌های گیاه نیشکر در شش ایستگاه نمونه‌برداری به جز در ایستگاه ۲ مقدار تقریبا یکسان دارند (P<۰/۰۵)، به طوری که بین ایستگاه ۲ و سایر ایستگاه‌ها اختلاف معنی داری مشاهده شد (P<۰/۰۵). بیشترین مقدار آهن در ایستگاه ۶ برابر ۱۹۸/۰۸ میلی گرم بر کیلوگرم و کمترین آن در ایستگاه ۲ برابر ۱۷۵/۲۵ میلی گرم بر کیلوگرم بود. بیشترین و کمترین مقدار نیکل نمونه‌های گیاه نیشکر به ترتیب در ایستگاه ۱ و ۴ به ترتیب برابر ۳۶/۷۰ و ۳۳/۷۳ میلی گرم بر کیلوگرم به دست آمد. همچنین نتایج نشان داد که بین ایستگاه های ۱ با ایستگاه‌های دیگر و بین ایستگاه‌های ۴ و ۵ با سایر ایستگاه ها اختلاف معنی داری مشاهده شد (P<۰/۰۵)، بین ایستگاه های ۲، ۳ و ۶ از نظر

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-28]

[DOI: 10.61882/jehe.13.2.118]

مقدار نیکل اختلاف معنی داری مشاهده نشد (P>۰/۰۵) (جدول ۴).

جدول ۴. مقایسه آماری غلظت فلزات سنگین (میلی‌گرم بر کیلوگرم) نمونه‌های برگ گیاه مزارع کشت نیشکر

ایستگاه	سرب		کادمیوم		آهن		نیکل	
	شسته شده	شسته نشده	شسته شده	شسته نشده	شسته شده	شسته نشده	شسته شده	شسته نشده
۱	۱۱/۰±۳۵/۰۵^{b}	۱۳/۰±۸۰/۴۰^{a}	۴/۰±۵۷/۳۵^{a}	±۸۵/۴ ۰/۳۵^{a}	۱۹۴/۰±۸۰/۷۰^{a}	۱۹۹/ ۰±۰۰/۵۰^{a}	۰±۳۶/۱۰^{a}	۳۷/۰±۴۰/۸۰^{a}
۲	۱۱/۰±۸۰/۲۰^{b}	۱۵/۰±۹۰/۳۰^{a}	۴/۰±۷۰/۴۰^{a}	۵/۰±۰۵/۲۵^{a}	۱۵۳/۳۸±۷۰/۱۱^{b}	۱۹۶/۰±۸۰/۴۰^{a}	۳۵/۰±۱۵/۰۵^{a}	۳۶/۰±۶۰/۵۰^{a}
۳	۱۱/۰±۹۰/۲۰^{b}	۱۳/۰±۵۰/۴۰^{a}	۴/۰±۴۵/۳۵^{b}	۵/۰±۳۵/۲۵^{a}	۱۹۵/۰±۴۵/۶۵^{a}	۱۹۷/۰±۰۳/۴۵^{a}	۳۵/۰±۱۵/۰۵^{a}	۳۶/۰±۸۰/۴۰^{a}
۴	۱۲/۰±۱۰/۲۰^{b}	۱۴/۰±۳۵/۳۵^{a}	۴/۰±۲۰/۳۰^{b}	۵/۰±۶۵/۲۵^{a}	۱۹۶/۰±۲۵/۷۵^{a}	۱۹۸/۰±۷۵/۴۵^{a}	۳۳/۰±۱۰/۱۰^{a}	۳۴/۰±۳۵/۴۵^{a}
۵	۱۲/۰±۳۵/۲۵^{b}	۱۵/۰±۸۵/۲۵^{a}	۴/۰±۹۵/۴۵^{a}	۵/۰±۴۵/۳۵^{a}	۱۹۶/۰±۲۰/۷۰^{a}	۰±۱۹۸/۳۰^{a}	۳۴/۰±۱۵/۰۵^{a}	۳۵/۰±۶۵/۰۵^{a}
۶	۱۱/۰±۴۵/۴۵^{b}	۱۴/۰±۵۰/۴۰^{a}	۴/۰±۷۰/۴۰a	۴/۰±۴۰/۳۰^{a}	۱۹۶/۰±۹۰/۷۰^{a}	۱۹۹/۰±۲۵/۴۵^{a}	۰±۳۵/۱۰^{a}	۰±۳۷/۷۰^{a}

در هر ستون حروف غیرمشابه (a, b, ..) نشان دهنده اختلاف معنی‌دار آماری (P<0.05) بر اساس آزمون t غیرجفتی بود.

نتایج تحلیل واریانس نشان داد که مقدار شاخص معنی‌داری برای فلزات سنگین کادمیوم و آهن کمتر از ۰/۰۱ بود (P=۰/۰۰) که بیانگر وجود اختلاف معنی دار در سطح ۱ درصد بین گروه‌های خاک و گیاه در شش ایستگاه می‌باشد (P<۰/۰۱). مقدار شاخص معنی‌داری فلزات سنگین سرب و نیکل برابر ۰/۰۳۵ و ۰/۰۳۶ به دست آمد که کمتر از ۰/۰۵ می‌باشد (P<۰/۰۵) و بیانگر وجود اختلاف معنی داری در سطح ۰/۰۵ بود (P<۰/۰۵).

جدول ۵. تحلیل واریانس غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های برگ و خاک شرکت کشت و صنعت امیرکبیر

متغیر		مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	Sig
خاک	بین گروهی	۱۰۲/۲۱۵	۲	۵۲/۳۲۵	۲۸/۲۱۵	۰/۰۳۵
	درون گروهی	۳۳/۴۱۵	۵۱	۶/۱۲۵		
	مجموع	۱۳۵/۶۳۰	۵۳			
سرب	بین گروهی	۹۵/۰۶۲	۲	۴۷/۵۳۱	۱/۱۸۲	۰/۰۴۲
	درون گروهی	۲۰۵۰/۱۰۵	۵۱	۴۰/۱۹۸		
	مجموع	۲۱۴۵/۱۶۴	۵۳			
کادمیوم	بین گروهی	۱۲۹/۱۳۱	۲	۶۴/۵۶۵	۹۴/۴۰۹	۰/۰۰۰
	درون گروهی	۳۴/۸۷۹	۵۱	۰/۶۸۴		
	مجموع	۱۶۴/۰۱۰	۵۳			
آهن	بین گروهی	۳۶۹۲۰۴۰	۲	۱۸۴۶۰۲۰/۳۵	۹/۹۸	۰/۰۰۰
	درون گروهی	۹۵۳۵/۷۸	۵۱	۱۸۶/۹۷۶		
	مجموع	۳۷۰۱۵۷۶/۴۸	۵۳			
نیکل	بین گروهی	۱۶۳۸/۶۶۴	۲	۸۱۹/۳۳۲	۷۴۳/۵۱	۰/۰۳۶
	درون گروهی	۵۶/۲۰۱	۵۱	۱/۱۰۲		
	مجموع	۱۶۹۴/۸۶۵	۵۳			

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-28]

[DOI: 10.61882/jehe.13.2.118]

بین چهار فلز مورد بررسی، فلز سرب بیشترین و فلز آهن کمترین ضریب تجمع زیستی را داشتند. میانگین ضریب تجمع زیستی در فلزات سرب، کادمیوم، آهن و نیکل به ترتیب برابر ۰/۹۵، ۰/۶۲، ۰/۲۶ و ۰/۷۷ بود. بنابراین انباشت فلزات سنگین در برگ گیاه نیشکر به ترتیب به صورت سرب> نیکل> کادمیوم> آهن می‌باشد. در بین ایستگاه‌های مختلف بیشترین ضریب تجمع زیستی سرب برابر ۰/۹۶ مربوط به ایستگاه ۲ و ۵، بیشترین ضریب تجمع زیستی کادمیوم برابر ۰/۷۱ مربوط به ایستگاه ۴، بیشترین ضریب تجمع زیستی آهن برابر ۰/۲۷ مربوط به ایستگاه‌های ۴، ۵ و ۶ و بیشترین ضریب تجمع زیستی نیکل برابر ۰/۷۹ مربوط به ایستگاه ۱، ۳ و ۶ بود (جدول ۶).

جدول ۶. مقدار فاکتور انباشت زیستی فلزات سنگین برگ نیشکر

ایستگاه	سرب	کادمیوم	آهن	نیکل
۱	۰/۹۳	۰/۶۰	۰/۲۶	۰/۷۹
۲	۰/۹۶	۰/۶۲	۰/۲۶	۰/۷۷
۳	۰/۹۵	۰/۶۹	۰/۲۶	۰/۷۹
۴	۰/۹۵	۰/۷۱	۰/۲۷	۰/۷۳
۵	۰/۹۶	۰/۵۹	۰/۲۷	۰/۷۵
۶	۰/۹۵	۰/۵۰	۰/۲۷	۰/۷۹
میانگین	۰/۹۵	۰/۶۲	۰/۲۶	۰/۷۷

بحث

نتایج این تحقیق در ایستگاه‌های مورد مطالعه مزارع شرکت کشت و صنعت نیشکر امیرکبیر نشان داد که در همه ایستگاه‌ها غلظت فلزات سرب، کادمیوم، آهن و نیکل در نمونه‌های خاک بیشتر از نمونه گیاه نیشکر بود. همچنین در شش ایستگاه غلظت فلزات سنگین در برگ شسته نشده بیشتر از برگ شسته شده به دست آمد و بیشترین میانگین غلظت بین چهار عنصر مورد بررسی متعلق به آهن و کمترین غلظت متعلق به کادمیوم بود. برگ گیاهان مخزن مهمی برای آلاینده‌های فلزی محسوب و به طور وسیعی برای پایش آلودگی فلزات استفاده می‌شوند، بنابراین برگ‌ها نسبت به سایر اندام‌های گیاه بسیار حساس‌تر هستند[۱۷]. در مقایسه با غلظت استانداردهای جهانی (سازمان بهداشت جهانی و آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا) در همه ایستگاه ها غلظت سرب، نیکل و آهن خاک کمتر از حد مجاز و غلظت سرب، نیکل و آهن گیاه نیشکر در شش ایستگاه بیش از حد مجاز بودند. همچنین غلظت کادمیوم در برگ و خاک پای نیشکر در هر شش ایستگاه بیشتر از حد بیشینه مجاز قرار داشت (جدول ۷).

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-28]

[DOI: 10.61882/jehe.13.2.118]

جدول ۷. مقادیر بیشینه مجاز فلزات سنگین (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در خاک و گیاه نیشکر بر اساس استانداردهای جهانی۱۹، ۲۰

فلز سنگین	استاندارد خاک	استاندارد گیاه	خاک پای نیشکر	گیاه نیشکر
آهن	۲۰۰۰	۰/۲	۷۴۸/۱۳	
نیکل	۱۱۰	۰/۳	۴۷/۱۳	
سرب	۲۰۰	۱۰	۱۵/۴۸	
کادمیوم	۵	۲	۸/۳۴	

نتایج تحلیل واریانس ANOVA نشـان می دهد اختلاف معنی داری بین گروه‌های خاک و برگ های شسته شده و شسته نشده نیشکر در شش ایستگاه وجود داشت ($P<۰/۰۵$). نتایج حاصل از بررسی مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین خاک در شش ایستگاه بر اساس آزمون t بین غلظت فلزات سنگین (به جز نیکل) بین شش ایستگاه نمونه‌برداری اختلاف معنی‌داری مشاهده گردید ($P<۰/۰۵$). بیشترین غلظت فلز سرب خاک مربوط به ایستگاه ۲ برابر ۱۶/۵۶ میلی گرم بر کیلوگرم، بیشترین غلظت فلز کادمیوم خاک مربوط به ایستگاه ۵ برابر ۹/۱۸ میلی گرم بر کیلوگرم، بیشترین غلظت فلز آهن خاک مربوط به ایستگاه ۱ برابر برابر ۷۶۴/۴۵ میلی گرم بر کیلوگرم و بیشترین غلظت فلز نیکل برابر ۴۷/۴۰ میلی گرم بر کیلوگرم خاک مربوط به ایستگاه ۵ بود. این امر نشان می‌دهد که موقعیت ایستگاه‌ها بر مقدار جذب فلزات سنگین توسط خاک تأثیرگذار بوده است. مهمترین عامل موثر در افزایش فلزات کادمیوم و نیکل آلودگی‌های حاصل از فلرهای نفتی بوده که در نزدیکی ایستگاه ۵ مستقر بودند. جهت وزش باد عامل موثر دیگر در رسوب آلاینده‌های حاصل از مشعل‌های نفتی در منطقه می‌باشد که باعث تغییر در غلظت فلزات سنگین در ایستگاه‌های مختلف نمونه برداری می‌شود. با توجه به اینکه سه ایستگاه اول نزدیک به جاده بود، بنابراین میتوان افزایش غلظت آهن و سرب در ایستگاه ۱ و ۲ را نتیجه وسایل نقلیه دانست. همچنین استفاده از علف‌کش‌ها و سموم شیمیایی نیز احتمالا می‌تواند در افزایش غلظت فلزات سنگین دخیل باشند. با توجه به نتایج آزمون t بین میانگین فلزات سنگین در برگ شسته شده و شسته نشده (به جز نیکل) در شش ایستگاه نمونه برداری تفاوت معنی داری مشاهده گردید ($P<۰/۰۵$). در همه ایستگاه‌ها برگ شسته نشده نسبت به برگ شسته شده از غلظت فلزات سنگین بیشتری برخوردار بودند. در بین ایستگاه‌های مختلف بیشترین غلظت سرب، کادمیوم، آهن و نیکل گیاه به ترتیب مربوط ایستگاه‌های ۵، ۵، ۶ و ۱ می‌باشد. از جمله عوامل موثر بر تجمع فلزات سنگین بر روی سطح برگ‌ها ترسیب آلاینده‌های موجود در هوا می‌باشد. از جمله منابع اصلی تجمع فلزات سنگین در مزارع نیشکر وجود فلر نفتی اطراف منطقه و همچنین نزدیکی نقاط نمونه‌برداری به جاده می‌باشد. یکی از سرچشمه‌های مهم تولید گازهای گلخانه‌ای و انتشار آلاینده‌ها به هوا، سوزاندن گازهای همراه نفت در فلرها است که زیان‌های اقتصادی و مشکلات محیط‌زیستی مختلفی به همراه دارد. واحدهای تولید نفت و گاز به دلیل داشتن فرآیندهای احتراق و سوزاندن حجم زیادی از ضایعات نفت و گاز، مقادیر زیادی از آلاینده‌های هوا را منتشر کرده و باعث صدمه به محیط‌زیست و به خطر افتادن سلامت افراد می گردند. طی فرآیند احتراق، آلاینده‌های گازی و فلزات سنگین وارد اتمسفر می‌شود[۲۲، ۲۳، ۲۴].

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-28]

[DOI: 10.61882/jehe.13.2.118]

غلظت فلزات سنگین استخراج شده در برگ‌های شسته نشده بیشتر از برگ‌های شسته شده بود، اما در بیشتر موارد این اختلاف معنی‌داری نداشت ($P>0/05$) که با یافته‌های دیگر مطالعات مطابقت دارد [10، 18، 29، 30]. پژوهشگران گزارش کردند که پایین بودن میزان فلزات سنگین در برگ‌های شسته شده نسبت به برگ‌های شسته نشده، نشان‌دهنده وجود آلاینده‌های متفاوت در هوای منطقه علاوه بر مقادیر فلزی موجود در خاک است. همچنین غلظت فلزات سنگین در تیمار برگ شسته شده در مقایسه با تیمار برگ شسته نشده تفاوت معنی‌داری نداشته ($P>0/05$) که دلیل آن می‌تواند عدم قابلیت شستشوی ته‌نشست‌های اتمسفری این عناصر باشد. به طور کلی شستشو زمانی تأثیر می‌گذارد که مقدار عناصر در سطح برگ زیاد باشد [30، 31]. در برخی از مطالعات بر روی برگ گیاهان مشخص شد که بین غلظت فلزات سنگین در نمونه های شسته شده و شسته نشده تفاوت معنی داری وجود داشت ($P<0/05$) و این به دلیل میزان چسبندگی ذرات معلق هوا به سطح گیاه و آلودگی به فلزات سنگین است [32، 33]. تغییر غلظت فلزات سنگین در برگ درختان بسته به وضعیت شستشو عمدتاً به میزان و ساختار ذرات معلق در جو مربوط می شود [34]. در بسیاری از مطالعات، گزارش شده است که غلظت فلزات سنگین در مناطق بسیار آلوده در نمونه های شسته نشده بیشتر از نمونه های شسته شده است. همچنین بیان شده است که برهم‌کنش ذرات ریز با برگ های گیاه در آلودگی با فلزات سنگین اهمیت زیادی دارد. ذرات معلق به عنوان حلق برای فلزات سنگین موجود در هوا عمل می کنند و زمانی که ذرات آلوده به این فلزات سنگین به سطوح برگ گیاه بچسبند، غلظت فلزات سنگین در این اندام ممکن است به طور قابل توجهی تغییر کند. به طور مشابه، چسبیدن ذرات معلق غیر آلوده به فلزات سنگین به برگ‌های گیاه نیز ممکن است منجر به سطوح پایین‌تر غلظت فلزات سنگین در برگ‌ها شود [35، 36].

غلظت فلزات سنگین در برگ گیاه نیشکر در ایستگاه‌های مورد مطالعه متفاوت به دست آمد ($P<0/05$) که این امر نشان می‌دهد موقعیت ایستگاه‌های نمونه برداری بر جذب فلزات سنگین توسط برگ گیاهان تاثیرگذار است. بنابراین می‌توان بیان کرد که فاصله از منبع آلاینده و جهت باد غالب بر مقدار غلظت این عناصر در گیاه تأثیرگذار می باشد. در دیگر مطالعات نیز تأثیر مثبت جهت وزش باد غالب بر غلظت عناصر سنگین نشان داده شده است [30]. مطالعات نشان داد که فلرهای نفت و گاز منجربه انتشار آلاینده‌هایی می‌شود که متشکل از فلزات سنگین است که در هنگام حل شدن فاز اولیه فلزات به صورت خروجی در خاک رسوب می کنند و یون‌های فلزی را در محلول در معرض مسیرهای زیادی مانند جذب توسط گیاهان سطوح معدنی قرارمی دهند [37]. خودروها عموماً از منابع اصلی تولید آلاینده‌های فلزات سنگین در رسوبات حاشیه جاده محسوب می‌شوند و انتشار گازوییل و بنزین بزرگترین منابع فلزات سنگین در جاده‌ها و بزرگراه‌ها هستند که این آلاینده‌ها به صورت ذرات از اگزوز یا دیگر اجزای خودرو وارد محیط شده و باعث آلودگی هوا، خاک و گیاهان این نواحی می‌شوند. شایع‌ترین فلزات سنگین حاصل از وسایل نقلیه در جاده‌ها کادمیوم، مس، سرب، نیکل و روی هستند و در نهایت در برگ گیاهان و درختان انباشته می شوند [17، 34، 38]. علاوه بر این، آسفالت و مواد پرکننده معدنی برای روسازی جاده‌ها و کاتالیزورهای مصرف شده در خودرو که حاوی فلزات سنگین مانند سرب، مس، روی، کادمیوم، نیکل و منیزیم هستند [39]. این عناصر سمی در خاک های سطحی و گیاهان کنار جاده، به ویژه در مناطق نزدیک یافت می شوند [40].

در این پژوهش انباشت زیستی فلزات سنگین سرب، کادمیوم، نیکل و آهن در برگ گیاه نیشکر پایین‌تر از ۱ به دست آمد. گیاهانی که دارای ضریب انباشت زیستی بیشتر از ۱ به خصوص در مجموع اندام‌های هوایی خود باشند، گونه گیاهی قابلیت استفاده در فرایند استخراج و گیاه‌پالایی فلزات سنگین محیط و خاک را دارد [28]. با توجه به مقدار ضرایب انباشت زیستی فلز سرب بیشترین و فلز آهن کمترین ضریب تجمع زیستی را دارد. بنابراین می‌توان نتیجه

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-28]

[DOI: 10.61882/jehe.13.2.118]

گرفت که گیاه نیشکر برای فلز سرب و نیکل انباشتگر و برای فلز کادمیوم و آهن غیر انباشتگر می‌باشد. افزایش غلظت آلاینده‌ها در نزدیکی جاده‌ها را می‌توان ناشی از احتراق ناقص سوخت‌های تجدید ناپذیر دانست. مطالعات نشان می‌دهد که درصد بالایی از منشا اصلی آلاینده‌های هوا وسایل نقلیه موتور هستند[۲۴]. در مطالعه ردیابی فلز سنگین سرب در برگ درختان اوکالیپتوس (*Eucalyptus microtheca*) و برهان (*Albizia lebbeck*) در شهرستان شوش، انباشت زیستی فلز سرب پایین تر از ۱ گزارش شده است[۴۱]. همچنین انباشت زیستی فلزات سرب، کادمیوم، نیکل و آهن در برگ گیاهان کهور (*Prosopis juliflora*) و نخل (*Phoenix dactylifera*) کارخانه فولاد شادگان[۱۰] و انباشت زیستی سرب، کادمیوم و نیکل چغندر (*Beta vulgaris*) و هویج (*Daucus Carota*) مزارع کشاورزی شهرستان شوش[۶] نیز کمتر از ۱ گزارش شدند که تحقیقات یاد شده نتایج این تحقیق را تایید می کنند. در تحقیق دیگری انباشت زیستی فلز سرب در هر دو گونه برهان (*Albizia lebbeck*) و کنوکارپوس (*Conocarpus erectus*) کمتر از ۱ و فلز نیکل بیشتر از ۱ به‌دست آمد که نشان می‌دهد گونه‌های مذکور قادر به استخراج فلز نیکل از خاک هستند[۱۷]. همچنین انباشت زیستی فلز سرب در برگ گیاه نیشکر نسبت به فلزات نیکل، کادمیوم و آهن بالاتر بود. Xu و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که گیاه نیشکر می تواند غلظت بالایی از سرب را تحمل کند. محتوای سرب در ریشه و اندام هوایی با افزایش غلظت سرب افزایش یافت. مقدار زیادی از محتوای سرب در ریشه ذخیره شد. توزیع درون سلولی سرب در نیشکر نشان داد که اکثریت سرب به دیواره سلولی متصل است[۴۲].

نتیجه‌گیری

بررسی مزارع شرکت کشت و صنعت نیشکر امیرکبیر نشان داد که در همه ایستگاه‌ها غلظت فلزات سرب، کادمیوم، آهن و نیکل در نمونه‌های خاک بیشتر از نمونه‌های برگ گیاه نیشکر بود. همچنین در شش ایستگاه غلظت فلزات سنگین سرب، کادمیوم، آهن و نیکل در برگ شسته نشده بیشتر از برگ شسته شده بود و بیشترین میانگین غلظت بین چهار عنصر مورد بررسی متعلق به آهن و کمترین غلظت متعلق به کادمیوم بود. بر اساس آزمون تحلیل واریانس یکطرفه و همچنین آزمون آماری t تک گروهی اختلاف معنی داری بین غلظت فلزات سنگین سرب، کادمیوم، آهن و نیکل در برگ نیشکر در نقاط مختلف نمونه برداری وجود داشت ($P<۰/۰۵$). می توان چنین بیان کرد که احتمالا منابع آلاینده موجود در محیط بر میزان فلزات سنگین در برگ نیشکر تاثیر دارند. با محاسبه ضریب انباشت زیستی فلزات سنگین، بیشترین مقدار این ضریب برابر ۰/۹۶ برای فلز سرب بود که نزدیک به ۱ می‌باشد. بنابراین گیاه نیشکر بیشترین پتانسیل را برای گیاه‌پالایی فلز سرب دارد. با توجه به اهمیت گیاه نیشکر پیشنهاد می‌شود که تاثیر انباشت فلزات سنگین در اندام‌های مختلف گیاه نیشکر بر آلودگی محتمل تولیدات نیشکر از جمله شکر و گونه‌هایی که پتانسیل گیاه‌پالایی سایر فلزات را دارند در اطراف مزارع کشت مورد بررسی قرار گیرد.

سپاسگزاری

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 هیچ گونه تعارض منافع با یکدیگر ندارند.

حمایت مالی

نویسندگان مقاله در راستای کمک های مالی تشکر و قدردانی خود را از مدیریت و معاونت پژوهشی و همکاران محترم این دانشگاه اعلام می نمایند.

ملاحظات اخلاقی

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-28]

[DOI: 10.61882/jehe.13.2.118]

این مقاله حاصل پایان‌نامه مقطع کارشناسی‌ارشد گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز می‌باشد که با کد ۱۰۶۷۲۹۶۴۱۳۱۹۸۰۷۲۱۷۰۲۹۱۶۲۸۸۴۶۰۴ در سامانه پژوهشیار ثبت شده است. نویسندگان تمام نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند. همچنین نویسندگان 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 مریم محمدی روزبهانی و لیلا بورد در همه مراحل انجام تحقیق شامل طراحی، اجرا و نگارش مقاله مشارکت داشتند.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-28]

[DOI: 10.61882/jehe.13.2.118]

References

1. Mekassa B, Etana E, Merga LB. Proximate analysis, levels of trace heavy metals and associated human health risk assessments of Ethiopian white sugars. Journal of Agriculture and Food Research. 2024;16:101086.
2. Fareed G, Baig JA, Kazi TG, Afridi HI, Akhtar K, Solangi IB. Heavy metals contamination levels in the products of sugar industry along with their impact from sugar to the end users. International Journal of Environmental Analytical Chemistry. 2024;104(10):2407-16.
3. Mitra S, Chakraborty AJ, Tareq AM, Emran TB, Nainu F, Khusro A, Idris AM, Khandaker MU, Osman H, Alhumaydhi FA, Simal-Gandara J. Impact of heavy metals on the environment and human health: Novel therapeutic insights to counter the toxicity. Journal of King Saud University-Science. 2022;34(3):101865.
4. Shahkarami S, Goudarzi F, Amiri-Ardekani E, Dehghani S. Heavy metals contamination in two species of medicinal plants in the Iranian market. International Journal of Environmental Analytical Chemistry. 2023;103(19):8532-41.
5. Alissa EM, Ferns GA. Potential Cardioprotective Effects of Functional Foods. Functional Foods and Dietary Supplements: Processing Effects and Health Benefits. 2014; 6:463-87.
6. Zeheyrifar S, Mohammadi Rozbahani M. Investigating the bioaccumulation of lead, cadmium and nickel in Soil and Beta vulgaris and Daucus Carota in the agricultural fields of Shush city. Journal of Environmental Health Engineering. 2024; 11 (4): 443-455. [In Persian].
7. Shaker Koohi S, Rabiee M. Effect of intercropping on the Cd accumulation in soil and rice plants: A review. Journal of Environmental Health Engineering. 2024; 11 (3): 287-301. [In Persian].
8. Alcivar M, Vinueza E, Pernia B, Álvarez-Montero X, Gallardo A. Contamination by Cadmium and Lead in Sugarcane and Its Derived Products in Ecuador. Agriculture. 2024;14(12):2121.
9. Kumar S, Islam R, Akash PB, Khan MH, Proshad R, Karmoker J, MacFarlane GR. Lead (Pb) contamination in agricultural products and human health risk assessment in Bangladesh. Water, Air, & Soil Pollution. 2022;233(7):257.
10. Kalbati Mosavi S A, Mohammadi Rouzbahani M, Attar roshan S. Evaluation of heavy metal pollution using biological markers of Prosopis juliflora and palm Phoenix dactylifera trees around Ahvaz Shadgan Steel Factory. Journal of Environmental Health Engineering 2024; 11 (2): 130-145. [In Persian].
11. Antonkiewicz J, Jasiewicz C, Koncewicz-Baran M, Sendor R. Nickel bioaccumulation by the chosen plant species. Acta Physiologiae Plantarum. 2016; 38: 1-1.
12. Iyaka YA. Nickel in soils: A review of its distribution and impacts. Scientific Research and Essays. 2011; 6(33): 6774-6777.
13. Colombo C, Palumbo G, He JZ, Pinton R, Cesco S. Review on iron availability in soil: interaction of Fe minerals, plants, and microbes. Journal of soils and sediments. 2014;14:538-48.
14. Patra A, Sharma VK, Jatav HS, Dutta A, Rekwar RK, Chattopadhyay A, Trivedi A, Mohapatra KK, Anil AS. Iron in the soil–plant–human continuum. InFrontiers in Plant-Soil Interaction 2021; (pp. 531-546). Academic Press.
15. Abbaszadeh H, Mohammadi Roozbahani M, 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].
16. Tahmasbpur H, Mohammadi Rouzbahani M. Biosorption of Lead (II) from Aquatic Solutions Using Leaves of Saccharum Officinarum. Journal of Research in Environmental Health. 2024; 10(2): 11-23. [In Persian].
17. Rafati, M., Mohammadi Rozbahani, M. And Naseri Monfared, H. 2021. Accumulation of heavy metals (lead and nickel) by the soil and leaves of Albizia lebbeck and Conocarpus erectus from the city of Ahwaz. Journal of Forest and Wood Products 73 (4), 379-387. [In Persian].
18. Torkashvand, V., Mohammadi Rouzbahni, M. and Babaeinezhad, T. 2018. Survey of heavy metals (Pb,Ni,Cr,Cd) bio-accumulation in the leaves of (Albizia lebbek and Eucalyotus camadulensis) (case stady: Iran National Steel Industrial Group). Journal of Neyshabur University of Medical Sciences 6 (1), 33-43. [In Persian].
19. Vodyanitskii YN. Standards for the contents of heavy metals in soils of some states. Annals of agrarian science. 2016;14(3):257-63.
20. Ogundele DT, Adio AA, Oludele OE. Heavy metal concentrations in plants and soil along heavy traffic roads in North Central Nigeria. Journal of environmental & analytical toxicology. 2015;5(6):1.
21. Choomanee P, Bualert S, Thongyen T, Salao S, W Szymanski W, Rungratanaubon T. Vertical variation of carbonaceous aerosols within the PM2.5 fraction in Bangkok, Thailand. Aerosol and Air Quality Research. 2020;20(1): 43-52.
22. Hussain U, Afza R, Gul I, Sajad MA, Shah GM, Muhammad Z, Khan SM. Phytoremediation of heavy metals spiked soil by Celosia argentea L.: effect on plant growth and metal stabilization. Environmental Science and Pollution Research. 2024;31(10):15339-15347.
23. Asiminicesei DM, Fertu DI, Gavrilescu M. Impact of heavy metal pollution in the environment on the metabolic profile of medicinal plants and their therapeutic potential. Plants. 2024;13(6):913.
24. Atta MI, Zehra SS, Dai DQ, Ali H, Naveed K, Ali I, Sarwar M, Ali B, Iqbal R, Bawazeer S, Abdel-Hameed UK. Amassing of heavy metals in soils, vegetables and crop plants irrigated with wastewater: Health risk assessment of heavy metals in Dera Ghazi Khan, Punjab, Pakistan. Frontiers in plant science. 2023;13:1080635.
25. 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 -6.
26. Johnson CM, Ulrich A. 2. Analytical methods for use in plant analysis. Bulletin of the California agricultural experiment station. 1959.
27. 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.
28. Yoon J, Cao X, Zhou Q, Ma LQ. Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. Science of the Total Environment. 2006; 368(2-3): 456 -464.
29. Mortazavi S, Ghasemi Aghbash F, Naderi Motiy R. The feasibility of biomonitoring of heavy metals by wooden species of urban areas. Forest Research and Development. 2019;5(1):55-71.
30. Pourkhabbaz HR, Javanmardi S. Determination of heavy metal concentration in vegetation around cement factory of Behbahan by using plant bioindicators. Journal of Geographic Space. 2018; 18 (62): 19-29.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-28]

[DOI: 10.61882/jehe.13.2.118]

31. Celik A, Kartal AA, Akdoğan A, Kaska Y. Determining the heavy metal pollution in Denizli (Turkey) by using Robinio pseudo-acacia L. Environment international. 2005;31(1):105-12.
32. Aricak B, Çetin M, Erdem R, Sevik H, Cometen H. The change of some heavy metal concentrations in Scotch Pine (Pinus sylvestris) depending on traffic density, organelle and washing. Applied Ecology & Environmental Research. 2019;17(3): 6723-6734.
33. Sevik H, Cetin M, Ozel HB, Ozel S, Zeren Cetin I. Changes in heavy metal accumulation in some edible landscape plants depending on traffic density. Environmental monitoring and assessment. 2020;192:1-9.
34. Habibi S, Behrouzi M, Nohegar A. Measurement and evaluation of heavy metal accumulation in soil and leaves of three tree species (Azadirachta indica, Conocarpus Erectus L. and Prosopis juliflora) in Bandar Abbas. Environmental Sciences. 2023;21(3):267-88. [In Persian].
35. Schreck E, Foucault Y, Sarret G, Sobanska S, Cécillon L, Castrec-Rouelle M, Uzu G, Dumat C. Metal and metalloid foliar uptake by various plant species exposed to atmospheric industrial fallout: mechanisms involved for lead. Science of the Total Environment. 2012;427:253-62.
36. De Temmerman L, Ruttens A, Waegeneers N. Impact of atmospheric deposition of As, Cd and Pb on their concentration in carrot and celeriac. Environmental Pollution. 2012;166:187-195.
37. Pierzynski GM, Vance GF, Sims JT. Soils and environmental quality. CRC press; 2005.
38. Bohemen HV, Janssen Van De Laak WH. The influence of road infrastructure and traffic on soil, water, and air quality. Environmental management. 2003;31:0050-68.
39. Sulaiman M, Purayil FT, Krishankumar S, Kurup SS, Pessarakli M. Accumulation of toxic elements in soil and date palm (Phoenix dactylifera L.) through fertilizer application. Journal of Plant Nutrition. 2021;44(7):958-69.
40. Stojic N, Štrbac S, Curcic L, Pucarevic M, Prokic D, Stepanov J, Stojic G. Exploring the impact of transportation on heavy metal pollution: A comparative study of trains and cars. Transportation Research Part D: Transport and Environment. 2023;125:103966.
41. Pour Gholam Khabaz A, Mohammadi Ruzbahani M. The study of the traceability of lead heavy metal in the leaves of eucalyptus (Eucalyptus microtheca) and Burhan (Albizia lebbeck) trees in Shush city. Journal of Research in Environmental Health. 2024;9(4):403-416. [In Persian].
42. Xu G, Deng C, Wang J, Zhu H, Sun Z, Wang X, Zhu K, Yin J, Tang Z. Lead bioaccumulation, subcellular distribution and chemical form in sugarcane and its potential for phytoremediation of lead-contaminated soil. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal. 2020;26(5):1175-1187.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-28]

[DOI: 10.61882/jehe.13.2.118]