JEHE Journal of Environmental Health Engineering , 2026; 14(1):131-152 Original Article
Alborz University of Medical Sciences

Biomonitoring and source identification of heavy metal concentrations (Pb, Cr, Cu and Ni) in urban and industrial areas of Yasuj city using *platanus orientalis* leaves and Principal component analysis (PCA)

Received: 30 January 2026, Accepted: 03 June 2026

Masoud Hatami-Manesh[1*], Ali Moradi[2]

[1] *PhD in Environmental Pollution, General Department of Environmental Protection of Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Province, Monitoring and Laboratory Department, Yasuj, Iran*
[2] *Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran*

***Corresponding Author:**
Masoud_hatami68@yahoo.com

How to Cite This Article:
Hatami-Manesh M, Moradi A. Biomonitoring and source identification of heavy metal concentrations (Pb, Cr, Cu and Ni) in urban and industrial areas of Yasuj city using platanus orientalis leaves and Principal component analysis (PCA). Journal of Environmental Health Engineering. 2026;14(1):131-52.

DOI:
10.66224/jehe.14.1.131

ABSTRACT

Background: Nowadays, due to the toxicity and ecological risks of heavy metals in anthropogenic environments, it is essential to measure their concentrations and determine their sources. Therefore, in the present study, the source and biological monitoring of heavy metal concentrations (Pb, Cr, Cu and Ni) in urban and industrial areas were determined using the leaves of *Platanus orientalis*, Additionally, the ecological risk of these metals in the surface soils of Yasouj city was evaluated.

Materials and Methods: Sampling of *Platanus orientalis* leaves was conducted in ten urban areas and four industrial towns along with the soil of these areas (at a total of 46 stations). After preparation and acid digestion of the samples, the concentration of heavy metals was determined using an atomic absorption spectrometer. Also, principal component analysis (PCA) was used to determine the heavy metal concentrations in *Platanus orientalis* leaves in two urban and industrial areas.

Results: The overall mean concentration trend of heavy metals in leaves was observed to be the same in both urban and industrial areas, following the order Cr > Pb > Cu > Ni. In industrial and urban areas, the concentrations of Cr (31.03±15.19, 28.89±10.09), Pb (23.64±14.79, 20.11±2.81), Cu (14.46±18.6, 32.6±10.4) and Ni (8.32±4.93, 27.07±5.82) mg/kg were obtained, respectively. The ecological risk of metals indicated a low level of soil contamination level. The findings showed that the Comprehensive Bio-concentration Index (CBCI) of metals was measured in the range of 0.10 (control station) and 0.77 (polluted areas), and the highest values of the metal accumulation index (MAI) were obtained at 10.9 in urban areas. The results of principal component analysis (PCA) showed that the concentrations of heavy metals in the two urban and industrial areas had a significant overlap, and according to the first component of the PCA analysis, Ni and Cr, and based on the second component, Pb and Cu metals originated from related sources.

Conclusion: Based on the findings, it can be concluded that the spatial distribution of metals accumulated in Platanus orientalis leaves and the surface soils of different areas of Yasuj city varies depending on the source of pollution, the type and amount of local human activities, and the intensity of transportation. In addition, the results of PCA show that the concentrations of heavy metals in Platanus orientalis leaves in both urban and industrial areas have approximately the same origin. This correlation is mainly due to traffic emissions, transportation industry, and industries related to fossil fuel consumption.

Keywords: Biomonitoring, Heavy Metals, Principal Component Analysis (PCA), Comprehensive Bio-concentration Indix (CBCI), Metal Accumulation Index (MAI), Yasuj City

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.66224/jehe.14.1.131]

Copyright © 2026 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 ۱۴، شماره ۱، بهار ۱۴۰۵، صفحات ۱۳۱ تا ۱۵۲
مقاله پژوهشی

پایش زیستی و تعیین منشاء غلظت فلزات سنگین(سرب، کروم، مس و نیکل) در نواحی شهری و صنعتی شهر یاسوج با استفاده از برگ درخت چنار (*Platanus orientalis*) و تحلیل مولفه های اصلی (PCA)

تاریخ دریافت : ۱۴۰۴/۱۱/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۱۳

مسعود حاتمی منش[۱*]، علی مرادی[۲]

[۱] دکتری آلودگی‌های محیط زیست، اداره کل حفاظت محیط زیست استان کهگیلویه و بویراحمد، اداره پایش و آزمایشگاه، یاسوج، ایران

[۲] گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

***پست الکترونیکی نویسنده مسئول:**
Masoud_hatami68@yahoo.com

نحوه استناد به این مقاله:
Hatami-Manesh M, Moradi A. Biomonitoring and source identification of heavy metal concentrations (Pb, Cr, Cu and Ni) in urban and industrial areas of Yasuj city using platanus orientalis leaves and Principal component analysis (PCA). Journal of Environmental Health Engineering. 2026;14(1):131-52.

DOI:
10.66224/jehe.14.1.131

چکیده

زمینه و هدف: امروزه به دنبال سمیت و خطرات اکولوژیکی فلزات سنگین در محیط‌های انسانی، سنجش غلظت و تعیین منشاء آنها بسیار ضروری است. از اینرو در مطالعه حاضر به تعیین منشاء و پایش زیستی غلظت فلزات سنگین (سرب، کروم، مس و نیکل) در نواحی شهری و صنعتی با استفاده از برگ درخت چنار (*Platanus orientalis*) و ارزیابی خطر اکولوژیکی فلزات در خاکهای سطحی شهر یاسوج پرداخته شد.

مواد و روش ها: نمونه‌برداری از برگ درخت چنار(*Platanus orientalis*) در ده منطقه شهری و چهار شهرک صنعتی به همراه خاک این نواحی (در مجموع ۴۶ ایستگاه) صورت گرفت. پس از آماده سازی و هضم اسیدی نمونه ها، غلظت فلزات سنگین با استفاده از دستگاه جذب اتمی تعیین گردید. همچنین جهت تعیین منشاء فلزات سنگین برگ درخت چنار در دو منطقه شهری و صنعتی، از آنالیز تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) استفاده شد.

یافته ها: روند تغییرات میانگین کلی غلظت فلزات سنگین برگ در نواحی شهری و صنعتی یکسان و به صورت کروم > سرب >مس > نیکل مشاهده شد. در نواحی صنعتی و شهری به ترتیب میزان غلظت فلزات کروم (۱۵/۱۹±۳۱/۰۳، ۱۰/۰۹±۲۸/۸۹)، سرب (۱۴/۷۹±۲۳/۶۴، ۲/۸۱±۱۱/۲۰)، مس (۶/۱۸±۱۴/۴۶، ۴/۱۰±۶/۳۲) و نیکل (۴/۹۳±۸/۳۲، ۲/۸۲±۵/۰۷) میلی گرم بر کیلوگرم بدست آمد. ریسک اکولوژیکی فلزات بیانگر وضعیت آلودگی پایین خاک بود. یافته‌ها نشان شاخص تغلیظ جامع فلزات (CBCI) در محدوده ۰/۱۰ (ایستگاه شاهد) و ۰/۷۷ (نواحی آلوده) اندازه‌گیری گردید و بیشترین مقادیر شاخص تجمع فلز(MAI) به میزان ۹/۱۰ در نواحی شهری بدست آمد. نتایج تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) نشان داد غلظت فلزات سنگین در دو ناحیه شهری و صنعتی دارای همپوشانی قابل توجهی بوده است و باتوجه مولفه اول تحلیل PCA فلزات نیکل کروم و براساس مولفه دوم فلزات سرب و مس دارای منشاء به هم مرتبط هستند.

نتیجه گیری: براساس یافته‌ها می‌توان نتیجه گرفت توزیع مکانی فلزات تجمع یافته در برگ درخت چنار و خاکهای سطحی‌نواحی مختلف شهر یاسوج بسته به منشاء آلایندگی، نوع و میزان فعالیت‌های انسانی محلی و شدت حمل و نقل متفاوت می باشد. علاوه بر این نتایج تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) می‌توان گفت غلظت فلزات سنگین در برگ چنار در دو ناحیه شهری و صنعتی دارای منشاء منشاء تقریباً یکسان می‌باشند این همبستگی عمدتا، ناشی از انتشار ترافیکی، صنعت حمل و نقل و صنایع مرتبط با مصرف سوخت‌های فسیلی می‌باشد.

واژه های کلیدی: پایش زیستی، فلزات سنگین، تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA)، شاخص‌های تغلیظ جامع فلزات(CBCI) و شاخص تجمع فلز (MAI)، شهر یاسوج

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-25]
[DOI: 10.66224/jehe.14.1.131]

مقدمه

آلودگی هوا به عنوان یک مسئله زیست‌محیطی جهانی، بویژه در محیطهای شهری و صنعتی به طور گسترده به عنوان یکی از جدی‌ترین و مضرترین تهدیدات برای سلامت جوامع انسان شناخته شده است[۱، ۲]. رشد سریع جمعیت، توسعه شهرنشینی، گسترش صنایع و فعالیت‌های تولیدی – خدماتی متنوع، با تولید انواع آلاینده‌ها آلی و معدنی پایدار و ناهمگن و همچنین ترکیبات آلاینده نوظهور کیفیت محیط‌زیست را طور قابل توجهی کاهش داده و روزبه روز بر حجم و میزان این آلاینده‌ها و در نتیجه تهدیدات آنها می‌افزایند[۳]. در این میان ذرات معلق و فلزات همراه به دلیل اجرای مختلف آلی و عنصری، نظیر نیترات‌ها، سولفات‌ها، یون‌های Br، Cl، Na، K و بسیاری از عناصر کمیاب مانند Al و فلزات سنگین تهدیدی جدی و خطرناک برای سلامت انسانها بخصوص در محیطهای شهری بحساب می‌آیند[۴]. فلزات سنگین یک نگرانی مهم در پایش، نظارت و مدیریت کیفیت هوای شهری هستند. زیرا معمولاً می‌توانند به راحتی مجموعه‌ای از تهدیدات را برای سلامت انسان ایجاد نمایند. با این حال، تعیین دقیق اطلاعات مربوط به تأثیر زیست‌محیطی آنها به دلیل مقادیر کم آنها در نمونه‌های هوا، هزینه بالای ابزارهای سنجش و نمونه‌برداری آنها، گستردگی و توزیع فضایی و مکانی آنها، دشوار است[۵]. به همین جهت محققان مختلف سعی در استفاده از روش‌های نوین و ارزان قیمت جهت پایش آلاینده‌های فلزی در محیط‌های شهری نظیر استفاده از گونه–های درختی به عنوان پایشگر زیستی نموده‌اند که از جمله این پژوهش‌ها می‌توان به مطالعه‌ی Elkaee و همکاران (۲۰۲۴) که به ارزیابی ظرفیت رسوب‌گذاری ذرات معلق، فلزات سنگین و کربن گونه‌های درختی شهری در تهران؛ Isinkaralar و همکاران (۲۰۲۴) به تجزیه و تحلیل تجمع و اندازه‌گیری کلی برای نشان دادن فلزات سمی موجود در هوا با تکنیک پایش زیستی غیرفعال پوست درخت در مناطق شهری، پرداختند، اشاره نمود[۶، ۷].

فلزات سنگین دسته‌ای از آلاینده‌های خطرناک زیست–محیطی هستند که هم به طور طبیعی در خاک، سنگ، آب و موجودات زنده یافت شوند و هم می‌توانند به علت فعالیت‌های گسترده انسانی تولید و در محیط پخش، پراکنده و در نتیجه در بدن موجودات زنده تجمع یابند. در این راستا اگرچه برخی از فلزات به عنوان مواد مغذی برای سلامت زیست‌مندان ضروری هستند اما این عناصر در غلظت و سطوح بالا می‌توانند به اشکال سمی ظاهر و خطرات زیست‌محیطی قابل توجهی برای موجودات زنده به همراه داشته باشند[۱]. از اینرو استفاده از رویکردهای مناسب جهت سنجش و مدیریت زیست محیطی این آلاینده‌ها ضروری است. به دنبال مشکلات و نگرانی‌های انسانی و محیطی ناشی از فلزات سنگین در محیط‌های شهری روش‌ها و تکنیک‌های فراوانی جهت پایش و همچنین کاهش یا حذف این آلاینده‌ها نظیر بکارگیری تجهیزات مکانیکی، جاذبهای زیستی مختلف، نانوذرات، فیلترهای الکتریکی و مکانیکی و غیره توسط محققان مختلف توسعه پیدا کرده‌اند، اما شواهد حاکی از آن است که این تکنیک‌ها به دلایل مختلفی همچون نیاز به تکنولوژی بالا، کاربرد محدود، نیاز به کارشناس ماهر و هزینه بالا از کارایی بالایی برخوردار نمی‌باشند[۸]. به همین جهت محققان تمایل به کاربرد روش‌های جدیدی که ضمن کارایی بالا، توانایی جذب آلاینده‌های مختلف، هزینه پایینی داشته باشند، دارند[۵، ۹]. در این میان یکی از روش‌هایی که به نظر می‌رسد نقش مهمی در کاهش آلودگی‌های مختلف داشته باشد استفاده از گونه‌های گیاهی، درختی و درختچه–ای است. مطالعات نشان می‌دهند که درختان پتانسیل خوبی برای دریافت، جذب و کاهش آلودگی‌های مختلف دارند[۱۰]. درختان می‌تواند فلزات سنگین هوا را از طریق ریشه، برگ و پوست خود جذب و تجمع دهند و در نتیجه موجب پالایش محیط شوند [۱۱]. گستردگی و تنوع مختلف گونه‌های درختی در کنار سطح زیاد برگ آنها را به عنوان پایشگر زیستی مناسب و همچنین یک وسیله جهت جذب و تجمع آلاینده‌های مختلف هوا اعم از گازها، فلزات سنگین و

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.66224/jehe.14.1.131]

ذرات معلق معرفی می‌نماید[12]. علاوه بر این درختان نقش مهمی در پایش و نگهداری تعادل اکولوژیکی و همچنین جذب، تجمع و در نتیجه کاهش میزان آلودگی‌های محیط زیست ایفا می‌کنند و از سوی دیگر حساسیت و پاسخ گیاهان و درختان مختلف نسبت به یک آلاینده‌ها یا آلاینده‌های مختلف متفاوت است که این امر آنها را به عنوان یک شاخص زیستی مناسب جهت پایش آلاینده‌های معرفی می‌نماید[13]. از اینرو شناسایی و طبقه‌بندی درختان به گونه‌های تجمع‌دهنده، انباشتنگر یا دافع و همچنین گروه‌های حساس و مقاوم به منظور بهره‌برداری حداکثری از ظرفیت‌ها و پتانسیل آنها در کاهش و حذف آلاینده‌ها بسیار ضروری است. زیرا این امر می‌تواند در جهت انتخاب یک شاخص زیستی مناسب جهت پایش آلودگی-های محیطی و همچنین کاهش آلودگی‌های محیط زیست در نواحی شهری و صنعتی بکار گرفته شود[14]. بنابراین باتوجه به مطالب بیان شده در پژوهش حاضر به بررسی تجمع فلزات سنگین توسط گونه‌درختی چنار(*Platanus orientalis*) با استفاده فاکتور تلغیظ زیستی(BCF) ، تغلیظ جامع فلزات (CBCI)، شاخص تجمع فلز (MAI[1])در مناطق مختلف شهر یاسوج و همچنین تعیین منشاءفلزات سرب، مس، کروم و نیکل در منطاق شهری و صنعتی شهر یاسوج با استفاده از گونه چنار(*Platanus orientalis*) به عنوان یک پایشگر زیستی می‌پردازد.

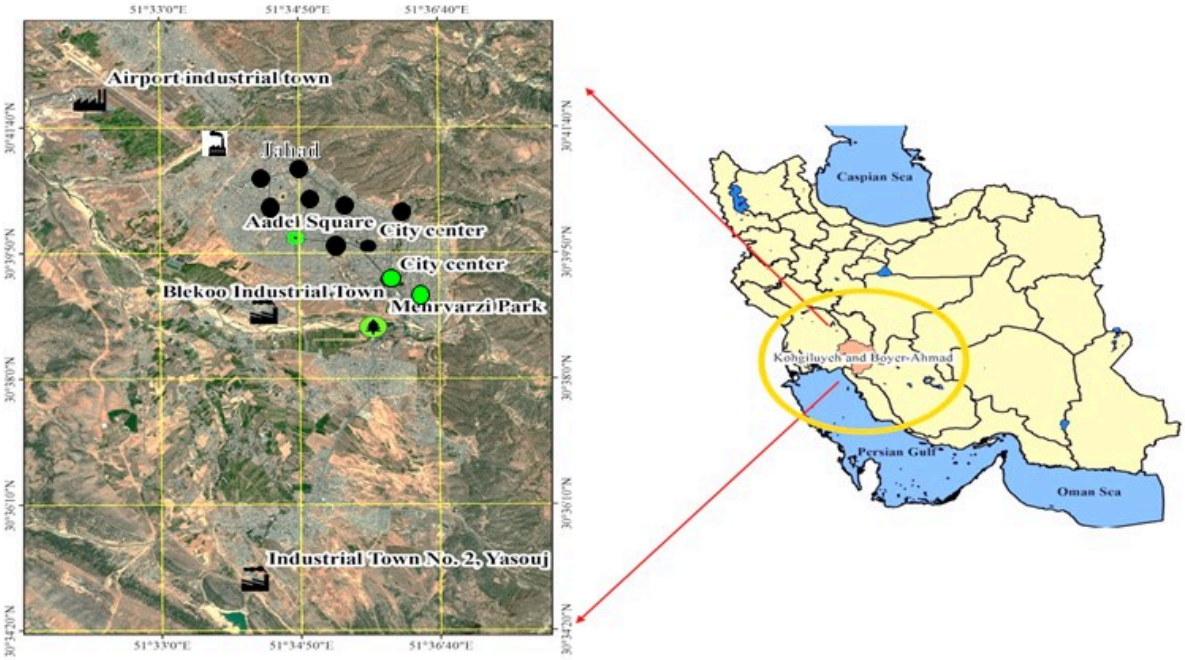
مواد و روش‌ها

این مطالعه در شهر یاسوج، مرکز استان کهیلویه و بویراحمد با جمعیتی بالغ بر ۲۰۰ هزار نفر در شهریور ۱۴۰۴ انجام گرفت. این شهر در دو طرف رودخانه بشار و مهریان در رشته کوه زاگرس واقع شده است، میانگین دمای سالانه ۱۵/۲ درجه سانتی‌گراد، میزان بارندگی سالانه (میانگین ۴۰ سال) حدود ۷۹۰ میلی‌متر است که عمدتاً در ماه فصول پاییز و رمستان می‌بارد و هر ساله به دلیل تغییرات اقلیمی و تغییر الگوهای بارشی تغییرات زمانی زیادی از خود نشان می‌دهد. مرکز این شهر به دلیل توسعه سریع، تجمع جمعیت، خیابان‌های شلوغ و با ترافیک بالا، استقرار صنایع متراکم و شهرکهای صنعتی در حریم و محدوده شهری در معرض تهدیدات و خطرات جدی ناشی وجود آلایندههای زیست محیطی است که این امر تهدیدات سلامتی مردم را نمایان می‌سازد. از اینرو به منظور پایش و سنجش غلظت فلزات سنگین با استفاده از برگ گونه درخت غالب چنار(*Platanus orientalis*) ، پس از بازدیدهای پیاپی از منطقه مورد مطالعه و مشاهدات میدانی، خیابان‌ها شلوغ، آلوده و پرتردد مشخص و سپس ده منطقه شهری (شامل میدان امام حسین (ع)، میدان سنگی، میدان عدل، میدان و خیابان هفت تیر، خیابان شصت متری، جهاد، خیایان شهید مطهری، بلوار ارم، جهاد، ترمینال شهید قرنی)، چهار شهرک صنعتی (فرودگاه، بلکو، سرآبتاوه و شهرک تخصصی جوشکاران) انتخاب و از گونه غالب درختی چنار(*Platanus orientalis*) که به میزان بیشتری در پارکها، خیابان ها و سایر فضای سبز شهر یاسوج کاشته شده است، انتخاب و نمونه‌برداری صورت گرفت(جدول ۱).

1. Metal Accumulation Index

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.66224/jehe.14.1.131]



شکل ۱. موقعیت ایستگاه های مورد مطالعه

جدول ۱. مشخصات ایستگاههای نمونه‌برداری در شهر یاسوج

نام ایستگاه	صنایع و وضعیت محدوده نمونه‌برداری	تعداد ایستگاه
شهرک صنعتی فرودگاه	دارای صنایع فعال اعم از صنایع شیمیایی نظیر تولید فوم ، جایگاه سوخت، حمل و نقل بالا(محل عبور کمربندی یاسوج – اصفهان)، تولید بتن آماده، صنایع کشتارگاهی، خمیر و کاغذ	۳
شهرک صنعتی بلکو	صنایع تولید فوم، آهن آلات، تولید بتن، صنایع لبنی، بدون تصفیه خانه مرکزی، صنایع تولیدی و دارویی	۴
شهرک صنعتی سرآبتاوه	صنایع شامل واحد تولید رنگ، صنایع لبنی، واحدهای جمع آوری و شست و شوی ضایعات	۲
شهرک تخصصی جوشکاران	شهرک تخصصی جوشکاری و تولید درب و پنجره و واحدهای مشابه	۲
خیابان شصت متری	حجم ترافیک بالا- یکی از خیابان اصلی منتهی به مرکز شهر	۴
میدان هفتم تیر	حجم ترافیک بالا- میدان و خیابان اصلی شهر (مرکز شهر)، شلوغ ترین - مرکز خرید و اتصال به چندین خیابان بزرگ- تراکم زیاد بانکها و ادارات	۵
میدان و خیابان عدل	حجم ترافیک بالا، یکی از میدان خیابان اصلی منتهی به مرکز شهر	۴
خیابان جمهوری	حجم ترافیک بالا، دارای واحدهای تعمیرگاهی و مکانیکی، جایگاه سوخت	۳
بلوار ارم	سکونتگاه انسانی با حجم ترافیک کم	۲
ترمینال شهید قرنی	حجم ترافیک بالا، محدوده پایانه مسافربری شهر یاسوج	۳
خیابان مطهری	حجم ترافیک بالا- یکی از خیابان اصلی منتهی به مرکز شهر، تراکم زیاد بانکها و ادارات، منتهی به خروجی شهر	۲
میدان سنگی	حجم ترافیک بالا	۳
جهاد	ترافیک بالا، وجود صنایع تولیدی درب و پنجره، صنایع بتن و فوم	۳
میدان امام حسین (ع) یا میدان استانداری	حجم ترافیک بالا، اتصال به چهار خیابان مهم شهر	۳
پارک ولایت	محیطی پاک با آب و هوای مناسب- منطقه توریستی و گردشگری، با تراکم جمعیتی خیلی پایین- آلودگی خیلی پایین	۳

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.66224/jehe.14.1.131]

نمونه‌برداری برگ و خاک

به منظور نمونه‌برداری، در نواحی و محدوده‌های اطراف ایستگاه‌های مطالعاتی از برگ و خاک زیر پای درخت چنار(*Platanus orientalis*) در شهریور ۱۴۰۴ نمونه برداشته شد. در این پژوهش سعی گردید از برداشت برگهای آفت زده و ناسالم خودداری شود (در حد امکان از برگهای سالم و بالغ نمونه برداشت شد). برای هر گونه در هر ایستگاه سه نمونه (سه درخت) مشخص و نمونه‌ها از برگ آنها از ارتفاع ۲ تا ۳ متری سطح زمین به تعداد ۲۰ – ۳۰ برگ از هر درخت برداشت گردید. همچنین برگها از چهار جهت اصلی درختان برداشت شد (شمال، جنوب، مشرق و مغرب). پس از جمع‌آوری برگ درختان موجود در سطح شهر، نمونه‌ها را در بسته‌های کاغذی به آزمایشگاه انتقال و فورا جهت هضم آنها اقدام شد. به منظور سنجش غلظت فلزات سنگین از خاک زیر پای درخت(از عمق ۰– ۲۵ سانتی‌متری) در راستای چهار جهت جغرافیایی مختلف هر درخت نمونه برداشت شد. پس از برداشت و مخلوط نمودن آنها، نمونه‌ها درکیسه های پلی‌اتیلنی ذخیره و برای آنالیزهای بعدی به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه به مدت یک هفته در دمای اتاق هوا خشک شوند.

آماده‌سازی و آنالیز نمونه‌ها

در آزمایشگاه نمونه‌های برگ نخست با آب شهری سپس با توسط آب مقطر شسته و در ادامه در فضای اتاق خشک شدند. سپس جهت انجام عمل هضم شیمیایی، نمونه‌های جمع‌آوری شده در آون در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده تا کاملاً خشک و به وزن ثابت برسند. در گام بعدی پس از خردایش (توسط آسیاب برقی) و الک نمودن نمونه‌ها، یک گرم از هر نمونه خشک شده در لوله‌های مخصوص هضم ریخته شد و سپس در بن‌ماری با ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ (HNO_3) به همراه ۴ میلی‌لیتر اسید پرکلریک ۷۰٪ هضم شدند که تا زمان شفاف شدن جوشانده شدند (تقریبا ۴ ساعت). پس از اتمام فرآیند هضم محتوای هر لوله از کاغذ صافی واتمن شماره یک عبور داده شد و با آب دیونیزه به حجم ۲۵ میلی لیتر رسانده می‌شود. جهت کنترل کیفیت آنالیزها، سه نمونه شاهد Blank نیز در کنار سایر نمونه‌ها قرار داده خواهد شد[۱۵]. در نهایت غلظت فلزات سنگین نمونه‌ها با توجه به حد تشخصی دستگاه جذب اتمی مدل Agilent 240 AA system, Agilent Technologies Inc با کوره گرافیتی اندازه‌گیری شد. همچنین جهت سنجش غلظت فلزات خاک ابتدا نمونه‌های خاک هوا خشک شده و از الک با ۶۳ میکرون به منظور برداشت ذرات سنگ و باقیمانده های گیاهی عبور داده می‌شوند. در ادامه جهت آماده‌سازی و هضم نمونه‌ها یک گرم از هر نمونه خشک شده در لوله‌های هضم ریخته شدند (ترکیبی از سه اسید شامل ۴ میلی‌لیتر HNO_3، ۱۲ میلی لیتر HCl و ۴ میلی‌لیتر $HCLO_4$ اضافه شد و سپس به مدت ۶ ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد در بنماری گرما داده شدند). پس از اتمام فرایند هضم خوانش غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های خاک توسط دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری گردید. به‌منظور اندازه گیری pH و EC نسبت ۱به ۵ خاک (۵ گرم) به آب (۲۵سی سی) به مدت ۲ ساعت روی شیکر قرار داده شد و پس از آن مقادیر pH عصاره‌ها با استفاده از دستگاه pH متر (AZ 86552) و EC با استفاده از EC متر(AZ 86505) سنجش شد[۱۶]. همچنین جهت انجام تجزیه و تحلیل آماری داده‌های بدست آمده از آنالیز کروسکال والیس و در صورت وجود اختلاف معنی‌دار، برای جداکردن گروه‌های مختلف از آزمون Tukey (توسط نرم افزار SPSS۲۷)، به منظور تعیین منشاء فلزات از آزمون تحلیل مولفه اصلی (PCA) توسط نرم افزار R استفاده گردید و در نهایت جهت رسم نمودارها از نرم‌افزار ۲۰۱۹ Excel استفاده شد.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.66224/jehe.14.1.131]

ارزیابی تجمع فلزات سنگین از خاک و هوا توسط درختان

به منظور ارزیابی میزان تجمع فلزات سنگین از شاخص-های نظیر فاکتور تغلیظ زیستی (BCF[1])، شاخص تغلیظ جامع فلزات (CBCI[2]) و شاخص تجمع فلز(MAI[3]) استفاده خواهد شد.

الف-تغلیظ زیستی (BCF)؛ این شاخص به عنوان نسبت میزان غلظت فلزات در بافت‌های گیاهی(برگ، ساقه و پوست) به غلظت آنها در خاک تعریف می‌شود. در مطالعات این شاخص جهت ارزیابی توان یک گونه درختی در جذب و تجمع فلز خاص از خاک بکار گرفته می‌شود.

ب- شاخص تغلیظ جامع فلزات (CBCI)؛ این شاخص توسط Zhao و همکاران در سال (۲۰۱۴) به منظور ارزیابی میزان تجمع کل یا چند فلزات سنگین توسط یک گونه درختی ایجاد شده است، به منظور محاسبه شاخص CBCIتابع عضویت فازی بکار گرفته می‌شود. ابتدا مجموعه فازی یا مجموعه فاکتور U، U=(u_1,u_2,u_3,…,ni) محاسبه می‌شود. U سطح توانایی تجمع کل برای درخت است و u فاکتورهای آلودگی فلزات مختلف می‌باشد. در گام دوم، میزان تابع عضویت فازی بااستفاده از معادله زیر محاسبه خواهد شد[17].

رابطه (۱)
$$\mu(x) = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}$$

در این معادله x فاکتور تغلیظ زیستی برای یک فلز خاص است، و x_{min} و x_{max} به ترتیب حداقل و حداکثر میزان این شاخص (BCF) می‌باشد. حداقل و حداقل مقدار می-توان صفر یا یک باشد. که بیان کننده حداکثر و حداقل فاکتور تغلیظ فلزات مختلف می‌باشد. و در نهایت در گام سوم میزان CBCI به صورت زیر محاسبه خواهد شد.

رابطه (۲)
$$CBCI = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} \mu_i$$

در این معادلهN تعداد کل فلزات اندازه‌گیری شده و μi میزان(x)μ برای فلز i می باشد.

ج- شاخص تجمع فلز (MAI[4])؛ شاخص تجمع فلزات سنگین نخستین بار توسط Liu و همکاران(۲۰۰۷) برای ارزیابی توانایی گونه‌های درختی مختلف در جذب فلزات سنگین هوا از طریق برگ معرفی شد. این شاخص به صورت زیر محاسبه می‌گردد[18].

رابطه (۳)
$$MAI = (\frac{1}{N})\sum_{j=1}^{N} I_j$$

در این معادله شاخص MAI بیان کننده تجمع فلزات سنگین، N تعداد فلزات سنگین؛ Ij یک زیر شاخص برای متغیر j. Ij از تقسیم مقدار میانگین غلظت هر فلز سنگین به انحراف استاندارد (xΔ) آن محاسبه می‌گردد:

رابطه (۴)
$$I_j = \frac{x}{\Delta x}$$

د- ارزیابی خطر اکولوژیکی فلزات سنگین خاک این شاخص به منظور ارزیابی خطر آلودگی خاک بوسیله فلزات سنگین توسط هاکنسون (۱۹۸۰) ارائه شده است[19]. براساس این رویکرد فاکتور پاسخ سمیت برای فلزات مس، سرب، نیکل، کروم و روی به ترتیب برابر ۵، ۵، ۵ و ۲ است. در این پژوهش، پتانسیل خطر اکولوژیکی براساس معادله زیر محاسبه گردید[20].

رابطه (۵)
$$E_r^i = \frac{C^i}{C_0^i} \times T_r^i$$

رابطه (۶)
$$RI = \sum_{i=1}^{4} E_r^i$$

1. Bio-concentration factor (BCF)
2. Comprehensive bio-concentration index (CBCI)
3. Metal accumulation index (MAI)
4. Metal Accumulation Index

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.66224/jehe.14.1.131]

در معادلات E_r^i: شاخص پتانسیل خطر اکولوژیکی، C^i و C_0^i به ترتیب مقدار طبیعی عنصر (Background value)، T_r^i: برابر فاکتور پاسخ سمیت فلز است. به طور کلی در صورتی که میزان خطر اکولوژیکی هر فلز E_r^i باشد آنگاه خطر اکولوژیکی پایین، E_r^i≤۴۰ ۴۰≤E_r^i≤۸۰ (خطر متوسط)، ۸۰≤ E_r^i≤۱۶۰ (خطر قابل ملاحظه)، ۱۶۰≤ E_r^i≤۳۲۰ (خطر زیاد) و ۳۲۰ ≤ E_r^i (خطر خیلی زیاد) طبقه‌بندی می‌شود. اگر میزان شاخص خطر اکولوژیکی (RI) کمتر از ۱۵۰ باشد، آنگاه میزان خطر پایین، و در صورتی که ۳۰۰ ≤ RI ≤۱۵۰باشد، میزان خطر متوسط، ۶۰۰ ≤RI ≤ ۳۰۰ میزان خطر زیاد و درنهایت RI ≥ ۶۰۰ آنگاه میزان خطر اکولوژیکی خیلی زیاد طبقه‌بندی می‌شود.

نتایج

نتایج حداقل، حداکثر و میانگین کلی غلظت فلزات سنگین، سرب، مس، کروم و نیکل برگ درخت چنار(*Platanus orientalis*) در نواحی شهری و صنعتی در جدول (۲) ارائه شده است. نتایج نشان داد میانگین کلی غلظت فلزات در نواحی شهری به ترتیب برای کروم (۱۰/۰۹±۲۸/۸۹)، سرب (۲/۸۱±۱۱/۲۰)، مس (۴/۱۰±۶/۳۲) و نیکل (۲/۸۲±۵/۰۷) بدست آمد. میانگین کلی غلظت فلزات در نواحی صنعتی به ترتیب برای کروم (۱۵/۱۹±۳۱/۰۳)، سرب (۱۴/۷۹±۲۳/۶۴)، مس (۶/۱۸±۱۴/۴۶) و نیکل (۴/۹۳±۸/۳۲) بدست آمد. در ایستگاه شاهد میانگین غلظت فلزات به ترتیب به صورت کروم (۰/۴۴±۵/۴۵)، سرب (۰/۳۱±۱/۸۵)، مس (۱/۴۰±۳/۷۳) و نیکل (۰/۶۱±۱/۱۸) اندازه گیری شد. همانطور که مشاهده می‌شود بیشترین و کمترین میانگین کلی غلظت فلزات در هر سه ناحیه به ترتیب مربوط به فلز کروم و نیکل بوده است.

جدول ۲. نتایج حداقل، حداکثر و میانگین غلظت فلزات سنگین در برگ گونه درختی چنار(Platanus orientalis) نواحی شهری و صنعتی شهر یاسوج

نام ایستگاه	فلز	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف استاندارد
نواحی شهری	سرب	۶/۱۲	۱۶/۸۸	۱۱/۲۰	۲/۸۱
	مس	۱/۵۸	۱۸/۱۰	۶/۳۲	۴/۱۰
	کروم	۷/۸۹	۴۵/۰۵	۲۸/۸۹	۱۲/۰۹
	نیکل	۱/۵۰	۱۲/۶۳	۵/۰۷	۲/۸۳
نواحی صنعتی	سرب	۸/۷۵	۵۴/۰۰	۲۳/۶۴	۱۴/۷۹
	مس	۳/۹۶	۲۷/۶۳	۱۴/۴۶	۶/۱۸
	کروم	۹/۲۵	۶۱/۶۴	۳۱/۰۵	۱۵/۱۹
	نیکل	۲/۸۸	۲۳/۸۸	۸/۳۱	۴/۹۳
شاهد (پارک)	سرب	۱/۶۳	۲/۰۷	۱/۸۵	۰/۳۱
	مس	۱/۵۶	۵/۹۰	۳/۷۳	۱/۴۰
	کروم	۳/۶۴	۷/۲۷	۵/۴۵	۰/۴۴
	نیکل	۰/۷۵	۱/۶۱	۱/۱۸	۰/۶۱

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.66224/jehe.14.1.131]

نتایج مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین در ایستگاه های مختلف شهری و صنعتی نشان داد(جدول ۳)؛ بیشترین میانگین غلظت فلزات سرب و مس در شهرک تخصصی جوشکاران به ترتیب به میزان ۱/۷۶±۵۲/۷۵ و ۳/۱۶±۲۵/۳۹ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک، کروم و نیکل در شهرک صنعتی فرودگاه به میزان ۵/۲۸±۵۵/۵۴ و ۳/۱۸±۱۳/۳۹ میلی‌گرم بر کیلوکرم وزن خشک بدست آمد(جدول ۳). در نواحی شهری حداکثر میانگین غلظت سرب، مس، کروم و نیکل به ترتیب در درختان واقع شده در میدان سنگی به میزان (۰/۴۴±۱۴/۷۵)، خیابان شصت‌متری (۴/۱۰±۱۱/۹۹)، کروم و نیکل در میدان هفتم‌تیر به میزان (۲/۳۷±۴۲/۱۸) و (۲/۹۹±۸/۸۹) بدست آمد. نتایج کلی سنجش غلظت فلزات خاک نشان داد حداکثر میانگین غلظت فلزات در نواحی صنعتی به ترتیب مربوط به کروم، سرب، مس و نیکل بوده است. حداکثر غلظت کروم به میزان ۵۴/۴۵ میلی‌گرم در کیلوگرم در خاک شهرک صنعتی فرودگاه و حداقل میزان غلظت مربوط به سرب به میزان ۵/۰۵ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک در خاک نمونه شاهد (پارک ولایت) بدست آمد. در خصوص میزان غلظت فلزات خاک نواحی شهری نتایج نشان داد بیشترین تجمع غلظت فلزات خاک به ترتیب مربوط به کروم، سرب، نیکل و مس بوده است. حداکثر و حداقل کروم به ترتیب به میزان ۳۴/۶۷ (خیابان شصت متری) و ۹/۴۶ (محدوده میدان جهاد) بدست آمد. برای نیکل به ترتیب ۱۷/۵۹ (میدان سنگی) و ۳/۷۹ (خیابان شهید مطهری)؛ فلز مس ۱۳/۲۵ (میدان هفت‌تیر) و ۶/۴۹ (بلوار ارم) و در نهایت حداقل و حداکثر سرب به میزان ۱۶/۸۳ (میدان امام حسین(ع)) و ۸/۳۷ میلی گرم در کیلوگرم در بلوار ارم مشاهده شد. همچنین نتایج اندازه‌گیری میزان هدایت الکتریکی (بر حسب dS/cm) ، pH و میزان ماده آلی خاک نشان داد میزان میانگین آنها در نواحی شهری، صنعتی و شاهد (آلودگی کم) به ترتیب برابر (۰/۵۶، ۰/۴۲ و ۰/۵۳) (dS/cm))، (۷/۲۹، ۷/۱۴ و ۷/۴۴)، (۰/۲۵، ۰/۲۸ و ۰/۳۶) درصد بدست آمد. همچنین نتایج همبستگی بین ویژگی های فیزیکی – شیمایی خاک و غلظت فلزات سنگین برگ نشان داد بین میزان سرب و میزان ماده آلی خاک رابطه مثبت و بین میزان pH با غلظت فلزات سرب، مس و کروم رابطه منفی وجود دارد. اما بین میزان هدایت الکتریکی و غلظت فلزات رابطه معنادار یافته نشد.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-25]

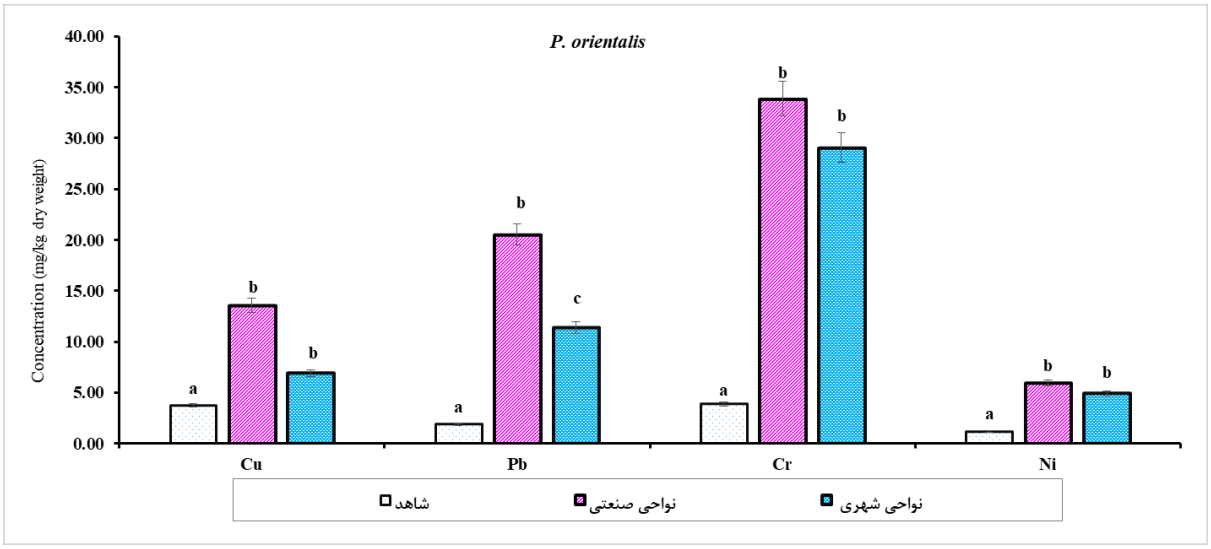
[DOI: 10.66224/jehe.14.1.131]

[DOI: 10.66224/jehe.14.1.131] [Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-25]

جدول ۳. میانگین غلظت فلزات در برگ درخت چنار(Platanus orientalis) و خاک ایستگاه های مختلف در نواحی شهری و صنعتی شهر یاسوج

نام ایستگاه	میانگین غلظت فلزات در برگ درخت چنار (میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک)				میانگین غلظت فلزات در خاک (میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک)				خطر اکولوژیکی هر فلز (Er)				RI	درصد مواد آلی	PH	هدایت الکتریکی(d S/cm)
	سرب	مس	کروم	نیکل	سرب	مس	کروم	نیکل	سرب	مس	کروم	نیکل				
شهرک صنعتی فرودگاه	۱۸/۰۴±۵/۸۹	۱۵/۹۱±۷/۷۰	۵۵/۵۴±۵/۲۸	۱۳/۳۹±۳/۱۸	۲۰/۲۷	۱۷/۱۱	۵۴/۴۵	۱۳/۸۰	۵/۰۷	۱/۹۰	۱/۲۱	۱/۳۸	۹/۵۶	۰/۳۴	۶/۸۸	۰/۴۷
شهرک صنعتی بلکو	۱۲/۸۴±۲/۱۸	۸/۹۴±۴/۰۰	۳۴/۳۳±۷/۷۴	۵/۰۶±۱/۷۸	۱۲/۰۰	۱۳/۷۵	۳۶/۸۱	۶/۰۲	۳/۰۰	۱/۵۳	۰/۸۲	۰/۴۸	۵/۸۳	۰/۲۸	۶/۶۸	۰/۵۱
شهرک صنعتی سرآبتاوه	۱۰/۹۴±۰/۷۹	۷/۵۸±۵/۱۱	۱۰/۵۰±۱/۷۷	۵/۰۰±۰/۳۶	۱۰/۴۲	۹/۱۳	۱۱/۸۰	۵/۰۵	۲/۶۰	۱/۰۱	۰/۲۶	۰/۴۰	۴/۲۹	۰/۲۰	۷/۷۰	۰/۲۸
شهرک تخصصیی جوشکاران	۵۲/۷۵±۱/۷۶	۲۵/۳۹±۳/۱۶	۲۳/۸۳±۳/۹۵	۹/۸۲±۱/۵۰	۳۷/۹۵	۳۴/۷۸	۳۳/۱۰	۳۲/۷۳	۹/۴۹	۳/۸۶	۰/۷۴	۲/۶۲	۱۶/۷۱	۰/۲۷	۷/۳۱	۰/۴۳
خیابان شصت متری	۹/۵۶±۱/۳۰	۱۱/۹۹±۴/۱۰	۳۳/۶۳±۹/۴۶	۳/۸۴±۱/۳۳	۱۰/۸۶	۱۰/۵۲	۳۴/۶۷	۱۰/۳۸	۲/۷۲	۱/۱۷	۰/۷۷	۰/۸۳	۴/۴۹	۰/۲۴	۷/۰۲	۰/۶۴
میدان هفتم تیر	۱۲/۶۸±۱/۶۹	۸/۴۸±۳/۲۲	۴۲/۱۸±۲/۳۷	۸/۸۹±۲/۹۹	۱۱/۷۴	۱۳/۲۵	۳۲/۷۰	۱۱/۲۵	۲/۹۴	۱/۴۷	۰/۷۳	۰/۹۰	۶/۰۳	۰/۲۷	۷/۲۰	۰/۴۸
میدان و خیابان عدل	۱۰/۹۲±۴/۵۴	۹/۷۹±۲/۳۶	۳۶/۴۹±۱۰/۰۱	۶/۱۶±۱/۴۹	۱۱/۱۴	۸/۹۸	۲۸/۰۷	۶/۷۷	۲/۷۹	۱/۰۰	۰/۶۲	۰/۵۴	۴/۹۵	۰/۲۶	۷/۱۱	۰/۶۴
خیابان جمهوری	۱۲/۲۱±۴/۰۶	۵/۳۰±۳/۰۸	۱۸/۴۸±۳/۴۴	۵/۳۷±۲/۰۵	۹/۳۹	۶/۸۸	۱۶/۸۰	۱۱/۹۳	۲/۳۵	۰/۷۶	۰/۳۷	۰/۹۵	۴/۴۴	۰/۱۸	۷/۶۵	۰/۴۴
بلوار ارم	۸/۱۲±۲/۲۹	۳/۴۴±۱/۸۰	۲۲/۰۱±۱/۴۷	۲/۱۹±۰/۴۳	۸/۳۷	۶/۴۹	۲۳/۴۱	۱۶/۸۵	۲/۰۹	۰/۷۲	۰/۵۲	۱/۳۵	۴/۶۸	۰/۲۲	۷/۶۰	۰/۶۳
ترمینال شهید قرنی	۹/۶۹±۰/۶۲	۵/۶۵±۰/۴۹	۳۵/۱۹±۳/۱۶	۳/۷۱±۱/۵۲	۱۱/۹۶	۷/۹۶	۲۶/۶۶	۶/۴۰	۲/۹۹	۰/۸۸	۰/۵۹	۰/۵۱	۴/۹۸	۰/۲۸	۷/۴۷	۰/۵۱
خیابان مطهری	۷/۶۳±۰/۵۳	۳/۶۳±۰/۰۷	۲۷/۱۲±۳/۹۶	۲/۷۳±۰/۴۳	۸/۵۷	۷/۲۶	۲۳/۳۸	۳/۷۹	۲/۱۴	۰/۸۱	۰/۵۲	۰/۳۰	۳/۷۷	۰/۲۹	۷/۴۴	۰/۶۸
میدان سنگی	۱۴/۷۵±۰/۴۴	۴/۹۴±۱/۵۷	۳۷/۷۱±۱/۳۱	۳/۸۷±۰/۵۴	۱۴/۹۰	۸/۵۲	۲۷/۷۳	۱۷/۵۹	۳/۷۲	۰/۹۵	۰/۶۲	۱/۴۱	۶/۶۹	۰/۳۱	۷/۰۳	۰/۴۳
جهاد (میدان و خیابان)	۱۲/۷۵±۰/۳۵	۳/۳۶±۲/۱۰	۸/۹۹±۰/۷۲	۶/۹۵±۱/۱۳	۱۲/۵۰	۱۲/۰۰	۹/۴۶	۷/۳۲	۳/۱۳	۱/۳۳	۰/۲۱	۰/۵۹	۵/۲۵	۰/۳۴	۶/۹۰	۰/۵۴
میدان امام حسین (ع)	۱۳/۶۲±۲/۳۱	۶/۷۱±۳/۲۵	۲۷/۰۸±۶/۵۸	۷/۰۱±۲/۳۳	۱۶/۸۳	۶/۸۵	۳۴/۲۸	۷/۰۱	۴/۵۴	۰/۷۶	۰/۷۶	۰/۵۶	۶/۶۲	۰/۲۴	۷/۲۰	۰/۵۶
پارک ولایت (شاهد)	۱/۸۵±۰/۳۱	۳/۷۳±۱/۴۰	۵/۴۵±۰/۴۴	۱/۱۸±۰/۶۱	۲/۳۷	۶/۵۴	۱۰/۲۸	۲/۸۱	۰/۵۹	۰/۷۳	۰/۲۳	۰/۲۲	۱/۷۷	۰/۳۶	۷/۴۴	۰/۵۳

نتایج بررسی مقایسه اختلاف بین میزان تجمع فلزات سنگین برگ درخت چنار(*Platanus orientalis*) در مناطق مختلف (شهری، صنعتی و شاهد) با استفاده از آزمون ناپارامتریک کروسکال والیس در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد نشان باتوجه به سطح معنی‌داری بدست آمده بین میزان تجمع فلزات کروم، مس، نیکل و سرب در گونه‌های مختلف اختلاف معنی‌داری وجود دارد (شکل، ۲).



شکل ۲. نتایج مقایسه میزان تجمع فلزات سنگین سرب، مس، کروم و نیکل در برگ چنار(Platanus orientalis) مناطق مختلف استفاده از آزمون آنالیز کروسکال- والیس در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد

نتایج اندازه گیری شـــاخص BCF، CBCI و MAI

نتایج حاصل از بررسی شاخص‌های BCF، CBCI و MAI در برگ درخت چنار(*Platanus orientalis*) در ایستگاه‌های مختلف در جدول (۴) ارائه شده است. نتایج مقادیر متوسط فاکتور تلغیظ زیستی(BCF) فلزات سنگین(نیکل، سرب، مس و کروم) از خاک به برگ در ایستگاه‌های مختلف حاکی از آن بود بیشترین میزان BCF فلزات سرب، مس، سرب و نیکل به ترتیب در درختان واقع شده در شهرک صنعتی جوشکاران به میزان برابر (۱/۳۹)، خیابان شصت متری (۱/۱۴)، میدان امام حسین (ع) (۱/۰۰) و در نهایت کروم به میزان ۱/۳۶ در میدان سنگی بدست بدست آمد. محاسبه شاخص تغلیظ جامع فلزات (CBCI) حاکی از آن بود بیشترین میزان تغلیظ جامع فلزات به میزان ۰/۷۷ در میدان و خیابان عدل اندازه‌گیری شد.

یافته‌های سنجش شاخص تجمع فلز (MAI[1]) که به منظور ارزیابی میزان جذب فلزات سنگین هوا از طریق برگ معرفی شده است نشان داد در بیشترین میزان شاخص تجمع از طریق هوا در درختان واقع شده در مناطق شهری (میدانهای جهاد و سنگی) و شهرک تخصصی جوشکاران بدست آمده است.

1.Metal Accumulation Index

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.66224/jehe.14.1.131]

جدول ۴. نتایج بررسی شاخص‌های BCF، CBCI و MAI در برگ گونه درختی چنار(Platanus orientalis) در مناطق مختلف شهر یاسوج

نام ایستگاه	BCF				CBCI	MAI
	سرب	مس	کروم	نیکل		
شهرک صنعتی فرودگاه	۰/۸۹	۰/۹۳	۱/۰۲	۰/۹۷	۰/۶۱	۰/۷۶
شهرک صنعتی بلکو	۱/۰۷	۰/۶۵	۰/۹۳	۰/۸۴	۰/۵۰	۱/۴۷
شهرک صنعتی سرآبتاوه	۱/۰۵	۰/۸۳	۰/۸۹	۰/۹۹	۰/۶۰	۳/۴۶
شهرک تخصصی جوشکاران	۱/۳۹	۰/۷۳	۰/۷۲	۰/۳۰	۰/۴۲	۷/۵۰
خیابان شصت متری	۰/۸۸	۱/۱۴	۰/۹۷	۰/۳۷	۰/۴۸	۱/۸۳
میدان هفتم تیر	۱/۰۸	۰/۶۴	۱/۲۹	۰/۷۹	۰/۶۰	۱/۸۷
میدان و خیابان عدل	۰/۹۸	۱/۰۹	۱/۳۰	۰/۹۱	۰/۷۷	۰/۶۰
خیابان جمهوری	۱/۳۰	۰/۷۷	۱/۱۰	۰/۴۵	۰/۵۷	۰/۷۵
بلوار ارم	۰/۹۷	۰/۵۳	۰/۹۴	۰/۱۳	۰/۱۹	۰/۸۸
ترمینال شهید قرنی	۰/۸۱	۰/۷۱	۱/۳۲	۰/۵۸	۰/۴۶	۳/۹۰
خیابان مطهری	۰/۸۹	۰/۵۰	۱/۱۶	۰/۷۲	۰/۴۰	۳/۵۹
میدان سنگی	۰/۹۹	۰/۵۸	۱/۳۶	۰/۲۲	۰/۳۸	۸/۳۸
جهاد (میدان و خیابان جهاد)	۱/۰۲	۰/۲۴	۰/۹۵	۰/۹۵	۰/۳۸	۹/۱۰
میدان امام حسین (ع)	۰/۷۵	۰/۹۸	۰/۷۹	۱/۰۰	۰/۵۲	۱/۳۶
پارک ولایت	۰/۷۸	۰/۵۷	۰/۵۳	۰/۴۲	۰/۱۰	۱/۴۹

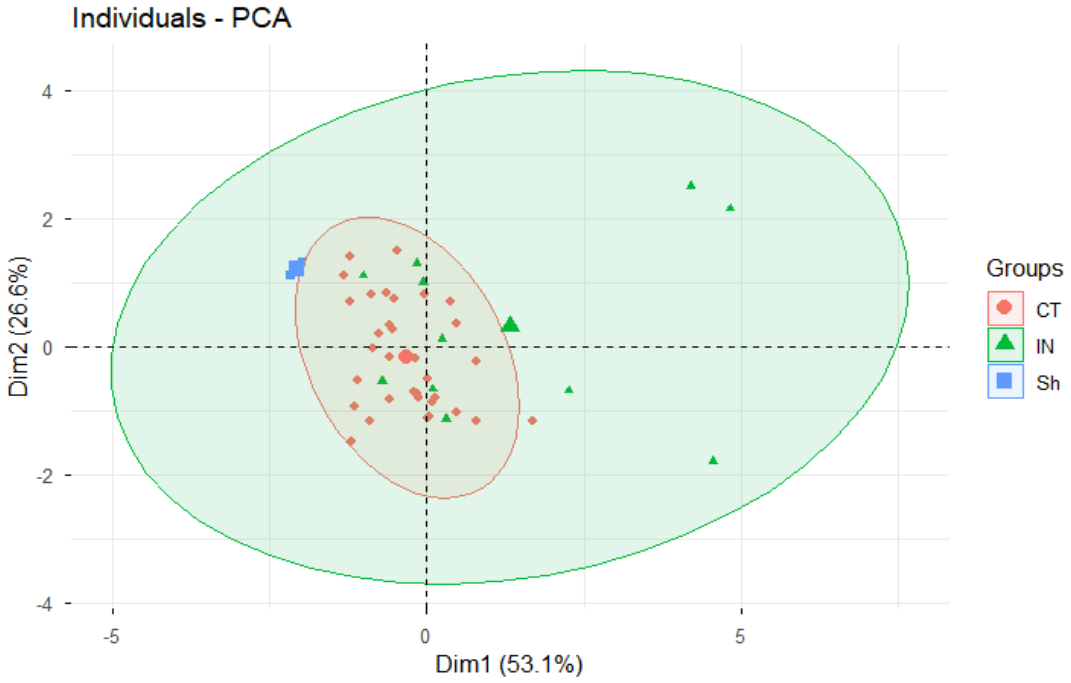
تعیین منشاء فلزات سنگین برگ

به منظور شناسایی منابع احتمالی فلزات سنگین تجمع یافته در برگ درخت چنار(*Platanus orientalis*) در دو منطقه شهری و صنعتی، از آنالیز تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) به عنوان یک ابزار آماری چند متغیره استفاده گردید (شکل ۵). بر اساس نتایج بدست آمده دو مؤلفه اصلی با مقادیر ویژه بالاتر از ۷۸/۷ درصد تغییرپذیری سیستم را توضیح می‌دهند. در این راستا ۵۳/۱۰ درصد از تغییرات در بعد اول (مولفه اول) و ۲۶/۶۰ درصد در بعد دوم نمایش داده شده است. که نشان از منابع یا منشاء مشترک این آلاینده‌ها می‌باشد. همانطور که از شکل ۳ (الف و ب) مشاهده می‌شود، در منطقه صنعتی(IN) تجمع فلزات سنگین دارای تغییرات بیشتری نسبت به منطقه شهری(CT) بوده است. غلظت فلزات سنگین در دو ناحیه شهری و صنعتی دارای همپوشانی قابل توجهی بوده، که این امر نشان از منشا مشترک آلودگی به فلزات سنگین دردرختان چنار هر دو ناحیه بوده است. از سوی دیگر ناحیه شاهد (Sh) در آنالیز مولفه اصلی به صورت جدا از سایر نواحی قرار گرفته است. همچنین نتایج حاکی از آن بود فلز کروم بیشترین تاثیر را در تجزیه مولفه های اصلی داشته است(شکل ۴). همانطور که نتایج تحلیل مولفه‌های اصلی نشان می دهد عامل اول ۵۳/۱۰ درصد از تغییرپذیری را توضیح می‌هد و شامل نیکل و کروم است، که نشان می‌دهد ممکن این فلزات منشاء مرتبطی داشته باشند. همچنین عامل دوم ۲۶/۶۰ درصد از کل

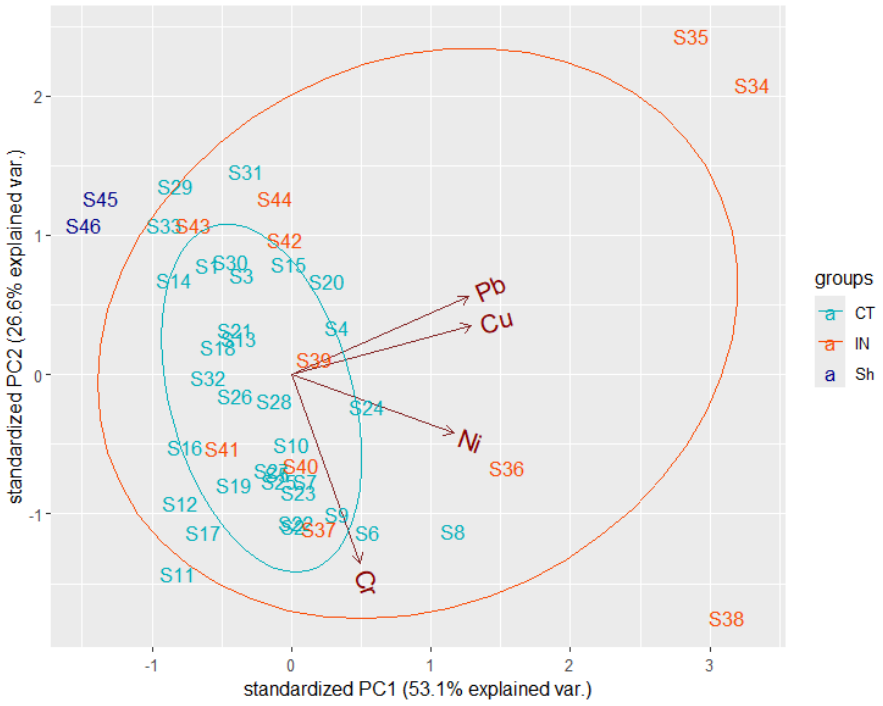
[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.66224/jehe.14.1.131]

واریانس را توضیح داد و شامل فلزات سرب، مس بوده است. نتایج نمودار بارگذاری فلزات سنگین نشان داد فلزات سرب، نیکل و مس همبستگی خوبی با یکدیگر دارند. این فلزات سنگین عمدتاً از فعالیت‌های انسانی مانند احتراق سوخت‌های فسیلی، گرد و غبار جاده، گاراژهای تعمیر خودرو و آبیاری درختان با فاضلاب ناشی می‌شوند.



الف

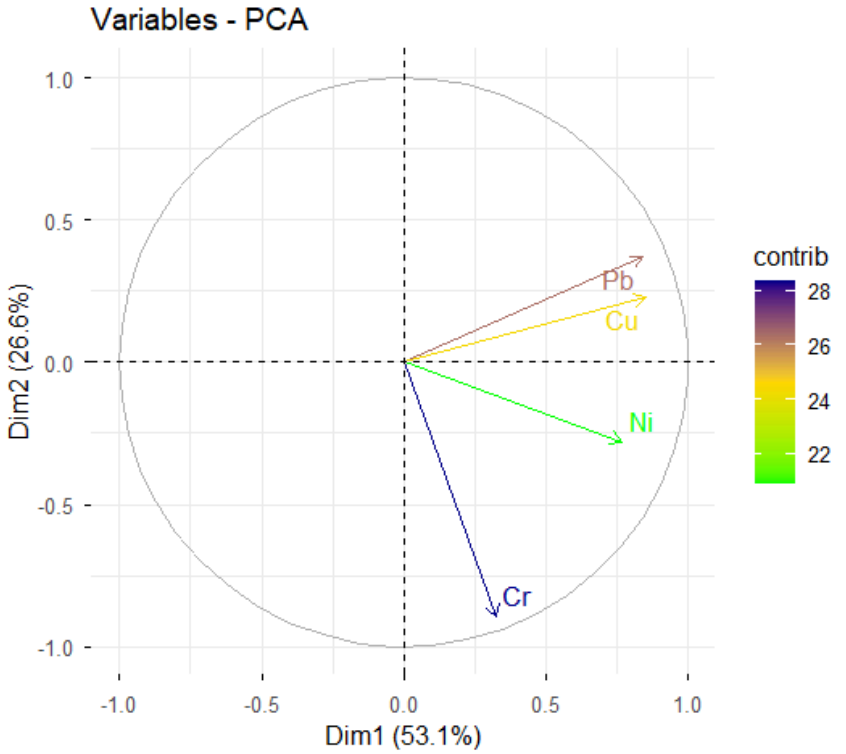


ب

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.66224/jehe.14.1.131]

شکل ۳. نتایج تحلیل مولفه های اصلی فلزات سنگین در نمونه های برگ درخت چنار(Platanus orientalis) در مناطق شهری و صنعتی

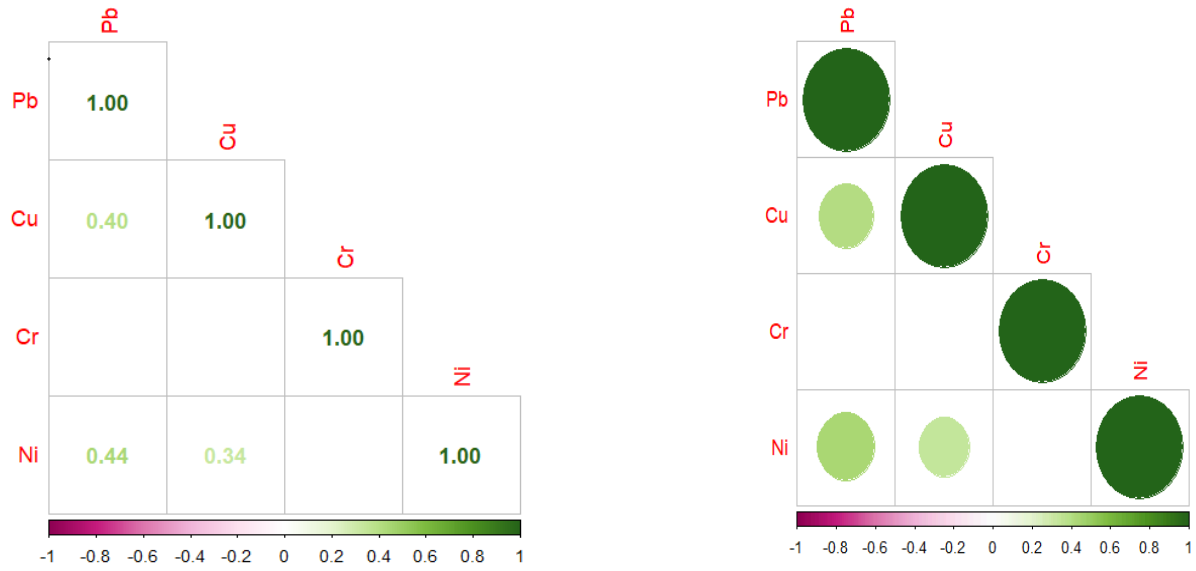


شکل ۴. نتایج تحلیل سهم هر یک از متغیرهای فلزات سنگین در شکل گیری مولفه های اصلی در آنالیز PCA

نتایج بررسی همبستگی فلزات سنگین در نمونه های برگ چنار(*Platanus orientalis*) با استفاده از آزمون همبستگی پیرسون حاکی از آن بود(شکل ۵)، بین متغیرهای فلزات سنگین ارتباط مثبت و مستقیم وجود دارد. در این راستا بیشترین میزان همبستگی بین فلزات نیکل و سرب بوده و کمترین میزان همبستگی معنادار متعلق به ارتباط فلزات نیکل و مس مشاهده شده است. همچنین نتایج نشان داد ارتباط معنادار میان غلظت فلزات سرب و کروم، مس و کروم، نیکل وکروم بر اساس مقادیر P-value در سطح معناداری ۰/۰۵ مشاهده نگردیده است.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.66224/jehe.14.1.131]



شکل ۴. نتایج بررسی همبستگی میزان تجمع فلزات سنگین در نمونه‌های برگ درخت چنار در ایستگاه های مختلف (مربع و یا دایره خالی نشان دهنده عدم ارتباط معنادار بین دو متغیر است)

بحث

افزایش غلظت فلزات سنگین در محیط‌زیست می‌تواند اثرات منفی زیادی بر سلامت اکوسیستم‌ها داشته باشد[۲۱]. به همین جهت پایش و کنترل میزان غلظت فلزات سنگین در سراسر جهان همواره به عنوان یک مسئله اساسی مطرح می‌گردد. به همین جهت این راستا استفاده از درختان جهت پالایش و کاهش غلظت این فلزات آلاینده بعنوان روشی موثر مورد توجه محققان قرار گرفته است. در این راستا نتایج اندازه‌گیری میانگین کلی غلظت فلزات سنگین، سرب، مس، کروم و نیکل برگ درخت چنار(*Platanus orientalis*) در نواحی شهری و صنعتی حاکی از آن بود در هر دو ناحیه (شهری و صنعتی) به ترتیب بیشترین میانگین غلظت مربوط کروم، سرب، مس و نیکل می‌باشد. بیشترین و کمترین میانگین کلی غلظت فلزات در هر سه ناحیه به ترتیب برای فلز کروم و نیکل بوده است. و میانگین غلظت همه عناصر در نواحی صنعتی به مراتب نیز بیشتر از نواحی شهری و ایستگاه شاهد بوده است. علاوه بر این مقایسه اختلاف بین میزان تجمع فلزات سنگین برگ درخت چنار(*Platanus orientalis*) در مناطق مختلف (شهری، صنعتی و شاهد) با استفاده از آزمون ناپارامتریک کروسکال والیس نشان داد بین میزان تجمع فلزات کروم، مس، نیکل و سرب در گونه‌های مختلف اختلاف معنی‌داری وجود دارد. به طور کلی این یافته‌ها بیانگر تاثیر و نقش منابع مختلف در تغییرات غلظت فلزات سنگین در نواحی مختلف یک شهر دارد. مقایسه غلظت فلزات سنگین اندازه‌گیری شده در پژوهش حاضر با مطالعات مشابه صورت گرفته در سایر نقاط حاکی از آن است مقادیر بدست آمده برای فلزات مختلف بسته به نوع فلز و همچنین شرایط محیطی و ادافیکی منطقه ممکن است بیشتریا کمتر باشد. از جمله دلایل این موضوع علاوه بر شرایط محیطی و خاکی، اقلیمی، نوع گونه درختی می‌توان به تاثیر فعالیتهای انسانی، نوع منبع آلاینده و حجم فعالیت‌های شهری و صنعتی، مدیریت و کنترل آلاینده‌های تولیدی توسط واحدهای آلاینده و غیره در اطراف محدوده مورد مطالعه اشاره نمود. Yang و همکاران (۲۰۲۲) بیان داشتند توزیع مکانی غلظت فلزات سنگین (As، Cd، Cr، Cu،

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.66224/jehe.14.1.131]

Zn، Ni، Pb ،Mn) و توانایی جذب آنها در گونه‌های مختلف یکسان نبوده، بسته به نوع گونه و فلز، موقعیت گونه درختی نسبت به منبع آلودگی نقطه‌ای و عوامل آب و هوایی شهری (عمدتاً برای عامل باد)، نزدیکی به خطوط حمل و نقل نیز این میزان متفاوت است[۱]. Pavlović و همکاران (۲۰۱۷) گزارش نمودند، علاوه بر نقش فعالیتهای انسانی و نوع منابع آلاینده، شرایط مختلف مکانی، تغییرات فصول و دروه رشد گیاهان، نوع گونه و حتی ژنوتیپ‌های مختلف آن، نیز می‌توانند بر روند تجمع فلزات در برگ گیاهان نیز موثر باشد[۲۲]. آنها گزارش نمودند غلظت فلزاتی نظیر مس در طول فصل رشد کاهش می‌یابد و بیشترین مقدار آن در برگ‌های جدید است، که نشان می‌دهد منبع اصلی عناصر، جذب از خاک است.

نتایج مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین در ایستگاه‌های مختلف شهری و صنعتی بیانگیر آن بود که در هر شهرک صنعتی بسته به نوع صنایع استقرار یافته و میزان فعالیت آنها و در نتیجه آلاینده‌های تولیدی، میزان تجمع فلزات در خاک و برگ درخت چنار نیز متفاوت است. در این راستا بیشترین میانگین غلظت فلزات سرب و مس در شهرک تخصصی جوشکاران (شهرک فعال در زمینه تولید انواع درب و پنجره و رنگ آمیزی آنها، جوشکاری قطعات، صنایع تولید چوب)، و کروم و نیکل در شهرک صنعتی فرودگاه سنجش شدند. در نواحی شهری حداکثر میانگین کلی غلظت سرب، مس، به ترتیب در درختان واقع شده در میدان سنگی و خیابان شصت متری (منبع آلایندگی اصلی ترافیک)، غلظت فلزات کروم و نیکل در میدان هفتم تیر (با میزان ترافیک بالا و فعالیتهای تجاری و ادارای) بدست آمد. نتایج کلی سنجش غلظت فلزات خاک نشان داد تجمع غلظت فلزات در نواحی صنعتی و شهری و همچنین ایستگاه‌های آنها از الگوی یکسانی پیروی ننموده و بیشترین میانگین تجمع فلزات به ترتیب مربوط به کروم، سرب، مس و نیکل بوده است. در این راستا بسته به فعالیت‌ها و منابع انسانی آلاینده غلظت فلزات در ایستگاه‌های مختلف تغییر نموده است. علاوه بر این نتایج نشان داد در نواحی شهری ایستگاه‌های واقع شده در مرکز شهر میزان تجمع فلزات به مراتب بیشتر از سایر ایستگاه‌ها بوده است. در شهرک‌های صنعتی هم بسته نوع صنایع استقرار یافته، رده‌های صنعتی، میزان آلایندگی آنها، نزدیکی به مراکز جمعیتی نیز میزان تجمع فلزات در درخت چناز نیز متغیر بوده است. اصولا در مناطق شهری غلظت فلزات سنگین می‌تواند ناشی از هر دو منبع طبیعی و انسانی باشد، لذا نقش منابع انسانی به مراتب نیز بیشتر از منابع طبیعی است. همچنین نتایج همبستگی بین ویژگی‌های فیزیکی – شیمایی خاک و غلظت فلزات سنگین برگ درخت چنار حاکی از آن بود میزان سرب و میزان ماده آلی خاک رابطه مثبت و بین میزان pH با غلظت فلزات سرب، مس و کروم رابطه منفی وجود دارد که این امر نشان از تاثیر ویژگیهای خاک بر تجمع فلزات سنگین در گیاهان دارد. سگلی و همکاران (۱۴۰۳) گزارش نمودند روند تجمع و توزیع مکانی غلظت فلزات سنگین در خاک و برگ درخت پسته در نواحی مختلف منطقه کبوترخانه- شهرستان رفسنجان یکسان نبوده و بسته به ویژگی‌های خاک و فعالیت‌های انسانی ، میزان سموم انسانی ، نزدیکی به مراکز جمعیتی و جاده‌های اصلی نیز تجمع فلزات در برگ درخته پسته و خاک رویش آن نیز متفاوت است[۲۳]. Kleckerová و همکاران(۲۰۱۳) گزارش نمودند بیشترین میزان آلودگی فلزات در مرکز شهر قرار دارد که این امر به سبب حمل و نقل وتراکم بالای ترافیک است آنها همچنین منابع عمده آلودگی فلزات سنگینی نظیر سرب، نیکل و کادمیوم را در مناطق شهری Berno را اساساً ناشی از فعالیت‌های شهری انسانی مانند ترافیک دانستند[۲۴]. کمانی و همکاران (۱۳۹۶) غلظت فلزات سنگین مس، نیکل و سرب را در خاک سطحی شهر زاهدان به ترتیب به میزان ۱۰/۲۵±۲۹/۶۸، ۸/۵۳±۵۱/۰۹ و ۶/۵۲±۲۸/۳۷ میلی گرم در کیلوگرم خاک بدست آوردند، در این راستا اگرچه میانگین غلظت فلزات

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.66224/jehe.14.1.131]

اندازه‌گیری در برخی از ایستگاه‌های واقع شده در نواحی شهری و صنعتی شهر یاسوج بیشتر از مقادیر سنجش شده در خاک شهر زاهدان بوده است. اما میانگین کلی غلظت این فلزات نیز نسبت به خاک شهر یاسوج کمتر بوده است. در مناطق شهری و روستای تجمع فلزات سنگین در خاک و گونه‌های گیاهی با میزان و حجم ترافیک جاده‌ای بالاتر با هم مرتبط هستند[3]. وسایل نقلیه منابع اصلی فلزات موجود(سرب، روی، مس، نیکل و آهن) در ذرات معلق هوای شهری هستند[25]. بنابراین، آلودگی فلزات سنگین در شرایط شهری به شدت با ذرات معلق هوا و میزان ترافیک مرتبط است. فلزات منتشر شده به هوا می‌توانند برای مدت طولانی باقی بمانند تا اینکه در نهایت به همراه گرد و غبار در خاک، خیابان‌ها، ساختمان‌ها یا بر روی سطح برگ و پوست گیاهان رسوب کنند و از طریق جذب برگی (رسوب یا جذب ریشه‌ای (از طریق آب و خاک) در گیاهان تجمع یابند.

ارزیابی وضعیت شاخص‌های BCF، CBCI و MAI

نتایج ارزیابی فاکتور تلغیظ زیستی(BCF) فلزات سنگین (نیکل، سرب، مس و کروم) در برگ درخت چنار(*Platanus orientalis*) در ایستگاه های مختلف حاکی از آن بود بیشترین میزان BCF فلزات سرب، مس، سرب و نیکل به ترتیب در درختان واقع شده در شهرک صنعتی جوشکاران به میزان برابر (۱/۳۹)، خیابان شصت متری (۱/۱۴)، نیکل در میدان امام حسین (ع) (۱/۰۰) و در نهایت کروم به میزان ۱/۳۶ در میدان سنگی بدست بدست آمد. Ma و همکاران(۲۰۰۱) نشان دادند درصورتی میزان BCF مساوی صفر باشد گیاه یک گونه دافع، در صورتی که کمتر از یک باشد تجمع دهنده و اگر بیشتر از یک باشد گونه بیش انباشتگر می‌باشد)[26]، از اینرو باتوجه به مقادیر بدست آمده از شاخص BCF می‌توان نتیجه گرفت گونه-چنار یک گونه تجمع دهنده یا انباشتگر فلزات سنگین باشد.

به طورکلی قابلیت جذب و تجمع فلزات در گونه‌های درختی و گیاهی تحت تاثیر خصوصیات فیزیولوژیکی و مکانیسم‌های دفاعی گیاهیان و همچنین تحت تأثیر مقدار و منشأ فلز، pH ،مقدار ماده آلی، مقدار و نوع رس، ظرفیت تبادل کاتیونی و رقابت سایر عناصر به ویژه روی در خاک است. محاسبه شاخص تغلیظ جامع فلزات (CBCI) حاکی از آن بود بیشترین میزان تغلیظ جامع فلزات به میزان ۰/۸۸ در میدان و خیابان عدل اندازه‌گیری شد. که این امر نشانگر میزان تجمع بالای فلزات در این ایستگاه‌ها و منابع آلایندگی نقطه و غیر نطقه‌ای بیشتر در خاک مناطق است. یافته‌های سنجش شاخص تجمع فلز (MAI[1]) که به منظور ارزیابی میزان جذب فلزات سنگین هوا از طریق برگ معرفی شده است نشان داد در بیشترین میزان شاخص تجمع از طریق هوا در درختان واقع شده در مناطق شهری (میدان جهاد و سنگی) و شهرک تخصصی جوشکاران بدست آمده است. Lu و همکاران (۲۰۱۰) ، Apeagyei و همکاران (۲۰۱۰) و Uka و همکاران (۲۰۲۱) گزارش نمودند هوای مناطق شهری دارای سطوح بالای فلزات سنگین هستند، که می توانند منشاء ورود این آلاینده‌ها به خاک یا موجودات زنده گیاهی و جانوری در محیط‌های شهری باشند[27-29].

تعیین منشاء فلزات

یافته‌های تعیین منشاء احتمالی فلزات سنگین تجمع یافته در برگ درخت چنار(*Platanus orientalis*) در دو منطقه شهری و صنعتی بیانگر تغییرپذیری بیشتر تجمع فلزات سنگین دارای در مناطق صنعتی نسبت به منطقه شهری می-باشد. از سوی دیگر تجمع فلزات سنگین در دو منطقه شهری و صنعتی دارای همپوشانی بوده که این موضوع نشان از منشا مشترک آلودگی فلزات سنگین در دو منطقه است. نتایج تحلیل مولفه‌های اصلی نشان می‌دهد عامل اول با ۵۳/۱۰ درصد از تغییرپذیری واریانس کل را توضیح می دهد و شامل نیکل و کروم بوده است که این امر نشان می‌دهد منشاء

1. Metal Accumulation Index

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.66224/jehe.14.1.131]

این دو فلز با هم مرتبط است. عامل دوم ۲۶/۶ درصد از کل واریانس را توضیح داده و شامل فلزات سرب، مس بوده است. علاوه بر این یافته‌های نشان داد ارتباط بین تجمع فلزات سنگین سرب، نیکل و مس مثبت و مستقیم می باشد که این امر نشان می‌دهد این فلزات دارای منشاء یکسانی می‌باشند.به طور کلی این فلزات عمدتاً از فعالیت‌های انسانی مانند احتراق سوخت‌های فسیلی، گرد و غبار جاده، گاراژهای تعمیر خودرو و آبیاری درختان با فاضلاب ناشی می‌شوند. وسایل نقلیه منابع اصلی فلزات سنگین موجود در ذرات معلق هوا بوده و عمدتا شامل فلزاتی نظیر سرب، روی، مس، نیکل و آهن هستند که این امر نشان از منشاء تقریبا مشابه این عناصر در محیط‌های شهری می‌باشد[۲۲، ۲۹]. اصولا در محیط‌های شهری یکی از منابع اصلی و مهم ذرات معلق و فلزات سنگین همراه آنها، انتشار گازها و ذرات خروجی و غیر خروجی آلاینده‌های ترافیک جاده‌ای و احتراق زیست‌توده هستند. این ذرات اولیه (گازهای خروجی اگزور) در حین احتراق سوخت تولید می‌شوند؛ در مورد دوم مربوط به سایش لاستیک، ترمز، کلاچ و سطح جاده می‌باشد[۳۰]. اجزای مختلفی مانند فولاد، الیاف شیشه یا پلاستیک معمولاً در لنت ترمز و بدنه سایل نقلیه استفاده می‌شوند، که مقادیر قابل توجهی از Cu، Sb، Ba، Al، Si، Ti، Zn، Ni، Cr و Pb و مقدار کمی Cd را وارد محیط شهری بخصوص در گرد و غبار ناشی از وسایل نقلیه می‌کنند[۳۱، ۳۲]. سایش و آج لاستیک و سایش سطح جاده، منابع فلزات سنگین مختلف بویژه مانند Al، Cu، Fe، Ni و Zn هستند[۳۳]؛ بنابراین، آلودگی فلزات سنگین معمولاً با ترافیک بالاتر در مناطق شهری مرتبط است[۲]. Li و همکاران (۲۰۱۹) بیان داشتند، انواع آلاینده‌های منتشر شده در جوامع انسانی در درجه اول به فعالیت‌های انسانی محلی و شدت حمل و نقل بستگی دارد و فرآیندهای احتراق مرتبط با صنعت و حمل و نقل شهری منبع اصلی قابل توجهی از آلاینده‌ها بویژه در نواحی شهر هستند که از نظر ترکیب شیمیایی این آلاینده‌ها بسیار ناهمگن هستند[۳۴]. از اینرو باتوجه به اینکه در مناطق شهری یاسوج ترافیک و حمل و نقل منبع اصلی آلودگی زیست محیطی بخصوص ذرات معلق و فلزات سنگین می‌باشد، می‌توان بیان کرد منشاء اصلی فلزات سنگین سرب، مس و نیکل یکسان بوده و ناشی از وسایل حمل و نقل، نقلیه موتوری و مواردی نظیر مصرف سوخت و سایش لاستیکهای آنها می باشد. اما در مناطق صنعتی باتوجه به فعالیتها صنعتی متفاوت نظیر صنایع تولید خمیر و کاغذ، تولید فوم، جوشکاری، صنایع تولید قطعات آهنی، بتن آماده، استقرار جایگاه سوخت، تردد و سایل نقلیه، منشأ فلزات می‌تواند از منابع مختلف بسته به نوع شهرک و واحدهای مستقر در آن باشد.

نتایج مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین برگ درخت چنار با مقادیر استانداردهای جهانی کاباتا- پندپاس و پندیاس(Kabata-Pendias- Pendias) نشان داد، در هر سه ناحیه (شهری، صنعتی و شاهد) غلظت فلزات مس و روی در محدوده مجاز استاندارد(کاباتا- پندپاس و پندیاس) بوده است. اما غلظت فلزات سرب و کروم در نواحی صنعتی و شهری نیکل بالاتر از حد مجاز بوده است. قاسمی همکاران(۱۳۹۶) میانگین غلظت فلز نیکل در گونه چنار بیشتر از حد مجاز ارائه شده توسط Kabata و Pendias در پارکهای شهر همدان بدست آوردند[۳۵]. علاوه بر این میانگین مس و نیکل در هر دو گونه در محدوده استاندارد موجود بوده است. که با یافته‌های رومینایی و پاینده(۱۳۹۶)، مرتضوی و همکاران(۱۳۹۸) نیز مطابقت دارند[۳۶، ۳۷].

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.66224/jehe.14.1.131]

جدول ۵. مقایسه غلظت فلزات سنگین در گونه درختی (Platanus orientalis) با محدوده استاندارد کاباتا- پندپاس و پندیاس(Pendias -Kabata-Pendias) برای گیاهان(برحسب میلی گرم بر کیلوگرم)

فلز	نواحی نمونه برداری			محدود مجاز در گیاهان	محدوده بحرانی در گیاهان
	منطقه صنعتی	منطقه شهری	شاهد (پارک)		
سرب	۲۳/۶۴	۱۱/۲۰	۱/۸۵	۰/۱ -۵	۱۰-۱۰۰
مس	۱۴/۴۵	۶/۳۲	۳/۷۳	۰/۲ -۲۰	۳۰-۳۰۰
کروم	۳۱/۰۵	۲۸/۸۹	۵/۴۵	-	-
نیکل	۸/۳۱	۴/۸۱	۱/۱۸	۱-۴۰۰	۱۰۰-۴۰۰

وضعیت سمیت (*درمحدوده مجاز؛ **بالای حد مجاز)

نتیجه گیری

هدف مطالعه حاضر تعیین منشاء غالب و ارزیابی میزان تجمع فلزات سنگین سرب، مس، کروم و نیکل در نواحی شهری و صنعتی شهر یاسوج با استفاده از گونه درختی چنار به عنوان یک پایشگر زیستی می‌باشد. در این راستا براساس نتایج بدست آمده می توان نتیجه گرفت روند تغییرات میانگین کلی غلظت فلزات سنگین برگ در نواحی شهری و صنعتی یکسان و به صورت کروم > سرب >مس > نیکل می‌باشد. میزان تجمع فلزات در برگ درخت چنار و خاکهای سطحی مکانهای مختلف شهری و صنعتی بسته به منشاء آلایندگی، نوع و میزان فعالیتهای انسانی متفاوت است. در نواحی صنعتی(شهرکهای صنعتی) میزان فلزات سنگین تجمع یافته در خاک سطحی و برگ گونه چنار به علت وجود صنایع مختلف با نوع و آلایندگی متفاوت، وجود زون های صنعتی با عملکرد و کاربری گوناگون (زون شیمیایی، کانی فلزی، بازیافت، زون بهداشتی، مواد غذایی و زون کانی های غیر فلزی، سلولزی) تغییرات بیشتری نسبت به نواحی شهری دارند. براساس نتایج تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) می‌توان گفت غلظت فلزات سنگین برگ درخت چنار در دو ناحیه شهری و صنعتی دارای همپوشانی بوده که این امر نشان از منشاء تقریباً یکسان آنها می‌باشد این همبستگی عمدتا، ناشی از انتشار ترافیکی، صنعت حمل و نقل و صنایع مرتبط با مصرف سوخت‌های فسیلی می‌باشد. به طور کلی انواع آلاینده‌های فلزی منتشر شده در درجه اول به میزان و نوع فعالیت‌های انسانی محلی و شدت حمل و نقل بستگی دارد. از این رو پیشنهاد می‌شود به منظور کاهش غلظت فلزات سنگین نواحی مختلف شهری و صنعتی و جلوگیری از خطرات بالقوه آنها در محیط زیست، تمهیدات و مدیریت زیست‌محیطی بسته به منابع آلاینده و ناحیه (اعم از شهری و صنعتی) با تاکید بر مدیریت حمل و نقل شهری و توسعه سوخت‌های سازگار با محیط‌زیست صورت پذیرد.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از فرصت مطالعاتی آقای مسعود حاتمی منش در دانشگاه یاسوج می باشد و نویسندگان تشکر و قدردانی خود را ازدانشگاه یاسوج اعلام می نمایند.

تعارض منافع

نویسندگان این مقاله هیچ تعارض منافعی با یکدیگر ندارند.

حمایت مالی

نویسندگان این مقاله اعلام می نمایند این پژوهش پشتیبان مالی نداشته است.

ملاحظات اخلاقی

در این پژوهش از نمونه های انسانی یا حیوانات آزمایشگاهی استفاده نشده است.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.66224/jehe.14.1.131]

مشارکت نویسندگان

نمونه برداری، آنالیز، تجزیه و تحلیل ، نگارش، نرم افزار: مسعود حاتمی منش

مدیریت پروژه ، نظارت، راهنمایی، ویرایش نهایی: علی مرادی

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.66224/jehe.14.1.131]

References

1. Yang Q, Guo J, Wang D, Yu Y, Dou W, Liu Z, et al. Occurrence of Trace Heavy Metals in Leaves of Urban Greening Plants in Fuxin, Northeast China: Spatial Distribution & Plant Purification Assessment. Sustainability. 2022;14(14):8445.
2. Bierza K, Bierza W. The effect of industrial and urban dust pollution on the ecophysiology and leaf element concentration of Tilia cordata Mill. Environmental Science and Pollution Research. 2024;31(48):58413-29.
3. Hrotkó K, Gyeviki M, Sütöriné DM, Magyar L, Mészáros R, Honfi P, et al. Foliar dust and heavy metal deposit on leaves of urban trees in Budapest (Hungary). Environmental geochemistry and health. 2021;43(5):1927-40.
4. Isinkaralar O, Isinkaralar K, Ambade B. Assessment of societal health risks: spatial distribution and potential hazards of toxic metals in street dust across diverse communities. Water, Air, & Soil Pollution. 2024;235(5):302.
5. Mohtadi A, Hatami-Manesh M. Assessment of resistance and biochemical responses of tree species as a biomonitor of heavy metals pollution in an urban-industrial setting (Yasouj, Iran). Chemosphere. 2025;378:144402.
6. Elkaee S, Shirvany A, Moeinaddini M, Sabbagh F. Assessment of particulate matter, heavy metals, and carbon deposition capacities of urban tree species in Tehran, Iran. Forests. 2024;15(2):273.
7. Isinkaralar K, Isinkaralar O, Koç İ, Özel HB, Şevik H. Assessing the possibility of airborne bismuth accumulation and spatial distribution in an urban area by tree bark: A case study in Düzce, Türkiye. Biomass conversion and biorefinery. 2024;14(18):22561-72.
8. Sawidis T, Breuste J, Mitrovic M, Pavlovic P, Tsigaridas K. Trees as bioindicator of heavy metal pollution in three European cities. Environmental pollution. 2011;159(12):3560-70.
9. Vasile D, Enescu R, Apafaian A, Coman S, Scarlatescu V, Crisan V. Bioaccumulation of long-term atmospheric heavy metal pollution within the Carpathian arch: monumental trees and their leaves memoir. iForest-Biogeosciences and Forestry. 2024;17(6):370.
10. Teiri H, Pourzamani H, Hajizadeh Y. Phytoremediation of VOCs from indoor air by ornamental potted plants: a pilot study using a palm species under the controlled environment. Chemosphere. 2018;197:375-81.
11. Xu J, Jing B, Zhang K, Cui Y, Malkinson D, Kopel D, et al. Heavy metal contamination of soil and tree-ring in urban forest around highway in Shanghai, China. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal. 2017;23(7):1745-62.
12. Mezghani I, Trabelsi L, Touiti R, Abdallah FB, Rouina BB, Elloumi N. Comparative responses of Hibiscus rosa-sinensis L. and Ficus microcarpa L. to industrial air pollution: implications for biomonitoring and urban greening in contaminated environments. Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration. 2026;11(2):74.
13. Jorjani S, Karakaş FP. Physiological and biochemical responses to heavy metals stress in plants. International Journal of Secondary Metabolite. 2024;11(1):169-90.
14. Hassan RF, Jeber JN, Kareem FT. Determination of some heavy metals concentrations in green and yellow wheat crops from Iraqi fields: a comparative analysis of heavy metal accumulation. Environmental Monitoring and Assessment. 2025;197(5):1-14.
15. Yap C, Ismail A, Tan S, Omar H. Correlations between speciation of Cd, Cu, Pb and Zn in sediment and their concentrations in total soft tissue of green-lipped mussel Perna viridis from the west coast of Peninsular Malaysia. Environment international. 2002;28(1-2):117-26.
16. MR C, EG. G. Soil sampling and methods of analysis: . CRC press. 2007.
17. Zhao X, Liu J, Xia X, Chu J, Wei Y, Shi S, et al. The evaluation of heavy metal accumulation and application of a comprehensive bio-concentration index for woody species on contaminated sites in Hunan, China. Environmental Science and Pollution Research. 2014;21(7):5076-85.
18. Liu Y-J, Zhu Y-G, Ding H. Lead and cadmium in leaves of deciduous trees in Beijing, China: development of a metal accumulation index (MAI). Environmental Pollution. 2007;145(2):387-90.
19. Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. Water research. 1980;14(8):975-1001.
20. Ali MM, Ali ML, Islam MS, Rahman MZ. Preliminary assessment of heavy metals in water and sediment of Karnaphuli River, Bangladesh. Environmental nanotechnology, monitoring & management. 2016;5:27-35.
21. Weinmayr G, Pedersen M, Stafoggia M, Andersen ZJ, Galassi C, Munkenast J, et al. Particulate matter air pollution components and incidence of cancers of the stomach and the upper aerodigestive tract in the European Study of Cohorts of Air Pollution Effects (ESCAPE). Environment international. 2018;120:163-71.
22. Pavlović M, Rakić T, Pavlović D, Kostić O, Jarić S, Mataruga Z, et al. Seasonal variations of trace element contents in leaves and bark of horse chestnut (Aesculus hippocastanum L.) in urban and industrial regions in Serbia. Archives of Biological Sciences. 2017;69(2):201-14.
23. Solgi E, Abbasitabar H, Hasanvand F, Bakhshi F. Spatial distribution and risk assessment of heavy metals in soil and leaf of pistachio trees (Case Study: Kabootar Khaneh-Rafsanjan). Iranian Journal of Forest. 2024;16(2):243-56.
24. Kleckerova A, Docekalová H. Dandelion plants as a biomonitor of urban area contamination by heavy metals. 2014.
25. Badamasi H. Urban roadside trees as eco-sustainable filters of atmospheric pollution: A review of recent evidence from atmospheric trace elements deposition. New Paradigms in Environmental Biomonitoring Using Plants. 2022:73-94.
26. Ma LQ, Komar KM, Tu C, Zhang W, Cai Y, Kennelley ED. A fern that hyperaccumulates arsenic. Nature. 2001;409(6820):579-.
27. Uka UN, Belford EJ, Elebe FA. Effects of road traffic on photosynthetic pigments and heavy metal accumulation in tree species of Kumasi Metropolis, Ghana. SN Applied Sciences. 2021;3(1):131.
28. Lu X, Wang L, Li LY, Lei K, Huang L, Kang D. Multivariate statistical analysis of heavy metals in street dust of Baoji, NW China. Journal of hazardous materials. 2010;173(1-3):744-9.
29. Apeagyei E, Bank MS, Spengler JD. Distribution of heavy metals in road dust along an urban-rural gradient

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.66224/jehe.14.1.131]

in Massachusetts. Atmospheric Environment. 2011;45(13):2310-23.
30. Piscitello A, Bianco C, Casasso A, Sethi R. Non-exhaust traffic emissions: Sources, characterization, and mitigation measures. Science of the Total Environment. 2021;766:144440.
31. Sinha A, Ischia G, Menapace C, Gialanella S. Experimental characterization protocols for wear products from disc brake materials. Atmosphere. 2020;11(10):1102.
32. Adamiec E, Jarosz-Krzemińska E, Wieszała R. Heavy metals from non-exhaust vehicle emissions in urban and motorway road dusts. Environmental monitoring and assessment. 2016;188(6):369.
33. Panko J, Kreider M, Unice K. Review of tire wear emissions: a review of tire emission measurement studies: identification of gaps and future needs. Non-exhaust emissions. 2018:147-60.
34. Li C, Wang Z, Li B, Peng Z-R, Fu Q. Investigating the relationship between air pollution variation and urban form. Building and Environment. 2019;147:559-68.
35. Ghasemi Aghbash F, Mortazavi S, Naderi R. Distribution of Heavy Metals in Leaf and Bark of Trees Used in Urban Forestry of Hamadan. Environmental Researches. 2020;10(20):105-14.
36. Romiayei L pK. Study of heavy metal accumulation in water, surface sediment and 4 aquatic plant species of Karkheh River. Wetland Ecobiology. 2017;9(3):69-84.
37. 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.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.66224/jehe.14.1.131]