



Research Paper

Phytoremediation of Heavy Metals Nickel, Cadmium and Lead in the Coasts of the Persian Gulf Using Mangrove (*Avicennia marina*)

Abed Babak Baharvand¹, Maryam Kiani Sadr^{2*}, Bahareh Lorestani³, Mehrdad Cheraghi³ and Soheil Sobhan Ardakani⁴

¹PhD Scholar, Department of Environment, College of Basic Science, Islamic Azad University, Hamedan, Iran

²Assist. Professor, Department of Environment, College of Basic Science, Islamic Azad University, Hamedan, Iran

³Assoc. Professor, Department of Environment, College of Basic Science, Islamic Azad University, Hamedan, Iran

⁴Professor, Department of Environment, College of Basic Science, Islamic Azad University, Hamedan, Iran

Article information

Received: April 08, 2021

Revised: May 04, 2021

Accepted: May 05, 2021

Keywords:

Heavy Metals
Mangrove Plant
Transfer Coefficient
Wetlands

*Corresponding author:
kianysadr@iauh.ac.ir



Abstract

Phytoremediation is one of the most important sustainable biological methods to deal with the increasing effects of pollutants. In this study, the efficiency of *Avicennia marina* for refining heavy metals such as lead, cadmium and nickel from aqueous media was investigated. For sampling of mangroves and sediments in 2019, 20 stations throughout Khorkhoran wetland located in the west of Bandar Abbas were identified and samples were collected from water, sediments and different parts of the plant. According to the results, the highest accumulation of metals with a value of 4.38 mg/kg in the root of mangrove was related to lead and the lowest accumulation of metals with a value of 0.261 mg/kg in the root of the mangrove was related to cadmium. The results of transfer coefficient for lead and cadmium in mangrove roots was greater than 1 and for nickel less than 1. Moreover, there was a statistically significant correlation between pH and temperature parameters with the mean concentration of all heavy metals in sediment and between EC and the mean concentration of all heavy metals except nickel in water ($P > 0.05$). According to the results, the difference in the concentration of metals in the leaf and root tissue of mangroves may be due to differences in the physiological structure of the tissues; Therefore, mangrove roots seem to be more suitable than heavy leaves for refining heavy metals.

© Authors, Published by **Environment and Water Engineering** journal. This is an open access article distributed under the CC BY) license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.



Introduction

Plant-based modification (phytoremediation) is one of the most important environmentally friendly techniques to deal with the destructive consequences of pollutants. Mangrove forests are tropical wetlands and subtropical wetlands and are important ecologically productive habitats in coastal areas.

Materials and Methods

In this study, the potential of mangroves, *Avicennia marina*, for phytoremediation of heavy metals (lead, cadmium and nickel) was investigated. To do this, mangroves and sediments of 20 stations in Khor Khoran wetland located in the west of Bandar Abbas were sampled in 2019. The selection of stations was distributed in such a way as to cover the entire surface of the wetland and to provide the necessary information on the release of pollutants in different parts of the wetland. From each station, three samples of surface sediment (up to a depth of 10 cm) weighing about 500 g were collected using a plastic spatula. Each sediment sample was placed in a plastic bag of polyethylene and transferred to the soil laboratory. For root sampling, three sediment samples (0.1 m^3) were taken from each station by cat sampling. The precipitate was sieved using 1 mm sieve with water from the area to separate the mangrove roots. These samples were also transported to the laboratory in plastic bags kept in cool box. In root tissue sampling, only plant samples from nutritious mangrove roots were selected and larger respiratory roots were avoided. Moreover, the actual concentration of heavy elements absorbed by the leaves and roots of mangrove trees was calculated and the transfer coefficient was measured.

Results

The results of this study showed that different amounts of three heavy metals, lead, cadmium

and nickel, are present in sediment, roots and leaves in the mangrove habitat of Khor Khoran wetland. The results showed high concentrations of heavy metals lead, cadmium and nickel in stations 1, 9, 15 and 20, which can be brought about by various factors. One of these factors is the proximity of the mentioned stations to the ship repair site. In addition, there are other important factors including the discharge of untreated wastewater from villages and surrounding towns to these stations, the high volume of traffic and loading of boats and fishing boats, and the proximity of these areas to the most important manufacturing and petrochemical industries of Bandar Abbas. The pattern of metal accumulation in sediment samples of the present study was nickel>lead>cadmium. The process of metal accumulation in plant samples, whether root or leaf, was obtained as lead> nickel> cadmium. According to the results, the highest accumulation of metals with a value of 4.38 mg/kg in mangrove root was related to lead and the lowest accumulation of metals with a value of 0.162 mg/kg was related to mangrove root (Fig. 1). However, according to Fig. 2, the lowest and highest mean nickel concentrations with values of 1.43 and 34.4 mg/kg were related to water and sediment samples, respectively. Moreover, the lowest and highest mean concentrations of lead with 1.70 and 2.96 mg/kg were related to mangrove and water samples, respectively. The results of lead and cadmium transfer coefficient in mangrove root were more than 1 and less than 1 for nickel. In addition, there was a significant correlation ($p>0.05$) between pH and temperature with the average concentration of all heavy metals in sediment and between EC and the average concentration of all heavy metals except nickel in water.

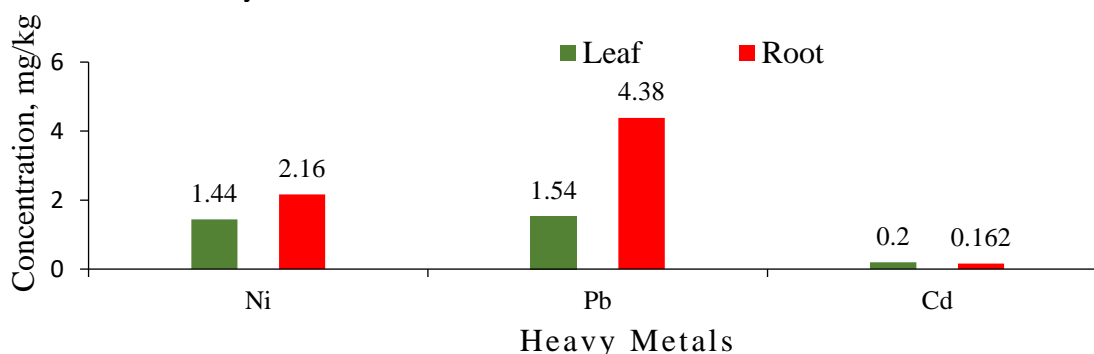


Fig. 1 Comparison of mean concentrations of heavy metals between mangrove leaves and roots

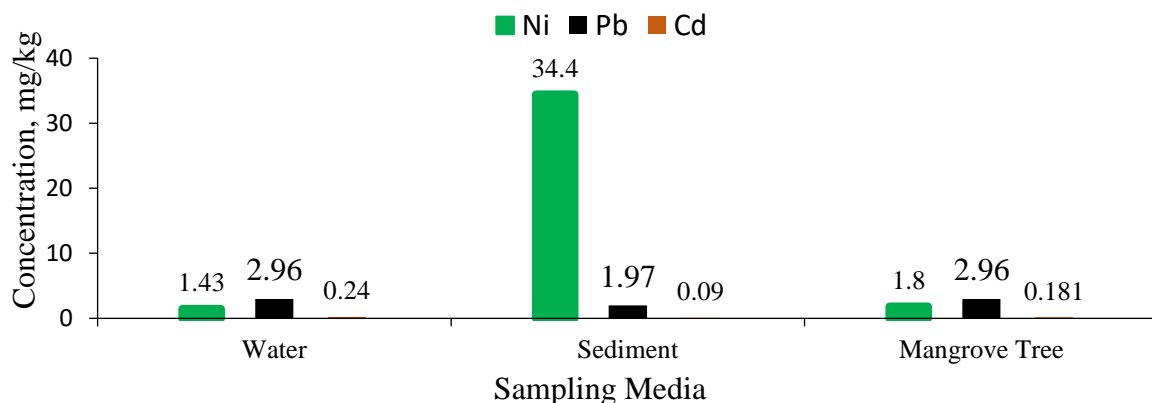


Fig. 2 Comparison of the mean concentrations of heavy metals studied between mangrove trees and water and sediment samples

Conclusion

In summary, a significant negative correlation was observed between cadmium concentration in water and sediment with EC and pH parameters, which seems to decrease with increasing EC and pH, cadmium concentration in water and sediment. Differences in metal concentrations in leaf and root tissues may be due to differences in the physiological structure of tissues. Therefore,

it seems that mangrove roots are more suitable for refining heavy metals than heavy leaves.

Data Availability

The data produced in this research are presented in the text of the article.

Conflict of Interest

The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.



ISSN: 2476-3683

محیط زیست و مهندسی آب

Homepage: www.jewe.ir



مقاله پژوهشی

گیاه پالایی فلزات سنگین نیکل، کادمیوم و سرب در سواحل خلیج فارس با استفاده از گیاه حرا (*Avicennia marina*)

عابد بابک بهاروند^۱، مریم کیانی صدر^{۲*}، بهاره لرستانی^۳، مهرداد چراغی^۴ وسهیل سبحان اردکانی^۴

^۱ دانشجوی دکترا، گروه محیط زیست، دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران
^۲ استادیار، گروه محیط زیست، دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران
^۳ دانشیار، گروه محیط زیست، دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران
^۴ استاد، گروه محیط زیست، دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران

چکیده

اطلاعات مقاله

گیاه پالایی یکی از مهم‌ترین روش‌های زیستی پایدار جهت مقابله با اثرات روزافزون آلاینده‌ها است. در این پژوهش کارایی گیاه حرا (*Avicennia marina*) جهت پالایش فلزات سنگین سرب، کادمیوم و نیکل از محیط‌های آبی مورد بررسی قرار گرفت. برای نمونه برداری از گیاه حرا و رسوبات در سال ۱۳۹۸، ۲۰ ایستگاه در سراسر تالاب خورخوران واقع در غرب بندرعباس مشخص و اقدام به جمع‌آوری نمونه از آب، رسوب و بخش‌های مختلف گیاه گردید. بر اساس نتایج پژوهش، بیش‌ترین تجمع فلزات با مقدار ۴/۳۸ mg/kg در ریشه درخت حرا مربوط به سرب و کم‌ترین تجمع فلزات با مقدار ۰/۲۶۱ mg/kg در ریشه درخت حرا مربوط به کادمیوم بود. نتایج ضریب انتقال برای عناصر سرب و کادمیوم در ریشه درخت حرا بزرگ‌تر از ۱ و برای نیکل کم‌تر از ۱ به دست آمد. همچنین بین پارامترهای pH و دما با میانگین غلظت تمامی فلزات سنگین در رسوب و بین EC با میانگین غلظت تمامی فلزات سنگین به جز نیکل در آب همبستگی معنی‌دار آماری وجود داشت ($P > 0/05$). با توجه به نتایج، اختلاف در غلظت فلزات در بافت برگ و ریشه گیاه حرا ممکن است به دلیل تفاوت در ساختار فیزیولوژیکی بافت‌ها باشد؛ بنابراین، به نظر می‌رسد ریشه درخت حرا نسبت به برگ آن برای پالایش فلزات سنگین مناسب‌تر است.

تاریخ دریافت: [۱۴۰۰/۰۱/۱۹]
 تاریخ بازنگری: [۱۴۰۰/۰۲/۱۴]
 تاریخ پذیرش: [۱۴۰۰/۰۲/۱۵]
 واژه‌های کلیدی:
 تالاب
 فلزات سنگین
 گیاه حرا
 ضریب انتقال

*نویسنده مسئول:

kianysadr@iauh.ac.ir

۱- مقدمه

(Asadi and Jalali 2021). فلزات سنگین (عناصری با جرم اتمی بیش‌تر از $55/8 \text{ g/mol}$) از آلاینده‌های مهم محیط‌های طبیعی می‌باشند به دلیل سمیت، پایداری و عدم تجزیه بیولوژیکی، این عناصر تمایل زیادی به تجمع در موجودات آبی دارند. مطالعات اخیر تأثیر نامطلوب این موارد از آلودگی‌ها را بر روی موجودات کف زی نشان می‌دهد (Noroozi et al. 2021). با تغذیه دیگر موجودات از این آبیان، گسترش آلودگی به سطوح بالاتر و بالاخره به انسان که در رأس زنجیره‌های غذایی قرار دارد، می‌رسد و در بسیاری از موارد سلامتی انسان را تهدید می‌نماید. فعالیت‌های مختلف انسانی باعث ورود این آلاینده‌ها به بوم‌سازگان می‌شوند. این عناصر از راه تخلیه مستقیم و یا به‌طور غیرمستقیم به‌وسیله رواناب‌های ناشی از باران و همچنین از طریق جو وارد بوم‌سازگان آبی می‌شوند. از جمله منابع عمده ورود مستقیم فلزات سنگین به بوم‌سازگان آبی، پساب‌ها و فاضلاب‌های صنعتی، شهری، رواناب‌های کشاورزی و فعالیت‌های قایقرانی است. بسیاری از جنگل‌های مانگرو که در مجاورت مناطق شهری و صنعتی قرار دارند، تحت تأثیر رواناب خروجی از آن‌ها که محتوی فلزات محلول و معلق است قرار می‌گیرد. در این زمینه پژوهش‌های گسترده‌ای در ایران و نقاط مختلف جهان انجام شده است که می‌توان به مطالعات (Steliga and Kluk 2020) و (Eisazadeh et al. 2019) اشاره کرد.

با ورود پساب‌های مختلف به محیط‌های آبی نظیر تالاب‌ها و دریاچه‌ها و دریاها آلاینده‌های حاوی فلزات سنگین در رسوبات ته‌نشین می‌شوند (Noroozi et al. 2021). رویشگاه مانگرو تالاب بین‌المللی خور خوران در سواحل شمالی خلیج فارس از جمله مناطقی است که به دلیل ورود پساب‌های صنعتی، شهری و کشاورزی به این ناحیه احتمال حضور آلاینده‌ها در این رویشگاه وجود دارد. از این رو این پژوهش با هدف تهیه اطلاعات اولیه از سطوح غلظت فلزات سنگین شامل کادمیوم (Cd)، سرب (Pb) و نیکل (Ni) در رسوب، ریشه و برگ درختان حرا در تالاب خور خوران، تعیین میزان انتقال فلزات سنگین از رسوب به ریشه و برگ درختان حرا و همچنین شناسایی همبستگی بین pH، هدایت الکتریکی و دما با میانگین غلظت فلزات سنگین موجود در نمونه‌های آب و رسوب انجام گرفت.

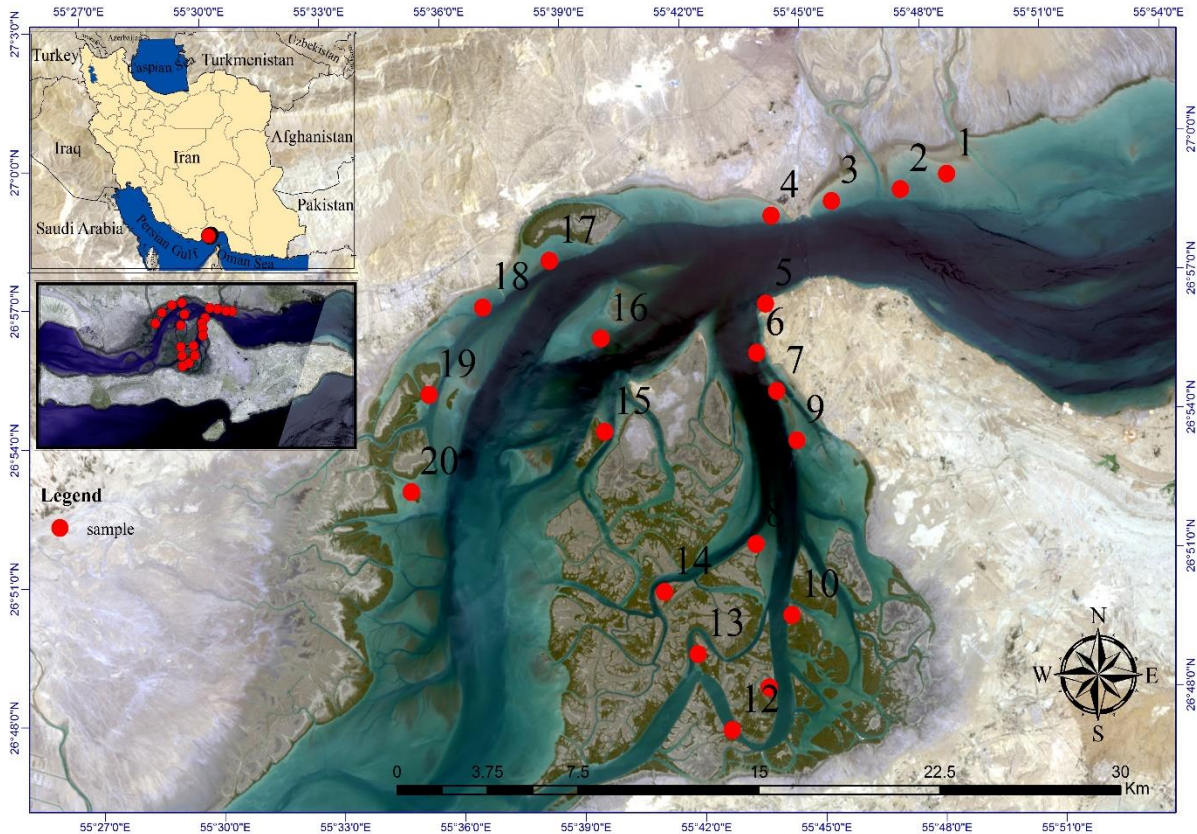
محیط‌زیست با انواع زیادی از آلاینده‌ها به‌طور مداوم آلوده می‌شود و در این میان فلزات سنگین از جمله موارد مهم آلاینده‌های محیط‌زیستی هستند (Khan et al. 2021). فلزات سنگین به دلیل ماهیت غیرقابل تجزیه و پایدار زیستی، باعث آلودگی آب و خاک شده و باعث بروز خطرات جدی در سلامتی موجودات زنده حتی در مقادیر کم می‌شود. فلزات سنگین حتی در غلظت‌های کم می‌توانند اثرات سرطان‌زایی و بروز ناهنجاری‌های مادرزادی بر موجودات زنده داشته باشند. آن‌ها حتی می‌توانند بر عملکرد غدد درون‌ریز اثر گذاشته و باعث اختلال در رشد و واکنش‌های عصبی شوند لذا حذف آن‌ها از محیط‌های طبیعی برای بازسازی و احیاء مکان‌های آلوده بسیار ضرورت دارد (Saxena et al. 2019). مطالعات نشان می‌دهد تا امروز استراتژی‌های زیادی برای حذف آلاینده‌ها از محیط آبی مورد بررسی قرار گرفته است. این استراتژی‌ها شامل حذف آلاینده‌ها از محیط‌های آبی با استفاده از گیاهان آبی بوده است (Obinna and Ebere 2019). در دهه‌های اخیر، اصلاح بیولوژیکی با توجه به هزینه کم و سازگار با محیط‌زیست در برنامه‌های طولانی‌مدت با استفاده از گیاهان مورد استفاده زیادی قرار گرفته است (Khan et al. 2021).

جنگل‌های مانگرو، تالاب‌های بین جزر و مدی مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری بوده و از زیستگاه‌های مهم اکولوژیکی پر تولید در مناطق ساحلی به شمار می‌آیند (Cheraghi et al. 2014). درخت حرا (*Avicennia marina*) گونه گیاهی غالب در جنگل‌های مانگرو ایران است. اکوسیستم‌هایی با حضور درختان حرا به نحو مؤثری بر محیط‌های مستقر در آن تأثیرگذارند. سیستم ریشه‌ای آن‌ها باعث پایداری رسوبات می‌شود و اجتماعات آن‌ها انرژی امواج را کاهش می‌دهد. این جنگل‌ها نقش مهمی در به دام انداختن رسوبات و مواد معلق موجود در ستون آب نیز دارند. از سوی دیگر مطالعات نشان داده‌اند که جنگل‌های مانگرو می‌توانند فلزات سنگین را از محیط جذب کنند و باعث کاهش دسترسی زیستی این عناصر برای موجودات زنده و کاهش حرکت فلزات در اکوسیستم شوند، به عبارت دیگر باعث تصفیه محیط‌های آبی می‌گردند. درواقع انتخاب گونه‌های گیاهی مناسب یکی از مهم‌ترین فاکتورهای تأثیرگذار در درجه و مقدار برداشت فلزات در محیط‌های آلوده است

۲- مواد و روش‌ها

بندرعباس صورت گرفت (شکل ۱). وسعت این تالاب حدود ۸۹۶۷۲ ha است و در موقعیت جغرافیایی ۲۶° تا ۲۶° ۴۳' و ۵۹' عرض شمالی و ۵۵° و ۵۵° ۳۲' تا ۴۸' طول شرقی واقع شده است (Dehghani et al. 2008).

پژوهش حاضر در سال ۱۳۹۸ در تالاب بین‌المللی خور خوران واقع در سواحل شمالی خلیج فارس، حدفاصل بندر خمیر و بندر لافت (جزیره قشم) در ۶۰ km جنوب غربی



شکل ۱- موقعیت قرارگیری محدوده مورد مطالعه و پراکندگی ایستگاه‌های نمونه‌برداری

Fig. 1 Location of the study area and dispersion of sampling stations

این مطالعه با استفاده از نمونه‌برداری از رسوب، ریشه و برگ درختان حرا و سنجش فلزات سنگین در هر یک و سرانجام تجزیه و تحلیل آماری یافته‌ها انجام شد. با توجه به وسعت تالاب خور خوران، ۲۰ ایستگاه نمونه‌برداری در منطقه تعیین شد. انتخاب ایستگاه‌ها به شکلی توزیع شد که تمام سطح تالاب را پوشش دهد و فراهم‌کننده اطلاعات لازم از انتشار آلاینده‌ها در بخش‌های مختلف تالاب باشد. از هر ایستگاه سه نمونه رسوب سطحی (تا عمق ۱۰ cm) به وزن حدود ۵۰۰ g به‌وسیله کاردک پلاستیکی برداشت شد (Davari et al. 2010). نمونه‌های رسوب در کیسه‌های پلاستیکی پلی‌اتیلن قرار گرفت و به آزمایشگاه خاکشناسی منتقل شد. برای نمونه‌برداری ریشه نیز سه نمونه رسوب ($0/1 \text{ m}^3$) از هر ایستگاه به‌وسیله نمونه‌گیر گرب برداشته شد. رسوب آن با استفاده از الک ۱ mm با آب منطقه الک شد تا ریشه‌های

تغذیه‌کننده درخت حرا از آن جدا شوند. این نمونه‌ها نیز درون کیسه‌های پلاستیکی با یخدان به آزمایشگاه منتقل شد. در نمونه‌برداری از بافت ریشه، فقط نمونه‌های گیاهی از ریشه‌های مغذی گیاه حرا انتخاب و از برداشت ریشه‌های بزرگ‌تر تنفسی اجتناب شد (Sofiani et al. 2015). لازم به‌ذکر است در نمونه‌برداری از بافت ریشه، ریشه‌های مغذی نمونه‌برداری و از برداشت ریشه‌های هوایی اجتناب شد. همچنین برای تهیه نمونه برگ در هر ایستگاه مطابق با پژوهش‌های مشابه ۲۰ عدد برگ با سه تکرار جمع‌آوری شد. این نمونه‌ها از پنج الی نه درخت انتخاب شد (برداشت شد) که ارتفاع بیش از ۲ m داشتند. سپس تمامی نمونه‌ها در مجاورت یخ به آزمایشگاه منتقل و تا زمان آنالیز در دمای 20°C نگهداری شد. نمونه‌برداری از آب تالاب‌ها در عمق ۵۰ cm و از محل نمونه‌برداری از رسوبات انجام شد. نمونه

(TF)^۱ از اهمیت فراوانی برخوردار است رابطه (۱) روش محاسبه شاخص TF را نشان می‌دهد.

$$TF = Mpc/Msc \quad (1)$$

که، Mpc بیانگر غلظت فلز سنگین در گیاه (برحسب mg/kg) و Msc نیز نشان‌دهنده غلظت فلز سنگین در رسوب (برحسب mg/kg) می‌باشد. بنابراین، به منظور ارزیابی و بررسی میزان توانایی گیاه حرا در پاک‌سازی محیط از فلزات سنگین، شاخص مذکور محاسبه شد (Defew et al. 2005). برای تعیین TF از نسبت غلظت فلزات سنگین در گیاه به غلظت این فلزات در رسوب استفاده شد (Marchand et al. 2006). کلیه پارامترهای فیزیوشیمیایی شامل دما، pH و هدایت الکتریکی در هنگام نمونه‌برداری در هر ایستگاه توسط دستگاه پرتابل مولتی پارامتر اندازه‌گیری شد (Ohimain et al. 2007).

برای پردازش آماری داده‌ها از نسخه ۲۰ نرم‌افزار SPSS استفاده گردید. ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون Wilk-Shapiro بررسی شد. پس از حصول اطمینان از نرمال بودن داده‌ها از آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه برای مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین بین ایستگاه‌های مختلف و در صورت معنی‌دار بودن اختلاف میانگین‌ها، جهت جدا کردن گروه‌های مختلف از آزمون Tukey استفاده شد. همچنین به منظور بررسی همبستگی بین pH، هدایت الکتریکی و دما با میانگین غلظت فلزات سنگین موجود در نمونه‌های آب و رسوب مورد مطالعه از ضریب همبستگی پیرسون استفاده گردید.

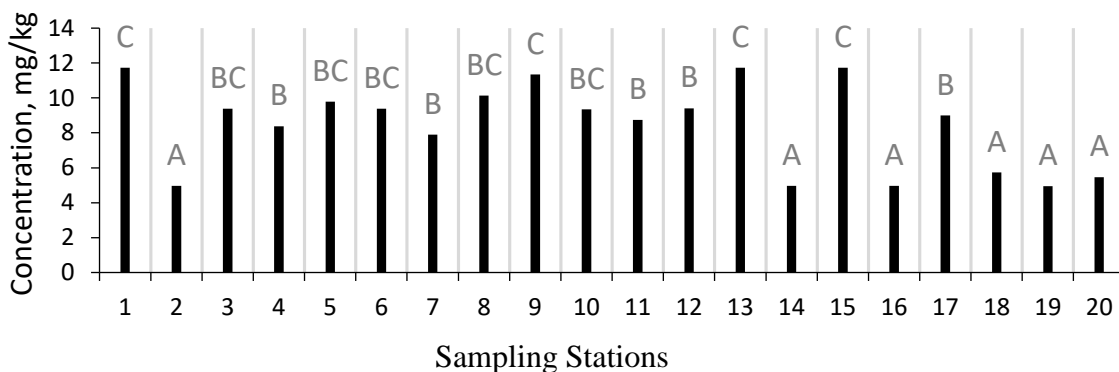
۳- یافته‌ها و بحث

میانگین غلظت عناصر نیکل، سرب و کادمیوم در نمونه‌های رسوب، برگ و ریشه‌ی درختان حرا و نمونه‌های آب منطقه خورخوران به تفکیک ایستگاه مورد پردازش آماری قرار گرفت. براساس آن، گروه‌بندی آماری میانگین غلظت فلزات سنگین نیکل، سرب و کادمیوم بین ایستگاه‌های مورد بررسی براساس نتایج آزمون تحلیل واریانس در شکل‌های (۲) تا (۴) ارائه شده است.

آب در هر ایستگاه در بطری‌های پلی‌اتیلنی برای سنجش شوری، کل املاح محلول و کدورت جمع‌آوری گردید (Mortazavi et al. 2017). نمونه‌های رسوب، ریشه و برگ جمع‌آوری‌شده در آزمایشگاه به‌طور کامل در هوای آزاد و سپس در دمای °C ۱۰۵ آون به مدت ۲۴ h خشک شد. نمونه‌ها پس از خشک شدن در هاون کوبیده شد و به‌منظور حذف مواد زائد و همچنین جدا کردن ذرات درشت‌تر از الک ۲ mm عبور داده شد. برای تهیه عصاره از نمونه‌ها مطابق پژوهش (Davari et al. 2010) عمل شد. به‌منظور جداسازی رسوبات حاصل از فرآیند عصاره‌گیری از کاغذ صافی واتمن No. 42 استفاده شد (Roniasi et al. 2016).

برای آماده‌سازی نمونه رسوب جهت سنجش فلزات سنگین، ۰/۲ g از رسوب خشک‌شده در بشر ریخته شد و برای آماده‌سازی و هضم نمونه ۵ ml نیتریک اسید و چند قطره هیدروژن پراکسید بدان اضافه گردید. بعد از گذاشتن درپوش (شیشه ساعت) نمونه روی حمام بن ماری قرار داده شد تا فرآیند هضم کامل شود. برای آماده‌سازی نمونه گیاه از بخش‌های مختلف گیاه، ۰/۲ g از نمونه خشک‌شده در بشر ریخته شد و برای آماده‌سازی و هضم نمونه، ۵ ml نیتریک اسید و چند قطره هیدروژن پراکسید و ۱ ml پرکلریک اسید اضافه گردید و بعد از هضم، به حجم ۱۰ ml رسانیده شد. برای خارج کردن رسوب از نمونه آب، ۱ ml نیتریک اسید و چند قطره پرکلریک اسید و هیدروژن پراکسید به ۲۰ ml آب اضافه و پس از ۱ h، نمونه با دستگاه قرائت شد. در دستگاه طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS) مدل ۷۹۰۰۰ ساخت شرکت Agilent کشور آمریکا غلظت کل فلزات مورد بررسی (سرب، کادمیوم، نیکل) خوانده شد. برای اطمینان از دقت عملیات آماده‌سازی و رفع خطای ناشی از آماده‌سازی، نمونه شاهد در هر سری از نمونه‌ها در نظر گرفته شد یادآور می‌شود برای واسنجی دستگاه برای نمونه‌های با غلظت ppb از استانداردهای ۱-۵۰ ppb (ساخت شرکت مرک آلمان) و برای نمونه‌های با غلظت ppm از استاندارد ۱-۵۰ (ساخت شرکت مرک آلمان) استفاده شد (Bahmanyar 2007). همچنین ریکواری نتایج در محدوده ۹۰ تا ۹۷٪ به دست آمد (MOOPAM 2010). در مطالعات جذب فلزات سنگین توسط گیاهان، شاخص فاکتور انتقال

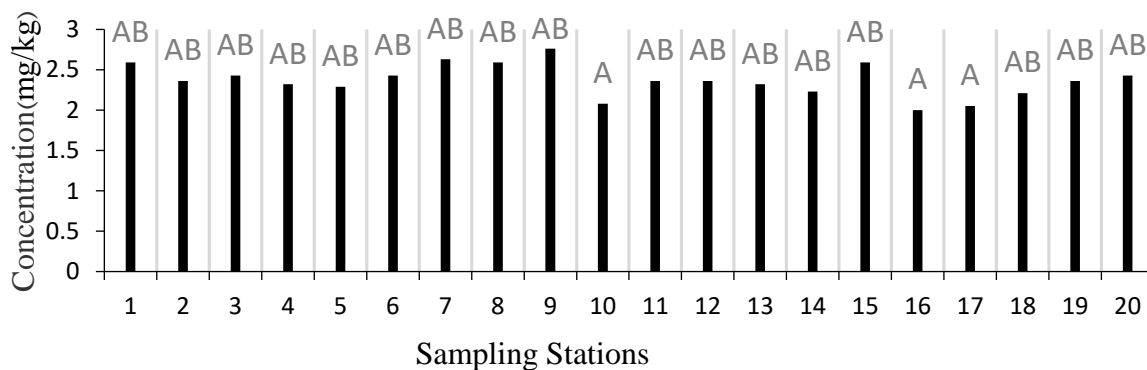
¹Transfer Factor



شکل ۲- گروه‌بندی آماری میانگین غلظت فلز سنگین نیکل در ایستگاه‌های مورد بررسی

Fig. 2 Statistical grouping of the average concentration of heavy metal nickel in the studied stations

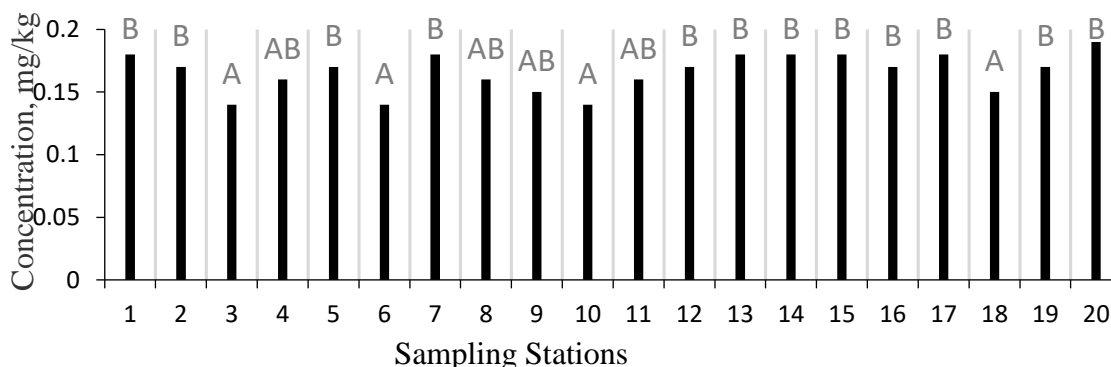
طبق محاسبه میانگین غلظت نیکل در تمام نمونه‌های برداشت‌شده علامت A (4.8-5.8)؛ B (8.14-9.14)؛ C(11.2) براساس شکل (۲)، مقایسه میانگین غلظت فلز سنگین نیکل بین ایستگاه ۲ با ایستگاه- ۱، ۱۴، ۱۶، ۱۸، ۱۹ و ۲۰، ایستگاه ۳ با ایستگاه‌های ۵، ۶، ۸ و ۱۰، ایستگاه ۴ با ایستگاه‌های ۷، ۱۱، ۱۲ و ۱۷ و ایستگاه ۱ با ایستگاه‌های ۹، ۱۳ و ۱۵ اختلاف آماری معنی- دار به دست نیامد.



شکل ۳- گروه‌بندی آماری میانگین غلظت فلز سنگین سرب در ایستگاه‌های مورد بررسی

Fig.3 Statistical correlation of the mean concentration of lead heavy metal in the studied stations

بر طبق محاسبه میانگین غلظت نیکل در تمام نمونه‌های برداشت‌شده علامت A(2/1)؛ AB(4/5-5/5) با توجه به شکل (۳)، میانگین غلظت فلز سنگین سرب در ایستگاه ۱۰ معنی‌دار آماری مشاهده نشد.



شکل ۴- گروه‌بندی آماری میانگین غلظت فلز سنگین کادمیوم در ایستگاه‌های مورد بررسی

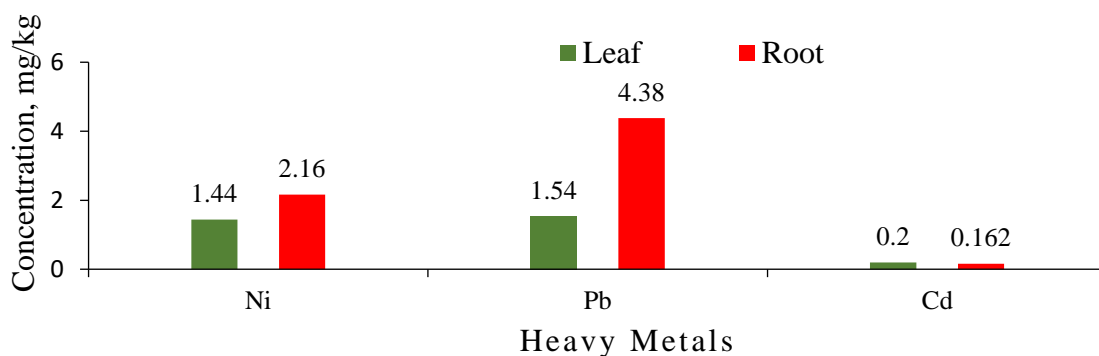
Fig. 4 Statistical correlation of mean cadmium heavy metal concentration in the studied stations

بر طبق محاسبه میانگین غلظت نیکل در تمام نمونه‌های برداشت‌شده علامت A(0.14)؛ B (0.18)؛ AB(0.16) همچنین مطابق با شکل (۴) میانگین غلظت فلز سنگین کادمیوم در ایستگاه ۱ با ایستگاه‌های ۲، ۵، ۷، ۱۲، ۱۳، ۱۴،

نیکل با جنس بستر و شرایط اکولوژیکی حاکم بر آن (بسته بودن خور و عمق کم آن) نیز مرتبط است. رسوبات گلی، تجمع دهنده‌های خوبی برای آلاینده‌های آلی و غیرآلی هستند و این به دلیل بزرگ‌تر بودن نسبت سطح به حجم این ذرات است (Veerasingam et al. 2010). با توجه به اینکه بخش عظیمی از رسوبات رویشگاه‌های مانگرو از جنس سیلت و رس است و دارای اندازه بسیار کوچکی هستند، بنابراین غلظت نسبتاً بالای فلزات در آن‌ها توجیه‌پذیر است. علاوه بر این، با توجه به مطالعات پیشین که غلظت بالای نیکل در رسوبات را اصولاً ناشی از منابع انسانی می‌دانند غلظت بالای نیکل در رسوبات منطقه را می‌توان ناشی از ورود پساب کشتی‌ها، فاضلاب‌های صنعتی و شهری و ریزش‌های نفتی نیز بیان نمود. نتایج مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین نیکل، سرب و کادمیوم بین ریشه و برگ درختان حرا و همچنین نمونه‌های آب و رسوب در شکل‌های (۵) و (۶) ارائه شده است. بیش‌ترین تجمع فلزات با مقدار $1/54 \text{ mg/kg}$ در برگ درخت حرا مربوط به فلز سنگین سرب و کم‌ترین تجمع فلزات با مقدار $0/2 \text{ mg/kg}$ در برگ درخت حرا مربوط به فلز سنگین کادمیوم است؛ بنابراین برگ درخت حرا در حذف فلز سنگین سرب کارایی بیش‌تری دارد. تجمع بیشتر فلزات سرب و کادمیوم در ریشه گیاه حرا نشان‌دهنده این است که درخت حرا قابلیت جذب مقدار زیادی از این فلزات را دارد لذا گزینه مناسبی برای پالایش آب و رسوب از فلزات سرب و کادمیوم است. همچنین بیش‌ترین تجمع فلزات با مقدار $4/38 \text{ mg/kg}$ در ریشه درخت حرا مربوط به فلز سنگین سرب و کم‌ترین تجمع فلزات با مقدار $0/162 \text{ mg/kg}$ در ریشه درخت حرا مربوط به فلز سنگین کادمیوم است.

۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۹ و ۲۰، ایستگاه ۳ با ایستگاه‌های ۶، ۱۰ و ۱۸ و ایستگاه ۴ با ایستگاه‌های ۸، ۹ و ۱۱ اختلاف معنی‌دار آماری مشاهده نگردید.

نتایج این مطالعه نشان داد مقادیر متفاوتی از سه فلز سنگین سرب، کادمیوم و نیکل در رسوب، ریشه و برگ در رویشگاه مانگرو تالاب خور خوران وجود دارد. نتایج به‌دست‌آمده میزان بالای غلظت فلزات سنگین سرب، کادمیوم و نیکل را در ایستگاه‌های شماره ۱، ۹، ۱۵ و ۲۰ (شکل‌های ۲ تا ۴) نشان داد که می‌تواند توسط عوامل مختلفی ایجاد شده باشد. از جمله این عوامل می‌توان به مجاورت ایستگاه‌های مذکور با محل تعمیر کشتی‌ها اشاره کرد. علاوه بر این، تخلیه پساب تصفیه نشده روستاها و شهرهای اطراف به این ایستگاه‌ها، حجم بالای تردد و بارگیری قایق‌ها و لنج‌های صیادی و نزدیکی این مناطق به مهم‌ترین صنایع تولیدی و پتروشیمی بندرعباس از دیگر عوامل مهم بالا بودن غلظت فلزات در این مناطق دانست. الگوی تجمع فلزات در نمونه‌های رسوب مطالعه حاضر، نیکل < سرب < کادمیوم می‌باشد. بر اساس مقایسه الگوی تجمع فلزات سنگین در رسوب با تعدادی از مطالعات انجام شده در خارج از کشور (Nazli et al. 2010) و (Zahed et al. 2010) روند تجمع فلزات در رسوبات تشابه بیش‌تری با روند تجمع فلزات در مطالعه‌های اشاره شده دارد. غلظت نسبتاً بالای نیکل در رسوبات منطقه مورد مطالعه با توجه به بالا بودن غلظت طبیعی نیکل در خلیج فارس که 86 mg/kg می‌باشد، می‌تواند تا حدودی منشأ طبیعی داشته باشد. از دیگر عوامل طبیعی مهم می‌توان به وجود سازند نمکی هرمز در پهنه استان هرمزگان اشاره کرد (Parvinnia 2008). همچنین بالا بودن میزان



شکل ۵- مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین مورد بررسی بین ریشه درخت حرا

Fig. 5 Comparison of mean concentrations of heavy metals between mangrove leaves and roots

تجمع بیش‌تر فلزات در ریشه حرا نشان‌دهنده این است که ریشه این درخت نسبت به برگ آن قابلیت جذب مقدار

با توجه به شکل (۵)، میانگین غلظت باقی‌مانده فلزات سنگین در ریشه درخت حرا نسبت به برگ آن بیش‌تر بوده و

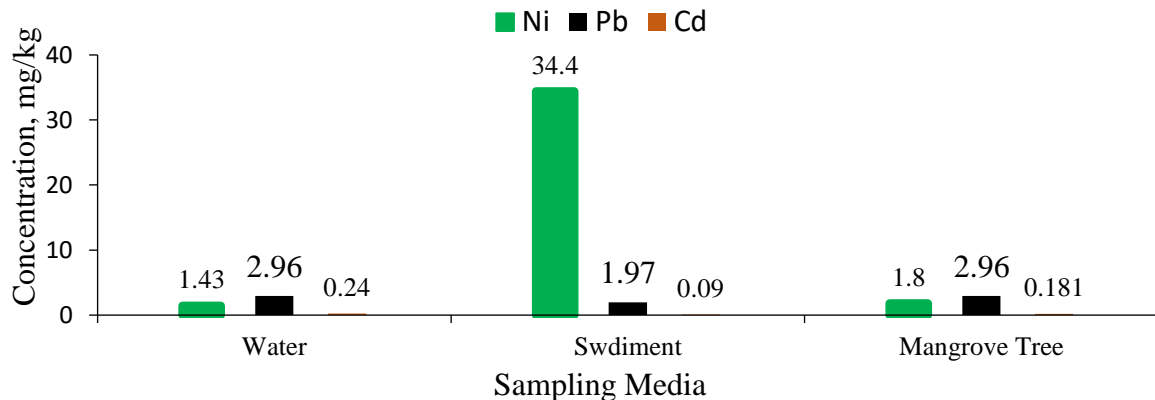
محلول و به صورت یون‌های آزاد است که این بخش می‌تواند توسط گیاه از رسوب جذب گردد، ولی بخش عمده فلزات سنگین موجود در رسوب در فازهای نامحلول به‌ویژه فازهای آلی قرار دارند که بدین ترتیب قابل جذب توسط گیاه نمی‌باشد و از دسترسی زیستی خارج است (Veerasingam 2010) لذا کم‌تر بودن فلزات در بافت گیاه نسبت به رسوب تا حدودی طبیعی به نظر می‌رسد. در مطالعه‌ای دیگر نیز ضریب انتقال نیکل در درختان حرا از رسوب به ریشه و ریشه به برگ به ترتیب ۰/۰۶ و ۰/۶۶ در منطقه بندر امام خمینی به دست آمد (Cheraghi et al. 2014). آن‌ها در مطالعه خود دریافتند که بیش از ۹۰٪ نیکل در رسوبات باقی می‌ماند و بخش کمی در گیاه انتقال می‌یابد. بنابراین، انتقال نیکل توسط ریشه به برگ پایین است. علاوه بر این، وجود مواد آلی در منطقه موجب جذب و تجمع بیش‌تر فلزات سنگین در محیط می‌شوند، زیرا ماده آلی با برقراری پیوند با فلزات سنگین و کلاته کردن باعث نگهداشت فلزات سنگین و کاهش قابلیت دسترسی زیستی آن در گیاه می‌گردد. پتانسیل بالای بافت رسی در جذب فلزات منجر به افزایش تجمع و نگهداشت فلزات سنگین نیکل در رسوبات منطقه تالاب خورخوران گردیده است. در پژوهشی دیگر بافت رسی بستر و میزان بالای مواد آلی در رویشگاه مانگرو در خلیج گواتر نقش به‌سزایی در تجمع فلز نیکل در رسوبات ساحلی داشته است (Hamzeh et al. 2011).

با توجه به شکل (۶)، کم‌ترین و بیش‌ترین میانگین غلظت نیکل با مقادیر $1/43 \text{ mg/kg}$ و $34/4$ به ترتیب مربوط به نمونه‌های آب و رسوب بود، همچنین کم‌ترین و بیش‌ترین میانگین غلظت سرب با مقادیر $1/70 \text{ mg/kg}$ و $2/96$ به ترتیب مربوط به نمونه‌های درخت حرا و آب بود. در ضمن کم‌ترین و بیش‌ترین میانگین غلظت کادمیوم با مقادیر $0/09$ و $0/24 \text{ mg/kg}$ به ترتیب مربوط به نمونه‌های رسوب و آب بود. بنابر نتایج حاصل از شکل (۶) می‌توان بیان کرد درختان حرا در حذف کادمیوم کارایی چندانی ندارند. براساس نتایج این آزمون در نمونه رسوب، بین پارامترهای EC با میانگین غلظت تمامی فلزات به جز نیکل ($\Gamma_{EC,Cd} = -0.07$; $\Gamma_{EC,Pb} = -0.01$) و بین pH و دما با میانگین غلظت تمامی فلزات سنگین ($\Gamma_{pH,Cd} = -0.43$; $\Gamma_{pH,Pb} = 0.11$; $\Gamma_{pH,Ni} = 0.08$ ، $\Gamma_{T,Cd} = 0.06$; $\Gamma_{T,Pb} = 0.20$; $\Gamma_{T,Ni} = 0.10$) همبستگی معنی‌دار آماری وجود داشت ($P > 0/05$). همچنین ضرایب منفی نشان‌دهنده همبستگی معکوس می‌باشد.

بیش‌تری از فلزات را دارد لذا گزینه مناسب‌تری برای پالایش آب و رسوب از فلزات سنگین موردبررسی به‌ویژه سرب است. همچنین بیش‌ترین تجمع فلزات با مقدار $4/38 \text{ mg/kg}$ در ریشه درخت حرا مربوط به فلز سنگین سرب و کم‌ترین تجمع فلزات با مقدار $0/162 \text{ mg/kg}$ در ریشه درخت حرا مربوط به فلز سنگین کادمیوم بود؛ بنابراین، ریشه درخت حرا در حذف فلزات سنگین کارایی بیش‌تری دارد.

روند تجمع فلزات در نمونه‌های گیاه اعم از ریشه یا برگ به صورت سرب < نیکل < کادمیوم به دست آمد (شکل‌های ۵ و ۶). همان‌گونه که مشاهده می‌شود بیش‌ترین غلظت، در ریشه و برگ حرا به فلز سرب اختصاص دارد. این نتایج با تعدادی از مطالعات انجام شده در بوم‌سازگان مانگرو در ایران (2014) Cheraghi et al. و سایر نقاط جهان مطابقت داشت (Hamzeh et al 2011; Kansal et al. 2013). مشابه مطالعات (Davari et al. 2010) و (Cheraghi et al. 2012) al. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که غلظت عناصر در بافت ریشه بیش‌تر از میزان آن‌ها در برگ است. اختلاف در غلظت فلزات در بافت برگ و ریشه ممکن است به دلیل تفاوت در ساختار فیزیولوژیکی بافت‌ها باشد. از سوی دیگر، جذب عناصر از طریق ریشه گیاه صورت می‌گیرد، لذا بخشی از این یون‌های فلزی جذب سطحی ریشه می‌شوند. همچنین مقداری از عناصر جذب‌شده توسط ریشه نیز با ترکیبات موجود در بافت ریشه ترکیب شده، از این‌رو قابل انتقال به بافت‌های دیگر نیستند و در ریشه باقی می‌مانند. پس جذب سطحی عناصر توسط اپیدرم ریشه، وجود نوار کاسپارین در ریشه و عدم نفوذپذیری دیواره آوندهای چوبی در ریشه از جمله عوامل مؤثر بر این اختلاف باشند (Gülcü-Gür and Tekin-Özan 2016).

بنا بر نتایج به دست آمده از این مطالعه، میزان تجمع فلزات در رسوب بیشتر از بافت‌های گیاه حرا می‌باشد (شکل شماره ۶). بوم‌سازگان تالابی به دلیل حضور شرایط اکسیداسیون-احیا، سیلاب دوره‌ای حاصل از جزر و مد، بالا بودن میزان مواد آلی و سولفید، محل مناسبی جهت به دام انداختن فلزات سنگین می‌باشند. علاوه بر شرایط ذکر شده، رسوبات این رویشگاه‌ها سیلتی-رسی با درصد بالایی از رس می‌باشند. این ویژگی‌ها سبب به دام انداختن فلزات شده و دسترسی زیستی عناصر را برای گیاه کاهش می‌دهند. گیاه، فلز سنگین را از رسوب می‌گیرد. همه فلزات سنگین محلول نیستند، برخی از آن‌ها



شکل ۶- مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین مورد بررسی بین درختان حرا و نمونه‌های آب و رسوب

Fig. 6 Comparison of the mean concentrations of heavy metals studied between mangrove trees and water and sediment samples

نسبت به سایر اندام گیاهی دارند، آن است که ریشه با رسوب تماس بیش‌تری دارد و به دلیل مجموع واکنش‌هایی که در ریشه بین فلزات سنگین و مواد آلی رخ می‌دهد و دستیابی زیستی آن را کاهش می‌دهد، این نوع از آلاینده‌ها در ریشه تجمع یافته و به قسمت‌های بالاتر گیاه انتقال نمی‌یابد.

نتایج بررسی همبستگی بین پارامترهای فیزیکی-شیمیایی با میانگین غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های آب و رسوب، بیانگر آن بود که بین پارامترهای دما با میانگین غلظت تمامی فلزات سنگین به جز نیکل و بین pH و EC با میانگین غلظت تمامی فلزات سنگین در آب همبستگی معنی‌دار آماری وجود داشت ($P > 0.05$). همچنین بین pH و دما با میانگین غلظت تمامی فلزات سنگین و بین پارامتر EC با میانگین غلظت تمامی فلزات سنگین به جز نیکل در رسوب همبستگی معنی‌دار آماری مشاهده شد ($P > 0.05$). بنابراین می‌توان این‌گونه برداشت کرد که فلزات حاضر در آب و رسوب ناشی از فرسایش خاک و سنگ منطقه توسط آب ورودی است. در ضمن، در پژوهش حاضر همبستگی منفی و معنی‌داری بین غلظت کادمیوم در آب و رسوب با پارامترهای EC و pH مشاهده شد که به نظر می‌رسد با افزایش EC و pH غلظت کادمیوم در آب و رسوب کاهش می‌یابد. این نتایج با یافته‌های حاصل از مطالعات (Mutlu and Kurnaz 2016; Singh et al. 2007; متفاوت است و دلیل آن احتمالاً متفاوت بودن شرایط فیزیکی و شیمیایی بوم‌سازگان مورد بررسی در این مطالعات با

به‌منظور ارزیابی و بررسی میزان توانایی گیاه حرا و پاک‌سازی محیط از فلزات سنگین شاخص ضریب انتقال عناصر سنگین محاسبه گردید. فاکتور انتقال عناصر سنگین نیکل، سرب و کادمیوم از بخش برگ گیاه به ریشه گیاه حرا در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱- نتایج محاسبه ضریب انتقال عناصر سنگین نیکل، سرب و کادمیوم توسط برگ و ریشه گیاهان حرا

Table 1 Results of calculation of transfer coefficient of heavy elements of Ni, Pb, Cd by leaves and roots of mangroves

Heavy Metals	Mangrove leaves transfer coefficient	Mangrove root transfer coefficient
Nickel	0.041	0.062
Lead	0.781	2.223
Cadmium	0.222	1.80

بر طبق نتایج به‌دست‌آمده مشخص شد که ضریب انتقال برای عناصر سرب (۲/۲۲۳) و کادمیوم (۱/۸۰) در ریشه درخت حرا بزرگ‌تر از ۱ و برای نیکل (۰/۰۶۲) کم‌تر از ۱ است، بنابراین ریشه این گیاه در حذف فلزات سنگین سرب و کادمیوم کارآمدتر می‌باشد. همچنین ضریب انتقال نیکل (۰/۰۴۱)، سرب (۰/۷۸۱)، کادمیوم (۰/۲۲) در برگ درخت حرا کم‌تر از ۱ قرار دارد. در نتیجه ریشه درخت حرا نسبت به برگ آن برای پالایش فلزات سنگین مناسب‌تر است.

گیاهان حتی در غلظت‌های بالا قادر به تحمل فلزات سنگین هستند که عمدتاً مربوط به دو مکانیسم اصلی تجمع و دفع آلاینده‌ها در گیاهان است. مکانیسم به دام انداختن فلزات سنگین شامل تجمع و اتصال فلزات در دیواره سلول، به دام انداختن آن‌ها در واکوئل‌ها با ایجاد واکنش‌هایی با مواد آلی است. به‌دلیل آنکه فلزات سنگین در ریشه، تجمع بیش‌تری

۳- به‌طورکلی، تجمع و انتقال فلزات سنگین در گیاهان بستگی به نوع گونه گیاهی، فعالیت‌های میکروبی، تمایل جذبی فلز، برخی موانع فیزیولوژیکی در مقابل انتقال فلزات به قسمت‌های هوایی دارد. شرایط بستر همچون pH مواد آلی، ظرفیت تبادل یونی، شرایط احیا، حضور هیدروکسید و سایر یون‌ها هم مؤثر است.

آنچه مشخص است ایجاد قوانین به‌منظور کنترل آلودگی پساب‌های صنعتی و نیز ایجاد سیستم‌های مناسب برای تصفیه فاضلاب‌ها امری ضروری است. علاوه بر این، بررسی زمین‌شناسی منطقه به‌منظور تعیین غلظت طبیعی فلزات حائز اهمیت است.

دسترسی به داده‌ها

داده‌های تولیدشده در این پژوهش در متن مقاله ارائه شده است.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافی در رابطه با نوشتن و یا انتشار این مقاله ندارند.

References

- Asadi Kapourchal, S. and Jalali, V. (2021). Phytoremediation and estimation of optimal clean up time of lead contaminated soils using *Portulaca oleracea L.* and *Amaranthus retroflexus*. *J. Environ Water Eng.*, 7(1), 25–37. DOI: 10.22034/jewe.2020.248656.1424.
- Bahmanyar, M. A. (2007). The effect of wastewater consumption on irrigation of crops on the amount of some heavy elements in soil and plants. *J. Ecol.*, (44), 19-26 [In Persian].
- Cheraghi, M., Dadallahi, S. and Safahie, A.R. (2012). Investigation of heavy metal accumulation in the bed, leaves and roots of *Avicennia marina* in Khuzestan province. *J. Mar. Sci. Technol.*, 11(4), 46-56 [In Persian].
- Cheraghi, M., Safahie, A. R. and Dadallahi, S. (2014). Changes in heavy metal concentrations in mangrove organs (*Avicennia marina*) and sediments of Bardestan habitat in Bandar Dir. *Wetland Ecol. Quart.*, 5, 45-54. [In Persian].
- Davari, A., Danekar, A. and Khorasani, N. (2010). Investigation of heavy metal accumulation in the bed, leaves and roots of mangrove trees (*Avicennia marina*) in Bushehr province. *J. Nat. Environ.*, 63(3), 267-277 [In Persian].
- Defew, L. H., Mair, J. M. and Guzman, H. M. (2005). An assessment of metal contamination in mangrove sediments and leaves from Punta Mala Bay. *Pacific Panama Mar. Pollut. Bull.*, 50, 547-552. doi.org/10.1016/j.marpolbul.2004.11.047.
- Dehghani, M., Karami, M. and Danehkar, A. (2008). Investigation and identification of aquatic species diversity in Khorkhoran International Wetland. The first regional conference on aquatic ecosystems in Iran [In Persian].
- Eisazadeh, Lazarjan, S., Kapourchal, S. A., Homae, M., Noorhosseini, S. A. and Damalas, C. A. (2019). Chive (*Allium schoenoprasum L.*) response as a phytoextraction plant in cadmium-

تالاب خورخوران و همچنین تفاوت در فصل‌های نمونه‌برداری می‌باشد.

۴- نتیجه‌گیری

۱- غلظت بالای فلزات سنگین Ni و Cd، Pb در این مطالعه در ایستگاه‌های ذکر شده (ایستگاه‌های شماره ۱، ۹، ۱۵ و ۲۰) قابل توجه است. این خورها در نزدیکی محل تعمیر کشتی بودند، بنابراین هنگام شستشو، تعمیر و رنگ‌آمیزی کشتی‌ها ممکن است آلودگی‌های فلزی زیادی به ایستگاه وارد شوند.

۲- میزان تجمع فلزات در رسوبات از بافت‌های گیاه حرا بیش‌تر بود. بومسازگان تالاب به‌دلیل وجود شرایط اکسایش و کاهش و جنس رسوبات این زیستگاه‌ها که از خاک رس سیلتی و با درصد زیاد رس است باعث به‌دام انداختن فلزات شده و فراهمی زیستی عناصر را برای گیاه کاهش می‌دهد. درخت حرا در حذف سرب از محیط کارایی بیش‌تری دارد. این در حالی است که این توانایی برای فلز کادمیوم بسیار کم‌تر است. درخت حرا در حذف کادمیوم کارایی چندانی نداشته و فلز نیکل در آب و رسوب باقی‌مانده و جذب درخت حرا نمی‌شود.

- contaminated soils. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 26(1), 152-160. DOI: [10.1007/s11356-018-3545-2](https://doi.org/10.1007/s11356-018-3545-2).
- Gülcü-Gür, B. and Tekin-Özan, S. (2017). The Investigation of heavy metal levels in water and sediment from Işikli Lake (Turkey) in relation to seasons and physico-chemical parameters. *J. Aqua. Eng. Fish. Res.*, 3(2), 87-96. DOI:[10.3153/JAEFR17012](https://doi.org/10.3153/JAEFR17012).
- Hamzeh, M. A., Boomeri, M. and Rezaee, H. (2011). Environmental geochemistry of heavy metals in the coastal sediments of Gawter Bay, the southeast extreme of Iran. *J. Ocean.*, 2(8), 61-76. [In Persian].
- Kansal, A., Siddiqui N. A. and Gautam, A. (2013). Assessment of heavy metals and their interrelationships with some physicochemical parameters in eco-efficient rivers of Himalayan region. *Environ. Monit. Assess.*, 185, 2523-2563. doi.org/10.1007/s10661-012-2730-x.
- Khan, A. H. A., Kiyani, A., Mirza, C. R., Butt, T. A., Barros, R., Ali, B., Iqbal, M. and Yousaf, S. (2021). Ornamental plants for the phytoremediation of heavy metals: Present knowledge and future perspectives. *Environ. Res.*, 195, 110780. DOI:[10.1016/j.envres.2021.110780](https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.110780).
- Marchand, C., Lallier, E. and Baltzer, F. (2006). Heavy metals distribution in mangrove sediments along the mobile coastline of French Guiana. *Mar. Chem.*, 98, 1-17. DOI: [10.1016/j.marchem.2005.06.001](https://doi.org/10.1016/j.marchem.2005.06.001).
- MOOPAM. (2010). Manual of oceanographic observations and pollutants analysis methods (Fourth Edition). The Regional Organization of the Protection of the Marine Environment (ROPME). Kuwait.
- Mortazavi, T., Rahmani, J. and Chaman, A. (2017). Bio-monitoring of heavy metals using *Phragmites australis* in Heshilan wetland, Kermanshah. *J. Environ. Sci. Technol.*, 19(4), 69-79 [In Persian].
- Mutlu, E. and Kurnaz, A. (2016). Assessment of physicochemical parameters and heavy metals pollution in Celtek pond water. *India. J. Geo Mari. Sci.*, 47(6), 1185-1192.
- Nazli, M. F., and Hashim, N. R. (2010). Heavy Metal Concentrations in an Important Mangrove Species, *Sonneratia caseolaris*, in Peninsular Malaysia. *Environ. Asia*, 3, 50-55.
- Noroozi, M., Mohammadi, A., Behbahaninia, A. and Babaei, F. (2021). Investigation of heavy metal pollution in the sediments of Salehieh Wetland, Karaj, Iran. *Environ. Water Eng.* 7(1), 50-58. DOI: 10.22034/jewe. 2020. 25 4598.1450.
- Obinna, I. B. and Ebere, E. C. (2019). phytoremediation of polluted waterbodies with aquatic plants: recent progress on heavy metal and organic pollutants. *Environ. Chem. J.*, doi:10.24200/ amecj. v2.i03.66.
- Ohimain, E. I., Daniel, S. and Olu, T. (2007). Bioleaching of heavy metals from abandoned mangrove dredged spoils in the Niger Delta; a laboratory study. *World Appl. Sci. J.*, 7(9), 1105- 1113.
- Parvinnia, M. (2008). Pollution of coastal waters, aquatic animals and sediments caused by the activity of different phases of Pars energy special economic zone. The second conference and specialized exhibition of environmental engineering, Tehran [In Persian].
- Roniasi, N. and Parvizi Mosaed H. (2016). Investigation of heavy metals in different parts of some vegetables consumed in Karaj. *J. Health Environ.*, 9(2), 171-184 [In Persian].
- Saxena, G., Purchase, D., Mulla, S. I., Saratale, G. D. and Bharagava, R. N. (2019) . Phytoremediation of heavy metal-contaminated sites: eco-environmental concerns, field studies, sustainability issues, and future prospects. *Rev. Environ. Contam. Toxic.*, 249, 71-131. DOI: [10.1007/398_2019_24](https://doi.org/10.1007/398_2019_24).
- Singh, A. P., Srivastava, P. C. and Srivastava, P. (2007). Relationships of heavy metals in natural lake waters with physico-chemical characteristics of waters and different chemical fractions of metals in sediments. *Water Air Soil Pollut.*, 188, 181-193.
- Sofiani, N., Moradi, H. and Razavi, Z. (2015). Effect of some physicochemical properties of sediment on the concentration of heavy metals nickel and vanadium in sediments of roots and leaves of mangrove trees. *J. Nat. Environ.*, 68(2), 277-292 [In Persian].

- Steliga, T. and Kluk, D. (2020). Application of *Festuca arundinacea* in phytoremediation of soils contaminated with Pb, Ni, Cd and petroleum hydrocarbons. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 194, 110409.
- Veerasingam, S., Raja, P. and Venkatachalapathy, R. (2010). Distribution of petroleum hydrocarbon concentration in coastal sediment along Tamilnadu Coast, India. *Carpathian J. Earth Environ. Sci.*, 5(2), 5-8.
- Zahed, M. A., Rouhani, F. and Mohajeri, S. (2010). An overview of Iranian mangrove ecosystems. northern part of the Persian Gulf and Oman Sea. *Acta Ecologica Sinica*. 30: 240–244.