تعیین غلظت فلزات سنگین در گیاه حرا (*Avicennia marina*) و رسوبات بندر امام خمینی(ره)

میترا چراغی[۱]، علیرضا صفاهیه[۲*]، علی دادالهی سهراب[۳]، کمال غانمی[۴]، عبدالمجید دورقی[۵]

۱- دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی، گروه زیست شناسی دریا، استان خوزستان، خرمشهر، پست الکترونیکی: cheraghi.mitra@yahoo.com

۲- دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی، گروه زیست شناسی دریا، استان خوزستان، خرمشهر، پست الکترونیکی: safahieh@hotmail.com

۳- دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی، گروه زیست شناسی دریا، استان خوزستان، خرمشهر، پست الکترونیکی: p-dadolahi@yahoo.com

۴- دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی، گروه شیمی دریا، استان خوزستان، خرمشهر، پست الکترونیکی: kamalghanemi@yahoo.com

۵- دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی، گروه زیست شناسی دریا، استان خوزستان، خرمشهر، پست الکترونیکی: mjdoraghi@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۱/۳/۱۶ **نویسنده مسوول* *تاریخ پذیرش: ۹۱/۷/۳۰*

© نشریه علمی ـ پژوهشی اقیانوس‌شناسی ۱۳۹۲، تمامی حقوق این اثر متعلق به نشریه اقیانوس‌شناسی است.

چکیده

وجود عناصر سنگین در بوم‌سامانه‌های آبی سال‌هاست که مشکلات زیست محیطی زیادی را به‌وجود آورده است. این عناصر در نتیجه‌ی عوامل طبیعی و فعالیت‌های صنعتی، کشاورزی و فاضلاب‌های شهری وارد محیط می‌شوند و از طریق زنجیره‌ی غذایی در بدن آبزیان تجمع می‌یابند. گیاه حرا به‌عنوان حلقه‌ای از زنجیره‌ی غذایی به واسطه‌ی توانایی در جذب فلزات سنگین می‌تواند نشانگر افزایش نسبی غلظت این عناصر در رسوبات بوم‌سامانه‌های مورد نظر باشد. در این مطالعه به‌منظور تعیین غلظت فلزات سنگین (Cu, Pb, Ni, Cd) در رسوبات منطقه بندر امام خمینی(ره) و گیاه حرا و بررسی میزان تحرک این فلزات بر اساس ضریب غنی شدگی، ۹ ایستگاه در رویشگاه‌های مانگرو انتخاب گردید و نمونه‌هایی از برگ، ریشه مانگرو به همراه رسوبات منطقه جمع‌آوری شد. نمونه‌ها در اسید غلیظ هضم شدند و غلظت فلزات در آن‌ها با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری گردید. نتایج نشان داد که غلظت فلزات در ریشه گیاهان بیشتر از برگ بود. همچنین همبستگی معنی‌داری بین غلظت فلزات در ریشه و رسوب وجود داشت. بنابراین ریشه گیاه حرا می‌تواند بایومانیتور مناسبی برای رسوبات آلوده به فلزات سنگین باشد. میانگین ضریب غنی‌شدگی در برگ و ریشه‌ی گیاه حرا برای همه فلزات کمتر از ۱ بود که موید این مطلب است که حالت تجمع و دسترسی در گیاه متوسط است.

Archive of SID

www.SID.ir

کلمات کلیدی: *فلزات سنگین، رسوبات، گیاه حرا، بندر امام خمینی(ره).*

۱. مقدمه

فلزات سنگین آلاینده‌های پایداری هستند که قابلیت تجزیه زیست‌شناختی ندارند و در بدن موجودات زنده تجمع می‌یابند (MacFarlane and Burchett, 2000; Ikem and Egiebor, 2005). در نتیجه با ورود به زنجیره‌های غذایی قادرند به انسان که در راس زنجیره‌های غذایی قرار دارد، منتقل شده و سلامتی وی را تهدید نمایند.

بوم‌سامانه‌های مانگرو در حد فاصل خشکی و دریا در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری قرار دارند. رسوبات این مناطق بدون اکسیژن، غنی از سولفید و مواد آلی هستند. در نتیجه، محلی برای ته‌نشست فلزات محلول در ستون آب محسوب می‌شوند. از دیگر ویژگی‌های این بوم‌سامانه‌ها، گیاهان مانگرو هستند. این گیاهان با تثبیت رسوبات ساحلی و توسعه‌ی سامانه‌ی ریشه‌ای پیچیده، محیط مناسبی برای رشد نوزاد بسیاری از آبزیان خصوصا میگو را فراهم می‌سازند. مطالعات متعدد نشان داده است که این گیاهان قادرند بسیاری از آلاینده‌های فلزی را در خود تجمع دهند و از این نظر نقشی در پاکسازی رسوبات مناطق ساحلی از آلاینده‌های فلزی ایفا نمایند (MacFarlane and Burchett, 2002; MacFarlane et al., 2003; Zhou et al., 2010). از سوی دیگر از این گیاهان می‌توان به‌عنوان بایومانیتور فلزات سنگین استفاده نمود که این امر از طریق بررسی نسبت غلظت فلزات در اندام‌های گیاه نسبت به غلظت آن‌ها در رسوب میسر است. نسبت میزان فلزات سنگین در برگ گیاه به غلظت فلزات سنگین در رسوب را ضریب غنی‌شدگی برگ (Enrichment coefficient for the leaf) و غلظت فلزات سنگین در ریشه گیاه نسبت به رسوب را ضریب غنی‌شدگی ریشه (Enrichment coefficient for the root) گویند. میزان ضریب غنی‌شدگی برگ و ریشه نشان‌دهنده‌ی توانایی گیاه در پالایش آلاینده‌ها است (Zhao et al., 2003).

از ضریب انتقال (Transfer factor) نیز می‌توان برای بررسی توانایی گیاهان در فرآیند گیاه پالایی استفاده کرد (Sasmaz et al., 2008) که نسبت غلظت فلزات سنگین در برگ به ریشه است. TLF بیشتر از ۱، گونه‌های تجمع دهنده‌ی فلزات وTLF کوچکتر از ۱، گونه‌های دفع کننده فلزات را نشان می‌دهد (Zu et al., 2005).

MacFarlane و همکاران (۲۰۰۲)، Zhou و همکاران (۲۰۱۰)، MacFarlane و Burchett (۲۰۰۲) تحقیقات گسترده‌ای در زمینه نقش گیاهان حرا در پاکسازی رسوبات ساحلی انجام داده‌اند. نتایج حاصل از مطالعات آن‌ها نشان داد که این گیاهان نقش موثری در کاهش آلاینده‌های فلزی منطقه از طریق تجمع این عناصر در بافت‌هایشان و بی تحرک کردن آن‌ها در محیط دارند.

بندر امام خمینی(ره) بزرگترین بندر صادراتی ایران است که در مجاورت خورموسی در شمال غربی خلیج فارس واقع شده است. علاوه بر تردد کشتی‌های تجاری و نفتکش‌ها، وجود مجتمع‌های متعدد نفت، گاز و پتروشیمی در اطراف این بندر سبب ورود آلاینده‌های مختلفی از جمله فلزات سنگین به این بوم‌سامانه می‌شوند.

با توجه به اهمیت این گیاهان، پتروشیمی بندر امام خمینی(ره) در راستای فعالیت‌های گسترده جهت ایجاد فضای سبز و حفاظت از محیط زیست، اقدام به کاشت و توسعه گیاهان حرا در سواحل و خورهای اطراف مجتمع، منطقه ویژه اقتصادی و بندر صادراتی ماهشهر نمود. اگرچه به‌نظر می‌رسد که این بوم‌سامانه نقش مهمی در کنترل آلودگی منطقه دارد، با این وجود هیچ مدرک و مطالعه علمی دال بر این مطلب در دست نیست.

این مطالعه به‌منظور برآورد قابلیت گیاه حرا در جذب فلزات سنگین (Cu, Pb, Ni, Cd) از رسوب انجام گرفت. همچنین تحرک فلزات سنگین بر اساس فاکتور انتقال و ضریب غنی شدگی برگ و ریشه بررسی شد.

۲. مواد و روش‌ها

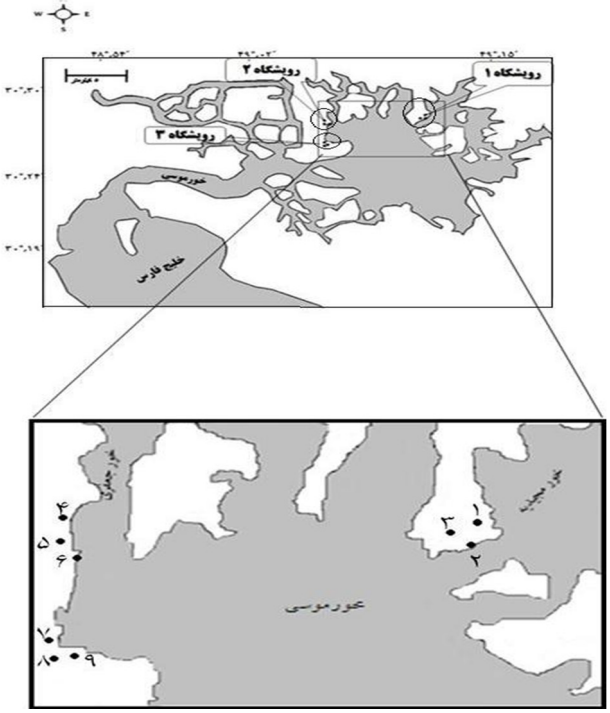
۲-۱. منطقه‌ی مورد مطالعه

بندر امام خمینی(ره) در جنوب غرب ایران و در ۱۱۰ کیلومتری جنوب شرق اهواز و ۱۰۰ کیلومتری شرق آبادان در

Archive of SID

www.SID.ir

استان خوزستان واقع شده است. این بندر در ۳۰ درجه و ۲۵ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۴ دقیقه طول شرقی در ۶۵ کیلومتری مدخل ورودی خورموسی قرار گرفته است. در سال‌های اخیر در در سواحل و خورهای اطراف مجتمع، منطقه‌ی ویژه اقتصادی و بندر صادراتی ماهشهر، رویشگاه‌های حرا ایجاد شده است (شکل ۱، جدول ۱) که در حال حاضر پوشش انبوهی از این درختان در منطقه‌ی جزر و مدی خوریات ماهشهر قابل مشاهده است. محل‌های کشت شامل خورها و سواحل حد فاصل بین حوضچه‌های دریاچه‌ی نمک در مجاورت جاده پتروشیمی تا پتروشیمی بندر امام خمینی(ره) در سمت غرب و بندر صادراتی ماهشهر در سمت شرق در نظر گرفته شده است.



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه

۲-۲. روش تحقیق

به‌منظور انجام مطالعه حاضر، در هر رویشگاه سه ایستگاه به مختصات جغرافیایی زیر در نظر گرفته شد و نمونه‌های رسوب و گیاه از هر ایستگاه برداشت گردید. نمونه‌برداری در شهریور ماه ۱۳۸۸ انجام شد.

در هر ایستگاه، حداقل تعداد ۳۰ عدد برگ و ۱۰ قطعه ریشه برداشته شد. همزمان با برداشت برگ و ریشه، مقداری رسوب نیز از ۵ سانتی‌متری سطح، با استفاده از کاردک پلاستیکی برداشت گردید. سپس نمونه‌های جمع‌آوری شده به‌طور جداگانه در کیسه‌های پلاستیکی تمیز ریخته شد و در ظرف یخدان حاوی یخ به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه‌برداری در هر ایستگاه با سه تکرار انجام شد.

در محیط آزمایشگاه برگ‌ها و ریشه‌ها با آب مقطر شسته شدند، سپس برگ‌ها در آون با دمای ۶۰°C و ریشه‌ها در آون با دمای ۱۰۵°C به‌مدت 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 (۵:۱) به‌مدت ۱ ساعت در دمای ۴۰°C و ۳ ساعت در دمای ۱۴۰°C هضم شدند (MacFarlane et al., 2003).

جدول ۱- موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه

شماره ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	۳۰° ۲۸' ۴۵"N	۴۹° ۱۰' ۵۶" E
۲	۳۰° ۲۸' ۲۳"N	۴۹° ۱۰' ۵۷" E
۳	۳۰° ۲۸' ۴۷"N	۴۹° ۰۶' ۵۳" E
۴	۳۰° ۲۷' ۳۴"N	۴۹° ۰۶' ۰۴" E
۵	۳۰° ۲۷' ۳۶"N	۴۵° ۵۷' ۱۰" E
۶	۳۰° ۲۷' ۳۸"N	۴۹° ۰۶' ۱۵" E
۷	۳۰° ۲۷' ۰۳"N	۴۹° ۰۶' ۰۶" E
۸	۳۰° ۲۷' ۰۸"N	۴۹° ۰۶' ۱۳" E
۹	۳۰° ۲۷' ۱۷"N	۴۹° ۰۶' ۱۷" E

نمونه‌های رسوب در آون با دمای ۱۰۵°C به‌مدت ۱۶ ساعت خشک شدند. نمونه‌های خشک شده پس از پودر شدن با الک استیل ۶۳ میکرون و توسط هاون چینی غربال شدند. سپس ۱ گرم از رسوبات با اضافه کردن مخلوطی از اسیدنیتریک و اسید پرکلریک غلیظ (۴:۱) با قرارگرفتن به‌مدت یک ساعت در دمای ۴۰°C و ۳ ساعت در دمای ۱۴۰°C درجه سانتی‌گراد هضم شد (Yap, 2002).

پس از اتمام هضم، نمونه‌ها با عبور از کاغذ صافی واتمن ۴۲ میکرون صاف گردیدند و با آب دو بار تقطیر به حجم معینی رسانده شدند. سرانجام برای سنجش فلزات سنگین از دستگاه جذب اتمی GBC SAVANTAA ∑ استفاده گردید.

پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها توسط تست نرمالیتی و حصول اطمینان از نرمال بودن آن‌ها، برای مقایسه غلظت فلزات بین ایستگاه‌های مختلف از آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه (ANOVA) استفاده شده و در صورت معنی‌دار بودن اختلاف بین

Archive of SID
www.SID.ir

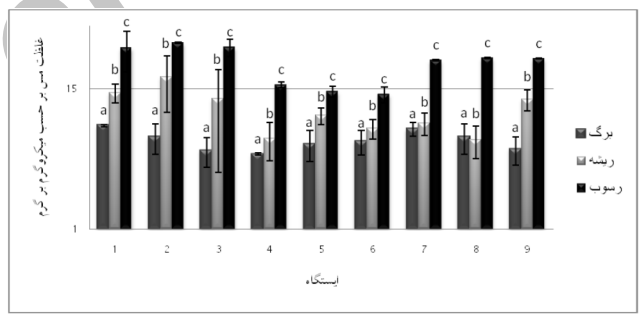
ایستگاه‌ها، برای تفکیک گروه‌های دارای اختلاف از پس آزمون Tukey استفاده شد.

۳. نتایج

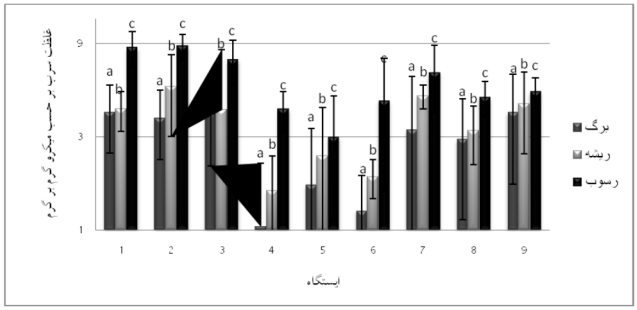
۳-۱. غلظت فلزات سنگین در برگ و ریشه‌ی گیاه و رسوب

میزان متوسط فلزات سنگین مس، سرب، نیکل و کادمیوم در اندام‌های برگ و ریشه‌ی حرا و همچنین در رسوبات منطقه در شکل ۲ الی ۵ قابل مشاهده است. نتایج به دست آمده از این نمودارها به قرار زیر است:

با افزایش میانگین غلظت فلزات مورد مطالعه در رسوبات ایستگاه‌های مختلف، میزان جذب در بخش‌های مختلف گیاه (ریشه و برگ) نیز افزایش پیدا می‌کند. این نتیجه می‌تواند نشان دهنده توان گیاه در جذب فلزات سنگین مختلف باشد.



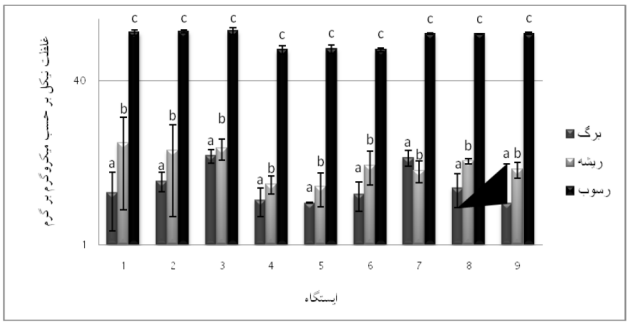
شکل ۲- مقایسه میانگین غلظت مس در بافت‌های گیاه و رسوب در ایستگاه‌های مختلف (حروف مشابه نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار است)



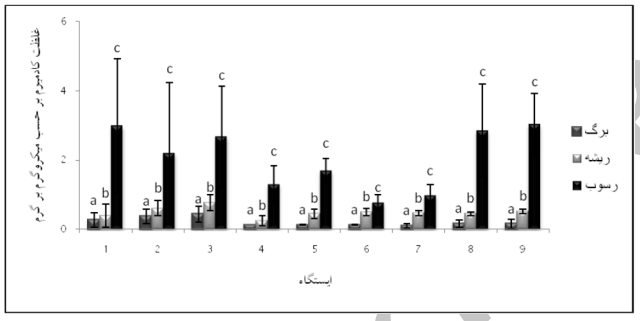
شکل ۳- مقایسه میانگین غلظت سرب در بافت‌های گیاه و رسوب در ایستگاه‌های مختلف (حروف مشابه نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار است)

در مورد فلز مس بیشترین غلظت در رسوبات و سپس در ریشه گیاه حرا، به‌ترتیب معادل ۲۵/۱۴ میکروگرم بر گرم و ۱۰/۲۵ میکرو گرم بر گرم است و کمترین میزان مس در برگ گیاه ۵/۵۷ میکرو گرم بر گرم به‌دست آمد.

نتایج حاصل از آنالیز همبستگی فلز مس در رسوب و بافت‌های گیاه، وجود همبستگی معنی‌دار بین ریشه‌ی گیاه و رسوب ($P<۰/۰۵$) و عدم وجود همبستگی معنی‌دار میان برگ و رسوب را نشان داد ($P> ۰/۰۵$).



شکل ۴- مقایسه میانگین غلظت نیکل در بافت‌های گیاه و رسوب در ایستگاه‌های مختلف (حروف مشابه نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار است)



شکل ۵- مقایسه میانگین غلظت کادمیوم در بافت‌های گیاه و رسوب در ایستگاه‌های مختلف (حروف مشابه نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار است)

بیشترین غلظت فلز سرب در رسوبات و سپس در ریشه‌ی گیاه، به‌ترتیب معادل ۶/۰۶ میکرو گرم بر گرم و ۳/۵۶ میکروگرم بر گرم است و کمترین میزان سرب در برگ گیاه، ۲/۹۹ میکروگرم بر گرم به‌دست آمد. نتایج همبستگی فلز سرب در رسوب و بافت‌های گیاه نشان داد که اگرچه همبستگی معنی‌داری بین ریشه‌ی گیاه و رسوب ($P<۰/۰۵$) وجود دارد، اما میان غلظت این فلز در برگ و رسوب همبستگی معنی‌داری وجود ندارد ($P> ۰/۰۵$).

در مورد فلز نیکل بیشترین غلظت در رسوبات و سپس در ریشه‌ی گیاه، به‌ترتیب معادل ۱۰۶/۴۵ میکرو گرم بر گرم و ۶/۴۲ میکروگرم بر گرم است و کمترین میزان نیکل در برگ

www.SID.ir

گیاه، ۴/۰۵ میکرو گرم بر گرم به‌دست آمد. نتایج حاصل از آنالیز همبستگی فلز نیکل در رسوب و بافت‌های گیاه، وجود همبستگی معنی‌دار بین ریشه‌ی گیاه و رسوب (P<۰/۰۵) و عدم وجود همبستگی معنی‌دار میان برگ و رسوب را نشان داد (P> ۰/۰۵).

بیشترین غلظت فلز کادمیوم در رسوبات و سپس در ریشه‌ی گیاه، به‌ترتیب معادل ۲/۰۵ میکروگرم بر گرم و ۰/۴۹ میکرو گرم بر گرم است و کمترین میزان کادمیوم در برگ گیاه، ۰/۲۰ میکرو گرم بر گرم به‌دست آمد. نتایج همبستگی فلز کادمیوم در رسوب و بافت‌های گیاه، نشان داد که اگرچه همبستگی معنی‌داری بین ریشه‌ی گیاه و رسوب (P<۰/۰۵) وجود دارد، اما میان غلظت این فلز در برگ و رسوب همبستگی معنی‌داری وجود ندارد (P> ۰/۰۵).

در بین چهار فلز سنگین اندازه‌گیری شده، بیشترین غلظت در رسوبات متعلق به فلز نیکل و کمترین مقدار مربوط به فلز کادمیوم بود. همچنین بیشترین غلظت در بین فلزات اندازه‌گیری شده در نمونه‌های گیاه مربوط به فلز مس و کمترین مقدار مربوط به فلز کادمیوم است. الگوی غلظت فلزات سنگین مورد مطالعه در نمونه‌های رسوب، نیکل> مس> سرب> کادمیوم و در نمونه‌های گیاه، مس> نیکل> سرب> کادمیوم مشاهده شد.

۳-۲. *فاکتور انتقال*

ضریب انتقال فلزات برای گیاه حرا در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج حاصل از جدول نشان می‌دهد که TLF بین ۰/۴۱ تا ۰/۸۲ تغییر می‌کند. میانگین TLF برای همه فلزات کمتر از ۱ بود. بیشترین TLF مربوط به فلز سرب و کمترین میزان مربوط به فلز کادمیوم بود.

۳-۳. *ضریب غنی‌شدگی برگ (ECL)*

ضریب غنی‌شدگی برگ نیز در جدول ۲ نشان داده شده است. میزان ضریب ECL برای گیاه حرا بین ۰/۰۴ تا ۰/۵۱ تغییر می‌کند. میانگین ECL برای همه فلزات کمتر از ۱ بود. بیشترین ECL مربوط به فلزسرب و کمترین میزان مربوط به فلز نیکل بود.

۳-۴. *ضریب غنی‌شدگی ریشه(ECR)*

ضریب غنی‌شدگی ریشه نیز در جدول ۲ نشان داده شده است.ضریب ECR برای گیاه حرا بین ۰/۰۶ تا ۰/۶۱ تغییر می‌کند. میانگین ECR برای همه فلزات کمتر از ۱ بود. . بیشترین ECR مربوط به فلز سرب و کمترین میزان مربوط به فلز نیکل بود.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

غلظت همه فلزات اندازه‌گیری شده در رسوبات بیشتر از بافت گیاه مشاهده شد. این نشان می‌دهد که همه فلزات موجود در رسوبات در دسترس زیستی گیاه قرار ندارند و جذب فلزات توسط ریشه با غلظت کمتری نسبت به رسوب انجام می‌گیرد. فلزاتی که در رسوبات با ترکیبات دیگر کمپلکس تشکیل داده اند، در دسترس زیستی قرار ندارند و توسط گیاه جذب نمی‌شوند (Kobata- Pendias, 2001).

همچنین در بین بافت‌های گیاهان، غلظت فلزات در بافت ریشه بیشتر از برگ مشاهده شد که نشان می‌دهد دریافت فلزات توسط ریشه از رسوب بیشتر از برگ بوده است. زیرا ریشه ارتباط مستقیم با رسوب دارد و فلزاتی را که در دسترس زیستی هستند، از رسوب جذب می‌کنند. اغلب فلزات بر دیواره سلولی ریشه جذب سطحی می‌شوند. همچنین بخشی از فلزات جذب شده توسط ریشه با ترکیبات موجود در دیواره سلولی ترکیب می‌شوند. از سوی دیگر به‌دلیل وجود نوارهای کاسپارین در ریشه و عدم نفوذ پذیری دیواره‌ی آوندهای بافت چوبی، بخش زیادی از فلزات موجود در ریشه به اندام‌های دیگر منتقل نمی‌شوند و میزان کمتری از فلزات جذب شده، به بافت برگ منتقل می‌شوند (Parasad, 2004). Tam و Yim (۱۹۹۰) با بررسی تجمع فلزات در بافت‌های گیاه به این نتیجه دست یافتند که میزان خیلی کمی از فلزات در بافت برگ تجمع می‌یابند و بیشتر فلزات جذب شده در ریشه گیاه تجمع می‌یابند.

در بین فلزات اندازه‌گیری شده در رسوبات، نیکل بیشترین غلظت را نشان داد. بر اساس مطالعات پیشین، غلظت بالای نیکل در رسوبات اصولا ناشی از منابع انسانی است. این منابع شامل تردد کشتی‌ها، نفتکش‌ها، نفت خام، فاضلاب‌های شهری و صنعتی است (Beg et al., 2001; Pourang et al., 2005; El

Archive of SID

www.SID.ir

(Tokhi et al., 2008). همچنین نیکل یکی از متداول‌ترین و فراوانترین فلزات موجود در نفت خام است (Farhat and Abbas, 2006). بنابراین با توجه به دلایل ذکر شده و همچنین به‌دلیل اینکه تردد شناورهای محلی، نفتکش‌ها، کشتی‌های تجاری و تخلیه پساب‌های صنعتی و شهری در بندر امام خمینی(ره) وجود دارد، بالابودن غلظت نیکل در رسوبات نسبت به سایر فلزات اندازه‌گیری شده در این مطالعه قابل توجیه است.

جدول ۲- مقادیر ضریب غنی‌شدگی برگ و ریشه و ضریب انتقال فلزات سنگین در گیاه حرا در منطقه بندر امام خمینی(ره)

ایستگاه	Cu			Pb			Ni			Cd		
	ECL	ECR	TLF	ECL	ECR	TLF	ECL	ECR	TLF	ECL	ECR	TLF
۱	۰/۲۲	۰/۴۲	۰/۵۳	۰/۵۱	۰/۴۸	۱/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۸	۰/۳۳	۰/۰۹	۰/۱۳	۰/۶۸
۲	۰/۱۶	۰/۵۲	۰/۳۱	۰/۴۳	۰/۶۲	۰/۶۹	۰/۰۳	۰/۰۷	۰/۵۰	۰/۱۷	۰/۲۸	۰/۶۰
۳	۰/۱۴	۰/۳۷	۰/۳۷	۰/۵۳	۰/۵۶	۰/۹۶	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۸۴	۰/۱۶	۰/۲۹	۰/۵۷
۴	۰/۲۶	۰/۳۶	۰/۷۳	۰/۲۵	۰/۳۸	۰/۶۶	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۷۰	۰/۰۹	۰/۱۹	۰/۴۸
۵	۰/۳۶	۰/۶۳	۰/۵۸	۰/۵۷	۰/۸۰	۰/۷۱	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۶۹	۰/۰۷	۰/۲۷	۰/۲۷
۶	۰/۴۰	۰/۵۲	۰/۷۸	۰/۱۹	۰/۲۸	۰/۶۷	۰/۰۴	۰/۰۷	۰/۵۲	۰/۱۷	۰/۶۵	۰/۲۵
۷	۰/۲۷	۰/۳۰	۰/۸۹	۰/۵۱	۰/۷۶	۰/۶۸	۰/۰۶	۰/۰۵	۱/۳۵	۰/۱۰	۰/۴۷	۰/۲۱
۸	۰/۲۲	۰/۲۱	۱/۰۵	۰/۶۱	۰/۶۸	۰/۹۰	۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۵۵	۰/۰۶	۰/۱۶	۰/۳۶
۹	۰/۱۷	۰/۴۵	۰/۳۸	۰/۹۶	۰/۹۰	۱/۰۷	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۴۶	۰/۰۵	۰/۱۷	۰/۳۰
میانگین	۰/۲۵	۰/۴۲	۰/۶۳	۰/۵۱	۰/۶۱	۰/۸۲	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۶۶	۰/۱۱	۰/۲۹	۰/۴۱

ECL ضریب غنی شدگی برگ= برگ/رسوب، ECRضریب غنی شدگی ریشه= ریشه/رسوب، TLF فاکتور انتقال= برگ/ریشه

در بین فلزات اندازه‌گیری شده در بافت‌های گیاه، بیشترین غلظت مربوط به فلز مس بود. مس یک فلز ضروری برای گیاهان است (Kabata Pendias, 2001). مس در تنفس، فتوسنتز و سنتز پروتئین در گیاهان نقش مؤثری دارد (Shorrocks and Alloway, 1988) و بالابودن غلظت مس نسبت به سایر فلزات مورد مطالعه می‌تواند انعکاسی از نیازفیزیولوژیکی گیاه باشد (Ong che, 1999).

از ضریب انتقال می‌توان برای بررسی توانایی گیاهان در فرآیند گیاه پالایی استفاده کرد (Sasmaz et al., 2008). TLF بیشتر از ۱، گونه‌های تجمع‌دهنده‌ی فلزات وTLF کوچک‌تر از ۱، گونه‌های دفع‌کننده‌ی فلزات را نشان می‌دهد (Zu et al., 2005). بنابراین با توجه به نتایج جدول ۲، میزان متوسط TLF برای همه فلزات کمتر از ۱ بود و گیاه حرا توانایی بالایی در انتقال فلزات به اندام‌های دیگر را ندارد و جزو گونه‌های دفع کننده فلزات است.

میزان ضریب غنی‌شدگی برگ نیز نشان‌دهنده‌ی توانایی گیاه در گیاه‌پالایی است (Zhao et al., 2003). مطالعات Wei و همکاران در سال ۲۰۰۲ نشان داد که میزان ECL نشان‌دهنده‌ی توانایی گیاه در انتقال و ذخیره‌ی فلزات در بخش‌های بالایی‌اش است. بیشترین میزان ECL مربوط به فلز سرب و کمترین میزان آن به فلز نیکل تعلق داشت که نشان می‌دهد گیاه حرا توانایی نسبتا بالایی برای انتقال و ذخیره‌ی فلز سرب در بخش‌های بالایی خود و همچنین توانایی کمی برای انتقال و ذخیره فلز نیکل در بخش‌های بالایی خود دارد.

ضریب غنی‌شدگی در ریشه‌های گیاه حرا برای همه فلزات بیشتر از برگ بود. این وضعیت نشان می‌دهد که ریشه‌های گیاه حرا ظرفیت مهمی در تجمع فلزات سنگین دارند. بالابودن ضریب غنی‌شدگی در ریشه نسبت به برگ نشان دهنده ظرفیت بیشتر ریشه نسبت به برگ برای تجمع فلزات است (Sasmaz et al., 2008).

در نهایت می‌توان بیان نمود که اگرچه گیاه حرا توانایی بالایی در جذب فلزات از ریشه ندارد، اما به‌دلیل انتشار مواد آلی فراوان در رسوب، این بوم‌سامانه‌ها نقش مهمی در کاهش تحرک آلاینده‌های فلزی ایفا می‌نمایند. همچنین به‌دلیل وجود همبستگی معنی‌دار بین غلظت فلزات در ریشه و رسوب، ریشه‌ی گیاه حرا می‌تواند پایشگر مناسبی برای فلزات سنگین Ni، Pb، Cu و Cd باشد.

منابع

Beg, M. U.; Al-Muzaini, S.; Saeed, T.; Jacob, P. G.; Beg, K. R.; Al-Bahloul, M.; Al-Matrouk, K.; Al-Obaid, T.; Kurian, A., 2001. Chemical Contamination and Toxicity of Sediment from a Coastal Area Receiving Industrial Effluents in Kuwait. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 41: 289–297.

El Tokhi, M.; Abdelgawad, E.; Lotfy. M. M., 2008.

Archive of SID

www.SID.ir

Parasad, M.N.V., 2004. Heavy metal stress in plants, Andhra Pradesh India.

Pourang, N.; Nikouyan, A.; Dennis, J. H., 2005. Trace Element Concentrations In Fish, Surficial Sediments Andwater From Northern Part Of The Persian Gulf. Environmental Monitoring and Assessment, 109: 293–316.

Sasmaz,A.; Obek, E.; Hasar, H.,2008, The accumulation of heavy metals in *Typha latifolia* L. grown in a stream carrying secondary effluent, ecological engineering, 33: 278–284.

Shorrocks, V. M.; Alloway, B. J., 1988, Copper in Plant, Animal and Human Nutrition. CDA Publication. 30-103 pp.

Yap, C.K.; Ismail, A.; Tan, S.G. Omar, H., 2002. Correlations between speciation of Cd, Cu, Pb and Zn in sediment and their concentrations in total soft tissue of green-lipped mussel Perna. Environment International, 28: 117–126.

Zhao, F.J.; Lombi, E.; Mc Grath, S.P., 2003. Assessing the potential for zinc and cadmium phytoremediation with the hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens*. Plant and Soil, 249:37–43.

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

Zu, Y.Q.; Li, Y.; Chen, J.J.; Chen, H.Y.; Qin, L.; Schvartz, C., 2005. Hyperaccumulation of Pb, Zn and Cd in herbaceous grown on lead-zinc mining area in Yunnan. China. Environmental International, 31: 755–762.

Impact of Heavy Metals and Petroleum Hydrocarbons Contamination of the East Port Said Port area, Egypt. Applied Sciences Research, 4: 1788-1798.

Farhat, A. M.; Abbas, S., 2006. A review of methods for the demetallization of residual fuel oils. Fuel Processing Technology, 87(7): 573-584.

Ikem, A.; Egiebor, N.O., 2005. Assessment of trace elements in canned fishes (mackerel, tuna, salmon, sardines and herrings) marketed in Georgia and Alabama (United States of America). Food Composition and Analysis, 18: 771-787.

Kabata-Pendias, A.; Pendias, H., 2001. Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press, Washington, D.C.

MacFarlane, G.R.; Burchett, M.D., 2000. Cellular distribution of copper, lead and zinc in the grey mangrove, *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. Aquatic Botany, 68: 45–59.

MacFarlane, G.R.; Burchett, M.D., 2002. Toxicity, growth and accumulation relationships of copper, lead and zinc in the Grey Mangrove *Avicennia marina* (Forsk.) Veirh. Marine Environmental Research, 54: 65–84.

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: 139–151.

Ong che, R. G., 1999. Concentration of 7 Heavy Metals in Sediments and Mangrove Root Samples from Mai Po, Hong Kong, Marine Pollution Bulletin, 39(1-12): 269-279.

Archive of SID

www.SID.ir