



Evaluation of the efficiency of *Phragmites australis* in heavy metal uptake from Karoon River sediments

Roghaieh Chenani¹ | Mitra Cheraghi^{2✉} | Kobra Hamidi³

1. Department of Nature Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran. E-mail: chnanyrqyh79@gmail.com

2. Corresponding Author, Department of Nature Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran. E-mail: cheraghi.mitra@asnrukh.ac.ir

3. Department of Nature Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran. E-mail: kobra.hmd77@gmail.com

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article	Soil contamination with heavy metals, resulting from human activities such as industry and agriculture, is a serious environmental challenge with adverse effects on soil quality, groundwater, and human and animal health. Traditional soil remediation methods, such as washing and landfilling, are costly and time-consuming. Therefore, the use of novel and low-cost methods such as phytoremediation seems necessary. This method uses plants to remove pollutants from contaminated environments and is recognized as a sustainable and environmentally friendly solution. This study investigates the accumulation of heavy metals lead (Pb), cadmium (Cd), and chromium (Cr) in the common reed (<i>Phragmites australis</i>) and sediments of the Karoon River in the Bavi County. Sampling of roots, leaves, and sediment was performed at six stations with three replicates. Metal concentrations were measured using atomic absorption spectrometry and analyzed using SPSS and Excel software. The results showed that the highest accumulation of metals was in the sediment, followed by the roots of the common reed. Also, the concentration of lead (14.15 mg/kg) in the sediment of the common reed was higher compared to cadmium (9.16 mg/kg) and chromium (3.34 mg/kg). This study shows that the common reed, especially its roots, has a good potential for monitoring and absorbing heavy metals in the Karoon River and can be used for phytoremediation strategies. Therefore, future research should focus on investigating new plant species, optimizing phytoremediation systems, and evaluating the economic and social aspects of this method.
Article history: Received 05 January 2025 Received in revised form 26 February 2025 Accepted 08 March 2025 Published online 01 July 2025	
Keywords: <i>Cadmium,</i> <i>Chromium,</i> <i>Lead,</i> <i>Phytoremediation.</i>	
Cite this article: Chenani, R., Cheraghi, M. & Hamidi, K. (2025). Evaluation of the efficiency of <i>Phragmites australis</i> in heavy metal uptake from Karoon River sediments. <i>Journal of Natural Environment</i> , 78 (Monitoring and Management of Natural Environmental Pollutants), 243-254. DOI: http://doi.org/10.22059/jne.2025.388252.2749	

ارزیابی کارایی گیاه نی (*Phragmites australis*) در جذب فلزات سنگین از رسوبات رودخانه کارون

رقیه چنانی^۱ | میترا چراغی^۲ | کبری حمیدی^۳

۱. گروه مهندسی طبیعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاتانی، ایران. رایانامه: chnanyrqyh79@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی طبیعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاتانی، ایران. رایانامه: cheraghi.mitra@asnrukh.ac.ir

۳. گروه اکوهیدرولوژی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاتانی، ایران. رایانامه: kobra.hmd77@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	آلودگی خاک به فلزات سنگین، ناشی از فعالیت‌های انسانی نظیر صنایع و کشاورزی، به عنوان یک چالش جدی محیط‌زیستی مطرح است که اثرات نامطلوبی بر کیفیت خاک، آب‌های زیرزمینی و سلامت انسان و دام دارد. روش‌های سنتی پاکسازی خاک، مانند شستشو و دفن، پرهزینه و زمان‌بر هستند. از این رو، استفاده از روش‌های نوین و کم‌هزینه مانند گیاه‌پالایی (Phytoremediation) ضروری به نظر می‌رسد. این روش با استفاده از گیاهان، آلاینده‌ها را از محیط‌های آلوده حذف می‌کند و به عنوان یک راهکار پایدار و دوستدار محیط‌زیست شناخته می‌شود. این مطالعه به بررسی تجمع فلزات سنگین سرب (Pb)، کادمیوم (Cd) و کروم (Cr) در گیاه نی (<i>Phragmites australis</i>) و رسوبات رودخانه کارون در محدوده شهرستان باوی می‌پردازد. نمونه‌برداری از ریشه، برگ و رسوب در شش ایستگاه و با سه تکرار انجام شد. غلظت فلزات با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری و با نرم‌افزارهای SPSS و Excel تجزیه و تحلیل شدند. نتایج نشان داد که بیشترین تجمع فلزات در رسوب و سپس در ریشه گیاه نی وجود داشت. همچنین، غلظت سرب (۱۴/۱۵ میلی گرم) در رسوب گیاه نی، در مقایسه با کادمیوم (۹/۱۶ میلی گرم) و کروم (۳/۳۴ میلی گرم) بالاتر بود. این مطالعه نشان می‌دهد که گیاه نی، به‌ویژه ریشه آن، پتانسیل مناسبی برای پایش و جذب فلزات سنگین در رودخانه کارون دارد و می‌تواند برای استراتژی‌های گیاه‌پالایی مورد استفاده قرار گیرد. به همین دلیل، تحقیقات آتی باید بر بررسی گونه‌های گیاهی جدید، بهینه‌سازی سیستم‌های گیاه‌پالایی و ارزیابی اقتصادی و اجتماعی این روش متمرکز شود.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۱۶	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۲/۰۸	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۱۸	
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۴/۱۰	
کلیدواژه‌ها:	
سرب،	
کادمیوم،	
کروم،	
گیاه پالایی.	

استناد: چنانی، رقیه؛ چراغی، میترا؛ و حمیدی، کبری (۱۴۰۴). ارزیابی کارایی گیاه نی (*Phragmites australis*) در جذب فلزات سنگین از رسوبات رودخانه

کارون. محیط زیست طبیعی، ۷۸ (ویژه‌نامه پایش و مدیریت آلاینده‌های محیط‌زیست طبیعی)، ۲۴۳-۲۵۴.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jne.2025.388252.2749>



© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

آلودگی محیط‌زیست، به‌ویژه آلودگی منابع آبی و خاکی به فلزات سنگین، یکی از چالش‌های اساسی جوامع بشری در عصر حاضر است. این نوع آلودگی، ناشی از فعالیت‌های گوناگون انسانی از جمله توسعه صنایع، فعالیت‌های معدن‌کاوی، استفاده بی‌رویه از کودها و سموم شیمیایی در کشاورزی و همچنین تخلیه نامناسب پسماندها و فاضلاب‌های شهری و صنعتی بوده که اثرات مخربی بر اکوسیستم‌ها و سلامت انسان و سایر موجودات زنده دارد (Nascimento et al., 2006; Asiaabadi et al., 2015). به‌طور کلی، فلزات سنگین، به‌دلیل پایداری بالا و عدم تجزیه‌پذیری زیستی، در محیط تجمع یافته و می‌توانند از طریق زنجیره غذایی وارد بدن انسان و حیوانات شوند و خطرات جدی برای سلامتی ایجاد کنند. این فلزات می‌توانند منجر به بروز بیماری‌های مختلف از جمله اختلالات عصبی، بیماری‌های کلیوی، سرطان و سایر مشکلات سلامتی شوند (Cheraghi et al., 2014).

آلودگی رسوبات رودخانه‌ها به فلزات سنگین، به‌طور خاص، یک نگرانی جدی است. رسوبات به‌عنوان منبع ثانویه آلودگی عمل می‌کنند و می‌توانند فلزات را برای مدت طولانی در خود نگه دارند و به‌تدریج آن‌ها را به آب و سایر بخش‌های اکوسیستم آزاد کنند. این امر می‌تواند منجر به آلودگی آب‌های زیرزمینی از طریق نفوذ آب آلوده به رسوبات و همچنین آلودگی آبیان و سایر موجودات زنده مرتبط با رودخانه شود که به‌نوبه خود در طول انتقال در زنجیره‌های غذایی به انسان‌ها منتقل شوند. رودخانه کارون، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین و حیاتی‌ترین منابع آبی ایران، به‌دلیل فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی گسترده در حوضه آبریز خود، با مشکل آلودگی فلزات سنگین مواجه است (Cheraghi et al., 2014; Parsadost and Ebrahimi Nejad, 2017). این آلودگی، علاوه بر تهدید سلامت انسان، اثرات منفی بر تنوع زیستی و عملکرد اکوسیستم رودخانه دارد.

روش‌های سنتی پاکسازی محیط‌های آلوده به فلزات سنگین، مانند لایروبی، شستشوی خاک، دفن و تثبیت شیمیایی، اغلب پرهزینه، زمان‌بر و دارای اثرات جانبی محیط‌زیستی هستند. به‌همین دلیل، توجه به روش‌های نوین و کم‌هزینه مانند گیاه‌پالایی (Phytoremediation) به‌عنوان یک راهکار پایدار و دوستدار محیط‌زیست افزایش یافته است. گیاه‌پالایی به‌عنوان یکی از روش‌های مدیریت و کاهش آلودگی مطرح می‌باشد که در آن با استفاده از گیاهان و توانایی آن‌ها در جذب، تجمع، تثبیت و یا تبخیر آلاینده‌های موجود در محیط‌های مختلف، امکان پاکسازی محیط‌های آلوده را فراهم می‌گردد (Adriano, 2001). این روش، به‌دلیل هزینه کمتر نسبت به روش‌های مرسوم کنترل آلودگی، سهولت اجرا و همچنین پذیرش عمومی، به‌عنوان یک گزینه جذاب برای مدیریت آلودگی فلزات سنگین در نظر گرفته می‌شود.

گیاه نی (*Phragmites australis*) که به‌عنوان نی معمولی نیز شناخته می‌شود، یکی از گیاهان آبرزی گسترده و مقاوم است که به‌دلیل توانایی بالای آن در جذب و تحمل فلزات سنگین، به‌طور گسترده در مطالعات گیاه‌پالایی (Phytoremediation) مورد استفاده قرار می‌گیرد. این گیاه قادر است فلزات سنگین مانند کادمیوم (Cd)، سرب (Pb)، روی (Zn)، مس (Cu) و نیکل (Ni) را از خاک و آب آلوده جذب کرده و در اندام‌های خود ذخیره کند. این ویژگی باعث شده است که از نی به‌عنوان یک ابزار مؤثر برای پایش و کاهش آلودگی محیط‌زیست استفاده شود (Ganjali et al., 2014).

گیاه نی، یک گیاه آبرزی چندساله است که به‌طور گسترده در مناطق مختلف جهان از جمله ایران یافت می‌شود. این گیاه به‌دلیل ویژگی‌هایی مانند رشد سریع، تحمل شرایط سخت محیطی از جمله شوری و غلظت بالای فلزات، سیستم ریشه‌ای گسترده و توانایی بالای جذب آب و مواد مغذی، به‌عنوان یک گزینه مناسب برای گیاه‌پالایی در محیط‌های آبی و حاشیه‌های رودخانه‌ها شناخته می‌شود. در همین راستا، مطالعات متعددی نشان داده‌اند که گیاه نی قادر به جذب و تجمع فلزات سنگین مختلف از جمله سرب، کادمیوم، کروم، مس و روی است. به‌عنوان مثال، مطالعات انجام‌شده در تالاب انزلی ایران نشان داد که غلظت فلزات سنگین در ریشه‌های نی به‌طور معنی‌داری با غلظت این فلزات در رسوبات مرتبط است. این یافته‌ها تأیید می‌کنند که ریشه‌های نی می‌توانند به‌عنوان شاخصی برای ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در محیط‌های آبی استفاده شوند (Gangali et al., 2014; Esmailzade et al., 2023). علاوه بر این، تحقیقات دیگری در مناطق مختلف مانند شبه‌جزیره عربستان و چین نشان داده‌اند که نی قادر است فلزات سنگین را از خاک و آب آلوده جذب کرده و در اندام‌های هوایی و زیرزمینی خود توزیع کند. این مطالعات همچنین نشان می‌دهند که نی می‌تواند به‌عنوان یک گیاه مؤثر در پالایش محیط‌های آلوده به فلزات سنگین مورد استفاده قرار گیرد (Al-Homaidan et al., 2020; Fernández et al., 2016).

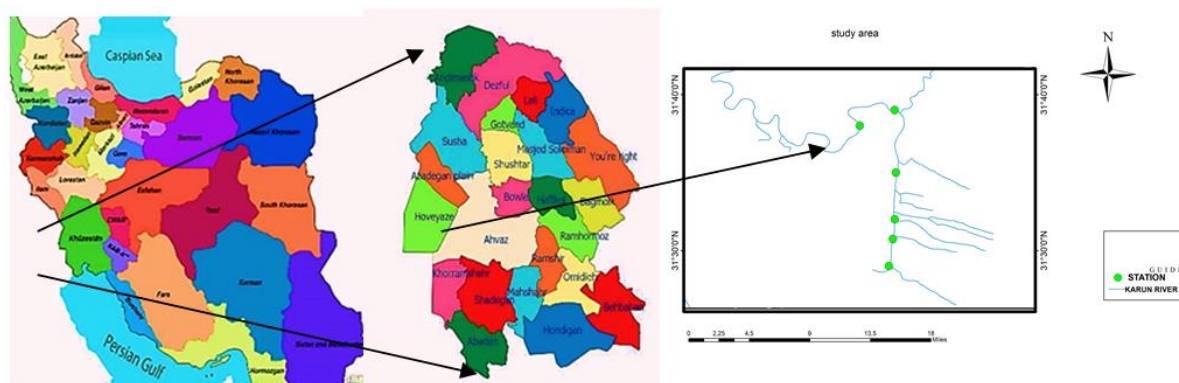
Hodaji و Lotfallahi در (۲۰۱۰) گزارش دادند که اغلب کادمیوم جذب شده توسط آفتابگردان در اندام هوایی انباشته شده است. غلظت کادمیوم در اندام هوایی آفتابگردان ۳۱ میلی گرم در کیلوگرم وزن خشک گیاه است که این اختلاف در سطح ۵ درصد معنی دار است. همچنین غلظت فلز کادمیوم در ریشه این گیاه ۱۵ میلی گرم است که در سطح ۵ درصد داری تفاوت معنی داری است. در مطالعه ای که Mohmmad Zade و همکاران در سال ۲۰۱۸ با استفاده از گیاه نی بر رودخانه کارون در محدوده اهواز داشتند، نتایج نشان داد که این گیاه می تواند غلظت سرب در رسوبات را تا ۶/۴۷ میکروگرم کاهش دهد. در مطالعه دیگری که بر رودخانه گلرود کرج با استفاده از گیاه نی بررسی شد؛ نتایج نشان داد میانگین غلظت سرب در اندام هوایی و زیرزمینی به ترتیب ۱۱/۱۷ و ۹/۲۸ میکروگرم بوده که نشان دهنده عملکرد این گیاه به عنوان هایپراکومیولاتور برای سرب است (Mir Sanjari., 2020).

رودخانه کارون به عنوان پرآب ترین رود کشور، با تأمین آب مورد نیاز صنایع، نقش مهمی در تأمین منافع ملی بر عهده دارد. همچنین این رودخانه در کناره های خود اراضی مزروعی و شهرهای بزرگی را جای داده است. رودخانه کارون، علاوه بر تأمین آب مورد نیاز صنایع بزرگ از جمله صنایع فولاد و پتروشیمی، نقش حیاتی در کشاورزی منطقه خوزستان، به عنوان قطب کشاورزی ایران، ایفا می کند و منبع درآمد و معیشت بسیاری از کشاورزان و ساکنین منطقه است. همچنین، این رودخانه به دلیل جاذبه های طبیعی خود، پتانسیل بالایی برای توسعه گردشگری دارد و مسیر آبی مهمی برای حمل و نقل کالا و مسافر محسوب می شود. رودخانه کارون به شدت تحت تأثیر انواع آلودگی های کشاورزی، منابع صنعتی و خانگی است، که در طول رودخانه افزایش می یابند. کشاورزی و صنایع، آلاینده های اصلی رودخانه هستند و شامل مزارع نیشکر و فعالیت ها پرورش ماهی، کارخانه های پتروشیمی، و همچنین سایر صنایع سنگین واقع در امتداد رودخانه است (Nadafi et al., 2007). از این رو، آگاهی از میزان آلاینده های آن و لزوم گزارش های دوره ای، با توجه به اهمیت رودخانه کارون در تأمین آب مورد نیاز ساکنان منطقه و نیز اثر فلزات سنگین بر سلامت انسان ها حائز اهمیت است.

با توجه به اهمیت رودخانه کارون و مشکل آلودگی فلزات سنگین در رسوبات آن، این مطالعه با هدف ارزیابی کارایی گیاه نی در جذب فلزات سنگین سرب (Pb)، کادمیوم (Cd) و کروم (Cr) از رسوبات این رودخانه در محدوده شهرستان باوی انجام شده است. این مطالعه به بررسی میزان تجمع این فلزات در بخش های مختلف گیاه (ریشه و برگ) و رسوبات پرداخته و پتانسیل گیاه نی را به عنوان یک ابزار مؤثر در استراتژی های گیاه پالایی در این منطقه ارزیابی می کند. نتایج این تحقیق می تواند اطلاعات مفیدی برای مدیریت آلودگی فلزات سنگین در رودخانه کارون و سایر اکوسیستم های آبی مشابه فراهم کند و در توسعه روش های پاکسازی پایدار و کم هزینه مؤثر باشد.

روش شناسی پژوهش

موقعیت جغرافیایی: حوضه آبخیز رودخانه کارون با وسعت تقریبی ۶۷۰۰۰ کیلومتر مربع، بزرگترین حوضه آبریز ایران است و در محدوده هفت استان چهارمحال و بختیاری، خوزستان، کهگیلویه و بویراحمد، لرستان، مرکزی، فارس و همدان واقع شده است. رودخانه کارون از زردکوه بختیاری در کوهرنگ سرچشمه می گیرد و پس از طی مسیری طولانی و دریافت شاخه های فرعی متعدد، در نهایت به دو شاخه تقسیم شده و به خلیج فارس و اروندرود می ریزد. این رودخانه به دلیل اهمیت محیط زیستی، اقتصادی و اجتماعی، تحت تأثیر فعالیت های انسانی مختلف از جمله صنایع، کشاورزی و تخلیه فاضلاب قرار گرفته و با مشکل آلودگی فلزات سنگین مواجه است. در رابطه با انتخاب این اکوسیستم می توان گفت که تاکنون مطالعه ای در رابطه با گیاه پالایی در رودخانه کارون در محدوده شهرستان باوی انجام نشده است. همچنین از منابع آلوده کننده این رودخانه می توان به صنایع مختلف از جمله پساب نیروگاه رامین، پساب نیروگاه یادگار امام و همچنین پساب های کشاورزی و صنایع دیگر اشاره کرد. مطالعه حاضر در محدوده شهرستان باوی در استان خوزستان انجام شد (شکل ۱). به منظور بررسی میزان تجمع فلزات سنگین در گیاه نی (*Phragmites australis*) و رسوبات رودخانه کارون، شش ایستگاه نمونه برداری در محدوده شهرستان باوی انتخاب شدند. معیارهای انتخاب ایستگاه ها شامل دسترسی آسان، وجود پوشش گیاهی مناسب از گیاه نی و پراکندگی نسبی در طول رودخانه در محدوده مورد مطالعه بود. موقعیت جغرافیایی دقیق هر ایستگاه با استفاده از دستگاه GPS ثبت شد که در جدول ۱ و شکل ۱ ارائه شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری

ایستگاه	طول جغرافیایی (UTM)	عرض جغرافیایی (UTM)
ایستگاه ۱	۲۹۸۸۵۹	۳۴۹۶۱۷۱
ایستگاه ۲	۲۹۸۸۲۱	۳۴۹۶۵۳
ایستگاه ۳	۲۹۸۵۹۹	۳۵۰۳۱۶۹
ایستگاه ۴	۲۹۸۹۱۳	۳۵۰۳۰۴۰
ایستگاه ۵	۲۹۸۶۳۸	۳۴۹۹۷۱۸
ایستگاه ۶	۲۹۸۶۷۵	۳۴۹۷۵۹۲

نمونه‌برداری از برگ، ریشه و رسوب در هر ایستگاه و در سه تکرار در بازه زمانی ۱۵ تا ۳۰ اردیبهشت ۱۴۰۳ انجام شد. نمونه‌برداری از گیاه نی (*Phragmites australis*) با رعایت پروتکل‌های استاندارد نمونه‌برداری گیاهان آبی انجام شد (Instruction For Surface Water Quality Monitoring No. 522, 2010). برای نمونه‌برداری از گیاه نی، حداقل ۲۲ برگ بالغ و ۱۲ ریشه به صورت تصادفی از هر ایستگاه برداشت شد. نمونه‌های ریشه از عمق ۵ تا ۲۰ سانتی‌متری خاک بستر رودخانه جمع‌آوری گردید. به منظور کاهش تأثیر مستقیم تغییرات حاشیه رودخانه، فاصله نمونه‌برداری از حاشیه رودخانه حداقل ۱ کیلومتر در نظر گرفته شد. همچنین، نمونه‌های رسوب با استفاده از نمونه‌بردار رسوب ون وین از عمق ۰ تا ۲ سانتی‌متری سطح رسوبات برداشت شدند تا لایه سطحی که بیشترین تعامل را با آب دارد، مورد مطالعه قرار گیرد. نمونه‌ها پس از جمع‌آوری در کیسه‌های پلاستیکی تمیز و دربسته قرار داده شده و در جعبه‌های خنک حاوی یخ به آزمایشگاه منتقل شدند. در آزمایشگاه، نمونه‌های برگ و ریشه ابتدا با آب مقطر شسته شدند تا ذرات معلق و آلودگی‌های سطحی آن‌ها حذف شود. سپس نمونه‌ها در آون با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت (تا رسیدن به وزن ثابت) خشک شدند. نمونه‌های خشک شده با استفاده از آسیاب آزمایشگاهی پودر شدند. نمونه‌های رسوب نیز پس از انتقال به آزمایشگاه در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک و سپس با استفاده از آسیاب و الک با قطر ۶۳ میکرون، آماده‌سازی شدند. برای اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین، نمونه‌های گیاهی (۱ گرم) با مخلوط اسید نیتریک غلیظ (۶۵ درصد) و پراکسید هیدروژن (۳۰ درصد) به نسبت ۱:۵ در دمای ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳ ساعت هضم شدند (MacFarlane et al., 2003). نمونه‌های رسوب (۱ گرم) نیز با مخلوط اسید نیتریک غلیظ و اسید پرکلریک غلیظ به نسبت ۱:۳ در دمای ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳ ساعت هضم شدند (Yap et al., 2002). پس از هضم، نمونه‌ها از کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲ عبور داده شده و با آب مقطر به حجم معینی رسانده شدند. سپس غلظت فلزات سنگین سرب (Pb)، کادمیوم (Cd) و کروم (Cr) در نمونه‌های هضم شده با استفاده از دستگاه جذب اتمی شعله‌ای (FAAS) مدل SAVANTAA GBC اندازه‌گیری شد. برای کنترل کیفیت آنالیزها، از استانداردهای مرجع معتبر (DORM-3) استفاده شد. درصد بازیابی فلزات در محدوده ۹۰ تا ۱۰۵ درصد بود که نشان‌دهنده دقت بالایی روش آنالیز است. همچنین، از نمونه‌های بلانک برای کنترل آلودگی استفاده شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ انجام شد. ابتدا نرمال بودن توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون Shapiro-Wilk بررسی شد. برای مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین بین ایستگاه‌های مختلف، از آزمون تحلیل واریانس

یک طرفه (ANOVA) و در صورت معنی دار بودن اختلاف، از آزمون تکمیلی Tukey استفاده شد. سطح معنی داری آماری $P < 0.05$ در نظر گرفته شد. نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel رسم شدند.

یافته های پژوهش و بحث

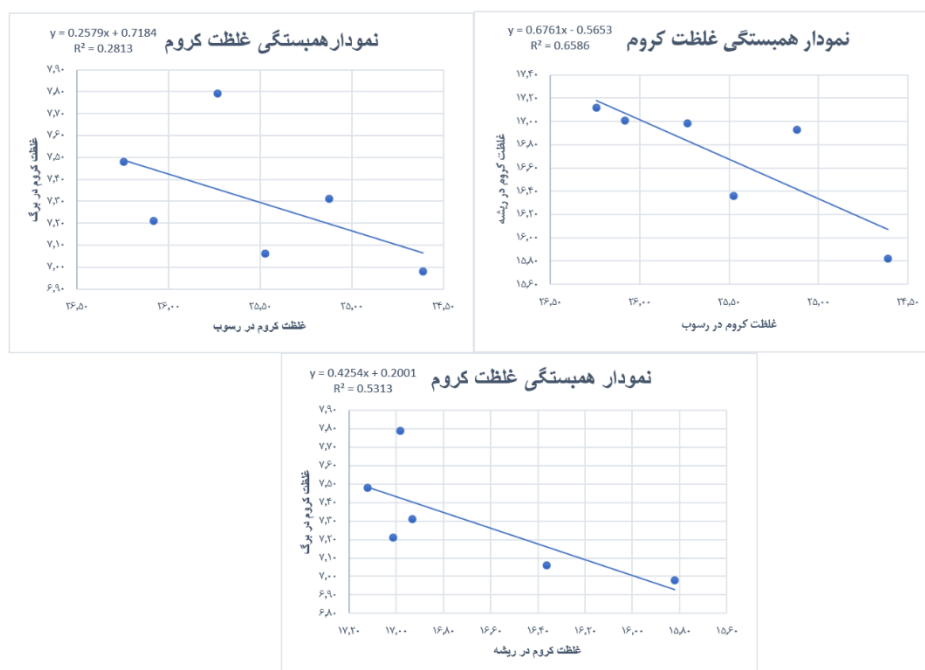
نتایج حاصل از آنالیز غلظت فلزات سنگین (سرب، کادمیوم و کروم) در رسوب، ریشه و برگ گیاه نی (*Phragmites australis*) در شش ایستگاه مورد مطالعه در رودخانه کارون (شهرستان باوی) در جدول ۲ و شکل های ۲ تا ۴ ارائه شده است. نتایج نشان داد که غلظت سرب در رسوبات تمام ایستگاه ها به طور معنی داری ($P < 0.05$) نسبت به کادمیوم و کروم بالاتر بود. همچنین، الگوی تجمع فلزات در بافت های گیاه به صورت رسوب < ریشه < برگ مشاهده شد. به عبارت دیگر، بیشترین غلظت هر سه فلز در رسوبات، سپس در ریشه و در نهایت در برگ گیاه نی اندازه گیری شد.

شکل ۲، غلظت فلز سنگین کروم را در ریشه، برگ و رسوب گیاه نی در ایستگاه های مختلف نشان می دهد. همان طور که در شکل مشاهده می شود، به نظر می رسد رابطه خطی بین غلظت کروم در بخش های مختلف گیاه و رسوب وجود دارد. بین غلظت کروم در رسوب و ریشه همبستگی نسبتاً قوی تری ($R^2 = 0.66$) نسبت به سایر روابط مشاهده می شود. همچنین، بین غلظت کروم در ریشه و برگ نیز همبستگی متوسطی ($R^2 = 0.53$) وجود دارد. با این حال، بین غلظت کروم در رسوب و برگ، همبستگی بسیار ضعیفی ($R^2 = 0.28$) مشاهده می شود. همبستگی نسبتاً قوی بین غلظت کروم در رسوب و ریشه می تواند نشان دهنده جذب مستقیم کروم از رسوب توسط ریشه گیاه نی باشد.

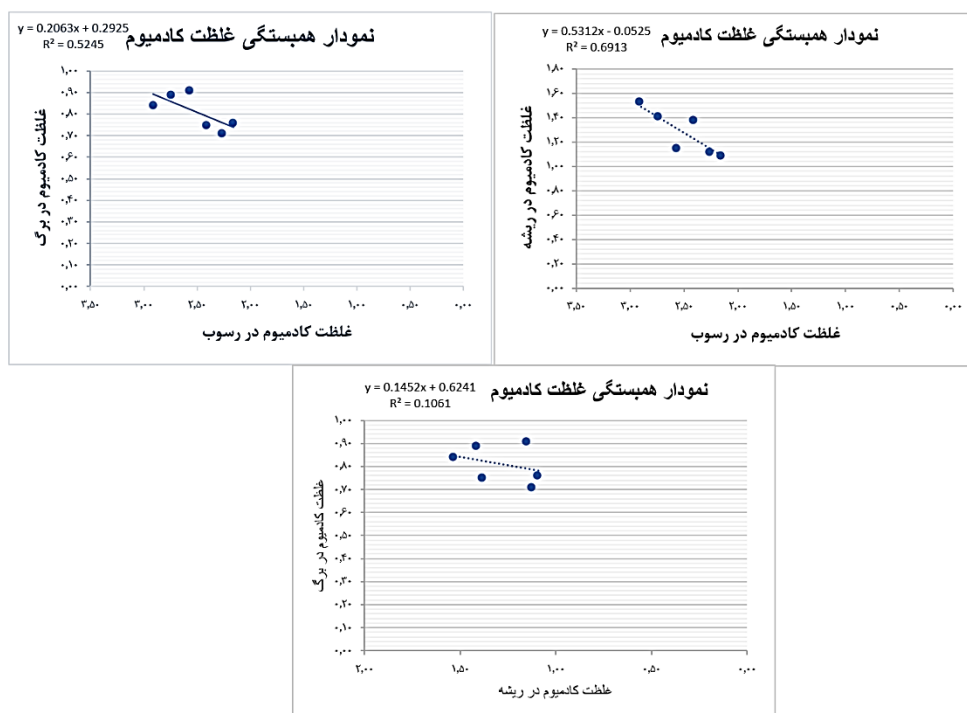
شکل ۳، غلظت فلز سنگین کادمیوم را در ریشه، برگ و رسوب گیاه نی در ایستگاه های مختلف نشان می دهد. همان طور که در شکل مشاهده می شود، به نظر می رسد رابطه خطی بین غلظت کادمیوم در بخش های مختلف گیاه و رسوب وجود دارد. بین غلظت کادمیوم در رسوب و ریشه، همبستگی معنی داری ($R^2 = 0.99$) مشاهده می شود. بین غلظت کادمیوم در ریشه و برگ، همبستگی بسیار ضعیفی ($R^2 = 0.1$) وجود دارد. همچنین، بین غلظت کادمیوم در رسوب و برگ نیز همبستگی متوسطی ($R^2 = 0.52$) مشاهده می شود. همبستگی معنی دار بین غلظت کادمیوم در رسوب و ریشه می تواند نشان دهنده جذب کادمیوم از رسوب توسط ریشه گیاه نی باشد. ریشه به عنوان اولین بخش گیاه که با رسوب در تماس است، نقش کلیدی در جذب فلزات سنگین از محیط اطراف خود ایفا می کند.

جدول ۲- غلظت فلزات سنگین (Mean±SD) در برگ، ریشه و رسوب گیاه نی (*Phragmites australis*) در ایستگاه های مختلف

رودخانه کارون				
رویشگاه ها	فلزات سنگین	برگ (µg/g)	ریشه (µg/g)	رسوب (µg/g)
ایستگاه ۱	سرب	۳/۳۱±۰/۲۸	۹/۴۶±۰/۳۵	۱۴/۴۶±۰/۳۴
	کادمیوم	۰/۸۵±۰/۰۳	۲/۴۶±۰/۳۸	۲/۴۶±۰/۴۵
	کروم	۷/۵۳±۱/۳۲	۱۶/۶۵±۱/۴۵	۲۵/۵۴±۲/۵۲
ایستگاه ۲	سرب	۲/۶۹±۰/۴۴	۸/۹۶±۰/۰۲	۱۳/۰۱±۰/۱۴
	کادمیوم	۰/۵۷±۰/۶۳	۲/۵۲±۰/۳۲	۲/۱۶±۰/۳۲
	کروم	۷/۳۲±۰/۸۵	۱۷/۸۵±۰/۶۸	۲۴/۸۹±۱/۹۸
ایستگاه ۳	سرب	۳/۸۵±۳/۰۴	۹/۱۳±۷/۴۲	۱۴/۱۱±۱۱/۰۶
	کادمیوم	۰/۹۸±۰/۰۳	۱/۱۶±۰/۰۸	۲/۸۵±۰/۳۶
	کروم	۶/۴۵±۰/۵۶	۱۵/۸۹±۰/۵۲	۲۴/۷۸±۱/۶۵
ایستگاه ۴	سرب	۳/۵۵±۳/۰۴	۸/۶۹±۷/۹۵	۱۳/۷۵±۱۱/۷۴
	کادمیوم	۰/۷۸±۰/۶۸	۱/۶۸±۰/۸۶	۲/۹۶±۰/۴۵
	کروم	۷/۷۹±۰/۳۶	۱۶/۹۸±۱/۵۲	۲۵/۷۶±۱/۳۵
ایستگاه ۵	سرب	۳/۵۱±۳/۳	۹/۱۰±۷/۸۲	۱۴/۲۷±۱۱/۸۴
	کادمیوم	۰/۸۹±۰/۰۶	۱/۵۸±۰/۳۶	۲/۶۵±۰/۱۲
	کروم	۷/۵۶±۰/۹۶	۱۷/۵۰±۱/۸۶	۲۵/۶۸±۰/۸۶
ایستگاه ۶	سرب	۳/۷۴±۳/۱۱	۹/۲۷±۷/۵۰	۱۴/۴۳±۱۱/۳۸
	کادمیوم	۰/۸۹±۰/۰۹	۱/۶۵±۰/۱۲	۲/۶۵±۰/۵۶
	کروم	۷/۰۶±۰/۲۳	۱۶/۳۹±۰/۹۸	۲۵/۶۷±۱/۳۸



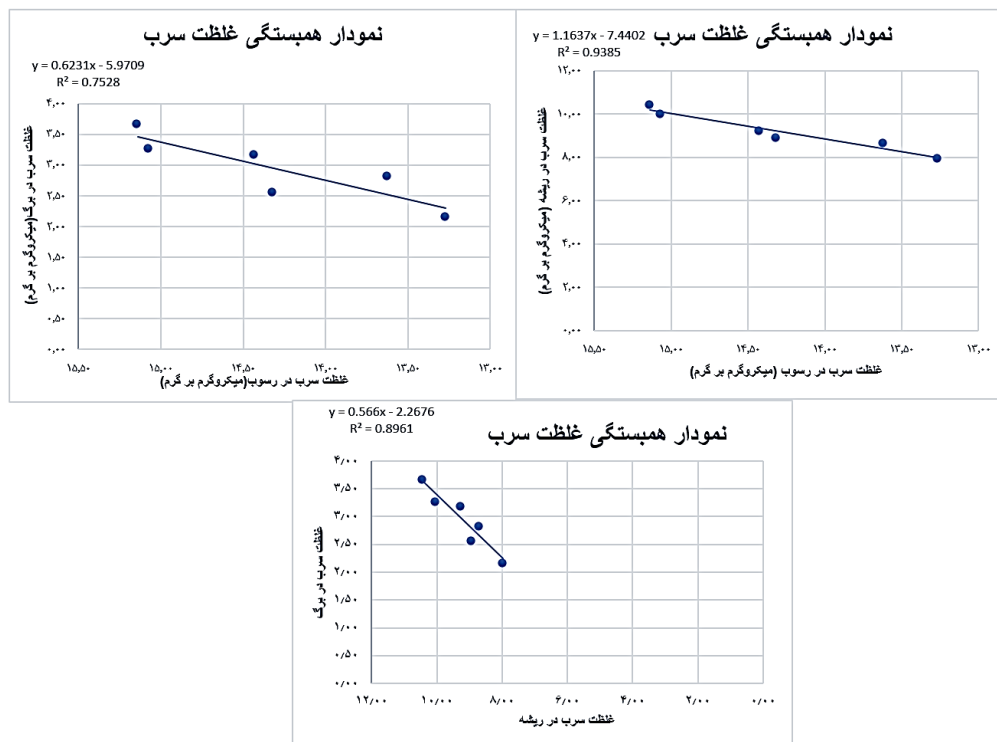
شکل ۲- غلظت فلز سنگین کروم در ریشه، برگ و رسوب گیاه نی



شکل ۳- غلظت فلز سنگین کادمیوم در ریشه، برگ و رسوب گیاه نی

شکل ۴، غلظت فلز سنگین سرب را در ریشه، برگ و رسوب گیاه نی در ایستگاه‌های مختلف نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، به‌نظر می‌رسد رابطه خطی معنی‌داری بین غلظت سرب در بخش‌های مختلف گیاه و رسوب وجود دارد. بین غلظت سرب در رسوب و ریشه، همبستگی نسبتاً قوی ($R^2=0/93$) مشاهده می‌شود. بین غلظت سرب در رسوب و برگ نیز همبستگی معنی‌داری ($R^2=0/75$) وجود دارد. همچنین، بین غلظت سرب در ریشه و برگ، همبستگی معنی‌داری ($R^2=0/89$) مشاهده می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که غلظت سرب در رسوب، ریشه و برگ گیاه نی در ایستگاه‌های مورد مطالعه متفاوت است. همبستگی نسبتاً قوی بین غلظت سرب در رسوب و ریشه نشان‌دهنده جذب قوی و مستقیم سرب از رسوب توسط ریشه گیاه نی است. این همبستگی بالا نشان می‌دهد که غلظت سرب در ریشه به‌شدت تحت تأثیر غلظت آن در رسوب قرار دارد. ریشه به‌عنوان اولین بخش گیاه که

با رسوب در تماس است، نقش کلیدی در جذب فلزات سنگین از محیط اطراف خود ایفا می کند. این یافته با مطالعات دیگر که نقش ریشه در جذب فلزات سنگین را تأیید می کنند، همخوانی دارد (Zaimdar, 2017). همبستگی بین غلظت فلزات مورد مطالعه در ریشه و برگ نشان می دهد که انتقال عناصر از ریشه به بخش های هوایی گیاه (برگ) نیز رخ می دهد، اما این انتقال ممکن است تحت تأثیر عوامل مختلفی محدود شود. این محدودیت می تواند ناشی از مکانیسم های مختلف در گیاه باشد، از جمله محدودیت انتقال در آوند چوبی (Kumpiene et al., 2008)، تثبیت و ذخیره در ریشه (Adriano, 2001) و نیز جذب سطحی و تبادل یونی باشد.



شکل ۴- غلظت فلز سنگین سرب در ریشه، برگ و رسوب گیاه نی

غلظت بالای سرب در رسوبات رودخانه کارون در محدوده شهرستان باوی می تواند ناشی از عوامل مختلفی از جمله تخلیه پساب های صنعتی (به ویژه صنایع نفت، گاز و پتروشیمی که در منطقه حضور دارند)، فاضلاب های شهری و روستایی، رواناب های کشاورزی حاوی کودها (مانند کود آلی حیوانی، کودهای فسفاته، کودهای کمپوست شهری و لجن فاضلاب) (Esmailzade et al., 2023) و سموم، و همچنین منابع زمین شناسی منطقه باشد (Cheraghi et al., 2014; Parsadost and Ebrahimi Nejad., 2017). سرب به طور گسترده در صنایع مختلف، از جمله باتری سازی، رنگ سازی، لوله های آب، و سوخت خودروها استفاده می شود، و ورود آن به محیط زیست می تواند از طریق منابع مختلفی صورت گیرد. مطالعات پیشین نیز نشان داده اند که فعالیت های انسانی، به ویژه تخلیه فاضلاب های شهری و صنعتی، از منابع اصلی آلودگی سرب در رسوبات آبی هستند (Cheraghi et al., 2014; Gangali et al., 2014; Parsadost and Ebrahimi Nejad., 2017; Esmailzade et al., 2023).

غلظت کمتر کروم نسبت به سرب و کادمیوم در رسوبات می تواند به دلایل متعددی از جمله منابع ورودی کمتر این فلز در منطقه مورد مطالعه، تفاوت در رفتار شیمیایی و قابلیت تحرک آن در محیط، و همچنین فرآیندهای رسوبی و شیمیایی حاکم بر رودخانه باشد. کروم بیشتر در صنایع فولاد، آبکاری و دباغی استفاده می شود و ورود آن به محیط زیست معمولاً از طریق پساب این صنایع صورت می گیرد (Kumpiene et al., 2008).

الگوی تجمع فلزات در گیاه نی (رسوب < ریشه < برگ) نشان می دهد که ریشه نقش کلیدی در جذب و تجمع فلزات سنگین ایفا می کند. این امر می تواند به دلیل وجود مکانیسم های مختلف در ریشه از جمله جذب سطحی فلزات توسط دیواره سلولی و ریشه موها، انتقال فعال فلزات به داخل سلول های ریشه از طریق پروتئین های انتقال دهنده، و همچنین تثبیت و ذخیره فلزات در واکوئل ها

و سایر بخش‌های سلولی ریشه باشد. جذب غیرفعال فلزات به دیواره سلولی ریشه از طریق فرآیندهایی مانند جذب سطحی، تبادل یونی و کمپلکس شدن صورت می‌گیرد. گروه‌های عاملی موجود در دیواره سلولی، مانند گروه‌های کربوکسیل، هیدروکسیل و فسفات، نقش مهمی در جذب فلزات ایفا می‌کنند. جذب فعال فلزات به داخل سلول‌های ریشه توسط پروتئین‌های انتقال‌دهنده غشایی انجام می‌شود. پروتئین‌های خانواده ZIP نقش مهمی در جذب روی و کادمیوم دارند. این پروتئین‌ها به صورت اختصاصی برای فلزات مختلف عمل می‌کنند و در انتقال فلزات از عرض غشای سلولی نقش دارند (DalCorso et al., 2013). انتقال فلزات از ریشه به بخش‌های هوایی گیاه از طریق آوند چوبی صورت می‌گیرد. غلظت کمتر فلزات در برگ‌ها ممکن است به دلیل محدودیت در انتقال فلزات از ریشه به بخش‌های هوایی گیاه از طریق سیستم آوندی، وجود مکانیسم‌های دفع فلزات از طریق ترشح یا ریزش برگ‌ها، یا تثبیت فلزات در دیواره سلولی یا سایر بخش‌های ریشه باشد. این الگو با یافته‌های مطالعات دیگر در مورد تجمع فلزات سنگین در گیاه نی و سایر گیاهان آبی مطابقت دارد (Kumpiene et al., 2005; Zaimdar., 2017). مطالعات نشان داده‌اند که ریشه گیاهان به دلیل تماس مستقیم با محیط آلوده، معمولاً بیشترین غلظت فلزات را در خود تجمع می‌دهند. مطالعه‌ای که توسط Esmaeilzadeh (۲۰۱۶) در تالاب انزلی انجام شد، الگوی مشابهی از تجمع فلزات (رسوب < ریشه < برگ) را در گیاه نی نشان داد. این تشابه می‌تواند ناشی از شرایط محیطی مشابه و مکانیسم‌های فیزیولوژیکی مشابه در گیاهان باشد.

اختلاف در غلظت فلزات در بافت‌های مختلف گیاه می‌تواند به عوامل متعددی از جمله نوع فلز، گونه گیاهی، سن گیاه، شرایط محیطی (مانند pH، دما و وجود سایر عناصر)، و همچنین مکانیسم‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه مرتبط باشد (Adriano, 2001). برخی از گیاهان دارای مکانیسم‌های خاصی برای تحمل و تجمع فلزات سنگین هستند که به آن‌ها گیاهان بیش‌انباشتگر (hyperaccumulators) گفته می‌شود. اگرچه گیاه نی به عنوان یک بیش‌انباشتگر شناخته نمی‌شود، اما توانایی نسبی آن در جذب و تجمع برخی از فلزات سنگین، آن را به گزینه‌ای مناسب برای گیاه‌پالایی در برخی شرایط تبدیل می‌کند.

تحلیل PCA نشان می‌دهد که غلظت سرب، کادمیوم و کروم در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه به شدت با یکدیگر همبستگی دارند و تغییرات آن‌ها به طور همزمان رخ می‌دهد ($P < 0.05$). این نشان می‌دهد که یک عامل یا منبع مشترک بر غلظت هر سه فلز در منطقه مورد مطالعه تأثیر می‌گذارد. این عامل می‌تواند ناشی از منابع آلودگی مشترک و نیز فرآیندهای ژئوشیمیایی مشابه باشد. وجود منابع آلودگی یکسان که هر سه فلز را به محیط وارد می‌کنند (مانند پساب‌های صنعتی، رواناب‌های کشاورزی یا منابع زمین‌شناسی) و نیز وجود فرآیندهای ژئوشیمیایی مشابه که بر فراهمی زیستی و رفتار هر سه فلز در محیط تأثیر می‌گذارند، از عوامل مهم مورد بررسی در این زمینه می‌باشند. همچنین الگوهای همبستگی مشاهده شده نشان می‌دهد که ریشه نقش اصلی را در جذب فلزات از رسوب ایفا می‌کند. میزان انتقال فلزات از ریشه به برگ بسته به نوع فلز متفاوت است. انتقال سرب به خوبی انجام می‌شود، در حالی که انتقال کادمیوم بسیار محدود است. این تفاوت‌ها می‌تواند ناشی از ویژگی‌های شیمیایی فلزات، مکانیسم‌های جذب و انتقال در گیاه و شرایط محیطی باشد. به طور کلی می‌توان بیان نمود که گیاه نی به ویژه در جذب سرب از رسوب و انتقال آن به برگ‌ها مؤثر است.

با توجه به نتایج این مطالعه، گیاه نی (*Phragmites australis*) می‌تواند به عنوان یک ابزار مؤثر در استراتژی‌های گیاه‌پالایی برای کاهش آلودگی فلزات سنگین، به ویژه سرب، در رسوبات رودخانه کارون در محدوده شهرستان باوی مورد استفاده قرار گیرد. با این حال، تحقیقات بیشتر برای بررسی کارایی این گیاه در شرایط مختلف محیطی، بهینه‌سازی روش‌های گیاه‌پالایی و ارزیابی جنبه‌های اقتصادی و اجتماعی این روش ضروری است.

نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر با هدف ارزیابی کارایی گیاه نی (*Phragmites australis*) در جذب فلزات سنگین سرب (Pb)، کادمیوم (Cd) و کروم (Cr) از رسوبات رودخانه کارون در محدوده شهرستان باوی انجام شد. یافته‌های این پژوهش نشان داد که رسوبات رودخانه کارون در این محدوده به طور قابل توجهی به فلزات سنگین، به ویژه سرب، آلوده هستند. غلظت بالای سرب در رسوبات، لزوم پایش مداوم و اتخاذ تدابیر کنترلی برای کاهش ورود این آلاینده به اکوسیستم رودخانه را برجسته می‌سازد. منشأ این آلودگی احتمالاً ناشی از فعالیت‌های انسانی مانند صنایع، کشاورزی و تخلیه فاضلاب‌ها است.

الگوی تجمع فلزات در گیاه نی به صورت رسوب < ریشه > برگ مشاهده شد که نشان دهنده نقش محوری ریشه در جذب و تجمع فلزات سنگین است. مکانیسم های مختلفی از جمله جذب سطحی توسط اپیدرم ریشه، وجود نوارهای کاسپارین، عدم نفوذپذیری دیواره آوندهای چوبی، انتقال فعال توسط پروتئین های انتقال دهنده (مانند خانواده ZIP) و تثبیت فلزات در واکوئل ها و دیواره سلولی در این فرآیند دخیل هستند. این الگو با یافته های سایر مطالعات در مورد گیاه نی و سایر گیاهان آبی همخوانی دارد و نشان دهنده سازوکار عمومی جذب و انتقال فلزات در این گیاهان است. در میان فلزات مورد بررسی، سرب بالاترین غلظت را در ریشه و برگ نشان داد که احتمالاً به دلیل ویژگی های شیمیایی سرب، فراهمی زیستی بیشتر آن در رسوبات و توانایی نسبی گیاه نی در جذب و تجمع این فلز است. تأکید می شود که سرب عنصری غیر ضروری و سمی برای گیاهان است.

بررسی همبستگی بین غلظت فلزات در رسوبات و اندام های گیاه، روابط مستقیم و معنی داری را نشان داد. تحلیل PCA نیز همبستگی بالای بین غلظت سه فلز (سرب، کادمیوم و کروم) در همه ایستگاه های مورد مطالعه را تأیید کرد. این یافته ها نشان می دهد که گیاه نی، به ویژه ریشه آن، می تواند به عنوان یک پایشگر زیستی مناسب برای فلزات سنگین در رودخانه کارون مورد استفاده قرار گیرد و در برنامه های پایش و ارزیابی آلودگی این رودخانه کاربرد عملی دارد. به طور کلی، نتایج این مطالعه پتانسیل نسبی گیاه نی (*Phragmites australis*) را برای جذب و تجمع فلزات سنگین، به ویژه سرب، از رسوبات رودخانه کارون نشان می دهد و استفاده از آن را به عنوان بخشی از استراتژی های گیاه پالایی برای کاهش آلودگی این رودخانه مورد توجه قرار می دهد. این یافته ها اطلاعات ارزشمندی در مورد پتانسیل گیاه پالایی گیاه نی در شرایط رودخانه کارون فراهم می کند و می تواند مبنایی برای مطالعات بیشتر و اجرای پروژه های عملی گیاه پالایی باشد.

با وجود پتانسیل گیاه نی در گیاه پالایی، محدودیت ها و چالش هایی نیز وجود دارد. گیاه نی در مواجهه با غلظت های بسیار بالای آلاینده ها ممکن است دچار استرس فیزیولوژیکی شده و کارایی آن کاهش یابد (Navabian et al., 2017). از آنجا که گیاه نی عمدتاً آلاینده ها را در ریشه و ریزوم تجمع می دهد (ریزوفیلتراسیون) و انتقال آن ها به اندام های هوایی محدود است، برداشت گیاه برای حذف مؤثر آلاینده ها ضروری است (Taheri Ghanad et al., 2016). همچنین، تجمع فلزات سنگین در بافت های گیاه نی، آن را به یک پسماند خطرناک تبدیل می کند که نیاز به مدیریت و دفع اصولی دارد تا از نشت مجدد آلاینده ها به محیط جلوگیری شود (Esmaeilzadeh et al., 2023). بنابراین، تعیین غلظت های آستانه تحمل گیاه نی برای فلزات مختلف در شرایط رودخانه کارون و توسعه روش های مناسب برای برداشت، انتقال و دفع ایمن گیاهان آلوده به فلزات سنگین از اهمیت ویژه ای برخوردار است. تحقیقات آتی باید بر بررسی گونه های گیاهی جدید با پتانسیل بالاتر، بهینه سازی سیستم های گیاه پالایی (مانند استفاده از مواد اصلاح کننده خاک یا همزیستی با میکروارگانیسم ها) و ارزیابی جنبه های اقتصادی و اجتماعی این روش متمرکز شود تا بتوان از این روش به صورت پایدار و مؤثر در کاهش آلودگی رودخانه کارون استفاده نمود.

پیشنهادهای

با توجه به نتایج مطالعه حاضر و به منظور توسعه و بهبود استفاده از روش گیاه پالایی برای پاکسازی رودخانه کارون و سایر اکوسیستم های مشابه، پیشنهادات زیر برای تحقیقات آتی ارائه می شود:

- **بررسی گونه های گیاهی جدید:** شناسایی و بررسی گونه های گیاهی بومی دیگر با پتانسیل بالاتر برای جذب و تجمع فلزات سنگین، می تواند به افزایش کارایی گیاه پالایی در رودخانه کارون کمک کند. این بررسی ها باید با در نظر گرفتن شرایط خاص محیطی رودخانه، مانند شوری، pH، جریان آب و دسترسی به مواد مغذی، انجام شوند. همچنین، بررسی گونه های گیاهی بیش انباشتگر برای فلزات مورد مطالعه می تواند مفید باشد.
- **بهینه سازی سیستم های گیاه پالایی:** تحقیقات در زمینه بهینه سازی سیستم های گیاه پالایی، شامل بررسی روش های مختلف کاشت، استفاده از مواد اصلاح کننده خاک (مانند کودهای آلی، کمپوست و مواد جاذب)، و همچنین استفاده از تکنیک های تلفیقی (مانند استفاده همزمان از گیاهان و میکروارگانیسم ها)، می تواند به افزایش کارایی این روش و کاهش هزینه های آن منجر شود. بررسی اثر عوامل محیطی مانند فصل، دما و نور بر کارایی گیاه پالایی نیز توصیه می شود.

- **ارزیابی اقتصادی و اجتماعی:** ارزیابی اقتصادی و اجتماعی روش گیاه‌پالایی برای پاکسازی رودخانه کارون، از اهمیت بالایی برخوردار است. این ارزیابی باید با استفاده از مدل‌های اقتصادی و اجتماعی مناسب انجام شود و شامل بررسی هزینه‌های اجرای طرح، منافع اقتصادی حاصل از پاکسازی رودخانه (بهبود کیفیت آب، افزایش ارزش زمین‌های اطراف و توسعه گردشگری) و همچنین تأثیرات اجتماعی این روش بر جوامع محلی (مانند ایجاد اشتغال و بهبود سلامت عمومی) باشد.
- **بررسی مکانیسم‌های جذب و انتقال فلزات در گیاه:** تحقیقات بیشتر در مورد مکانیسم‌های جذب، انتقال، تجمع و سم‌زدایی فلزات سنگین در گیاه نی، می‌تواند به درک بهتر فرآیندهای گیاه‌پالایی و بهینه‌سازی این روش کمک کند. استفاده از تکنیک‌های بیوشیمیایی و مولکولی برای بررسی نقش ژن‌ها و پروتئین‌های دخیل در جذب و انتقال فلزات توصیه می‌شود.
- **مطالعات میدانی در مقیاس بزرگتر:** انجام مطالعات میدانی در مقیاس بزرگتر و در شرایط واقعی رودخانه، برای ارزیابی کارایی گیاه‌پالایی در شرایط پیچیده‌تر و با حضور سایر عوامل محیطی، ضروری است. این مطالعات می‌تواند به تعیین بهترین روش‌ها و استراتژی‌ها برای اجرای عملی پروژه‌های گیاه‌پالایی در رودخانه کارون کمک کند.
- **پایش طولانی‌مدت:** پایش طولانی‌مدت غلظت فلزات سنگین در رسوبات و بافت‌های گیاهی پس از اجرای پروژه‌های گیاه‌پالایی، برای ارزیابی پایداری و اثربخشی این روش در طول زمان و همچنین شناسایی هرگونه تغییر در شرایط محیطی ضروری است.

References

- Adriano, D.C., 2001. Chapter 10 Lead. Trace Elements In Terrestrial Environments: Biogeochemistry, Bioavailability, and Risks of Metals Springer.
- Al-Homaidan, A.A., Al-Otaibi, T.G., El-Sheikh, M.A., Al-Ghanayem, A.A., Ameen, F., 2020. Accumulation of heavy metals in a macrophyte *Phragmites australis*: implications to phytoremediation in the Arabian Peninsula wadis. Environmental Monitoring and Assessment 192, 1-10.
- Asiaabadi, I. Mir Bagheri, S.A., Soleimani, M., 2015 Plant for remediation of soils contaminated with petroleum hydrocarbons around Isfahan Refinery. water and sewage Number 3. (In Persian)
- Cheraghi, M., Safahiye, A.R., Dadalhi, S.A., Ghanmi, K., Doreghi, A.M., 2014. The study of the possibility of using the mangrove plant *Avicennia marina* (as a biological monitor of heavy metals in Khoriat of Mahshahr). Journal of Environmental Sciences 13(1), 42-33. (In Persian)
- DalCorso, G., Fasani, E., Furini, A., 2013. Recent advances in the analysis of metal hyperaccumulation and hypertolerance in plants using proteomics. Frontiers in Plant Science 4, 280.
- Esmailzadeh, M., Tavakol, M., Mohseni, F., Mahmoudi, M., Nguyen, U.P., Fattahi, M., 2023. Biomarkers for monitoring heavy metal pollution in the Anzali Wetland. Marine Pollution Bulletin 196, 115599.
- Cicero-Fernández, D., Peña-Fernández, M., Expósito-Camargo, J.A., Antizar-Ladislao, B., 2016. Role of *Phragmites australis* (common reed) for heavy metals phytoremediation of estuarine sediments. International Journal of Phytoremediation 18(6), 575-582.
- Ganjali, S., Tayebi, L., Mortazavi, S., 2014. *Phragmites australis* as a heavy metal bioindicator in the Anzali wetland of Iran. Toxicological & Environmental Chemistry 96(9), 1428-1434.
- Instruction For Surface Water Quality Monitoring No. 522, 2010. Islamic Republic of Iran Vice Presidency For Strategic Planning and Supervision.
- Lotf alahi, B., Hodaji, M., 2010. Phytoremediation of cadmium contaminated soil by plants, sunflower and sorghum .5th Conference New Ideas in Agriculture. Islamic Azad University Isfahan Branch, Faculty of Agriculture 2010, 27-28.
- Kumpiene, J., Lagerkvist, A., Maurice, C., 2008. Stabilization of As, Cr, Cu, Pb and Zn in soil using amendments—a review. Waste Management 28(1), 215-225.
- MacFarlane, G.R., Pulkownik, A., Burchett, M.D., 2003. Accumulation and distribution of heavy metals in the grey mangrove, *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh.: biological indication potential. Environmental Pollution 123(1), 139-151.

- Mir Sanjari, M., 2020. Investigation the amount of bioaccumulation of lead, Zinc and Copper heavy metals in different organs of of reed plant (*Phragmatis Australis*) in Gelerod River. (In Persian)
- Mohmmad Zade, J., Mohamadi, M., Babaeinnezhad, T., 2018. Accumulation of heavy metal in reed plant and Karoon river sediments. *Journal of Wetland Ecobiology* 10(1), 55-64. (In Persin)
- Nascimento, C.W.A., Amarasiriwardena, D., Xing, B.M., 2006. Comparison of Natural Organic Acids and Synthetic Chelates at Enhancing Phytoextraction of Metals from a Multi-Metal Contaminated Soil. *Environmental Pollution* 140(1), 114-123.
- Naddafi, K., Honari, H., Ahmadi, M., 2007. Water quality trend analysis for the Karoon River in Iran. *Environmental Monitoring and Assessment* 134, 305- 312. (In Persian)
- Navabiak, M., Kochaki, K. Esmaeli, M., 2017. Evaluate the effectiveness of the phytoremediation method of removing phosphorus from agricultural drainage water (Case Study: Vetiver, Typha and Reed) 23(2), 187-207. (In Persian)
- Taheri Ghanad, S., Moazed, H., Boroomand Nasab, S., 2016. The potential of Reed, Typha and Bermudagarss on the translocation factor and bioaccumulation of lead. *Environmental Science* 4(2), 361-372. (In Persian)
- Parsadost, F., Bahraini Nejad., B. 2017. Studying the potential of pasture plants and cars in Irankoh region in cleaning soil contaminated with cadmium element. *Scientific-Research Quarterly Journal of Pasture and Desert Research in Iran* 21(2), 317-328. (In Persian)
- Yap CK, I.A., Tan S.G., Omar, H., 2002. Correlations between speciation of Cd, Cu, Pb and Zn in sediment and thei concentrations in total soft tissue of green-lipped mussel *Perna viridis* from the west coast of Peninsular Malaysia. *Environment International* 28(1-2), 117-126.
- Zaimdar, M., 2017. Phytoremediation strategy of tree species to reduce pollution. *Environmental Management and Sustainable Development* 2(3), 1-5. (In Persian)