

بررسی قابلیت تجمع فلزات سرب و نیکل در ریشه و برگ اجتماعات دست کاشت درختان حرا (*Avicennia marina*) در بندر امام

فرزانه منصوری^۱، افشین دانه کار^{۲*}، نعمت‌الله خراسانی^۳، سهراب اشرفی^۴

۱. کارشناسی ارشد، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۲. دانشیار، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران و نویسنده مسئول

۳. استاد، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۴. استادیار، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۱/۲۴ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۲/۱۰/۸)

چکیده

جنگل‌های مانگرو جزء اکوسیستم‌های جنگلی مستقر در اراضی کم‌شیب دانه‌ریز ساحلی گرمسیر و نیمه‌گرمسیرند. این اکوسیستم به دلیل وجود شرایط اکسیداسیون و احیا، آب‌گرفتگی دوره‌ای توسط جریان جزر و مد و محتویات بالای رس و مواد آلی، نقش مهمی در حذف فلزات و آلاینده‌های آلی از آب در اکوسیستم‌های ساحلی دارد و می‌تواند به‌منزله منبعی برای ذخیره فلزات عمل کند. با توجه به توسعه مراکز صنعتی در جنوب ایران، به‌منظور بهره‌مندی از خدمات این اکوسیستم و نقش این جنگل‌ها در به دام انداختن آلاینده‌ها و حذف آن‌ها از ستون آبی، با بررسی شرایط مورد نیاز برای رشد و توسعه این درختان، اقدام به کاشت آن‌ها در برخی مناطق ساحلی جنوب ایران از جمله بندر امام در دورترین نقطه شمال غربی خلیج فارس شده است. به‌منظور اندازه‌گیری فلزات سرب و نیکل در این اکوسیستم، ۳۶ ایستگاه تصادفی انتخاب شد و نمونه‌برداری از رسوب، ریشه و برگ این درختان در اردیبهشت ۱۳۹۱ انجام گرفت. نتایج نشان داد میانگین غلظت فلز سرب در رسوب ۱۹/۷۱، در برگ ۵/۹۵ و در ریشه ۱/۱۸ میکروگرم بر گرم و غلظت فلز نیکل نیز به ترتیب ۷۷/۸، ۳۶/۹۲ و ۱۱/۹۴ میکروگرم بر گرم است. علاوه بر این همبستگی آماری بالا و درخور توجهی بین فلزات تجمع‌یافته در رسوبات، ریشه و برگ مشاهده شد. یافته‌ها نشان داد میزان انتقال فلز سرب از رسوب به ریشه بیشتر از برگ است به طوری که میزان انتقال این فلز به ریشه ۰/۲۹ برابر رسوبات و در برگ ۰/۰۵ برابر رسوبات مشاهده شد. میزان انتقال فلز نیکل نیز به ریشه ۰/۷۴ برابر رسوب و در برگ ۰/۱۵ رسوب مشاهده شد.

کلیدواژگان: بندر امام خمینی، خلیج فارس، جنگل مانگرو، فلزات سنگین، محیط زیست ساحلی.

۱. مقدمه

در این اکوسیستم تثبیت می‌کنند. رسوبات بستری این سیستم ویژگی‌های منحصربه‌فردی دارد که منجر به بی‌حرکت شدن فلزات سنگین می‌شود. فلزات محلول‌شده در آب توانایی انتقال به بافت‌ها و اندام‌های موجودات زنده را دارند. فلزات واردشده به کالبد موجودات به تدریج در اندام‌ها و بافت‌ها تجمع می‌یابند که به این فرایند تجمع زیستی^۱ گفته می‌شود (MacFarlane *et al.*, 2007). زمانی که فلزات به محیط دریایی وارد می‌شوند، بیشتر آن‌ها ته‌نشین و به رسوبات، مواد آلی اکسید آهن و منگنز، سولفیدها و رس متصل می‌شوند (Wang & Chen, 2000). آن‌ها می‌توانند به‌عنوان منبع به میزان بالایی در رسوبات تجمع یابند یا به‌منزله منبع با آشفستگی‌های طبیعی یا انسانی از رسوبات خارج شوند و به آب بازگردند. فلزات سمی می‌توانند توسط موجودات دریایی جذب و به زنجیره غذایی وارد شوند و به‌صورت بالقوه به سطوح بالاتر انتقال یابند که می‌تواند در نهایت با مصرف غذای دریایی آلوده منجر به تأثیرات سوء بر انسان شود (Bryan, 1979; Wang, 2002). اکوسیستم‌های مانگرو به سبب توسعه فعالیت‌های انسانی امروزه اغلب در مجاورت نواحی توسعه انسانی قرار دارند (Tam & Wang, 2002; MacFarlane, 2002) و ناگزیر به‌طور مداوم تحت تأثیر رواناب‌های شهری و صنعتی قرار می‌گیرند که حاوی فلزات سنگین یا مغذی است (Ellison & Farnsworth, 1996). همان‌طور که مطالعه Baker و Waker (۱۹۹۰) بر روی این گیاه نشان داد تجمع فلزات سنگین در بافت گیاهی تا حدودی تحت تأثیر نیاز متابولیک گیاه است. بررسی Kannappan و همکاران (۲۰۱۲) نیز نشان داد اگرچه میزان برخی فلزات در بافت گیاهی کمتر از میزان آن در رسوبات است، فلزات می‌توانند در برخی بافت‌های گیاه به‌ویژه ریشه یا برگ تجمع یابند. فلزاتی که در مقادیر بالا از ریشه به ساقه و سپس به برگ‌ها منتقل می‌شوند و میزان حرکت رو به بالای آن‌ها در گیاه به میزان تحرک فلز نیز بستگی دارد.

اجتماعات مانگرو یکی از اکوسیستم‌های پر تولید جهان محسوب می‌شوند که در نواحی گرمسیری و نیمه‌گرمسیری بین خشکی و دریا گسترده شده‌اند (Kathirasan & Bingham, 2001; Kathiresan, 2002). اکوسیستم مانگرو فراهم‌آورنده کالا و خدمات مستقیم و غیرمستقیم متنوع اکولوژیکی و اقتصادی (odum, 1971; Alongi, 2002) از قبیل نواحی مناسبی برای زادآوری و پرورش بسیاری از گونه‌های آبی، منبعی برای سوخت، دارو، غذا و مصالح لازم برای ساخت خانه برای جوامع محلی هستند (Aizpuru *et al.*, 2000). یکی از عملکردهای مهم این جنگل‌ها، فراهم‌آوردن سازوکاری برای به‌دام‌انداختن رسوبات است و به همین دلیل آن‌ها به‌منزله یکی از پذیرنده‌های مهم رسوبات شناخته می‌شوند (Wolanski *et al.*, 1992; Wolanski, 1994; 1995; Woodroffe, 1997; Furukawa *et al.*, 1992). رسوبات در چنین محیطی، ظرفیت بالایی در نگهداری فلزات سنگین از رودخانه‌ها، جریان جزر و مد و رواناب‌ها دارند و اغلب به‌منزله جاذبی برای فلزات سنگین عمل می‌کنند (Tam & Wong, 2000). توسعه نواحی ساحلی در سراسر دنیا فشار زیادی بر جوامع زیستی ساکن این نواحی وارد می‌آورد (Ferletta *et al.*, 1996; Temu, 2001). این اکوسیستم نیز به‌دلیل قرارگرفتن در حد فاصل خشکی و دریا مقادیر بالایی پساب از محیط‌های آبی پیرامون خود دریافت می‌کند (Furukawa *et al.*, 1997). فلزات سنگین معمول‌ترین آلاینده مناطق شهری و صنعتی محسوب می‌شوند. آن‌ها یکی از آلاینده‌های خطرناک هستند که تراکشان در محیط می‌تواند آثار و تبعات ناخوشایندی بر اکوسیستم‌های حساس مانگرو تحمیل کند (Tompson *et al.*, 1995).

سیستم‌های مانگرو در فرایندهای جذبی ظرفیت بالایی دارند، به‌طوری‌که این اکوسیستم به‌منزله جاذب فلزات سنگین تلقی می‌شود و این آلاینده‌ها

جنگل‌های حرا تعیین شد. نقشه پایه مطالعه در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ است که بر روی آن پهنه‌های گلی، خورهای موجود و لکه‌های جنگل‌کاری شده حرا مشخص شد. برای تهیه این نقشه از نقشه راقومی توپوگرافی منطقه به‌علاوه داده‌های زمین مرجع شده سنجنده فوق استفاده شد. بر روی تصاویر فوق تمام لکه‌های گلی، خورهای اصلی و فرعی و لکه‌های مشاهده‌شده از اجتماعات حرا به تفکیک تحدید حدود شد. سپس با کنترل زمینی، نقشه کاشت نهایی شد (Mansouri et al., 2012). به‌منظور تعیین غلظت فلزات سنگین نیکل و سرب در رویشگاه مانگرو در منطقه مطالعه‌شده در مجموع ۳۶ نمونه رسوب در اردیبهشت ۱۳۹۱ برداشت شد. موقعیت نمونه‌ها ابتدا روی نقشه رویشگاه مشخص و سپس مختصات هر نقطه از نقشه به سامانه موقعیت‌یاب جهانی منتقل و روی زمین شناسایی شد. از هر ایستگاه نمونه‌برداری، ۳ نمونه رسوب سطحی (عمق ۰ تا ۱۰ سانتی‌متر) به‌وسیله اجسام پلاستیکی اسید شورشده برداشت و با هم ترکیب شد (به وزن متوسط ۷۰۰ گرم)، در نمونه‌برداری از بافت ریشه مطابق توصیه Lawton و همکاران (۱۹۸۱) توجه شد که نمونه‌ها از ریشه‌های مغذی گیاه حرا انتخاب شود و از برداشت ریشه‌های بزرگ‌تر حائل و هوایی اجتناب شد. برای تهیه نمونه‌برگ، از هر ایستگاه مطابق روش Macfarlane و همکاران (۲۰۰۳)، ۲۰ برگ با تکرار سه‌تایی جمع‌آوری شد. این نمونه‌ها از ۵ الی ۱۰ درخت که ارتفاع بیش از ۳ متر داشتند انتخاب شد. درختانی برای نمونه‌برداری برگ‌زیده شدند که شرایط ظاهری آن‌ها سالم بود و بر روی برگ‌هایشان نشانه بیماری و فعالیت آفات به چشم نمی‌خورد (Davari et al., 2010) سپس نمونه‌ها در یخدان به آزمایشگاه خاک‌شناسی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران منتقل شدند.

نمونه‌های رسوب، ریشه و برگ جمع‌آوری‌شده در آزمایشگاه به‌طور کامل در هوای آزاد و سپس در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد آون به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند. نمونه‌ها پس از خشک‌شدن

همچنین مطالعه Einollahi pir (۲۰۱۲) که در خلیج گواتر انجام شد نشان داد که بافت‌های مختلف گیاه حرا می‌تواند شاخص مناسبی برای برخی فلزات باشد و غلظت آن در بافت‌ها می‌تواند بیانگر میزان آلودگی در منطقه باشد. همچنین عوامل مؤثر در میزان متفاوت فلزات می‌تواند ناشی از دسترسی زیستی و یا ضروری بودن و غیرضروری بودن فلزات برای گیاه باشد. این مطالعه به‌منظور بررسی غلظت فلزات سرب و نیکل در منطقه مطالعه‌شده و توانایی گیاه در جذب فلزات سنگین و میزان انتقال آن در بافت گیاهی انجام شد.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. منطقه مطالعه‌شده

منطقه مطالعه‌شده مطابق شکل ۱، پهنه‌ای گلی است که با وسعت ۲۸۳۲ هکتار در مختصات جغرافیایی ۳۰ درجه و ۳۱ دقیقه و ۱۰ ثانیه تا ۳۰ درجه و ۳۰ دقیقه و ۴۷ ثانیه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۵ دقیقه و ۵۸ ثانیه تا ۴۹ درجه و ۱۰ دقیقه و ۴۷ ثانیه طول شرقی و در شمال شرق بندر امام در شهرستان ماهشهر واقع شده است. این محدوده آب و هوای گرم و مرطوب دارد. دمای آن بین ۳۵- تا ۵۰ درجه در تابستان تا ۱۲ درجه در زمستان تغییر می‌کند و میانگین باران سالانه آن نیز حدود ۲۳۳ میلی‌متر است. ۳ شاخه‌خور اصلی از انشعابات خلیج فارس به این پهنه گلی وارد می‌شود و با انشعابات متعدد خود، جزایر رسوبی متعددی را پدید آورده است. در حال حاضر ۱۰۳ قطعه جزیره رسوبی در این محدوده قابل تشخیص است که در بخش‌هایی از آن طی یک دهه گذشته حراکاری صورت گرفته است. وسعت جنگل‌های حرای مستقرشده در این پهنه گلی در مجموع به ۳۸۵ هکتار بالغ می‌شود (Mansouri et al., 2012).

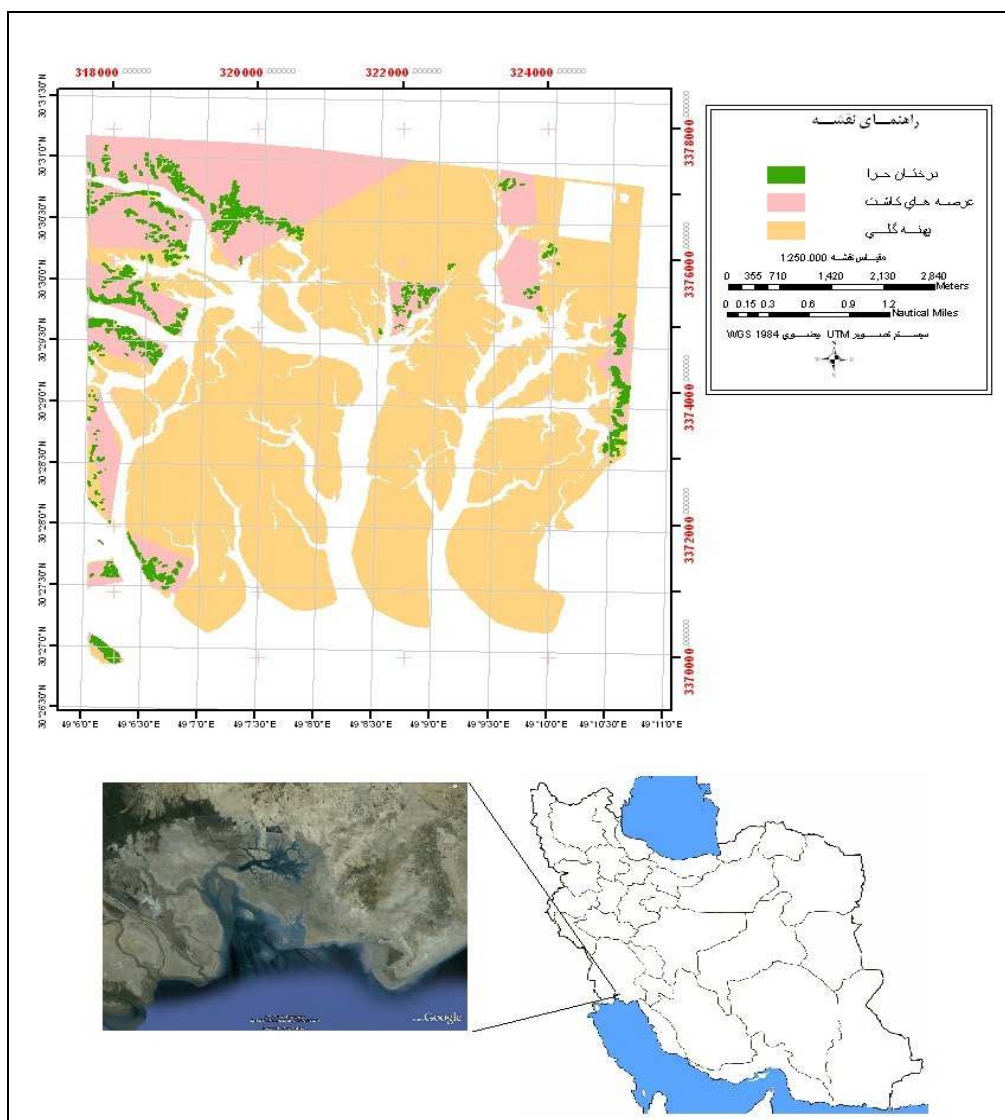
۲.۲. روش بررسی

با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Geoeye در نرم‌افزار Google Earth آخرین موقعیت

حمام آب گرم تا اکسیدشدن کامل نمونه‌ها حرارت داده شد. سپس محلول باقی‌مانده حاصل از فرایند عصاره‌گیری از کاغذ صافی واتمن ۲۴ عبور داده شد و در بالن ژوژه به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد و در نهایت آنالیز نمونه‌ها با استفاده از دستگاه جذب اتمی (SHIMADZU, AA-670) ساخت کشور ژاپن صورت گرفت. از آنجاکه هدف از این مطالعه، بررسی غلظت فلزات سنگین در رسوب و پیکره گیاه حرا در منطقه مطالعه‌شده و نیز میزان انتقال آن از بستر به ریشه و اندام هوایی گیاه بود از تجزیه واریانس یکطرفه (ANOVA) با اطمینان ۹۵ درصد در برنامه MINITAB بهره‌گیری شد.

به‌طور کامل در هاون کوبیده و نمونه‌های رسوب به‌منظور آنالیز فلزات سنگین از الک ۶۳ میکرون عبور داده شدند. به‌منظور تهیه عصاره از نمونه‌ها مطابق پروتکل ۵۰۳۰ سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا عمل شد.

به این ترتیب ۱ گرم از نمونه رسوب وزن و در ۱۰ میلی‌لیتر اسیدنیتریک ۱:۱ ترکیب شد و سپس در حمام آب گرم (بن‌ماری) در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. به‌ترتیب به نمونه‌ها ۲ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر، ۳ میلی‌لیتر پراکسید نیتروزن، ۵ میلی‌لیتر اسیدکلریدریک و ۱۰ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر اضافه شد و دوباره در



شکل ۱. محدوده مطالعه‌شده

۳. نتایج

بافت مورد نظر به میزان فلز در رسوبات، از رسوب به ریشه بیشتر از برگ است به طوری که میزان انتقال این فلز به ریشه ۰/۲۹ برابر رسوبات و در برگ ۰/۰۵ برابر رسوبات مشاهده شد. غلظت فلز نیکل نیز در رسوبات سطحی منطقه بین ۷۴/۲ و ۸۰/۷، در ریشه‌ها ۳۱/۴ تا ۴۱/۲ و در برگ‌ها بین ۱۰/۲ و ۱۳/۲ متغیر بود. غلظت نیکل در تمام ایستگاه‌ها تفاوت معناداری نشان نداد ($P > 0.05$). نتایج مطابق شکل‌های ۲ و ۳ همبستگی معناداری بین غلظت این فلز در رسوبات، ریشه و برگ نشان داد ($P < 0.01$). میزان انتقال آن به ریشه ۰/۷۴ برابر رسوب و در برگ ۰/۱۵ رسوب است.

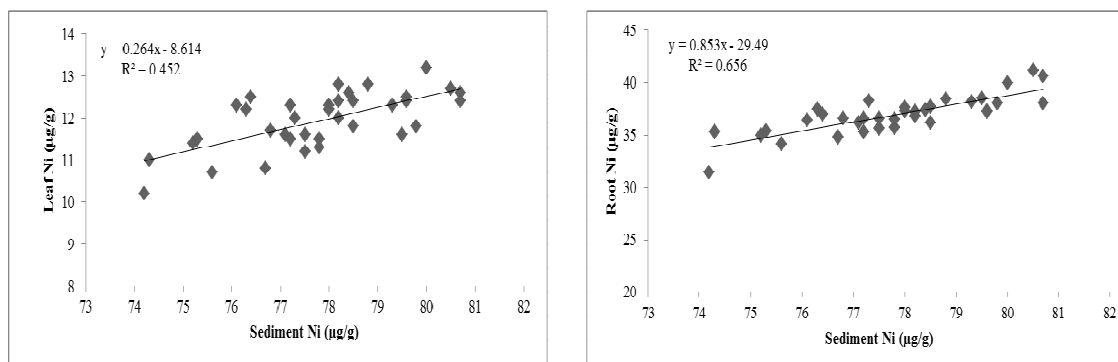
یافته‌های این مطالعه نشان داد مطابق جدول ۱، غلظت فلز سرب در رسوبات منطقه مطالعه شده بین ۱۷/۳ و ۲۲/۳، در ریشه‌ها در دامنه ۲/۷ تا ۸/۷ و در برگ‌ها صفر و ۳/۷ میکروگرم بر گرم نوسان دارد. غلظت این فلز در رسوب، ریشه و برگ ایستگاه‌های مختلف نشان داد که تفاوت معناداری در هیچ یک از ایستگاه‌ها وجود ندارد ($P > 0.05$). با وجود این همبستگی بالا و شایان توجهی بین غلظت سرب در رسوب با ریشه و برگ مشاهده شد ($P < 0.01$). یافته‌های این پژوهش مطابق جدول ۲ نشان داد میزان انتقال فلز سرب که عبارت است از نسبت میزان فلز موجود در

جدول ۱. غلظت فلزات سنگین سرب و نیکل (میکروگرم بر گرم) در رسوبات سطحی، ریشه و برگ درختان حرا در منطقه مطالعه شده

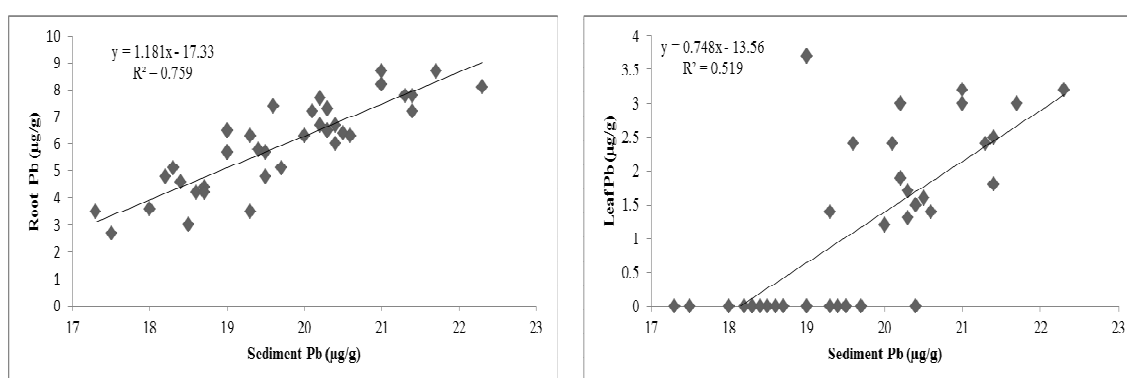
بافت		Ni	Pb
رسوبات سطحی	میانگین	۷۷/۸	۱۹/۷۱
	حداکثر	۸۰/۷	۲۲/۳
	حداقل	۷۴/۲	۱۷/۳
	انحراف معیار	۱/۷	۱/۲۱
ریشه	میانگین	۳۶/۹۲	۵/۹۵
	حداکثر	۴۱/۲	۸/۷
	حداقل	۳۱/۴	۲/۷
	انحراف معیار	۱/۷۹	۱/۶۵
برگ	میانگین	۱۱/۹۴	۱/۱۸
	حداکثر	۱۳/۲	۳/۷
	حداقل	۱۰/۲	۰
	انحراف معیار	۰/۶۶	۱/۲۶

جدول ۲. میانگین فلزات سنگین در رسوب، ریشه و برگ و میزان انتقال آن‌ها در بافت حرا ($\mu\text{g g}^{-1}$)

بافت	رسوب	ریشه	برگ	ضریب انتقال به ریشه	ضریب انتقال به برگ
Pb	۱۹/۷	۵/۹۵	۱/۱۸	۰/۲۹	۰/۰۵
Ni	۷۷/۸	۳۶/۹۲	۱۱/۹۴	۰/۷۴	۰/۱۵



شکل ۲. روابط رگرسیونی میزان سرب در بین رسوب و بافت ریشه و برگ حرا



شکل ۳. روابط رگرسیونی میزان نیکل در بین رسوب و بافت ریشه و برگ حرا

(Parvaresh *et al.*, 2011; Defew *et al.*, 2005

مقدار پایین تری را نشان می‌دهد.

غلظت فلز نیکل در ریشه درخت حرا در این مطالعه با برخی مطالعات (Einollahi pir, 2011; Davari *et al.*, 2010) در رویشگاه‌های مشابه، مقدار کمتری از این فلز را نشان می‌دهد ولی میزان این فلز از مطالعه‌ای که Kalantarhormozi و همکاران (۲۰۱۱) در بندر امام خمینی انجام دادند، مقادیر بالاتری را نشان می‌دهد که احتمالاً ناشی از بالاتر بودن غلظت این فلز در رسوبات است. فلز نیکل در برگ درختان حرا در این منطقه از مطالعات Einollahi pir (۲۰۱۲) در خلیج گواتر و Parvaresh و همکاران (۲۰۱۱) در رویشگاه حرا واقع در خور آذینی بیشتر بوده ولی در مقایسه با مطالعه Davari و همکاران (۲۰۱۰) در استان بوشهر از میزان کمتری برخوردار است.

۴. بحث و نتیجه گیری

غلظت فلز سرب در ریشه درختان حرا در این منطقه مطابق جدول ۳ نسبت به سایر مطالعات انجام شده (MacFarlane *et al.*, 2003; Kamaruzzaman *et al.*, 2011; Davari *et al.*, 2011) از مقادیر پایین تری برخوردار است که احتمالاً بالا بودن آن در ریشه درختان حرا در مطالعات یاد شده ناشی از بالا بودن میزان فلز در رسوبات است. اما در مطالعه مشابهی غلظت این فلز در گیاه *Avicennia maria* کمتر از این میزان به دست آمد (Nirmal Kumar *et al.*, 2010). همچنین مطابق جدول ۳ غلظت فلز سرب در برگ درختان حرا در منطقه مطالعه شده از تمامی مطالعات مقایسه شده در رویشگاه‌های مشابه Davari *et al.*, 2011; Shirvani Mahdavi *et al.*, 2012; Nirmal Kumar *et al.*, 2010;

جدول ۳. مقایسه الگوی تجمع فلزات سنگین در ریشه و برگ درخت حرا در با سایر مناطق

منطقه	Ni	Pb	منبع	نمونه
ایران (خلیج گواتر)	۴۲/۶۳	*	Einollahi pir, 2012	ریشه
ایران (بندر امام خمینی)	۱/۴۷	*	Kalantar hormozi <i>et al.</i> , 2011	
ایران (بوشهر)	۴۴/۵۲	۱۲۶/۲۶	Davari <i>et al.</i> , 2010	
هند	ناچیز	*	Lotfinasabasl & Gunale, 2012	
مالزی	*	۱۸/۲۱	Kamaruzzaman <i>et al.</i> , 2011	
هند	*	۱/۵۷	Nirmal Kumar <i>et al.</i> , 2010	
استرالیا	*	۱۶۴	MacFarlane <i>et al.</i> , 2003	
	۲۴/۱	۴/۱۴	Current study, 2012	
ایران (خلیج گواتر)	۱/۵۲	*	Einollahi pir, 2012	برگ
ایران (بوشهر)	۴۰/۱۳	۳۹/۰۱	Davari <i>et al.</i> , 2010	
ایران (قشم)	*	۱۱/۸۲	Shirvani Mahdavi <i>et al.</i> , 2012	
ایران (خورآذینی)	۸/۴۱	۸/۰۶	Parvaresh <i>et al.</i> , 2011	
هند	*	۰/۸۴	Nirmal Kumar <i>et al.</i> , 2010	
پاناما	*	۶/۲	Defew <i>et al.</i> , 2005	
	۱۱/۸۹	۰/۷	Current study, 2012	

مقایسه با سایر اندامها باشد. همانطور که مطالعه Waker و Baker (۱۹۹۰) بر روی این گیاه نشان داد تجمع فلزات سنگین در بافت گیاهی تا حدودی تحت تأثیر نیاز متابولیک گیاه است. بررسی Kannappan و همکاران (۲۰۱۲) نیز نشان داد اگرچه میزان برخی فلزات در بافت گیاهی کمتر از میزان آن در رسوبات است، فلزات می‌توانند در برخی بافت‌های گیاه به‌ویژه ریشه و یا برگ تجمع یابند. فلزات در مقادیر بالا از ریشه به ساقه و سپس به برگ‌ها منتقل می‌شوند و میزان حرکت رو به بالای آن‌ها در گیاه به میزان تحرک فلز نیز بستگی دارد. علاوه بر این نقش مانگروها در جذب فلزات سنگین تحت تأثیر سن درخت، میزان رشد و تولیدات بیومس گیاه قرار دارد. Mremi و Machiwa (۲۰۰۳) در پژوهش خود علاوه بر فاکتورهای فوق، فاکتورهای محیطی مانند شرایط اکسیداسیون و احیا، محتویات مواد آلی رسوبات، pH و میزان شوری در رسوبات را نیز در میزان جذب فلزات توسط گیاه دخیل دانستند.

نتایج نشان‌دهنده تحرک پایین فلز سرب و نیکل از ریشه به برگ گیاه و مشابه مطالعه Davari و همکاران (۲۰۱۰) در رویشگاه استان بوشهر است. همچنین همبستگی معناداری بین غلظت فلزات سرب و نیکل موجود در رسوب و ریشه و رسوب و برگ وجود دارد. به این معنا همان‌طور که بررسی‌های MacFarlane و همکاران (۲۰۰۳) نشان می‌دهد، بالابودن غلظت فلزات در بافت گیاهی می‌تواند منعکس‌کننده غلظت فلزات در رسوبات منطقه باشد. وجود همبستگی معنادار بین غلظت فلزات تجمع یافته در رسوب و ریشه می‌تواند دلیلی بر توانایی این گیاه در جذب فلزات سرب و نیکل باشد.

همچنین مقایسه غلظت فلزات سرب و نیکل در رسوب، ریشه و برگ در ایستگاه‌های مختلف نشان می‌دهد که در تمام ایستگاه‌ها رسوب با اختلاف نسبتاً زیادی، بیشتر از ریشه و به دنبال آن در ریشه بالاتر از برگ‌هاست. در تمام ایستگاه‌ها غلظت فلزات در برگ کمتر از ریشه و رسوب مشاهده شد که این می‌تواند ناشی از تماس مستقیم ریشه با رسوبات در

احتمالاً غلظت بالای فلزات نیکل و سرب در رسوبات منطقه، عامل انتقال این فلزات از طریق ریشه به گیاه است، با این وجود نتایج نشان دهنده تحرک پایین فلز سرب و نیکل از ریشه به برگ درختان حراست. همچنین از آنجاکه میزان جذب فلز نیکل توسط ریشه متناسب با غلظت این فلز در رسوبات است بنابراین، احتمالاً می‌توان از این گیاه به‌منزله‌نماگر زیستی (بایواندیکاتور) مناسبی برای آلودگی ناشی از نیکل در مناطق ساحلی استفاده کرد. همچنین با توجه به وجود همبستگی معنادار بین غلظت فلزات موجود در رسوب و ریشه، این گیاه ممکن است بتواند نقش درخور توجهی در حذف این فلزات از رسوبات و پیکره‌های آبی داشته باشد.

با توجه به یافته‌های این مطالعه رسوبات، ریشه و برگ درختان دست کاشت حرا در پهنه‌های گلی بندر امام آلوده به فلزات سنگین نیکل و سرب است. با وجود این غلظت فلز سرب در رسوب، ریشه و برگ درختان حرا از مقادیر پایین‌تری نسبت به برخی رویشگاه‌های کشور برخوردار است. اما فلز نیکل از رویشگاه‌هایی که فاقد توسعه صنعتی در پیرامون خود هستند (مانند گواتر و سیریک) بالاتر و در رویشگاه‌هایی که به‌شدت در معرض توسعه صنعتی به‌ویژه صنایع نفت و گاز قرار دارند (بوشهر) پایین‌تر است. با توجه به اینکه در تمام ایستگاه‌ها غلظت فلزات در برگ پایین‌تر از ریشه و در ریشه کمتر از رسوب است و همچنین با توجه به همبستگی آماری میان غلظت فلزات بررسی شده در رسوب، ریشه و برگ با یکدیگر،

REFERENCES

- Aizpuru, M., F. Achard, and F. Blasco, 2000. Global Assessment of Cover Change of the Mangrove Forest Using Satellite imagery at Medium to High resolution. EEC Research Project no. 15017-1999-05 FIED ISP FR. Joint Research Center, Ispra.
- Alongi, D.M. 2002. Present State and Future of the World's Mangrove Forests. *Environmental Conservation*, 29(3): 331-349.
- Baker, A.J. and P.I. Walker, 1990. Ecophysiology of Metal Uptake by Tolerant Plants. In: Shaw AJ (ed) *Heavy Metal Tolerance in Plants; Evolutionary Aspects*. CRC Press, Florida : 155-178.
- Bryan GW. 1979. Bioaccumulation of Marine Pollutants. *Phil Trans R Soc Lond B* 286: 483-505.
- Davari, A., A.Danehkar, N.Khorasani and A.Javanshir. 2010. An Investigation on Accumulation of Heavy Metals in Roots and Leaves of *Avicennia marina* the Sediment, Bushehr, the Persian Gulf. *Journal of Natural Environment*, 63: 267-276.
- Defew, L.H., J.M. Mair, H.M. Guzman. 2005. An Assessment of Metal Contamination in Mangrove Sediments and leaves from Punta Mala Bay, Pacific Panama. *Marine Pollution Bulletin* 50: 547-552.
- Einollahi pir, F. 2012. Survey of Heavy Metals Cd, Cu, Ni and Zn Accumulation in the Sediment and Different Tissues of *Avicennia marina* in Gulf of Gowater, Oman Sea. *Oceanography* 3: 73-82.
- Ellison, A.M., E.J. Farnsworth. 1996. Anthropogenic Disturbance of Caribbean Mangrove Ecosystems: Past Impacts, Present Trends and Future Disturbances. *Biotropica* 28: 549-565.
- Ferletta, M., P.Bramer, A.K.Semesi, M.Bjork. 1996. Heavy Metal Contents in Macroalgae in the Zanzibar Channele an Initial Study. In: Bjork, M., A.K. Semesi, M.Perdersen, B.Bergman (Eds.), *Current Trends in Marine Botanical Research in the East African Region. Proceedings on the Biology of Macroalgae and Seagrasses in the Western Indian Ocean*. Sida, Stockholm: 332e346.
- Furukawa, K., E. Wolanski and H. Mueller. 1997. Currentsand Sediment Transport in Mangrove Forests. *Estuar.Coast. Shelf Sci.* 44: 301-310.

11. Kalantarhormozi, S., M. Javaheri Baboli, A. Askari Sari. 2012. Role of Organic Matter on Nickel, Mercury and Cadmium Variation in Sediment and leaf of Mangrove Forest (*Avicennia marina*) in Imam Khomeini Coastal area. *Journal of Khoramshahr marine science and Technology* 11: 68-76.
12. Kamaruzzaman, B. Y., M. Z. Rina Sharlinda, B. Akbar John, A. Siti Waznah. 2011. Accumulation and Distribution of Lead and Copper in *Avicennia marina* and *Rhizophora apiculata* from Balok Mangrove Forest, Pahang, Malaysia. *Sains Malaysiana* 40(6): 555-560.
13. Kannappan, T., M. Shanmugavelu, M.M. Karthikeyan. 2012. Concentration on Heavy Metals in Sediment and Mangroves from Manakudy Estuary. *European Journal of Biological Sciences* 4 (4): 109-113.
14. Kathiresan, K. and B.L. Bingham. 2001. Biology of Mangroves and Mangrove ecosystems. *Advance. Mar. Biol.* 40: 81-251.
15. Kathiresan, K. 2002. Greening the Blue Mud! *Rev. Biol. Trop.* 50: 869-874.
16. Lawton, J.R., Todd, A., Naidoo, D.K., 1981. Preliminary investigations into the structure of the roots of the mangroves, *Avicennia marina* and *Bruguiera gymnorrhiza*, in relation to ion uptake. *New Phytologist* 88: 713-722.
17. Macfarlane, G.R., Koller, C.E., Blomberg, S.P., 2007. Accumulation and partitioning of heavy metals in mangrove: A synthesis of field-based studies. *Chemosphere* 69: 1454-1464.
18. MacFarlane, G.R. 2002. Leaf Biochemical Parameters in *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh as Potential Biomarkers of Heavy Metal Stress in Estuarine Ecosystems. *Marine Pollution Bulletin* 44: 244-256.
19. MacFarlane, G.R., A. Pulkownik, M.D. Burchett. 2003. Accumulation and Distribution of Heavy Metals in the Grey Mangrove, *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh.: Biological Indication Potential. *Environmental Pollution* 123 :139-151.
20. Mansouri, F., A. Danehkar, S. Ashrafi. 2012. Effectiveness Assessment of Grey Mangrove Plantation in Imam Khomeini Port Mudflat to Improve Shore Erea. 10th International Conference on Coasts, Ports and Marine Structures, Iran : 932-945.
21. Mermi S.D., Machiwa J.F., 2003. Heavy metal contamination of mangrove sediment and associated biota in DAR ES SALAAM, Tanzania, *Tanzania Journal of Science*, 29(1): 61-75.
22. Nirmalkumar, I. J., P. R. Sajish, R. Nirmal Kumar, G. Basil, V. Shailendra. 2012. An Assessment of the Accumulation Potential of Pb, Zn and Cd by *Avicennia marina* (Forssk.) Vierh. In *Vamleshwar Mangroves*, Gujarat, India. *Not Sci Biol*, 3(1):36-40.
23. Odum, E.P. 1971. *Fundamentals of Ecology*. Philadelphia: W.B Saunders Company and Toppan Company: 574-575.
24. Parvaresh, H., Z. Abedi, F. Farshchi, M. Karami, N. Khorasani and A. Karbassi. 2011. Bioavailability and Concentration of Heavy Metals in the Sediments and Leaves of Grey Mangrove, *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh, in Sirik Azini Creek, Iran. *Biol Trace Elem Res*, DOI 10.1007/s12-010-8891-y.
25. Shirvani Mahdavi, E., A. E. Khajeh Rahimi, H. Vakili Amini. 2012. Pb and Cd Accumulation in *Avicennia marina* from Qeshm Island, Persian Gulf. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 11(4): 867-875.
26. Tam, N.F.Y., Y.S. Wong. 2000. Spatial Variation of Heavy Metals in Surface Sediments of Hong Kong Mangrove Swamps. *Environmental Pollution* 110:195-205.
27. Temu, S.S. 2001. Cost-recovery in Urban Water Supply and Sewerage Services. In: Francis, J., Mohammed, S. (Eds.), *Consultative Meeting on Municipal Wastewater for the Eastern Africa Region*. Report of the Meeting. United Nations Environment Programme (UNEP), UNEP/GPA Coordination Office. National Environment Management Council (NEMC) and Western Indian Ocean Marine Science Association (WIOMSA).
28. Thompson, M.F., N.M. Tirmizi. 1995. *Mangrove Soil: Its Mineralogy and Texture*. Rotterdam: A.A. Balkema: 431-439.
29. Wang F., J.S. Chen. 2000. Relation of Sediment Characteristics to Trace Metal Concentration: a Statistical Study. *Wat Res*, 34:694-698.
30. Wolanski, E. 1994. In *Physical Oceanography Processes of the Great Barrier Reef*. CRC, Boca Raton, Florida.

-
31. Wolanski, E. 1995. Transport of sediment in mangrove swamps. *Hydrobiologia*, 295: 31-42.
32. Wolanski, E., Y. Mazda, and P. Ridd, 1992. Mangrove Hydrodynamics. In: A.I. Robertson and D.M. Alongi (Eds.), "Coastal and Estuarine Studies :Tropical Mangrove Ecosystems". American Geophysical Union, Washington DC., USA: 43-62.
33. Woodroffe, C. 1992. Mangrove Sediments and Geomorphology. In : A.I. Robertson and D.M. Alongi (Eds.), "Coastal and Estuarine Studies:Tropical Mangrove Ecosystem". American Geophysical Union, Washington DC., USA: 7-41.