

Biomonitoring of lead metal using leaves of three native tree species in Ahvaz city

Received: 05 July 2026, Accepted: 01 September 2026

Raziyeh Mashalpour Fard¹, Maryam Mohammadi Rouzbahani^{1*}, Sima Sabzalipour¹, Sina Attarroshan¹, Roshana Behbash¹

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

*Corresponding Author:

Mmohammadiroozbahani@iau.ac.ir

How to Cite This Article:

Mashalpour Fard R, Mohammadi Rouzbahani M, Sabzalipour S, Attarroshan S, Behbash R. Biomonitoring of lead metal using leaves of three native tree species in Ahvaz city. Journal of Environmental Health Engineering. 2026;14(2):268-83.

DOI:

ABSTRACT

Background: Lead is a toxic metal for living organisms and humans that is widely distributed in the environment. This study aimed to evaluate lead pollution in the metropolis of Ahvaz using biological indicators of the leaves of *Albizia lebbbeck*, *Prosopis cineraria* and *Eucalyptus globulus*, comparing three urban tree species at seven stations, comparing washed and unwashed leaves, investigating the relationship between soil and leaves, and evaluating the transfer of elements from soil to leaves.

Materials and Methods: In this study, 21 washed leaf samples, 21 unwashed leaf samples, and 21 soil samples at the base of trees were collected from seven stations in the Ahvaz metropolitan area in the summer of 2025, each with 3 replicates. Soil samples were digested using the EPA3050 method and tree leaf digestion using the Johnson method. Lead metal was measured in leaf and soil samples using the atomic absorption method.

Results: The highest lead concentration in the three studied species was found in the leaves of the melon tree, 79 mg kg⁻¹. Also, the highest average lead value in the soil samples was 175.03 mg kg⁻¹. Linear regression analysis of lead metal showed that the level of correlation between unwashed and washed leaf samples was relatively strong ($R^2=0.637$). The highest and lowest lead BAF for *Eucalyptus globulus* leaves was 0.647 and 0.321, respectively.

Conclusion: Based on the bioaccumulation index of lead metal in leaf samples of trees studied in Ahvaz city, it is interpreted that the concentration of lead from the soil at the foot of *Albizia lebbbeck*, *Prosopis cineraria* and *Eucalyptus globulus* was not absorbed into their leaves.

Keywords: Tree leaves, Lead, Bio indicator, Toxic metals, Ahvaz industrial metropolis

پایش زیستی فلز سرب با استفاده از برگ سه گونه درختان بومی سطح شهر اهواز

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۳/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۶/۱۰

راضیه مشعل پور فرد^۱، مریم محمدی روزبهانی^{۱*}، سیما سبزه‌علیپور^۱، سینا عطار روشن^۱، روشنا بهباش^۱^۱ گروه محیط زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

چکیده

زمینه و هدف: سرب یکی از فلزات سمی برای موجودات زنده و انسان می باشد که به طور گسترده در محیط زیست پراکنش دارد. این تحقیق با هدف ارزیابی آلودگی فلز سرب در کلانشهر اهواز با استفاده از شاخص زیستی برگ درختان برهان (*Albizia lebeck*)، کهور (*Prosopis cineraria*) و اوکالیپتوس (*Eucalyptus globulus*)، مقایسه سه گونه درخت شهری در هفت ایستگاه، مقایسه برگ های شسته شده و شسته نشده، بررسی ارتباط خاک و برگ و ارزیابی انتقال عناصر از خاک به برگ انجام شد.

مواد و روش ها: در این تحقیق ۲۱ نمونه برگ شسته شده، ۲۱ نمونه برگ شسته نشده و ۲۱ نمونه خاک پای درختان از هفت ایستگاه در سطح کلانشهر اهواز در فصل تابستان سال ۱۴۰۴ هر کدام با ۳ تکرار جمع آوری شدند. هضم نمونه های خاک به روش EPA3050 و هضم برگ درختان به روش جانشون انجام گردید. فلز سرب در نمونه های برگ و خاک به روش جذب اتمی سنجش شد.

یافته ها: بالاترین غلظت سرب در سه گونه مورد مطالعه، در برگ درخت کهور ۷۹ میلی گرم بر کیلوگرم به دست آمد. همچنین بیشترین میانگین مقادیر سرب در نمونه های خاک ۱۷۵/۰۳ میلی گرم بر کیلوگرم بود. تجزیه و تحلیل رگرسیون خطی فلز سرب نشان داد سطح ارتباط بین نمونه های برگ شسته نشده و شسته شده نسبتاً قوی ($R^2=0/637$) است. بیشترین و کمترین میزان شاخص تجمع زیستی فلز سرب مربوط به برگ درخت اوکالیپتوس به ترتیب ۰/۶۴۷ و ۰/۳۲۱ به دست آمد.

نتیجه گیری: بر اساس شاخص تجمع زیستی فلز سرب در نمونه های برگ درختان مورد مطالعه سطح شهر اهواز، چنین تفسیر می شود که غلظت سرب از خاک پای درختان اوکالیپتوس، برهان و کهور در برگ آن ها جذب نشده است.

واژه های کلیدی: برگ درختان، سرب، شاخص زیستی، فلزات سمی، کلانشهر صنعتی اهواز

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول:

Mmohammadiroozbahani@iau.ac.ir

نحوه استناد به این مقاله:

Mashalpour Fard R, Mohammadi Rouzbahani M, Sabzalipour S, Attaroshan S, Behbash R. Biomonitoring of lead metal using leaves of three native tree species in Ahvaz city. Journal of Environmental Health Engineering. 2026;14(2):268-83.

DOI:

مقدمه

سرب، سمی ترین فلز پراکنده در سراسر جهان است که برای مدت طولانی در محیط زیست پایدار می ماند و تمایل به انباشت زیستی در موجودات زنده را دارد و به همین دلیل پژوهشگران در سطوح مختلف و منابع گوناگون بر روی سرب پژوهش می کنند.^۱ سرب از نظر تاریخی به دلیل خاصیت چکش خواری بالا، نقطه ذوب پایین، مقاومت در برابر خوردگی و توانایی پیوند با سایر فلزات، در رنگ ها، جواهرات، لوازم الکترونیکی، لحیم کاری، لوله کشی شهری و صنعتی مورد استفاده قرار گرفته است.^۲ منابع مختلف ورود سرب به محیط زیست شامل دود ناشی از فعالیت های صنایع و پساب و پسماندهای کارخانه ها، دود خروجی اگزوز وسایل نقلیه سبک و سنگین و پسماندهای شهری می باشد و معمولاً در خاک ها، رسوبات و آب های طبیعی یافت می شود.^۳ سرب وقتی در خاک حل می شود، تحرک بسیار کمی دارد، به همین دلیل پس از آلودگی، خاک مستعد آلوده ماندن به سرب است. اگر میزان آلودگی زیاد باشد، این امر ممکن است عواقب نامطلوبی برای حاصلخیزی خاک داشته باشد. علاوه بر این، گیاهانی که در خاک های غنی از سرب رشد می کنند، سرب را جذب می کنند و بنابراین غلظت سرب در گیاهان ممکن است کمی افزایش یابد.^۴ سرب موجود در جو به طور عمده به صورت ذرات معلق بسیار ریز وجود دارد و ممکن است در فواصل طولانی به وسیله باد غالب و بارش باران منتقل شود.^۵ غلظت سرب در منابع آب های سطحی و زیرزمینی طی سال های گذشته به صورت تصاعدی افزایش یافته است. آب های سطحی به دلیل مجاورت در کنار شهرها، بیمارستان ها، کارخانه ها و زمین های کشاورزی به سرب آلوده می شوند و آب های زیرزمینی می توانند از طریق آلودگی ناشی از تغذیه آب های سطحی، نشت از محل های دفن زباله، عملیات معدن کاری و زهکشی اسیدی معادن و سایر منابع، به سرب آلوده شوند.^{۶،۷}

شاخص های زیستی آلودگی، از جمله گونه های مختلف گیاهی، به طور مداوم فلزات سنگین را از منابع انسانی و

طبیعی از طریق خاک، آب و هوا جذب می کنند.^۸ فرآیند جذب منجر به انباشت فلزات سنگین در بافت های مختلف گیاهان می شود که اغلب به عنوان شاخص های زیستی برای اندازه گیری آلاینده ها مورد استفاده قرار می گیرند.^۹ در حالی که درختان به طور گسترده برای پایش زیستی فلزات سنگین مورد مطالعه قرار گرفته اند، شکاف قابل توجهی در تحقیقات در مورد استفاده از پاسخ های برگ برای پایش آلودگی هوا، به ویژه فلزات سنگین، و شناسایی گونه هایی که در برابر آلاینده های محیطی مقاوم هستند، وجود دارد.^{۱۰} برگ های درختان ظرفیت بیشتری برای جذب فلزات دارند و در مقایسه با سایر قسمت های درخت، مانند گل ها و پوست، به عنوان عوامل پایش زیستی مؤثرتر هستند.^{۱۱} در مناطق شهری، آلودگی صنعتی و حمل و نقل بر انباشت فلزات سنگین در گیاهان تأثیرگذار می باشند. شدت این تأثیر بر اساس توزیع زمانی و مکانی آلاینده های هوا و تحت تأثیر شرایط هواشناسی و توپوگرافی منطقه ای متفاوت است.^{۱۲}

انباشته شدن یک فلز سمی توسط گیاهان، وجود آن در خاک را تأیید می کند، اما بسیاری از درختان فلزات سنگین را در بخش های بالای زمین نظیر برگ ها و پوست در مقادیری بسیار بیشتر از آنچه در محلول خاک وجود دارد، متمرکز می کنند.^{۱۳} اگرچه تعیین منبع فلزات سنگین اغلب دشوار است، اما درختان می توانند به عنوان زیست پاینده های مؤثر برای تشخیص غلظت های پایین آلاینده ها، چه از خاک و چه از اتمسفر، مورد استفاده قرار گیرند.^{۱۴} اگرچه گاهی اوقات تشخیص بین مقدار فلز جذب شده از خاک و فلز رسوب شده روی برگ ها دشوار است، اما درختان، به عنوان موجوداتی با عمر طولانی، اثرات تجمعی آلودگی محیطی را از خاک و اتمسفر منعکس می کنند.^{۱۵}

درختان به عنوان نوع اصلی گیاه مناطق شهری آلوده، به دلیل عمر طولانی و شناسایی و نمونه برداری آسان نسبت به سایر گیاهان به طور گسترده در پایش زیستی فلزات سنگین مورد مطالعه قرار می گیرند.^{۱۶} نمونه های متعددی از درختان به

مواد و روش‌ها

نمونه برداری

به منظور تعیین ایستگاه‌های نمونه برداری با توجه به هدف، ابتدا نقشه جامع و پایه شهر اهواز بررسی شد و سپس با در نظر گرفتن غالب گیاهان و ترافیک در مناطق مختلف، ایستگاه‌های مطالعاتی در نظر گرفته شدند. پس از انتخاب ایستگاه‌ها، محل دقیق نمونه برداری از نظر طول و عرض جغرافیایی منطقه با استفاده از دستگاه GPS تعیین و یادداشت خواهد شد. تعداد ایستگاه‌های مطالعاتی در مجموع ۷ ایستگاه شامل ۳ منطقه پرتراфик، ۳ منطقه کم ترافیک و ۱ ایستگاه شاهد بود. جامعه آماری شامل ۷ ایستگاه، درختان برهان، کهور و اوکالیپتوس در دو گروه برگ‌های شسته شده و شسته نشده و فلز سرب بود. بنابراین نمونه‌ها از ۷ منطقه شهر اهواز و در هر ایستگاه بطور تصادفی از ۳ گونه درخت از ارتفاع دو تا سه متری سطح زمین و از چهار سوی تاج درخت در فصل تابستان ۱۴۰۴ برداشت شدند. پس از انتقال به آزمایشگاه به دو گروه شسته شده و شسته نشده تقسیم شدند. نمونه‌های خاک نیز از پای درختان از عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری در ایستگاه‌های مختلف جمع آوری گردید. در مجموع ۱۲۶ نمونه برگ درخت (۶۳ نمونه برگ شسته شده درختان و ۶۳ نمونه برگ شسته نشده)، از هر گونه درخت (برهان، اوکالیپتوس و کهور) ۴۲ نمونه برگ (۲۱ نمونه برگ شسته شده و ۲۱ نمونه برگ شسته نشده) و ۲۱ نمونه خاک پای درختان با ۳ تکرار جمع آوری شد.

آماده سازی نمونه‌ها

ابتدا برگ‌های گونه‌های گیاهی به دو گروه شسته شده و شسته نشده تقسیم شدند. نمونه‌های برگ ابتدا به آرامی با آب جاری شست‌وشو داده شدند و سپس سه مرتبه با آب دیونیزه آبکشی شدند تا ذرات و آلودگی‌های باقی مانده از سطح برگ حذف شوند. شست‌وشو به صورت ملایم انجام شد تا از آسیب مکانیکی به سطح برگ جلوگیری شود. سپس نمونه‌ها در دستگاه ماکروویو MicroSYNTH

عنوان زیست‌پایشگر آلودگی هوا و خاک محیط‌های شهری استفاده شده‌اند، به عنوان مثال پژوهشگران انباشت زیستی فلز سرب را در برگ درختان کهور (*Prosopis juliflora*) و نخل (*Phoenix dactylifera*) اطراف کارخانه فولاد شادگان^{۱۱}، برهان (*Albizia lebbeck*) و اوکالیپتوس (*Eucalyptus globulus*) کارخانه گروه ملی صنعتی ایران^{۱۳}، کنار (*Ziziphus spina-christi*) و کهور (*Prosopis cineraria*)^{۱۴}، چنار در شهر رشت^{۱۵}، کهور پاکستانی (*Prosopis juliflora*) و کنوکارپوس (*Conocarpus erectus*) بندر ماهشهر^{۱۶}، برهان (*Albizia lebbeck*) و کنوکارپوس (*Conocarpus erectus*)^{۱۷}، برهان (*Albizia lebbeck*) و اوکالیپتوس (*Eucalyptus microtheca*) شهرستان شوش^{۱۸} را گزارش کردند.

اگرچه مطالعات پیشین به طور عمده بر استفاده از پوشش گیاهی و برگ درختان به عنوان زیست‌نشانگر آلودگی فلزات سنگین در منطقه تمرکز داشته‌اند، مطالعه حاضر با یک رویکرد مقایسه‌ای، سه گونه درخت شهری شامل اکالیپتوس، برهان و کهور را در هفت محدوده شهری اهواز بررسی کرده است. همچنین در این مطالعه، علاوه بر تعیین غلظت فلزات سنگین، بررسی هم‌زمان برگ‌های شسته شده و شسته نشده امکان ارزیابی نسبی سهم آلودگی سطحی برگ در مقایسه با تجمع داخلی عناصر را فراهم کرده است. افزون بر این، مطالعه حاضر ارتباط بین غلظت عناصر در خاک و برگ و همچنین انتقال عناصر از خاک به برگ را مورد ارزیابی قرار داده و شاخص انتقال (TF) فلز سرب را برای مقایسه گونه‌ها و ایستگاه‌های مختلف محاسبه کرده است. بنابراین، این پژوهش با هدف ارزیابی غلظت فلز سنگین سرب به وسیله شاخص تجمع زیستی برگ درختان برهان، کهور و اوکالیپتوس در مناطق هفت گانه کلانشهر صنعتی اهواز انجام شد.

هضم شیمیایی نمونه‌های خاک

برای هضم نمونه های خاک از روش EPA3050 استفاده گردید. در این روش ۰/۵ گرم از نمونه پودر شده خاک به کمک ترازوی دیجیتال TE214S ساخت شرکت Sartorius آلمان توزین و به ارلن ۱۰۰cc منتقل شد و ۵ قطره اسید کلریدریک ۱ نرمال به هر کدام از نمونه ها اضافه نموده و ارلن ها را به شکل دورانی تکان داده تا خاک و اسید کاملاً با هم مخلوط گردد بعد از آن ۵cc تیزاب سلطانی به هر کدام از ارلن ها اضافه کرده و دوباره تکان داده شد، سپس ارلن ها را بر روی هیتر برقی با دمای ۱۰۰ الی ۱۵۰ درجه سانتی گراد به مدت ۱۵ دقیقه قرار داده تا رنگ نمونه ها تیره گردد. بعد از آن به هریک از نمونه ها ۳ cc اسید پرکلریک اضافه نموده و مجدداً ارلن ها را بر روی هیتر قرار داده تا حجم نمونه ها به ۲ تا ۳cc کاهش یافته پس از از خنک شدن ظرف، مقداری آب مقطر به آن اضافه کرده و درون بالون ژوژه ۵۰cc ریخته و با اسید کلریدریک ۱ نرمال آن به حجم ۵۰cc رسانده شد. فلز سرب موجود در عصاره بدست آمده توسط دستگاه اتمیک ابزوربشن به روش جذب اتمی قرائت گردید.^{۲۰}

سنگش سرب

جهت سنگش فلز سرب از دستگاه Perkin Elmer مدل ۹۰۰T ساخت کشور آمریکا استفاده شد. مقدار حساسیت برای عناصر مختلف در روش جذب اتمی به وسیله این مدل تجاری دستگاه ۰/۰۰۰۱ تا ۲۰ ppm است.

شاخص تجمع زیستی

شاخص تجمع زیستی، مشخص کننده توانایی گیاهان برای تحمل و انباشت فلزات سنگین در اندامها بوده که این پارامتر با استفاده از غلظت فلز سرب در برگ تقسیم بر غلظت فلز سرب در خاکپای درخت محاسبه شد (رابطه ۱). در گونه‌های دفع کننده فلز مقدار عددی شاخص تجمع زیستی کوچکتر از ۱ و در گونه‌های بیش انباشتگر بزرگتر از ۱ است.^{۲۱}

ساخت شرکت Mileston ایتالیا به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد به طور کامل خشک گردید. نمونه ها پس از پودر شدن به کمک هاون چینی، از الک ۶۳ میکرون عبور داده شده، پودر نرم حاصل به کمک ترازوی دیجیتال TE214S ساخت شرکت Sartorius آلمان با دقت چهار رقم اعشار به مقدار ۰/۵ گرم از هر نمونه وزن شدند. ابتدا نمونه های خاک از الک ۶۳ میکرونی غربال شدند تا مواد اضافی جدا شوند. سپس نمونه‌ها در دستگاه ماکروویو MicroSYNTH ساخت شرکت Mileston ایتالیا به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد به طور کامل خشک گردید.

هضم شیمیایی نمونه‌های برگ

هضم نمونه‌های گیاهی با استفاده از روش جانسون (۱۹۵۹) انجام شد.^{۱۹} در این روش، برای هضم نمونه‌های گیاهی، ۰/۵ گرم از نمونه گیاهی پودر شده به یک ارلن مایر ۱۰۰cc منتقل شد، سپس به هر یک از نمونه‌ها ۵cc اسید نیتریک غلیظ اضافه شد و به مدت ۲۴ ساعت در زیر هود با شیشه ساعت روی ارلن مایر قرار داده شد. سپس ارلن‌های مایر روی هیتر با دمای ۸۰ تا ۹۰۰ قرار داده شدند و حرارت‌دهی ملایم شروع شد تا بخار قهوه‌ای رنگ از همه نمونه‌ها متصاعد شود. پس از ۱۰ دقیقه، ۲cc پراکسید هیدروژن ۳۰ درصد به هر یک از ارلن‌های مایر اضافه شد و حرارت‌دهی تشدید شد تا اکسیداسیون مواد گیاهی کامل شود. این فرآیند تا زمانی که حجم نمونه به ۲ تا ۳cc کاهش یابد و نمونه کاملاً بی‌رنگ شود، ادامه یافت. پس از اینکه نمونه کاملاً تغییر رنگ داد و حجم آن پس از سرد شدن ظرف کاهش یافت، مقداری آب مقطر به آن اضافه شد و در بالن حجمی ۵۰ سی‌سی ریخته شد و با اسید نیتریک ۱۰ درصد به حجم ۵۰cc رسانده شد.^{۱۹} سپس، در ظرف پلاستیکی قرار داده شد تا میزان سرب موجود در نمونه‌ها توسط دستگاه جذب اتمی خوانده شد.

رابطه ۱: غلظت فلز سرب در خاک پای درخت ÷ غلظت

فلز سرب در برگ درخت = شاخص تجمع زیستی

تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای این منظور، از نرم‌افزار آماری SPSS 26 استفاده شد. برای بررسی توزیع نرمال داده‌ها، از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف، برای مقایسه میانگین غلظت سرب مورد مطالعه در نمونه‌های برگ درختان و وجود یا عدم وجود تفاوت آماری معنی‌دار در میانگین غلظت سرب بین برگ‌های شسته شده و شسته نشده گونه، از آزمون T مستقل و تحلیل واریانس ANOVA استفاده شد.

یافته‌ها

در این تحقیق برای تجزیه و تحلیل داده‌ها، پیش از انجام آزمون‌های آماری، به منظور آنالیز توزیع داده‌ها و جهت تعیین نوع آزمون (پارامتریک یا ناپارامتریک) از آزمون کلموگروف - اسمیرنوف استفاده شد. نتایج آزمون کلموگروف - اسمیرنوف نشان داد که داده‌ها دارای توزیع نرمال هستند، لذا از آزمون‌های پارامتریک برای تجزیه و تحلیل نتایج استفاده شد (جدول ۱).

جدول ۱. نتایج آزمون کلموگروف - اسمیرنوف فلز سرب برای نمونه‌های برگ درختان و خاک کلانشهر اهواز

خاک	کهور	برهان	اوکالپیتوس	میانگین	پارامترهای نرمال
۱۲۸/۶۸۶	۵۷/۴۴۷	۵۹/۹۷۱	۵۸/۵۴۲	انحراف استاندارد	
۳۶/۵۷۸	۱۴/۰۶۸	۹/۶۱۵	۹/۳۱۸	مطلق	اختلاف‌ها
۰/۱۸۱	۰/۱۲۰	۰/۱۵۷	۰/۱۳۴	مثبت	
۰/۱۶۹	۰/۱۲۰	۰/۱۲۹	۰/۱۳۴	منفی	
-۰/۱۸۱	-۰/۰۹۶	-۰/۱۵۷	-۰/۱۱۲	آماره کلموگروف - اسمیرنوف	
۰/۶۱۵	۰/۹۶۹	۰/۶۵۲	۰/۵۰۱	سطح معنی‌داری	
۰/۸۴۵	۰/۳۰۵	۰/۷۸۹	۰/۹۶۳		

و کهور اثرگذار بوده است. غلظت سرب در نمونه‌های خاک نیز اختلاف معنی‌داری داشت و نتایج نشان داد که مکان نمونه‌برداری بر سطح غلظت سرب در نمونه‌های خاک اثرگذار بوده است (جدول ۲).

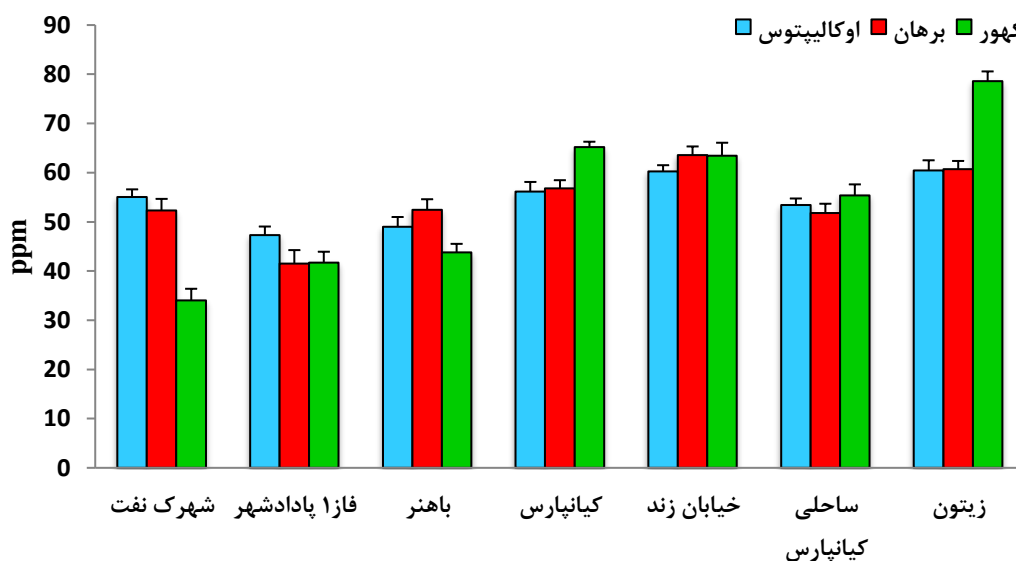
نتایج آزمون t نشان داد که بین مقادیر سرب در برگ‌های گونه اوکالپیتوس، برهان و کهور اختلاف معنی‌دار وجود داشت ($P < 0.05$). سطح معنی‌داری برای فلز سرب ۰/۰۵ بوده است. این نتایج نشان می‌دهد که مکان نمونه‌برداری در سطح غلظت سرب در نمونه‌های برگ اوکالپیتوس، برهان

جدول ۲. نتایج آزمون t فلز سرب برای نمونه های برگ درختان و خاک کلانشهر اهواز

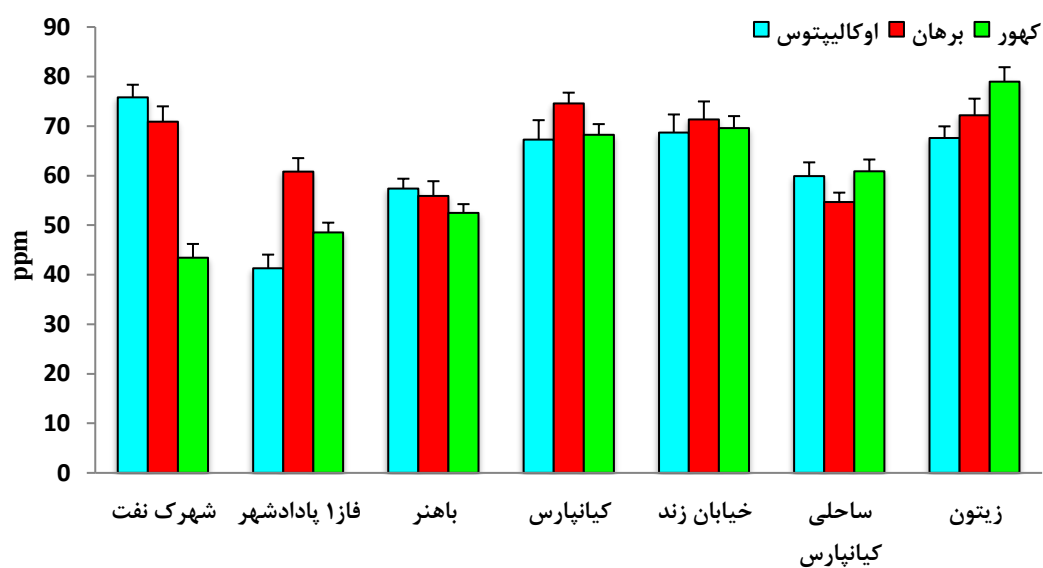
نمونه	آماره t	درجه آزادی	سطح معنی داری	اختلاف میانگین	فاصله اطمینان از تفاوت ۹۵ درصد	
					حد پایین	حد بالا
اوکالیپتوس	۱۴/۸۴۱	۶	۰/۰۳۱	۶۲/۵۷	۵۲/۲۵	۷۲/۸۸
برهان	۲۰/۷۹۳	۶	۰/۰۰۰	۶۵/۷۷	۵۸/۰۳	۷۳/۵۱
کهور	۱۲/۴۵۴	۶	۰/۰۰۰	۶۰/۳۱	۴۸/۴۶	۷۲/۱۶
خاک	۹/۳۰۸	۶	۰/۰۰۰	۱۲۸/۶۸	۹۴/۸۵	۱۶۲/۵۱

مقایسه غلظت سرب بر اساس تحلیل واریانس یک طرفه در نمونه های برگ شسته شده و شسته نشده درختان برهان، کهور و اوکالیپتوس در شکل های ۱ و ۲ ارائه شده است. همچنین کمترین آن در نمونه های برگ شسته شده کهور (۳۴/۰۳ میلی گرم بر کیلوگرم) و بیشترین میانگین غلظت

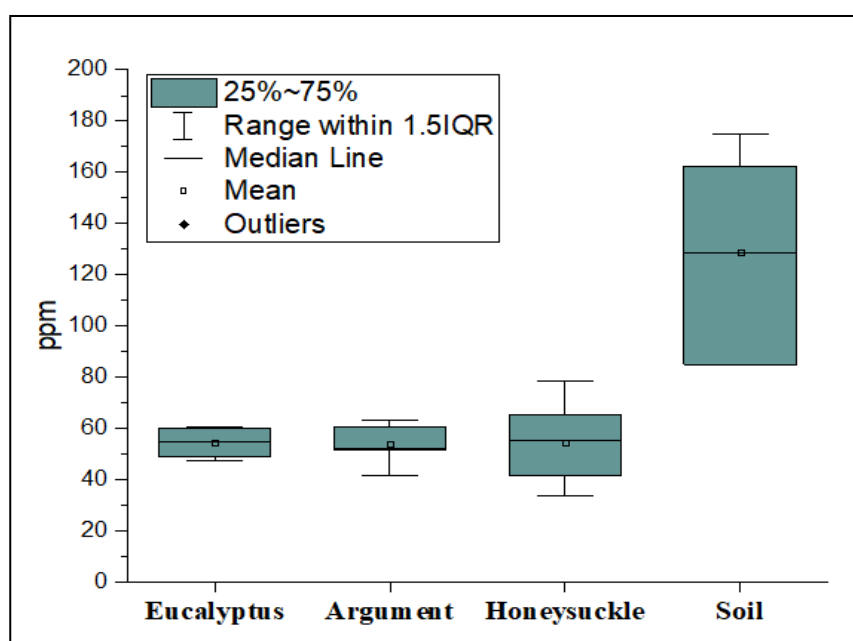
سرب در ۳ گونه درخت مورد بررسی، در برگ شسته نشده گونه کهور (۷۹ میلی گرم بر کیلوگرم) به دست آمد (شکل ۳). بیشترین میانگین مقادیر سرب در نمونه های خاک ۱۷۵/۰۳ میلی گرم بر کیلوگرم و پایین ترین غلظت این فلز در خاک ۸۵ میلی گرم بر کیلوگرم بود (شکل ۴).



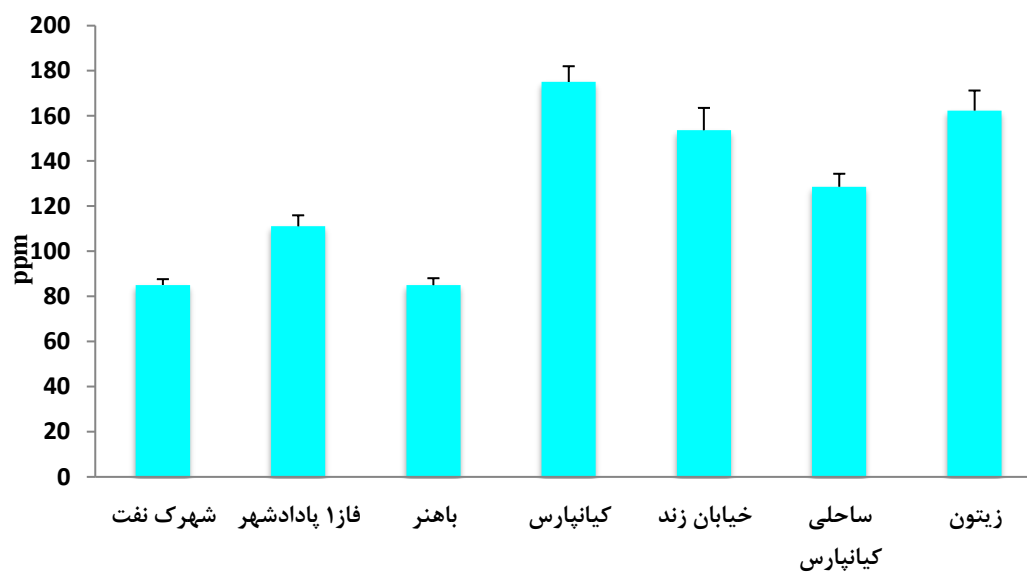
شکل ۱. مقایسه غلظت سرب (میلی گرم بر کیلوگرم) برگ شسته شده درختان اوکالیپتوس، برهان و کهور سطح شهر اهواز



شکل ۲. مقایسه غلظت سرب (میلی گرم بر کیلوگرم) برگ شسته نشده درختان اوکالیپتوس، برهان و کهور سطح شهر اهواز



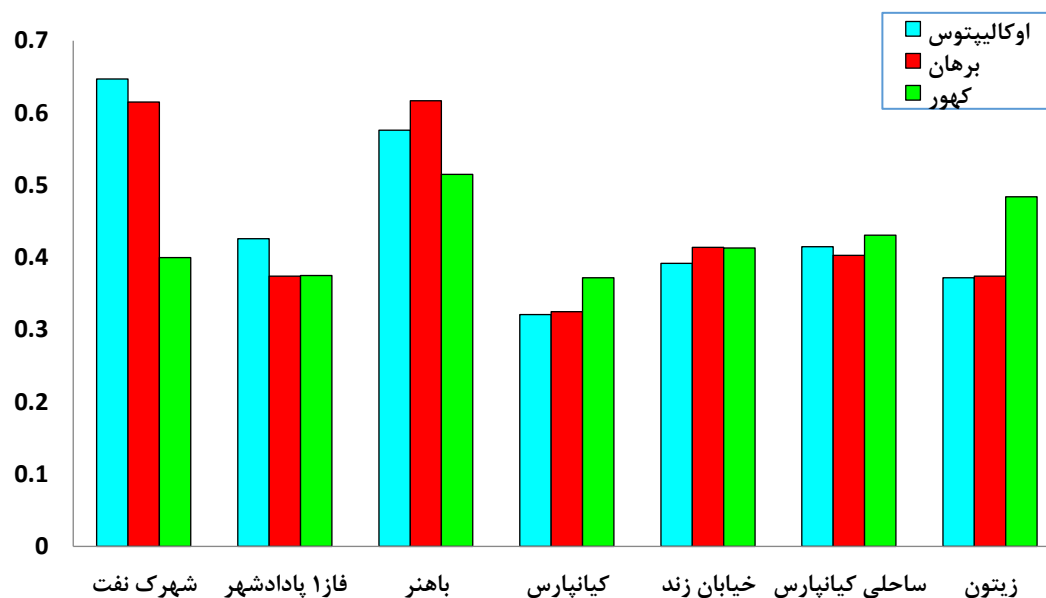
شکل ۳. محدوده غلظت سنجش شده سرب (میلی گرم بر کیلوگرم) در نمونه های برگ درختان اوکالیپتوس، برهان، کهور و خاک پای درختان سطح شهر اهواز



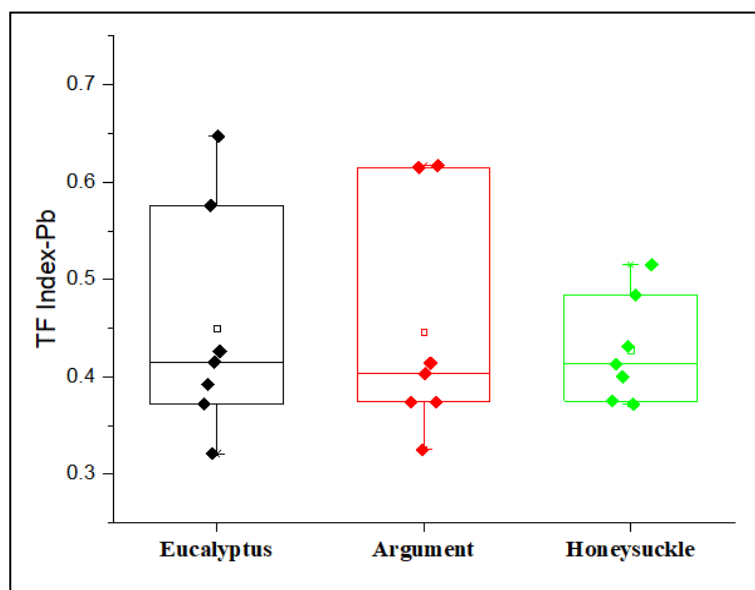
شکل ۴. مقایسه غلظت سرب (میلی گرم بر کیلوگرم) در نمونه های خاک پای درختان اوکالپتوس، برهان و کهور سطح شهر اهواز

دانه تغییرات فلز سرب در برگ درخت برهان (۰/۶۱۷-۰/۳۲۵) بیشتر از مقادیر شاخص تجمع زیستی سرب برگ درختان اوکالپتوس (۰/۶۴۷-۰/۳۲۱) و کهور (۰/۵۱۵-۰/۳۷۲) بود (شکل ۶).

بیشترین میزان شاخص تجمع زیستی فلز سرب مربوط به برگ درخت اوکالپتوس (۰/۶۴۷) و کمترین شاخص تجمع زیستی فلز سرب نیز در برگ درخت اوکالپتوس (۰/۳۲۱) به دست آمد (شکل ۵). با توجه به شاخص تجمع زیستی،



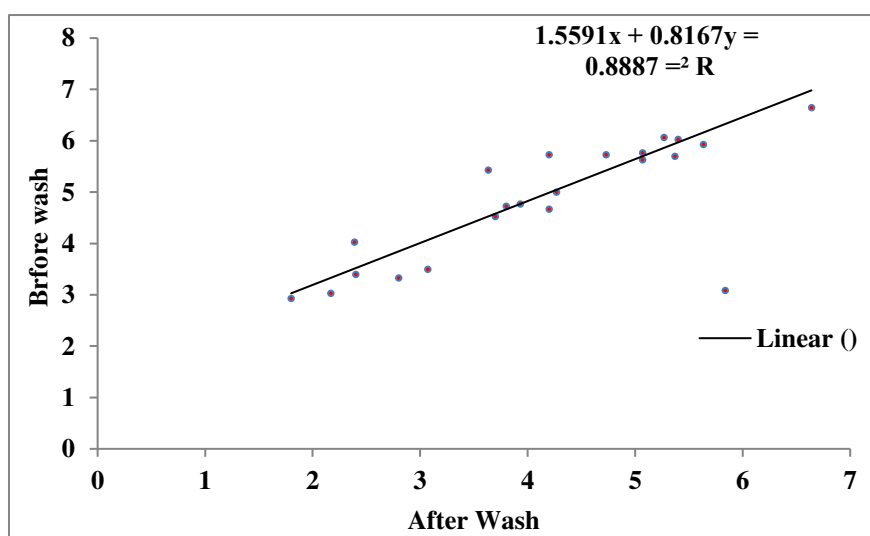
شکل ۵. شاخص تجمع زیستی سرب در برگ درختان اوکالپتوس، برهان و کهور در سطح شهر اهواز



شکل ۶. مقایسه مقادیر شاخص تجمع زیستی فلز سنگین سرب در برگ درختان اوکالیپتوس، برهان و کهور در سطح شهر اهواز

که نشان دهنده سطح ارتباط بین نمونه‌های شسته نشده و شسته شده نسبتاً قوی است. به این مفهوم که شستشوی برگ‌ها، کمترین اثر را بر غلظت آن در برگ داشته است. می‌توان این‌گونه تفسیر کرد که بخش زیادی از سرب ترسیب شده روی برگ درختان جذب شده است (شکل ۷).

از آنالیز رگرسیون خطی برای بررسی ارتباط بین مقادیر سرب سنجش شده روی برگ نمونه‌های شسته شده و شسته نشده استفاده شد. هدف از این آنالیز، بررسی سطوح تغییر مقادیر آن در نمونه‌ها و اثر شستشوی برگ‌ها بر سطوح غلظت سرب بود. هرچه شاخص R^2 نزدیک به ۱ باشد، ارتباط بین مقادیر شسته شده و شسته نشده بیشتر است. شاخص R^2 سرب ۰/۶۳۷ بود



شکل ۷. برازش رگرسیونی مقادیر سرب برگ‌های شسته نشده و شسته شده درختان اوکالیپتوس، برهان و کهور سطح شهر اهواز

بحث

در این تحقیق غلظت فلز سرب در نمونه‌های برگ شسته نشده درختان اوکالیپتوس، برهان و کهور بالاتر از نمونه‌های برگ شسته شده بود. پژوهشگران نیز در درختان کهور (*Prosopis juliflora*) و نخل (*Phoenix dactylifera*) اطراف کارخانه فولاد شادگان^{۱۱}، برهان (*Albizia lebbeck*) و اوکالیپتوس (*Eucalyptus globulus*) کارخانه گروه ملی صنعتی ایران^{۱۳} و گیاه نیشکر (*Saccharum officinarum*) در واحد صنعتی امیرکبیر^۸ بالا بودن غلظت سرب در نمونه‌های برگ شسته نشده نسبت به نمونه‌های برگ شسته شده را گزارش کردند. از سوی دیگر آنالیز رگرسون خطی ارتباط بین مقادیر سرب سنجش شده روی برگ نمونه‌های شسته شده و شسته نشده نشان دهنده سطح ارتباط بین نمونه‌های شسته نشده و شسته شده نسبتاً قوی بود و احتمالاً چنین به نظر می‌رسد غلظت سرب در برگ درختان از هوای آلوده و فرونشست جوی جذب و انباشت شده است. تحلیل و تفسیر دیگر این است که غلظت سرب در نمونه‌های برگ درختان اوکالیپتوس، برهان و کهور بالاتر حد آستانه این فلز در گیاهان (۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم)^{۲۲} به دست آمد، اما غلظت سرب در نمونه‌های خاک پای درختان در مقایسه با استاندارد مجاز این فلز در خاک (۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم)^{۲۳} پایین‌تر بود. فلز سرب در جو و آلاینده‌های هوا، اغلب به صورت ذرات معلق میکرونی وجود دارد که می‌تواند در فواصل طولانی به دلایل مختلف نظیر باد و باران انتقال داده شود^{۲۴}. همچنین به طور بالقوه فلز سرب به دلیل استفاده از ترکیبات آن در بنزین و دود خروجی اگزوز خودروها در محیط جو و هوا به صورت گسترده مشاهده می‌شود^۲. کلانشهر اهواز، با تمام منابع توسعه‌ای به دلایل مختلف با بحران آلودگی زیست‌محیطی روبرو است که در دهه‌های اخیر به طور چشمگیری افزایش یافته است. اهواز در سال‌های گذشته در رسانه‌های بین‌المللی به عنوان آلوده‌ترین شهر جهان معرفی شد. صنایع بزرگ، از جمله صنایع فولاد، گروه ملی فولاد، تأسیسات

شرکت نفت، فعالیت‌های حفاری و استخراج نفت و سوزاندن مزارع نیشکر از جمله مهمترین آلاینده‌های هوای اهواز هستند. علاوه بر صنایع، وسایل نقلیه موتوری را می‌توان از دیگر منابع آلودگی دانست^{۲۵، ۲۶}.

غلظت سرب در تمامی نمونه‌های برگ درختان اوکالیپتوس، برهان و کهور و خاک پای آن‌ها سنجش گردید و مقادیر مختلفی از این فلز در نمونه‌ها مشاهده شد. بیشترین غلظت فلز سرب در برگ گیاه نیشکر (*Saccharum officinarum*) مربوط به برگ شسته نشده ۱۵/۹۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و میزان سرب در خاک پای این گیاه ۱۶/۵۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده است^۸. در یک مطالعه بر روی سه گونه اکالیپتوس (*Eucalyptus microtheca*)، سدر (*Ziziphus spina-christi*) و کهور (*Prosopis juliflora*) بیشترین میزان سرب نمونه‌های برگ شسته نشده درختان کهور ۷۲/۵۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم و کمترین میزان سرب نمونه‌های برگ مربوط به برگ شسته درختان سدر ۶۰/۱۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده است^۵. در تحقیق دیگری در مورد درختان برهان (*Albizia lebbeck*) و اوکالیپتوس (*Eucalyptus microtheca*) شهرستان شوش در فصل زمستان بیشترین میانگین غلظت سرب در خاک پای درختان ۱۱۸۳/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در برگ‌های شسته‌نشده درخت برهان ۹۵/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در فصل تابستان بیشترین میزان سرب در خاک پای درختان ۱۰۵۶/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در برگ‌های شسته‌نشده درخت برهان ۹۵/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده است^{۱۸}. فلز سرب نسبت به دیگر فلز سنگین مورد مطالعه در دو درخت کهور (*Prosopis juliflora*) و نخل (*Phoenix dactylifera*) در کارخانه فولاد شادگان بالاتر گزارش شده است به طوری که بیشینه غلظت سرب به ترتیب در نخل شسته شده، نخل شسته نشده، کهور شسته نشده و کهور شسته شده بوده و غلظت سرب نیز در گیاه نخل نسبت به گیاه کهور بالاتر به دست آمده است^{۱۱}. براساس نتایج یک تحقیق دیگر، غلظت فلز سرب در برگ

دو گونه برهان (*Albizia lebbeck*) و کنوکارپوس (*Conocarpus erectus*) و خاک پای این درختان دارای اختلاف معنی دار بوده که غلظت این فلز در برگ کنوکارپوس به طور معنی داری بیشتر از برهان گزارش شده است.^{۱۷} خاک های شهری به شدت تحت تأثیر ذرات فلزی معلق در هوا ناشی از ترافیک و احتراق قرار دارند^{۲۷} و درختان نیز مقادیر متفاوتی از فلزات نظیر سرب را جذب کرده و آن ها را در برگ های خود انباشته می کنند.^{۲۸} درختانی که در خاک های آلوده به سرب رشد می کنند، می توانند سرب را از طریق چسبیدن گرد و غبار و انتقال آن به بافت گیاه، جمع آوری کنند.^{۲۹} پژوهشگران گزارش کردند که نمونه های خاک کارخانه فولاد خوزستان دارای غلظت های متفاوتی از فلزات سنگین بودند که کبالت بالاترین و کادمیوم کمترین مقادیر را در خاک داشتند و فرآیندهای زمین شناسی و اقلیمی تأثیر بالایی در آلودگی خاک دارند.^{۳۰} بنابراین با توجه به اینکه کارخانه فولاد خوزستان در محدوده شهری اهواز قرار دارد احتمالاً می تواند سبب آلودگی ناشی بر روی درختان و خاک شود.

در این تحقیق شاخص تجمع زیستی سرب در برگ درختان اوکالیپتوس، برهان و کهور پایین تر از ۱ به دست آمد. در گونه های دفع کننده فلز شاخص تجمع زیستی کوچکتر از ۱ و در گونه های بیش انباشتگر بزرگتر از ۱ است.^{۳۱} در تحقیقی برای فلز سرب بیشترین شاخص تجمع زیستی در برگ گیاه نیشکر (*Saccharum officinarum*) با مقدار ۰/۹۵ گزارش شده است که پایین تر از ۱ بود.^۸ همچنین در مطالعه دیگری شاخص تجمع زیستی سرب در دو گونه درختان برهان (*Albizia lebbeck*) و اوکالیپتوس (*Eucalyptus microtheca*) شهرستان شوش نیز پایین تر از ۱ گزارش شده است.^{۱۸} در تحقیقی شاخص تجمع زیستی فلز سرب در دو درخت کهور (*Prosopis juliflora*) و نخل (*Phoenix dactylifera*) در کارخانه فولاد شادگان نیز کمتر از ۱ گزارش شده است.^{۱۱} همچنین شاخص تجمع زیستی غلظت فلز سرب در برگ دو گونه

برهان (*Albizia lebbeck*) و کنوکارپوس (*Conocarpus erectus*) نیز پایین تر از ۱ تعیین شده است.^{۱۷} که نتایج این تحقیقات با داده های این تحقیق هم خوانی دارد، اما در برخی تحقیقات دیگر در برگ کنار (*Ziziphus spina-christi*) و کهور (*Prosopis cineraria*)^{۱۴} شاخص تجمع زیستی غلظت فلز سرب بالاتر از ۱ گزارش شده است. در مطالعات و تحقیقات متعددی، تعدادی از گونه های گیاهی شناسایی شده اند که می توانند مقادیر بالایی از فلز سرب را در بافت های خود جذب و انباشته کنند و می توانند در گیاه پالایی خاک های آلوده به سرب استفاده شوند. این گونه های گیاهی مکانیسم های خاصی برای مقابله با سطوح بالاتر سرب در محیط رشد خود دارند.^{۳۲، ۳۳} کهور به علت قابلیت ایجاد سریع ریشه های جانبی، دارا بودن برگ های ریزان و قابلیت زیست بدون داشتن برگ، قادر به افزایش نسبت شاخه ها به ریشه و به طور کلی با سیستم ریشه ای با قابلیت نفوذ زیاد به اعماق خاک، می تواند آلاینده ها را از خاک جذب و انباشته کند.^{۳۴} اما برهان درختی است نسبتاً بزرگ، پرشاخه با برگ مرکب نسبتاً بزرگ و کشیده که توانایی جذب و انباشت فلزات را از فرونشست جوی در برگ را دارد.^{۳۵} در حالی که درخت اوکالیپتوس با برگ های نسبتاً پهن تر و بدون انحنا به منظور ایجاد فضای سبز و تلطیف هوا در مناطق صنعتی و کارخانه های ذوب فلز و کاستن آلودگی هوا و خاک جایگاه ویژه ای پیدا کرده است و توانایی جذب و تجمع فلزات سنگین را دارند.^{۳۶}

با توجه به نتایج تجمع زیستی سرب در برگ سه گونه درخت مورد مطالعه، چنین استنباط می شود که برگ این درختان نتوانستند به خوبی سرب را از خاک جذب کنند. پژوهشگران گزارش کردند که تمام قسمت های گیاه می توانند سرب را به طور قابل توجهی تجمع دهند،^{۲۹} اما باید توجه داشت که ظرفیت تجمع سرب در بخش های مختلف گیاه متفاوت است.^{۳۷} به عنوان مثال هنگامی که غلظت سرب در خاک بالاتر از ۲۰ میلی گرم در کیلوگرم می

ریشه اولین اندامی است که این فلز را در طول انتقال به زیست توده گیاهان در معرض قرار می دهد^{۴۳، ۴۴}.

نتیجه گیری

بر اساس غلظت فلز سرب و شاخص تجمع زیستی در نمونه های برگ درختان اوکالپتوس، کهور و برهان در سطح شهر اهواز نشان داد که غلظت سرب از هوا به برگ درختان جذب و انباشت شده است و چنین به نظر می رسد که احتمالاً درختان اوکالپتوس، برهان و کهور توانایی بالایی گیاه پالایی فلز سرب از خاک را ندارند. همچنین با توجه به نتایج رگرسیون خطی سرب در نمونه های برگ شسته شده و شسته نشده می توان چنین استنباط کرد که غلظت بالای سرب ترسیب شده روی برگ درختان جذب شده است. بنابراین پیشنهاد می شود که سایر فلزات سنگین نیز در برگ درختان سطح شهر اهواز و منابع آب آبیاری آن ها و خاک پای درختان مورد بررسی و مطالعه قرار گیرند. اثر احتمالی عواملی مانند شرایط فصلی، بارندگی، شرایط جوی، ویژگی برگ و تعدد منابع انتشار به عنوان عوامل محدود کننده مطالعه بوده است.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله مراتب تشکر و قدردانی را از معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز اعلام می نمایند. شایان ذکر است با توجه به نوع روش مطالعه در رابطه با حقوق مادی و معنوی جوامع انسانی و آسیب های وارده به حیات وحش هیچ گونه 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 دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز اعلام می نمایند.

شود، جذب سرب در ریشه بیشتر نیز می گردد، اما درختان بر جذب و انباشته شدن سرب در ریشه - ساقه مناسب تر هستند و پس از آن سبزیجات قرار دارند و گندمیان ضعیف ترین توانایی غنی سازی سرب را دارند^{۳۸}. برای جذب سرب بین گیاهان ریشه دار، ساقه دار و برگ دار تفاوت وجود دارد، ظرفیت جذب و انباشته شدن سرب در ریشه ها به طور قابل توجهی بیشتر از ساقه ها و برگ ها گزارش شده است و توانایی غنی سازی گیاهان مختلف به سرب در درجه اول از ترتیب ریشه < ساقه < برگ پیروی می کند، بنابراین نشان می دهد که ریشه های گیاه اندام اصلی غنی سازی سرب هستند^{۳۹}. سرب موجود در خاک ابتدا از طریق ریشه گیاه وارد گیاه می شوند، بنابراین محتوای سرب در ریشه گیاه به طور قابل توجهی بیشتر از ساقه و برگ است و اثر سمی سرب بر گیاه تا حد زیادی بر ریشه تأثیر می گذارد^{۴۰}. پژوهشگران گزارش کردند که در برخی گونه های درختان نظیر *Ipomoea aquatica* و *Brassica chinensis*^{۴۱} و *Salix purpurea*^{۴۲} و سرب به راحتی در ریشه گیاهان تجمع می یابد و انتقال آن به ساقه و برگ دشوار است، به عبارت دیگر سرب در درجه اول در ریشه ها تجمع می یابد و غلظت آن در ریشه ها بیشتر از ساقه ها و برگ ها است. مشخص شده است که سرب به طور عمده در ریشه های گیاهان مختلف تجمع می یابد و غلظت سرب در طول انتقال از ریشه به ساقه و برگ نسبتاً کم است^{۳۸}. دلیل احتمالی تفاوت در میزان تجمع بین بافت های گیاهی، انتقال محدود سرب بین ریشه ها و ساقه ها و برگ ها است. مهاجرت محدود سرب از ریشه ها به ساقه ها و برگ ها را می توان با مکانیسم دفع فلز در ریشه ها که گیاهان از آسیب در طول فتوسنتز جلوگیری می کنند، توضیح داد. بافت ریشه گیاه توانایی قوی در غنی سازی سرب از خود نشان می دهد، بنابراین ساکنان می توانند گیاهانی با ریشه های توسعه یافته را برای بررسی و مطالعه وضعیت سرب انتخاب کنند. علاوه بر این، بیشتر مقدار سرب در ریشه ها جذب می شود، زیرا

ملاحظات اخلاقی

این مقاله حاصل پایان نامه گروه محیط زیست دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز می باشد. نویسندگان تمام نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده ها و داده سازی را در این مقاله رعایت کرده اند. همچنین نویسندگان هر گونه تضاد منافع حقیقی یا مادی که ممکن است بر نتایج یا تفسیر مقاله تاثیر بگذارد را رد می کنند.

مشارکت نویسندگان

نویسندگان مقاله خانم مریم محمدی روزبهانی، راضیه مشعل پور فرد، سیما سبزعلیپور، سینا عطار روشن و روشنا بهباش در همه مراحل انجام تحقیق شامل طراحی، اجرا و نگارش مقاله مشارکت داشتند.

References

1. El Youssfi M, Benabbou A, Flayou M. et al. Lead and Cadmium in Orange Juices Marketed in Morocco: A Comprehensive Survey and Human Health Risk Assessment. *Biol Trace Elem Res.* 2026; 204: 1936–1945 .
2. Akindele, A.F.I., Joseph, A. Health risk assessment of lead, cadmium, heavy metals and metalloids in residential paint flakes from indoor wall surfaces. *Environ Monit Assess* 196, 1261 .(۲۰۲۴)
3. Chayal, N.K., Kumar, A., Verma, K.S. et al. Lead exposure in Bihar, Eastern India: a risk assessment study. *Environ Geochem Health* 47, 368.(۲۰۲۵)
4. Zhang, P., Zhou, J., Li, X. et al. A geochemical baseline–source analysis–multidimensional risk assessment–management response framework for lead–zinc mining areas. *Environ Monit Assess* 47, 464 .(۲۰۲۵)
5. Ghorbani Talkhoncheh, A., & Mohammadi Rouzbahani, M. (2024). Pb heavy metal monitoring using biological indicators, *Prosopis juliflora*, *Eucalyptus microtheca* and *Ziziphus spina-christi* in Ahvaz city (Iran). *Anthropogenic Pollution*, 8 .(۱)
6. Mansouri Moghadam, S., Payandeh, K., Koushfar, A., Goosheh, M., & Mohammadi Rouzbahani, M. (2024). Level of heavy metals and environmental pollution index in Ahvaz, Southwest Iran. *Scientific Reports*, 14(1), 14754.
7. Siric, I., Simic, P., Mihanovic, D. et al. Soil contamination and health risk assessment of cadmium and lead exposure from four wild mushrooms in the Petrova Gora region, Croatia. *Environ Monit Assess* 197, 1044.(۲۰۲۵)
8. 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. *J Environ Health Eng.* 2025; 13 (2): 118-133. [In Persian].
9. 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. *J Environ Health Eng* 2024; 11 (4): 443-455. [In Persian].
10. Gkini, E., Tsakalidimi, M., Mousios, I. et al. Accumulation of metals in the leaves of different urban forest tree species and its relation to the proximity to the airport. *Environ Sci Pollut Res* 33, 1353–1364.(۲۰۲۶)
11. 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. *J Environ Health Eng* 2024; 11 (2): 130-145. [In Persian].
12. Anwar, A., Mezbah Uddin, A.H., Hasan, M.S. et al. Assessment of anthropogenic activities impact based on metals in soil and tree leaves along roadside in Bangladesh. *Sci Rep* 15, 6960.(۲۰۲۵)
13. Torkashvand, V., Mohammadi Rouzbahani, M. and Babaeinezhad, T. 2018. Survey of heavy metals (Pb, Ni, Cr, Cd) bio-accumulation in the leaves of (*Albizia lebbek* and *Eucalyptus camadulensis*) (case study: Iran National Steel Industrial Group). *Journal of Neyshabur University of Medical Sciences* 6 (1), 33-43. [In Persian].
14. 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] .
15. Tabibian S, Bidarigh S, Torabian SY. Investigation on the adsorption of heavy metal in lead in a plane species in traffic areas in Rasht. *Human & Environment.* 2019;17(4):39-46. [In Persian].
16. Arpanaei, A., Attaroshan, S., Sabzalipour, S. and Arpanaei, I., 2021. Bioaccumulation of some heavy metals (copper, Nickel, and lead) and air pollution tolerance index of *Prosopis juliflora* and *Conocarpus erectus* species in Mahshahr, Iran. *Iranian Journal of Health and Environment*, 13 (4): 747-766. [In Persian].
17. Rafati, M., Mohammadi Roozbahani, M. and Naseri Monfared, H., 2021. Accumulation of heavy metals (lead and nickel) by the soil and leaves of *Albizia lebbek* and *Conocarpus erectus* from the city of Ahvaz. *Forest and Wood Products*, 73(4), pp.379-387. [In Persian].
18. Pour Gholam Khabaz A, Mohammadi Ruzbahani, M., 2024. The study of the traceability of lead heavy metal in the leaves of eucalyptus (*Eucalyptus microtheca*) and Burhan (*Albizia lebbek*) trees in Shush city. *Journal of Research in Environmental Health.* 2024;9(4):403-16. [In Persian].
19. Johnson CM, Ulrich A. 2. Analytical methods for use in plant analysis. *Bulletin of the California agricultural experiment station.* 1959 .
20. 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.
21. Gholami, A., Davami, A.H., Panahpour, E., Amini, H., 2013. Evaluation of "Conocarpus erectus" plant as biomonitoring of soil and air pollution in Ahwaz region. *Middle-East Journal of Scientific Research* 13, 1319-1324.
22. 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.
23. Vodyanitskii YN. Standards for the contents of heavy metals in soils of some states. *Annals of agrarian science.* 2016;14(3):257-63.
24. Tomasevic, M., Antanasijevic, D., Anicic, M., Deljanin, I., Peric-Grujic, A. and Ristic, M. 2013. Lead concentrations and isotope ratios in urban tree leaves, *Ecological Indicators*, 24, 504-509.
25. Velayatzadeh M. 2020. Air pollution sources in Ahvaz city from Iran. *Journal of Air Pollution and Health*, 5(2): 147-152.
26. Effatpanah, M., Effatpanah, H., Jalali, S., Parseh, I., Goudarzi, G., Barzegar, G., Geravandi, S., Darabi, F., Ghasemian, N. and Mohammadi, M.J. 2020. Hospital admission of exposure to air pollution in Ahvaz megacity during 2010–2013. *Clinical Epidemiology and Global Health*, 8 (2): 550-556.
27. Finster, M.E., Gray, K.A., Binns, H.J. 2004. Lead levels of edibles grown in contaminated residential soils: a field survey. *Science of the Total Environment*, 320 (2–3): 245-257.
28. Zand Abbas Abadi A, Cheraghi M, Sobhanardakani S, Lorestani B, Kiani Sadr M. 2024. Evaluation of the capability of *Robinia pseudoacacia* and *Pinus eldarica* for bioremediation of heavy metals (Pb, Cr and Ni) in urban areas of Hamedan, west of Iran. *Iranian Journal of Health and Environment*, 16 (4): 607-628. [In Persian].
29. Collin, S., Baskar, A., Geevarghese, D.M., Ali, M.N.V.S. Bahubali, P., Choudhary, R., Lvov, V., Tovar, G.I., Senatov, F., Koppala, S. and Swamiappan, S. 2022.

- Bioaccumulation of lead (Pb) and its effects in plants: A review. *Journal of Hazardous Materials Letters*, 3: 100064.
30. Jafarian, F., Payandeh, Kh., Nazarpour, A., Gholami, A. and Mohsenifae, K. 2025 Evaluation of Environmental Pollution Indices of Heavy Metals in Soil around Khuzestan Steel Co. *Journal of Research in Environmental Health*, 11 (1): 111-125. [In Persian].
 31. Hussain, J., Wei, X., Xue-Gang, L., Shah, S.R.U., Aslam, M., Ahmed, I., Abdullah, S., Babar, A., Jakhar, A.M. and Azam, T., 2021. Garlic (*Allium sativum*) based inter planting alters the heavy metals absorption and bacterial diversity in neighboring plants. *Scientific Reports* 11(1), 5833.
 32. Kumar, A., Kumar, A., MMS, C.P., Chaturvedi, A.K., Shabnam, A.A., Subrahmanyam, G., Mondal, R., Gupta, D.K., Malyan, S.K., Kumar, S.S. and A. Khan, S., 2020. Lead toxicity: health hazards, influence on food chain, and sustainable remediation approaches. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 17(7), 2179.
 33. Usman, K., Abu-Dieyeh, M.H., Zouari, N. and Al-Ghouti, M.A., 2020. Lead (Pb) bioaccumulation and antioxidative responses in *Tetraena qataranse*. *Scientific Reports* 10(1), 17070.
 34. Usman, K., Abu-Dieyeh, M.H. and Al-Ghouti, M.A., 2019. Evaluating the invasive plant, *Prosopis juliflora* in the two initial growth stages as a potential candidate for heavy metal phytostabilization in metalliferous soil. *Environmental pollutants and Bioavailability* 31(1), 145-155.
 35. Alimoh Helen Alabi, Adewumi Comfort Adegoroye, Felicia Olubunmi Tella, Clement A. Olanrewaju, Chukwunonyelu Ebenezer Nnadozie, Lukman Shehu Mustapha, Peter Olusakin Oladoye, Kehinde Shola Obayomi. 2026. In-situ synthesis of goethite-modified-Albizia lebeck for sequestration of Zn²⁺ and Pb²⁺ from aqueous environments: Equilibrium, isotherm, and thermodynamic studies. *Cleaner Water* 5, P. 100190.
 36. Mok, H.F., Majumder, R., Laidlaw, W.S., Gregory, D., Baker, A.J. and Arndt, S.K., 2013. Native Australian species are effective in extracting multiple heavy metals from biosolids. *International Journal of phytoremediation* 15(7), 615-632.
 37. Rahman, S.U., Qin, A., Zain, M., Mushtaq, Z., Mehmood, F., Riaz, L., Naveed, S., Ansari, M.J., Saeed, M., Ahmad, I. and Shehzad, M., 2024. Pb uptake, accumulation, and translocation in plants: Plant physiological, biochemical, and molecular response: A review. *Heliyon* 10(6), P. e27724.
 38. Jia, L., Ma, H., Guan, Y., Zou, L., Jiang, L., Hang, Y., Feng, X., Ren, X., Tian, Y., Pan, H., Rong, S., 2022. Lead absorption capacity in different parts of plants and its influencing factors: a systematic review and meta-analysis. *Environmental Science and Pollution Research* 1-16.
 39. Wang, G., Su, M.Y., Chen, Y.H., Lin, F.F., Luo, D. and Gao, S.F., 2006. Transfer characteristics of cadmium and lead from soil to the edible parts of six vegetable species in southeastern China. *Environmental pollution*, 144(1), pp.127-135.
 40. Asare, M.O., Száková, J. and Tlustoš, P., 2023. The fate of secondary metabolites in plants growing on Cd-, As-, and Pb-contaminated soils—a comprehensive review. *Environmental science and pollution research*, 30(5), pp.11378-11398.
 41. Sun, Z.H., Zheng, C.R., Zhou, D.M. and Yang, L.Z., 2005. Effects of soil Pb pollution on growth of *Brassica chinensis* and *Ipomoea aquatica* and urease activities. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 21(1), pp.38-43.
 42. Cloutier-Hurteau, B., Turmel, M.C., Mercier, C. and Courchesne, F., 2014. The sequestration of trace elements by willow (*Salix purpurea*)—which soil properties favor uptake and accumulation?. *Environmental Science and Pollution Research*, 21(6), pp.4759-4771.
 43. Usman, K., Abu-Dieyeh, M.H., Zouari, N. and Al-Ghouti, M.A., 2020. Lead (Pb) bioaccumulation and antioxidative responses in *Tetraena qataranse*. *Scientific reports*, 10(1), p.17070.
 44. Afzal, M.R., Naz, M., Wan, J., Dai, Z., Ullah, R., Rehman, S.U. and Du, D., 2023. Insights into the mechanisms involved in lead (Pb) tolerance in invasive plants—The current status of understanding. *Plants*, 12(11), p.2084.