Research Article

Iranian Journal of Wood and Paper Industries
Vol. 17, No. 1, Page 85 - 99 (2026)

DOI: 10.22034/ijwp.2025.2076814.1736

Investigating of the heavy metals accumulation in the bark of woody species planted in green spaces of Isfahan city

B. Kord[1*], S. Pourabbasi[2], A. Samariha[3]

1- Corresponding authors, Department of Green Space Engineering, M.C., Islamic Azad University, Malayer, Iran. Email: behrouz.kord@iau.ac.ir
2- Department of Wood Science and Paper Technology, M.C., Islamic Azad University, Malayer, Iran
3- Department of Engineering Sciences, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran

Received: November 2025 Accepted: December 2025

Abstract

Problem definition and objectives: Heavy metals are persistent environmental pollutants that are mainly researched for the purpose of biological monitoring and removal from the environment. Today, the ability of plants to absorb, accumulates, and degrades pollutants or biomarkers are used to assess polluted environments. In addition, choosing species that can adapt to polluted environmental conditions is of great importance. The study aimed to investigate the accumulation of heavy metals such as lead, zinc, copper, chromium, nickel, and cadmium in the bark of the Ash (*Fraxinus rotundifolia* Mill.), Elm tree (*Ulmus carpinifolia var umbraculifera* Rehd.), Plantain tree (*Platanus orientalis* L.), Pine (*Pinus Eldarica* Medw.) and Cypress (*Cupressus arizonica* Greene.) trees in the green space of Isfahan city.

Methodology: For this purpose, Chahar Bagh Street in the city center was considered as a contaminated site and Fadak Forest Park on the outskirts of the city was considered as a control site and Considering the main wind direction, a transect of 1800 meters was selected and tree bark sampling was done in the form of a systematic randomness statistical design in three repetitions. A total of 90 tree bark samples were prepared, which after initial preparation and the concentration of heavy metals in them was measured using the device Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry was measured. Statistical analyses were performed using SPSS version 19 software, and the analysis of variance test was used to investigate the significance of the effect of stations and tree species on heavy metal concentrations, Duncan's test was used to compare means, and Pearson's correlation coefficient was used to determine the relationship between element concentrations in tree bark at a 95% confidence level.

Results: The results showed that the concentration of heavy metals in the environment (air and soil) in the contaminated site was higher than in the control site. In addition, the concentration of heavy metals in the bark of trees in the contaminated habitat was significantly higher than in the control site and in order, Elm < Ash < Plantain tree < Cypress < Pine show an increase. Meanwhile, the results of the analysis of variance test showed that the effect of site on the accumulation of heavy metal concentrations in tree bark had a significant difference. Duncan's test also classified the average concentration of heavy metals in tree bark into different groups. In such a way that the concentration of elements is in the order of lead > cadmium > zinc > nickel > copper > chromium and the highest amount of lead metal and the bark of Pine trees in the contaminated site with 95.75 mg/kg and the lowest amount of chromium metal and elm tree bark

was in the control site with 0.21 mg/kg. Pearson correlation analysis also indicates that lead and cadmium had the highest correlation among the elements studied.

Conclusion: Given that the concentration of heavy metals in the bark of Pine, Cypress, and Plantain tree was significantly higher than that of other trees studied, Therefore, the bark of these trees is a suitable indicator for tracking heavy metals and can be used as a biological indicator of pollution caused by these metals to assess environmental quality.

Keywords: Tree Bark, Heavy Metals, Mass Spectrometry, Urban Green Space, Isfahan.

بررسی تجمع فلزات سنگین در پوست گونه¬های چوبی کاشته شده در فضای سبز شهر اصفهان

بهروز کُرد[۱*]، سارا پورعباسی[۲]، احمد ثمریها[۳]

۱- نویسنده مسئول، گروه مهندسی فضای سبز، واحد ملایر، دانشگاه آزاد اسلامی، ملایر، ایران. رایانامه: behrouz.kord@iau.ac.ir
۲- گروه صنایع چوب و کاغذ، واحد ملایر، دانشگاه آزاد اسلامی، ملایر، ایران.
۳- گروه علوم مهندسی، دانشگاه ملی مهارت، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: آبان ۱۴۰۴ تاریخ پذیرش: دی ۱۴۰۴

چکیده

بیان مساله و اهداف: فلزات سنگین از آلاینده‌های پایدار محیط هستند که انجام تحقیقات در خصوص آن‌ها عمدتاً با هدف پایش زیستی و حذف از محیطزیست صورت می‌گیرد. امروزه از توانایی گیاهان برای جذب، انباشت و تجزیه آلاینده‌ها، یا به عنوان نشانگرهای زیستی به منظور ارزیابی محیط‌های آلوده استفاده می‌شود و بر این اساس انتخاب گونه‌هایی با قابلیت تطابق با شرایط محیطی آلوده، از اهمیت بالایی برخوردار است. این تحقیق با هدف بررسی میزان تجمع فلزات سنگین سرب، روی، مس، کروم، نیکل و کادمیوم در پوست درختان زبان‌گنجشک، نارون، چنار، کاج تهران و سرو نقره‌ای در محدوده فضای سبز شهر اصفهان صورت پذیرفت.

مواد و روشها: برای این منظور خیابان چهار باغ در مرکز شهر به عنوان منطقه آلوده و پارک جنگلی فدک در حاشیه شهر به عنوان منطقه شاهد در نظر گرفته شدند؛ و با توجه به جهت باد غالب، یک ترانسکت به طول ۱۸۰۰ متر انتخاب و نمونه‌برداری از پوست درختان در قالب طرح آماری تصادفی سیستماتیک در سه تکرار انجام پذیرفت. در مجموع تعداد ۱۸۰ نمونه از پوست درختان تهیه شد که پس از آماده‌سازی اولیه، میزان غلظت فلزات سنگین موجود در آن‌ها با استفاده از دستگاه طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت‌شده القایی اندازه‌گیری شد. تجزیه و تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۹ انجام شد و از آزمون تجزیه واریانس برای بررسی معنی‌دار بودن تأثیر منطقه و گونه‌های درختی بر روی غلظت فلزات سنگین، از آزمون دانکن برای مقایسه میانگین‌ها و از ضریب همبستگی پیرسون برای تعیین رابطه بین غلظت عناصر در پوست درختان در سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده گردید.

نتایج: نتایج نشان داد میزان غلظت فلزات سنگین در پوست درختان در منطقه آلوده به طور معنی‌داری بیشتر از منطقه شاهد بوده و به ترتیب در نارون< زبان‌گنجشک< چنار< سرو نقره‌ای< کاج تهران افزایش نشان می‌دهد. نتایج آزمون تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر منطقه بر انباشتگی غلظت فلزات سنگین در پوست درختان دارای اختلاف معنی‌دار است. آزمون دانکن نیز میانگین غلظت فلزات سنگین در پوست درختان را در گروه‌های مختلف طبقه‌بندی نمود به نحوی که مقدار غلظت عناصر به ترتیب سرب > کادمیوم >روی > نیکل > مس > کروم بوده و بیشترین مقدار مربوط به فلز سرب و پوست درختان کاج تهران در منطقه آلوده با ۹۵/۷۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم و کمترین مقدار مربوط به فلز کروم و پوست درختان نارون در منطقه شاهد با ۰/۲۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. تجزیه و تحلیل همبستگی پیرسون بین فلزات سنگین در پوست درختان نیز نشان داد که سرب و کادمیوم بیشترین همبستگی را در بین عناصر مورد بررسی دارند.

نتیجه‌گیری: با توجه به اینکه غلظت فلزات سنگین در پوست درختان کاج تهران، سرو نقره‌ای و چنار به طور معنی‌داری بیشتر از سایر درختان مورد مطالعه بوده است، لذا پوست این درختان شاخص مناسبی برای ردیابی فلزات سنگین بوده و می‌توان از آن‌ها به عنوان شاخص زیستی آلودگی ناشی این فلزات به منظور ارزیابی کیفیت محیط زیست استفاده نمود.

واژه های کلیدی: پوست درختان، فلزات سنگین، طیف‌سنج جرمی، فضای سبز شهری، اصفهان.

مقدمه

در سال‌های اخیر توسعه چشمگیر شهرنشینی همراه با افزایش جمعیت و مساحت شهرها سبب بروز مشکلات مختلف زیست‌محیطی، تخریب منابع طبیعی و کاهش سطح فضاهای سبز و به تبع آن افزایش نیاز شهروندان به محیط‌زیست سالم‌تر شده است [۱]. فلزات سنگین از آلاینده‌های خطرناک زیست‌محیطی هستند که برای مدّت‌ها در محیط باقی مانده و سبب برهم خوردن تعادل اکوسیستم و تهدید حیات موجودات زنده می‌شوند [۲]. این فلزات که بیشتر آن‌ها حتی در مقادیر کم، سمّی و خطرناک می‌باشند از طریق احتراق ناقص سوخت‌های فسیلی، استخراج معادن، تصفیه سنگ‌های حاوی فلزات، فاضلاب‌های شهری و ترکیبات شیمیایی به بیوسفر وارد شده و بر روی سطح خاک قرار می‌گیرند [۳]. آلودگی خاک به عناصر سنگین یکی از مهم‌ترین مشکلات زیست-محیطی در جهان محسوب می‌شود. میزان این فلزات در خاک تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند سنگ مادر، منابع آلاینده صنعتی، کودهای شیمیایی مورد استفاده در کشاورزی و پساب‌های صنعتی و شهری بوده که با توجه به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و شرایط محیطی، روند تجمع و انباشت آن‌ها در لایه‌های خاک متفاوت است. ضمن اینکه جابجایی عناصر سنگین در محیط خاک تابعی از اسیدیته، میزان رس، مواد آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی می‌باشد [۴]. سرب از طریق صنایع باطری‌سازی، افزودنی‌های رنگ، حشره‌کش‌ها، کودهای شیمیایی و لحیم‌کاری [۵]، روی از طریق صنایع خودروسازی، باطری‌سازی و ریخته‌گری [۶] و مس از طریق صنایع فولاد، رنگ، سرامیک و برق [۷] وارد محیط‌زیست می-گردند. این در حالی است که کروم از طریق صنایع فلزی، تولید سیمان، تولید رنگ و متالوژی [۸]، نیکل از طریق صنایع فولاد، آلیاژهای غیر آهنی، ریخته‌گری و باطری-سازی [۹] و کادمیوم از طریق استهلاک تایر خودروها، انتشار ترافیکی، صنایع فلزی و مراکز دفن زباله [۱۰] به محیط‌های شهری وارد می‌شوند. به طور کلی هر چه غلظت فلزات سنگین در خاک افزایش می‌یابد، مقدار قابل دسترس آن‌ها برای گیاهان نیز افزایش خواهد یافت. برخی از فلزات سنگین نظیر روی، مس و نیکل در مقادیر کم به عنوان عناصر کم‌مصرف برای رشد گیاهان لازم و ضروری هستند و به وسیله ریشه از خاک جذب می‌شوند در حالی که عناصری مانند سرب و کادمیوم اگر چه در واکنش‌های فیزیولوژیک گیاهان کارکرد مشخصی نداشته ولیکن به علت شباهت شیمیایی با عناصر ضروری امکان جذب آن‌ها توسط گیاهان وجود دارد [۱۱].

یکی از مناسب‌ترین، کاربردی‌ترین و اقتصادی‌ترین روش‌های پایش محیط‌های آلوده به فلزات سنگین، استفاده از نشانگرهای زیستی است. امروزه از گیاهان و درختان به منظور پایش زیستی آلاینده‌ها در بررسی محیط‌های آلوده استفاده می‌گردد [۱۲]. از جمله نشانگرهای گیاهی می‌توان به خزه‌ها، گلسنگ‌ها، گیاهان آوندی و گیاهان چوبی اشاره نمود [۱۳]. البته درختان نقش مؤثرتری در جذب فلزات سنگین موجود در محیط-های شهری داشته و می‌توانند مناطق مسکونی و مراکز تجمع انسانی را در مقابل اثرات نامطلوب آن‌ها محافظت نمایند ضمن اینکه یکی از اصول جنگلداری شهری و ایجاد فضاهای سبز شهری استفاده از گونه‌های درختی و درختچه‌ای مقاوم به آلاینده‌های محیطی است که در تصفیه هوا، آب و خاک نقش بسزایی دارند [۱۴]. پوست درختان به عنوان نوعی شاخص زیستی است که در مناطق آلوده به ویژه در خصوص آلودگی هوا و خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد و مزیت کاربرد آن بر سایر بخش-های درختان از جمله برگ و میوه این است که در طول سال در دسترس بوده و قابل نمونه‌برداری است [۱۵]. فلزات سنگین موجود در محیط می‌توانند در پوست درختان تجمع یابند که این موضوع به ویژگی‌هایی از جمله سرعت رشد، سطح کافی و شیره چسبنده پوست برخی از درختان که قابلیت جذب بالایی دارند، بستگی دارد [۱۶]. بر این اساس برخی از محققان در پژوهش‌های خود از پوست درختان به عنوان پایشگر زیستی استفاده کرده‌اند.

فضاهای سبز و پارک‌های شهری به دلیل تنوع گونه-های چوبی با قابلیت‌های متفاوت، نقش مهمی در پالایش آلودگی‌های محیطی ایفاء می‌کنند. این تحقیق با هدف

بررسی میزان تجمع فلزات سنگین سرب، روی، مس، کروم، نیکل و کادمیوم در پوست درختان زبان‌گنجشک (*Fraxinus rotundifolia* Mill.)، نارون (*Ulmus carpinifolia var umbraculifera* Rehd.)، چنار (*Platanus orientalis L.*)، کاج تهران (*Pinus Eldarica* Medw.) و سرو نقره‌ای (*Cupressus arizonica Greene*.) در محدوده فضای سبز شهر اصفهان صورت پذیرفت.

مواد و روش‌ها

شهر اصفهان در محدوده جغرافیایی در ″۰۳ ′۴۰ °۵۱ طول شرقی و ″۴۱ ′۳۸ °۳۲ عرض شمالی و در ارتفاع ۱۵۷۰ متر از سطح دریای آزاد واقع شده است [۱۷]. بر اساس آمارهای ایستگاه هواشناسی سینوپتیک فرودگاه شهید بهشتی، میانگین بارندگی سالیانه ۱۲۷ میلی‌متر، متوسط حرارت سالیانه ۱۶/۱ درجه سانتی‌گراد و اقلیم منطقه خشک سرد می‌باشد [۱۸].

با استفاده از گزارش‌های اداره کل حفاظت محیط-زیست استان اصفهان [۱۹]، شهرداری اصفهان [۲۰] و انجام نمونه‌برداری از هوا، خیابان چهار باغ در مرکز شهر به عنوان منطقه آلوده و پارک جنگلی فدک در حاشیه شهر به عنوان منطقه شاهد در نظر گرفته شدند. سپس گونه‌های درختی زبان‌گنجشک، نارون، چنار، کاج تهران و سرو نقره‌ای که به صورت غالب و مشترک در بین دو منطقه وجود داشتند، به عنوان گونه‌های مورد مطالعه انتخاب شدند. در شهریور سال ۱۴۰۳ و در هر منطقه با توجه به جهت باد غالب، یک ترانسکت به طول ۱۸۰۰ متر انتخاب و نمونه‌برداری از پوست درختان در قالب طرح آماری تصادفی سیستماتیک در سه تکرار صورت پذیرفت. برای نمونه‌گیری، از هرگونه درختی تعداد بیست پایه هم-سن (حدود ۲۰ تا ۲۵ سال) انتخاب و از چهار جهت جغرافیایی در ارتفاع ۱/۳۰ متری از سطح زمین با استفاده از چاقوی فلزی استریل شده، نمونه پوست (از هر طرف حدود ۵۰ گرم) تهیه شد. با در نظر گرفتن منطقه، گونه-های درختی، فلزات سنگین و تکرار آماربرداری، تعداد ۱۸۰ نمونه تهیه شد و نمونه‌های پوست هر یک از گونه-های درختی در کیسه‌های پلاستیکی جمع‌آوری و پس از کُدگذاری به آزمایشگاه انتقال داده شدند. در آزمایشگاه نمونه‌ها سه مرتبه با آب مقطر شسته شده و در آون تهویه دار به مدت ۴۸ ساعت و در حرارت ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک گردیدند. سپس نمونه‌های خشک شده به‌وسیله آسیاب برقی پودر شده و از الک پلاستیکی ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. برای عصاره‌گیری به روش هضم، از ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک در حرارت ۹۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱ ساعت استفاده شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۲ ساعت در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۴ ساعت در دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. در نهایت به نمونه‌ها ۲ میلی‌لیتر هیدروژن پراکسید اضافه و پس از گرما دادن، محلول شفاف تهیه شده از کاغذ صافی واتمن عبور داده شد و به حجم ۵ میلی‌لیتر رسانده شد. پس از صاف کردن عصاره‌ها، غلظت فلزات سرب، روی، مس، کروم، نیکل و کادمیوم موجود در نمونه‌های پوست درختان به‌وسیله دستگاه طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت‌شده القایی پرکین المر مدل ELAN 6100DRC-e اندازه‌گیری شد [۲۱].

در هر منطقه، نمونه‌برداری هوا در ماه‌های تیر، مرداد و شهریور به صورت هر دو هفته یک‌بار برای مدت ۲۴ ساعت با استفاده از دستگاه مکش هوا که بر روی ساختمان‌های مرتفع در هر منطقه (با ارتفاع تقریبی حدود ۱۰ متر) قرار داده شده بود، انجام شد. با انتقال فیلترهای نمونه‌گیری به آزمایشگاه، مواد آلاینده روی فیلترها با روش هضم اسیدی استخراج و میزان غلظت فلزات سنگین موجود در هر یک از نمونه‌ها با استفاده از دستگاه طیف‌سنج جذب اتمی مجهز به کوره گرافیتی مدل WFX-120A تعیین شد [۲۲].

همچنین در هر منطقه، نمونه‌برداری از خاک پس از تمیز کردن سطح زیر درختان به ابعاد ۲۰ × ۲۰ سانتی‌متر در دو عمق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متری (منطقه فعال ریشه) انجام پذیرفت. در آزمایشگاه علاوه بر تعیین مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک، نمونه‌ها در دمای محیط خشک و به‌وسیله چکش پلاستیکی کوبیده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. سپس از هر نمونه به میزان ۰/۲ گرم توزین و بعد از هضم با اسید نیتریک ۵ نرمال، غلظت فلزات سنگین سرب، روی، مس، کروم، نیکل و کادمیوم به‌وسیله دستگاه جذب اتمی پرکین المر مدل ۳۰۳۰ تعیین گردید [۲۳].

تجزیه و تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۹ انجام شد. برای این منظور از آزمون کولموگروف- اسمیرنوف برای سنجش نرمال بودن داده‌ها، از آزمون تجزیه واریانس برای بررسی معنی‌دار بودن تأثیر منطقه و گونه‌های درختی بر روی غلظت فلزات سنگین، از آزمون دانکن برای مقایسه میانگین‌ها و از ضریب همبستگی پیرسون برای تعیین رابطه بین غلظت عناصر در پوست درختان در سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده گردید.

نتایج و بحث

نتایج نشان داد که غلظت فلزات سنگین در هوا در شهریور ماه در منطقه آلوده دارای بیشترین مقدار و در تیر ماه در منطقه شاهد دارای کمترین مقدار بوده است و به ترتیب شامل کروم > مس > نیکل > روی > کادمیوم > سرب می‌باشد (جدول۱). وجود اختلاف معنی‌دار بین غلظت این عناصر در اتمسفر در منطقه‌های مورد مطالعه را می‌توان با حجم ترافیک، پارامترهای خیابانی و تراکم منابع آلاینده صنعتی مختلف در شعاع ۵۰ کیلومتری شهر مرتبط دانست. Coelho و همکاران (۲۰۰۵) و Wangو همکاران (۲۰۲۱) جریان ترافیکی (تعداد خطوط حرکت و سرعت، حجم و چگالی جریان ترافیک) را از عوامل مهم انتشار آلاینده‌های خودرویی در محیط عنوان نمودند [۲۴ و۲۵]. Mahmoudi و Ahmadi Nadoushan (۲۰۲۲) دلایل مهم تجمع ذرات و غبارهای معلق در شهر اصفهان را تردد خودرو، حجم ترافیک و وجود مناطق صنعتی، معادن و کوره‌های گچ و آجرپزی در مناطق شرقی شهر عنوان نمودند که به کمک بادهای غالب غربی به شهر هدایت می‌شوند [۲۶]. Johansson و همکاران (۲۰۰۹) پارامترهای خیابانی نظیر طول، شیب، عرض و جهت معابر و عمر خیابان را از مهم‌ترین علل افزایش غلظت فلزات سنگین در مناطق شهری عنوان نمودند [۲۷].

نتایج بررسی مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک در منطقه‌های مورد مطالعه نشان داد که نمونه‌های خاک آهکی با بافت عمدتاً لومی رسی می‌باشند. همچنین درصد کربن آلی و مواد آلی نمونه‌های خاک در منطقه شاهد از مقدار مناسبی برخوردار بوده ضمن اینکه میزان ازت کل و فسفر در منطقه شاهد در حد قابل قبول و در منطقه آلوده دارای مقادیر پایین بوده‌اند (جدول۲). نتایج حاکی از آن است که میزان غلظت فلزات سنگین در عمق‌های مختلف خاک در منطقه‌های مورد مطالعه دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشد. به نحوی که در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری در منطقه آلوده دارای بیشترین مقدار بوده است و به ترتیب کروم > مس > نیکل > روی > کادمیوم > سرب افزایش نشان می‌دهد (جدول۳). وجود اختلاف معنی‌دار بین غلظت این عناصر در عمق‌های مختلف خاک در منطقه-های آلوده و شاهد را می‌توان به وجود ترافیک به عنوان منبع مهم در بروز آلودگی فلزات سنگین در حاشیه خیابان‌ها و میزان غلظت عناصر سنگین در خاک و تغییر خواص فیزیکی و شیمیایی خاک مانند وجود ذرات رسی، pH و غلظت کل و قابل‌جذب عناصر در خاک ارتباط داد. Samani Majd و همکاران (۲۰۰۷) و Tabibian و همکاران (۲۰۱۹) آلودگی خاک حاشیه خیابان‌های شهری به فلزات سنگین را به طور مشخص به منشأ خودرویی و ترافیکی نسبت داده و اظهار داشتند که غلظت فلزات با افزایش فاصله از لبه خیابان به صورت لگاریتمی کاهش می‌یابد [۲۸ و۲۹]. Marry و همکاران (۱۹۹۶) به این نکته اشاره نمودند که کلوئیدهای رسی موجود در سطح خاک با جذب عناصر سنگین، مانع آبشویی و انتقال آن‌ها به لایه‌های پایین خاک شده و به همین دلیل میزان جذب عناصر توسط گیاهان افزایش می‌یابد [۳۰]. Coupe و همکاران (۲۰۱۳) در تحقیقات خود به رابطه معکوس دسترسی گیاهان به فلزات سنگین با pH خاک اشاره نمودند به نحوی که با کاهش pH، رسوب عناصر فلزی به صورت هیدروکسیدها و کربنات‌های نامحلول و کمپلکس-های آلی کاهش یافته و قابلیت جذب فلزات موجود در خاک برای گیاهان افزایش می‌یابد [۳۱]. Paz-Ferreiro و همکاران (۲۰۱۲) اظهار داشتند که مقدار کل و قابل‌جذب فلزات سنگین در خاک بر مقدار جذب آن‌ها به‌وسیله گیاهان تأثیر دارند [۳۲]، ضمن اینکه Dinu و همکاران (۲۰۲۰) مقدار عناصر سنگین جابجا شده در محیط خاک را تابعی از اسیدیته و میزان ذرات رس دانستند [۳۳].

جدول۱- میزان غلظت فلزات سنگین (ppb) در هوا

زمان	منطقه	عنصر					
		سرب	روی	مس	کروم	نیکل	کادمیوم
تیر	آلوده	b۱۴/۲۶	b۵/۲۳	b۲/۳۷	b۰/۷۲	b۳/۵۶	b۷/۴۷
	شاهد	a۲/۹۴	a۱/۳۱	a۰/۴۸	a۰/۱۵	a۰/۷۵	a۱/۴
مرداد	آلوده	b۱۴/۹۳	b۴/۹۹	b۲/۵	b۰/۷۵	b۳/۷۴	b۷/۴۸
	شاهد	a۳/۴۳	a۱/۵۱	a۰/۵۶	a۰/۱۷	a۰/۸۶	a۱/۷۲
شهریور	آلوده	b۱۶/۴۳	b۵/۵۴	b۲/۷۴	b۰/۸۲	b۴/۱۸	b۸/۲۲
	شاهد	a۴/۵۶	a۱/۵	a۰/۷۶	a۰/۲۳	a۱/۱۳	a۲/۲۷

حروف مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد است.

جدول۲- مشخصات فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک در منطقه‌های مورد مطالعه

منطقه	عمق (سانتی‌متر)	رس ٪	سیلت ٪	شن ٪	بافت	شوری (ds/m)	اسیدیته	آهک ٪	مواد آلی ٪	کربن آلی ٪	پتاسیم (ppm)	ازت کل ٪	فسفر (ppm)
آلوده	۰-۱۰	۴۵/۹	۳۲/۸	۲۱/۳	رسی	۰/۴۲	۷/۹۱	۱۵/۵۳	۰/۸۵	۰/۵۲	۲۶۰	۰/۳۴	۵/۲
	۱۰-۲۰	۴۴/۲	۳۱/۵۴	۲۴/۲۶	رسی	۰/۳۹	۷/۴۲	۱۷/۰۶	۰/۷۸	۰/۴۱	۲۷۰	۰/۲۸	۵/۵
شاهد	۰-۱۰	۳۱/۵	۳۷/۳	۳۲/۲	لومی	۰/۵۰	۷/۸۷	۱۸/۹۵	۱/۱۳	۰/۹۸	۲۹۵	۰/۴۳	۱۱/۲
	۱۰-۲۰	۲۴/۶۴	۴۴/۲	۳۱/۱۶	لومی	۰/۴۲	۷/۶۲	۲۰/۱۵	۰/۸۲	۰/۷۶	۲۶۵	۰/۵۲	۱۱/۴

جدول۳- میزان غلظت فلزات سنگین (ppm) در خاک

منطقه	عمق (سانتی‌متر)	سرب	روی	مس	کروم	نیکل	کادمیوم
آلوده	۰-۱۰	b۱۷/۵۴	b۵/۶	b۲/۹۱	b۰/۸۸	b۴/۳۷	b۸/۶
	۱۰-۲۰	a۶/۰۲	a۱/۹۷	a۱/۰۱	a۰/۲۹	a۱/۴۹	a۲/۹۳
شاهد	۰-۱۰	b۳/۵۱	b۱/۱۸	b۰/۶	b۰/۱۹	b۰/۸۹	b۱/۷۸
	۱۰-۲۰	a۲/۰۹	a۰/۷۱	a۰/۳۵	a۰/۱	a۰/۵۳	a۱/۰۴

حروف مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد است.

نتایج حاصل از آزمون تجزیه واریانس نشان داد که اثر گونه درختی، منطقه و نیز تأثیر متقابل این دو پارامتر بر غلظت سرب، روی، نیکل و کادمیوم در سطح اطمینان ۹۹ درصد و مس و کروم در سطح اطمینان ۹۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشد (جدول۴). همچنین نتایج حاکی از آن است که میزان غلظت فلزات سنگین در پوست درختان در منطقه آلوده بیشتر از منطقه شاهد بوده و به ترتیب نارون< زبان‌گنجشک< چنار< سرو نقره‌ای< کاج تهران افزایش نشان می‌دهد. با توجه به اینکه میانگین‌های مربوط به انباشت هر عنصر در پوست درختان در منطقه آلوده و شاهد پس از تأیید همگنی واریانس‌ها از طریق آزمون دانکن با یکدیگر مقایسه شدند، نتایج نشان داد مقدار غلظت عناصر در پوست درختان به ترتیب سرب > کادمیوم >روی > نیکل > مس > کروم بوده است به نحوی که بیشترین مقدار مربوط به فلز سرب و پوست درختان کاج تهران در منطقه آلوده با ۹۵/۷۵ میلی‌گرم بر

کیلوگرم و کمترین مقدار مربوط به فلز کروم و پوست درختان نارون در منطقه شاهد با ۰/۲۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد ($p<0.05$) (جدول۵). دلیل این موضوع را می‌توان با توانایی درختان در جذب عناصر سنگین از خاک و انتقال آن‌ها از ریشه به اندام هوایی و وجود ذرات معلق در هوا و آلودگی خاک مرتبط دانست. Saarela و همکاران (۲۰۰۵) اظهار داشتند که در فرآیند گیاه‌پالایی، انتقال فلزات سنگین از ریشه به اندام هوایی و تجمع در ساقه و در نهایت انتقال به پوست صورت می‌گیرد [۳۴].

Kousehlarو Widom (۲۰۱۹) از دلایل جذب ذرات در پوست درختان، به نوع سطح و تخلخل پوست اشاره نمودند به طوری که درختان دارای پوست خشن، سطح ویژه بیشتری نسبت به درختان دارای پوست صاف برای جذب ذرات گرد و غبار حاوی فلزات سنگین از هوا دارند [۳۵]. Pilon-Smits (۲۰۰۵) و Kafle و همکاران (۲۰۲۲) در تحقیقات خود به این نکته اشاره نمودند که سرب و کادمیوم به علت شباهت شیمیایی با عناصر ضروری توسط گیاهان جذب می‌گردند در حالی که برخی از فلزات سنگین نظیر روی، مس و نیکل به عنوان عناصر کم‌مصرف برای رشد گیاهان لازم و ضروری هستند و به وسیله ریشه از خاک جذب می‌شوند [۳۶ و۳۷]. نتایج تحقیقات Qingjie و همکاران (۲۰۰۸) نشان داد که گیاهان با آزادسازی ترکیبات آلی در خاک سبب سرعت بخشی تجزیه آلاینده‌های محیط‌زیست می‌گردند [۳۸]، در صورتی که برخی از گونه‌های گیاهی توانایی جذب و انباشت مقادیر زیادی از عناصر سنگین موجود در محیط را دارند، بدون اینکه آثار سمّی آشکار در آن‌ها ایجاد گردد [۳۹].

حروف مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد است. میانگین‌های دارای حروف مشابه در یک ستون، اختلاف آماری معنی‌دار ندارند. مقادیر نشان‌دهنده میانگین همراه با انحراف معیار می‌باشند.

جدول ۶ میزان همبستگی غلظت عناصر سنگین در پوست درختان مورد مطالعه را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که در سطح ۱ درصد سرب و کادمیوم بیشترین همبستگی را در پوست درختان کاج تهران، سرو نقره‌ای، چنار، زبان‌گنجشک و نارون به ترتیب با ضریب ۰/۸۶، ۰/۸۵، ۰/۸۳، ۰/۸۲ و ۰/۸۱ در بین عناصر مورد بررسی دارا بوده‌اند. همچنین سرب ضریب همبستگی مثبت و معنی-داری در سطح ۱ درصد با مس و نیکل داشته است در صورتی که کادمیوم با نیکل، روی و مس همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح ۱ درصد داشت. با توجه به اینکه از ضرایب همبستگی می-توان برای بیان منبع احتمالی فلزات سنگین استفاده نمود، در این خصوص می‌توان اذعان داشت که سرب و کادمیوم در منطقه مورد مطالعه از منشأ تقریباً یکسانی برخوردار بوده و این همبستگی می-تواند ناشی از انتشار ترافیکی و صنایع باشد [۴۰]. این نتیجه مشابه نتایج پژوهش انجام شده توسط Werkenthin و همکاران (۲۰۱۴) است [۴۱]. همچنین نتایج تحقیقات Wang (۲۰۰۵) و Moreira و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که سرب، کادمیوم و روی به شدت با ترافیک همبستگی مثبت دارند [۴۲ و۴۳].

جدول۴- تجزیه واریانس غلظت فلزات سنگین در پوست درختان

منبع تغییرات	df	سرب		روی		مس		کروم		نیکل		کادمیوم	
		میانگین مربعات	F	میانگین مربعات	F	میانگین مربعات	F	میانگین مربعات	F	میانگین مربعات	F	میانگین مربعات	F
منطقه	۱	۴۷۴۵/۹۸	۶/۲۰**	۱۵۷۶/۱۴	۳/۸۴**	۷۸۵/۱۵	۲/۳۱*	۲۳۵/۰۸	۲/۱*	۱۱۸۰/۴۰	۳/۴۱**	۲۳۶۷/۳۹	۵/۴۰**
گونه	۴	۷۶۳/۰۱	۲/۳**	۲۵۳/۳۹	۱/۲۱**	۱۲۶/۲۳	۰/۷۴*	۳۷/۷۹	۰/۶۷*	۱۸۹/۷۷	۱/۱۲**	۳۸۰/۶۱	۱/۷۴**
منطقه × گونه	۴	۹۳/۶۲	۰/۵۴**	۳۱/۰۹	۰/۲۹**	۱۵/۴۸	۰/۱۷*	۴/۶۳	۰/۱۶*	۲۳/۲۸	۰/۲۶**	۴۶/۷۰	۰/۴۱**
خطا	۱۷۰	۲/۳۴		۰/۷۸		۰/۳۸		۰/۱۱		۰/۵۸		۱/۱۷	
کل	۱۸۰												

*معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ درصد. **معنی‌دار در سطح احتمال ۹۹ درصد.

جدول۵- مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در پوست درختان

	زبان‌گنجشک		نارون		چنار		کاج تهران		سرو نقره‌ای	
	آلوده	شاهد	آلوده	شاهد	آلوده	شاهد	آلوده	شاهد	آلوده	شاهد
سرب	۲f±۴۲/۴۵	۰/۵e±۸/۸۱	۱/۶f±۲۸/۳۷	۰/۶e±۵/۸۷	۲/۲f±۷۰/۹۳	۰/۶f±۱۴/۶۹	۲/۵f±۹۵/۷۵	۰/۷f±۱۹/۸۳	۲/۳f±۸۱/۵۶	۰/۶f±۱۶/۷۹
روی	۱/۲d ±۱۳/۸۶	۰/۱c ±۲/۳۸	۱/۳d ±۹/۲۴	۰/۱c ±۱/۵۹	۱/۴d ±۲۳/۱۱	۰/۱d ±۳/۹۸	۱/۶d ±۳۱/۱۹	۰/۲d ±۵/۳۵	۱/۳d ±۲۶/۵۷	۰/۱d ±۴/۵۷
مس	۰/۸b ±۶/۹۱	۰/۰۳a ±۰/۹۶	۱b ±۴/۶۱	۰/۰۱a ±۰/۶۴	۱b ±۱۱/۵۲	۰/۰۲b ±۱/۶۱	۱/۲b ±۱۵/۵۵	۰/۰۴b ±۲/۱۷	۱/۱b ±۱۳/۲۴	۰/۰۳b ±۱/۸۵
کروم	۰/۳a ±۱/۶۲	۰/۰۲a ±۰/۳۲	۰/۳a ±۱/۰۸	۰/۰۱a ±۰/۲۱	۰/۲a ±۲/۷۱	۰/۰۱a ±۰/۵۴	۰/۵a ±۳/۶۵	۰/۰۳a ±۰/۷۲	۰/۴a ±۳/۱۱	۰/۳a ±۰/۶۲
نیکل	۱c ±۱۰/۴۰	۰/۴b ±۱/۶۸	۰/۹c ±۶/۹۳	۰/۳b ±۱/۱۲	۰/۹c ±۱۷/۳۴	۰/۵c ±۲/۸	۱/۳c ±۲۳/۴۰	۰/۵c ±۳/۷۸	۱/۲c ±۱۹/۹۴	۰/۰۳c ±۲/۲۲
کادمیوم	۱/۶e ±۲۰/۸۵	۰/۵d ±۳/۵۸	۱/۴e ±۱۳/۹	۰/۵d ±۲/۳۸	۱/۸e ±۳۴/۷۵	۰/۷e ±۵/۹۷	۲/۱e ±۴۶/۹۱	۰/۶e ±۸/۰۵	۲e ±۳۹/۹۶	۰/۵e ±۶/۸۶

جدول۶- ضرایب همبستگی بین غلظت فلزات سنگین در پوست درختان

	متغیر	سرب	روی	مس	کروم	نیکل	کادمیوم
زبان‌گنجشک	سرب	۱					
	روی	۰/۷۳	۱				
	مس	۰/۸۰*	۰/۷۳	۱			
	کروم	۰/۲۴	۰/۱۰	۰/۱۷	۱		
	نیکل	۰/۷۸*	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۱۱	۱	
	کادمیوم	۰/۸۲*	۰/۸۰*	۰/۷۸*	۰/۱۲	۰/۸۰*	۱
نارون	سرب	۱					
	روی	۰/۷۳	۱				
	مس	۰/۷۹*	۰/۷۱	۱			
	کروم	۰/۲۳	۰/۱۰	۰/۱۶	۱		
	نیکل	۰/۷۷*	۰/۷۴	۰/۷۴	۰/۱۱	۱	
	کادمیوم	۰/۸۱*	۰/۷۹*	۰/۷۶*	۰/۱۲	۰/۷۹*	۱
چنار	سرب	۱					
	روی	۰/۷۵	۱				
	مس	۰/۸۱*	۰/۷۳	۱			
	کروم	۰/۲۵	۰/۱۰	۰/۱۸	۱		
	نیکل	۰/۷۹*	۰/۷۷	۰/۷۶	۰/۱۱	۱	
	کادمیوم	۰/۸۳*	۰/۸۰*	۰/۷۸*	۰/۱۴	۰/۸۱*	۱
کاج تهران	سرب	۱					
	روی	۰/۷۸	۱				
	مس	۰/۸۴*	۰/۷۷	۱			
	کروم	۰/۳۰	۰/۱۴	۰/۲۱	۱		
	نیکل	۰/۸۳*	۰/۸۱	۰/۸۰	۰/۱۳	۱	
	کادمیوم	۰/۸۶*	۰/۸۴*	۰/۸۲*	۰/۱۶	۰/۸۴*	۱
سرو نقره‌ای	سرب	۱					
	روی	۰/۷۷	۱				
	مس	۰/۸۳*	۰/۷۵	۱			
	کروم	۰/۲۸	۰/۱۱	۰/۲۰	۱		
	نیکل	۰/۸۱*	۰/۷۹	۰/۷۸	۰/۱۲	۱	
	کادمیوم	۰/۸۵*	۰/۸۲*	۰/۸۱*	۰/۱۵	۰/۸۳*	۱

*معنی‌دار در سطح احتمال ۹۹ درصد.

نتیجه‌گیری

پایش غلظت فلزات سنگین در خاک و گیاهان از اهمیت بالایی برخوردار بوده و استفاده از گیاهان عالی، به ویژه بخش‌های مختلف درختان به دلیل دسترسی، سهولت شناسایی و نمونه‌برداری و تحمل آن‌ها نسبت به تغییرات محیطی، با هدف ردیابی آلودگی‌ها روز به روز در حال گسترش است. نتایج این تحقیق نشان داد که میزان غلظت فلزات سنگین در پوست درختان در منطقه آلوده بیشتر از منطقه شاهد بوده و به ترتیب نارون< زبان‌گنجشک< چنار< سرو نقره‌ای< کاج تهران افزایش نشان می‌دهد. آزمون دانکن نیز سطوح مختلف میانگین‌های مربوط به انباشت هر عنصر در پوست درختان را در گروه‌های مختلف طبقه‌بندی نمود که به ترتیب سرب > کادمیوم >روی > نیکل > مس > کروم بوده و بیشترین مقدار مربوط به فلز سرب و پوست درختان کاج تهران در منطقه آلوده با ۹۵/۷۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم و کمترین مقدار مربوط به فلز کروم

و پوست درختان نارون در منطقه شاهد با ۰/۲۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. با توجه به اینکه غلظت فلزات سنگین در پوست درختان کاج تهران، سرو نقره‌ای و چنار به طور معنی‌داری بیشتر از سایر درختان مورد بررسی بوده، می‌توان گفت که توانایی انباشت فلزات در پوست گونه‌های چوبی مورد مطالعه، متفاوت بوده است و این نتایج ضمن به اثبات رساندن وجود بیشتر فلزات سنگین در محیط منطقه آلوده (مرکز شهر اصفهان) نسبت به منطقه شاهد، نشان می‌دهد که اولاً گونه‌های گیاهی در محیط‌های آلوده به فلزات سنگین می‌توانند بخشی از این فلزات را جذب کنند و تا حدی از آلودگی محیط بکاهند [۴۴] و ثانیاً قابلیت و توانایی انباشت فلزات سنگین در گونه‌های گیاهی مختلف می‌تواند متفاوت باشد که این پدیده به احتمال زیاد به صفات فیزیولوژیک گونه‌ها مربوط می‌باشد. به طوری که در اغلب مطالعات صورت گرفته میزان انباشتگی فلزات سنگین در بین درختان متأثر از خصوصیات ساختمانی برگ و پوست آن‌ها است و گونه‌های درختی همیشه‌سبز از کارایی بالاتری برای ردیابی فلزات برخوردارند و در بیشتر موارد میزان انباشتگی در پوست آن‌ها بیشتر از برگ بوده و این موضوع با قابلیت انتقال فلزات از ریشه به اندام هوایی و تجمع در ساقه و در نهایت انتقال به پوست و تخلخل ساختمانی و شدت ناهمواری در سطح پوست در ارتباط است [۴۵ و۴۶]. همچنین مطابق تحقیقات Gosh and Singh (۲۰۰۵) و Yousaf و همکاران (۲۰۲۰) برخی از گونه‌های گیاهی تا حد زیادی می‌توانند فلزات سنگین را از محیط جذب کنند بدون این‌که دچار آسیب جدی شوند، در حالی که بعضی از گونه‌های گیاهی توانایی جذب پایین‌تری داشته و ممکن است در محیط‌های آلوده به فلزات سنگین در اثر مسمومیت آسیب دیده و از بین بروند [۴۷ و۴۸]. در جمع‌بندی نتایج این تحقیق می‌توان اظهار داشت که پوست درختان کاج تهران، سرو نقره‌ای و چنار شاخص مناسبی برای ردیابی فلزات سنگین بوده و می‌توان از آن‌ها به عنوان شاخص زیستی آلودگی ناشی این فلزات استفاده نمود. بر این اساس این درختان می‌توانند گونه‌های مناسبی برای احداث فضای سبز حاشیه خیابان‌ها و بلوارهای شهری در مناطق آلوده به فلزات سنگین باشند.

منابع

[1] Colding, J., 2002. Evaluation of urban land use structures with a view to sustainable development. Journal of Environmental Impact Assessment, 22(5), pp.475-492.

[2] He, J., Yang, Y., Christakos, G., Liu, Y. and Yang, X., 2019. Assessment of soil heavy metal pollution using stochastic site indicators. Geoderma, 337, pp.359-367.

[3] Huang, Y., Chen, Q., Deng, M., Japenga, J., Li, T. and Yang, X., 2018. Heavy metal pollution and health risk assessment of agricultural soils in a typical peri-urban area in southeast China. Journal of Environmental Management, 207, pp.159-168.

[4] Eid Alsbou, E.M. and Al-Khashman, O.A., 2018. Heavy metal concentrations in roadside soil and street dust from Petra region, Jordan. Environmental Monitoring and Assessment, 190(48), pp.1-13.

[5] Ejidike, I.P. and Onianwa, P.C., 2015. Assessment of Trace Metals Concentration in Tree Barks as Indicator of Atmospheric Pollution within Ibadan City, South-West, Nigeria. Journal of Analytical Methods in Chemistry, 2, pp.1-8.

[6] Bucher, A.S. and Schenk, M.K., 2000. Toxicity level for phytoavailable zinc in compost peat substrates. Scientia Horticulturae, 83(3-4), pp.339-352.

[7] Dogan, Y., Durkan, N. and Baslar, S., 2007. Trace element pollution biomonitoring using the bark of Pinus brutia (Turkish red pine) in western Anatolian part of Turkey. Trace Elem Electroly, 24(7), pp.103-112.

[8] Shanker, A.K., Cervantes, C., Loza-Tavera, H. and Avudainayagam, S., 2005. Chromium toxicity in plants. Environment International, 31(5), pp.739-753.

[9] Harju, L., Saarela, K.E., Rajander, J., Lill, J.O., Lindroos, A. and Heselius, S.J., 2002. Environmental monitoring of trace elements in bark of Scots pine by thick-target PIXE. Nuclear Instruments and Methods in Physics, 189(1-4), pp.163-167.

[10] Alexander, L., 2000. Role of root functions on cadmium uptake by plants – structural aspects of root organization. National Agriculture and Food Research Organization, W1-09, pp.1-6.

[11] Barbes, L., Barbulescu, A., Radulescu, C., Stihi, C. and Chelarescu, E.D., 2014. Determination of heavy metals in leaves and bark of Populus nigra L. by atomic absorption spectrometry. Romanian Reports in Physics, 66(3), pp.877-86.

[12] Kashyap, R., Sharma, R. and Uniyal, S.K., 2018. Bioindicator responses and performance of plant species along a vehicular pollution gradient in western Himalaya. Environment Monitoring Assessment, 190 (302), pp.1-17.

[13] Aksoy, A., Celik, A. and Ozturk, M., 2000. Plants as possible indicators of heavy metal pollution in Turkey. Chemia Inzyneria Ekologiczna, 7(11), pp.1152-1161.

[14] Coskun, M., 2006. Toxic metals in the Austrian pine (Pinus nigra) bark in the Thrace region, Turkey. Environ Monitor Assess, 121(1-3), pp.173-179.

[15] Samecka-Cymerman, A., Kosior, G. and Kempers, A.J., 2006. Comparison of the moss Pleurozium schreberi with needles and bark of Pinus sylvestris. Ecotoxicology and Environmental Safety, 65(1), pp.108-117.

[16] Birke, M., Rauch, U. and Hofmann, F., 2018. Tree bark as a bioindicator of air pollution in the city of Stassfurt,Saxony-Anhalt, Germany. Journal of Geochemical Exploration, 187, pp.97-117.

[17] Geological Survey and Mine Exploration of Iran., 2023. Statistics and information on geology and soil science of Isfahan. Internal Report, 121p. (In Persian).

[18] Meteorological Organization of Iran., 2023. Statistics and climatic information of stations in Isfahan. Internal Report, 197p. (In Persian).

[19] Department of Environmental Islamic Republic of Iran., 2024. Statistical Report from Environmental Condition of Isfahan. 186p. (In Persian).

[20] Municipality of Isfahan., 2024. Statistical Report from Isfahan Province. 153p. (In Persian).

[21] James, D.W. and Wells, K.L., 1990. Soil sample collection and handing technique based on source and degree of field variability. Soil Testing and Plant Analysis. Third edition. Soil science society of America, 25-44. In: R.L. Westerman (ed.).

[22] Backstrom, K. and Danielsson, L.R., 1990. A mechanized continuous flow system for the concentration and determination of Co, Cu, Ni, Pb, Cd and Fe in seawater using graphite furnace atomic absorption. Marine Chemistry, 21, pp.33-46.

[23] Klute, A., 1986. Method of soil analysis. Part1: Physical methods. Soi. Sci SOC. Ameri. J. pp.432-449.

[24] Coelho, M.C., Farias, T.L. and Rouphail, N.M., 2005. Impact of speed control traffic signals on pollutant emissions. Transportation Research, Part D, 6, pp.323-340.

[25] Wang, J.M., Jeong, C.H., Hilker, N., Healy, R.M., Sofowote, U., Debosz, J., Su, Y., Munoz, A. and Evans, G.J., 2021. Quantifying metal emissions from vehicular traffic using real world emission factors. Environmental Pollution, 1(268), Part A: 115805.

[26] Sharareh M. and Ahmadi Nadoushan, M., 2022. Study the effects of Traffic Conditions on the PM 2.5 emission Geographically Weighted Regression model (case study: Isfahan city). Journal of Environmental Science and Technology, 24(4), pp.31-45. (In Persian).

[27] Johansson, C., Norman, M. and Burman L., 2009. Road traffic emission factors for heavy metals. Atmospheric Environment, 43(31), pp.4681-4688.

[28] Samani Majd, S., Taebi, A. and Afyooni, M., 2007. Soil contamination along urban streets with lead and cadmium. Journal of Environmental Studies, 33 (43), pp.1-10. (In Persian).

[29] Tabibian, S., Bidarigh, S. and Torabian, S., 2019. Investigation on the adsorption of heavy metal in lead in a plane species in traffic areas in Rasht. Human and Environment, 17(4), pp.39-46. (In Persian).

[30] Marry, R.H., Tiller, K.G. and Alston, A.M., 1996. The effect of contamination of soil with copper, lead, and arsenic on the growth and composition of plants. Journal of Plant and Soil, 91(1), pp.115-128.

[31] Coupe, S.J., Sallami, K.H. and Ganjian, E., 2013. Phytoremediation of heavy metal contaminated soil using different plant species. African Journal of Biotechnology, 12(43), pp.6185-6192.

[32] Paz-Ferreiro, J., Lu, H., Fu, S. and Méndez, A., 2013. Use of phytoremediation and biochar to remediate heavy metal polluted soils: A review. Solid Earth Discussions, 5(2), pp.2155-2179.

[33] Dinu, C., Vasile, G.G., Buleandra, M., Popa, D.E., Gheorghe, S. and Ungureanu, E.M., 2020. Translocation and accumulation of heavy metals in Ocimum basilicum L. plants grown in a mining-contaminated soil. Journal of Soils and Sediments, 20(4), pp.2141-2154.

[34] Saarela, K.E., Harju, L., Rajander, J. and Lill, J.O., 2005. Elemental analyses of pine bark and wood in an environmental study. The Science of the Total Environment, 343(1-3), pp.231-241.

[35] Kousehlar, M. and Widom, E., 2019. Sources of metals in atmospheric particulate matter in Tehran, Iran: Tree bark biomonitoring. Applied Geochemistry, 104, pp.71-82.

[36] Pilon-Smits, E., 2005. Phytoremediation. Annual Review of Plant Biology, 56, pp.15-39.

[37] Kafle, A., Timilsina, A., Gautam, A., Adhikari, K., Bhattarai, A. and Aryal, N., 2022. Phytoremediation: Mechanisms, plant selection and enhancement by natural and synthetic agents. Environmental Advances, 8, 100203.

[38] Qingjie, G., Jun, D., Yunchuan, X., Qingfei, W. and Liqiang, Y., 2008. Calculating pollution indices by heavy metals in ecological geochemistry assessment and a case study in parks of Beijing. Journal of China University of Geosciences, 19(3), pp.230-241.

[39] Dolphen, R. and Thiravetyan, P., 2015. Phytodegradation of ethanolamines by Cyperus alternifolius: effect of molecular size. Internation Journal Phytoremediation, 17(7), pp.686-692.

[40] Brignole, D., Drava, G., Minganti, V., Giordani, P., Samson, R. and Vieira, J., 2018. Chemical and magnetic analyses on tree bark as an effective tool

for biomonitoring: A case study in Lisbon (Portugal). Chemosphere, 195, pp.508-514.

[41] Werkenthin, M., Kluge, B. and Wessolek, G., 2014. Metals in European roadside soils and soil solution-A review. Environmental Pollution, 189, pp.98-110.

[42] Wang, X., 2005. Integrating GIS, simulation models, and visualization in traffic impact analysis. Computers, Environment and Urban Systems, 29(4), pp.471-496.

[43] Moreira, T.C., Amato-Lourenco, L.F., da Silva, G.T., Saldiva de Andre, C.D., de Andre, P.A., Barrozo, L.V., Singer, J.M., Saldiva, P.H., Saiki, M. and Locosselli, G.M., 2018. The use of tree barks to monitor traffic related air pollution: a case study in São Paulo–Brazil. Frontiers of Environmental Science, 6, pp.1-12.

[44] Esfandiari, M., Sodaiezadeh, H. and Mokhtari, M., 2019. Accumulation of heavy metals in Mondell Pine (Pinus eldarica) leaves and bark at different distances of Yazd Highway Green Belt. Forest and Wood Products, 72(1), pp.9-20. (In Persian).

[45] Ataabadi, M., Hoodaji, M. and Najafi, P., 2010. Heavy Metals Biomonitoring by Plants Grown in an Industrial Area of Isfahan, Mobarakeh Steel Company. Journal of Environmental Studies, 35(52), pp.83-92. (In Persian).

[46] Solgi, E., Beigmohammadi, F., Taheri, Z. and Aghaei, F., 2022. Tree Bark as a Biomonitor of Heavy Metal Pollution (Case study: Roadside Gardens of Heidareh Balashahr Village in Hamadan). Iranian Journal of Forest, 14(2), pp.201-212. (In Persian).

[47] Gosh, M. and Singh, S.P., 2005. A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of its hypoducts. Applied ecology and environmental research, 3(1), pp.1-18.

[48] Yousaf, M., Mandiwana, K.L., Baig, K.S. and Lu, J., 2020. Evaluation of Acer rubrum Tree Bark as a Bioindicator of Atmospheric Heavy Metal Pollution in Toronto, Canada. Water, Air and Soil Pollution, 231(8), pp.1-9.