



Investigation on Phytoremediation Capability of Artiplex (*Atriplex* sp.) and Oleander (*Nerium oleander*) in Aradkooch Landfill for Cadmium and Lead

M. Rafati^{1*}, M. Malekzade², M. Firoozi³

Received: 23-02-2023

Revised: 06-06-2023

Accepted: 23-06-2023

Available Online: 24-06-2023

How to cite this article:

Rafati, M., Malekzade, M., & Firoozi, M. (2023). Investigation on phytoremediation capability of Artiplex (*Atriplex* sp.) and Oleander (*Nerium oleander*) in Aradkooch landfill for cadmium and lead. *Journal of Water and Soil*, 37(4), 547-560. (In Persian with English abstract).
<https://doi.org/10.22067/jsw.2023.81321.1256>

Introduction

Increasing industrial activities with the production of pollutants, including heavy metals, is one of the serious problems of modern communities, which has led to their accumulation in the environment. Heavy metals are also one of the important pollutants in landfill leachate. Plants and soil near the landfill may be contaminated by the leachate. Landfilling is the oldest method of solid waste disposal which can be a threat to the environment and health. Due to its easy operation and cost-effective, landfill is the most widely used method of municipal solid waste disposal in the world. Pollution cleaning technologies to reduce the harmful effects in the locations contaminated with heavy metals can be done by physical, chemical and biological methods. Phytoremediation, as a biological method, uses the green plants to extract, sequester, and detoxify pollutants. This method is a low-cost technique, environmentally friendly, and due to the non-production of by-products, is non-destructive for natural ecosystems. Considering the high moisture of wastes in Iran and their potential to produce leachate, as well as the possibility of contamination of water and soil in the landfill, especially with heavy metals, this study was conducted with the aim of evaluating the accumulation of lead (Pb) and cadmium (Cd) heavy metals in the soil, shoots and roots of artiplex (*Atriplex* sp.) and oleander (*Nerium oleander*) plants in Aradkooch landfill of Tehran.

Materials and Methods

This study was conducted in Aradkooch landfill which is located in the south of Tehran in the Kahrizak region. About 5200 tons of municipal solid waste were sent to this landfill every day. A part of the solid waste in Aradkooch was placed in various processes to energy and compost, and about 2500 tons of the solid waste was landfilled. According to previous reports, it is estimated that 250 cubic meters of leachate are produced daily in the Aradkooch landfill. In the studied landfill, there is an artiplex plant in four areas and a hand-planted oleander in one area. Ten samples of soil, root, and shoot, totaling 120 total were randomly selected from each growing area of the artiplex plant. Oleander shoots and soil were also tested from 10 different plants for a total of 40 samples. Then the levels of Cd and Pb in the soil, roots, and shoots were assessed. In this study, the outcomes were analyzed employing four key indices: the bioconcentration factor (BCF), the translocation factor (TF), the pollution index (PI), and PINemerow. The BCF and TF indices were employed to assess the phytoextraction and phytostabilization capabilities of plants, while the PI and PINemerow methods were used to pinpoint the most environmentally hazardous heavy metal in the soil.

Results and Discussion
According to the results, the concentration of Pb and Cd in shoots of artiplex area 2 (with an average of 19.7 and 5.75 mg/kg, respectively) were significantly higher than in other areas, while the concentration of these metals in root of oleander (with an average of 8.17 and 1.06 for Pb and Cd, respectively) were higher than the shoot. The amount of Pb element in soil of the oleander plant (with an average of 35.13 mg/kg) and Cd in soil of the artiplex

1, 2 and 3- Assistant Professors and M.Sc., Department of Environment, Faculty of Marine Science and Technology, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, respectively.

(*- Corresponding Author Email: m_rafati@iau-tnb.ac.ir)

DOI: [10.22067/jsw.2023.81321.1256](https://doi.org/10.22067/jsw.2023.81321.1256)

area 2 (with an average of 3.78 mg/kg) were significantly higher than other areas. Additionally, the levels of heavy metals in the soil of two plants were higher than the Nemerow index, which indicated high levels of pollution in the sampling areas, but still below the safe levels that was set by national standards (3.9 and 300 mg/kg for Cd and Pb respectively) and the World Health Organization (5 and 40 mg/kg for Cd and Pb, respectively). In addition, bioaccumulation factor of shoot in all growth atriplex areas for Pb and Cd (with an average of 1.44 and 1.3, respectively) were higher than 1.0 while, the root bioaccumulation factors of this plant in any of the growth areas, were not higher than 1.0. In the case of oleander, the shoot and root bioconcentration factors for Pb and Cd were not reported more than one.

Conclusion

In general, it appears that atriplex, a native plant in the Aradkooh landfill, exhibits superior capabilities for absorbing heavy elements compared to oleander. Therefore, atriplex seems well-suited for the extraction of Pb and Cd from the soil, as it can accumulate these metals in its shoots. In contrast, oleander is not well-suited for phytostabilization or phytoextraction of these elements, as it exhibits limited ability to accumulate these heavy metals in its roots and shoots. Consequently, atriplex can be a valuable choice as a resilient species for phytoremediation projects in landfills and areas near mines. It is worth noting that the Pb content in the soil is higher than that of Cd. Although both metals fall within the permissible limits of national and WHO standards, the soil in the Aradkooh landfill is considered to be significantly polluted based on the Nemerow index.

Keywords: *Atriplex* sp., Bioaccumulation factor, *Nerium oleander*, Phytoremediation, Translocation factor

مقاله پژوهشی

جلد ۳۷، شماره ۴، مهر-آبان ۱۴۰۲، ص. ۵۶۰-۵۴۷

بررسی قابلیت گیاه‌پالایی آتریپلکس (*Atriplex sp.*) و خرزهره (*Nerium oleander*) در جذب فلزات سنگین سرب و کادمیوم در مرکز دفن آرادکوه

مریم رفعتی^۱ - مریم ملک زاده^۲ - مجید فیروزی^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۰۴

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۳/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۰۲

چکیده

فلزات سنگین یکی از آلاینده‌های اصلی شیرابه زباله هستند که می‌توانند گیاهان و خاک اطراف محل دفن را آلوده نمایند. در این پژوهش به بررسی تجمع فلزات سنگین سرب و کادمیوم در دو گونه گیاهی آتریپلکس (*Atriplex sp.*) و خرزهره (*Nerium oleander*) در مرکز دفن آرادکوه شهر تهران پرداخته شد. در این مرکز، گیاه آتریپلکس به صورت خودرو در چهار منطقه و خرزهره به صورت دست‌کاشت در یک منطقه وجود دارد. از هر منطقه رویش آتریپلکس، ۱۰ نمونه به‌طور تصادفی از ریشه و اندام هوایی و خاک پای گیاه (جمعا ۱۲۰ نمونه) برداشت شد. همچنین از ریشه، ساقه و برگ‌های گیاه خرزهره هر کدام ۱۰ نمونه و ۱۰ نمونه از خاک پای هر گیاه نمونه‌برداری گردید (جمعا ۴۰ نمونه). بر اساس نتایج، غلظت سرب و کادمیوم در اندام هوایی آتریپلکس منطقه ۲ با میانگین به‌ترتیب ۱۹/۷ و ۵/۷۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم از دیگر مناطق به‌صورت معنی‌داری بیشتر بود و این در حالی است که در گیاه خرزهره میانگین غلظت این فلزات در ریشه (با مقادیر ۸/۱۷ و ۱/۰۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌ترتیب برای سرب و کادمیوم) بیشتر از اندام هوایی بود. میزان تجمع عنصر سرب در خاک پای گیاه خرزهره با میانگین ۳۵/۱۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم و کادمیوم در خاک آتریپلکس منطقه ۲ با میانگین ۳/۷۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم نیز از دیگر مناطق به‌صورت معنی‌داری بیشتر بود و با اینکه هر دو فلز در محدوده مجاز استانداردهای ملی و سازمان بهداشت جهانی واقع شدند، اما خاک منطقه براساس شاخص Nemerow در وضعیت آلودگی زیاد قرار داشت. همچنین میانگین فاکتور تجمع زیستی اندام‌های هوایی در چهار منطقه رویشی آتریپلکس برای سرب و کادمیوم به‌ترتیب برابر با ۱/۴۴ و ۱/۳ بود، در صورتی که ریشه این گیاه در هیچ یک از مناطق رویشی، ضریب تجمع زیستی بالاتر از ۱ برای فلزات مذکور نداشت. در مورد خرزهره نیز ضریب تجمع زیستی کادمیوم و سرب در اندام هوایی و ریشه بالاتر از ۱ گزارش نشد. به‌طور کلی، می‌توان گفت که آتریپلکس برای استخراج عناصر سرب و کادمیوم از خاک و تجمع این فلزات در اندام‌های هوایی مناسب به نظر می‌رسد. در صورتی که خرزهره برای تثبیت یا استخراج عناصر مذکور مناسب نبوده و قابلیت اندکی برای تجمع فلزات مذکور در ریشه یا اندام هوایی دارد.

واژه‌های کلیدی: آتریپلکس، خرزهره، فاکتور انتقال، فاکتور تجمع زیستی، گیاه‌پالایی

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب استادیاران و کارشناس ارشد گروه محیط‌زیست، دانشکده علوم و فنون دریایی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

(*) نویسنده مسئول: (Email: m_rafati@iau-tnb.ac.ir)

مقدمه

افزایش روزافزون فعالیت‌های صنعتی توأم با تولید آلاینده‌ها از جمله فلزات سنگین یکی از مشکلات جدی و در حال گسترش انسان عصر حاضر است که منجر به تجمع آنها در محیط‌زیست شده است (Marsum et al., 2022). در بین آلودگی‌های ایجاد شده، افزایش تجمع و غلظت فلزات سنگین در خاک یکی از مخرب‌ترین نتایج فعالیت‌های بشر بوده است که باعث کاهش کیفیت خاک، آلودگی محصولات کشاورزی و سفره‌های زیرزمینی شده است (Motuzova et al., 2014). حضور فلزات سنگین در آب و خاک به دلیل سمیت، خطر بالقوه ورود آنها به زنجیره غذایی و تجمع زیستی، همچنین تجزیه ناپذیری و پایداری در طبیعت، تهدیدی بزرگ برای محیط‌زیست و سلامت انسان محسوب می‌گردد (Zahedi Mehrab et al., 2020; et al., 2014).

آلودگی خاک به فلزات سنگین علاوه بر منابع طبیعی، ناشی از فعالیت‌های گوناگون بشر از جمله معدن‌کاوی، ذوب فلزات، استفاده از کودهای شیمیایی در زمین‌های کشاورزی و استفاده از لجن فاضلاب است (Zahedi et al., 2013; Solgi et al., 2021). در این بین مراکز دفن پسماند نیز به‌عنوان یکی از کانون‌های تولید و تجمع فلزات سنگین مطرح هستند که از طریق حضور باتری‌ها، رنگ‌ها، روغن‌ها و محصولات الکتریکی در معرض حضور فلزات سنگینی چون سرب و کادمیوم قرار دارند. طبق نظر آژانس حفاظت از محیط‌زیست امریکا، سرب اولین و کادمیوم هفتمین فلز سنگین آلاینده با اثرات مخرب بر بدن انسان، گیاهان و حیوانات است (Zhang et al., 2021). مهم‌ترین آلودگی مرتبط با سایت‌های دفن پسماند، شیرابه و گاز تولید شده در اثر تجزیه زباله‌های دارای ترکیبات آلی است که در صورت عدم کنترل و نشت به محیط به دلیل اثرگذاری طولانی مدت، حتی صدها سال پس از بسته شدن محل دفن نیز تاثیر منفی آن مشاهده می‌شود (Anjanapriya et al., 2022; Kowsari et al., 2022). ترکیبات موجود در شیرابه زباله از جمله فلزات سنگین، مواد هومیک و نمک‌های آلی و معدنی کلردار از مهم‌ترین آلاینده‌های محیط زیست هستند که اثرات نامطلوبی بر بدن موجودات زنده دارند. بنابراین پالایش شیرابه بسیار ضروری است (Hassan et al., 2021; Anning and Akoto, 2018).

از میان روش‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی کنترل آلاینده‌ها، گیاه‌پالایی به عنوان تکنولوژی سبز، قادر به حذف و تغییر شکل طیف گسترده‌ای از آلاینده‌های فلزات سنگین شیرابه و خاک با کمترین هزینه بوده که در مقایسه با سایر روش‌های فیزیکی و شیمیایی به علت عدم تولید محصولات جانبی، برای اکوسیستم‌های طبیعی

مخرب نیست (Geravand et al., 2021). در این راستا مطالعات مختلفی در تعیین میزان آلودگی گیاهان موجود در مرکز دفن پسماند به فلزات سنگین صورت گرفته است. شریفی و همکاران (Sharifi et al., 2022) با مطالعه توانمندی گیاه گزنه (*Urtica dioica* L.) در جذب فلزات سنگین از خاکی که با شیرابه محل دفن پسماند آبیاری شده بود، نشان دادند با افزایش غلظت شیرابه، مقدار فلزات سنگین نیکل، سرب و کادمیم در این گیاه افزایش یافته و اندام هوایی توانایی جذب بیشتری نسبت به سایر اندام‌ها دارد. در پژوهشی دیگر، گراوند و همکاران (Gravand et al., 2021) به بررسی میزان جذب فلزات سنگین شیرابه زباله توسط گیاه وتیور (*Vetiveria zizanioides*) از یک خاک آلوده پرداختند که نتایج این تحقیق نشان از بیشتر بودن میزان جذب فلزات سنگین سرب، کادمیم، منگنز و نیکل در ریشه این گیاه داشت. نتایج بررسی ونگدالا و همکاران (Vongdala et al., 2019) بر روی تجمع برخی فلزات سنگین در خاک و گیاهان محل دفن پسماند شهری در لائوس، نشان داد که ساقه و ریشه گیاه ایپوموآ آکواتیکا (*Ipomoea aquatica*) به ترتیب فلزات کادمیم < کروم < سرب < روی در خود انباشته کرده بود. پژوهش واورکا و همکاران (Vaverkova et al., 2014) در بررسی فلزات سنگین کادمیم، کروم، مس، نیکل، سرب و روی توسط گونه‌های گیاهی مختلف در یک منطقه دفن زباله در جمهوری چک نشان داد که گیاهان تاناکتوم و لگره (*Tanacetum vulgare*) و لایکوپیرسکون ایسکلینتوم (*Lycopersicon esculentum*) دارای محتوی کادمیم بالا در ریشه هستند. همچنین با مطالعه‌ای که بر روی گیاهان آتریپلکس (*Atriplex verucifera*)، سالیکورنیا (*Salicornia europaea*) و سلمه تره (*Chenopodium album*) در جذب فلزات سنگین سرب و کادمیم بر روی سه نوع متفاوت خاک شور- سدیمی، آهکی و معمولی انجام شد، مشخص گردید که سالیکورنیا بالاترین انباشت کادمیم و سالیکورنیا و آتریپلکس بالاترین انباشت سرب را در خاک‌های شور- سدیمی داشتند، درحالی که سلمه تره و آتریپلکس عملکرد نسبی بالایی از نظر مقدار ماده خشک تولیدی تحت شرایط آلودگی با کادمیم در خاک معمولی از خود نشان دادند (Hamzenejad et al., 2012; Taghlidabad).

یکی از مراکز دفن زباله‌ی تولید شده در شهر تهران، مجتمع پردازش و دفن زباله آرادکوه در بخش جنوبی کهریزک است. با توجه به ورود روزانه بیش از ۵۲۰۰ تن انواع پسماند به این مجتمع، دفن مستقیم آنها در چند دهه گذشته و خروج شیرابه ناشی از مراکز دفن به حوضچه‌های موجود و لایه‌های زیرین خاک، احتمال دارد که در صورت وجود فلزات سنگین در پسماندهای ورودی، شیرابه ناشی از آنها نیز به

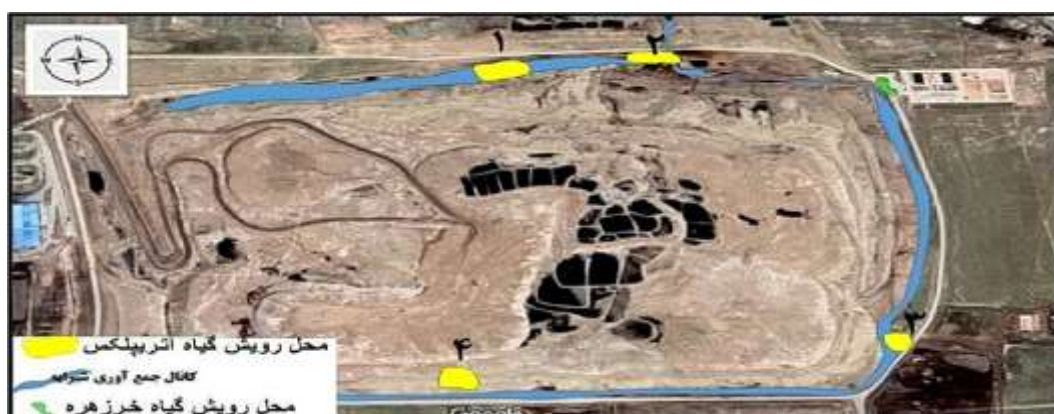
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

مجتمع پردازش و دفن زباله آرادکوه از تاسیسات دفع و بازیافت پسماندهای شهر تهران است. این مجتمع در سال ۱۳۳۰ با مساحت حدود ۱۳۰۰ هکتار در بخش کهریزک ساخته شد که در عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۱۸ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۳۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۱۴ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۹ دقیقه طول شرقی در شهرستان ری استان تهران واقع شده است (شکل ۱). طبق گزارش سازمان مدیریت پسماند تهران، روزانه میزان ۵۲۰۰ تن پسماند شهری جهت پردازش و دفع، وارد این مجتمع می‌شود که از این مقدار حدود ۲۵۰۰ تن دفن شده و مابقی وارد فرایندهای دیگری چون تولید کمپوست، زباله سوزی و ... می‌گردد که به صورت تخمینی روزانه حدود ۲۵۰ متر مکعب شیرابه در آرادکوه تولید می‌شود (Pasalari et al., 2019).

در این مجتمع، گیاه آتریپلکس به صورت خودرو در چهار منطقه و خرزهره به صورت دست‌کاشت در یک منطقه وجود دارد که موقعیت پراکنش آن‌ها در شکل ۱ و مختصات جغرافیایی آن‌ها در جدول ۱ مشخص شده است. فلزات مورد مطالعه در این پژوهش سرب و کادمیوم بودند. نمونه‌برداری از گیاهان و خاک این منطقه به صورت تک مرحله ای در مرداد سال ۱۴۰۰ انجام شد. بدین ترتیب که از هر منطقه رویش آتریپلکس ۱۰ نمونه (Khorami Pour et al., 2019) بطور تصادفی از ریشه، اندام هوایی و خاک پای گیاهان از عمق ۰ تا ۲۰ سانتی‌متر (جمعا ۱۲۰ نمونه) برداشت شد. همچنین از ریشه، ساقه و برگ‌های گیاه خرزهره هر کدام ۱۰ نمونه و ۱۰ نمونه از خاک پای هر گیاه از عمق ۰ تا ۲۰ سانتی‌متر نمونه‌برداری گردید (جمعا ۴۰ نمونه).

این فلزات آلوده باشند. گیاهان موجود در مرکز دفن در صورت انباشت فلزات سنگین موجود در شیرابه در اندام‌های خود بدون نشان دادن علائم مسمومیت، گزینه‌های بسیار مناسبی برای گیاه‌پالایی بوده و می‌توانند در کاهش آلودگی این مناطق موثر واقع شوند (Pasalari et al., 2019). با توجه به سرسبزی و سلامت ظاهری گیاهان موجود در مرکز دفن آرادکوه، احتمال می‌رود که آنها بتوانند میزان قابل توجهی از فلزاتی چون سرب و کادمیوم که در خاک مراکز دفن به وفور یافت می‌شود، را در اندام‌های خود تجمع دهند. در این مرکز، گیاه خودرو آتریپلکس و سالسولا (*Salsola* sp.) و گیاه دست‌کاشت خرزهره وجود دارد که البته به دلیل پراکنش بیشتر گیاه آتریپلکس به عنوان گونه غالب، این گونه و خرزهره به عنوان گیاهان مورد نظر در پژوهش حاضر انتخاب شدند. آتریپلکس گیاهی علفی از تیره تاج‌خروسان (*Amaranthaceae*) است که در مقابل خشکی، کم‌آبی و گرمای زیاد مقاوم بوده و در محیط‌های شور به خوبی رشد می‌کند (Ghorbanian et al., 2018). کشت این گیاه خوشخوراک برای تغذیه دام‌ها در شرایط آب و هوایی خاص کشورمان (به خصوص گونه بومی آن)، نتیجه بسیار مطلوب و خوبی دارد (Motamedi et al., 2019). خرزهره درختچه‌ای همیشه سبز و البته سمی از تیره خرزهره‌ایان (*Apocynaceae*) است که بومی مدیترانه بوده و در ایران به دلیل داشتن گل‌های زیبا به عنوان گیاهی زینتی در برخی پارک‌ها و فضاهای سبز به خصوص در جنوب کشور کاشته می‌شود (Alinia, 2022; Nofal et al., 2022). با توجه به به رطوبت بالای زباله‌های موجود در ایران و پتانسیل آنها برای ایجاد شیرابه، استفاده از دفن به عنوان یک روش نسبتاً مناسب و ارزان برای اکثر پسماندهای شهری در ایران و همچنین امکان آلودگی آب و خاک محل دفن به ویژه به فلزات سنگین، پژوهش حاضر با هدف بررسی تجمع فلزات سنگین سرب و کادمیوم در خاک، ریشه و اندام هوایی دو گیاه آتریپلکس و خرزهره در مرکز دفن آرادکوه تهران انجام شد.



شکل ۱- محل رویش گیاهان آتریپلکس و خرزهره در مرکز دفن آرادکوه
Figure 1- Growth place of atriplex and oleander in Aradkooh landfill

جدول ۱- موقعیت قرارگیری گیاهان آتریپلکس و خرزهره در مرکز دفن آرادکوه (سیستم مختصات جغرافیایی)

Table 1- Geographic position of Atriplex and Oleander in Aradkooch landfill

مشخصات Characteristic	خرزهره Oleander	آتریپلکس ۱ Atriplex 1	آتریپلکس ۲ Atriplex 2	آتریپلکس ۳ Atriplex 3	آتریپلکس ۴ Atriplex 4
طول جغرافیایی Latitude	530964	530427	529846	531903	531278
عرض جغرافیایی Longitude	3923959	3923378	3923709	3924434	3923581

جدول ۲- برخی ویژگی‌های خاک مناطق مورد مطالعه

Table 2- Some soil properties of the studied areas

منطقه Area	اسیدیته pH	شوری EC (dS/m)	درصد ماده آلی OM (%)	بافت Texture
آتریپلکس ۱ Atriplex 1	7.7	1.13	7	لوم-رسی Clay loam
آتریپلکس ۲ Atriplex 2	7.4	1.21	8	لوم-رسی Clay loam
آتریپلکس ۳ Atriplex 3	7.4	1.22	9	لوم-رسی Clay loam
آتریپلکس ۴ Atriplex 4	7.4	1.07	8	لوم-رسی Clay loam
خرزهره Oleander	7.5	1.07	8	لوم-رسی Clay loam

اندازه‌گیری غلظت کل فلزات سنگین در نمونه‌های گیاه و خاک

برای اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های گیاهی و خاک به ترتیب از روش خاکسترخشک (Mahohi *et al.*, 2018) و هضم اسیدی استفاده شد (Gravand *et al.*, 2021). غلظت کل فلزات سنگین مورد مطالعه در عصاره‌های مورد نظر توسط دستگاه جذب اتمی مدل AANALYST 200 قرائت گردید.

محاسبه شاخص‌های گیاهی و خاک

ضریب تجمع زیستی (BCF^۱) برای هر اندام و فاکتور انتقال (TF^۲) برای هر گونه به ترتیب از روابط (۱) و (۲) محاسبه گردید (Rafati *et al.*, 2018; Gravand *et al.*, 2021)

$$BCF = \frac{C_{plant}}{C_{soil}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$TF = \frac{C_{shoot}}{C_{root}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن C_{plant} غلظت فلز در بافت گیاه، C_{soil} غلظت کل فلز در

نمونه‌های گیاهان پس از انتقال به آزمایشگاه شسته شده و ابتدا در فضای باز و سپس به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد، داخل آون قرار گرفت تا کاملاً خشک شود. در نهایت توسط هاون عقیق کاملاً پودر گردید تا برای هضم آماده گردد. نمونه‌های خاک نیز، ابتدا در هوای آزاد و پس از آن در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت در آون قرار گرفت و از الکل ۲ میلی‌متری رد شد تا برای هضم آماده گردد (Rafati *et al.*, 2018). لازم به ذکر است که ۵ نمونه از خاک هر منطقه نیز جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه ارسال گردید. تعیین بافت خاک به روش هیدرومتری بایکاس، هدایت الکتریکی توسط دستگاه شوری‌سنج، pH به روش گل اشباع و استفاده از دستگاه pH متر انجام شد (Bahrami and Ghorbani, 2016). ماده آلی خاک نیز به روش والکی بلک (Sepahvand *et al.*, 2019) اندازه‌گیری شد. نتایج در جدول ۲ آمده است.

- 1- Bioconcentration factor
- 2- Translocation factor

ریشه و در منطقه ۲ رویشی آتریپلکس بیشتر از سایر مناطق بود، در حالی که در ریشه گیاه خرزهره با میانگین ۸/۱۷ میلی گرم بر کیلوگرم بیشتر از اندام هوایی بود (شکل A ۲ و جدول ۴). همچنین نتایج آزمون t نشان داد که غلظت کادمیوم نیز همانند سرب در چهار منطقه رویشی آتریپلکس در اندام‌های هوایی (با میانگین به ترتیب ۲/۱۴، ۵/۷۵، ۲/۱۸ و ۲/۱۸ میلی گرم بر کیلوگرم) به صورت معنی داری بیشتر از ریشه و در منطقه ۲ رویشی آتریپلکس بیشتر از سایر مناطق بود ($F=۴۹۳/۳۴۸$ ، $P=۰/۰۰۰$)، در صورتی که در گیاه خرزهره نتیجه معکوس حاصل شد (شکل B ۲ و جدول ۴). تفاوت در مقدار انباشت سرب و کادمیوم در آتریپلکس‌های مناطق مختلف را می‌توان به مقدار متفاوت این عناصر در خاک آن‌ها نسبت داد که بر اساس عمر سلول دفن و نوع زباله مدفون شده در آن، مقدار فلزات سنگین را در خاک مناطق رویشی آتریپلکس متفاوت می‌سازد. این نتایج با یافته‌های شریفی و همکاران (Sharifi et al., 2022) مطابقت دارد. این پژوهشگران در بررسی توانایی گیاه گزنه (*Urtica dioica* L.) در جذب فلزات سنگین کادمیوم، آرسنیک، سرب و نیکل از شیرابه محل دفن پسماند تنکابن نتیجه گرفتند که مقدار تجمع تمامی این فلزات در اندام هوایی بیشتر از ریشه بود. همچنین سلگی و همکاران (Solgi et al., 2020) نیز توانایی جذب سرب در برگ گونه عسلی (*Alyssum maritimum*) را بیشتر از ریشه عنوان کردند. ریشه اولین اندام در تماس با عناصر سمی است که به طور معمول تجمع فلزات سنگین ابتدا در ریشه‌های گیاه صورت گرفته و سپس جهت جلوگیری از آسیب، به اندام‌های هوایی منتقل می‌شوند (Sharifi et al., 2022). نیسیم و همکاران (Nissim et al., 2022) در مطالعه ارتباط بین آلودگی ناشی از شیرابه و واکنش گیاهان دریافتند که جذب فلزات سنگین در گیاهان شامل انتقال فلزات به خارج از سلول‌های ریشه، ذخیره‌سازی در بافت‌های آوندی و سپس متعاقب آن سم زدایی، جابجایی و جداسازی فلزات در سطح سلول و کل گیاه است. در خصوص دلیل افزایش فلزات در اندام‌های گیاهان پالایش‌گر نسبت به ریشه، تجمع آنها در واکوئل‌ها به دلیل اثر گذاری کمتر بر روی گیاهان گزارش شده است (Haider et al., 2021). این پدیده یک استراتژی است که برخی گیاهان برای مقابله با سمیت فلزات سنگین اتخاذ می‌کنند. به این ترتیب اندام‌هایی که در متابولیسم گیاهان نقش دارند، از آسیب محافظت می‌شوند (Hassanpour et al., 2019).

خاک، C_{shoot} غلظت فلز در اندام هوایی و C_{Root} غلظت فلز در ریشه است. بر این اساس گیاهانی که دارای ضریب تجمع زیستی بیشتر از ۱ به خصوص در مجموع اندام‌های هوایی خود بوده، جهت استخراج گیاهی^۱ و آن‌هایی که دارای ضریب تجمع زیستی بیشتر از ۱ در ریشه و فاکتور انتقال کوچک‌تر از ۱ هستند، برای تثبیت گیاهی^۲ مناسباند (Rafati et al., 2018).

همچنین شاخص‌های آلودگی^۳ و آلودگی^۴ نمو^۴ برای تشخیص میزان آلودگی خاک به فلزات سنگین به ترتیب از روابط (۳) و (۴) محاسبه و بر اساس جدول ۳ طبقه‌بندی شدند (Kowalska et al., 2018; Mohammadi et al., 2020).

$$PI = C_{Sample}/Bn \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$PI_{Nemerow} = \sqrt{\left(\frac{\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n PI\right)^2 + PI_{max}^2}{2}\right)} \quad \text{رابطه (۴)}$$

که در این روابط، PI شاخص آلودگی برای یک فلز سنگین در خاک، C_{Sample} غلظت فلز در نمونه خاک، Bn غلظت فلز در زمینه ژئوشیمیایی خاک (با مقدار ۰/۳ میلی گرم بر کیلوگرم برای کادمیوم و ۲۰ میلی گرم بر کیلوگرم برای سرب) (Kowalska et al., 2018)، $PI_{Nemerow}$ درجه آلودگی خاک بر اساس تمامی فلزات سنگین موجود در آن، PI_{Max} بیشترین شاخص آلودگی محاسبه شده در بین فلزات سنگین موجود در خاک و n تعداد فلزات سنگین است.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

ابتدا نرمال بودن و همگن بودن داده‌ها توسط آزمون کلموگروف-اسمیرنوف و لون بررسی شد. پس از حصول اطمینان از نرمال بودن داده‌ها و همگنی واریانس‌ها، برای مقایسات آماری از آزمون تجزیه واریانس (ANOVA) بهره گرفته شد و در صورت معنی دار بودن، از آزمون چند دامنه دانکن برای مقایسه میانگین‌ها استفاده شد. کلیه تجزیه و تحلیل‌ها در سطح اطمینان آماری ۹۵ درصد انجام پذیرفت. تجزیه و تحلیل‌ها در نرم افزار SPSS (نسخه ۲۲) انجام گرفت و برای ترسیم شکل‌ها از نرم‌افزار EXCEL (نسخه ۲۰۱۰) بهره گرفته شد.

نتایج و بحث

غلظت سرب و کادمیوم در اندام‌های هوایی و ریشه دو گیاه

در مناطق مختلف

نتایج آزمون t نشان داد که غلظت سرب در چهار منطقه رویش آتریپلکس (با میانگین به ترتیب ۱۰/۳، ۱۹/۷، ۱۲/۳۲ و ۲/۶۲ میلی گرم بر کیلوگرم) در اندام‌های هوایی به صورت خیلی معنی داری بیشتر از

3- Pollution Index (PI)

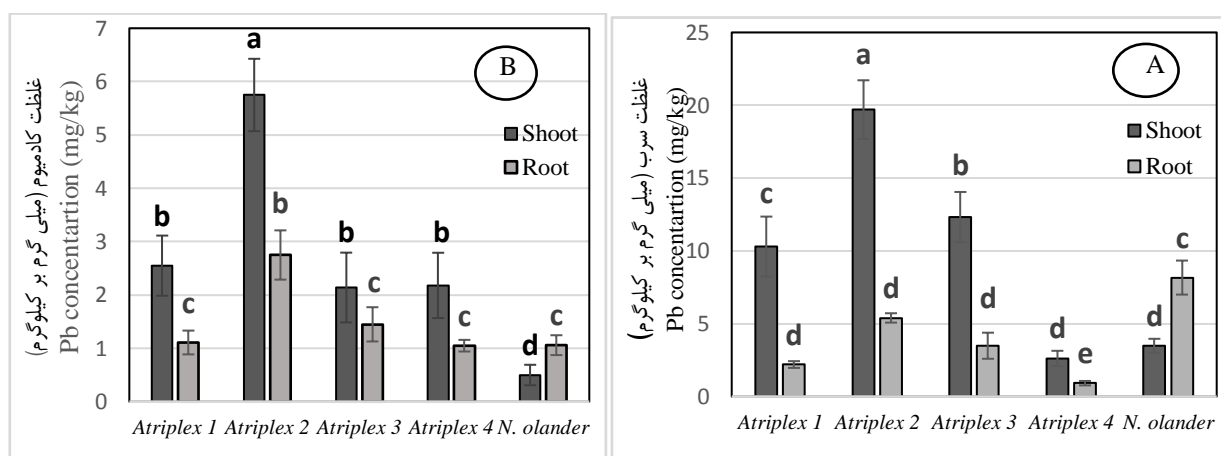
4- PINemerow

1- Phytoextraction

2- Phytostabilization

جدول ۳- طبقه‌بندی آلودگی خاک بر اساس شاخص‌های PI و PI_{Nemerow} (Kowalska et al., 2018)

مقدار PI The value of PI	آلودگی خاک Soil contamination	مقدار PI _{Nemerow} The value of PI _{Nemerow}	وضعیت آلودگی خاک Soil Contamination
PI < 1	----	PI _{Nemerow} < 0.7	بدون آلودگی Uncontaminated
1 < PI < 2	کم Low	0.7 < PI _{Nemerow} < 1	محدوده خطر Danger range
2 < PI < 3	متوسط Medium	1 < PI _{Nemerow} < 2	آلودگی کم Low contamination
3 < PI < 5	زیاد Strong	2 < PI _{Nemerow} < 3	آلودگی متوسط Moderate contamination
PI > 5	خیلی زیاد Very strong	PI _{Nemerow} > 3	آلودگی زیاد Severe contamination



شکل ۲- میانگین غلظت فلز سرب (A) و کادمیوم (B) در اندام‌های دو گیاه در مناطق مختلف

ستون‌هایی با حروف متفاوت از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری دارند (دانکن، ۹۵٪).

Figure 2- Mean of concentration of Pb(A) and Cd(B) in roots and shoots of two plants in different regions
Bars with different letters indicate significant differences (Duncan test, 95%)

بود که نتایج این مطالعه با نتایج پژوهش حاضر درباره گیاه خرزهره برای سرب همسو است. همچنین بیشتر بودن سرب در ریشه گیاه وتیور (*Vetiver zizanioides*) که توسط شیرابه زباله آبیاری شده، در پژوهش‌های جداگانه‌ای به تایید رسیده است (Gravand et al., 2021; Ghaemi et al., 2017).

نتایج غلظت سرب و کادمیوم در خاک دو گیاه در مناطق مختلف

براساس نتایج آزمون تجزیه واریانس، غلظت سرب در خاک پای دو گیاه در مناطق مختلف دارای اختلاف خیلی معنی‌دار است، به طوری که آزمون دانکن نشان داد، غلظت این عنصر در خاک پای گیاه خرزهره با میانگین ۳۵/۱۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم از دیگر مناطق به صورت معنی‌داری بیشتر است (شکل ۳C و جدول ۴).

اما تجمع بیشتر سرب و کادمیوم در ریشه گیاه خرزهره و انتقال کمتر به اندام هوایی را می‌توان به گونه‌های دافع نسبت داد که در خاک‌هایی با غلظت بالای فلزی، این گیاهان فقط فلزات را در ریشه های خود نگه داشته و از انتقال آن به بخش‌های هوایی جلوگیری می‌کنند (Salehi, 2019; Gosh and sing, 2005). در این زمینه محققین اعلام داشتند که عدم تحرک قابل توجه برخی فلزات در گیاهان، به دلیل اتصال به سلول‌های ریشه رخ می‌دهد که می‌تواند نوعی مکانیسم تحمل گیاه محسوب شود (Peng et al., 2015). خرمی پور و همکاران (Khorami Pour et al., 2019) طی مطالعه ای درخصوص ارزیابی توان گیاه‌پالایی درمنه دشتی (*Artemisia sieberi*) برای جذب سرب در مرکز دفن محمدآباد قزوین گزارش دادند که میانگین غلظت این فلز در ریشه درمنه بیشتر از اندام هوایی

جدول ۴- نتایج آزمون تجزیه واریانس غلظت سرب و کادمیوم در ریشه، اندام هوایی و خاک پای گیاهان برای مناطق مختلف نمونه برداری

Table 4- ANOVA results of Pb and Cd concentration in root, shoot and soil for different sampling areas

سرب (Pb)				کادمیوم (Cd)			
منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	Sig	میانگین مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	Sig.
S.O.V	Df	Mean squares		Mean squares	Df	Mean squares	
آتریپلکس ۱ Atriplex 1	بین گروه‌ها Between groups	30	199.7146	0.000	بین گروه‌ها Between groups	30	11.3446
	داخل گروه‌ها Within groups	130	98.35		داخل گروه‌ها Within groups	130	4.85
	کل Total	160			کل Total	160	
آتریپلکس ۲ Atriplex 2	بین گروه‌ها Between groups	30	664.5403	0.000	بین گروه‌ها Between groups	30	54.9134
	داخل گروه‌ها Within groups	130	342.37		داخل گروه‌ها Within groups	130	36.64
	کل Total	160			کل Total	160	
آتریپلکس ۳ Atriplex 3	بین گروه‌ها Between groups	30	246.9618	0.000	بین گروه‌ها Between groups	30	10.0677
	داخل گروه‌ها Within groups	130	127.43		داخل گروه‌ها Within groups	130	4.37
	کل Total	160			کل Total	160	
آتریپلکس ۴ Atriplex 4	بین گروه‌ها Between groups	30	20.6417	0.000	بین گروه‌ها Between groups	30	9.1673
	داخل گروه‌ها Within groups	130	12.34		داخل گروه‌ها Within groups	130	3.76
	کل Total	160			کل Total	160	
خرزهره Oleander	بین گروه‌ها Between groups	30	1315.9374	0.000	بین گروه‌ها Between groups	30	2.9612
	داخل گروه‌ها Within groups	130	659.76		داخل گروه‌ها Within groups	130	1.47
	کل Total	160			کل Total	160	

شاخص PI تشخیص می‌دهد که کدام فلز سنگین، تهدید بیشتری برای محیط خاک محسوب شده و شاخص Nemerow ارزیابی کلی از درجه آلودگی خاک بر اساس همه فلزات سنگین موجود در آن ارایه می‌دهد (Qingjie et al., 2008) که مقادیر این شاخص‌ها (با مقدار ۰/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیوم و ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب در زمینه ژئوشیمیایی خاک) در جدول ۴ آمده است. بر اساس این جدول تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه به جز منطقه رویشی خرزهره، از نظر وضعیت آلودگی سرب در خاک در طبقه بدون آلودگی (با عدد شاخص کمتر از ۱) قرار دارند، در صورتی که برای کادمیوم مناطق رویشی یک تا چهار آتریپلکس به ترتیب با مقادیر شاخص ۶/۳۳، ۱۲/۶، ۱۳/۶ و ۶/۰۶ در وضعیت خیلی آلوده و منطقه رویشی خرزهره با عدد شاخص ۴/۲ در وضعیت آلوده طبقه‌بندی می‌شود. مقدار شاخص Nemerow به دست آمده در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه نیز، محدوده آلودگی زیاد را نشان داد. در این زمینه، دیگر محققین به نتایج مشابهی دست

همچنین براساس نتایج آزمون تجزیه واریانس، مقدار کادمیوم نیز در خاک پای دو گیاه در مناطق مختلف دارای اختلاف معنی‌داری است ($P = 0.000, F = 537/200$)، به طوری که غلظت این عنصر با توجه به آزمون دانکن، در خاک پای گیاه آتریپلکس در منطقه ۲ با میانگین ۳/۷۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم از دیگر مناطق به صورت معنی‌داری بیشتر است (شکل D ۳ و جدول ۴). لازم به ذکر است که تمامی مقادیر اندازه گیری شده این فلزات پایین‌تر از حد استاندارد سازمان بهداشت جهانی (به ترتیب ۵ و ۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم برای فلزات کادمیوم و سرب در خاک) و ملی (به ترتیب ۳،۹ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم برای فلزات کادمیوم و سرب در استاندارد کیفیت منابع خاک ایران) بود. طی مطالعه ای، مقدار میانگین غلظت سرب و نیکل خاک در محل دفن پسماند محمد آباد قزوین به ترتیب ۱۹ و ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و کمتر از حد استاندارد فلزات در خاک‌ها گزارش شده که در خصوص سرب با نتایج پژوهش حاضر همسو است (Khorami Pour et al., 2019).

یافته و اظهار داشتند که میانگین غلظت عناصر کادمیوم، مس، نیکل، سرب و کروم در خاک مرکز دفن زباله‌ای در مراکش، بالاتر از زمینه ژئوشیمیایی خاک بوده و شاخص Nemerow به دلیل مقادیر بالای فلزات به خصوص کادمیوم و سرب در طبقه آلاینده‌گی متوسط تا زیاد جای می‌گیرد (El fadili et al., 2022).

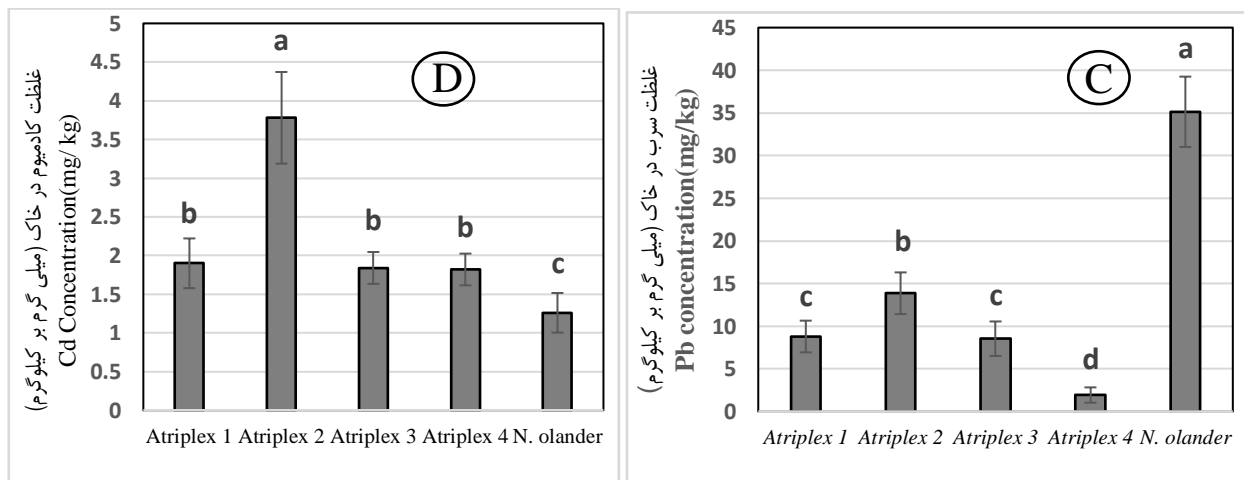
نتایج فاکتور تجمع زیستی و انتقال در ایستگاه‌های مختلف

مقادیر فاکتور تجمع زیستی و انتقال نشان دهنده قابلیت گیاهان جهت تحمل و تجمع فلزات سنگین در اندام‌های خود بوده و کارایی گیاه را جهت تثبیت یا استخراج فلزات نشان می‌دهد که شاخص‌های مهمی برای تعیین پتانسیل گیاه‌پالایی نیز محسوب می‌شوند (Salehi, 2019).

نتایج این پژوهش‌ها به ترتیب همسو و مغایر با نتایج تحقیق حاضر است.

نتایج فاکتور تجمع زیستی و انتقال در ایستگاه‌های مختلف

مقادیر فاکتور تجمع زیستی و انتقال نشان دهنده قابلیت گیاهان جهت تحمل و تجمع فلزات سنگین در اندام‌های خود بوده و کارایی گیاه را جهت تثبیت یا استخراج فلزات نشان می‌دهد که شاخص‌های مهمی برای تعیین پتانسیل گیاه‌پالایی نیز محسوب می‌شوند (Salehi, 2019).



شکل ۳- میانگین غلظت فلز سرب (C) و کادمیوم (D) در خاک پای دو گیاه در مناطق مختلف

ستون‌هایی با حروف متفاوت از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری دارند (دانکن، ۹۵٪).

Figure 3- Mean of concentration of Pb(C) and Cd(D) in soil of two plants in different regions
Bars with different letters indicate significant differences (Duncan test, 95%)

جدول ۴- شاخص‌های PI و $PI_{Nemerow}$ محاسبه شده برای مناطق مختلف نمونه‌برداری
Table 4- The calculated PI and $PI_{Nemerow}$ Indices for different Sampling Areas

منطقه Area	$PI_{Nemerow}$	PI pb	PI Cd
آتریپلکس ۱ Atriplex 1	4.94	0.44	6.33
آتریپلکس ۲ Atriplex 2	10.07	0.70	12.6
آتریپلکس ۳ Atriplex 3	4.91	0.43	6.13
آتریپلکس ۴ Atriplex 4	4.81	0.01	6.06
خرزهره Oleander	3.64	1.75	4.2

بالا تر از ۱ در ریشه، توانایی استخراج فلزات مذکور از خاک و تجمع آن‌ها در اندام هوایی در فرایند گیاه پالایی را داشت، در صورتی که خرزهره به دلیل داشتن ضریب تجمع زیستی کمتر از ۱ در اندام هوایی و ریشه، جهت استخراج یا تثبیت گیاهی سرب و کادمیوم مناسب نبود. برخی از گونه‌های گیاهی توانایی جذب و انباشت مقادیر زیادی از عناصر سنگین بدون نشان دادن آثار سمی آشکار را دارند. بنابراین می‌توان از این ویژگی آن‌ها برای پاک‌سازی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین استفاده کرد. از این رو آتریپلکس که به صورت بومی و خودرو در منطقه یافت می‌شود، قابلیت بهتری در جذب عناصر سنگین به خصوص در اندام هوایی نسبت به خرزهره که به همین منظور در منطقه کاشته شده، دارد. همچنین مقدار سرب در خاک بیشتر از کادمیوم بوده و با این که هر دو فلز در محدوده مجاز استانداردهای ملی و سازمان بهداشت جهانی واقع شدند، اما خاک منطقه براساس شاخص Nemerow در وضعیت آلودگی زیاد قرار داشت. با توجه به رشد روزافزون جمعیت و تولید حجم بالایی از زباله‌ها در شهر تهران و وجود میزان بالای عناصر سمی موجود در شیرابه‌های تولیدی، پیشنهاد می‌شود برای کنترل آلودگی و جلوگیری از گسترش آن، بررسی‌های زیست محیطی درباره کاشت دیگر گیاهان در مرکز دفن آرادکوه انجام شده و غلظت سایر فلزات سنگین در خاک و گیاهان منطقه به طور مستمر تعیین گردد. همچنین می‌توان از گونه آتریپلکس به عنوان یک گونه مقاوم به فلزات سنگین در پروژه‌های گیاه‌پالایی مراکز دفن، اطراف معادن و حتی فضای سبز استفاده نمود.

به عقیده آن جی و همکاران (Ng et al., 2016)، ضریب تجمع زیستی ۴ معیار دارد: مقدار کمتر از ۰/۰۱ به این معناست که هیچ انباشتی در گیاه وجود ندارد. مقدار بین ۰/۱-۰/۰۱ به معنای تجمع کم فلزات سنگین، مقدار بین ۰/۱ تا ۱ به عنوان انباشت متوسط و مقدار بیش از ۱ به عنوان انباشت زیاد فلزات سنگین در نظر گرفته می‌شود. همچنین طبق نظر ماتینا و همکاران (Mattina et al., 2003)، در روش گیاه‌پالایی، فاکتور انتقال عناصر از ریشه به هوایی بسیار مهم بوده و از آن می‌توان به منظور شناسایی گونه‌های بیش انباشت کننده استفاده نمود که بر طبق نتایج ضریب تجمع زیستی و فاکتور انتقال، گیاه آتریپلکس به عنوان بیش‌انباشت‌گر فلزات سرب و کادمیوم در اندام‌های هوایی خود شناخته می‌شود. باراسراتی و همکاران (Barasarathi et al., 2021) نیز گیاه برگ گندمی (*Chlorophytum comosum*) را به دلیل داشتن فاکتور انتقال بیشتر از ۱، به عنوان انباشت‌گر فلزات سنگین کادمیوم، آرسنیک و سرب در یک مرکز دفن در کشور مالزی معرفی کردند.

نتیجه‌گیری

بر طبق نتایج این پژوهش گیاه آتریپلکس قادر به تجمع بیش از دو برابر فلزات سنگین سرب و کادمیوم در اندام‌های هوایی خود نسبت به ریشه بود. همچنین این گیاه به دلیل داشتن ضریب تجمع زیستی

جدول ۵- مقادیر ضریب تجمع زیستی در اندام هوایی، ریشه و فاکتور انتقال دو گیاه در مناطق مختلف نمونه‌برداری
Table 5- The amounts of BCF in root and shoot and TF for two plants in different sampling Areas

منطقه Area	ضریب تجمع زیستی اندام هوایی Shoot BCF		ضریب تجمع زیستی ریشه Root BCF		فاکتور انتقال TF	
	میانگین سرب (±انحراف معیار) Pb average (± Standard deviation)	میانگین کادمیوم (±انحراف معیار) Cd average (± Standard deviation)	میانگین سرب (±انحراف معیار) Pb average (± Standard deviation)	میانگین کادمیوم (±انحراف معیار) Cd average (± Standard deviation)	میانگین کادمیوم Cd average	میانگین سرب Pb average
آتریپلکس ۱ Atriplex 1	1.17 (± 0.02)	1.34 (± 0.06)	0.25 (± 0.01)	0.58 (± 0.03)	2.30	4.68
آتریپلکس ۲ Atriplex 2	1.82 (± 0.07)	1.52 (± 0.17)	0.39 (± 0.02)	0.73 (± 0.04)	2.09	3.65
آتریپلکس ۳ Atriplex 3	1.44 (± 0.05)	1.16 (± 0.11)	0.41 (± 0.01)	0.79 (± 0.02)	1.48	3.53
آتریپلکس ۴ Atriplex 4	1.35 (± 0.08)	1.20 (0.± 0.13)	0.47 (± 0.01)	0.58 (± 0.04)	2.08	2.85
خرزهره Oleander	0.10 (± 0.01)	0.40 (± 0.03)	0.23 (± 0.01)	0.84 (± 0.09)	0.47	0.43

منابع

1. Alinia Keshtali, A.A. (2022). *Cultivation of ornamental trees and shrubs*. Agricultural Research, Education and Promotion Organization publication. 154 pages. (In Persian)
2. Anjanapriya, S., Sureka, M., Gunasundari, P., Meenakshi, N., & Sasirekha, N. (2022). *Providencia rettgeri* AVRB20 with multiple tolerance of heavy metals from municipal solid waste dump site. *Journal of Materials and Environmental Science*, 13(01), 1-8.
3. Anning, A.K., & Akoto, R. (2018). Assisted phytoremediation of heavy metal contaminated soil from a mined site with *Typha latifolia* and *Chrysopogon zizanioides*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 148, 97-104. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.10.014>.
4. Bahrami, B., & ghorbani, A. (2016). Investigation and determining environmental factors affecting on distribution of rangeland habitats in Southeast of Sabalan. *Journal of Natural Ecosystems of Iran*, 7(1), 33-44. (In Persian with English abstract)
5. Barasarathi, J., Auwal, H., Pariatamby, A., Shahul Hamid, F., & Chijioke Uche, E. (2021). Phytoremediation of leachate contaminated soil: a biotechnical option for the bio reduction of heavy metals induced pollution in tropical landfill. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(7), 1-13. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17389-3>.
6. El Fadili, H., Ben ali, M., Touach, N., El Mahi, M., & Lotfi, M. (2022). Ecotoxicological and pre-remedial risk assessment of heavy metals in municipal solid wastes dumpsite impacted soil in Morocco. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 17, 100640. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2021.100640>
7. Ghaemi, A.A., & Majdeddin, F. (2017). Investigation of the phytoremediation of Vetiver and Eucalyptus by absorption of heavy metals from sewage in a contaminated soil with Landfill Leachate. *Water Resource Engineering*, 9(28), 98-106. (In Persian with English abstract)
8. Ghorbanian, D., Sharafieh, H., Mozaffari, M., Amirjan, M., & Mirakhorli, R. (2018). Investigating the possibility of the establishment of the two species of the genus *Atriplex* (*Atriplex canescens* and *Atriplex verrocifera*) and comparing their forage production in saline and low yield soils. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 25(4), 761-769. (In Persian with English abstract)
9. Ghosh, M., & Singh, S.P. (2005). A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of its byproducts. *Applied Ecology and Environmental Research*, 3(1), 1-18.
10. Gravand, F., Rahnavard, A., & Mohammad Pour, G. (2021). Investigation of the uptake of heavy metals in waste leachate by vetiver from a contaminated soil. *Iranian Journal of Soil Research*, 35(1), 89-104. (In Persian with English abstract)
11. Haider, F.U., Liqun, C., Coulter, J.A., Cheema, S.A., Wu, J., Zhang, R., & Farooq, M. (2021). Cadmium toxicity in plants: Impacts and remediation strategies. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 211, 111887. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111887>.
12. Hamzenejad Taghliadabad, R., Khodaverdiloo, H., Rezapour, S., & Manafi. SH. (2012). Evaluating of efficiency of three halophyte plants for reduction of soil exchangeable sodium (ESP) and cadmium (Cd) and lead (Pb) contamination. *Journal of Water and Soil Science*, 16(60), 131-143. (In Persian with English abstract)
13. Hassan, A., Pariatamby, A., Ossai, I.C., Ahmed, A., Muda, M.A., Wen, T.Z., & Hamid, F.S. (2021). Bioaugmentation-assisted bioremediation and kinetics modelling of heavy metal-polluted landfill soil. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19(7), 6729- 6754. <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03626-2>
14. Hassanpour, R., Zafarian, F., Rezvani, M., & Jalili, B. (2019). Study the effect of cadmium on plant pigments and antioxidant compounds of water mint (*Mentha aquatica* L.), eryngo (*Eryngium caucasicum* Trautv.) and *Froriepia subpinnata* Ledeb.). *Eco Phytochemistry Journal of Medicinal Plants*, 7(2), 91-103. (In Persian with English abstract)
15. Khorami Pour, S., Mafi Gholami, R., & Jahani, A. (2019). An investigation on the possibility of heavy metal (Pb and Ni) phytoremediation from plant *Artemisia sieberi* in Mohammadabad Waste disposal site in Ghazvin. *Journal of Environmental Science and Technology*, 21(10), 91-103. (In Persian with English abstract)
16. Kowalska, J.B., Mazurek, R., Gąsiorek, M., & Zaleski, T. (2018). Pollution indices as useful tools for the comprehensive evaluation of the degree of soil contamination—A review. *Environmental Geochemistry and Health*, 40, 2395–2420. <https://doi.org/10.1007/s10653-018-0106-z>
17. Kowsari, M.H., Saghi, M.H., Ashoori, R., Rastgar, A., & Fakour, A. (2022). Investigating and compiling a map of the Sseverity of heavy metal pollution in the soil around the landfill of Sabzevar municipal waste with different indicators. *Journal of Environmental Health Sustainability Development*, 7(1), 1547-60. <https://doi.org/10.18502/jehsd.v7i1.8965>
18. Mahohi, A., Raiesi, F., & Hosseinpur, A.R. (2018). Phytoremediation of Lead in the presence of individual and combined inoculation of earthworms, arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobacteria by maize. *Journal of Water and Soil Conservation*, 25(2), 91-110. (In Persian with English abstract)

19. Marsum, M., Taufik A., Slamet, S., Khayan, Kh., & Slamet, W. (2022). Phytoremediation as a barrier to heavy metal distribution in open dumping landfill in peatlands. *Journal of Ecological Engineering*, 23(6), 112–117. <https://doi.org/10.12911/22998993/148149>
20. Mattina, M.J.I., Lannucci-Berger, W., Musante, C., & White, J.C. (2003). Concurrent plant uptake of heavy metal and persistent organic pollutants from soil. *Environmental Pollution*, 124(3), 375-378. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(03\)00060-5](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(03)00060-5)
21. Mehrab, N., Chorom, M., & Norouzi Masir, M. (2020). Efficiency of *Nitrilo Triacetic Acid* (NTA) on leaching and refining of cadmium from soil by maize. *Journal of Water and Soil*, 34(3), 593-608. (In Persian with English abstract)
22. Mohammadi, A.A., Zarei, A., Esmaeilzadeh, M., Taghavi, M., Yousefi, M., Yousefi, Z., Sedighi, F., & Javan, S. (2020). Assessment of heavy metal pollution and human health risks assessment in soils around an industrial zone in Neyshabur, Iran. *Biological Trace Elements Research*, 195, 343–352. <https://doi.org/10.1007/s12011-019-01816-1>.
23. Motamedi, J., khodagholi, M., Sheidai Karkaj, E., & Ghodarzi, M. (2019). Positive and negative aspects of rangeland planting of native and non-native species of *Atriplex*. *Iran Nature*, 4(3), 43-5. (In Persian with English abstract)
24. Motuzova, G.V., Minkina, T.M., Karpova, E.A., Barsova, N.U., Mandzhieva., S.S. (2014). Soil contamination with heavy metals as a potential and real risk to the environment. *Journal of Geochemical Exploration*, 144, 241-246. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.01.026>.
25. Ng, C.C., Rahman, M.M., Boyce, A.N., & Abas, M.R. (2016). Effects of different soil amendments on mixed heavy metals contamination in vetiver grass. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 97(5), 695–701. <https://doi.org/10.1007/s00128-016-1921-5>
26. Nissim, W. G., Palm, E., Pandolfi, C., Mancuso, S., & Azzarello, E. (2021). Relationship between Leachate Pollution Index and growth response of two willow and poplar hybrids: Implications for phyto-treatment applications. *Waste Management*, 136, 162-173. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.09.012>
27. Nofal, E.M.S., Shahin, S.M., EL-Tarawy, A.M.A., & Omar, S.H.M. (2022). Long-term effect of some heavy metal combinations on growth and chemical composition of some ornamental shrubs common in Egypt №2. – Common oleander (*Nerium oleander* L.). *Applied Ecology and Environmental Research*, 20(5), 4351-4361. http://dx.doi.org/10.15666/aeer/2005_43514361
28. Pasalari, H., Farzadkia, M., Gholami, M., & Emamjomeh, M.M. (2019). Management of landfill leachate in Iran: valorization, characteristics, and environmental approaches. *Environmental Chemistry Letters*, 17, 335-348.
29. Peng, D., Shafi, M., Wang, Y., Li, S., Yan, W., Chen, J., & Ye, Liu. (2015). Effect of Zn stresses on physiology, growth, Zn accumulation, and chlorophyll of *Phyllostachys pubescentis*. *Environmental Science and Pollution Research International*, 22(19), 14983–14992. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4692-3>
30. Qingjie, G., Jun, D., Yunchuan, X., Qingfei, W., & 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), 230–241. [https://doi.org/10.1016/S1002-0705\(08\)60042-4](https://doi.org/10.1016/S1002-0705(08)60042-4)
31. Rafati, M., Siahpoor, N., Mohammadi Roozbahani, M., & Heidari, M. (2018). Absorbability and translocation of Nickel from soil using sunflower plant (*Helianthus annuus*). *Journal of Advances in Environmental Health Research*, 6, 234- 239.
32. Salehi, A. (2019). Phytoremediation: A remediation technology of heavy metal contaminated soils. *Human & Environment*, 49, 27-42. (In Persian with English abstract)
33. Sepahvand, H., Feizian, M., Mirzaeitalarposhti, R., & Mueller, T. (2020). Comparison of different methods for the determination of organic carbon in calcareous soils under different land uses of Lorestan province. *Journal of Water and Soil*, 34(1), 169-177. (In Persian with English abstract)
34. Sharifi, Kh., Rahnavard, A., Saeb, K., Farid Fahimi, Gh., & Tavana, A. (2022). Capacity of nettle (*Urtica dioica* L.) in adsorption of heavy metals (Pb, As, Cd, Ni) from Tonekabon landfill leachate. *Journal of Environmental Science and Technology*, 24(2), 17-30. (In Persian with English abstract)
35. Solgi, E., Yazdanyar, R., & Taghizadeh, M. (2020). Assessment of phytoremediation potential of *Alyssum maritimum* in remediation of lead-contaminated soil. *Scientific Journal of School of Public Health and Institute of Public Health Research*, 17(4), 363-372. (In Persian with English abstract)
36. Vaverková, M., & Adamcová, D. (2014). Heavy metals uptake by select plant species in the Landfill area of Štěpánovice, Czech Republic. *Polish Journal of Environmental Studies*, 6(23), 2265-2269. <https://doi.org/10.15244/pjoes/26106>.
37. Vongdala, N., Tran, H.D., Dang Xuan, T., Teschke, R., & Dang Khanh, T. (2019). Heavy metal accumulation in water, soil, and plants of municipal solid waste landfill in Vientiane, Laos. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(22), 1-13. <https://doi.org/10.3390/ijerph16010022>
38. Water and soil office, Vice President of Human Environment, (2018). *Quality standards of soil resources and its guidelines*. Department of Environment publication, 164 pages. (In Persian)

39. Zahedi, S., Akbarzadeh, A., Rafati, M., Banaee, M., Sepehri Moghadam, H., & Raeisi, H. (2013). Biochemical responses of juvenile European sturgeon, (*Huso huso*) to a sub-lethal level of copper and cadmium in freshwater and brackish water environments. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 11(26), 1-8. <https://doi.org/10.1186/2052-336X-11-26>.
40. Zahedi, S., Mirvaghefi, A., Rafati, M., Rafiee, Gh., Mojazi Amiri, B., Hedayati, M., Makhdoomie, Ch., & Zarei Dangesarakie, M. (2014). The effect of sub-lethal exposure to copper and the time course of recovery in clean water on biochemical changes in juvenile fish (*Acipenser persicus*). *Marine and Freshwater Behavior and Physiology*, 479(4), 253-264. <http://dx.doi.org/10.1080/10236244.2014.926077>
41. Zhang, J., Shi, Z., Ni, Sh., Wang, X., Liao, Ch., & We., F. (2021). Source Identification of Cd and Pb in Typical Farmland Topsoil in the Southwest of China: A Case Study. *Sustainability*, 13(7), 1-11. <https://doi.org/10.3390/su13073729>