



Heavy Metal accumulation in soil and leaf samples of Eucalyptus and Pine species in the vicinity of a wood industry factory

Mehdi Rahmani¹ | Maryam Mollashahi^{2✉} | Alireza Moshki³ | Shima Nikoo⁴

1. Department of Desert Management, Faculty of Desert study, Semnan University, Semnan. Iran. E-mail: rmehdi200@gmail.com

2. Corresponding Author, Department of Forestry in Arid Land, Faculty of Desert study, Semnan University, Semnan. Iran. E-mail: maryam.mollashahi@semnan.ac.ir

3. Department of Forestry in Arid Land, Faculty of Desert study, Semnan University, Semnan. Iran. E-mail: alireza_moshki@semnan.ac.ir

4. Department of Desert Management, Faculty of Desert study, Semnan University, Semnan. Iran. E-mail: shimanikoo@semnan.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 12 January 2026

Received in revised form 2 May 2026

Accepted 9 June 2026

Keywords:

Eucalyptus camaldulensis,
Heavy metal,
Phytoremediation,
Pinus eldarica,
Wood industries.

ABSTRACT

The rapid growth of the human population, coupled with the increasing demand for industrial equipment and human needs, has led to problems such as the overexploitation of available resources, as well as land, water, and air pollution. This study investigated the uptake of various heavy metals in two tree species, *Eucalyptus camaldulensis* D. and *Pinus eldarica* M., within the vicinity of the Aryan Shimi industrial plant in Mazandaran Province. To assess the concentrations of heavy metals (Zn, Cu, Mn, Cd, Pb, Ni, and As) in the soil and tree leaves, three sampling points were established around the plant, along with one control site. A total of 36 soil samples and 18 leaf samples were collected. The results indicated that the concentration of certain heavy metals in the soil of the control site was higher than that in the soil beneath the afforested area. This difference was more pronounced for Cu (3.76 ppm), Mn (7.1 ppm), Pb (2.84 ppm), and Zn (3.84 ppm) in the control site compared to the afforested soil. Furthermore, a significant difference was observed between the metal concentrations in the leaves of the two studied species. The concentrations of Mn (98.63 ppm), Zn (39.35 ppm), and As (2.1 ppm) in *Eucalyptus* were considerably higher than those in *Pinus*, which were 20.75 ppm, 21.38 ppm, and 0.95 ppm, respectively. A comparison of the mean concentrations in the soil samples with those in the leaf samples indicates that the metal concentrations in the leaf samples were higher than those in the soil samples, which reflects the influence of emitted dust and the greater accumulation of pollutants in the studied tree.

Cite this article: Rahmani, M., Mollashahi, M., Moshki, R., & Nikoo, Sh. (2026). The effects of soil disturbance caused by timber skidding operations on the herbaceous vegetation of Hyrcanian forests (case study: Kheyroud educational and research forest). *Journal of Natural Environment*, 79 (2), 341-353. DOI: <http://doi.org/10.22059/jne.2026.409370.2881>



Introduction

The rapid growth of the human population, coupled with the increasing demand for industrial infrastructure and anthropogenic requirements, has precipitated severe environmental challenges, including the overexploitation of natural resources and the degradation of soil, water, and air quality. This study investigates the absorption and accumulation of various heavy metals in two tree species, *Eucalyptus camaldulensis* D. and *Pinus eldarica* M., situated within the vicinity of the Aryan Shimi industrial plant in Mazandaran Province. Today, wood is one of the most important and widely used natural materials in various industries. Different wood industry products, such as veneer, panel products (including plywood, particleboard, chipboard, and fiberboard), wooden molds, furniture, and others, usually differ in terms of water consumption during the production process. Unlike pulp and paper production, wood panel sectors and products are generally considered a dry sector with low water consumption. Therefore, their wastewater problems are often overlooked. According to research, wood production plants consume between 300 cubic meters of water per day and can generate up to approximately 600 million cubic meters of wastewater each year. The wastewater and dust generated by the wood industry, due to high concentrations of hazardous chemicals, can have harmful effects on the environment. Studies indicate the presence of heavy metals in the wastewater and dust emitted from such industries.

Material and Methods

This study aimed to measure the concentrations of heavy metals (Zn, Cu, Mn, Cd, Pb, Ni, and As). To this end, soil and leaf samples were collected from around the plant. The sampling date was May 10, 2018. Initially, four sampling points were designated for each species. Sampling was carried out at a distance of 50 meters from the plant. Three sampling points were located in the afforested area around the plant, and one point was located near the plant where there was no afforestation. Soil sampling from both the afforested area and the control site was performed at a depth of 0–10 cm. Three replications were considered for each sampling point. A total of 36 soil samples and 18 leaf samples were collected. For leaf collection, four different geographical directions on each tree were considered. After collection, leaf samples were placed in plastic bags. Due to the effective role of soil factors in the uptake process, factors such as soil texture (measured by the Bouyoucos hydrometer method), electrical conductivity of the saturated soil extract (EC) (measured using a JENWAY 4510 conductivity meter), and soil pH (recorded using a JENWAY 3505 pH meter) were also measured.

Results

Statistical analysis indicated significant differences ($P < 0.05$) in the levels of Mn, Pb, Ni, Zn, and Cu between the control area and the afforested zones. Notably, the metal concentrations in the control site soil were higher than those in the soil beneath the afforested areas. This disparity was most pronounced for Cu (3.76 ppm), Mn (7.1 ppm), Pb (2.84 ppm), and Zn (3.84 ppm) in the control group compared to the forested soil. Furthermore, a significant variation in metal concentrations was observed between the two studied species. The concentrations of Mn (98.63 ppm), Zn (39.35 ppm), and As (2.1 ppm) in *Eucalyptus* were substantially higher than those recorded for *Pinus*, which were 20.75 ppm, 21.38 ppm, and 0.95 ppm, respectively. The results also indicate that there is a significant gap between the measured concentrations and the established standard values, reflecting the severity of soil pollution in this area.

Discussion and Conclusion

The results of the soil sample analysis in the present study showed that there was a significant difference between all the heavy metals examined, except for cadmium, in the soil of the control site and the soil of the afforested area, and the concentration of metals in the soil of the control site was considerably higher than that in the afforested area. Numerous studies indicate that some plants have the ability to accumulate pollutants such as heavy metals in their aerial organs without causing any problems in their physiological processes or growth and development. Such plants are referred to as hyperaccumulators. The results of leaf samples demonstrate that heavy metal concentrations in leaf samples exceeded those in soil samples. This finding underscores the significant influence of industrial

dust emissions and suggests a high rate of pollutant accumulation within the canopy of the studied species. Also, the present study indicate that *Eucalyptus* has a greater phytoremediation capacity than *Pinus*. Therefore, to reduce environmental pollution, broad-leaved species can be used, as these trees effectively serve as natural purifiers and are very low-cost in this regard. Accordingly, it can be said that this evergreen, fast-growing, and resistant species with deep roots is recommended as a priority for planting to remove heavy metal pollution.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, and plagiarism, and any form of misconduct.

CRediT authorship contribution statement

All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Data availability statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

The authors would like to thank anonymous reviewers for their valuable suggestions in manuscript revision.

ارزیابی تجمع فلزات سنگین در نمونه‌های خاک و برگ گونه‌های اکالیپتوس و کاج در اطراف کارخانه صنایع چوب

مهدی رحمانی^۱ | مریم ملاشاهی^۲ | علیرضا مشکی^۳ | شیمای نیکو^۴

۱. گروه بیابان‌زدایی، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران. رایانامه: rmehdi200@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، گروه جنگلداری در مناطق خشک، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران. رایانامه: maryam.mollashahi@semnan.ac.ir

۳. گروه جنگلداری در مناطق خشک، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران. رایانامه: alireza_moshki@semnan.ac.ir

۴. گروه بیابان‌زدایی، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران. رایانامه: shimanikoo@semnan.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۲۲	رشد سریع جمعیت و افزایش تقاضا برای تجهیزات صنعتی و نیز احتیاجات بشر، منجر به ایجاد مشکلاتی از قبیل بهره‌برداری بیش از حد از منابع موجود و همچنین آلودگی زمین و آب‌وهوا شده است. در این تحقیق، جذب انواع فلزات سنگین در دو گونه اکالیپتوس (<i>Eucalyptus camaldulensis</i> D.) و کاج (<i>Pinus eldarica</i> M.) در محدوده کارخانه آبرین‌شیمی واقع در استان مازندران مورد بررسی قرار گرفت. برای بررسی میزان فلزات سنگین (روی، مس، منگنز، کادمیوم، سرب، نیکل و آرسنیک) در خاک و برگ گونه‌های درختی، سه نقطه نمونه‌برداری در اطراف کارخانه و یک منطقه شاهد در نظر گرفته شد. در مجموع ۳۶ نمونه خاک و ۱۸ نمونه برگ برداشت گردید. نتایج نشان داد که غلظت برخی فلزات سنگین در خاک منطقه شاهد بیشتر از خاک زیر منطقه جنگلکاری شده بود. این تفاوت در مورد غلظت‌های مشاهده شده مس (۳/۷۶ppm)، منگنز (۷/۱ppm)، سرب (۲/۸۴ppm) و روی (۳/۸۴ppm) در منطقه شاهد بیشتر از سایر فلزات نسبت به خاک منطقه جنگلکاری شده بود. همچنین تفاوت معنی‌داری بین غلظت فلزات در برگ‌های دو گونه مورد مطالعه مشاهده شد. غلظت فلزات منگنز (۹۸/۶۳ppm)، روی (۳۵/۳۹ppm) و آرسنیک (۱/۲ppm) در گونه اکالیپتوس به مراتب بالاتر از گونه کاج که به ترتیب برابر ۲۰/۷۵ppm، ۲۱/۳۸ppm و ۰/۹۵ ppm به دست آمد، بود. مقایسه میانگین غلظت نمونه‌های خاک با میانگین غلظت‌های برگ نشان می‌دهد که غلظت فلزات در نمونه‌های برگ نسبت به نمونه‌های خاک بیشتر بوده که خود نشان‌دهنده تأثیر گردوغبارهای ساطع شده و اثر تجمع بیشتر آلودگی‌ها در درختان مورد مطالعه است.
کلیدواژه‌ها:	
اکالیپتوس، صنایع چوب، فلزات سنگین، کاج، گیاه پالایی.	

استناد: رحمانی، مهدی؛ ملاشاهی، مریم؛ مشکی، علیرضا؛ و نیکو، شیمای (۱۴۰۵). ارزیابی تجمع فلزات سنگین در نمونه‌های خاک و برگ گونه‌های اکالیپتوس و کاج

در اطراف کارخانه صنایع چوب. محیط زیست طبیعی، ۷۹ (۲)، ۳۴۱-۳۵۳.

DOI: <https://doi.org/10.22059/jne.2026.409370.2881>



© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

رشد جمعیت افزایش نیازهای انسانی را به همراه دارد که توسعه صنعت و بهره‌برداری، می‌تواند منجر به آلودگی‌های محیط‌زیست شود. در طی سال‌های اخیر، روند رو به رشد فعالیت‌های صنعتی و افزایش انواع آلاینده‌های محیطی از جمله فلزات سنگین از مشکلاتی است، که سلامت بشر را تهدید می‌کند. در حال حاضر افزایش غلظت فلزات سنگین در خاک به دلیل عدم تجزیه آنها توسط میکروارگانیسم‌ها یکی از مشکلات اصلی محیط‌زیست می‌باشد (Ehtesham Rad, 1998).

امروزه یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین مواد طبیعی در صنایع مختلف، چوب است. تولیدات مختلف صنایع چوب از قبیل روکش، محصولات پانلی (شامل تخته سه‌لا، تخته چوبی، تخته Chipboard و تخته فیبر)، قالب‌های چوبی، مبلمان و غیره معمولاً از نظر مصرف آب در فرآیند تولید تفاوت دارند. برخلاف تولید خمیر و کاغذ، بخش‌ها و تولیدات پانلی چوبی معمولاً به عنوان یک بخش خشک با مصرف آب کم در نظر گرفته می‌شوند. بنابراین، مشکلات پساب آنها اغلب نادیده گرفته می‌شود. با این حال، طبق تحقیقات Maminska (۲۰۲۰) و Bouchareb (۲۰۲۰)، کارخانه‌های تولید چوب روزانه بین ۳۰۰ مترمکعب آب مصرف کرده و می‌توانند تا حدود ۶۰۰ میلیون مترمکعب پساب هر سال تولید کنند. پساب‌ها و گردوغبارهای تولید شده از صنایع چوب به دلیل غلظت‌های بالای مواد شیمیایی خطرناک، می‌تواند اثرات زیان‌باری بر محیط‌زیست داشته باشد. مطالعات انجام شده حاکی از وجود فلزات سنگین در پساب و گرد و غبارهای ساطع شده از این قبیل صنایع است (Jones et al., 2019; Kloch and Maminska, 2020).

ویژگی‌هایی مختلف چوب مانند آسیب‌پذیری در برابر آفات، رطوبت و شرایط جوی، تیمار و حفاظت از آن از ارکان اصلی صنایع چوب به‌شمار می‌آید. تیمار چوب به مجموعه‌ای از فرآیندها اطلاق می‌شود که هدف آن افزایش عمر مفید و بهبود عملکرد چوب در برابر عوامل محیطی و مکانیکی است. فرآیندهای تیمار چوب شامل استفاده از مواد شیمیایی، حرارت‌دهی، و روش‌های فیزیکی برای تقویت بافت و ساختار آن می‌باشد. حفاظت از چوب برابر عوامل مختلف تخریب چوب، یعنی قارچ، حمله حشرات، آفات، موریانه‌ها و غیره ضروری است. مواد نگهدارنده شیمیایی چون آرسنات مس کروماته، آرسنیک و کروم، موجب حفاظت و افزایش طول عمر چوب می‌شود. چوب‌های تیمار شده تقریباً در برابر عوامل تخریب چوب مقاوم هستند ولی این مواد نگهدارنده چوب آلی و معدنی مصنوعی باعث ایجاد خطرات محیط‌زیستی می‌شوند (Meena, 2022).

استفاده از اکسیدهای کروم (۴۷/۵٪)، مس (۱۸/۵٪) و آرسنیک (۳۴٪) نمونه‌هایی از این تیمارها هستند که معمولاً این مواد با آب مخلوط شده و نگهدارنده‌های چوب مانند آرسنات مس کرومات (CCA) و پنتاکلو فنول (PCP) دیگر را تولید می‌کنند (Barakat., 2011; Meena, 2022; Miranji et al., 2024) که اگرچه مقاومت چوب را در برابر پوسیدگی و حملات زیستی افزایش می‌دهند و در نتیجه، چوب تیمار شده با کیفیت بالاتر و دوام بیشتری در کاربردهای صنعتی، از جمله ساختمان‌سازی، مبلمان و صنایع چوبی پیشرفته، مورد استفاده قرار می‌گیرد ولی ممکن است آلودگی‌هایی را ایجاد کند که برای سلامت انسان و محیط‌زیست اکولوژیک مضر محسوب می‌شوند. مس از جمله موادی است که می‌تواند مقاومت چوب در برابر میکروارگانیسم‌هایی چون باکتری‌ها و قارچ‌ها را افزایش دهد. آرسنیک خواص حشره‌کشی داشته و یکی از تیمارهای چوب جهت مقابله با حشرات به شمار می‌آید. علاوه بر این، استفاده از سموم شیمیایی این امکان را فراهم می‌کند که محصولات چوبی نسبتاً غیرمقاوم را بتوان حتی در تأسیسات ساختمانی فضای باز مورد استفاده قرار داد (Morais et al., 2021). امروزه نگرانی‌های زیادی در مورد استفاده از CCA در محصولات چوبی وجود دارد. استفاده از مواد شیمیایی در چوب، به‌خصوص در کشورهای در حال توسعه، به شکل کنترل نشده‌ای مشاهده می‌شود. ورود این مواد سمی به داخل خاک و چرخه آب، منجر به بروز مشکلات جدی بهداشتی و محیط‌زیستی شده است (Liu et al., 2019).

گیاه‌پالایی، یکی از بهترین تکنولوژی‌های پاکسازی خاک و اکوسیستم‌های آبی از انواع آلاینده‌ها به‌ویژه فلزات سنگین است. امروزه استفاده از گیاهان جهت حذف انواع آلاینده‌ها از محیط جایگاه ویژه‌ای پیدا کرده است. از آنجا که حذف فلزات سنگین از خاک و آب با استفاده از روش‌های سنتی، پرهزینه و اغلب ناموفق است، استفاده از گیاه پالایی می‌تواند گزینه بهتری باشد (Bech, 2012).

مطالعه Asgarzade و Rostamian (۲۰۱۳)، بر روی کاج الدار (*Pinus eldarica*) نشان داد که بیشترین میزان جذب

فلزات سنگین توسط برگ‌های درخت *Pinus eldarica* در $pH=4$ مشاهده شد. در مطالعه‌ای که Dehghn و همکاران (۲۰۱۶) انجام دادند به این نتیجه رسیدند، که جذب فلزات سنگین توسط دو گونه اکالیپتوس *E. microtheca* و *E. camaldulensis* اختلاف چندانی با هم نداشته، اما در مورد فلزات روی و کادمیوم، با افزایش غلظت روی (از ۱ به ۳ میلی‌مول) و کادمیوم (از ۱۰ به ۱۵ میلی‌مول)، *E. microtheca* نسبت به *E. camaldulensis* بهتر عمل کرده است. در نتیجه در جنگلکاری‌ها با هدف گیاه‌پالایی استفاده از گونه *E. microtheca* می‌تواند نتایج بهتری در پی داشته باشد. مطالعه Nazarpour و همکاران (۲۰۱۵)، تحت عنوان مقایسه میزان جذب سرب و کادمیوم در برگ گونه کاج تهران در فصل‌های سرد و گرم سال در ایستگاه چیتگر تهران نشان داد، که حداقل جذب سرب در فصل گرم برابر ۱۳/۱۵۵ نانوگرم بر گرم و حداکثر میزان جذب سرب در فصل گرم برابر ۶۰/۱۱۳۶ نانوگرم بر گرم به‌دست آمد. Sardabi و همکاران (۲۰۱۳)، با بررسی میزان گیاه‌پالایی گونه‌های مختلف اکالیپتوس در جذب عناصر سنگین و ذخیره آنها در برگ‌ها به این نتیجه رسیدند، که در جذب فلزات سنگین در مناطق مطالعاتی گونه‌های اکالیپتوس به‌ترتیب *E. microtheca*، *E. camaldulensis*، *E. camaldulensis* و *E. sargentii* برتر بوده‌اند.

Ghaemi و Majdodin (۲۰۱۶) در تحقیقی که جهت جذب فلزات سنگین بر روی گیاه اکالیپتوس (*Eucalyptus camaldulensis*) انجام دادند، به این نتیجه رسیدند، که این گونه توانایی بالایی جذب فلزات سنگین از آب و خاک را دارد. در مطالعه Shariat و همکاران (۲۰۱۰)، در خصوص گیاه‌پالایی گونه *Eucalyptus occidentalis* گزارش شد که این گونه قادر است بدون ایجاد اختلال در رشد خود، میزان قابل‌توجهی از عنصر کادمیوم را در برگ‌های خود تجمع دهد. بنابراین می‌توان از این گیاه جهت کاهش آلودگی‌های محیط‌زیست استفاده نمود. Maher و همکاران (۲۰۰۸) در تحقیق خود که به بررسی گیاه‌پالایی در اجزای مختلف (برگ، شاخه و ریشه‌های سطحی) درخت کاج الدار (*Pinus eldarica*) در شهر تهران پرداختند، بیان نمودند که غلظت فلز سرب در برگ‌های گونه‌های درختی در فصل تابستان بیشتر از فصول پاییز و زمستان است. Nagajyoti و همکاران (۲۰۱۰) نیز در مطالعه‌ای نشان دادند، که کادمیوم عنصری است که به‌طور طبیعی در محیط وجود دارد اما میزان آن در خاک‌های غیرآلوده به‌مراتب کمتر از مناطق آلوده و در حدود (۰/۷-۰/۱ ppm) می‌باشد.

طبق گزارش سازمان جهانی بهداشت، میزان مجاز فلزات سنگین در دود کارخانه‌های صنایع چوب سالانه از کروم $3 \mu g/m^3$ و نیکل $2 \mu g/m^3$ و کادمیوم ۰/۲ میکروگرم نباید تجاوز نماید (Ncube and Phiri, 2015). تحقیق حاضر سعی دارد، به بررسی میزان توانایی گونه‌های کاج الدار و اکالیپتوس در جذب فلزات سنگین و کاهش میزان آن در اطراف منطقه صنعتی آراین‌شیمی (سینا) در استان مازندران پرداخته و نهایتاً مؤثر بودن کاشت آنها و تفاوت در میزان گیاه‌پالایی گونه کاج و اکالیپتوس را بررسی نماید. این مطالعه می‌تواند به درک بهتر نقش گونه‌های درختی در کاهش آلودگی محیطی کمک کند و راهکارهایی برای مدیریت آلودگی ناشی از صنایع شیمیایی ارائه دهد. همچنین، نتایج این مطالعه می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های محیط‌زیستی و جنگلکاری‌های آینده در مناطق صنعتی مورد استفاده قرار گیرد.

روش‌شناسی پژوهش

این مطالعه به بررسی قابلیت جذب عناصر سنگین توسط گونه‌های درختی اکالیپتوس و کاج در اطراف کارخانه آراین‌شیمی (شیمی) در شهرستان ساری، استان مازندران پرداخته است. منطقه مورد مطالعه در ارتفاع ۱۰- متری از سطح دریا قرار دارد و شرایط اقلیمی آن شامل بارندگی سالانه ۱۲۱۱/۷۶ میلی‌متر، دمای کمینه ۱۹ درجه سانتی‌گراد، دمای بیشینه ۲۳ درجه سانتی‌گراد و میانگین دمای سالانه ۱۶/۳ درجه سانتی‌گراد است (Mazandaran Meteorology General Office, 2019). مساحت کارخانه ۲۴ هکتار بوده که یک منطقه جنگلکاری شده ۷ ساله از گونه‌های کاج الدار و اکالیپتوس در نزدیکی آن وجود دارد. عمده آلودگی‌های ناشی از کارخانه، ریزگردهای ساطع شده از دودکش آن و نیز پساب رها شده کارخانه در اراضی اطراف می‌باشد.

در این تحقیق اندازه‌گیری میزان فلزات سنگین (روی، مس، منگنز، کادمیم، سرب، نیکل و آرسنیک) مد نظر قرار گرفت از این‌رو اقدام به جمع‌آوری نمونه‌های خاک و نیز برگ از اطراف کارخانه گردید. زمان نمونه‌برداری ۲۰ اردیبهشت‌ماه سال ۱۳۹۷

بود. بدین صورت که در ابتدا، چهار نقطه نمونه‌گیری برای هر گونه در نظر گرفته شد. نمونه‌گیری‌ها در فاصله ۵۰ متری از کارخانه انجام گردید. سه نقطه نمونه‌گیری در منطقه جنگلکاری شده اطراف کارخانه و یک نقطه در نزدیکی کارخانه که فاقد جنگلکاری بود، در نظر گرفته شد. نمونه‌برداری از خاک منطقه جنگلکاری شده و شاهد از عمق ۱۰-۰ انجام شد. برای هر یک از نمونه‌گیری‌ها سه تکرار در نظر گرفته شد. در مجموع ۳۶ نمونه خاک و ۱۸ نمونه برگ برداشت گردید. برای جمع‌آوری برگ از هر درخت، چهار جهت جغرافیایی مختلف بر روی درخت مد نظر قرار گرفت. نمونه‌های برگ بعد از برداشت در کیسه پلاستیکی قرار داده شدند. به دلیل مؤثر بودن نقش عوامل خاک در فرآیند جذب فاکتورهایی چون بافت خاک به روش هیدرومتری بایکاس، هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (EC) با استفاده از هدایت‌سنج مدل JENWAY-۴۵۱۰ اندازه‌گیری و pH خاک به کمک دستگاه pH متر مدل JENWAY ۳۵۰۵ ثبت شدند. همچنین، جهت بررسی میزان فلزات سنگین و عوامل دیگری چون هدایت الکتریکی، اسیدیته و مجموع املاح محلول در پساب، ۵ نمونه به صورت تصادفی از پساب خروجی کارخانه در طول مسیر تهیه گردید و به آزمایشگاه خاکشناسی دانشگاه مازندران ارسال شد. برای بررسی فلزات سنگین در نمونه‌های خاک، نمونه‌ها پس از خشک شدن و عبور از الک ۲ میلی‌متری، عبور داده شد. در ابتدا ۱۰ گرم خاک را وزن و در ارلن مایر ۱۲۵ میلی‌لیتری ریخته شد. سپس، ۲۰ میلی‌لیتر از محلول DTPA به آن اضافه نموده و به مدت ۲ ساعت شیک گردید (با شیکر دورانی مدل IKA Werk KS 580 بر روی درجه ۲۵۰ و با شیکر دورانی مدل GFL بر روی درجه ۱۴۵) در نهایت با کاغذ صافی واتمن ۴۲ صاف گردید. سپس میزان فلزات سنگین عصاره با دستگاه جذب اتمی Bulk scientific 210VGP تعیین گردید.

برای بررسی تفاوت بین خاک سه منطقه از آزمون Anova و Duncan استفاده گردید. همچنین از آزمون T مستقل برای اندازه‌گیری میزان تفاوت فلزات موجود در دو نوع خاک (خاک دارای گیاه و خاک بدون گیاه) برای هر گونه، استفاده شد. دلیل استفاده از این آزمون این بود، که نمونه‌برداری از دو نوع خاک به طور کاملاً مستقل و تصادفی صورت گرفت. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۴ و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار اکسل استفاده شد.

یافته‌های پژوهش

میزان اسیدیته و هدایت الکتریکی و نیز بافت خاک در سه نقطه نمونه‌گیری (خاک زیر گونه کاج، خاک زیر گونه اکالیپتوس و خاک منطقه شاهد (بدون درخت)) در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- مقدار اسیدیته، هدایت الکتریکی و بافت خاک در محدوده مورد مطالعه و شاهد

Table 1. Soil acidity, electrical conductivity, and texture in the study area with and control area

هدایت الکتریکی	اسیدیته	بافت خاک	
0.35	6.03	لومی-رسی	خاک منطقه شاهد
0.76	6.40	لومی-رسی	خاک زیر گونه کاج
0.88	6.46	لومی-رسی	خاک زیر گونه اکالیپتوس

با بررسی نمونه‌های پساب کارخانه در ۵ نمونه تصادفی برداشت شده در طول مسیر کانال میانگین میزان pH پساب ۷/۲ و هدایت الکتریکی آن (دسی زیمنس بر متر) ۲ به دست آمد. همچنین میانگین غلظت فلزات در پساب کارخانه در جدول ۲ ارائه شده است. میزان pH، هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر) و بافت خاک در خاک زیر گونه کاج و خاک زیر گونه اکالیپتوس در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲- میانگین اسیدیته، هدایت الکتریکی و غلظت فلزات سنگین در پساب کارخانه

Table 2. Mean of pH, electrical conductivity and heavy metal concentration in factory effluent

Cu	As	Cd	Pb	Ni	Zn	Mn	TDS (mg/l)	EC (ds/m)	pH	فاکتور
0.02	0.001	0.01	0.15	0.002	0.00	0.01	1230	2.05	7.2	غلظت (ppm)

جدول ۳ نتایج تجزیه واریانس خاک سه منطقه مورد بررسی را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که بین پارامترهای خاک سه منطقه تفاوت معنی‌داری بین خاک شاهد و خاک زیر دو گونه وجود دارد.

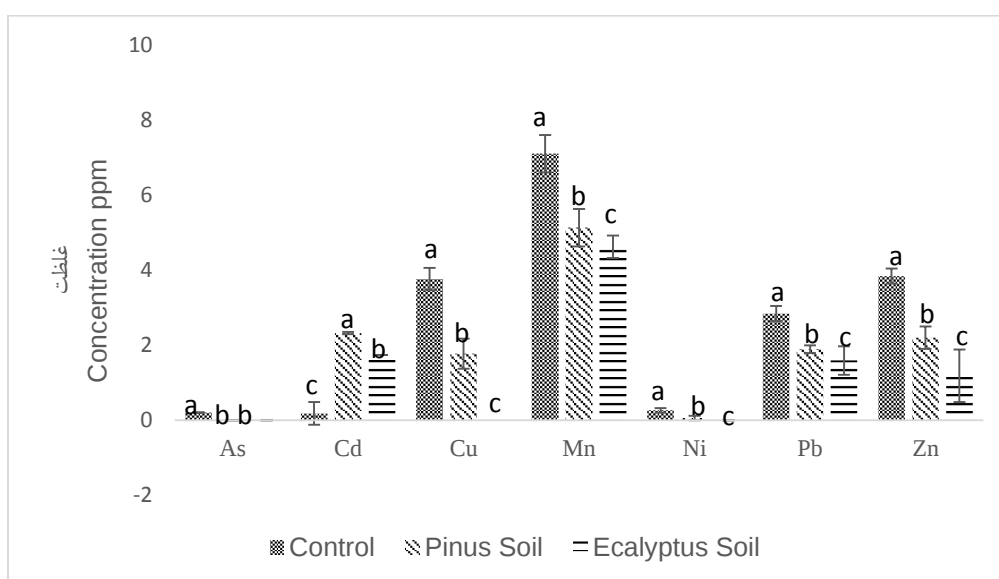
جدول ۳- تجزیه واریانس مقایسه خاک دو گونه کاج و اکالیپتوس با منطقه شاهد

Table 3. Analysis of variance comparing the soil of two species of Pine and Eucalyptus with the control area

Zn	Pb	Ni	Mn	Cu	Cd	As	
66.3	54.07	72.79	66.6	89.13	2.06	4.98	آزمون F
2	2	2	2	۲	2	2	درجه آزادی
0.00**	0.00**	0.00**	0.00**	0.00**	0.1 ^{ns}	0.01*	معنی‌داری

NS: فاقد معنی‌داری؛ **؛ معنی‌داری در سطح ۰/۰۱؛ *؛ معنی‌داری در سطح ۰/۰۵

شکل ۱ میانگین غلظت فلزات در خاک منطقه شاهد با خاک زیر دو گونه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، در اکثر فلزات، غلظت در خاک منطقه شاهد یعنی خاک بدون پوشش بیشتر است. که خود نشان‌دهنده جذب عناصر توسط دو گونه کاج و اکالیپتوس می‌باشد. جدول ۴ نتایج آزمون T-Test را برای خاک زیر دو گونه نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که به جز عنصر کادمیوم تفاوت غلظت‌های در بقیه موارد معنی‌دار بوده است. نتایج میانگین غلظت و انحراف معیار آن در جدول ۵ نشان داده شده است.



شکل ۱- مقایسه غلظت فلزات در خاک منطقه شاهد با خاک زیر دو گونه

Fig 1. Comparison of metal concentrations in soil from the control area with soil from beneath two species.

جدول ۴- نتایج آزمون T-Test جهت مقایسه خاک دو گونه کاج و اکالیپتوس

Table 4. T-Test results for comparing soil between Pine and Eucalyptus species

Zn	Pb	Ni	Mn	Cu	Cd	As	
3.77	2.33	3.14	2.32	4	0.66	2.20	آزمون t
16	16	16	16	16	16	16	درجه آزادی
0.00**	0.03*	0.00**	0.03*	0.00**	0.5 ^{ns}	0.04*	معنی‌داری

NS: فاقد معنی‌داری؛ **؛ معنی‌داری در سطح ۰/۰۱؛ *؛ معنی‌داری در سطح ۰/۰۵

جدول ۵- مقایسه میانگین غلظت و انحراف معیار عناصر در خاک دو گونه کاج و اکالیپتوس

Table 5. Comparison of the mean concentration and standard deviation of elements in the soil of two species of Pine and Eucalyptus

Zn	Pb	Ni	Mn	Cu	Cd	As	گونه
2.20±0.3	1.89±0.04	0.06±0.00	5.13±0.54	1.77±0.01	2.32±0.4	0.0±0.00	کاج
1.18±0.75	1.58±0.38	0.00±0.00	4.62±0.36	0.003±0.00	1.74±0.15	0.0±0.00	اکالیپتوس

همان‌طور که مشاهده می‌شود میزان تجمع عناصر مورد بررسی در خاک زیر گونه کاج بیشتر بوده است. بدین معناست که گونه اکالیپتوس در جذب فلزات از خاک قوی‌تر عمل کرده و نقش مؤثری داشته است. جدول ۶ نتایج آزمون T-Test را برای مقایسه غلظت‌ها در برگ‌های دو گونه را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که به‌جز عناصر کادمیوم و نیکل تفاوت غلظت‌ها در بقیه موارد معنی‌دار بوده است.

جدول ۶- نتایج آزمون T-Test جهت مقایسه برگ دو گونه کاج و اکالیپتوس

Table 6. Results of the T-Test for comparing the leaves of two species of Pine and Eucalyptus

Zn	Pb	Ni	Mn	Cu	Cd	As	آزمون t
-12.47	-3.29	-1.48	-29.77	-2.34	-1.24	-2.29	درجه آزادی
16	16	16	16	16	16	16	معنی‌داری
0.00**	0.01*	0.1 ^{ns}	0.00**	0.03*	0.2 ^{ns}	0.03*	

ns: فاقد معنی داری؛ **: معنی‌داری در سطح ۰/۰۱؛ *: معنی‌داری در سطح ۰/۰۵

جدول ۷ به مقایسه میانگین غلظت عناصر در برگ دو گونه می‌پردازد. همان‌طور که مشاهده می‌شود غلظت فلزات اندازه‌گیری شده در برگ‌های گونه اکالیپتوس بیشتر از گونه کاج بوده است و این خود بیانگر این است که گونه اکالیپتوس توان جذب بالاتری را دارا است. در ردیف آخر جدول مقادیر استاندارد غلظت (تعیین شده توسط سازمان جهانی بهداشت^۱ (Ayob et al., 2021) ارائه شده است.

جدول ۷- مقایسه میانگین غلظت عناصر در برگ دو گونه کاج و اکالیپتوس (ppm)

Table 7. Comparison of the mean concentration of elements in the leaves of two species of Pine and Eucalyptus (ppm)

Zn	Pb	Ni	Mn	Cu	Cd	As	گونه
21.38±1.81 ^b	8.29±0.71 ^b	0.001±0.00 ^b	20.75±1.08 ^b	5.58±0.37 ^b	1.26±0.03 ^b	0.95±0.07 ^b	کاج
35.39±2.83 ^a	9.46±0.5 ^a	0.02±0.04 ^a	98.63±7.76 ^a	6.28±0.81 ^a	1.45±0.34 ^a	1.2±2.03 ^a	اکالیپتوس
3	0.01	0.02	1.30	2	0.2	0.00	سازمان جهانی بهداشت (Miranji et al. 2024)

نتایج حاکی از آن است که بین غلظت‌های به‌دست آمده با مقادیر استاندارد تعیین شده فاصله زیادی وجود دارد که خود بیانگر شدت آلودگی در خاک این منطقه است. جدول‌های ۸ و ۹ میزان همبستگی بین غلظت فلزات سنگین نمونه‌های خاک و برگ هر یک از گونه‌های درختی را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود به‌جز عنصر نیکل باقی عناصر همبستگی بسیار بالایی را نشان دادند.

جدول ۸- میزان همبستگی بین غلظت فلزات سنگین نمونه‌های خاک و برگ گونه اکالیپتوس

Table 8. Correlation between heavy metal concentrations in soil samples and Eucalyptus leaves

	As	Cd	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
As	1						
Cd	0.94**	1					
Cu	0.95**	0.92**	1				
Mn	0.99**	0.93**	0.95**	1			
Ni	-0.2	-0.26	-0.1	-0.2	1		
Pb	0.99**	0.94**	0.95**	0.99**	-0.2	1	
Zn	0.99**	0.95**	0.94**	0.99**	-0.2	0.98**	1

^۱WHO. Whorld health organization

جدول ۹- میزان همبستگی بین غلظت فلزات سنگین نمونه های خاک و برگ گونه کاج

Table 9. Correlation between heavy metal concentrations in soil samples and Pine leaves

	As	Cd	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
As	1						
Cd	0.94**	1					
Cu	0.98**	0.96**	1				
Mn	0.98**	0.94**	0.98**	1			
Ni	0.05	0.02	0.1	0.1	1		
Pb	0.98**	0.96**	0.97**	0.98**	0.01	1	
Zn	0.98**	0.94**	0.98**	0.98**	0.07	0.98**	1

بحث و نتیجه گیری

وجود فلزاتی چون کادمیوم، سرب، نیکل، کروم و آرسنیک در مراحل مختلف تولید صنایع چوب در مطالعات متعددی ثابت شده است (Rudi et al., 2020; Sabagh et al., 2024; Demcaka et al., 2019; Jones et al., 2019) که اغلب چالش های جدی برای سلامت انسان و اکوسیستم های طبیعی به وجود می آورند. در تحقیق حاضر نیز بررسی نتایج نمونه های خاک و برگ جمع آوری شده از اطراف کارخانه آراین شیمی حاکی از وجود فلزات سنگین در آن می باشد. Ayob و همکاران (۲۰۲۱) بیان کردند که با اینکه کل فرآیند تولید تراشه به عنوان یک فرآیند خشک در نظر گرفته می شود، اما پساب ایجاد شده پس از تمیز کردن سطوح، مخازن ذخیره سازی و ماشین آلات، باعث شستشوی فلزات سنگین و به وجود آمدن آنها در پساب می شود. برخلاف آلاینده های آلی که به راحتی توسط فعالیت های میکروبی تجزیه می شوند. عدم تجزیه پذیری فلزات سنگین سمی منجر به ورود آنها در زنجیره های غذایی شده که اثرات فاجعه آمیزی بر روی حیوانات و انسان ها دارد. دفع زباله های ناشی از پساب مواد نگهدارنده و حفاظت کننده از چوب یکی از معضلات محیط زیستی به شمار می آید که می تواند تبعات زیادی را به همراه داشته باشد.

در مطالعه حاضر با مقایسه نتایج (غلظت فلزات در نمونه شیرابه) (غلظت فلزات در نمونه های خاک و برگ) مشاهده شد که غلظت فلزات در نمونه های پساب کمتر از مقادیر آن در نمونه های خاک و برگ مورد مطالعه می باشد. Ayob و همکاران نیز در سال (۲۰۲۱) نیز به مطالعه میزان غلظت فلزات سنگین در پساب و چوب های فرآوری شده در کارخانه چوب پرداختند و نشان دادند که بالا بودن میزان فلزات در پساب با بالا بودن غلظت فلزات سنگین در تراشه های چوبی نسبت مستقیم دارد. آنها نیز غلظت فلزات در شیرابه را کمتر از غلظت مشاهده در خرده چوب ها به دست آوردند. برای مثال آنها غلظت روی، کادمیوم، منگنز، سرب و مس را، به ترتیب ۳۷/۷، ۰/۹۱، ۸۰/۹، ۳/۴ و ۱/۱۷ میلی گرم بر لیتر در نمونه های خرده چوب به دست آوردند در حالی که غلظت فلزات فوق در نمونه های شیرابه کمتر و به ترتیب برابر ۰/۲۲، ۰/۰۰۱، ۰/۵۵، ۰/۰۰۰ و ۰/۰۰۷ به دست آوردند. که از این نظر با نتایج تحقیق حاضر هم خوانی دارد. بیشترین غلظت فلزات در نمونه های برگ گونه اکالپیتوس مشاهده شد که برای فلزات روی، کادمیوم، منگنز، سرب و مس به ترتیب برابر ۳۵/۳۹، ۱/۴۵، ۹۸/۶۳، ۹/۴۶ و ۶/۲۸ میلی گرم بر کیلوگرم به دست آمد. همچنین حد مجاز غلظت فلزات سنگین در محیط زیست (تعیین شده توسط سازمان جهانی بهداشت) نشان داده شد. همان طور که مشاهده شد غلظت های اندازه گیری شده در نمونه های خاک و برگ در تحقیق حاضر بیشتر از حد مجاز می باشد که به دلیل نشست گردوغبارهای ساطع شده از دودکش کارخانه و نیز پساب های رها شده می باشد. ABbd Karim و همکاران (۲۰۱۲) بیان کردند که در کارخانجات تولید MDF، گرده بینه هایی که اول پوست کنی شده و سپس سوزانده می شوند، گردوغبارهای ناشی از این فرآیند پس از نشست در اراضی اطراف می توانند موجب آلودگی آب و خاک به فلزات سنگینی چون مس، سرب، کادمیوم، کروم و روی شوند.

نتایج بررسی نمونه های خاک در تحقیق حاضر نشان داد، که بین تمامی فلزات سنگین مورد بررسی به جز کادمیوم در خاک منطقه شاهد و خاک منطقه جنگلکاری شده اختلاف معنی دار وجود دارد و غلظت فلزات در خاک منطقه شاهد به مراتب بیشتر از منطقه جنگلکاری شده بوده است. مطالعات متعددی حاکی از آن است که برخی گیاهان توانایی انباشت آلاینده هایی از قبیل

فلزات سنگین را اندام‌های هوایی خود دارند بدون آنکه مشکلی در فرآیندهای فیزیولوژیکی و رشد و نمو آنها ایجاد شود به این قبیل گیاهان اصطلاحاً بیش‌اندوز گفته می‌شود. Assareh (۲۰۰۸) نیز نشان داد، که اکالیپتوس‌ها مقادیر زیادی از آلاینده‌ها را جذب کرده‌اند. همچنین مقدار عمده آلاینده‌ها در سال‌های اولیه کاشت اکالیپتوس‌ها جذب شده‌اند. همچنین بیان کردند که عناصر آلاینده اغلب در بافت‌ها و اندام‌های فعال و در حال رشد تجمع می‌یابند (Pulford & Watson, 2001). Koneshlo (۲۰۰۵) نیز در گزارش مشابهی نشان داد که در بین گونه‌های وارداتی، گونه‌های جنس اکالیپتوس بیشترین نقش را در کاهش آلودگی محیط داشته‌اند. مطالعه Ghaderian و Rvandi (۲۰۱۲) نیز نشان دادند که با توجه به بالا بودن مقادیر فلزات در درخت کاج این گونه جزء گونه‌های بیش‌اندوز به‌شمار می‌آید. اما در تحقیق حاضر مقادیر میانگین غلظت تمامی فلزات در خاک زیر گونه اکالیپتوس کمتر از نمونه خاک زیر گونه کاج مشاهده شد. همچنین در نمونه‌های برگ اکالیپتوس بیشتر نمونه‌های برگ گونه کاج بود که نشان‌دهنده قدرت بیشتر این گونه در گیاه‌پالایی می‌باشد. در این راستا مطالعه Phiri و Ncube (۲۰۱۵) که به مقایسه میزان فلزات سنگین در دو گونه کاج و اکالیپتوس پرداختند، نشان داد که غلظت تمامی فلزات سنگین مورد مطالعه در نمونه‌های اکالیپتوس بیشتر از گونه کاج بوده است.

نتایج اندازه‌گیری فلزات در نمونه‌های برگی نشان داد، که از میان فلزات سنگین مورد بررسی، تنها بین مقادیر کادمیوم و نیکل اختلاف معنی‌داری وجود ندارد ولی در باقی فلزات تفاوت کاملاً معنی‌دار بوده و در تمامی موارد گونه اکالیپتوس در زمینه جذب عناصر از خاک عملکرد بهتری نشان داده است که علت آن بالاتر بودن قدرت گیاه‌پالایی در این گونه و نیز پهن‌برگ بودن آن است. همانند نتایج تحقیق حاضر، Asareh (۲۰۰۸) نیز نشان داد که گونه‌های مختلف اکالیپتوس توانایی بالایی در جذب آلاینده‌ها از محیط دارند. همچنین جذب در سال‌های اولیه کاشت اکالیپتوس‌ها به مراتب بیشتر بوده است. مطالعه Pulford و همکاران (۲۰۰۱) نشان داد که در بافت‌ها و اندام‌های فعال و در حال رشد تجمع آلاینده بیشتر مشاهده می‌شود. Dehghan و همکاران (۲۰۱۶) نیز نشان دادند، که گونه *E. microtheca* کارایی خوبی در جذب کادمیوم و روی از خود نشان داد. Shariat و همکاران (۲۰۱۰) نیز بیان کردند، که گونه اکالیپتوس قادر است بدون ایجاد هیچ گونه اختلال در رشد، میزان بالایی از فلز کادمیوم را در خود تجمع دهد. بنابراین می‌توان از این گونه جهت کاهش آلودگی‌های محیط‌زیست استفاده نمود. در تحقیق Nagajyoti و همکاران (۲۰۱۰) بیشترین مقدار کادمیوم در گونه‌های درختی مورد مطالعه در برگ گونه کاج مشاهده شد. آنها میزان کادمیوم را در گونه‌های مورد مطالعه بین ۰/۳-۰/۰۵ (ppm) گزارش کردند. پایین بودن میزان کادمیوم در ریشه‌ها را به دلیل تحرک‌پذیری بالای این عنصر بیان کردند. در پژوهش حاضر نیز، میزان کادمیوم در نمونه‌های برگ کاج و اکالیپتوس، به ترتیب ۱/۲۶ ppm و ۱/۴۵ ppm مشاهده شد. همانند نتایج تحقیق حاضر که حاکی از قدرت گیاه‌پالایی بیشتر گونه اکالیپتوس نسبت به گونه کاج است، Mollashahi و همکاران (۲۰۱۳) نیز پیشنهاد کردند که برای کاهش آلودگی‌های محیطی می‌توان از گونه‌های پهن‌برگ استفاده کرد، زیرا این درختان نقش تصفیه‌کننده طبیعی را به خوبی ایفا نمایند و در این رابطه بسیار کم هزینه هستند. از این رو می‌توان گفت، این گونه همیشه سبز، سریع‌الرشد و مقاوم که دارای ریشه‌های عمیق است در اولویت کاشت برای حذف آلودگی به فلزات سنگین پیشنهاد می‌گردد.

با توجه به نتایج تحقیق حاضر، می‌توان نتیجه‌گیری نمود که برای کاهش فلزات سنگین از محیط می‌توان از هر دو گونه کاج و اکالیپتوس استفاده نمود اما به جهت نقش بهتر اکالیپتوس در جذب بیشتر غلظت فلزات سنگین، این گونه بیشتر پیشنهاد می‌گردد.

ملاحظات اخلاقی

حامی مالی

مقاله حاضر با حمایت مالی و معنوی معاونت پژوهشی دانشگاه سمنان انجام شد.

مشارکت نویسندگان

نویسندگان به طور مساوی در کلیه مراحل طراحی و انجام پژوهش، گردآوری داده‌ها، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، تحلیل و تفسیر اطلاعات و نتایج، تهیه پیش نویس مقاله، بررسی و کنترل نتایج، اصلاح، بازبینی و نهایی سازی مقاله مشارکت داشتند.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

بیانیه دسترسی به داده‌ها

داده‌های پژوهش حاضر از طریق درخواست از نویسندگان (نویسنده مسئول) قابل دسترسی است.

سپاسگزاری

از داوران محترم به خاطر ارائه نظرهای ساختاری و علمی سپاسگزاری می‌شود.

References

- Abd Karim, A.T., Masirin M.I.M., Loon, L.Y., Abd Latif, A.A., Taha, M.R., 2012. Speciation of Rubber Wood Bark Ash, International Journal of Applied Science and Technology 2(9), 75-82.
- Asgarzadeh, S., Rostamian, R., 2013. Removal of heavy metals from water by Pinus eldarica, National Conference on Water Recycling; A Principled Strategy for Water Crisis Management, University of Tehran.
- Assareh, M.H., Shriat, A., Ghamari-Zare, A., 2008. Seedling response of three Eucalyptus species to copper and zinc toxic concentrations. Caspian Journal of Environmental Sciences 6(2), 97-103.
- Ayob, S., Othman, N., Altowty, W.A.H., Khalid, F.S., Bakar, N.A., Tahir, M., Soedjojo, E.S., 2021. A Review on Adsorption of Heavy Metals from Wood-Industrial Wastewater by Oil Palm Waste, Journal of Ecological Engineering 22(3), 249-265.
- Barakat, M.A., 2011. New trends in removing heavy metals from industrial wastewater, Arabian Journal of Chemistry 4, 361-377.
- Bech, J., Duran, P., Roca, N., Poma, W., Sánchez, I., Roca-Pérez, L., Boluda, R., Barceló, J., Poschenrieder, Ch., 2012. Accumulation of Pb and Zn in Bidens triplinervia and Senecio sp. Spontaneous species from mine spoils in Peru and their potential use in phytoremediation. J Geochem Explor 123, 109-113.
- Bouchareb, R., Derbal, K., Özay, Y., Bilici, Z., Dizge, N., 2020. Combined natural/chemical coagulation and membrane filtration for wood processing wastewater treatment. Journal of Water Process Engineering 37, 101521.
- Dehghan, M., Moshaki, A., Mollashahi, M., 2016. Comparative evaluation of Cd and Zn uptake by two eucalyptus species, Iranian Journal of Forest and range Protection Research 14(1), 22-33. (In Persian)
- Demcaka, S., Balintovaa M., Demcakovab, M., Csachb, K., Zinicovscaia, I., Yushind, N., Frontasyeva M. 2019. Effect of alkaline treatment of wooden sawdust for the removal heavy metals from aquatic environments Desalination and Water Treatment 155, 207-215.
- Ehtesham Rad, S., 1998. Study of the resistance of Pinus eldarica to suspended particle pollution in the Mobarakeh Steel Complex in Isfahan. Master's thesis in Environmental Sciences, Islamic Azad University, Tehran Science and Research Branch, 104 p. (In Persian)
- Ghaderian, S.M., Ravandi, A.A.G., 2012. Accumulation of copper and other heavy metals by plants growing on Sarcheshmeh copper mining area, Iran. Journal of Geochemical Exploration 123, 25-32.
- Ghaemi, A.A., Majdodin, F., 2016. Phytoremediation study of vetiver and eucalyptus in the absorption of some heavy metals from wastewater in soil contaminated with waste leachate, Journal of Water Resources Engineering 9(25), 95-106. (In Persian)

- Jones, A.S., Marinia J., Solo-Gabrielea H.M., Robey N.M, Townsend T.G., 2019. Arsenic, copper, and hromium from treated wood products in the U.S. disposal sector Waste Management 87(15), 731-740.
- Keneshlo, H., 2005. Restoration reforestation practices in forest ecosystems of Iran damaged by Kuwaiti burning oil wells. Final Report of Research Project, Research Institute of Forests and Rangelands, 67 p.
- Kloch, M. Mamińska, R.T., 2020. Toward optimization of wood industry wastewater treatment in microbial fuel cells – mixed wastewaters approach. Energies 13(1), 263.
- Liu, Y., Du, J., Dong, Z., Rahman, M.M., Gao, Y., Yan, K., Naidu, R., 2019. Bioavailability and risk estimation of heavy metal (loid)s in chromated copper arsenate treated timber after remediation for utilisation as garden materials. Chemosphere 216, 757-65
- Maher, B.A., Moore, C., Matzka, J., 2008. Spatial variation in vehicle-driven metal pollution identified by magnetic and elemental analysis of roadside tree leaves. Journal of Atmospheric Environment 42, 364-373.
- Mamińska, R.T., 2020. Wood-Based Panel Industry Wastewater Meets Microbial Fuel Cell Technology. International Journal of Environmental Research and Public Health 17(7), 2369.
- Mazandaran Meteorology General Office, 2019. Quarterly of meteorological analysis of Mazandaran Province, Autumn 2019.
- Meena, R.K., 2022. Hazardous effect of chemical wood preservatives on environmental conditions, ecological biodiversity and Human being and its alternatives through different botanicals: A Review, Environment and Ecology 40(3), 1137-1143.
- Miranji, E.K., Kibet, J.K., Kipkemboi, P.K., 2024. Determination of potentially toxic heavy metals in selected wood treatment sites in Uasin Gishu County and their associated health Concerns, Discover Environment 2(70), 1-15.
- Mollashahi, M., Alimohammadian, H., Hosseini, S.M., Feizi, V., Riahi, A., 2013. Quantification of Tehran air pollution with heavy metals using *Morus alba* leaves, Geography and Environmental Hazards 7, 69-74. (In Persian)
- Morais, S., Fonseca, H., Oliveira, S.M.R., 2021. Environmental and health hazards of chromated copper arsenate-treated wood: a review. Int J Environ Res Public Health 18(11), 5518.
- Nagajyoti, P., Lee, K., Sreekanth, T., 2010. Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. Environmental Chemistry Letters 8, 199-216.
- Nazarpour, S., Khoram nejadian, S.H., Jozi, S.A, Saeb, K., 2015. S., Comparison of lead and cadmium accumulation in the leaves of *Pinus eldarica* in the cold and warm seasons of the year. Journal of Sustainability, Development and Environment 2(3), 33-44. (In Persian)
- Ncube, E., Phiri, B., 2015. Concentration of heavy metals in Eucalyptus and Pinus wood sawdust and smoke, Copperbelt province, Zambia. Maderas. Ciencia Tecnología 17(3), 585-596.
- Pulford, I., D., Watson, C., McGregor, S.D., 2001. Uptake of chromium by trees: prospects for phytoremediation. Environmental Geochemistry and Health 23, 307-311.
- Rudi, N.N., Muhamad, M.S., Omar, S., Hamidon, N., Hazren, N., Hamid, A., Harun, H., Sunar, H.M. Ali, R. 2020. A review on manganese sources, occurrences, negative impacts, and potential treatment using adsorption process. International Journal of Emerging Trends in Engineering Research 8(1.2), 233-247.
- Sabagh, M., Mollashahi, M., 2024. Assessment of Heavy Metal Pollution (Chromium, Lead, Nickel and Zinc) in a Municipal Solid Waste Landfill (Case Study: Semeskandeh Forest, Sari), Climate and Ecosystem of Arid and semi-Arid Regions 2(1), 139-148.
- Sardabi, H., Slehs Hoshtari, M.H., Banj shafiei, S.H., Jafari, A.A., Toghraie, N., Shariat, A., Assareh, M.H., 2013. Investigation on potential of few eucalypt species for absorbing pollutants and reserving them in their leaves, Iranian Journal of Forest and Poplar Research 21(20), 357-372. (In Persian)
- Shariat, A., Assareh, M.H. Ghamari-Zare, A. 2010. Effects of Cadmium on Some Physiological Characteristics of *Eucalyptus occidentalis*. Journal of Water and Soil Science 14 (53), 145-154. (In Persian)