Journal of Water and Soil Science
Vol. 30, No. 3, 2026, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. DOI: 10.47176/jwss.30.3.75011

Biological Index of Tree Leaves (*Albizia lebbeck, Prosopis cineraria,* and *Eucalyptus globulus*) in Ahvaz City for Nickel Monitoring

Raziyeh Mashalpour Fard, Maryam Mohammadi Rouzbahani*, Sima Sabzalipour, Sina Attarroshan and Roshna Behbash[1]

(Received: June 27-2026; Revised: September 14-2026; Accepted: September 21-2026)

1. Department of Environment, Ahv.C., Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
* Corresponding Author: Mmohammadiroozbahani@iau.ac.ir

Abstract

Nickel (Ni) is an essential element for living organisms and plays important biological roles in plants; however, its accumulation at high concentrations can cause toxicity and adverse effects. This study aimed to evaluate nickel accumulation using the leaves of Albizia lebbeck, Prosopis cineraria, and Eucalyptus globulus as biological indicators in Ahvaz City during the summer of 2025. A total of 126 leaf samples and 63 soil samples were collected from seven stations across Ahvaz City. Chemical digestion of the leaf and soil samples was performed using the Johnson and EPA 3050 methods, respectively. Nickel concentrations were determined using atomic absorption spectrometry. Significant differences were observed in Ni concentrations among the leaves of Albizia lebbeck, Prosopis cineraria, and Eucalyptus globulus ($P < 0.05$), whereas no significant difference was observed in Ni concentrations among the soil samples ($P > 0.05$). The highest and lowest Ni concentrations in the unwashed and washed leaves of Albizia lebbeck were 36.2 and 10.3 mg kg^{-1}, respectively. The highest and lowest Ni concentrations in the soil samples collected from the tree rhizospheres were 57.36 and 44.1 mg kg^{-1}, respectively. The highest Ni transfer factor was observed in Albizia lebbeck leaves (0.446), whereas the lowest was observed in Eucalyptus globulus leaves (0.203). The Ni transfer factors for the leaves of Albizia lebbeck, Prosopis cineraria, and Eucalyptus globulus, together with the linear regression analysis of Ni concentrations in washed and unwashed leaves, indicate that atmospheric deposition may be an important source of Ni accumulation in the leaves. In contrast, the contribution of soil-derived Ni to leaf accumulation appears to be relatively low.

Keywords: Tree leaves, Nickel metal, *Albizia lebbeck*, *Prosopis cineraria*, *Eucalyptus globulus*

How to cite this article: Mashalpour Fard, R., M. Mohammadi Rouzbahani, S. Sabzalipour, S. Attarroshan and R. Behbash. 2026. Biological Index of Tree Leaves (*Albizia lebbeck, Prosopis cineraria, and Eucalyptus globulus*) in Ahvaz City for Nickel Monitoring. *J. Water and Soil Sci.* 30(3): 193-206. DOI: 10.47176/jwss.30.3.75011

Copyright © 2026 Mashalpour Fard et al. Published by Isfahan University of Technology.

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.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-10-17]

[DOI: 10.47176/jwss.30.3.75011]

نشریه علوم آب و خاک
سال سی‌ام/ شماره سوم / پاییز ۱۴۰۵/مقاله علمی-پژوهشی: صفحات ۱۹۳ تا ۲۰۶
DOI: 10.47176/jwss.30.3.75011

شاخص زیستی برگ برخی درختان بومی (برهان، کهور، اوکالیپتوس) شهر اهواز برای پایش فلز نیکل

راضیه مشعل‌پور فرد، مریم محمدی روزبهانی*، سیما سبزعلیپور، سینا عطارروشن و روشنا بهباش [۱]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۴/۶ ؛ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۶/۲۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۶/۳۰)

۱. گروه محیط‌زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: Mmohammadiroozbahani@iau.ac.ir

چکیده

نیکل یکی از فلزات ضروری برای موجودات زنده است که در گیاهان نقش زیستی دارد و انباشت آن در غلظت‌های زیاد سبب سمیت و بیماری می‌شود. این پژوهش با هدف ارزیابی نیکل با استفاده از شاخص زیستی برگ برهان (*Albizia lebbeck*)، کهور (*Prosopis cineraria*) و اوکالیپتوس (*Eucalyptus globulus*) شهر اهواز انجام شد. نمونه‌های برگ (۱۲۶ نمونه) و *نمونه‌های* خاک (۶۳ نمونه) از هفت ایستگاه در سطح شهر اهواز در فصل تابستان ۱۴۰۴ تهیه شدند. هضم شیمیایی نمونه‌های برگ و خاک به ترتیب به روش‌های جانسون و EPA3050 انجام شد. برای اندازه گیری فلز نیکل از روش جذب اتمی استفاده شد. غلظت نیکل در برگ‌های گونه اوکالیپتوس، برهان و کهور اختلاف معنی داری وجود داشت (P<۰/۰۵)؛ اما غلظت نیکل در نمونه های خاک اختلاف معنی داری نداشت (P>۰/۰۵). بیشترین و کمترین میانگین غلظت نیکل در برگ شسته‌نشده و برگ شسته‌شده درخت برهان به ترتیب ۳۶/۲ و ۱۰/۳ میلی گرم بر کیلوگرم به دست آمد. همچنین بیشترین و کمترین مقادیر نیکل در نمونه های خاک پای درختان ۵۷/۳۶ و ۴۴/۱ میلی گرم بر کیلوگرم بود. بیشترین میزان فاکتور انتقال فلز نیکل مربوط به برگ درخت برهان (۰/۴۴۶) و کمترین فاکتور انتقال فلز نیکل نیز در برگ درخت اوکالیپتوس (۰/۲۰۳) به دست آمد. مقادیر فاکتور انتقال فلز نیکل در برگ درختان برهان، کهور و اوکالیپتوس و رگرسیون خطی فلز نیکل در برگ شسته‌شده و برگ شسته‌نشده درختان مورد مطالعه نشان دهنده جذب این فلز از آلاینده های موجود در هوا بوده و به نظر می رسد احتمالا انباشت نیکل از خاک پای درختان به برگ بسیار کم است.

واژه‌های کلیدی: برگ درختان، فلز نیکل، اوکالیپتوس، برهان، کهور

حق انتشار این مستند، متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است. ۱۴۰۴ ©.
این مقاله تحت گواهی زیر منتشر شده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط به استناد صحیح به مقاله و با رعایت شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است: (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-10-17]
[DOI: 10.47176/jwss.30.3.75011]

مقدمه

نیکل یک عنصر بالقوه سمی و کمیاب است که موجودات زنده، امنیت غذایی و منابع آب و خاک را تهدید و به طور گسترده از منابع مختلف انسانی و طبیعی در اکوسیستم‌های طبیعی آزاد می‌شود (۱۴). فرآیندهای طبیعی (فرسایش سنگ، هوازدگی و فوران آتشفشان) و انسانی (پساب‌های صنعتی، فعالیت‌های معدنی، آبکاری، لجن فاضلاب شهری، محل‌های دفن زباله و صنعت رنگ) منابع اصلی آلودگی نیکل هستند. پوسته زمین به طور طبیعی حاوی ۳ درصد نیکل است (۴۹). دفع نامناسب پسماندهای صنعتی و فرونشست جوی آلاینده‌ها می‌تواند منجر به افزایش سطح نیکل در سیستم‌های خاک و آب شود. همچنین علاوه بر آلودگی‌های انسانی، خاک‌های منطقه‌ای با غلظت زیاد زمینه ژئوشیمیایی نیکل وجود دارند. زمینه ژئوشیمیایی بالا به خاک‌هایی اشاره دارد که درنتیجه فرآیندهای زمین‌زاد، از جمله هوازدگی مواد مادری و فرآیندهای خاک‌زاد بعدی، مقدار زیادی نیکل در خود جمع کرده‌اند (۱۲).به طور کلی، سطح نیکل در هوا ۵ تا ۴۰ نانوگرم در متر مکعب، در خاک‌های کشاورزی ۳ تا ۱۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و در آب شیرین و اقیانوس‌ها کمتر از ۲ میکروگرم در لیتر است (۱۷ و ۴۳). نیکل در بیشتر گیاهان با غلظت بسیار کم از ۰/۰۵ میلی‌گرم در کیلوگرم تا ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک ضروری است (۷). عوامل مختلفی، مانند نوع خاک، کشورها و پتانسیل گیاه برای جذب نیکل، به طور قابل توجهی بر جذب و انتقال نیکل در گیاهان تأثیر می‌گذارند (۱۸). ترکیبات حاوی نیکل در چند دهه گذشته به طور فزاینده‌ای در کاربردهای صنعتی و تجاری، مانند الکترونیک، باتری‌ها، کاتالیز، آبکاری، ضرب سکه، رنگدانه‌ها، سرامیک، فولاد ضد زنگ و سایر آلیاژهای نیکل مورد استفاده قرار گرفته‌اند (۱۲ و ۱۴).

نگرانی زیادی در مورد آلودگی موجودات زنده به نیکل وجود دارد. قرار گرفتن مزمن در معرض نیکل ممکن است پیامدهای طولانی‌مدتی برای زنجیره تأمین مواد غذایی و سلامت عموم داشته باشد. سمیت نیکل در میکروارگانیسم‌ها با استرس اکسیداتیو، تنظیم آلوستریک، اتصال به آنزیم‌های غیرفلزی و جایگزینی فلزات ضروری برای فعالیت متالوآنزیم مرتبط است (۳۲ و ۴۴). نیکل عمدتاً از طریق استنشاق، بلع و تماس پوستی وارد بدن انسان می‌شود (۱۵). بدن انسان مقادیر قابل توجهی از گونه‌های حاوی نیکل را در پاسخ به عوامل سبک زندگی مانند رژیم‌های غذایی با محتوای زیاد نیکل و مواجهه‌های شغلی با نیکل رسوب می‌دهد. حتی کسانی که به طور مستقیم با فولاد ضد زنگ یا اقلام روزمره آبکاری‌شده با نیکل کار نمی‌کنند، ممکن است تحت تأثیر قرار گیرند (۵). هنگامی که نیکل با بدن انسان برخورد می‌کند، باعث آلرژی، بیماری‌های قلبی عروقی، فیبروز ریه، سرطان ریه و بیماری‌های کلیوی می‌شود. علاوه بر این، می‌تواند اختلالات خونی را هم در حیوانات و هم در انسان‌ها ایجاد کند (۱۰).

با توجه به اینکه گیاهان مسیر اصلی ورود فلزات سنگین به زنجیره غذایی هستند و خطری برای سلامت انسان محسوب می‌شوند (۴۳) و همچنین بر این اساس که غلظت فلزات در برگ درختان که اندازه‌گیری آنها نسبتاً آسان است، در مطالعات اکولوژیکی و محیطی به عنوان شاخص‌های بار آلودگی استفاده می‌شوند (۷)، در سال های گذشته، انباشت زیستی فلز نیکل در برگ درختان توجه بسیاری از پژوهشگران محیط زیست را به خود جلب کرده است و پژوهش‌ها و مطالعات بسیاری درخصوص بررسی فلز نیکل در برگ درختان برهان (*Albizia lebbek*) و اوکالیپتوس (*Eucalyotus camadulensis*) (۳۶)، کنار (Ziziphus spina-christi) و کهور (*Prosopis cineraria*) (۳۷)، نیشکر (*Saccharum officinarum*) (۴۸) و کنوکارپوس (Conocarpus erectus) (۲۸) گزارش شده است. اندازه‌گیری فلز نیکل در نمونه‌های خاک و برگ نارون قره آغاج (*Ulmus densa*) در شهرهای زنجان و تبریز گزارش شده است (۹). همچنین آلودگی نیکل در برگ درختان چنار (*Platanus Orientalis*) در حاشیه خیابان ها و خاک های سطح شهر رشت نیز ارزیابی شده است (۱).

بنابراین این پژوهش با هدف ارزیابی فاکتور انتقال غلظت

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-10-17]

[DOI: 10.47176/jwss.30.3.75011]

نیکل در برگ درختان برهان، کهور و اوکالیپتوس در سطح شهر اهواز انجام شد. همچنین وضعیت گیاه پالایی جذب نیکل به وسیله درختان برهان، کهور و اوکالیپتوس هدف دیگر این پژوهش بود.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری

به منظور تعیین ایستگاه‌های نمونه‌برداری با توجه به نقشه جامع سطح کلانشهر اهواز و با درنظر گرفتن گونه های درختی غالب در سطح معابر دارای ترافیک زیاد خودروبی و تراکم جمعیت انسانی، درختان برهان، کهور و اوکالیپتوس و ترافیک در مناطق مختلف مشخص شدند. پس از انتخاب ایستگاه‌ها، محل دقیق نمونه‌برداری از نظر طول و عرض جغرافیایی منطقه با استفاده از دستگاه GPS تعیین و یادداشت شد. تعداد ایستگاه‌های مطالعاتی در مجموع ۷ ایستگاه بود. در مجموع ۱۲۶ نمونه برگ درختان (از هر درخت ۲۱ نمونه برگ شسته شده و ۲۱ نمونه برگ شسته نشده و هر ایستگاه ۳ نمونه) و ۶۳ نمونه‌های خاک پای درختان از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری در فصل تابستان ۱۴۰۴ جمع‌آوری شد.

نمونه‌های برگ ابتدا به آرامی با آب جاری شست‌وشو داده شدند و سپس سه مرتبه با آب دیونیزه آبکشی شدند تا ذرات و آلودگی‌های باقی‌مانده از سطح برگ حذف شوند. شست‌وشو به صورت ملایم انجام شد تا از آسیب مکان یکی به سطح برگ جلوگیری شود. سپس نمونه‌ها در دستگاه ماکروویو MicroSYNTH ساخت شرکت Mileston ایتالیا به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به طور کامل خشک شد. نمونه‌ها 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.

اندازه‌گیری نیکل

ابتدا برگ‌های گونه‌های گیاهی به دو گروه شسته‌شده و شسته نشده تقسیم شدند. هضم نمونه‌های گیاهی با استفاده از روش جانسون (۱۹۵۹) انجام شد. در این روش، برای هضم نمونه‌های گیاهی، ۰/۵گرم از نمونه گیاهی پودرشده به یک ارلن مایر ۱۰۰ سی‌سی منتقل شد. سپس به هر یک از نمونه‌ها ۵ سی‌سی 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، ۲ سی‌سی 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 ۳ سی‌سی 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 ۵۰ سی‌سی رسانده شد (۳۵). سپس، در ظرف پلاستیکی قرار داده شد تا میزان نیکل موجود در نمونه‌ها توسط دستگاه جذب اتمی خوانده شود.

برای هضم نمونه های خاک از روش EPA3050 استفاده گردید. در این روش ۰/۵گرم از نمونه پودرشده خاک به ارلن ۱۰۰cc منتقل شد و ۵ قطره اسید کلریدریک ۱ نرمال به هر کدام از نمونه‌ها اضافه کرده و ارلن‌ها را به شکل دورانی تکان داده تا خاک و اسید کاملاً با هم مخلوط شود بعد از آن۵cc تیزاب سلطانی به هر کدام از ارلن‌ها اضافه کرده و دوباره تکان داده شد، سپس ارلن‌ها را روی هیتر برقی با دمای ۱۰۰ الی ۱۵۰

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-10-17]

[DOI: 10.47176/jwss.30.3.75011]

درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه قرار داده تا رنگ نمونه‌ها تیره شود. بعد از آن به هریک از نمونه‌ها cc ۳ اسید پرکلریک اضافه کرده و مجدد ارلن‌ها را روی هیتر قرار داده تا حجم نمونه ها به ۲ الی cc ۳ 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 آنبه حجم ۵۰cc رسانده شد. فلز نیکل موجود در عصاره به‌دست‌آمده توسط دستگاه جذب اتمی به روش جذب اتمی قرائت شد (۴).

محاسبه فاکتور انتقال

ضریب فاکتور انتقال (TF)، مشخص‌کننده توانایی گیاهان برای تحمل و انباشت فلزات سنگین در اندام‌ها بوده که این پارامتر با استفاده از غلظت فلز نیکل در برگ (C_P) تقسیم بر غلظت فلز نیکل در خاک (C_S) محاسبه شد (معادله ۱). در درختان دفع‌کننده فلز نیکل فاکتور انتقال کوچک‌تر از ۱ و در گونه های بیش انباشت‌گر بزرگ‌تر از ۱ است (۳۱).

$$TF = \frac{C_P}{C_S} \qquad (۱)$$

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه و تحلیل آماری غلظت فلز نیکل با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۲۶ استفاده شد. برای بررسی توزیع نرمال داده‌ها، از آزمون کولموگروف ـ اسمیرنوف، برای مقایسه میانگین غلظت نیکل در نمونه‌های برگ درختان بین ایستگاه‌های نمونه‌برداری، از آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه (One-way ANOVA) و برای بررسی وجود یا عدم وجود تفاوت آماری معنی‌دار در میانگین غلظت نیکل بین برگ‌های شسته‌شده و شسته‌نشده گونه، از آزمون T مستقل استفاده شد.

نتایج

در این پژوهش برای تجزیه و تحلیل داده‌ها، پیش از انجام آزمون های آماری، به منظور آنالیز توزیع داده ها و برای تعیین نوع آزمون (پارامتریک یا ناپارامتریک) از آزمون کلموگروف ـ اسمیرنوف استفاده شد. نتایج آزمون کلموگروف ـ اسمیرنوف نشان داد که داده‌ها دارای توزیع نرمال هستند؛ ازاین‌رو از آزمون های پارامتریک برای تجزیه و تحلیل نتایج استفاده شد (جدول ۱).

نتایج آنالیز نشان داد که بین مقادیر نیکل در برگ‌های گونه اوکالیپتوس، برهان و کهور اختلاف معنی دار وجود داشت ($P<۰/۰۵$). سطح معنی‌داری برای فلز نیکل ۰/۰۵ بوده است. این نتایج نشان می دهد که مکان نمونه برداری در سطح غلظت نیکل در نمونه‌های برگ اوکالیپتوس، برهان و کهور اثرگذار بوده است. غلظت نیکل در نمونه‌های خاک نیز اختلاف معنی داری داشت ($P<۰/۰۵$) و نتایج نشان داد که مکان نمونه‌برداری بر سطح غلظت نیکل در نمونه های خاک تااثیرگذار بوده است (جدول ۲).

غلظت نیکل در نمونه‌های برگ شسته‌شده و شسته‌نشده درختان برهان، کهور و اوکالیپتوس در شکل‌های ۱ و ۲ ارائه شده است. همچنین کمترین مقدار نیکل در نمونه‌های برگ شسته‌شده برهان (۱۰/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و بیشترین میانگین غلظت نیکل در ۳ گونه درخت مورد بررسی، در برگ شسته‌نشده گونه برهان (۳۶/۲ میلی گرم بر کیلوگرم) به دست آمد. بیشترین محدوده تغییرات فلز نیکل در برگ درخت برهان بود (شکل ۳). بیشترین میانگین مقادیر نیکل در نمونه‌های خاک ۵۷/۳۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم و کمترین غلظت این فلز در خاک ۴۴/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود (شکل ۴).

بیشترین میزان فاکتور انتقال فلز نیکل مربوط به برگ درخت برهان (۰/۴۴۶) و کمترین فاکتور انتقال فلز نیکل نیز در برگ درخت اوکالیپتوس (۰/۲۰۳) به دست آمد (شکل ۵). با توجه به فاکتور انتقال، دامنه تغییرات فلز نیکل در برگ درخت برهان (۰/۴۴۶-۰/۲۲۳) بیشتر از مقادیر فاکتور انتقال نیکل برگ درختان اوکالیپتوس (۲۰۳/۴۳۹-۰/۰) و کهور (۰/۳۴۳-۰/۲۲۵) بود (شکل ۶).

بر اساس تحلیل رگرسیون خطی، شاخص R^2 نیکل ۰/۶۳۰ بود که نشان‌دهنده سطح ارتباط بین نمونه‌های شسته‌نشده و

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-10-17]
[DOI: 10.47176/jwss.30.3.75011]

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

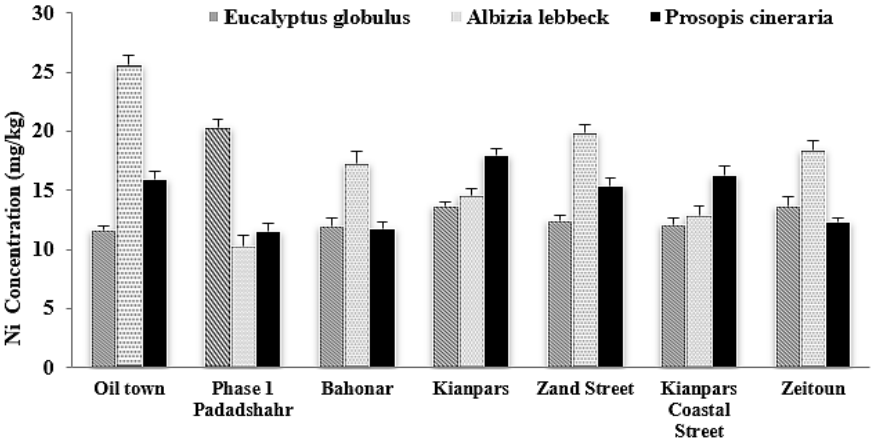
Table 1. Kolmogorov-Smirnov tests of nickel for tree leaf and soil samples from Ahvaz metropolis

		Eucalyptus globulus	*Albizia lebbeck*	*Prosopis cineraria*	Soil
Normal Parameters	Mean	16.6364	22.1500	18.9929	50.7143
	Standard Deviation	5.006	7.1480	5.7992	4.8518
Differences	Absolute	0.221	0.075	0.154	0.173
	Positive	0.221	0.074	0.154	0.173
	Negative	-0.159	-0.075	-0.149	-0.165
Kolmogorov-Smirnov statistic		0.828	0.280	0.575	0.457
Significance level		0.005	0.001	0.895	0.985

جدول ۲. نتایج آزمون t فلز نیکل برای نمونه‌های برگ درختان و خاک کلانشهر اهواز

Table 2. Results of the t-test for nickel metal for tree leaf and soil samples from Ahvaz metropolis

Samples	T test	df	Sig.	Mean difference	95% confidence interval of difference	
					Lower limit	Upper limit
Eucalyptus globulus	10.400	6	0.00	19.58714	14.9785	24.1958
Albizia lebbeck	14.898	6	0.001	27.30000	22.8160	31.7840
Prosopis cineraria	14.551	6	0.013	23.52857	19.5720	27.4852
Soil	27.655	6	0.006	50.71429	44.2271	55.2015



شکل ۱. مقایسه غلظت نیکل (میلی‌گرم بر کیلوگرم) برگ شسته‌شده درختان اوکالیپتوس، برهان و کهور کلانشهر اهواز

Figure 1. Comparison of nickel concentration (mg kg^{-1}) of washed leaves of *Eucalyptus globulus*, *Albizia lebbeck* and *Prosopis cineraria* in Ahvaz metropolis

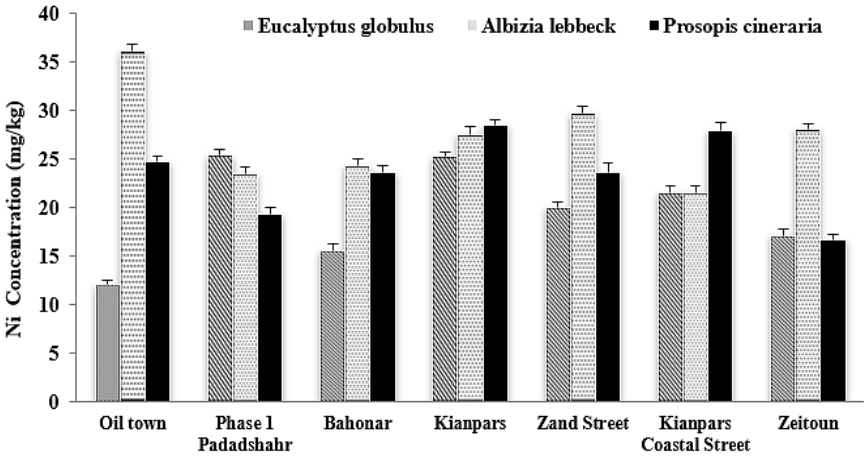
شسته‌شده نسبتاً قوی است. به این مفهوم که شستشوی برگ‌ها، کمترین اثر را بر غلظت فلز نیکل در برگ داشته است. می توان این‌گونه تفسیر کرد که بخش زیادی از نیکل ترسیب شده روی برگ درختان جذب شده است (شکل ۷).

بحث

در این پژوهش غلظت فلز نیکل در نمونه‌های برگ شسته‌نشده درختان اوکالیپتوس، برهان و کهور بیشتر از نمونه‌های برگ شسته‌شده بود. پژوهشگران گزارش کردند که غلظت نیکل در برگ‌های شسته‌شده و برگ‌های شسته‌نشده درخت Prunus persica تغییر قابل توجهی داشته است (۲۱). در مطالعاتی دیگری روی برگ گیاه نیشکر (*Saccharum officinarum*) در واحد صنعتی امیرکبیر (۴۸)، برهان (*Albizia lebbeck*) و اوکالیپتوس (*Eucalyptus globulus*) کارخانه گروه ملی صنعتی ایران (۳۶)،

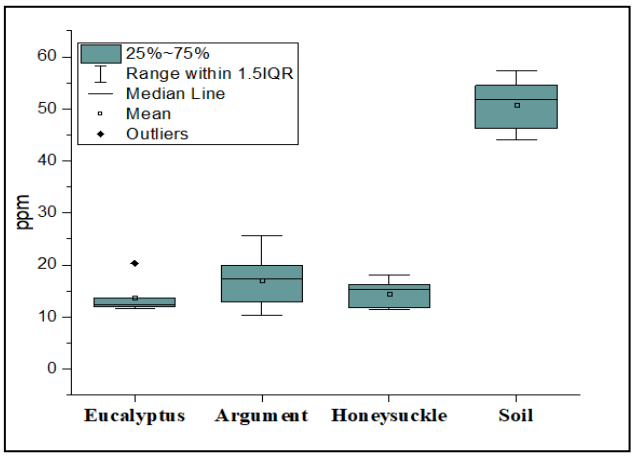
[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-10-17]

[DOI: 10.47176/jwss.30.3.75011]



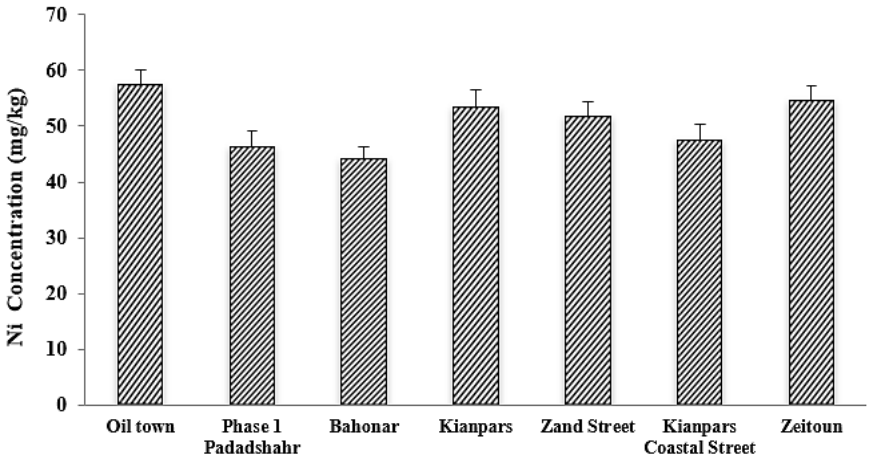
شکل ۲. مقایسه غلظت نیکل (میلی‌گرم بر کیلوگرم) برگ شسته‌نشده درختان اوکالیپتوس، برهان و کهور کلانشهر اهواز

Figure 2. Comparison of nickel concentration (mg kg^{-1}) of unwashed leaves of *Eucalyptus globulus*, *Albizia lebbeck* and *Prosopis cineraria* in Ahvaz metropolis



۳. محدوده غلظت سنجش شده نیکل (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در نمونه‌های برگ اوکالیپتوس، برهان، کهور و خاک کلانشهر اهواز

Figure 3. Concentration range of nickel (mg kg^{-1}) in *Eucalyptus globulus*, *Albizia lebbeck* and *Prosopis cineraria* leaf samples and soil of Ahvaz metropolis

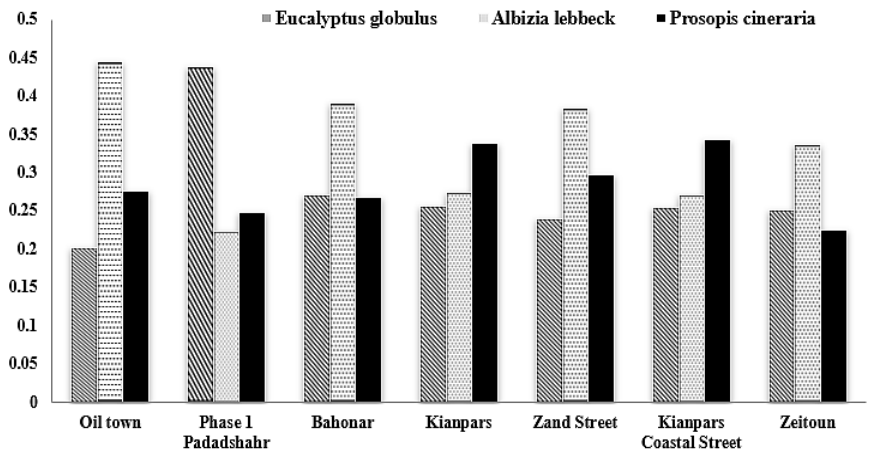


شکل ۴. مقایسه غلظت نیکل (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در نمونه‌های خاک پای درختان مورد مطالعه کلانشهر اهواز

Figure 4. Comparison of nickel concentration (mg kg^{-1}) in soil samples at the foot of trees studied in the Ahvaz metropolis

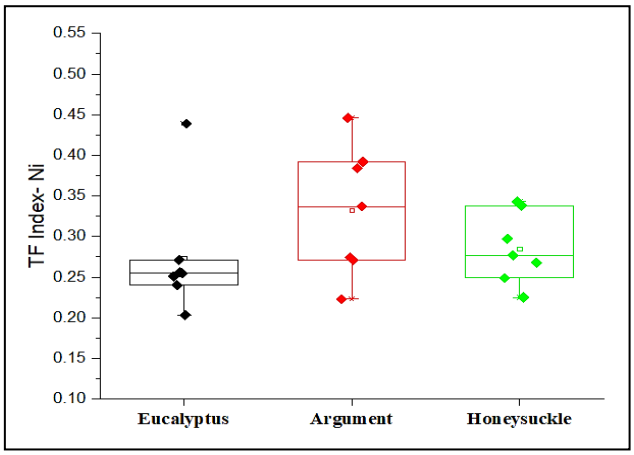
[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-10-17]

[DOI: 10.47176/jwss.30.3.75011]



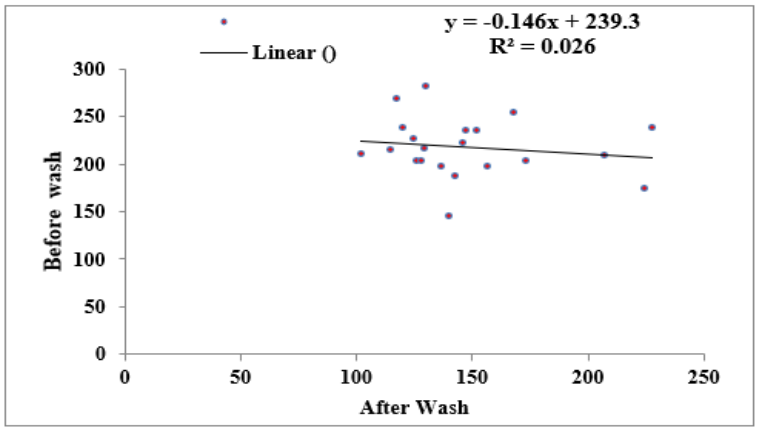
شکل ۵. فاکتور انتقال نیکل در سه گونه اوکالیپتوس، برهان و کهور در مناطق مختلف شهری کلانشهر اهواز

Figure 5. Nickel transfer factor in three species of *Eucalyptus globulus*, *Albizia lebbeck* and *Prosopis cineraria*



شکل ۶. مقایسه مقادیر شاخص فاکتور انتقال برای فلز سنگین نیکل در برگ گونه‌های اوکالیپتوس، برهان و کهور

Figure 6. Comparison of transfer factor index for the nickel in leaves of *Eucalyptus globulus*, *Albizia lebbeck* and *Prosopis cineraria*



شکل ۷. برازش رگرسیونی مقادیر نیکل برگ‌های شسته‌نشده و شسته‌شده درختان اوکالیپتوس، برهان و کهور

Figure 7. Regression fitting of nickel of unwashed and washed leaves of *Eucalyptus globulus*, *Albizia lebbeck* and *Prosopis cineraria*

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-10-17]

[DOI: 10.47176/jwss.30.3.75011]

برهان (*Albizia lebbeck*) و کنوکارپوس (*Conocarpus erectus*) (۲۸)، درختان کهور (*Prosopis juliflora*) و نخل (*Phoenix dactylifera*) اطراف کارخانه فولاد شادگان (۳۳)، درختان اقاقیا (*Robinia pseudoacacia*) و کاج تهران (*Pinus eldarica*) در شهر همدان (۴۰)، درخت چنار (*Platanus orientalis*) در مناطق مرکزی شهر اصفهان (۳۹)، درخت چنار (*Platanus Orienrtalis*) و زبان گنجشک (*Fraxinus Excelsiore*) پارک‌های شهر همدان (۱۹) و درخت کنوکارپوس (*Conocarpus* sp.) شهر اهواز (۲۳) غلظت فلز نیکل در نمونه‌های برگ شسته‌نشده نسبت به برگ‌های شسته‌شده بیشتر گزارش شده است. تفاوت در محتوای عناصر بین برگ‌های شسته‌شده و شسته‌نشده توسط دی نیکولا و همکاران مورد مطالعه قرار گرفت. آنها از بخش شسته‌شده با آب برای نشان دادن فلزات سنگین رسوب‌شده توسط جو روی سطح برگ‌ها استفاده کردند (۲۲) و بسیاری از مطالعات بعدی از این روش استفاده کرده‌اند. غلظت فلزات سنگین معمولاً در برگ‌های شسته‌شده به طور چشمگیری کاهش می‌یابد و درصد کاهش غلظت عناصر بسته به فلز و فاصله از محل تردد خودروها و مسیر جاده‌ای و خیابان متفاوت است (۳۷ و ۴۸). اگر مواد رسوب‌شده به طور کامل از سطح برگ با شستشو حذف شوند، انتظار می‌رود غلظت عناصر در برگ‌های شسته‌شده کمتر از برگ‌های شسته‌نشده باشد (۲۱). ذرات آئروسل توسط برگ‌ها جذب شده که برخی از آنها روی سطح برگ جذب و برخی دیگر در بافت‌ها جذب می‌شوند. برخی از مواد رسوب‌شده روی سطح برگ توسط بارندگی شسته می‌شوند، اما برخی از آنها شسته نمی‌شوند. نه تنها مواد رسوب شده، بلکه یون‌ها نیز از برگ‌ها شسته می‌شوند (۲۰ و ۳۸).

بررسی رابطه بین غلظت فلز نیکل در نمونه‌های برگ شسته‌شده و شسته‌نشده درختان اوکالیپتوس، برهان و کهور، بر اساس تحلیل رگرسیون خطی نشان‌دهنده سطح ارتباط نسبتاً قوی بود. با توجه به این مطلب چنین می توان تفسیر کرد که فلز نیکل در برگ درختان مورد مطالعه از خاک جذب نشده است و به نظر می رسد فلز نیکل از فرونشست جوی و آلاینده‌های موجود در هوا در برگ درختان انباشته شده است. غلظت نیکل در برگ درختان اوکالیپتوس، برهان و کهور در سطح شهر اهواز به ترتیب ۶۳/۴۷-۱۱/۲۵، ۳/۲-۱۰/۳۶ و ۱۱/۲۸-۵/۵ میلی گرم بر کیلوگرم به دست آمد. حد ایمن نیکل در گیاهان ۱/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم و درختان ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم توصیه شده است (۴۴ و ۴۹). نیکل فلزی است که به طور گسترده در گیاهان و جانوران طبیعی پراکنده شده است، در حیوانات، گیاهان، خاک و منابع آبی مختلف یافت می‌شود. در خاک، نیکل با غلظت تقریبی ۷۹ ppm وجود دارد و فراوانی آن بین ۴ تا ۸۰ ppm متغیر است (۸). گزارش شده است که تقریباً ۳۰۰۰۰ تن نیکل در سال از منابع طبیعی آن به جو منتشر می‌شود. انتشار طبیعی نیکل در جو از طریق شن و ماسه بادی، فعالیت‌های آتشفشانی، آتش‌سوزی جنگل‌های وحشی، اسپری نمک دریا، ذرات قاره‌ای، مواد فرار دریایی و قاره‌ای و آئروسل‌های گرد و غبار اقیانوسی ناشی می‌شود، اگرچه آتشفشان‌ها و گرد و غبار بادی ناشی از سنگ‌ها و خاک از اهمیت زیادی برخوردار هستند (۳۰). همچنین فرآیندهای مختلف زمین‌زاد به طور مداوم نیکل را بین زمین، آب و هوا توزیع می‌کنند. در جو، نیکل در غلظت‌های نسبتاً کم وجود دارد. نیکل آزادشده در جو عمدتاً به صورت ذرات با قطرهای مختلف بسته به منبع وجود دارد (۴۱). شهر اهواز با وجود صنایع مهم بزرگ و مادر مانند نفت، گاز، فولادسازی کارخانه های فولاد خوزستان، فولاد کاویان، فولاد اکسین خوزستان، تاسیسات نفت و گاز مارون، کارون، یادآوران، آزادگان، یاران و واحدهای صنعتی ـ کشاورزی نیشکر را درون مرکزیت و مجاور خود دارد که بیشتر آنها دارای فرآیند احتراق و سوزاندن سوخت های فسیلی هستند که یکی از منابع اصلی فلز نیکل در هوا است. همچنین دود ناشی از خروجی اگزوز خودروهای سبک و سنگین و دود ناشی از سوزاندن تالاب‌ها و بقایای نیشکر نیز می‌تواند حاوی فلز نیکل باشد (۲ و ۲۶).

دامنه غلظت نیکل در برگ درختان اوکالیپتوس، برهان و کهور شهر اهواز ۳۶-۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. پژوهشگران در

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-10-17]
[DOI: 10.47176/jwss.30.3.75011]

مطالعات و پژوهش‌های متعددی جذب و انباشت فلز نیکل را در برگ درختان گزارش کردند. در پژوهش غلظت فلز نیکل در برگ دو گونه کهور پاکستانی (*Prosopis juliflora*) و کنوکارپوس (*Conocarpus erectus*) در بندر ماهشهر به ترتیب ۰/۱۱۶ و ۰/۲۰۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده است (۱۸). همچنین بیشترین مقادیر نیکل در برگ درختان برهان (*Albizia lebbeck*) و کنوکارپوس (*Conocarpus erectus*) ۲/۷۷ و ۳/۱۷ میلی گرم بر کیلوگرم گزارش شده است که مقادیر این فلز در برگ دو گونه مورد مطالعه با خاک پای این درختان دارای اختلاف معنی‌دار بوده که غلظت این فلز در برگ کنوکارپوس به‌طور معنی‌داری بیشتر از برهان گزارش شده است (۲۸). در مطالعه دیگری بالاترین غلظت نیکل در خاک شهر همدان ۱۰۱ میلی گرم بر کیلوگرم و در برگ درختان اقاقیا (*Robinia pseudoacacia*) و کاج تهران (*Pinus eldarica*) نیز به ترتیب ۴۷/۶ و ۴۳/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم تعیین شده است (۴۰). در پژوهشی در شهر اهواز میانگین مقدار نیکل در خاک در تمام مکان‌ها ۴۶/۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم و بیشترین غلظت این فلز در برگ درخت کنوکارپوس (*Conocarpus* sp.) ۰/۳۰۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشخص شده است (۲۳). نیکل فلزی با پراکندگی گسترده در محیط‌زیست است که تقریباً در ۱۰۰ کانی وجود دارد و این فلز یکی از اجزای ضروری در کاربردهای صنعتی و تجاری می باشد (۴۵). میزان نیکل در خاک از منابع انسان‌زاد مانند ضایعات و گردوغبار ناشی از تولید فلزات، پسماندهای شهری و پساب صنایع، ریزش‌های رادیواکتیو و لجن‌های صنعتی، خاکستر بادی زغال سنگ، خاکستر کف زغال سنگ، معدن‌کاری و ذوب و ریخته‌گری فلزات ناشی می‌شود و به نظر می‌رسد مشکل مربوط به نیکل محدود به مناطق شهری باشد (۱۰ و ۳۰). پژوهشگران درمورد آلودگی ناشی از فلز نیکل در شهر اهواز بیان می کنند که فعالیت فلرهای نفت و گاز در منطقه مورد مطالعه باعث آلودگی خاک و هوا و درنتیجه ذرات معلق و فرونشست جوی روی برگ درختان در سطح شهر اهواز می شوند. توسعه میادین نفتی و چاه‌های نفت و فعالیت‌های حفاری و استخراج، درنتیجه افزایش خشکسالی و بحران آب و طوفان های گرد و غبار نیز یکی دیگر از منابع فلز نیکل در شهر اهواز هستند (۱۶، ۲۵ و ۲۷).

فاکتور انتقال فلز نیکل در برگ درختان اوکالیپتوس، برهان و کهور سطح کلانشهر اهواز، کمتر از ۱ به دست آمد. کوچک بودن مقادیر فاکتور انتقال نسبت به عدد ۱ نشان‌دهنده این است که گونه مورد مطالعه بیش‌انباشتگر نبوده و جزء درختان دفع‌کننده فلز نیکل از خاک است (۳۱). همچنین مقادیر بیشتر ۱ فاکتور انتقال نشان‌دهنده جذب بیشتر فلز از خاک توسط گیاه و مناسب‌تر بودن گیاه برای استخراج گیاهی و پالایش گیاهی است. در مقابل، مقادیر کمتر نشان‌دهنده پاسخ ضعیف گیاهان به جذب فلز است و می‌توان از گیاه برای مصرف انسان استفاده کرد (۶ و ۴۲). بسیاری از پژوهشگران در مطالعات و پژوهش‌ها روی فلز نیکل در برگ گیاهان و درختان کهور (*Prosopis juliflora*) و نخل (*Phoenix dactylifera*) در کارخانه فولاد شادگان (۳۳) و برگ گیاه نیشکر (*Saccharum officinarum*) (۴۸) و برهان (*Albizia lebbeck*) و کنوکارپوس (*Conocarpus erectus*) (۲۸) فاکتور انتقال و ضریب تجمع زیستی را کمتر از ۱ گزارش کردند که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. گونه‌های گیاهی از نظر ظرفیت جذب و توزیع نیکل تفاوت قابل توجهی دارند. با در نظر گرفتن واکنش گیاه هنگام مواجهه با سطوح بالای فلزات سنگین، برخی از گیاهان فلزات سنگین را تجمع می‌دهند، اما برخی دیگر آنها را دفع می‌کنند (۲۹ و ۴۶). غلظت فلزات در برگ‌های گیاهان، معیارهای خوبی در تخمین پاسخ‌های مختلف گیاهان به محتوای فلزات کمیاب در خاک هستند؛ زیرا بیشتر نیکل در طول رشد رویشی در برگ‌ها منتقل و انباشته می‌شود (۱۳). شاخص فاکتور انتقال در برگ درخت برهان بیشتر از فاکتور انتقال فلز نیکل در برگ درخت اوکالیپتوس و کهور به دست آمد. مطالعات نشان می‌دهد انتشار گازهای گلخانه‌ای وسایل نقلیه و آلودگی هوا بر ویژگی‌های مورفولوژیکی برگ گیاهان تأثیر منفی می‌گذارد و آلاینده‌ها می‌توانند منجر به آسیب برگ، کاهش راندمان فتوسنتز و کاهش گسترش برگ شوند.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-10-17]

[DOI: 10.47176/jwss.30.3.75011]

درختان در مناطق شهری پرترافیک، سطح برگ به‌طور قابل‌توجهی کمتری نسبت به درختان در محیط‌های پاک‌تر دارند و این را به گرفتگی روزنه‌های ناشی از آلودگی و کاهش تبادل گاز نسبت می‌دهند. گونه‌های درختی که در مناطق آلوده رشد می‌کنند، به دلیل استرس فیزیولوژیکی و آسیب اکسیداتیو، اندازه برگ کمتری نشان می‌دهند (۲۹ و ۴۷). تحمل گونه‌های خاص درخت در برابر عوامل فیتوتوکسیک صنعتی بسیار متفاوت است. درخت برهان دارای ریشه گسترده و کم‌عمق است و دارای برگ های مرکب شانه ای و متناوب روی ساقه درخت هستند (۳۴). ریشه درخت اوکالیپتوس دارای رشد قوی، بسیار زیاد با نیاز آبی کم به سرعت گسترش پیدا می کند و رشد آن به سمت عمق خاک می‌باشد. برگ این نوع درختان باریک، چرمی و همیشه سبز هستند که دارای بوی خاص و خوشبو هستند (۱۱ و ۲۴). درخت کهور نیز دارای ریشه بلند، گسترده با نفوذپذیری در عمق خاک بوده و از خاک نگهداری می‌کند. درخت کهور دارای شاخه‌های نازک با برگ‌های شانه‌ای دوسویه است (۳).

نتیجه‌گیری

مقادیر فاکتور انتقال فلز نیکل در برگ درختان برهان، کهور و اوکالیپتوس و رگرسیون خطی فلز نیکل در برگ شسته‌شده و برگ شسته‌نشده درختان مورد مطالعه نشان‌دهنده جذب این فلز از آلاینده های موجود در هوا بوده و به نظر می رسد احتمالاً انباشت نیکل از خاک پای درختان به برگ بسیار کم است. درختان کهور، برهان و اوکالیپتوس در شهر اهواز جزء درختان برگ پهن و همیشه سبز هستند که در تمام فصول سال بدون برگ‌ریزی فتوسنتز می کنند و سبز هستند؛ بنابراین چنین می‌توان تفسیر کرد که این درختان می‌توانند آلاینده های موجود در هوا را از فرونشست جوی در برگ‌های خود جذب و انباشته کنند. پیشنهاد می شود که فلزات سنگین را در منابع آب آبیاری درختان سطح شهر اهواز به همراه اندام‌های درختان مانند برگ، شاخه، ساقه و خاک پای آنها همزمان ردیابی شود.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله مراتب تشکر و قدردانی را از معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز اعلام می‌نمایند. گفتنی است با توجه به نوع روش 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 کمک‌های مالی تشکر و قدردانی خود را از مدیریت و معاونت پژوهشی و همکاران محترم دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز اعلام می نمایند.

ملاحظات اخلاقی

این مقاله حاصل پایان‌نامه گروه محیطزیست دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز است. نویسندگان تمام نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌هاو 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، راضیه مشعل پور فرد، سیما سبزعلیپور، سینا عطاروشن و روشنا بهباش در همه مراحل انجام پژوهش شامل طراحی، اجرا و نگارش مقاله مشارکت داشتند.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-10-17]

[DOI: 10.47176/jwss.30.3.75011]

References منابع مورد استفاده

1. Abbaszadeh H., M. Mohammadi Roozbahani and S. Sobhanardakani. 2019. 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* 12(1):87-100. (in Farsi)
2. Al-Gifri, N. 2019. Comparative morphological and anatomical studies between a native species (Prosopis cineraria (l.) Druce) and an introduced species (Prosopis juliflora (sw.) dc.) in south west region of Arabian Peninsula. *International Journal of Agriculture and Nutrition* 1(4): 15-23. DOI:10.33545/26646064.2019.v1.i4a.18
3. Amari T.,T. Ghnaya and C. Abdelly. 2017. Nickel, cadmium and lead phytotoxicity and potential of halophytic plants in heavy metal extraction. *South African Journal of Botany* 111: 99-110. Doi:10.1016/j.sajb.2017.03.011
4. Amini M. and A. Forghani. 2015. Evaluation of Ni pollution in leaf of Plantain (Platanus orientalis) and soil in Rasht city area. *Journal of Soil Management and Sustainable Production* 5 (1): 263-268. (in Farsi)
5. Anwar A., A.H.M Mezbah Uddin M.S. Hasan and M.S. Parvez. 2025. Assessment of anthropogenic activities impact based on metals in soil and tree leaves along roadside in Bangladesh. *Scientific Report* 15:6960. DOI:10.1038/s41598-025-91683-9
6. Arpanaei A., S. Attarroshan S. Sabzalipour and I. Arpanaei. 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 Farsi)
7. Azmi M., Y.A. Abedini H. Atefi and H. Rostami. 2012. Measurement of nickel metal concentration in soil and leaf samples of elm trees Ulmus densa: A case study of the cities of Tabriz and Zanjan. *In* First National Conference on Environmental Protection and Planning, Hamadan. (in Farsi)
8. Bani A., D.K. Pavlova G. Echevarria A. Mullaj R.D. Reeves J.L. Morel and S. Sulejman. 2010. Nickel hyperaccumulation by the species of Alyssum and Thlaspi (Brassicaceae) from the ultramafic soils of the Balkans. *Botanica Serbica* 34(1):3-14.
9. Begum,W., S. Rai S. Banerjee S. Bhattacharjee M.H. Mondal A. Bhattarai and B. Saha. 2022. A comprehensive review on the sources, essentiality and toxicological profile of nickel. *RSC advances* 12(15): 9139-9153. doi: 10.1039/d2ra00378c
10. Bovard L. and M. Mohammadi Roozbahani. 2025. 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* 13(2): 118-133 (in Farsi). doi:10.61882/jehe.13.2.118
11. Buxton S., E. Garman K.E. Heim T. Lyons-Darden C.E. Schlekat M.D. Taylor and A.R. Oller. 2019. Concise review of nickel human health toxicology and ecotoxicology. *Inorganics* 7: 89. 10.3390/inorganics7070089
12. Camarena D.E.M., M.C. Giannella J.T. Bagatin S.R. de Assis T. Chen M.J. Bailey C. Costa E. Schneider J. von Gerichten S.B. de Moraes Barros N. Belsey and S.S.Maria-Engler. 2025. Differential impacts of nickel toxicity: NiO and NiSO4 on skin health and barrier function. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 302: 118626. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2025.118626
13. Cempel M. and G.J.P.J.S. Nikel. 2006. Nickel: a review of its sources and environmental toxicology. *Polish Journal of Environmental Studies* 15(3): 375-382.
14. Cheraghi M., A. Karbassi S.M. Monavari and A. Baghvand. 2022. Assessment of heavy metal pollution in the soil of Ahwaz oilfield by using the five-stage process of chemical dissociation and Dendrogram interpretation and pollution severity index. *Journal of Environmental Sciences Studies* 7 (4): 5493-5502.
15. Coopman R.E., J.C. Jara L.A. Bravo K.L. Saez G.R. Mella and R. Escobar. 2008. Changes in morpho-physiological attributes of Eucalyptus globulus plants in response to different drought hardening treatments. *Electronic Journal of Biotechnology* 11(2): 30-39. DOI:10.2225/vol11-issue2-fulltext-9
16. De Nicola F., G. Maisto M.V. Prati M.V. and A. Alfani. 2008. Leaf accumulation of trace elements and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Quercus ilex L. *Environmental Pollution* 153(2): 376-383. DOI: 10.1016/j.envpol.2007.08.008
17. Denkhaus E. and K. Salnikow. 2002. Nickel essentiality, toxicity, and carcinogenicity. *Critical Reviews in Oncology/Hematology*, 42(1): 35-56. https://doi.org/10.1016/S1040-8428(01)00214-1

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-10-17]

[DOI: 10.47176/jwss.30.3.75011]

18. Ding S., D.X. Guan Z.H. Dai J. Su H.H. Teng J. Ji Y. Liu Z. Yang and L.Q. Ma. 2022. Nickel bioaccessibility in soils with high geochemical background and anthropogenic contamination. *Environmental Pollution* 310: 119914.
19. Effatpanah M., H. Effatpanah S. Jalali I. Parseh G. Goudarzi G. Barzegar S. Geravandi F. Darabi N. Ghasemian and M.J. Mohammadi 2020. Hospital admission of exposure to air pollution in Ahvaz megacity during 2010–2013. *Clinical Epidemiology and Global Health* 8 (2): 550-556. https://doi.org/10.1016/j.cegh.2019.12.001
20. El-Naggar A.,N. Ahmed A. Mosa N.K. Niazi B. Yousaf A. Sharma B. Sarkar Y. Cai and S.X. Chang. 2021. Nickel in soil and water: Sources, biogeochemistry, and remediation using biochar. *Journal of Hazardous Materials* 419: 126421. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126421
21. Gardner M., S. Comber M.D. Scrimshaw E. Cartmell J. Lester and B. Ellor. 2012. The significance of hazardous chemicals in wastewater treatment works effluents. *Science of the Total Environment* 437: 363-372. doi: 10.1016/j.scitotenv.2012.07.086
22. Gholami A., A.H. Davami E. Panahpour E. and H. Amini. 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. DOI: 10.5829/idosi.mejsr.2013.13.10.1182.
23. Gkini E., M. Tsakaldimi I. Mousios T. Chatzistathis A. Mpountla and P. Ganatsas. 2026. Accumulation of metals in the leaves of different urban forest tree species and its relation to the proximity to the airport. *Environmental Science and Pollution Research* 33 (4): 1353-1364. doi: 10.1007/s11356-026-37427-2
24. Hosseinzadeh M., H. Toranjzar A. Ahmadi N. Abdi and J. Varvani. 2024. Assessment of potentially toxic elements pollution in soils and plant leaves along the high-traffic highway zones in Tehran, Iran. *Anthropogenic Pollution* 8(2): 1-16. https://doi.org/10.57647/j.jap.2024.080
25. Jafarian F., Kh. Payandeh A. Nazarpour A. Gholami and K. Mohsenifae. 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 Farsi)
26. Johnson C.M. and A. Ulrich. 1959. Analytical methods for use in plant analysis. *Bulletin of the California Agricultural Experiment Station* 766: 11.
27. Kalbati Mosavi S.A., M. Mohammadi Rouzbahani and S. Attar Roshan. 2024. 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* 1 (2): 130-145. (in Farsi)
28. Karavin N., C. Yildirim and A. Cansaran. 2016. Traffic-based heavy metal accumulation in Prunus persica (L.) Batsch leaves: Is there any difference between washed and unwashed leaves caused by washing procedure. *Scholars Academic Journal of Biosciences* 4(2): 128-131. DOI:10.36347/sajb.2016.v04i02.009
29. Kianpour M., Kh. Payandeh and N. Ghanavati. 2019. Environmental Assessment of Some Heavy Metals Pollution in Street Dust in the Industrial Areas of Ahvaz. *Jundishapur Journal of Health Sciences* 11(3):e87212. https://doi.org/10.5812/jjhs.87212
30. Kimbrough D.E., and J.R. Wakakuwa. 1989. Acid digestion for sediments, sludges, soils, and solid wastes. A proposed alternative to EPA SW 846 Method 3050. *Environmental Science and Technology* 23(7): 898 -900. doi:10.1021/es00065a021
31. Kumar A., D.K. Jigyasu A. Kumar G. Subrahmanyam R. Mondal A.A. Shabnam M.M.S. Cabral-Pinto S.K. Malyan A.K. Chaturvedi D.K. Gupta R.K. Fagodiya S.A. Khan and A. Bhatia. 2021. Nickel in terrestrial biota: Comprehensive review on contamination, toxicity, tolerance and its remediation approaches. *Chemosphere* 275: 129996.https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129996
32. Liang J., H.L. Fang T.L. Zhang X.X. Wang and Y.D. Liu. 2017. Heavy metal in leaves of twelve plant species from seven different areas in Shanghai, China. *Urban Forestry & Urban Greening* 27: 390-398. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.03.006.
33. Mirecki N., R. Agic L. Sunic L. Milenkovic and Z.S. Ilic. 2015. Transfer factor as indicator of heavy metals content in plants. *Fresenius Environmental Bulletin* 24(11c):4212-4219.
34. Mortazavi S., F. Ghasemi Aghbash and R. Naderi Motiy. 2019. The feasibility of biomonitoring of heavy metals by wooden species of urban areas. *Forest Research and Development* 5(1): 55-71. (in Farsi)

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-10-17]

[DOI: 10.47176/jwss.30.3.75011]

35. Mustafa A., U. Zulfiqar M.Z. Mumtaz M. Radziemska F.U. Haider J. Holatko T. Hammershmiedt M. Naveed H. Ali A. Kintl Q. Saeed J. Kucerik and M. Brtnicky. 2023. Nickel (Ni) phytotoxicity and detoxification mechanisms: A review. *Chemosphere* 328: 138574. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138574
36. Nkansah F.K. 2025. Air pollution and plant responses: a study on morphological and anatomical changes in roadside trees along traffic-dense roads. *BMC Environmental Science* 2(1):16.https://doi.org/10.1186/s44329-025-00031-9
37. Norouzi S., H. Khademi A.F. Cano and J.A. Acosta. 2015. Using plane tree leaves for biomonitoring of dust borne heavy metals: a case study from Isfahan, Central Iran. *Ecological Indicators* 57: 64-73. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.04.011
38. Panahpour E., M. Alizadeh and A. Gholami. 2013. Investigation of Ahwaz's Air Contamination by Nickel Using Conoacarpus Pollution Burden Index. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 7(2):128-132.
39. Rafati M., M. Mohammadi Roozbahani and H. Naseri Monfared. 2021. Accumulation of heavy metals (lead and nickel) by the soil and leaves of Albizia lebbeck and Conocarpus erectus from the city of Ahwaz. *Forest and Wood Products* 73(4): 379-387. (in Farsi)
40. Rasti S., M.A. Rajabzadeh and A.R. Khosravi. 2020. Controlling factors on nickel uptake by plants growing on Ni-laterites: A case study in biogeochemical exploration from the Mazayejan area, SW Iran. *Journal of Geochemical Exploration* 217:106594. https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2020.106594
41. Rizwan M., K. Usman and M. Alsafran. 2024. Ecological impacts and potential hazards of nickel on soil microbes, plants, and human health. *Chemosphere* 357: 142028. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.142028
42. Rossini O. and H. Raitio. 2003. Review of cleaning techniques and their effects on the chemical composition of foliar samples. *Boreal Environment Research* 8 (3): 263-272.
43. Seyyednejad S.M., M. Niknejad and M. Yusefi. 2009. Study of air pollution effects on some physiology and morphology factors of Albizia lebbeck in high temperature condition in Khuzestan. *Journal of Plant Science* 4 (4): 122-126. 10.3923/jps.2009.122.126
44. Torkashvand V., M. Mohammadi Rouzbahni and T. Babaeinezhad. 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 Farsi)
45. Valdes A.E., S. Irar J.P. Majada A. Rodriguez B. Fernandez and M. Pages. 2013. Drought tolerance acquisition in Eucalyptus globulus (Labill.): a research on plant morphology, physiology and proteomics. *Journal of Proteomics* 79: 263-276. 10.1016/j.jprot.2012.12.019
46. Velayatzadeh M. 2020. Air pollution sources in Ahvaz city from Iran. Journal *of Air Pollution and Health* 5(2):147-152. DOI:10.18502/japh.v5i2.4243
47. Zambelli B., V.N. Uversky and S. Ciurli. 2016. Nickel impact on human health: An intrinsic disorder perspective. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Proteins and Proteomics* 1864 (12): 1714-1731. https://doi.org/10.1016/j.bbapap.2016.09.008
48. Zand Abbas Abadi A., M. Cheraghi S. Sobhanardakani B. Lorestani and M. Kiani Sadr. 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 Farsi)
49. Zhu R., Z. Ren M. Parajuli Y. Yuan Q. Yang and A. Yu. 2025. Assessment of potential ecological and health risk of potentially toxic elements in roadside green areas and urban parks. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 13 (1): 115045. https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.115045

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-10-17]

[DOI: 10.47176/jwss.30.3.75011]