

بررسی میزان تجمع فلزات سنگین Cu، Cd، Ni و Zn در رسوبات و بافت‌های درخت حرا *Avicennia marina* در خلیج گواتر، دریای عمان

فاطمه عین‌اللهی پیر

عضو هیأت علمی گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل، استان سیستان و بلوچستان، زابل، پست الکترونیکی: fateme.eynollahi@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۹۱/۶/۲۸

* نویسنده مسوول

تاریخ دریافت: ۹۰/۶/۱۹

© نشریه علمی - پژوهشی اقیانوس‌شناسی ۱۳۹۱، تمامی حقوق این اثر متعلق به نشریه اقیانوس‌شناسی است.

چکیده

نمونه‌برداری از رسوب و هر یک از بافت‌های ریشه، ساقه، برگ و گل درخت حرا در تابستان ۱۳۸۹ در خلیج گواتر انجام شد. پس از آماده سازی، غلظت هر یک از فلزات توسط دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. الگوی تجمع فلزات در رسوبات به صورت $Ni > Zn > Cu > Cd$ به دست آمد. این الگو برای بافت‌های ریشه، ساقه، برگ و گل به ترتیب به صورت $Ni > Cu > Zn > Cd$ ، $Zn > Cu > Ni > Cd$ ، $Zn > Cu > Ni > Cd$ و $Zn > Cu > Ni > Cd$ به دست آمدند. بر اساس میزان فاکتور تجمع زیستی (Bioconcentration Factor) BCF بافت‌های گیاه می‌توانند شاخص زیستی مناسبی برای فلز کادمیوم در منطقه باشند. ریشه و ساقه نیز می‌تواند شاخص مناسبی برای فلز مس در منطقه محسوب شوند. برای فلز نیکل نیز ریشه شاخص مناسبی در منطقه بوده و بالا بودن میزان TF (Transition Factor) در کلیه فلزات مورد بررسی نشان دهنده‌ی نقش موثر ریشه *A. marina* در انتقال فلزات به بخش‌های مختلف است. عامل موثر در نسبت‌های متفاوت فلزات می‌تواند ناشی از دسترسی زیستی و ضروری و غیر ضروری بودن فلزات برای گیاه باشد.

کلمات کلیدی: فلزات سنگین، رسوب، درخت حرا، خلیج گواتر.

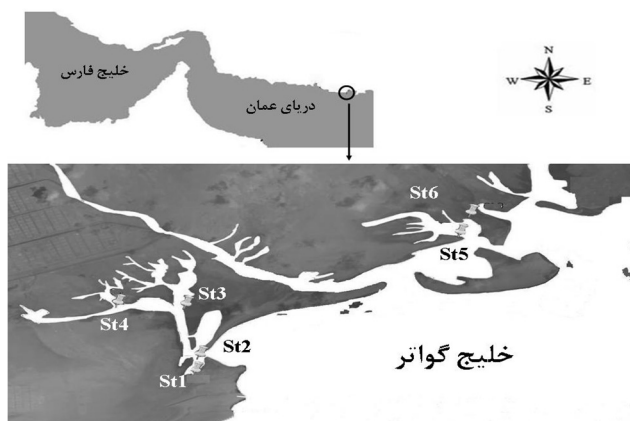
۱. مقدمه

مستقیم به محیط زیست دریایی است، که اثر نامطلوبی در برداشته و خطراتی برای منابع زنده دریایی و سلامت انسان ایجاد می‌کند (Krasulya, 2001; Hsu et al., 2006). به دلیل حساسیت بالای مناطق ساحلی به آلاینده‌ها، زیستگاه‌های ساحلی نسبت به سایر زیستگاه‌های دریایی استعداد بیشتری برای بروز اثرات آلودگی دارند (Morrisey et al., 2003). در بین آلاینده‌های مختلف زیست محیطی، فلزات سنگین به

رشد سریع جمعیت و توسعه مراکز مسکونی، تجاری، صنعتی و کشاورزی سبب شده تا زباله‌ها و فاضلاب‌های انسانی افزایش یافته و موجب آلودگی بوم‌سامانه‌های مختلف از جمله محیط‌های دریایی شوند. آلودگی دریا شامل ورود هر گونه مواد یا انرژی توسط انسان به شکل مستقیم یا غیر

۲. مواد و روش‌ها

شکل ۱ منطقه‌ی مورد مطالعه را نشان می‌دهد. برای انجام کار در خلیج گواتر ۶ نقطه انتخاب و نمونه‌برداری از هر یک از نواحی در تابستان ۱۳۸۹ و به هنگام جزر انجام شد. جدول ۱ موقعیت جغرافیایی نقاط نمونه‌برداری را نشان می‌دهد. تمامی ظروف مورد استفاده در مراحل مختلف توسط اسیدنیتریک ۱۰ مولار به مدت ۲۴ ساعت اسیدشویی شدند (MacFarlane et al., 2003; Agoramoorthy et al., 2008). برای برداشت رسوب از بیلچه فولادی استفاده شد و تعداد ۳ تکرار از هر ایستگاه صورت گرفت. رسوبات برداشت شده در ظروف پلی اتیلنی اسیدشویی شده قرار داده شدند و توسط یخدان حاوی یخ به آزمایشگاه انتقال یافتند.



شکل ۱: منطقه‌ی مورد مطالعه در خلیج گواتر

رسوبات برداشت شده در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد توسط آون به مدت ۳ روز کاملاً خشک شدند. سپس نمونه‌های خشک شده توسط هاون پودر شده و با الک ۶۳ میکرون الک گردیدند و در پلاستیک‌های تمیز از اسیدشویی شده، نگهداری شدند (Nazli and Hashim, 2010). برای هضم رسوبات، یک گرم رسوب خشک شده توسط ۱۰ میلی لیتر مخلوط اسیدنیتریک خالص غلیظ (۶۵٪) و اسیدکلریدریک به نسبت ۴:۱ هضم شدند. نمونه‌ها ابتدا به مدت ۲ ساعت در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد و سپس به مدت ۳ ساعت در دمای ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد توسط Hot Plate هضم شدند. نمونه‌های هضم شده در دمای اتاق قرار داده شدند. سپس نمونه‌ها توسط آب دو بار تقطیر تا حجم ۵۰ میلی لیتر رقیق و توسط کاغذ صافی واتمن ۴۲ میکرون فیلتر شدند (Abdul-Wahab and Jupp, 2009).

واسطه‌ی سمیت، ماندگاری بالا، تجزیه‌ناپذیری و همچنین توان تجمع زیستی از مهمترین ترکیبات موجود در بوم‌سامانه‌های مختلف هستند که مورد توجه قرار می‌گیرند (MacFarlane and Burchett, 2000).

بررسی‌های انجام شده در بوم‌سامانه‌های دریایی نشان می‌دهد که غلظت فلزات سنگین در رسوبات این مناطق به ویژه رسوبات جنگل‌های مانگرو، ۳ تا ۵ بار بیش از میزان آبهای مناطق فوق است (Zabetoglou et al., 2002). از سوی دیگر در بین انواع رسوبات، رسوبات جنگل‌های مانگرو پتانسیل بالایی در ذخیره‌سازی فلزات سنگین از آب در مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری دارند (Kamaruzzaman et al., 1998; Tam and Wong, 1996; Clark et al., 2008). توانایی بالای جذب و نگهداری فلزات سنگین محیطی در رسوبات مانگرو به دلیل خصوصیات فیزیکی و شیمیایی این دسته از رسوبات است (Harbison, 1986; Qiu et al., 2011). رسوبات جنگل‌های مانگرو بیشتر در شرایط غیر هوایی بوده و دارای ترکیبات آلی بسیار بالایی هستند. بنابراین رسوبات فوق شاخص مناسبی از دریافت و تجمع فلزات سنگین هستند (Tam and Wong, 2000). همچنین این دسته از رسوبات قادرند آلودگی‌های بلند مدت به وجود آمده توسط فعالیت‌های انسانی را نشان دهند (Lacerda et al., 1992; Perdomo et al., 1998; Harris and Santos, 2000; Tam and Wong, 2000) و نیز قابلیت انتقال آلودگی‌های فوق به گیاهان مانگرو را دارند (Defew et al., 2005). نتایج نشان داده است که بین غلظت فلزات سنگین و کاهش رشد گیاه مانگرو ارتباط معنی‌داری وجود دارد (Tam and Wong, 1997; Machado et al., 2002). بر این اساس برای اطمینان از حفاظت بهینه مانگروها در هر ناحیه، اندازه‌گیری میزان فلزات سنگین در رسوبات و بافت‌های گیاه مانگرو ضروری به نظر می‌رسد. خلیج گواتر ضمن دارا بودن فعالیت‌های صید و صیادی و دریافت پساب‌های کشاورزی از طریق رودخانه‌های بالادست، دارای وسعت مناسبی از جنگل‌های مانگرو است. هدف از انجام این مطالعه، بررسی غلظت فلزات سنگین *Ni*، *Cu*، *Cd*، *Zn* در رسوب و بافت‌های مختلف درخت حرا (ریشه، ساقه، برگ و گل)، مقایسه الگوی تجمع فلزات در بخش‌های مختلف گیاه و همچنین بررسی فاکتور انتقال و تجمع زیستی فلزات سنگین توسط بافت‌های گیاه در خلیج گواتر است.

۱-۲. تجزیه و تحلیل آماری

جهت انجام تجزیه و تحلیل‌های آماری از نرم افزار SPSS نسخه ۱۳ استفاده شد. قبل از انجام آنالیزهای آماری، نرمال بودن داده‌ها توسط آزمون Kolmogorov-Smirnov بررسی گردید. پس از حصول اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، تفاوت غلظت هر یک از فلزات در بین بافت‌های مختلف گیاه (ریشه، ساقه، برگ و گل) و رسوبات توسط آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه یا One way ANOVA بررسی شد و برای جدا کردن دسته‌ها از پس آزمون Tukey (Tukey post hoc) استفاده شد. برای رسم نمودارها نیز از نرم افزار Excel استفاده شد.

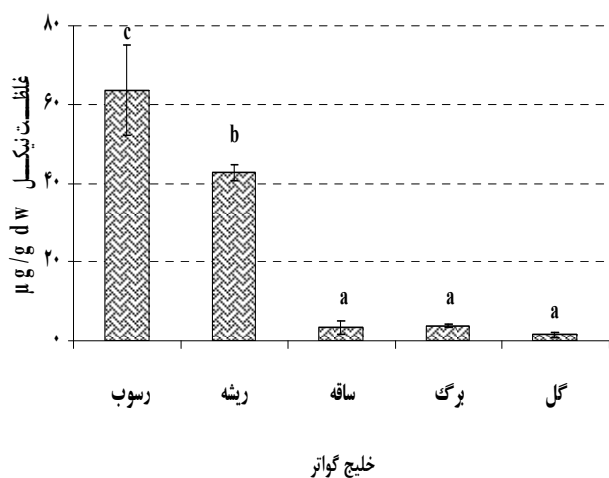
۳. نتایج

میانگین غلظت فلزات سنگین اندازه‌گیری شده در نمونه‌های مختلف در هر یک از نقاط نمونه‌برداری شده در جداول ۲ تا ۶ ارائه شده است. این مقادیر غلظت متوسط فلزات در هر یک از نقاط نمونه‌برداری را نشان می‌دهند. پس از به‌دست آمدن این غلظت‌ها، غلظت متوسط هر یک از فلزات برای نمونه‌های رسوب و بخش‌های مختلف گیاه به‌دست آمد که به‌صورت میانگین کل در هر یک از جدول‌ها نشان داده شد. به‌منظور مقایسه الگوی تجمع فلزات و همچنین بررسی میزان فاکتور تجمع زیستی و فاکتور انتقال فلزات از مقدار متوسط غلظت فلزات در منطقه استفاده گردید. نتایج نشان داد غلظت‌های Cd، Ni، Cu و Zn در کل رسوبات خلیج گواتر به‌ترتیب ۰/۲۵، ۰/۶۳/۵۷، ۰/۲۱/۲۷ و ۰/۴۵/۹۱ میکروگرم بر گرم و در بافت‌های گیاه به‌طور متوسط به‌ترتیب ۰/۳۴، ۰/۱۲/۷۶، ۰/۹/۲۰ و ۰/۱۱/۹۰ میکروگرم بر گرم وزن خشک بود. بیشترین غلظت فلز کادمیوم ($\mu\text{g.g}^{-1} \text{d.w}$) در برگ درخت حرا به‌دست آمد. در عین حال کمترین غلظت فلز کادمیوم نیز در رسوب منطقه و ساقه درخت حرا (به‌ترتیب ۰/۲۴ و ۰/۲۵ $\mu\text{g.g}^{-1} \text{d.w}$) اندازه‌گیری شدند (ANOVA, $P < 0.05$). غلظت این فلز در بین ریشه و گل تفاوت معنی‌داری نداشت (ANOVA, $P > 0.05$) (شکل ۲). شکل‌های ۳ و ۴ غلظت فلزات مس و نیکل را در بین نمونه‌های مختلف نشان می‌دهد. تفاوت غلظت فلزات مس و نیکل در بین نمونه‌های مختلف معنی‌دار بود. بر این اساس بیشترین غلظت این فلزات در رسوب و سپس در ریشه اندازه‌گیری شد. کمترین غلظت فلزات

جدول ۱: موقعیت جغرافیایی نقاط نمونه‌برداری شده در خلیج گواتر

موقعیت جغرافیایی	نقاط
N ۲۵° ۰۹' ۴۹/۹۳"	E ۶۱° ۲۹' ۳۲/۶۱"
N ۲۵° ۱۰' ۰۴/۷۶"	E ۶۱° ۲۹' ۳۷/۷۰"
N ۲۵° ۱۰' ۵۲/۷۵"	E ۶۱° ۲۹' ۳۱/۷۸"
N ۲۵° ۱۰' ۵۷/۵۸"	E ۶۱° ۲۸' ۴۴/۵۰"
N ۲۵° ۱۱' ۴۷/۴۳"	E ۶۱° ۳۳' ۴۶/۷۶"
N ۲۵° ۱۳' ۶/۶۴"	E ۶۱° ۳۳' ۵۵/۴۳"

برای تعیین غلظت فلزات سنگین در هر یک از بافت‌های درخت حرا از هر یک از بافت‌های ریشه، ساقه، برگ و گل از هر ایستگاه تعداد ۳ تکرار برداشت گردید. نمونه‌های برداشت شده در بسته‌های پلاستیکی تمیز قرار داده شدند و توسط یخدان حاوی یخ به آزمایشگاه انتقال یافتند. بافت گیاه پس از شستشو در آب مقطر توسط آون در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند. بافت‌های خشک شده توسط هاون چینی پودر و تا شروع مراحل بعدی آزمایش در یخچال نگهداری شدند. برای هضم بافت‌های گیاه از نمونه‌های پودر شده برای هر ایستگاه تعداد ۳ تکرار هضم شد. یک گرم از هر بافت در هر ایستگاه در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد توسط Hot plate توسط ۱۰ میلی لیتر از مخلوط اسیدنیتریک غلیظ و هیدروژن پروکسید به مدت ۲ ساعت هضم شدند. نمونه‌های هضم شده پس از سرد شدن در دمای آزمایشگاهی تا حجم ۵۰ میلی لیتر رقیق شده و توسط کاغذ صافی ۴۲ میکرون فیلتر شدند (MacFarlane et al., 2003; Macfarlane et al., 2007). غلظت فلزات سنگین توسط دستگاه جذب اتمی (FAAS) Konic مدل Nova 300 بر حسب میکروگرم بر گرم وزن خشک ($\mu\text{g.g}^{-1} \text{d.w}$) اندازه‌گیری شدند. حد تشخیص (LOD) فلزات Cd، Ni، Cu و Zn توسط دستگاه به‌ترتیب ۰/۰۲، ۰/۱۸، ۰/۱۰ و ۰/۰۴ $\mu\text{g.g}^{-1} \text{d.w}$ بود. جهت بررسی صحت داده‌ها از محلول‌های استاندارد با غلظت‌های مشخص استفاده شد. برای تهیه محلول استاندارد فلز نیکل از نمک نیترات نیکل ($\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$)، مس از نیترات مس ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$)، کادمیوم از نیترات کادمیوم ($\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$) و فلز روی از کلرید روی (ZnCl_2) با درجه خلوص بالا از محصولات کارخانه مرک آلمان استفاده شد. میزان غلظت هر یک از نمونه‌های استاندارد با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد و سپس نسبت غلظت‌های اندازه‌گیری شده به غلظت ساخته شده بررسی گردید. بر اساس نتایج حاصل از بررسی این نسبت، میزان صحت داده‌ها برای فلزات Cd، Ni، Cu و Zn به‌ترتیب ۰/۹۷، ۰/۹۸، ۰/۹۸ و ۰/۹۶ به‌دست آمد.



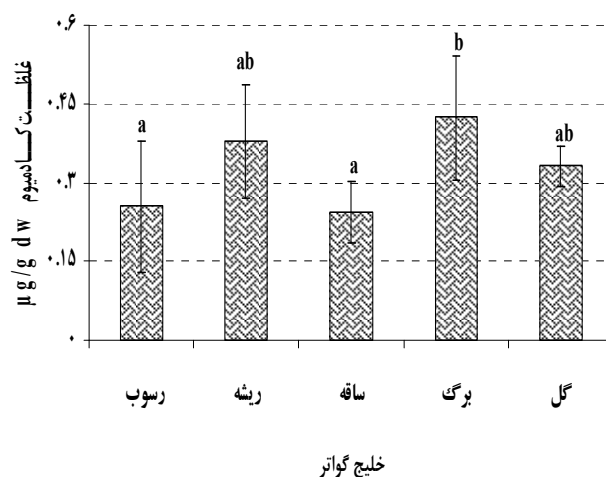
شکل ۴: مقایسه غلظت فلز نیکل در بین نمونه‌های مختلف، انحراف معیار (SD) و نتایج آزمون توکی در شکل نمایش داده شده است.



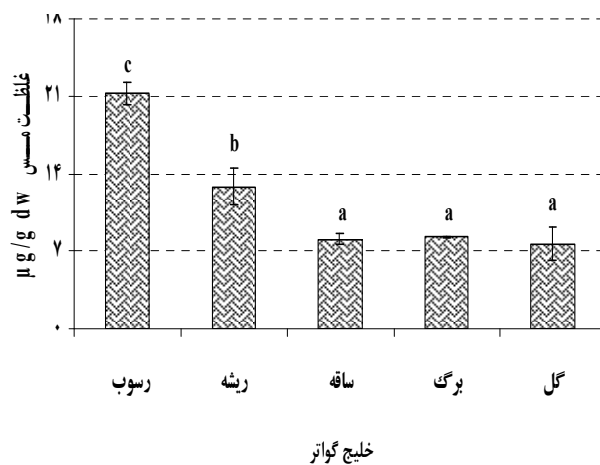
شکل ۵: مقایسه غلظت فلز روی در بین نمونه‌های مختلف، انحراف معیار (SD) و نتایج آزمون توکی در شکل نمایش داده شده است.

جهت مقایسه الگوی تجمع فلزات از مقادیر متوسط به‌دست آمده برای منطقه که در جداول ۲ تا ۶ آورده شده است، استفاده گردید. بر اساس این مقایسه‌ها، الگوی تجمع فلزات در رسوبات ایستگاه‌های مختلف به‌صورت $Ni > Zn > Cu > Cd$ به‌دست آمد. غلظت بالای فلز نیکل در رسوبات این منطقه می‌تواند ناشی از سنگ اوفیولیت بستر باشد که حاوی غلظت بالایی از سولفید نیکل است (Goodenough et al., 2009). بنابراین غلظت فلز نیکل در رسوبات خلیج گواتر می‌تواند منشأ طبیعی داشته باشد. Kamaruzzaman و همکاران (۲۰۰۲) عامل افزایش دهنده‌ی

مس و نیکل نیز در سایر بافت‌ها به‌دست آمد ($P < 0.05$, ANOVA). بر اساس نتایج به‌دست آمده، بیشترین غلظت فلز روی در رسوب و سپس در گل اندازه‌گیری شد. کمترین غلظت این فلز نیز در ساقه به‌دست آمد ($P < 0.05$, ANOVA)، درحالی‌که غلظت این فلز در بین سایر بافت‌ها تفاوت معنی‌داری نداشت ($P > 0.05$, ANOVA) (شکل ۵).



شکل ۶: مقایسه غلظت فلز کادمیوم در بین نمونه‌های مختلف، انحراف معیار (SD) و نتایج آزمون توکی در شکل نمایش داده شده است.



شکل ۷: مقایسه غلظت فلز مس در بین نمونه‌های مختلف، انحراف معیار (SD) و نتایج آزمون توکی در شکل نمایش داده شده است.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

روند تجمع فلزات سنگین در رسوب و هر یک از بافت‌های گیاه حرا شامل ریشه، ساقه، برگ و گل در خلیج گواتر با سایر نقاط آبی جهان در جداول ۷ و ۸ مقایسه شده است.

Zn>Cu>Ni>Cd به دست آمدند. بر اساس الگوهای به دست آمده از تجمع فلزات می توان اظهار داشت، از آنجایی که ریشه در تماس مستقیم با رسوبات است، تجمع فلزات در رسوب می تواند بر روند تجمع آنها در ریشه تأثیرگذار باشد. در حالی که در دیگر بافت های گیاه غلظت فلزات سنگین می تواند بر اساس ضروری و یا غیر ضروری بودن روند متفاوتی نسبت به رسوب داشته باشد. افزایش غلظت فلزات روی و مس در بافت های گیاه در مقایسه با فلزات کادمیوم و نیکل می تواند ناشی از ضروری بودن فلزات مس و روی برای گیاه باشد. بر این اساس، غلظت این فلزات در بافت های این گیاه افزایش می یابد. Vardanyan و Ingole (۲۰۰۴)، با بررسی غلظت فلزات سنگین در بافت های گیاهان شورپسند در Sevan ارمستان و Carambolim هند نشان دادند که فلزات ضروری در بافت های گیاه تجمع بیشتری یافته و کمترین غلظت فلزات مربوط به عناصر غیر ضروری است.

غلظت فلزات سنگین در رسوبات مانگرو Kuala Kemaman را انسانی و ناشی از رواناب حاصل از رودخانه های بالادست این ناحیه (Kuala Kemaman) دانستند. بر اساس مقایسه الگوی تجمع فلزات سنگین در خلیج گواتر با تعدادی از مطالعات انجام شده، روند تجمع فلزات در رسوبات خلیج گواتر تشابه بیشتری با روند تجمع فلزات در مطالعه Ohimian و همکاران (۲۰۰۹) داشت. تنها تفاوت غلظت فلزات سنگین در خلیج گواتر با سایر مناطق در غلظت فلز نیکل است. تفاوت این روند می تواند ناشی از غلظت بالای فلز نیکل در رسوب خلیج گواتر باشد.

روند تجمع فلزات سنگین در ریشه گیاه تمامی ایستگاه ها به صورت Ni>Cu>Zn>Cd به دست آمد. در عین حال این روند با روند تجمع فلزات سنگین در دیگر بافت های گیاه متفاوت بود. به طوری که در بافت های ساقه، برگ و گل در ایستگاه های مورد بررسی به ترتیب Zn>Cu>Ni>Cd، Zn>Cu>Ni>Cd و

جدول ۲: غلظت فلزات در رسوب در ایستگاه های مختلف (میکروگرم بر گرم وزن خشک) (Mean±SD)

ایستگاه ها	۱	۲	۳	۴	۵	۶	میانگین کل
Cd	۰/۱۹±۰/۰۳	۰/۱۸±۰/۰۱	۰/۴۰±۰/۰۸	۰/۴۱±۰/۰۲	۰/۱۷±۰/۰۳	۰/۸۶±۰/۰۱	۰/۲۵±۰/۱۲
Cu	۲۱/۳۵±۰/۸۴	۲۲/۲۸±۰/۳۲	۲۰/۲۰±۰/۹۰	۲۲/۴۴±۰/۱۰	۲۱/۴۲±۰/۲۱	۱۹/۹۶±۰/۲۹	۲۱/۲۷±۱/۰۱
Ni	۵۴/۴۶±۱/۶۱	۵۲/۱۳±۱/۷۳	۷۸/۲۴±۳/۳۶	۷۷/۱۰±۱/۱۵	۶۰/۲۲±۳/۸۲	۵۹/۲۶±۳/۱۲	۶۳/۵۷±۱۱/۵۱
Zn	۴۵/۱۵±۴/۹۰	۴۵/۷۸±۲/۲۰	۴۷/۶۱±۷/۳۲	۴۴/۹۰±۴/۵۸	۴۵/۴۲±۶/۳۰	۴۶/۶۰±۴/۰۸	۴۵/۹۱±۱/۰۳

جدول ۳: غلظت فلزات در ریشه *A. marina* ایستگاه های مختلف (میکروگرم بر گرم وزن خشک) (Mean±SD)

ایستگاه ها	۱	۲	۳	۴	۵	۶	میانگین کل
Cd	۰/۲۸±۰/۰۳	۰/۳۴±۰/۰۱	۰/۵۱±۰/۰۵	۰/۴۸±۰/۰۷	۰/۳۱±۰/۰۱	۰/۳۰±۰/۰۲	۰/۳۷±۰/۱۰
Cu	۱۰/۲۳±۰/۲۱	۱۲/۶۶±۰/۶۰	۱۲/۷۵±۰/۴۸	۱۵/۴۸±۰/۱۷	۱۳/۲۲±۰/۵۰	۱۲/۷۱±۰/۳۷	۱۲/۸۴±۱/۶۹
Ni	۳۹/۵۹±۰/۴۶	۴۱/۴۳±۰/۲۶	۴۲/۲۱±۰/۱۲	۴۵/۱۲±۰/۳۹	۴۴/۴۴±۰/۳۹	۴۲/۰۲±۱/۲۹	۴۲/۶۳±۲/۰۴
Zn	۱۰/۲۸±۰/۱۶	۱۱/۸۸±۱/۷۵	۱۳/۹۳±۰/۳۸	۱۴/۰۹±۰/۳۳	۱۱/۸۹±۱/۱۹	۱۰/۱۱±۰/۲۲	۱۲/۰۳±۱/۷۱

جدول ۴: غلظت فلزات در ساقه *A. marina* ایستگاه های مختلف (میکروگرم بر گرم وزن خشک) (Mean±SD)

ایستگاه ها	۱	۲	۳	۴	۵	۶	میانگین کل
Cd	۰/۲۰±۰/۰۱	۰/۱۹±۰/۰۵	۰/۲۸±۰/۰۶	۰/۳۴±۰/۰۲	۰/۲۵±۰/۰۸	۰/۲۱±۰/۰۲	۰/۲۴±۰/۰۵
Cu	۷/۳۲±۰/۱۵	۷/۹±۰/۷۶	۸/۷۷±۰/۱۴	۸/۳۳±۰/۱۲	۸/۰۵±۰/۲۸	۷/۸۸±۰/۳۹	۸/۰۴±۰/۴۹
Ni	۲/۰۸±۰/۰۲	۲/۳±۰/۱۶۲	۵/۰۵±۰/۵۲	۵/۰۹±۰/۲۶	۲/۹۲±۰/۳۲	۱/۸۶±۰/۱۲	۲/۲۲±۱/۷۷
Zn	۷/۴۰±۰/۹۳	۸/۱۴±۱/۱۳	۸/۹۲±۰/۲۵	۸/۴۷±۱/۱۳	۸/۲۰±۰/۲۰	۸/۵۶±۱/۰۱	۸/۲۸±۰/۵۱

جدول ۵: غلظت فلزات در برگ *A. marina* ایستگاه های مختلف (میکروگرم بر گرم وزن خشک) (Mean±SD)

ایستگاه ها	۱	۲	۳	۴	۵	۶	میانگین کل
Cd	۰/۲۰±۰/۰۱	۰/۲۰±۰/۰۶	۰/۶۷±۰/۰۲	۰/۶۴±۰/۱۴	۰/۴۴±۰/۰۸	۰/۴۱±۰/۱۰	۰/۴۲±۰/۲۱
Cu	۸/۲۰±۰/۲۵	۸/۲۲±۰/۲۰	۸/۲۹±۰/۱۲	۸/۳۱±۰/۵۲	۸/۴۸±۰/۲۳	۸/۱۱±۰/۷۲	۸/۲۶±۰/۱۳
Ni	۲/۹۶±۰/۱۹	۳/۹۹±۰/۴۳	۴/۰۱±۰/۳۱	۳/۹۶±۰/۴۴	۴/۲۰±۱/۶۰	۳/۰۶±۰/۲۳	۳/۶۹±۰/۵۴
Zn	۱۲/۰۴±۰/۵۳	۱۲/۴۶±۰/۷۷	۱۲/۴۰±۰/۲۵	۱۲/۴۵±۱/۴۴	۱۲/۴۵±۳/۸۹	۱۲/۳۲±۱/۲۵	۱۲/۳۳±۰/۱۵

جدول ۶: غلظت فلزات در گل *A. marina* ایستگاه‌های مختلف (میکروگرم بر گرم وزن خشک) (Mean±SD)

فلزات	ایستگاه‌ها	۱	۲	۳	۴	۵	۶	میانگین کل
Cd		۰/۲۸±۰/۱۲	۰/۳۲±۰/۱۴	۰/۳۶±۰/۰۸	۰/۳۸±۰/۰۵	۰/۳۳±۰/۰۷	۰/۲۹±۰/۰۳	۰/۳۳±۰/۰۳
Cu		۶/۰۵±۰/۲۳	۷/۳۵±۰/۱۱	۹/۶۴±۰/۱۳	۹/۹۸±۰/۷۰	۸/۰۳±۰/۹۲	۶/۰۰±۰/۱۳	۷/۶۷±۱/۴۹
Ni		۱/۸۰±۰/۲۴	۲/۰۱±۰/۱۲	۲/۶۸±۰/۵۲	۱/۲۲±۰/۸۲	۱/۰۵±۰/۶۰	۱/۰۹±۰/۳۲	۱/۵۲±۰/۶۷
Zn		۱۳/۵۰±۲/۶۶	۱۶/۵۸±۳/۹۵	۱۵/۲۶±۰/۲۱	۱۴/۵۵±۰/۹۱	۱۳/۰۷±۲/۶۱	۱۶/۸۹±۳/۴۰	۱۴/۹۷±۱/۵۶

جدول ۷: مقایسه الگوی تجمع فلزات سنگین در رسوب خلیج گواتر با سایر نقاط آبی جهان (بر حسب میکروگرم بر گرم وزن خشک)

منطقه	Cd	Cu	Ni	Zn	منبع
خلیج Punta Malaya کانال پاناما	۱۰	۵۶/۳	۲۷/۳	۱۰۵	Defew et al., 2005
هونگ کونگ	۰/۳۲	۲/۶۰	۲/۹۰	۴۳	Tam and Wong, 2000
آمریکای جنوبی (سواحل آمازون)	—	۰/۳۳	۰/۵۴	۳/۵۹	Marchand et al., 2006
خلیج Guanabara برزیل	۶۵۰	۲۵۰	—	۲۴	Kehriga et al., 2003
دلتهای Warri نیجریه	۱۳۰/۸	۱۲/۱	۱۳/۸۵	۱۳/۵	Ohimian et al., 2009
خلیج Qua Iboe نیجریه	—	۴۳/۵۳	۲/۱۰۰	۱۴۲/۴۸	Udofia et al., 2009
خلیج گواتر	۰/۲۵	۲۱/۲۷	۶۳/۵۷	۴۵/۹۱	مطالعه حاضر

جدول ۸: مقایسه الگوی تجمع فلزات سنگین در بافت‌های مختلف *A. marina* در خلیج گواتر با سایر نقاط آبی جهان (بر حسب میکروگرم بر گرم وزن خشک)

نمونه	منطقه	Cd	Cu	Ni	Zn	منبع
مانگرو Pichavaram زاین	۱۳/۵۲	۱۳/۱۲	۱۷/۶۸	۵۵/۵	Subramanian, 2000	
سواحل پاکستان <i>A. marina</i>	۰/۳۱	۵/۲۵	—	۲۳/۳۴	Saleem et al., 2009	
خلیج Yingluo چین <i>Rhizophora stylosa</i>	۰/۰۱	۰/۷۰	۰/۳۲	۶/۴۶	Zheng et al., 1997	
مانگرو دریاچه هند	۰/۱۷	۲۵/۶۸	۰/۶۸	۳۰/۷۸	Vardanyan and Ingole, 2004	
<i>A. marina</i> Natal برزیل	۱/۰۶	۰/۹۴	۲/۰۴	۰/۴۶	Silva et al., 2006	
مانگرو خلیج Hombush استرالیا	—	۱/۵۸	—	۴/۵۱	MacFarlane et al., 2003	
خلیج گواتر <i>A. marina</i>	۰/۳۷	۱۲/۸۴	۴۲/۶۳	۱۲/۰۳	مطالعه حاضر	
<i>A. marina</i> Natal برزیل	۰/۰۹	۰/۳۱	۴/۴۳	۱/۳۶	Silva et al., 2006	
خلیج Yingluo چین <i>Rhizophora stylosa</i>	۰/۰۶	۱/۳۳	۲/۱۷	۶/۴۸	Zheng et al., 1997	
گیاه مانگرو جزیره Hainan چین	۰/۰۵	۲/۹۰	—	۲/۲۰	Qiu et al., 2011	
خلیج گواتر <i>A. marina</i>	۰/۲۴	۸/۰۴	۳/۲۲	۸/۲۸	مطالعه حاضر	
سواحل مالزی <i>Sonneratia caseolaris</i>	۱/۰۰	۲۶/۸	—	۵/۹۰	Nazli and Hashim, 2010	
<i>A. marina</i> Natal برزیل	۰/۰۹	۰/۰۵	۰/۱۷	۰/۱۵	Silva et al., 2006	
خلیج Yingluo چین <i>Rhizophora stylosa</i>	۰/۱۹	۰/۵۹	۰/۶۵	۵/۶۶	Zheng et al., 1997	
خلیج Guanabara برزیل <i>Laguncularia racemosa</i>	۱۲/۰	۲۸/۳	—	۲۶/۷۰	Machado et al., 2002	
خلیج Tamil Nadu هند <i>A. officinalis</i>	—	۱۴/۷۸	—	۱۰/۷۸	Agoramoorthy et al., 2008	
خلیج گواتر <i>A. marina</i>	۰/۴۲	۸/۲۶	۳/۶۹	۱۲/۳۳	مطالعه حاضر	
خلیج Yingluo چین <i>Rhizophora stylosa</i>	۰/۰۶	۰/۹۲	۰/۳۱	۶/۳۴	Zheng et al., 1997	
خلیج گواتر <i>A. marina</i>	۰/۳۳	۷/۶۷	۱/۵۲	۱۴/۹۷	مطالعه حاضر	

افزایش فلز نیکل و مس در ریشه نسبت به سایر بافت‌ها می‌تواند ناشی از قابلیت این بافت در تجمع بیشتر فلز نیکل نسبت به سایر بافت‌ها باشد. Tam و Yim (۱۹۹۹) در مقایسه فلزات سنگین از جمله فلز نیکل در بافت‌های گیاه بیشترین غلظت فلزات را در ریشه و ساقه و رسوب منطقه اندازه‌گیری کردند. آنها عامل افزایش دهنده غلظت فلزات در این بافت‌ها را دستیابی زیستی مناسب‌تر عنوان کردند.

افزایش غلظت فلز روی در گل می‌تواند به دلیل نیاز بیشتر این بافت جهت تولید میوه و انتقال فعال این فلز به گل باشد. درعین حال غلظت کمتر این فلز در بافت‌هایی مثل ساقه و برگ می‌تواند به دلیل نیاز کمتر این بافت‌ها به فلز روی و همچنین عدم اتلاف این فلز از طریق ریزش برگ باشد. Machado و همکاران

انتقال بیشتر فلز کادمیوم به برگ گیاه می‌تواند به دلیل تجمع فلز کادمیوم برای دفاع توسط ریزش از گیاه باشد تا از این طریق غلظت فلز کادمیوم در گیاه کاهش یابد. مطالعه Zheng و همکاران (۱۹۹۷) نشان داد که فلزات سنگین غیر ضروری در بافت برگ درخت تجمع می‌یابند و سپس با افتادن برگ از گیاه دفع می‌شوند. Machado و همکاران (۲۰۰۲) میزان انتقال فلزات سنگین از ریشه به برگ را بررسی کردند. در این مطالعه انتقال بالای فلز نیکل از ریشه به برگ به دست آمد. Lacerda و همکاران (۱۹۹۳)، غلظت بالای فلزات سنگین سرب، کادمیوم و نیکل را در بافت برگ اندازه‌گیری کردند. آنها عامل موثر بر انتقال فلزات سنگین غیر ضروری به برگ را ناشی از فرایندهای فیزیولوژیکی گیاه دانستند.

مناسی برای فلز مس در منطقه باشند. همچنین بر اساس میزان BCF به‌دست آمده تنها ریشه گیاه برای فلز نیکل می‌تواند بیواندیکاتور مناسبی باشد. برای فلز روی، هیچ‌یک از بافت‌های گیاه نمی‌توانند به‌عنوان بیواندیکاتور مورد استفاده قرار بگیرند. MacFarlane و همکاران (۲۰۰۷)، میزان عامل BCFs (نسبت فلز ریشه به رسوب) را برای فلزات مس، سرب و روی در گیاه مانگرو (*A. marina*) کمتر از ۱ تا مساوی ۱ به‌دست آوردند. آنها بافت ریشه را بیواندیکاتور مناسبی برای این فلزات دانستند. Macfarlane (۲۰۰۲) با بررسی میزان ورود فلزات سنگین از رسوب و تجمع زیستی آن در برگ گیاه، نشان داد که فلزات مس و روی میزان تجمع زیستی پایینی داشتند. MacFarlane و Burchett (۲۰۰۲) و همکاران (۲۰۰۳) اظهار داشتند که بافت ریشه در مقایسه با برگ پتانسیل بالایی به‌عنوان بیواندیکاتور در محیط دارد. در عین حال میزان انتقال هر یک از فلزات به غیر از فلز نیکل، بر اساس جدول شماره ۱۰ از ریشه به هر یک از بافت‌های گیاه بسیار بالا است، که نشان‌دهنده‌ی این است که پس از جذب فلزات از محیط توسط ریشه، این بافت می‌تواند انتقال‌دهنده‌ی مناسبی برای فلزات به هر یک از بافت‌های ساقه، برگ و گل در گیاه باشد. Tam و Wong (۱۹۹۷)، بافت ریشه درخت مانگرو را به‌عنوان انتقال‌دهنده مناسب فلزات سنگین از محیط به بافت‌های این گیاه معرفی کردند.

Machado و همکاران (۲۰۰۲) میزان انتقال فلزات سنگین از ریشه به برگ را بررسی کردند. در این مطالعه انتقال بالای فلزات مس و نیکل از رسوب به برگ به‌دست آمد، درحالی‌که این انتقال برای فلز روی مشاهده نشد. MacFarlane و همکاران (۲۰۰۷)، عامل انتقال فلزات TF برای گیاهان مس و روی را ۰/۵۲ و ۰/۵۳ و میزان BCF فلزات در برگ را برابر ۰/۱۱ به‌دست آوردند. آنها میزان کاهش عامل انتقال فلزات از ریشه به گیاه را ناشی از نوع مصرف فلز برای گیاه دانستند. Sharifan و Davari (۲۰۱۰)، با بررسی غلظت فلزات مس در درخت حرا در جزیره قشم، میزان انتقال فلزات مس از ریشه به برگ ۰/۸۹ و میزان BCF را ۰/۸۴ آنها عامل افزایش عوامل انتقال و تجمع زیستی فلز مس را ناشی از ضروری بودن فلز مس دانستند. برای هر یک از فلزات نسبت بین بافت‌های گیاه و رسوب به‌دست آمد. نتایج نشان داد که برای فلز کادمیوم نسبت بین رسوب، ریشه، ساقه و برگ برابر بود و غلظت این فلز در هر یک از این بافت‌ها و رسوب به‌طور متوسط تقریباً ۶ برابر گل اندازه‌گیری گردید. کاهش غلظت این فلز در

(۲۰۰۲) کمترین غلظت فلز روی را در برگ به‌دست آوردند. آنها عامل انتقال ضعیف این فلز را به بافت برگ جهت عدم دفع از درخت عنوان کردند. در مطالعه‌ای که Zheng و همکاران (۱۹۹۷) انجام دادند، کمترین میزان انتقال فلز روی از رسوب به برگ به‌دست آمد، آنها کمترین میزان دستیابی زیستی فلز روی از رسوبات را عامل موثر کاهش غلظت فلز روی در برگ دانستند. عامل تجمع زیستی BCF^۱ هر یک از فلزات سنگین توسط بافت‌های گیاه بررسی گردید (فرمول ۱) (MacFarlane et al., 2007). برای بررسی این عامل، نسبت غلظت هر یک از فلزات سنگین در بافت‌های ریشه، ساقه، برگ و گل به رسوب محاسبه شد، که نتایج حاصل از آن در جدول ۹ آورده شده است. عامل انتقال فعال زیستی TF^۲ از ریشه به بافت‌های ساقه، برگ و گل بررسی شد. برای به‌دست آوردن این عامل از فرمول ۲ استفاده شد (Machado et al., 2002) (جدول ۱۰).

$$\text{فرمول ۱} \quad \text{BCF} = \frac{\text{غلظت فلز در بافت گیاه}}{\text{غلظت فلز در رسوب}}$$

$$\text{فرمول ۲} \quad \text{TF} = \frac{\text{غلظت فلز در بافت گیاه}}{\text{غلظت فلز در ریشه}}$$

جدول ۹: بررسی BCF در بین هر یک از بافت‌های *A. marina* با رسوب

Zn	Ni	Cu	Cd	
۰/۲۶	۰/۶۷	۰/۵۸	۱/۴۸	نسبت ریشه یا رسوب
۰/۱۸	۰/۰۵	۰/۶۵	۰/۹۶	نسبت ساقه به رسوب
۰/۲۶	۰/۰۵	۰/۳۸	۱/۶۸	نسبت برگ به رسوب
۰/۲۲	۰/۰۲	۰/۳۶	۱/۳۲	نسبت گل به رسوب

جدول ۱۰: بررسی TF در بین هر یک از بافت‌های ساقه، برگ و گل *A. marina* با غلظت این فلز در ریشه گیاه

Zn	Ni	Cu	Cd	
۰/۶۸	۰/۰۷	۰/۶۲	۰/۶۴	نسبت ساقه به ریشه
۱/۰۲	۰/۰۸	۰/۶۴	۱/۱۶	نسبت برگ به ریشه
۱/۲۴	۰/۰۳	۰/۵۹	۰/۸۹	نسبت گل به ریشه

با بررسی عامل BCF مشخص گردید که برای فلز کادمیوم، تمامی بافت‌ها قادرند فلز کادمیوم را از رسوب دریافت کرده و در نتیجه بیواندیکاتور مناسبی برای این فلز باشند. بیشترین میزان BCF برای فلز مس در ریشه و ساقه اندازه‌گیری شد، درحالی‌که سایر بافت‌ها میزان BCF کمتری داشتند. بر این اساس می‌توان گفت این بافت‌ها نسبت به سایر بخش‌های گیاه می‌توانند شاخص

^۱ Bio concentration Factor

^۲ Translocation Factor

مناسب باشند. برای فلز نیکل تنها بافت ریشه به‌عنوان شاخص مناسب بوده و برای فلز روی هیچ یک از بافت‌های گیاه نمی‌توانند به‌عنوان شاخص زیستی مورد استفاده قرار بگیرند. ریشه *A. marina* نقش موثری در انتقال فلزات به بخش‌های مختلف گیاه در خلیج گواتر ایفا می‌کند. عامل موثر در نسبت‌های متفاوت فلزات سنگین در بین رسوب و بافت‌های مختلف گیاه می‌تواند ناشی از دسترسی زیستی و ضروری و غیر ضروری بودن فلزات برای گیاه باشد.

منابع

- Abdul-Wahab, S.A. and Jupp, B.P., 2009. Levels of heavy metals in subtidal sediments in the vicinity of thermal power/desalination plants: a case study, *Desalination*. 244: 261–282.
- Agoramoorthy, G.; Chen, F.; and Hsu, M.J., 2008. Threat of heavy metal pollution in halophytic and mangrove plants of Tamil Nadu, India, *Environmental Pollution*. 155: 320-326.
- Clark, M.W.; McConchie, D.M.; Lewis, D.W.; and Saenger, P., 1998. Redox stratification and heavy metal partitioning in *Avicennia* dominated mangrove sediments: a geochemical model. *Chemical Geology*. 149: 147–171.
- Defew, L.H.; Mair J.M.; and Guzman H.M., 2005. An assessment of metal contamination in mangrove sediments and leaves from Punta Mala Bay, Pacific Panama, *Marine Pollution Bulletin*. 50: 547–552.
- Goodenough, K.M.; Styles, M.T.; Thomas, R.J.; Schofield, D.; Lilly R.M.; and McKervey, J., 2009. assembly of the Oman-UAE, ophiolite: Evidence for a multi-phase magmatic history, International Workshop December 6-11, 2009, Abu Dhabi (United Arab Emirates).
- Harbison, P., 1986. Mangrove muds: a sink or source for trace metals. *Marine Pollution Bulletin*. 17: 246–250.
- Harris, R.R. and Santos, M.C.F., 2000. Heavy metal
- گل می‌تواند ناشی از حساسیت بالای این اندام به فلزات غیر ضروری، مکانیسم‌های دفاعی در برابر فلزات غیر ضروری و احتمالاً عمر کوتاه‌تر این اندام نسبت به سایر اندام‌ها و زمان کمتر جهت ذخیره شدن فلز کادمیوم در این بافت باشد. Wozny و Krzesłowska (۱۹۹۳)، نشان دادند که ضروری بودن (مانند روی و مس) و غیر ضروری بودن فلز برای گیاه منجر به تجمع میزان متفاوتی از آن در فرآیند متابولیک خواهد شد.
- در این مطالعه نسبت فلز مس در بافت‌های گیاه به رسوب ۱ به ۳ به‌دست آمد، درحالی‌که این نسبت در بین بافت‌های گیاه با هم برابر بودند. فلز مس از جمله فلزات ضروری برای گیاه محسوب می‌شود، که خود عامل موثری است در اینکه غلظت این فلز در بین اندام‌های مختلف با یکدیگر برابر باشد. فلزات مس و روی در فرایندهای کلروپلاست‌ها، سنتز پروتئین‌ها و فعالیت‌های آنزیمی، هورمون‌های رشد و متابولیسم کربوهیدرات‌ها نقش دارند (Shaw, 1997). Davari و Sharifan (۲۰۱۰) با بررسی غلظت فلزات سنگین در گیاه حرا در قشم، نسبت تجمع فلز مس در برگ و ریشه را ۱ به ۳ به‌دست آوردند. در خلیج گواتر نسبت فلز نیکل ساقه و برگ به رسوب ۱ به ۵۰ و نسبت فلز نیکل ریشه به رسوب ۱ به ۲۰ و این نسبت برای گل ۱ به ۱۰۰ اندازه‌گیری شد. فلز نیکل از جمله فلزات غیر ضروری برای گیاه محسوب می‌شود و بنابراین با غلظت کمتری در ساقه، برگ و گل تجمع می‌یابد. از آنجایی‌که ریشه در تماس مستقیم با رسوب است، در نتیجه میزان تجمع فلز نیکل در رسوب به نسبت بیشتر است. همچنین نسبت فلز روی ریشه، برگ و گل به رسوب ۱ به ۳ و این نسبت برای ساقه ۱ به ۵ اندازه‌گیری شد. افزایش غلظت فلز روی در بافت‌های ریشه، برگ و گل در مقایسه با ساقه می‌تواند به‌دلیل نیاز بیشتر این اندام‌ها در مقایسه با ساقه به فلز روی باشد. MacFarlane و همکاران (۲۰۰۷) با بررسی غلظت فلزات مس، روی و سرب در برگ و ریشه، بین این دو بافت به‌ترتیب نسبت ۱ به ۲ به‌دست آوردند. Nazli و Hashim (۲۰۱۰) با مقایسه غلظت فلز روی در بین بافت ریشه و برگ گیاه حرا، بیشترین غلظت را در برگ اندازه‌گیری کردند.
- الگوی متفاوت تجمع فلزات در رسوب و بافت‌های *A.marina* در خلیج گواتر می‌تواند ناشی از نقش‌های متفاوت فلزات برای گیاه باشد. برای فلز کادمیوم بافت‌های گیاه می‌توانند به‌عنوان شاخص زیستی در خلیج گواتر مورد استفاده قرار بگیرند. ریشه و ساقه می‌توانند به‌عنوان شاخص زیستی برای فلز مس

- growth and accumulation relationships of copper, lead and zinc in the Grey Mangrove *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. Marine Environmental Research. 54: 65–84.
- 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.
- MacFarlane, G.R.; Koller, C.E.; Blomberg, S.P., 2007. Accumulation and partitioning of heavy metals in mangroves: a synthesis of field-based studies. Chemosphere. 69(9):1454-64.
- 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.
- Machado, W.; Silva-Filho, E.V.; Oliveira, R.R.; Lacerda, L.D., 2002. Trace metal retention in mangrove ecosystems in Guanabara Bay, SE Brazil. Marine Pollution Bulletin. 44: 1277-1280.
- Marchand, C.; Lallier-Verge's, E.; Baltzer, F.; Albe'ric, P.; Cossa D.; Baillif, P., 2006. Heavy metals distribution in mangrove sediments along the mobile coastline of French Guiana. Marine Chemistry. 98:1–17.
- Morrissey, DJ.; Turner, SJ.; Milles.; GN, Williamson, RB.; Wise BE., 2003. Factor affecting the distribution of benthic macrofouna in estuaries contaminated by urban runoff, Marine Environmental Research. 55(2): 113-136.
- Nazli, M.F. and Hashim, N.R., 2010. Heavy Metal Concentrations in an Important Mangrove Species, *Sonneratia caseolaris*, in Peninsular Malaysia. EnvironmentAsia. 3: 50-55.
- Ohimain, E.I.; Daniel, S.; Olu, T.; Abah, O., 2009. Bioleaching of Heavy Metals from Abandoned Mangrove Dredged Spoils in the Niger Delta; A Laboratory Study. World Applied Sciences Journal. 7 contamination and physiological variability in the Brazilian mangrove crabs, *Ucides cordatus* and *Callinectes danae* (Crustacea: Decapoda). Marine Biology. 137: 691–703.
- Hsu, M.J.; Selvaraj K.; and Agoramoorthy G., 2006. Taiwan's industrial heavy metal pollution threatens terrestrial biota. Environmental Pollution. 143: 327-334.
- Kamaruzzaman, B.Y.; Ong, M.C.; Noor, M.; Azhar, S., 2008. Geochemistry of Sediment in the Major Estuarine Mangrove Forest of Terengganu Region, Malaysia. American Journal of Applied Sciences. 5 (12): 1707-1712.
- Kamaruzzaman, B.Y.; Shazili N.A.M.; Mohd Lokman, H.; and Sulong, I., 2002. Geochemistry of some heavy metals as recorded in the sediment of the Kuala Kemaman Mangrove Forests, Terengganu, Malaysia. Oriental Journal Chemistry. 18 (1): 7-14.
- Kehriga, H.A.; Pinto, F.N.; Moreira, I.; Malm, O., 2003. Heavy metals and methylmercury in a tropical coastal estuary and a mangrove in Brazil, Organic Geochemistry. 34: 661–669.
- Krassulya, N., 2001. Choice of methodology for marine pollution monitoring in intertidal soft-sediment communities. Skriftserie. 3:131-148.
- Lacerda, I.D.; Fernandez, M.A.; Calazans, C.F.; Tanizaki, K.F., 1992. Bioavailability of heavy metals in sediments of two coastal lagoons in Rio de Janeiro, Brazil. Hydrobiologia. 228: 65–70.
- Lacerda, L.D.; Carvalho, C.E.V.; Tanizaki, K.F.; Ovalle, A.R.C.; Rezende, C.E., 1993. The biogeochemistry and trace metals distribution of mangrove rhizospheres. Biotropica. 25(3): 252-57.
- MacFarlane, G.R. and Burchett, M.D., 2000. Cellular distribution of Cu, Pb and Zn in the Grey Mangrove *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. Aquatic Botany. 68: 45–59.
- MacFarlane, G.R. and Burchett, M.D., 2002. Toxicity,

- receiving wastewater. *Environmental Pollution*. 94: 283–291.
- Tam, N.F.Y. and Wong, Y.S., 1997. Accumulation and distribution of heavy metals in a simulated mangrove system treated with sewage. *Hydrobiologia*. 352: 67-75.
- Tam, N.F.Y.; Wong, W.S., 2000. Spatial variation of heavy metals in surface sediments of Hong Kong mangrove swamps. *Environmental Pollution*. 110: 195–205.
- Udofia, G.E.; Essien, J.P.; Eduok S.I.; Akpan, B.P., 2009. Bioaccumulation of heavy metals by yeasts from Qua Iboe estuary mangrove sediment ecosystem, Nigeria. *African Journal of Microbiology Research*. 3(12): 862-869.
- Vardanyan, L.G. and Ingole, B.S., 2004. Studies on heavy metal accumulation in aquatic macrophytes from Sevan (Armenia) and Carambolim (India) lake system, Institute of Hydroecology and Ichthyology of National Academy of Sciences. pp 1-27.
- Wozny, A. Krzeslowska M., 1993. Plant cell response to Pb. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*. 62: 101-105.
- Yim, M.W. and Tam, N.F.Y., 1999. Effects of Wastewater-borne Heavy Metals on Mangrove Plants and Soil Microbial Activities. *Marine Pollution Bulletin*. 39(1-12) : 179-186.
- Zabetoglou, K.; Voutsas D. and Samara, C., 2002. Toxicity and heavy metal contamination of surficial sediments from Bay of Thessaloniki (Northwestern Aegean Sea) Greece. *Chemosphere*. 49: 17–26.
- Zheng, W.J.; Chen, X.Y.; Lin, P., 1997. Accumulation and biological cycling of heavy metal elements in *Rhizophora stylosa* mangroves in Yingluo Bay, China. *Marine Ecology Progress Series*. 159: 293–301.
- (9): 1105-1113.
- Perdomo, L.; Ensminger, I.; Espinos L.F.; Elsters, C.; Wallner-Kersanach, M.; Schnetters, M.L., 1998. The mangrove ecosystem of the Cie'naga Grande de Santa Marta (Colombia): Observations on regeneration and trace metals in sediment. *Marine Pollution Bulletin*. 37: 393–403.
- Qiu, Y.W.; Yu K.F.; Zhang, G.; Wang, W.X., 2011. Accumulation and partitioning of seven trace metals in mangroves and sediment cores from three estuarine wetlands of Hainan Island, China. *Journal of Hazardous Material*. 15: 190(1-3):631-638.
- Saleem, M.; Rizvi, S.H.N.; Kahkashan, S.; and Aftab, J., 2009. Heavy metal levels in sediment and mangrove of Karachi coast.
- Sharifan, H.R. and Davari, A., 2010. Bioaccumulation and Distribution of Heavy Metals in Gray Mangrove (*Avicennia marina*): Case Study of the Tropical Areas of Persian Gulf, World Food System, Tropentag. A Contribution from Europe September 14-16. 2010, Zurich.
- Shaw, A.J., 1990. Heavy Metal Tolerance in Plants: Evolutionary Aspects. CRC Press, Florida.
- Silva, C.A.R.; Silva, A.P. d.; and Oliveira, S.R., 2006. Concentration, stock and transport rate of heavy metals in a tropical red mangrove, Natal, Brazil. *Marine Chemistry*. 99: 2-11.
- Subramanian, A.N., 2000. Persistent Chemicals, Centre for Marine Environmental Studies, Ehime University, Japan. 489-501 pp.
- Tam, N.F.Y. and Wong, Y.S., 1996. Retention and distribution of heavy metals in mangrove soils