فصلنامه علوم محیطی، دوره سیزدهم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۴

۳۳-۴۲

مطالعه امکان استفاده از گیاه حرا (*Avicennia marina*) به عنوان پایشگر زیستی فلزات سنگین در خوریات ماهشهر

میترا چراغی[۱]، علیرضا صفاهیه[۲*]، علی دادالهی سهراب[۳]، کمال غانمی[۴] و عبدالمجید دورقی[۲]

[۱] مربی گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان
[۲]استادیار گروه زیست‌شناسی دریا، دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی، دانشگاه علوم و فنون‌دریایی خرمشهر
[۳]استادیار گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع‌طبیعی دریا، دانشگاه علوم و فنون‌دریایی خرمشهر
[۴]استادیار گروه شیمی دریا، دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی، دانشگاه علوم و فنون‌دریایی خرمشهر

تاریخ دریافت: ۹۳/۱/۲۸ تاریخ پذیرش: ۹۴/۲/۲۸

چکیده

با توجه به این‌که گیاه حرا گونه غالب اکوسیستم‌های مانگرو خوریات ماهشهر می‌باشد، از این‌رو در این مطالعه به منظور سنجش میزان فلزات سنگین (مس، سرب، نیکل ،کادمیوم و روی) خوریات ماهشهر از گیاه حرا استفاده گردید. بدین منظور نمونه‌برداری از برگ و ریشه درخت حرا و رسوبات سه رویشگاه دست کاشت در منطقه بندر امام خمینی در دو فصل تابستان و زمستان صورت گرفت. از هر رویشگاه مجموعاً ۹ نمونه رسوب، ۹ نمونه ریشه (هرنمونه حاوی تقریباً ۶ قطعه ریشه) و ۹ نمونه برگ (هر نمونه حاوی حدوداً ۲۵ برگ) برداشت گردید. پس از هضم نمونه‌ها در آزمایشگاه، غلظت فلزات سنگین با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. نتایج این مطالعه نشان داد که میانگین غلظت مس، سرب، نیکل، کادمیوم و روی در رسوب به ترتیب برابر ۲۵/۱۳، ۱۵/۰۲، ۱۰۰/۹۶، ۳/۸۲ و ۷۵/۹۸ ، در بافت ریشه به ترتیب برابر ۱۰/۴۹، ۷/۶، ۶/۹۶، ۱/۹۱ و ۳۶/۷۷ و در بافت برگ به ترتیب برابر ۵/۶، ۶/۲، ۴/۵۴، ۱/۴۱ و ۲۲/۵۶ می‌باشد. هم‌چنین همبستگی مثبت و معنی‌داری میان غلظت فلزات در رسوبات و بافت‌های گیاه به دست آمد. به طور کلی نتایج مبین آن است که گیاه حرا پایشگر زیستی مناسبی برای فلزات سنگین مورد مطالعه در خوریات ماهشهر می‌باشد، لیکن با توجه به این که میزان تجمع فلزات سنگین در ریشه حرا نسبت به برگ آن بیشتر می‌باشد و نیز ضریب همبستگی بالاتری میان غلظت فلزات در رسوبات و ریشه گیاه نسبت به برگ به دست آمد، می‌توان بیان نمود که ریشه گیاه حرا نسبت به برگ پایشگر زیستی مناسب‌تری می‌باشد.

کلمات‌کلیدی: گیاه حرا، پایشگر زیستی، فلزات سنگین، خوریات ماهشهر.

The Survey of *Avicennia Marina* as Biomonitor for Heavy Metals in the Mahshahr Estuary

Mitra Cheraghi, [1] Alireza Safahieh, [2*] Ali Dadolahi Sohrab, [3] Kamal Ghanemi [4] & Abdolmajid Doraghi[2]

[1] *Instructor, Department of Environment, Faculty of Natural Resources, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan*
[2] *Assistant Professor, Department of Marine Biology, Faculty of Marine Science and Oceanography, Khorramshahr University of Marine Science and Technology, Khorramshahr*
[3] *Assistant Professor, Department of Marine Environment, Faculty of Marine Natural Resources, Khorramshahr University of Marine Science and Technology, Khorramshahr*
[4] *Assistant Professor, Department of Marine Chemistry, Faculty of Marine Science and Oceanography, Khorramshahr University of Marine Science and Technology, Khorramshahr*

Abstract

Heavy metals are persistent pollutants the continued presence of high concentrations of which in ecosystems can be harmful to organisms. Therefore, the identification of heavy metal concentrations in the ecosystem is very important. One of the new methods for assaying contaminants is to use dominant organisms in the ecosystem among aquatic plants. By focusing on Avicennia marina which is a dominant plant, this study attempted to determine the heavy metal (Cu, Pb, Ni, Cd, Zn) concentration in Mahshahr Estuary. For this purpose, samples of sediment along with mangrove roots and leaves were taken from three artificial mangrove habitats in Bandar Imam Khomeini swamp during September 2010 and February 2011. Nine sediment, root (approximately 6 pieces) and leaf samples (containing 25 leaves) were taken from each habitat. Samples were dried in the laboratory, digested in concentrated acids and their metal content was measured using atomic absorption spectrophotometry. Significant correlations were found between all metal concentrations in the sediment with their levels in the mangrove root or leaves, suggesting that this plant can be a suitable biomonitor for heavy metal contamination. However, it should be noted that heavy metal accumulations in the roots of Avicennia marina are higher than in the leaves and the correlation efficient among root and sediment is higher than between leaf and sediment, which can suggest that root of Avicennia marina is more suitable than its leaf.

Keywords: *Avicennia Marina*, Biomonitor, Heavy Metals, Mahshahr Estuary.

* Corresponding Author. *E-mail Address*: safahieh@hotmail.com

۱- مقدمه

همگام با رشد اقتصادی و صنعتی و به دنبال آن افزایش فعالیت‌های صنعتی، انسان به طور ناخواسته آلاینده‌های مختلفی را به طبیعت به ویژه اکوسیستم‌های آبی وارد می‌کند که بسیاری از آن‌ها هم برای محیط و هم برای خود انسان مشکلات و خطرات جدی به همراه دارد. فلزات سنگین از جمله رایج‌ترین آلاینده‌هایی هستند که در اثر فعالیت‌های مختلف به طبیعت راه پیدا می‌کنند و موجب آسیب به محیط‌های آبی و به مخاطره انداختن سلامت موجودات زنده و مصرف‌کنندگان از این اکوسیستم‌ها به خصوص انسان می‌گردند. از جمله این فعالیت‌ها می‌توان به پساب‌ها و فاضلاب‌های صنعتی، شهری، رواناب‌های کشاورزی، فعالیت‌های قایق‌رانی و معدن‌کاوی اشاره کرد [۱]. اهمیت اکوسیستم‌های آبی در حمل و نقل، شیلات، تامین انرژی، تامین غذا، برخورداری از منابع عظیم معدنی و سهم آن‌ها در برقراری توازن زیست‌محیطی بر همگان آشکار است. به همین جهت بررسی منشا ورود، آثار و کنترل مواد آلاینده در اکوسیستم‌های آبی همواره یکی از موضوعات مورد مطالعه محققان بوده است. با توجه به موارد اشاره شده و از آن جایی که خوریات ماهشهر از جمله اکوسیستم‌هایی هستند که به دلیل تردد شناورهای محلی، کشتی‌های تجاری و نفتکش‌ها، توسعه صنایع پتروشیمی و نیز شهرنشینی در مجاورت این مناطق، تحت تأثیر این آلاینده‌ها قرار دارند، لذا آگاهی از میزان آلاینده‌های فلزی (مس، سرب، نیکل، کادمیوم و روی) امری ضروری است. در بررسی وضعیت آلودگی اکوسیستم‌های آبی، بررسی همه اجزا و روابط موجود در آن ناممکن است. از این رو یکی از راه‌های پایش اکوسیستم نسبت به آلاینده‌ها، استفاده از اجزاء بیولوژیکی مانند گیاهان به عنوان شاخص زیستی می‌باشد. گیاهان به واسطه داشتن ویژگی‌های خاص، پایشگرهای مناسبی هستند. از مهم‌ترین این ویژگی‌ها می‌توان به قابلیت تحمل غلظت بالای فلزات، امکان ذخیره فلز در بافت‌های گیاه، دارا بودن بیومس بالا و در نهایت داشتن سیستم ریشه‌ای قوی اشاره کرد [۲]. درختان حرا، گیاهان مقاومی هستند و دارای مکانیسم‌های خاصی برای تحمل شرایط نامساعد محیطی می‌باشند که در بسیاری از مطالعات مورد توجه قرار گرفته‌اند. داوری و همکاران (۱۳۸۹، ۱۳۹۱) به بررسی میزان فلزات سنگین در رویشگاه‌های مانگرو استان بوشهر پرداختند. نتایج مطالعه این محققین نشان داد که فلزات در بافت‌های درخت حرا تجمع یافته‌اند و می‌توان از این گیاه جهت پایش وضعیت منطقه استفاده نمود[۴-۳]. آلودگی ناشی از فلزات سنگین Cu, Fe, Mg, Mn و Zn در گیاهان مانگرو در هند مورد بررسی قرار گرفت و نشان داده شد که غلظت بالای آلاینده‌های ناشی از فعالیت‌های صنعتی بر جنگل‌های مانگرو تأثیر می‌گذارد و باعث کاهش تولیدات جنگل‌های مانگرو می‌شود [۵]. بررسی غلظت ۷ فلز سنگین (Ni و Zn, Fe, Cu, Cr, Cd, Pb) در ریشه گیاه مانگرو در هنگ کنگ نشان داد که غلظت همه فلزات به جز Fe در ریشه گیاهان مانگرو بیشتر از گیاهان مشابه دیگر بود [۶]. از سوی دیگر پژوهش‌های انجام شده بر روی گونه *A.marina* نیز این یافته را تأیید می‌کنند [۸-۷]. به طور کلی نتایج این مطالعات مؤید آن است که ریشه درخت حرا می‌تواند نشانگر زیستی مناسبی برای محیط‌های آلوده به فلزات سنگین باشد. بررسی تجمع Zn, Hg و Cu در رسوبات مانگرو در جنوب غربی برزیل نشان داد که رسوبات مانگرو فلزات را در خود نگه می‌دارند و باعث کاهش انتقال آن‌ها به آب‌های خلیج Guanabara می‌شوند و این اکوسیستم‌ها به عنوان سدهای فیزیکی و بیوژئوشیمیایی برای انتقال فلزات سنگین عمل می‌کنند [۹]. این نتایج در مطالعات انجام شده در مناطق دیگر نیز تأیید شده‌اند و مشخص شده است که رسوبات رویشگاه‌های مانگرو محیط مناسبی برای به دام انداختن فلزات سنگین می‌باشند [۱۲-۱۰]. مطالعه انجام شده روی تأثیر احیای مانگرو بر تجمع فلزات سنگین در رسوبات جزر و مدی نشان داد که این درختان باعث کاهش تحرک و دسترسی زیستی عناصر مورد بررسی در رسوبات این اکوسیستم می‌شوند [۱۳]. این نتایج در بررسی مانگروهای کاشته شده در نواحی ساحلی کویت نیز مشاهده گردید و مشخص شد که این درختان باعث کاهش مواد معلق موجود در ستون آب شده و نقش به سزایی در بهبود شرایط زیست‌محیطی خط ساحلی داشته‌اند [۱۴]. با توجه به نقش گیاه حرا در به دام انداختن آلاینده‌ها، پتروشیمی بندرامام در راستای فعالیت‌های گسترده جهت ایجاد فضای سبز و حفاظت از محیط‌زیست اقدام به کاشت و توسعه درخت حرا (*Avicennia marina*) در سواحل و خورهای اطراف مجتمع پتروشیمی، منطقه ویژه اقتصادی و بندر صادراتی ماهشهر نموده است. در حال حاضر پوشش انبوهی از این درختان در منطقه جزر و مدی خوریات ماهشهر قابل مشاهده است. محل‌های کشت شامل خورها و سواحل حد فاصل بین حوضچه‌های دریاچه نمک در مجاورت جاده

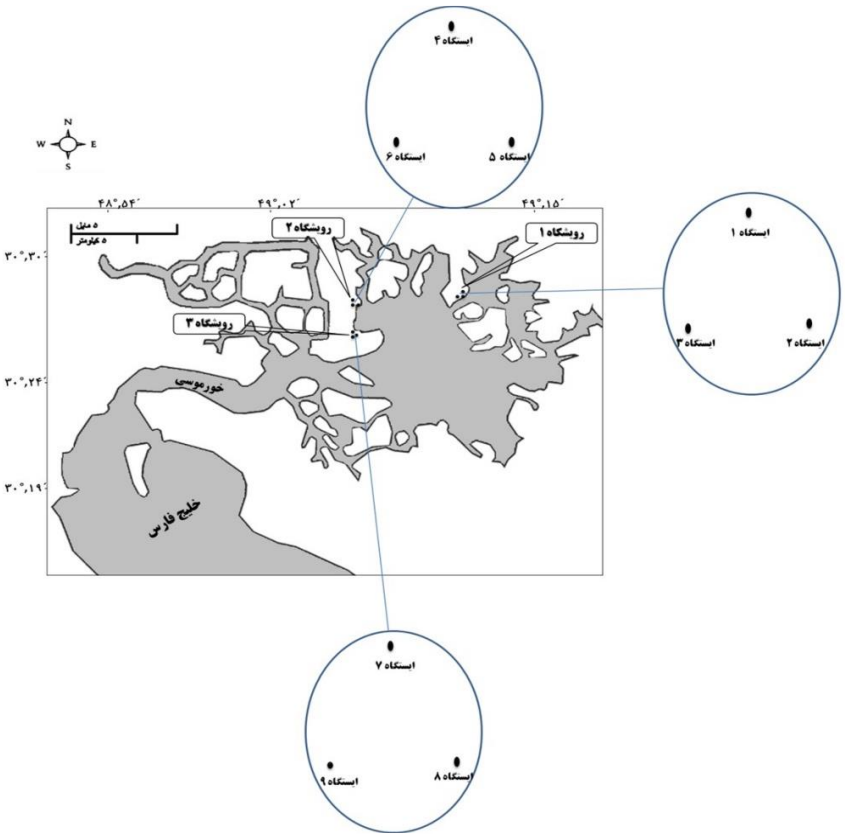
پتروشیمی تا پتروشیمی بندر امام در سمت غرب و بندر صادراتی ماهشهر در سمت شرق در نظر گرفته شده است. بنابر مطالعه انجام شده در این منطقه، جامعه گیاهی حرا در انشعابات خور موسی از مهم‌ترین جوامع گیاهی غالب منطقه بندر امام معرفی شده است[۱۵]. با توجه به مطالب بیان شده، بررسی توانایی این درختان به عنوان پایشگر زیستی فلزات سنگین در منطقه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. لذا هدف از مطالعه حاضر بررسی امکان استفاده از گیاه حرا به عنوان شاخص فلزات سنگین (مس، سرب، نیکل، کادمیوم و روی) در خوریات ماهشهر می‌باشد.

۲-مواد و روش‌ها

در حال حاضر در خوریات ماهشهر سه رویشگاه اصلی درختان حرا ایجاد شده است (شکل ۱). به منظور انجام مطالعه حاضر در هر رویشگاه، سه ایستگاه به مختصات جغرافیایی زیر در نظر گرفته شد (جدول ۱) و نمونه‌های رسوب و گیاه از هر ایستگاه برداشت گردید. عملیات نمونه‌برداری در شهریورماه و بهمن‌ماه سال ۱۳۸۹ از رویشگاه‌های بندر امام در زمان جزر کامل انجام شد.

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه های نمونه‌برداری

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
رویشگاه ۱		
ایستگاه ۱	۳۰° ۲۸’ ۴۵”N	۴۹° ۱۰’ ۵۷”E
ایستگاه ۲	۳۰° ۲۸’ ۲۲”N	۴۹° ۱۰’ ۵۶”E
ایستگاه ۳	۳۰° ۲۸’ ۴۷”N	۴۹° ۱۰’ ۵۳”E
رویشگاه ۲		
ایستگاه ۴	۳۰۲۷’ ۳۴”N	۴۹° ۰۶’ ۰۴”E
ایستگاه ۵	۳۰° ۲۷’ ۳۶”N	۴۹° ۰۶’ ۱۰”E
ایستگاه ۶	۳۰° ۲۷’ ۳۸”N	۴۹° ۰۶’ ۱۵”E
رویشگاه ۳		
ایستگاه ۷	۳۰° ۲۷’ ۰۳”N	۴۹° ۰۶’ ۰۶”E
ایستگاه ۸	۳۰° ۲۷’ ۰۸”N	۴۹° ۰۶’ ۱۳”E
ایستگاه ۹	۳۰° ۲۷’ ۱۷”N	۴۹° ۰۶’ ۱۷”E



شکل ۱- رویشگاه‌های ایجاد شده در خوریات

در هر ایستگاه، نمونه‌برداری از برگ، ریشه و رسوب با سه تکرار صورت گرفت. برای هر تکرار، حداقل تعداد ۲۰ برگ و ۱۰ ریشه نوترینت برداشت شد. جمع‌آوری رسوبات نیز از ۵ سانتی‌متری سطح انجام گرفت. سپس نمونه‌های جمع‌آوری شده به طور جداگانه در کیسه های پلاستیکی تمیز ریخته و در یونولیت حاوی یخ به آزمایشگاه منتقل شدند. در محیط آزمایشگاه برگ‌ها و ریشه‌های جمع‌آوری شده با آب مقطر شسته شدند، سپس برگ‌ها در آون با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد و ریشه‌ها در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک گردیدند. نمونه‌های خشک شده با هاون چینی پودر شده، سپس ۱ گرم از آن با مخلوط اسید نیتریک غلیظ و پراکسید هیدروژن (۱:۵) به مدت ۱ ساعت در دمای ۴۰ درجه و ۳ ساعت در دمای ۱۴۰ درجه هضم شدند[۷].

نمونه‌های رسوب در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت۲۴ ساعت خشک شدند. نمونه‌های خشک شده برای به دست آوردن مخلوط همگنی با هاون چینی به صورت پودر درآمدند و از الک آلومینیومی ۶۳ میکرون عبور داده شدند. سپس ۱ گرم از رسوبات با اضافه کردن مخلوطی از اسیدنیتریک و اسید پرکلریک غلیظ (۱:۴) با قرارگرفتن به مدت یک ساعت در دمای اتاق و ۳ ساعت در دمای ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد هضم شدند [۱۶].

نمونه‌های هضم شده از کاغذ صافی واتمن ۴۲ میکرون عبور کردند و با آب دو بار تقطیر به حجم معینی رسانده شدند. سرانجام برای سنجش فلزات سنگین از دستگاه جذب اتمی GBC SAVANTAA $\sum$ استفاده گردید.

جهت پردازش داده‌ها از نرم افزار SPSS و جهت ترسیم نمودارها از نرم افزار Excel استفاده گردید. ابتدا داده‌ها با استفاده از آزمون Shapiro-Wilk مورد آزمون نرمالیتی قرار گرفتند. به منظور بررسی مقایسه غلظت فلزات سنگین بین ایستگاه‌های مختلف، از آزمون One Way ANOVA استفاده شد. در صورت معنی‌دار بودن اختلاف از پس‌آزمون Tukey جهت جدا کردن گروه‌های مختلف استفاده گردید. جهت بررسی همبستگی میان غلظت فلزات سنگین رسوبات با غلظت آن‌ها در ریشه و برگ گیاه مورد مطالعه، از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

نتایج حاصل از بررسی غلظت فلزات سنگین در رسوب رویشگاه‌های مورد مطالعه نشان داد که فلز نیکل در رسوب همه رویشگاه‌های مورد بررسی در دو فصل، نسبت به سایر عناصر در این مطالعه دارای غلظت بالاتری می‌باشد (جدول ۲).

جدول ۲- میانگین غلظت فلزات سنگین در رسوب و بافت‌های گیاه حرا در دو فصل زمستان و تابستان

		زمستان			تابستان		
		برگ	ریشه	رسوب	برگ	ریشه	رسوب
رویشگاه ۱	Cu	۷/۸۷±۰/۵۸	۱۵±۰/۳۲	۵۲/۵۵±۵/۵۹	۵/۹۴±۰/۶	۱۳/۰۸±۱/۰۷	۳۴/۲±۶/۹
	Pb	۱۰/۵۴±۱/۱۷	۱۳/۰۸±۱/۷	۴۱/۸۸±۶/۶۷	۴/۰۱±۰/۴۱	۴/۵۷±۱/۵۶	۸/۲۴±۰/۵۸
	Ni	۵/۲۶±۰/۱۲	۸/۹۷±۰/۷۶	۱۲۲/۲۶±۶/۶۱	۴/۹۲±۰/۹۱	۷/۸۹±۰/۸۹	۱۰۵/۲۶±۷/۶۳
	Cd	۲/۷۶±۰/۴	۳/۵۳±۰/۶۳	۶/۲۵±۱/۵۲	۰/۳۵±۰/۰۲	۰/۵۸±۰/۲۸	۲/۶۱±۰/۶۲
	Zn	۲۲/۲۹±۴/۳	۳۷/۰۴±۷/۵	۱۱۶/۸۹±۸/۶	۳۰/۱۳±۵/۹۴	۵۷/۴۷±۹/۹	۱۰۳/۶۷±۱۵
رویشگاه ۲	Cu	۵/۸۱±۰/۴۷	۹/۳۲±۰/۶۴	۱۶/۶۱±۰/۹۳	۴/۹۴±۰/۱۱	۷/۲۲±۰/۹۷	۱۴/۵۸±۱/۷۶
	Pb	۸/۹±۰/۵	۱۰/۴۵±۱/۱۸	۱۳/۰۳±۱/۲۲	۱/۳۳±۰/۱۳	۱/۹۴±۰/۵۹	۴/۵۷±۰/۴۲
	Ni	۴/۷۲±۰/۷۷	۶/۸۵±۰/۵۳	۹۰/۵۳±۳/۷۳	۲/۸±۰/۷	۴/۵۳±۰/۷۳	۸۱/۴۵±۵/۸۱
	Cd	۲/۵۴±۰/۷۱	۳±۰/۸۱	۵/۲۱±۰/۸۷	۰/۱۲±۰/۰۰۹	۰/۳۹±۰/۱۶	۱/۲۵±۰/۵۲
	Zn	۱۶/۵۳±۰/۸۷	۲۶/۶۱±۱/۳	۶۱/۲±۲/۳	۲۳/۰۳±۰/۷۴	۳۴/۳±۹/۶	۴۱/۵۳±۲/۹
رویشگاه ۳	Cu	۶/۰۲±۱/۰۶	۱۱/۱۷±۰/۶۵	۲۶/۶۱±۰/۶۷	۵/۶۹±۰/۸۸	۸/۵±۰/۸۵	۱۷/۹۳±۱/۱۶
	Pb	۹/۱۳±۰/۳۷	۱۱/۴۴±۰/۸۳	۱۷/۰۴±۱/۱۹	۳/۶۳±۰/۴۵	۴/۱۶±۰/۳۸	۵/۳۶±۰/۵۷
	Ni	۵/۱۶±۰/۶۵	۷/۷۸±۰/۷	۱۱۵/۶۴±۲/۲۴	۴/۴۱±۰/۹	۵/۷۶±۱/۰۱	۹۰/۶۲±۳/۷
	Cd	۲/۵۹±۰/۷۳	۳/۵±۰/۵۲	۵/۳۳±۰/۲۳	۰/۱۳±۰/۰۶	۰/۴۷±۰/۰۶	۲/۲۸±۰/۲۸
	Zn	۱۷/۹۹±۰/۶۸	۳۰/۳۲±۲/۴۸	۷۰/۹±۴/۲	۲۵/۳۹±۱/۲	۳۴/۹±۲/۸	۶۱/۶۹±۳/۵

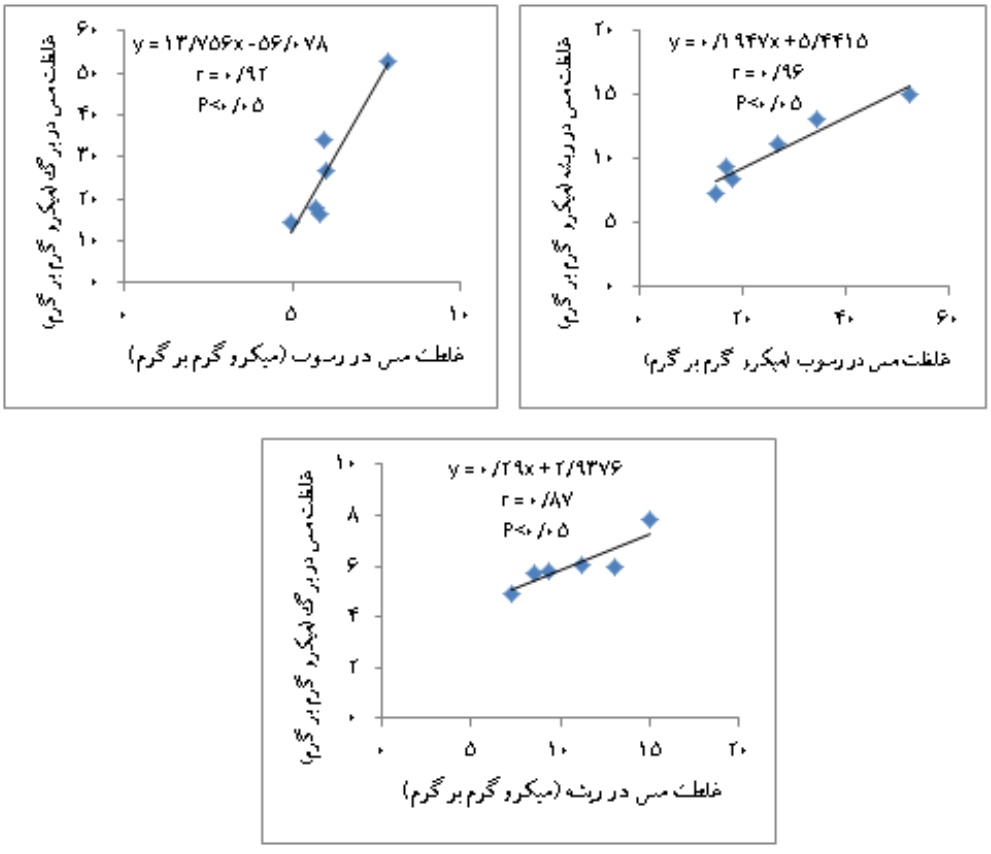
غلظت نسبتاً بالای این عنصر در رسوبات را می‌توان ناشی از ورود پساب کشتی‌ها، فاضلاب‌های صنعتی و شهری و ریزش‌های نفتی بیان نمود. هر چند احتمال می‌رود غلظت نیکل در رسوبات منطقه مورد مطالعه با توجه به بالابودن غلظت طبیعی نیکل در خلیج فارس که ۸۶ میلی گرم بر کیلوگرم [۱۷] می‌باشد، تا حدودی منشأ طبیعی داشته باشد که باید رسوب‌شناسی منطقه مورد مطالعه قرار گیرد. بر اساس مطالعات پیشین غلظت بالای نیکل در رسوبات اصولاً ناشی از منابع انسانی است. این منابع شامل تردد کشتی‌ها، قایق‌ها و نفتکش‌ها، ریزش نفت خام، تخلیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی می‌باشد [۱۸]. هم‌چنین نیکل از فلزات پرکاربرد در صنعت بوده و یکی از ترکیبات کاتالیستی مورد استفاده در صنایع پتروشیمی است [۱۹]. از سوی دیگر در میان عناصر مورد مطالعه کمترین غلظت به عنصر کادمیوم اختصاص دارد. منابع عظیم کادمیوم شامل احتراق سوخت‌های فسیلی و پساب‌های صنعتی بوده و نیز از ترکیبات کاتالیستی مورد استفاده در صنایع پتروشیمی است [۱۹]، از این‌رو فلز مذکور با توجه به استقرار صنایع مختلف در اطراف خور موسی در رسوبات منطقه مورد مطالعه وجود دارد، اما با توجه به میزان این عنصر در رسوبات دریایی (در محدوده ۰/۱ تا ۰/۶ میکروگرم بر گرم وزن خشک) [۲۰] اختصاص کمترین غلظت میان عناصر اندازه‌گیری شده به عنصر کادمیوم در رسوبات، توجیه پذیر است.

نتایج حاصل از بررسی غلظت فلزات سنگین در ریشه و برگ درختان حرا در رویشگاه‌های مورد مطالعه نشان داد که الگوی تجمع عناصر مختلف بدین صورت است:کادمیوم < نیکل < سرب < مس < روی. توالی به دست آمده در این بررسی با تعدادی از مطالعات انجام شده در اکوسیستم‌های مانگرو در سایر نقاط جهان مطابقت داشت [۸-۷]. بر اساس نتایج حاصل از این مطالعه، اگرچه نیکل بالاترین غلظت را در رسوبات دارا بود، اما همان‌گونه که مشاهده می‌شود بیشترین غلظت، در دو فصل، در ریشه و برگ گیاه حرا به فلز روی اختصاص دارد. روی، یک عنصر ضروری برای رشد گیاهان بوده و در بسیاری از فرآیندهای متابولیکی و فیزیولوژیکی گیاه نقش داشته و مورد نیاز می‌باشد [۷،۲۱]. این فلز به عنوان فعال کننده و کوفاکتور برخی آنزیم‌های حیاتی گیاه از جمله کربونیک انیدرازها، دهیدروژنازها، آلکالین فسفاتازها، فسفولیپازها ایفای نقش می‌کند [۲۲]. نتایج حاصل از مطالعه Shete و همکاران در سال ۲۰۰۷ بر روی گیاه حرا، نشان داد که بالاترین میزان عناصر در بافت ریشه و برگ به فلز روی اختصاص دارد. این پژوهشگران اظهار نمودند که روی یک عنصر ضروری برای گیاهان است. این فلز متحرک بوده و تمایل به تجمع در بافت‌های گیاهی دارد. از سوی دیگر در مطالعه انجام شده توسط Macfarlane و همکاران در سال ۲۰۰۷ این نتیجه حاصل شد که گیاهان مانگرو تمایل به تجمع فلزات ضروری دارند. از دیگر نتایج به دست آمده در این مطالعه وجود اختلاف معنی‌دار میان غلظت فلزات در دو فصل زمستان و تابستان بود ($P<0.05$)، به عبارت دیگر غلظت فلزات (مس، سرب، نیکل و کادمیوم) در ریشه مانگرو در فصل زمستان به طور قابل توجهی بیشتر از تابستان بوده است.حال آن که در مورد فلز روی این مساله بر عکس می‌باشد، یعنی این که غلظت این فلز در ریشه گیاه در فصل تابستان به مراتب بیشتر از زمستان بوده است. یافته فوق علاوه بر ریشه در برگ گیاه نیز مشاهده شد. Kabata-Pendias و Pendias در سال ۲۰۰۱ بیان کردند که جذب روی توسط ریشه در فصل سرد کاهش می‌یابد. از آن‌جا که تولید مثل گیاه حرا در فصل تابستان صورت می‌گیرد [۲۴-۲۳]، به نظر می‌رسد که در این زمان گیاه نیاز بیشتری به فلز ضروری روی داشته باشد که آن را از طریق ریشه کسب می‌کند. برای عناصر مورد مطالعه دیگر شاید اثر آنتاگونیستیکی فلز روی بر سایر عناصر دلیل این اختلاف باشد. بر اساس مطالعات Kabata-Pendias و Pendias در سال ۲۰۰۱، روی یک عنصر ضروری برای گیاهان است و این فلز اثر آنتاگونیستیکی بر سایر فلزات در بافت‌های گیاهی دارد. زمانی که جذب فلز روی توسط بافت‌ها بالا باشد، جذب عناصر دیگر کاهش می‌یابد.در مطالعه حاضر،در فصل تابستان که بیشترین جذب عنصر روی توسط ریشه و برگ گیاه مشاهده می شد، جذب سایر عناصر کمتر بود و در فصل زمستان عکس این روند مشاهده می گردید و سایر عناصر به جز روی دارای غلظت بالاتری نسبت به فصل تابستان بودند. MacFarlane در سال ۲۰۰۲ با بررسی پارامترهای بیوشیمیایی برگ در گیاه *Avicennia marina* در مقابل استرس فلزات سنگین، بیان نمود که افزایش غلظت مس در رسوبات و کاهش غلظت روی در برگ در ماه اکتبر (مهر و آبان)، باعث افزایش میزان مس در بافت برگ شده است[۲۵].

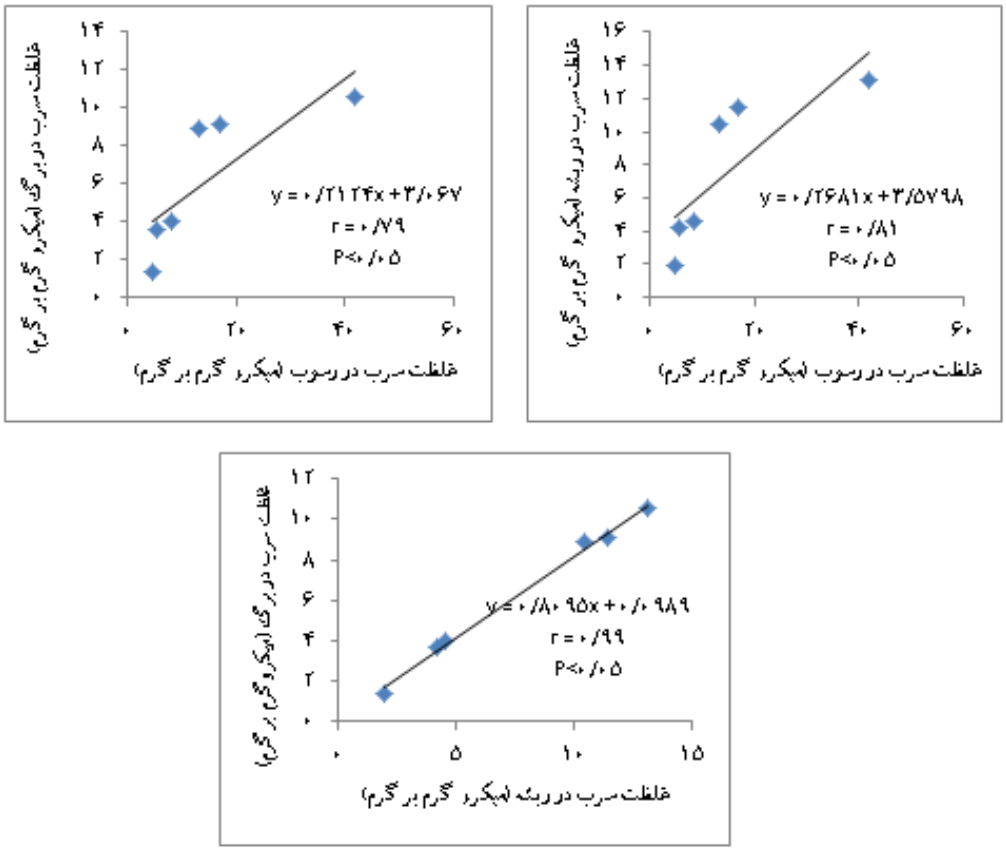
هم‌چنین نتایج تحقیق حاضر نشان داد که بافت‌های گوناگون مقادیر مختلفی از عناصر را در خود ذخیره می‌نمایند و الگوی تجمع همه عناصر در بافت‌های مختلف گیاه (ریشه و برگ) و رسوب به صورت برگ < ریشه <

رسوب می باشد. بنابر نتایج به دست آمده از این مطالعه، میزان تجمع فلزات در رسوب بیشتر از بافت‌های گیاه حرا می‌باشد. رسوبات اکوسیستم‌های تالابی 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. لذا کمتر بودن فلزات در بافت گیاه نسبت به رسوب تا حدودی طبیعی به نظر می‌رسد. از طرفی نتایج حاصل از این تحقیق 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. Zheng و همکاران در سال ۱۹۹۷بیان کردند که اختلافات مشاهده شده در غلظت فلزات در بافت‌های مختلف مانگرو ممکن است به دلیل طبیعت بافت‌ها باشد [۲۶]. این پژوهشگر اظهار نمود که ریشه‌ها اندامی چندساله و دایمی هستند و زمان طولانی‌تری برای تجمع فلزات دارند، در حالی که برگ‌ها، در بعضی فصول ریزش دارند و دایمی نمی‌باشند. هم چنین Kabata-Pendias و Pendias در سال ۲۰۰۱ بیان نمودند که ریشه‌ها میزان بیشتری از عناصر را نسبت به بخش‌های بالایی گیاه دارا می‌باشند. اغلب فلزات در لایه خارجی ریشه (اپیدرم) جذب سطحی می‌شوند[۲۵].

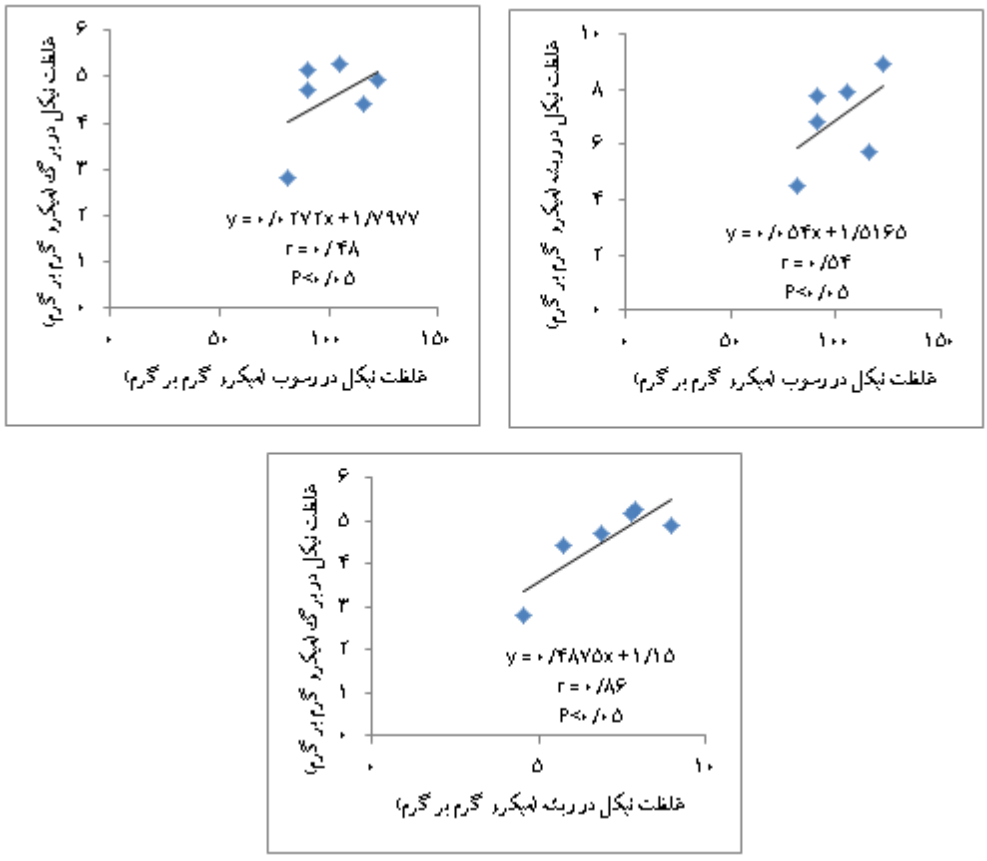
علاوه بر مطالب بیان شده، نتایج حاصل از مطالعه حاضر مبین ارتباط مثبت و معنی دار بین غلظت فلزات اندازه‌گیری شده در بافت ریشه گیاه و رسوب می‌باشد (اشکال ۲ تا ۶). ضریب همبستگی برای فلزات مس، سرب، نیکل، کادمیوم و روی به ترتیب ۰/۹۶، ۰/۸۱، ۰/۵۴، ۰/۹۷ و ۰/۶۵ می‌باشد. از این‌رو ریشه درخت حرا پایشگر زیستی مناسبی برای همه فلزات مورد مطالعه به ویژه کادمیوم و مس می‌باشد. Macfarlane و همکاران در سال ۲۰۰۳ ارتباط معنی‌داری بین غلظت فلزات در بافت ریشه گیاه *A.marina* و رسوبات اکوسیستم‌های مانگرو در سیدنی به دست آوردند. این پژوهشگران نیز بیان نمودند که ریشه این گیاه می‌تواند به عنوان پایشگر زیستی مناسبی برای فلزات مورد مطالعه محسوب می‌شود، زیرا تجمع فلزات در بافت ریشه انعکاسی از میزان آن‌ها در رسوبات می‌باشد.



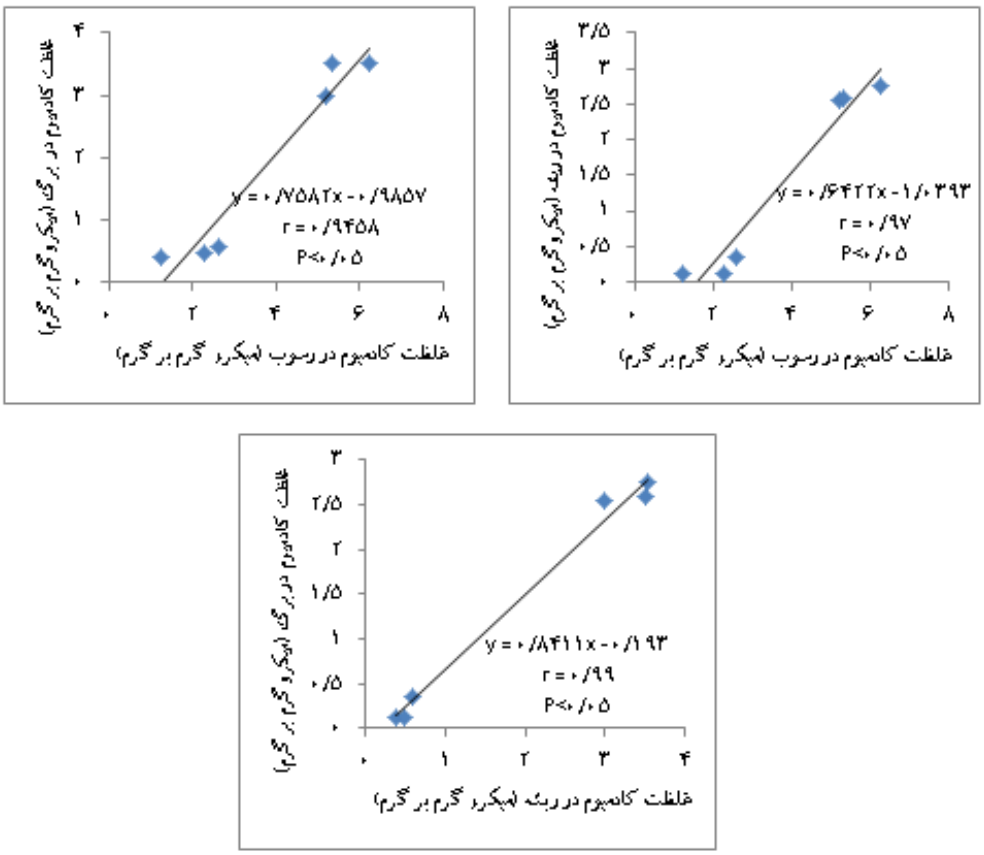
شکل ۲- همبستگی غلظت مس در رسوب و بافت‌های گیاه



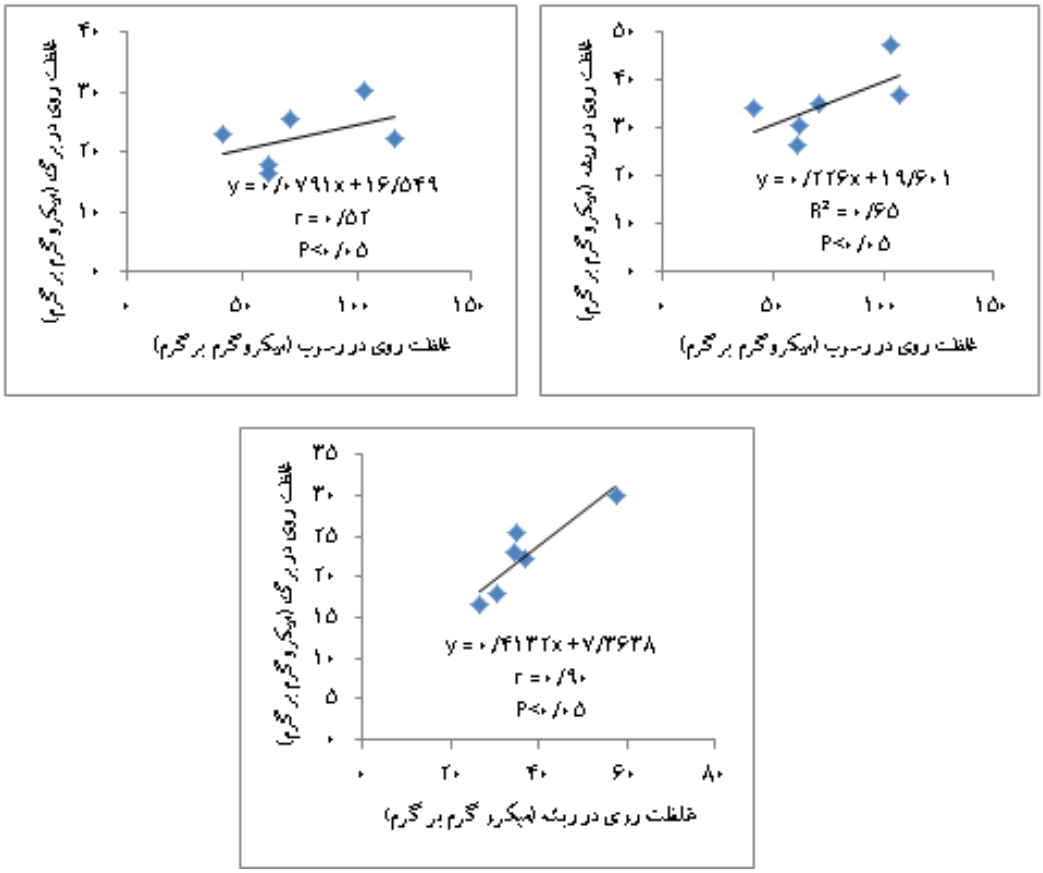
شکل ۳- همبستگی غلظت سرب در رسوب و بافت‌های گیاه



شکل ۴- همبستگی غلظت نیکل در رسوب و بافت‌های گیاه



شکل ۵- همبستگی غلظت کادمیوم در رسوب و بافت‌های گیاه



شکل ۶- همبستگی غلظت روی در رسوب و بافت‌های گیاه

بررسی ارتباط میان غلظت فلزات در برگ و رسوب همبستگی معنی‌داری میان آن‌ها نشان داد و ضریب همبستگی برای مس، سرب، نیکل، کادمیوم و روی به ترتیب ۰/۹۲، ۰/۷۹، ۰/۴۸، ۰/۹۴ و ۰/۵۲ به دست آمد. این ارتباط نشان‌دهنده انتقال فلزات در میان بافت‌های گیاه است [۱۹]. وجود چنین ارتباط مستقیم و معنی‌داری مبین این نکته است که برگ نیز همانند ریشه می‌تواند به عنوان پایشگر زیستی فلزات مورد مطالعه قرار گیرد، اما به دلیل این که عمر برگ کوتاه است و خزان دارد، از این نظر ریشه مناسب‌تر است. Demirezen و Aksoy در سال ۲۰۰۴ با بررسی غلظت فلزات در گیاه *Typha angustifolia* نشان دادند که بین غلظت فلزات در برگ و رسوب همبستگی معنی‌داری وجود دارد. این محققین بیان کردند که برگ‌های گیاه مذکور می‌تواند نشان‌دهنده سطح آلودگی در منطقه باشند، اما نسبت به ریشه، ضریب اطمینان کمتری دارد و این به دلیل عمر کوتاه برگ‌ها می‌باشد[۲۷].

وجود همبستگی نسبتاً قوی و معنی‌دار بین غلظت فلزات در ریشه و برگ گیاه برای همه فلزات مورد مطالعه، نشان دهنده‌ی این است که عناصر در میان بافت‌های گیاه منتقل می‌شوند و با افزایش غلظت فلزات در بافت ریشه، میزان این عناصر در بافت برگ نیز افزایش می‌یابد. ضرایب همبستگی مس، سرب، نیکل، کادمیوم و روی به ترتیب ۰/۸۷، ۰/۹۹، ۰/۸۶، ۰/۹۹ و ۰/۹۰ می‌باشد. میزان این همبستگی به مراتب از همبستگی میان فلزات رسوبات و بافت‌های گیاه بیشتر است. در غلظت‌های کم فلزات، انتقال از ریشه به برگ انجام می‌شود و همبستگی مثبت و معنی‌داری میان غلظت فلزات ریشه و برگ مشاهده می‌گردد [۱۲].

۴- نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر نشان داد که میزان تجمع فلزات در بافت ریشه و برگ با هم متفاوت است و بیشترین میزان عناصر در ریشه مشاهده شد. به نظر می‌رسد جذب سطحی فلزات توسط اپیدرم ریشه، وجود نوارهای کاسپارین در ریشه و عدم نفوذپذیری دیواره آوندهای چوبی از جمله عوامل مؤثر در این اختلاف می‌باشد. در میان عناصر مورد بررسی در بافت‌های گیاه، روی و مس بالاترین غلظت فلزات را داشته‌اند. دلیل این امر را می‌توان ضروری بودن عناصر مذکور برای متابولیسم گیاه و ایفای نقش فیزیولوژیکی در گیاهان بیان نمود. هم‌چنین غلظت فلزات در بافت ریشه و برگ برای عنصر روی در فصل تابستان بیشتر از فصل زمستان بود و برای سایر عناصر عکس این قضیه مشاهده شد. دلیل این اختلاف را شاید بتوان به کاهش جذب سطحی فلز روی بر روی رسوبات، افزایش دسترسی زیستی این عنصر در فصل تابستان و اثر آنتاگونیستیکی فلز روی بر سایر فلزات نسبت داد. بررسی همبستگی میان غلظت فلزات سنگین رسوبات با غلظت آن‌ها در ریشه و برگ گیاه، رابطه مستقیم و معنی‌داری را نشان می دهد و مبین آن است که این گیاه به ویژه ریشه آن پایشگر مناسبی برای فلزات سنگین مورد مطالعه می‌باشد.

منابع

[1] Gonzalez-Mendoza D, Gold-Bouchot G, Escobedo-Graci RM. Coordinated responses of phytochelatin synthase and metallothionein genes in black mangrove, Avicennia germinans, exposed to cadmium and copper. Aquatic Toxicology; 2007; 83: 306-314.

[2] Alkorta I, Garbisu, C. Phytoremediation of organic contaminants in soils. Bioresource Technology; 2001; 79: 273–276.

[3] Davari A, Danehkar A, Khorasani N, Javanshir A. The survey of accumulation of heavy metals in sediment, leaf and root of Avicennia marina in Bushehr province. Journal of Natural Environment; 2010; 63(3); 267-277. [In persian]

[4] Danehkar A, Khorasani N, Javanshir A. To survey of heavy metals pollution in mangrove forests of Bushehr province. Journal of Environmental Studies; 2012; 38(63); 27-36. [In persian]

[5] Agoramoorthy G, Chen FA, Hsu MJ. Threat of heavy metal pollution in halophytic and mangrove plants of Tamil Nadu, India. Environmental Pollution; 2008; 155: 320-326.

[6] Ong Che RG. Concentration of 7 Heavy Metals in Sediments and Mangrove Root Samples from Mai Po, Hong Kong. Marine Pollution Bulletin; 1999; 39(1-12): 269-279.

[7] MacFarlane G R, Pulkownik A, Burchett M D. Accumulation and distribution of heavy metals in the grey mangrove, Avicennia marina (Forsk.)Vierh.: biological indication potential. Environmental Pollution; 2003; 123: 139–151.

[8] Shete A, Gunali VR, Pandit GG. Bioaccumulation of Zn and Pb in Avicennia marina (Forsk.) Vierh. and Sonneratia apetala Buch. Ham. from Urban Areas of Mumbai (Bombay), India. Journal of Applied Sciences and Environmental Management; 2007; 11(3): 109–112.

[9] Machado W, Moscatelli M, Rezende LG, Lacerda LD. .Mercury, zinc, and copper accumulation in mangrove sediments surrounding a large landfill in southeast Brazil. Environmental Pollution; 2002; 120: 455–461.

[10] Defew LH, Mair JM, Guzman HM. An assessment of metal contamination in mangrove sediments and leaves from Punta Mala Bay, Pacific Panama. Marine Pollution Bulletin; 2005; 50: 547-552.

[11] Marchand C, Lallier E, Baltzer F, Alberic P, Cossa D, Baillif P. Heavy metals distribution in mangrove sediments along the mobile coastline of French Guiana. Marine Chemistry; 2006; 98:1–17.

[12] MacFarlane GR, Koller CE, Blomberg SP. Accumulation and partitioning of heavy metals in mangroves: A synthesis of field-based studies. Chemosphere; 2007; 69: 1454–1464.

[13] Zhou YW, Zhao B, Peng YS, Chen G.Z. Influence of mangrove reforestation on heavy metal accumulation and speciation in intertidal sediments. Marine Pollution Bulletin; 2010; 60(8):1319-24.

[14] Al-Nafisi RS, Al-Ghadban A, Gharib I, Bhat NR. Positive Impacts of Mangrove Plantations on Kuwait's Coastal Environment. European Journal of Scientific Research; 2009; 26(4): 510-521.

[15] Jozi SA, Malmasi S, Marandi R, Jafarian Moghadam E. Environmental Impact Analysis of Arvand Petrochemical Complex on Ecosystem of Special Economic Zone in Imam Khomeini Port by Using of Analytical Hier archy Process Method. Quarterly Journal of The Earth; 2010;1: 1-20.

[16] Yap CK, Ismail A, Tan SG, Omar H. Correlations between speciation of Cd, Cu, Pb and Zn in sediment and their concentrations in total soft tissue of green-lipped mussel Perna viridis from the west coast of Peninsular Malaysia. Environment International; 2002; 28: 117-126.

[17] Yazdanpanah A, Javadinasab A. Evaluation of heavy metals and petroleum hydrocarbons in sediments of coastal Asalueh. National Conference of Environmental Health; 2009. p. 8.

[18] El Tokhi M, Abdelgawad E, Lotfy MM. Impact of Heavy Metals and Petroleum Hydrocarbons Contamination of the East Port Said Port area, Egypt. Applied Sciences Research; 2008; 1788-1798.

[19] Manahan AE. Environmental chemistry. CRC Press LLC; 2000. P. 876.

[20] Battelle and Exponent. Guide for Incorporating bioavailability adjustments into human health and ecological risk assessments at U.S. Navy and Marine Corps Facilities. Naval Facilities Engineering Command Washington; 2000; DC 20374-5065.

[21] Kara Y. Bioaccumulation of Cu, Zn and Ni from the wastewater by treated Nasturtium officinale. International Journal of Environmental Science and Technology; 2005; 2(1): 63-67.

[22] Rion B, Alloway J. Fundamental aspects of Zinc in soils and plants. International Zinc Association; 2004; 1-128.

[23] Hegazy AK. Prespective on survival, phenology, litter fall and decomposition and caloric content of Avicennia marina. Journal of Arid Environments; 1998; 40: 417-429.

[24] Kabata-Pendias A, Pendias H. Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press, Boca raton; 2001; p.403.

[25] MacFarlane GR. Leaf biochemical parameters in Avicennia marina (Forsk.) Vierh as potential biomarkers of heavy metal stress in estuarine ecosystems. Marine Pollution Bulletin; 2002; 44: 244–256.

[26] Zheng S, Zheng D, Liao B, Li Y. Tideland pollution in Gungdong province of china and mangrove afforestation. Forest Research; 1997; 10(6): 639-649.

[27] Demirezen D, Aksoy A. Accumulation of heavy metals in Typha angustifolia (L.) and Potamogeton pectinatus (L.) living in Sultan Marsh (Kayseri, Turkey). Chemosphere; 2004; 56: 685–696.