

بررسی تجمع فلزات سنگین در بستر، برگ و ریشه گیاه حرا (*Avicennia marina*) در استان خوزستان

میترا چراغی^{۱*}، علی دادالهی سهراب^۱، علیرضا صفاهیه^۱، کمال غانمی^۲ و عبدالمجید دورقی^۱

۱ گروه بیولوژی دریا، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر

۲ گروه شیمی دریا، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر

چکیده

پاکسازی اکوسیستم ها از فلزات سنگین به دلیل عدم تجزیه بیولوژیکی این عناصر، امری ضروری می باشد. این مطالعه به منظور ارزیابی قابلیت رویشگاه های مانگرو در جذب فلزات سنگین (مس، سرب، نیکل، کادمیوم و روی) از محیط انجام گردید. بدین منظور نمونه برداری از برگ و ریشه های گیاه حرا و رسوبات رویشگاه های حرا در منطقه بندر امام خمینی در فصل زمستان ۱۳۸۹ صورت گرفت. نمونه های برگ و ریشه گیاه در مخلوطی از اسید نیتریک غلیظ و پراکسید هیدروژن (۱:۵) و نمونه های رسوب در مخلوطی از اسید نیتریک غلیظ و اسید پرکلریک غلیظ (۱:۴) هضم شدند و غلظت فلزات در آن ها با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه گیری گردید. میانگین غلظت مس در ایستگاه های مختلف در رسوب، ریشه و برگ به ترتیب ۲۹/۰۶، ۱۱/۳ و ۶/۳۶، سرب ۲۳/۶۸، ۱۱/۸۷ و ۹/۵۵، نیکل ۹۷/۴۹، ۷/۳۵ و ۵/۰۱، کادمیوم ۵/۶۲، ۳/۲۷ و ۲/۶۴ و روی ۷۹/۹۷، ۳۲/۰۷ و ۱۸/۸۶ میکروگرم بر گرم وزن خشک اندازه گیری شد. به طور کلی بر اساس نتایج بدست آمده، میانگین غلظت فلزات در رسوبات منطقه از رسوبات جهانی و پوسته زمین پایین تر بوده است. همچنین بر اساس محاسبه شاخص آلودگی فلزی در این مطالعه، رویشگاه ۱ بیشترین غلظت فلزات را دارا بود.

واژگان کلیدی: فلزات سنگین، *Avicennia marina*، بندر امام خمینی

۱. مقدمه

توسعه‌ی روزافزون صنعت اگر چه مزایای بی‌شماری را به همراه دارد ولی متأسفانه مشکلات خاصی همچون آلودگی محیط زیست را نیز به دنبال دارد. آلودگی اکوسیستم‌های آبی به فلزات سنگین یکی از مهم‌ترین مباحثی است که در سال‌های اخیر به آن توجه ویژه‌ای شده است و مطالعات متعددی در این زمینه صورت گرفته است (Idris *et al.*, 2007; Kar *et al.*, 2008)، زیرا این اکوسیستم‌ها به طور طبیعی دریافت‌کننده‌ی نهایی فلزات سنگین هستند (Peng *et al.*, 2009). فلزات سنگین از آلاینده‌های مهم محیط‌های طبیعی می‌باشند، زیرا به دلیل سمیت، پایداری و عدم تجزیه‌ی بیولوژیکی، این عناصر تمایل زیادی به تجمع در موجودات آبی دارند و در بافت‌های نرم‌تنان، دوکفه‌ای‌ها و ماهیان تجمع می‌یابند (Ikem and Egiebor, 2005). با تغذیه‌ی دیگر موجودات از این آبزیان، گسترش آلاینده‌گی به سطوح بالاتر و بالاخره به انسان که در رأس زنجیره‌های غذایی قرار دارد، می‌رسد و در بسیاری موارد سلامتی را تهدید می‌نماید (Mojtahid *et al.*, 2008). فعالیت‌های مختلف انسانی باعث ورود این آلاینده‌ها به اکوسیستم می‌شوند. این عناصر از راه تخلیه‌ی مستقیم و یا به طور غیر مستقیم توسط رواناب‌های ناشی از باران و همچنین از طریق اتمسفر وارد اکوسیستم‌های آبی می‌شوند (de Mora *et al.*, 2004; Szalinska *et al.*, 2006). از جمله منابع عمده‌ی ورود مستقیم فلزات سنگین به اکوسیستم‌های آبی، پساب‌ها و فاضلاب‌های صنعتی، شهری، رواناب‌های کشاورزی، فعالیت‌های قایق‌رانی و معدن‌کاوی است (Tam and Wong, 2000; Cox and Preda, 2005; Gonzalez-Mendoza *et al.*, 2007).

خوریات ماهشهر نیز از جمله اکوسیستم‌هایی هستند که تحت تأثیر این آلاینده‌ها قرار دارند. علاوه بر تردد شناورهای محلی، کشتی‌های تجاری و نفتکش‌ها، توسعه‌ی صنایع پتروشیمی و شهرنشینی نیز در مجاورت این مناطق، موجب ورود انواع آلاینده‌ها از

جمله فلزات سنگین (مس، سرب، نیکل، کادمیوم و روی) به این نواحی می‌گردد. لذا آگاهی از میزان این آلاینده‌ها و پایش مداوم آن‌ها ضروری می‌باشد. امروزه تکنولوژی‌های نوین زیستی برای پایش و حذف آلاینده‌ها به دلیل هزینه‌ی نسبتاً کم و سهولت در اجرا بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. یکی از این روش‌ها استفاده از گیاهان بومی منطقه می‌باشد. گیاه حرا با نام علمی *Avicennia marina* از محدود گیاهانی است که توانایی رشد و نمو در اکوسیستم‌های جزر و مدی را دارد. این گیاه سازگاری‌های ویژه‌ای جهت مقابله با شرایط سخت این اکوسیستم‌ها از جمله شوری بالا و جزر و مدی مکرر دارد.

در حال حاضر پوشش انبوهی از درختان حرا در منطقه‌ی جزر و مدی خوریات ماهشهر قابل مشاهده است. بنابر مطالعه‌ی انجام شده در این منطقه، جامعه‌ی گیاهی حرا در انشعابات خور موسی از مهمترین جوامع گیاهی غالب منطقه‌ی بندر امام معرفی شده‌است (جوزی و همکاران، ۱۳۸۹).

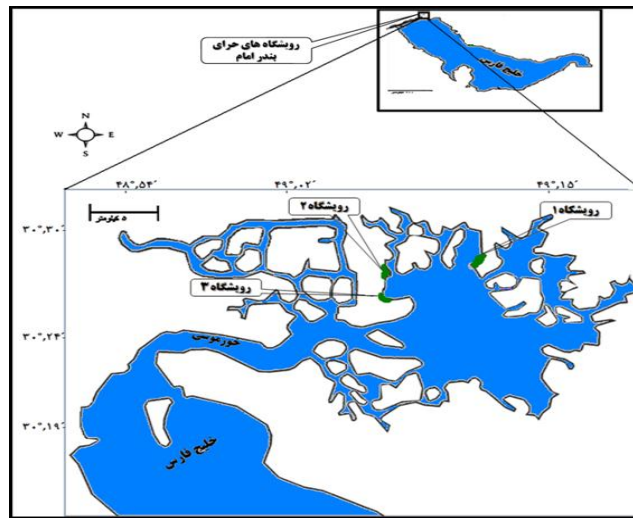
با توجه به اهمیت ویژه‌ی اکوسیستم مانگرو و درختان حرای کاشته شده در منطقه‌ی بندر امام، گرچه به نظر می‌رسد این درختان نقش مهمی را در کنترل آلودگی منطقه و بهبود شرایط زیست‌محیطی آن ایفا می‌نمایند، با این وجود هیچ مدرک و مطالعه‌ی علمی دال بر این مطلب در دسترس نیست. از این‌رو هدف از انجام این مطالعه بررسی قابلیت‌های این رویشگاه‌ها در جذب آلاینده‌های فلزی (مس، سرب، نیکل، کادمیوم و روی) منطقه از طریق سنجش غلظت فلزات سنگین در رسوبات رویشگاه و بافت‌های درخت حرا می‌باشد.

۲. مواد و روش‌ها

این مطالعه در رویشگاه‌های حرای دست کاشت در بندر امام خمینی انجام شد. در این ناحیه سه رویشگاه وجود دارد که مورد بررسی قرار گرفتند. رویشگاه ۱ در ابتدای جاده‌ی بندر امام- ماهشهر و در نزدیکی خور مجیدیه قرار دارد. رویشگاه ۲ و ۳ نیز در

رویشگاه دیگر در این ناحیه دارای تراکم بالاتری از درختان حرامی باشد (شکل ۱).

جاده‌ی پتروشیمی در مجاورت خورهای جعفری و پتروشیمی قرار گرفته‌اند. رویشگاه ۱ نسبت به دو



شکل ۱- نقشه‌ی منطقه‌ی مورد مطالعه

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 (MacFarlane *et al.*, 2003).

نمونه‌های رسوب در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی-گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند. نمونه‌های خشک شده برای بدست آوردن مخلوطی همگن 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 سانتی-گراد هضم شدند (Yap *et al.*, 2002).

جهت فیلتر نمودن نمونه‌های هضم شده، محلول از کاغذ صافی واتمن ۴۲ میکرون عبور داده شد و با آب دو بار تقطیر به حجم معینی رسانده شد. سرانجام برای سنجش فلزات سنگین از دستگاه جذب اتمی GBC SAVANTAA Σ استفاده گردید. به منظور

عملیات نمونه‌برداری در بهمن ماه سال ۱۳۸۹ از رویشگاه‌های بندر امام در زمان جزر کامل انجام شد. در هر رویشگاه ۳ ایستگاه به طور تصادفی انتخاب گردید و از هر ایستگاه با ۳ بار تکرار نمونه برداری از برگ، ریشه و رسوب انجام شد و در مجموع از هر رویشگاه ۹ نمونه‌ی رسوب، ریشه و برگ برداشت گردید. برای هر نمونه، تقریباً ۳۰ عدد برگ و قطعاتی از ریشه‌ی چندین درخت جمع آوری شد. سپس نمونه‌ها با آب منطقه شستشو شده و در کیسه‌های پلاستیکی (با درج نام ایستگاه و تاریخ نمونه برداری) قرار داده شدند (MacFarlane *et al.*, 2003). همزمان با برداشت برگ و ریشه، مقداری رسوب مجاور نیز با استفاده از کاردک پلاستیکی جمع‌آوری گردید. سپس تمامی نمونه‌ها در مجاورت یخ به آزمایشگاه منتقل و تا زمان آنالیز در دمای 20°C - نگهداری شدند. در محیط آزمایشگاه برگ‌ها و ریشه‌های جمع‌آوری شده با آب مقطر شسته شد، سپس برگ‌ها در آون با دمای ۶۰ درجه سانتی-گراد و ریشه‌ها در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی-گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک گردیدند. نمونه‌های خشک شده با

نشان داد که اختلاف معنی داری بین غلظت این عنصر در رسوب و بافت های گیاهی وجود دارد ($P < 0/05$). بیشترین میزان این عنصر در رسوب و کمترین میزان آن در برگ مشاهده گردید. نتایج حاصل از آنالیز همبستگی نشان داد که بین غلظت مس در رسوب با غلظت آن در ریشه و برگ گیاه همبستگی معنی داری وجود دارد ($P < 0/05$).

برای فلز سرب نتایج نشان می دهد که غلظت آن در رسوب ایستگاه های مختلف بین ۱۳/۷۳ تا ۴۰/۲۱ میکرو گرم بر گرم متفاوت است. دامنه غلظت این فلز در ریشه گیاه در ایستگاه های مورد مطالعه ۱۱/۰۹ تا ۱۲/۶۳ میکرو گرم بر گرم و در برگ آن ۹/۱۷ تا ۱۰/۲۱ میکرو گرم بر گرم متغیر بود (جدول ۱). مقایسه غلظت فلز سرب در رسوب، ریشه و برگ نشان داد که اختلاف معنی داری بین غلظت این عنصر در رسوب و بافت های گیاهی وجود دارد ($P < 0/05$). بیشترین میزان این عنصر در رسوب و کمترین میزان آن در برگ مشاهده گردید. نتایج حاصل از آنالیز همبستگی نشان داد که بین غلظت سرب در رسوب با غلظت آن در ریشه و برگ گیاه همبستگی معنی داری وجود دارد ($P < 0/05$).

برای فلز نیکل نتایج نشان می دهد که غلظت آن در رسوب ایستگاه های مختلف بین ۹۳/۹۷ تا ۱۰۲/۱۱ میکرو گرم بر گرم متفاوت است. دامنه غلظت این فلز در ریشه گیاه در ایستگاه های مورد مطالعه ۷/۱ تا ۷/۶۹ میکرو گرم بر گرم و در برگ آن ۴/۷۷ تا ۵/۱۵ میکرو گرم بر گرم متغیر بود (جدول ۱). مقایسه غلظت فلز نیکل در رسوب، ریشه و برگ نشان داد که اختلاف معنی داری بین غلظت این عنصر در رسوب و بافت های گیاهی وجود دارد ($P < 0/05$). بیشترین میزان این عنصر در رسوب و کمترین میزان آن در برگ مشاهده گردید. نتایج حاصل از آنالیز همبستگی نشان داد که بین غلظت نیکل در رسوب با غلظت آن در ریشه و برگ گیاه همبستگی معنی داری وجود دارد ($P < 0/05$).

حصول اطمینان از درستی نتایج بدست آمده برای داده های بافت گیاه از ماده مرجع DORM-3 (بافت ماهی) استفاده شد. درصد بازیافت نمونه های ماده مرجع برابر با ۹۵-۹۰ درصد بود.

داده های حاصله با استفاده از نرم افزار Excel دسته بندی و نمودارهای مربوط به هر عنصر تهیه شد. سپس با استفاده از نرم افزار SPSS 16 در مرحله اول تابعیت نمونه ها با استفاده از آزمون Shapiro-Wilk بررسی شد. پس از حصول اطمینان از نرمال بودن داده ها جهت مقایسه غلظت فلزات سنگین در رسوب و درختان حرا در بین ایستگاه های مختلف از آنالیز واریانس یکطرفه و در صورت معنی دار بودن اختلاف میانگین ها، جهت جدا کردن گروه های مختلف از پس آزمون Tukey استفاده شد. همچنین جهت بررسی رابطه همبستگی و مقایسه غلظت فلزات بین رسوب، ریشه و برگ از ضریب همبستگی پیرسون استفاده گردید.

در این مطالعه برای مقایسه میزان کل فلزات در مکان های مختلف نمونه های برداری، شاخص آلودگی فلزی^۱ (MPI) محاسبه گردید که معادله آن در ذیل آمده است (Dadollahi, 2003).

$$MPI = (Cf_1 * Cf_2 \dots Cf_n)^{1/n}$$

که در این معادله Cf_i برابر است با غلظت فلز i در نمونه.

۳. نتایج

برای فلز مس نتایج نشان می دهد که غلظت آن در رسوب ایستگاه های مختلف بین ۱۷/۳۱ تا ۵۱/۳۵ میکرو گرم بر گرم متفاوت است. دامنه غلظت فلز مس در ریشه گیاه در ایستگاه های مورد مطالعه ۹/۸۸ تا ۱۲/۷۶ میکرو گرم بر گرم و در برگ آن ۵/۷۵ تا ۷/۴۲ میکرو گرم بر گرم متغیر بود (جدول ۱). مقایسه غلظت فلز مس در رسوب، ریشه و برگ

1_ Metal Pollution Index

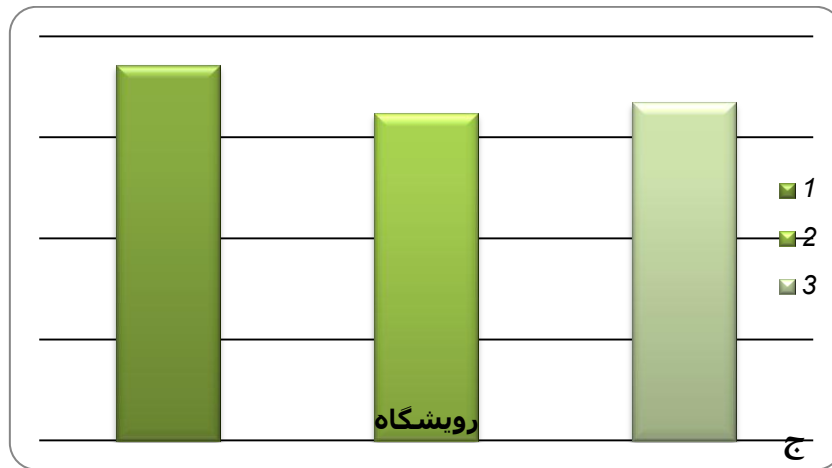
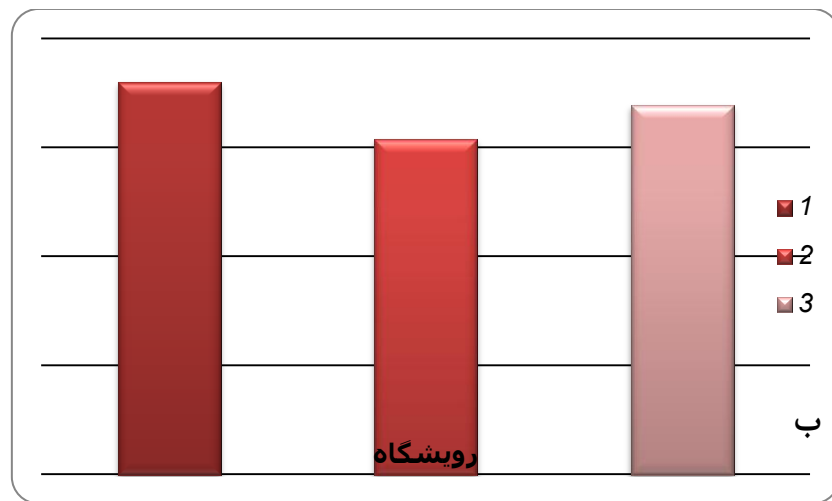
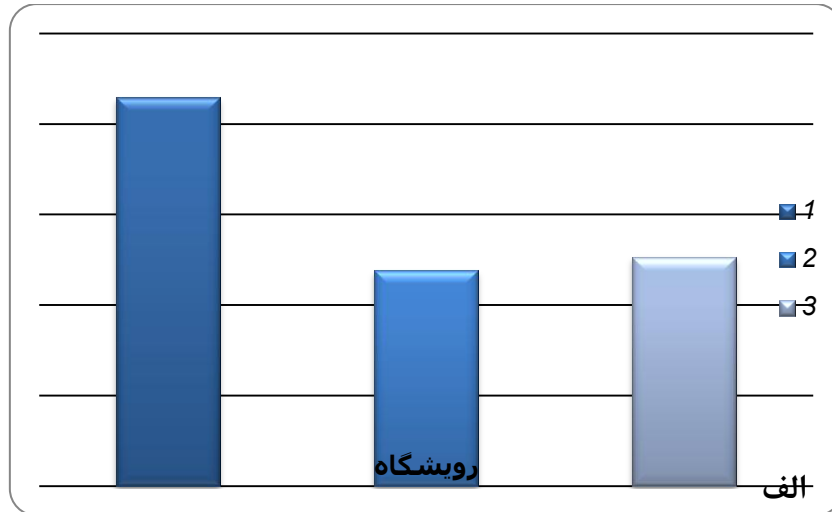
برای فلز روی نتایج نشان می دهد که غلظت آن در رسوب ایستگاه های مختلف بین ۶۳/۵۵ تا ۱۱۲/۱۱ میکرو گرم بر گرم متفاوت است. دامنه غلظت این فلز در ریشه گیاه در ایستگاه های مورد مطالعه ۲۷/۷۷ تا ۳۵/۳۹ میکرو گرم بر گرم و در برگ آن ۱۶/۹ تا ۲۱/۲۸ میکرو گرم بر گرم متغیر بود (جدول ۱). مقایسه غلظت فلز روی در رسوب، ریشه و برگ نشان داد که اختلاف معنی داری بین غلظت این عنصر در رسوب و بافت های گیاهی وجود دارد ($P < 0.05$). بیشترین میزان این عنصر در رسوب و کمترین میزان آن در برگ مشاهده گردید. نتایج حاصل از آنالیز همبستگی نشان داد که بین غلظت روی در رسوب با غلظت آن در ریشه و برگ گیاه همبستگی معنی داری وجود دارد ($P < 0.05$).

برای فلز کادمیوم نتایج نشان می دهد که غلظت آن در رسوب ایستگاه های مختلف بین ۵/۲۳ تا ۶/۱۸ میکرو گرم بر گرم متفاوت است. دامنه غلظت این فلز در ریشه گیاه در ایستگاه های مورد مطالعه ۳/۱ تا ۳/۳۷ میکرو گرم بر گرم و در برگ آن ۲/۵۷ تا ۲/۷۰ میکرو گرم بر گرم متغیر بود (جدول ۱). مقایسه غلظت فلز کادمیوم در رسوب، ریشه و برگ نشان داد که اختلاف معنی داری بین غلظت این عنصر در رسوب و بافت های گیاهی وجود دارد ($P < 0.05$). بیشترین میزان این عنصر در رسوب و کمترین میزان آن در برگ مشاهده گردید. نتایج حاصل از آنالیز همبستگی نشان داد که بین غلظت کادمیوم در رسوب با غلظت آن در ریشه و برگ گیاه همبستگی معنی داری وجود دارد ($P < 0.05$).

جدول ۱- غلظت فلزات سنگین (میانگین \pm انحراف معیار) بر حسب میکرو گرم بر گرم وزن خشک در طی نمونه برداری

Zn	Cd	Ni	Pb	Cu	رویشگاه
۱۱۲/۱۱ \pm ۵/۰۵	۶/۱۸ \pm ۰/۰۸	۱۰۲/۱۱ \pm ۳/۲	۴۰/۲۱ \pm ۱/۶۱	۵۱/۳۵ \pm ۱/۴۸	رسوب ۱
۳۵/۳۹ \pm ۲/۳۴	۳/۳۵ \pm ۰/۱۷	۷/۶۹ \pm ۰/۳۲	۱۲/۶۳ \pm ۰/۴۴	۱۲/۷۶ \pm ۰/۳۹	ریشه
۲۱/۲۸ \pm ۰/۹۴	۲/۷۰ \pm ۰/۰۷	۵/۱۵ \pm ۰/۱	۱۰/۲۱ \pm ۰/۳۳	۷/۴۲ \pm ۰/۴	برگ
۶۴/۲۵ \pm ۴/۸۹	۵/۲۳ \pm ۰/۰۴	۹۶/۴ \pm ۵/۱۲	۱۳/۷۳ \pm ۰/۶۲	۱۷/۳۱ \pm ۰/۸۳	رسوب ۲
۲۷/۷۷ \pm ۱/۱۵	۳/۱ \pm ۰/۱۱	۷/۱ \pm ۰/۲۴	۱۱/۰۹ \pm ۰/۶	۹/۸۸ \pm ۰/۶۲	ریشه
۱۶/۹ \pm ۰/۳۴	۲/۵۷ \pm ۰/۰۴	۴/۷۷ \pm ۰/۰۵	۹/۱۷ \pm ۰/۲۶	۵/۹۳ \pm ۰/۰۹	برگ
۶۳/۵۵ \pm ۲/۱۳	۵/۴۷ \pm ۰/۱۶	۹۳/۹۷ \pm ۴/۷۴	۱۷/۱۲ \pm ۰/۱۹	۱۸/۵۴ \pm ۰/۵۳	رسوب ۳
۳۳/۰۶ \pm ۲/۳۹	۳/۳۷ \pm ۰/۱۵	۷/۲۶ \pm ۰/۴۶	۱۱/۹۱ \pm ۰/۴۴	۱۱/۲۸ \pm ۰/۱۴	ریشه
۱۸/۴ \pm ۰/۴۶	۲/۶۵ \pm ۰/۰۶	۵/۱۳ \pm ۰/۰۴	۹/۲۹ \pm ۰/۲۱	۵/۷۵ \pm ۰/۰۷	برگ

نتایج حاصل از محاسبه شاخص آلودگی فلزی نشان داد که بیشترین آلودگی در رسوب، ریشه و برگ در رویشگاه ۱ مشاهده شده است (شکل ۲).



شکل ۲- شاخص آلودگی فلزی برای هر رویشگاه (الف- رسوب، ب- ریشه، ج- برگ)

۴. بحث و نتیجه گیری

به منظور بررسی آلودگی رسوبات منطقه از فلزات سنگین مس، سرب، نیکل، کادمیوم و روی، میانگین غلظت فلزات در رسوبات منطقه با میانگین غلظت رسوبات در پوسته زمین و رسوبات جهانی مقایسه شده است. نتایج حاصل از این مقایسه نشان داد غلظت همه عناصر در این مطالعه به مقدار کمتری از میزان فلزات در پوسته زمین و رسوبات جهانی مشاهده شده است که این نشان دهنده عدم وضعیت بحرانی فلزات سنگین در رسوبات منطقه می باشد. نتایج حاصل از بررسی غلظت فلزات سنگین نشان داد با افزایش میانگین غلظت مس، سرب، نیکل، کادمیوم و روی در رسوبات ایستگاه های مختلف در بخش های مختلف گیاه (برگ و ریشه) نیز میزان جذب افزایش پیدا می کند. چنین نتیجه ای می تواند نشان دهنده توان گیاه در جذب فلزات سنگین مختلف باشد.

بررسی میزان فلزات سنگین مورد مطالعه در ریشه و برگ درختان حرا در رویشگاه های مورد مطالعه نشان داد که بیشترین غلظت فلزات 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 می باشد (Macfarlane et al., 2003; kara, 2005). این فلز به عنوان فعال کننده و کوفاکتور برخی آنزیم های حیاتی گیاه از جمله کربونیک انیدرازها، دهیدروژنازها، آلکالین فسفاتازها، فسفولیپازها ایفای نقش می کند (Rion and Alloway, 2004). همچنین روی در نسخه برداری و تنظیم DNA نیز نقش مهمی دارد (Madhava Rao et al., 2006).

نتایج حاصل از مطالعه Shete و همکاران در سال ۲۰۰۷ بر 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 بافت های گیاهی دارد. از سوی دیگر در مطالعه ای انجام شده توسط Macfarlane و همکاران در سال ۲۰۰۷ این نتیجه حاصل شد که گیاهان مانگرو تمایل به تجمع فلزات ضروری دارند.

پس از روی، بیشترین غلظت میان عناصر مورد مطالعه در بافت های گیاه، به فلز سرب تعلق دارد. فلز سرب، در واکنش های فیزیولوژیکی گیاهان کارکرد مشخصی ندارد، اما به علت شباهت شیمیایی با عناصر ضروری امکان جذب آن توسط گیاهان وجود دارد (Pais and Jones, 2000). احتمالاً بالا بودن این میزان در برگ ها به آلوده بودن هوای منطقه مربوط است که پیشنهاد می شود در مطالعات دیگری به اندازه گیری میزان سرب در هوای محیط پرداخته شود.

بالا بودن میانگین فلز مس در بافت های گیاه، نیز به دلیل ضروری بودن این عنصر برای گیاه می باشد که در تنفس، فتوسنتز و سنتز پروتئین در گیاهان نقش دارد (Shorrocks and Alloway, 1988). از این رو گیاهان تمایل دارند یون های مس محلول موجود در رسوبات را جذب کنند. اما از آن جایی که این عنصر در رسوبات با انواع مختلفی از سولفورهای آلی و معدنی واکنش داده و کمپلکس های غیر محلول را تشکیل می دهند (Battelle and Exponent, 2000)، لذا بخشی از مس از دسترس زیستی خارج شده و گیاه قادر به جذب آن نیست. بنابراین همه ی مس موجود در رسوبات برای گیاه قابل جذب نبوده و فقط بخش محلول و قابل تبادل یون های مس توسط گیاه جذب می شود.

عنصر نیکل نیز در متابولیسم نیتروژن در گیاه نقش دارد (Baycu et al., 2006) و گیاهان این عنصر را از رسوبات جذب می کنند، اما حدود ۹۰ درصد نیکل در رسوبات در فاز باقی مانده^{۱۰} است و بخش کمی از این عنصر در دسترس زیستی گیاه قرار دارد. بنابراین

¹⁰- Residual fraction

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. فلزات رسوب همگی محلول نیستند، برخی از آن‌ها محلول و به صورت یون‌های آزاد است (NRC, 2003) که این بخش می‌تواند توسط گیاه از رسوب جذب گردد، ولی بخش عمده‌ی فلزات سنگین موجود در رسوب در فازهای نامحلول به ویژه فازهای آلی و باقی‌مانده قرار دارند (NRC, 2003) که بدین ترتیب قابل جذب توسط گیاه نمی‌باشد و از دسترسی زیستی خارج است. لذا کمتر بودن فلزات در بافت گیاه نسبت به رسوب تا حدودی طبیعی به نظر می‌رسد.

همچنین 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 ریشه‌ی گیاه صورت می‌گیرد، لذا بخشی از این یون‌های فلزی جذب سطحی ریشه می‌شوند. همچنین مقداری از عناصر جذب شده 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 دیواره‌ی آوندهای چوبی در ریشه شاید از جمله عوامل مؤثر بر این اختلاف باشند (NRC, 2003).

میزان انتقال فلزات سنگین گوناگون از بافت ریشه به برگ بسیار متفاوت است. در پوست ریشه، یون‌های فلزی احتمالاً به وسیله پروتئین‌های انتقالی غشاء جذب می‌شوند. فلز آهن توسط انتقال دهنده‌های ویژه‌ی موجود در غشاء پلاسمایی منتقل می‌شوند و این انتقال دهنده‌ها ممکن است به آسانی کاتیون‌های دوظرفیتی فلزات سنگین را نیز حمل کنند. همچنین مشاهده شده است که فلزات سنگین در بافت‌های

میزان کمی از یون‌های فلزی نیکل توسط گیاه جذب می‌شود.

در این مطالعه، فلز کادمیوم کمترین غلظت را داراست. کادمیوم نیز مانند سرب در فرآیندهای متابولیکی گیاه کارکرد مشخصی ندارد، اما به دلیل شباهت شیمیایی به کلسیم (Bhattacharya *et al.*, 2000)، توسط گیاه جذب می‌شود. میزان کم این عنصر در رسوبات و همچنین عدم دسترسی زیستی کادمیوم در رسوبات رویشگاه‌های مانگرو نیز ممکن است از دلایل پایین بودن غلظت این فلز در بافت ریشه باشد. کادمیوم نیز مانند نیکل با مواد آلی غیر محلول، کمپلکس تشکیل داده یا به کانی‌های سولفیدی باند¹¹ می‌شود. در نتیجه انحلال کم شده و دسترسی زیستی نیز کاهش می‌یابد (Battelle and Exponent, 2000). از سوی دیگر شبکه‌ی پیچیده‌ای از انتقال و فرآیندهای تجزیه‌ای در گیاهان وجود دارد که باعث می‌شود فلزات غیر ضروری را در حداقل مقدار نگه دارند و مانع ایجاد آسیب در سطح سلولی گردند (Madhava Rao *et al.*, 2006).

همچنین نتایج تحقیق حاضر نشان داد که بافت‌های گوناگون مقادیر مختلفی از عناصر را در خود ذخیره می‌نمایند و الگوی تجمع همه‌ی عناصر در بافت‌های مختلف گیاه (ریشه و برگ) و رسوب به شکل زیر می‌باشد:

برگ > ریشه > رسوب

بنابر نتایج بدست آمده از این مطالعه، میزان تجمع فلزات در رسوب بیشتر از بافت‌های گیاه حرا می‌باشد. اکوسیستم‌های تالابی به دلیل حضور شرایط اکسیداسیون-احیا، سیلاب دوره‌ای حاصل از جزرومد، بالابودن میزان مواد آلی و سولفید، محل مناسبی جهت به دام انداختن فلزات سنگین می‌باشند (Machado *et al.*, 2002; Defew *et al.*, 2005; Zhang *et al.*, 2010). علاوه بر شرایط ذکر شده، رسوبات این رویشگاه‌ها سیلتی-رسی با درصد بالایی

¹¹ - Chelate

رویشگاه مذکور ممکن است به دلیل مجاورت با مناطق مسکونی و تخلیه پساب‌های شهری به این منطقه باشد، زیرا رویشگاه ۱ در ابتدای جاده بندر امام-ماهشهر قرار دارد.

منابع

جوزی، س. ع.، ملامسی، س.، مرندی، ر. و جعفریان مقدم، ا.، ۱۳۸۹. تجزیه و تحلیل اثرات محیط زیستی مجتمع پتروشیمی اروند بر اکوسیستم منطقه ویژه اقتصادی بندر امام خمینی به روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP). فصلنامه زمین، سال پنجم، شماره ۱، ص ۲۰-

Battelle and Exponent. 2000. 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, DC 20374-5065.

Baycu, G., Doganay, T., Hakan, O. and Sureyya, G. 2006. Ecophysiological and Ni seasonal variations in Cd, Pb, Zn, concentrations in the leaves of urban deciduous trees in Istanbul. Environ. Pollut. 143:545-554.

Bhattacharyya, M.H., Wilson, A.K., Rajan, S.S., and Jonah, M. 2000. Biochemical pathways in cadmium toxicity. In Molecular Biology and Toxicology of Metals (Eds. R.K. Zalups and J. Koropatnick). Taylor and Francis, London. pp. 34-74.

Cox, M. and Prada, M. 2005. Trace metal distribution within marine and estuarine sediments of western moreton bay, Queensland, Australia: relation to land use and setting. Geogr. Res. 43: 173-193.

Dadolahi-Sohrab, A. 2003. A Study on the Potential of Using Seaweed as Biomonitoring Indicator in Kish Island I. R. Iran. Ph. D Thesis, University Putra Malaysia, 350pp.

H., Mair J.M. and Guzman, Defew, L

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.

de Mora, S., Sheikholeslami, M. R., Wyse, E., Azemard, S. and Cassi, R. 2004. An assessment of metal contamination in coastal

گیاهان به صورت آپوپلاستی انتقال می‌یابند. این نوع انتقال از راه بافت چوبی در گیاه انجام می‌گیرد. برخی فلزات نسبت به عناصر دیگر از آندودرم و نوارهای کاسپارین چوب پنبه‌ای به راحتی عبور می‌کنند، در نتیجه میزان بیشتری از این عناصر به بخش‌های بالای گیاه منتقل می‌شوند (Macfarlane *et al.*, 2007).

مطالعه‌ی انجام شده توسط Kabata-Pendias و Pendias در سال ۲۰۰۱ نشان داد که فلز روی برای انتقال در بافت‌های گیاه با اسیدهای آلی باند می‌شود. همچنین ترکیب این عنصر با پروتئین‌هایی با وزن مولکولی کم در سیال بافت چوبی، تحرک بالای این فلز در گیاهان را به دنبال دارد. از سوی دیگر انتقال مس از طریق ترکیب شدن این عنصر با آمینواسیدهاست. نیکل به صورت یک کمپلکس نیکل-پپتید منتقل می‌شود. کادمیوم نیز از طریق مسیره‌های انتقال کلسیم منتقل می‌شود و کادمیوم از ریشه به سمت برگ حرکت می‌کند (Iskandar and Kirkham, 2001) زیرا اندازه‌ی شعاع یونی و بار الکتریکی کلسیم و کادمیوم مشابه است (Bhattacharya *et al.*, 2000). به نظر می‌رسد که انتقال سرب توسط عبور از نواحی غیر چوب پنبه‌ای آندودرم است. به هر حال مکانیسم انتقال سرب کمتر شناخته شده است (Prasad, 2004).

بر اساس نتایج حاصل از محاسبه شاخص آلودگی فلزی در میان رویشگاه‌های مورد بررسی در این مطالعه، بیشترین آلودگی در رویشگاه ۱ مشاهده گردید. این رویشگاه در مجاورت خور مجیدیه واقع شده است. در این خور اسکله صادرات نفت و همچنین تردد وسایل حمل و نقل دریایی وجود دارد. از سوی دیگر خور مجیدیه از جمله خورهای انتهایی در منطقه‌ی خور موسی می‌باشد که تبادلات کمتری با آب‌های آزاد دارند. همچنین شاید بتوان اظهار نمود که آلاینده‌های موجود در منطقه، توسط جریان‌ات جزر و مدی به سمت خورهای انتهایی جابجا می‌شوند. از سوی دیگر بالا بودن غلظت فلزات در

- mangrove sediments surrounding a large landfill in southeast Brazil. *Environ. Pollut. Bull.* 48: 61–77.
- 455–461.:120
- Madhava Rao, K.V., Raghavendra, A.S. and Janardhan Reddy, K. 2006. *Physiology and molecular biology of stress tolerance in plants*. Springer press. 351 pp.
- Mojtahid, M., Jorissen, F. and Pearson, T.H. 2008. Comparison of benthic macrofaunal responses to foraminiferal and organic pollution in the Firth of Clyde. *Bull. 56: 42-76. (Scotland). Mar. pollut. (NRC) National Research Council.*
2003. *Bioavailability of contaminants in soils and sediments*. The National Academics Press. 433pp.
- Pais, I. and Jones, J.B. 2000. *The Handbook of Trace Elements*. St. Luice Press. Florida. pp 223.
- Peng, J.F., Song, Y.H., Yuan, P., Cui, 2009. The remediation of X.Y. and Qiu, G.L. heavy metals contaminated sediment. *J. Hazard. Mater.* 161: 633–640.
- Prasad, M. N. V. 2004. *Phytoremediation of metals and radionuclide's in the environment: the case for natural hyperaccumulators, metal transporters, soil-amending chelators and transgenic plants*. 2nd ed. In: (Ed. M.N.V. Prasad). *Heavy Metal Stress in Plants from Biomolecules to Ecosystems*, Springer-Verlag, Berlin. pp. 345–391.
- Rion, B. and Alloway, J. 2004. *of Zinc in soils and Fundamental aspects*. Association. 1-128. *International Zinc plants*. Shete A., Gunali V R. and Pandit G G. 2007. Bioaccumulation of Zn and Pb in *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. and *Sonneratia apetala* Buch. Ham. from Urban Areas of Mumbai (Bombay), India. *J. Appl. Sci. Environ. Manage.* 11(3): 109–112.
- Shorrocks, V. M., and Alloway, B. J. 1988. *Copper in Plant, Animal and Human Nutrition*. CDA Publication. pp. 30-103.
- Szalinska, E., Ken, G. Drouillard, Fryer, B. and Douglas Haffner, G. 2006. Distribution of Heavy Metals in Sediments of Detroit River. *J. Great. Lake. Res.* 32(3): 442-454.
- Tam, N.F.Y. and Wong, W.S. 2000. Spatial variation of heavy metals in surface sediments of Hong Kong mangrove swamps. *Environ. Pollut.* 110: 195–205.
- sediments of the Caspian Sea. *Mar. Pollut. Bull.* 48: 61–77.
- Gonzalez-Mendoza, D., Gold- and Escobedo-Graci, R.M. 2007. Bouchot, G. Coordinated responses of phytochelatin synthase and metallothionein genes in black mangrove, *Avicennia germinans*, exposed to cadmium and copper. *Aquat. Toxicol.* 83: 306-314.
- Idris, A.M., Eltayeb, M.A.H., Potgieter-Vermaak, S.S., Van Grieken, R. and Potgieter, J.H. 2007. Assessment of heavy metals pollution in Sudanese harbours along the Red Sea Coast. *Microchem. J.* 87: 104–112.
- Ikem, A. and 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 Compos. Anal.* 18: 771-787.
- Iskandar, I.K. and Kirkham, M.B. 2001. Trace elements in soil, Bioavailability, flux and transfer. CRC Press. LLC. pp 305.
- Kabata-Pendias, A. and Pendias, H. 2001. *Trace Elements in Soils and Plants*. CRC Press. Boca raton. 403 pp.
- Kar, D., Sur, P., Mandal S.K., Saha, T. and Kole, R.K. 2008. Assessment of heavy metal pollution in surface water. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 5(1): 119-124.
- Kara, Y. 2005. Bioaccumulation of Cu, Zn and Ni from the wastewater by treated *Nasturtium officinale*. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 2(1): 63-67.
- Karbassi, A.R., Nabi-Bindhendi, Gh.R. 2005. Environmental geochemistry of heavy metals in a sediment core off Bushehr, Persian Gulf. *J. Environ. Sci. Heal.* 2(4): 255-260.
- MacFarlane, G.R., Koller, C.E. and Blomberg, S.P. 2007. Accumulation and partitioning of heavy metals in mangroves: A synthesis of field-based studies. *Chemosphere.* 69: 1454–1464.
- MacFarlane, G.R., Pulkownik, A. and Burchett, M.D. 2003. Accumulation and distribution of heavy metals in the grey mangrove, *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh.: biological indication potential. *Environ. Pollut.* 123: 139–151.
- Machado, W., Moscatelli, M., Rezende L.G., and Lacerda, L.D. 2002. Mercury, zinc, and copper accumulation in .

with mangrove *Sonneratia apetala* Buch-Ham.
Ecolo. Eng. 36: 807- 812.

Yap, C.K., Ismail, A., Tan, S.G., and
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 viridis* from the
west coast of Peninsular Malaysia. Environ.
Int. 28: 117-126.

Zhang, J-E., Liu, J-L., Ouyang, Y.,
Liao, B-W. and Zhao, B-L. 2010. Removal of
nutrients and heavy metals from wastewater