



بررسی تجمع فلزات سنگین در رسوبات و درختان حرای منطقه حفاظت‌شده خورخوران

رضا زمانی افشار^۱، یحیی اسماعیل‌پور^{۲*}، ابوالفضل ناجی^۳، حمید غلامی^۴

^۱ دانشجوی دکتری پردیس گروه مهندسی منابع طبیعی، پردیس دانشگاهی قشم دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

^۲ استادیار گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

^۳ دانشیار گروه شیلات، دانشکده علوم و فنون دریایی دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

^۴ دانشیار گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۴/۱۴، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۸/۱۹)

چکیده

افزایش فعالیت‌های صنعتی و در پی آن ورود آلاینده‌ها (مانند فلزات سنگین) به اکوسیستم‌های آبی از بزرگ‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی است. گیاهان نشانگر مناسبی از غلظت این فلزات در آب و رسوب اکوسیستم‌های آبی هستند. هدف این پژوهش، بررسی غلظت فلزات سنگین در رسوبات، ریشه، ساقه و برگ درختان حرا در منطقه حفاظت‌شده خورخوران به‌عنوان یکی از مهم‌ترین رویشگاه‌های مانگرو در خلیج فارس است. بدین منظور سه نمونه رسوب، برگ، ریشه و ساقه از این منطقه برداشت و به‌منظور تعیین غلظت فلزات سنگین آنالیز ICP-OES شد. در تحلیل آماری نتایج از آزمون‌های شاپیرو، کروسکال-والیس، توکی و شاخص تجمع زیستی و ضریب انتقال استفاده شد. نتایج نشان داد که بیشترین غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های رسوب به‌ترتیب مختص فلزات نیکل، روی، مس و سرب و در گیاه مربوط به فلزات روی، نیکل، مس و سرب است. به‌طور کلی روند تجمع فلزات در رسوب و بافت‌های گیاه نشان‌دهنده افزایش غلظت فلزات در بافت گیاه با افزایش آن فلز در رسوب است. شاخص تجمع زیستی نشان داد که بیشترین و کمترین غلظت فلزات سنگین به‌ترتیب در ریشه و برگ است و ریشه حرا نشانگر مناسبی برای سنجش آلاینده‌های رویشگاه مانگرو است. ضریب انتقال فلز نیکل در ساقه و فلز مس در برگ توانایی این اندام‌ها برای گیاه‌پالایی این دو فلز را نشان داد. یافته‌ها نشان داد که درخت حرا برای دیگر فلزات جزء گونه‌های دفع‌کننده محسوب می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آلودگی، تجمع زیستی، رسوب، ریشه، مانگرو.

مقدمه

سلامت انسان ایجاد می‌کند (Zarezadeh et al., 2017; Shi et al., 2019; Moezzi pour et al., 2020). به‌دلیل حساسیت زیاد مناطق ساحلی به آلاینده‌ها، زیستگاه‌های ساحلی نسبت به دیگر زیستگاه‌های دریایی، استعداد بیشتری برای بروز اثرهای آلودگی دارند (Morrissey et al., 2003). در بین آلاینده‌های مختلف زیست‌محیطی، فلزات سنگین به‌واسطه سمیت، ماندگاری زیاد، تجزیه‌ناپذیری و همچنین تجمع زیستی از مهم‌ترین ترکیبات موجود در بوم‌سازگان‌های مختلف هستند که

رشد سریع جمعیت و توسعه مراکز مسکونی، تجاری، صنعتی و کشاورزی سبب افزایش زباله‌ها و فاضلاب‌های انسانی افزایش و آلودگی بوم‌سامانه‌های مختلف از جمله محیط‌های دریایی شده است. آلودگی دریا شامل ورود هر گونه ماده یا انرژی توسط انسان به‌شکل مستقیم یا غیرمستقیم به محیط زیست دریایی است که پیامدهای نامطلوبی دارد و خطرهایی برای منابع زنده دریایی و

متعلق به سرب، روی، مس و کادمیوم بود و مقدار انتقال در منطقه بررسی شده، از نبود خاصیت گیاه‌پالایی در گیاه مانگرو حکایت داشت. در پژوهشی دیگر Rezaei et al., (2021) غلظت فلزات سنگین در بافت‌های حرا و رسوبات و آب دریا در سواحل شمالی و خلیج فارس را ارزیابی کردند. نتایج این پژوهش حاکی از غلظت زیاد فلز مس در برگ و ریشه بود. شاخص تجمع زیستی روی و مس نشان داد که گیاه حرا در منطقه بررسی شده در ماهشهر، بردخون و عسلویه دارای پتانسیل مناسبی برای پالایش گیاهی این دو فلز است. شاخص‌های انتقال از ریشه به برگ نیز نشان‌دهنده انتقال بیشتر روی و مس از طریق بافت‌های گیاهی مانگرو در مقایسه با فلزات دیگر است. در پژوهشی مشابه Victório et al., (2020) به بررسی غلظت فلزات سنگین در برگ گیاه‌های مختلف در اطراف خلیج پنسیلیا در برزیل پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که فلز سنگین Zn بیشترین غلظت را نسبت به سایر فلزات سنگین دارند و از سوی دیگر برگ گیاه مانگرو توانایی جذب و تجمع فلزات سنگین را دارد. رویشگاه مانگروی بندر خمیر یکی از مناطق مهم رویش این گیاه در خلیج فارس محسوب می‌شود که فعالیت‌های انسانی در سال‌های اخیر بر کمیت و کیفیت این رویشگاه‌ها تأثیر منفی گذاشته است. به‌طور کلی هدف این پژوهش، بررسی غلظت فلزات سنگین در رسوب و بافت‌های گیاه مانگرو در این رویشگاه است. نتایج این پژوهش به مدیریت زیست‌محیطی این رویشگاه‌های مهم کمک می‌کند.

مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش

رویشگاه‌های مانگروی بندر خمیر در خلیج فارس در حد فاصل استان هرمزگان و جزیره قشم قرار دارند. تنها گونه مانگروی این رویشگاه، گیاه حرا (*Avicennia marina* (Forssk.) Vierh.) با وسعت ۲۵۱۸ هکتار است. عملیات نمونه‌برداری در این

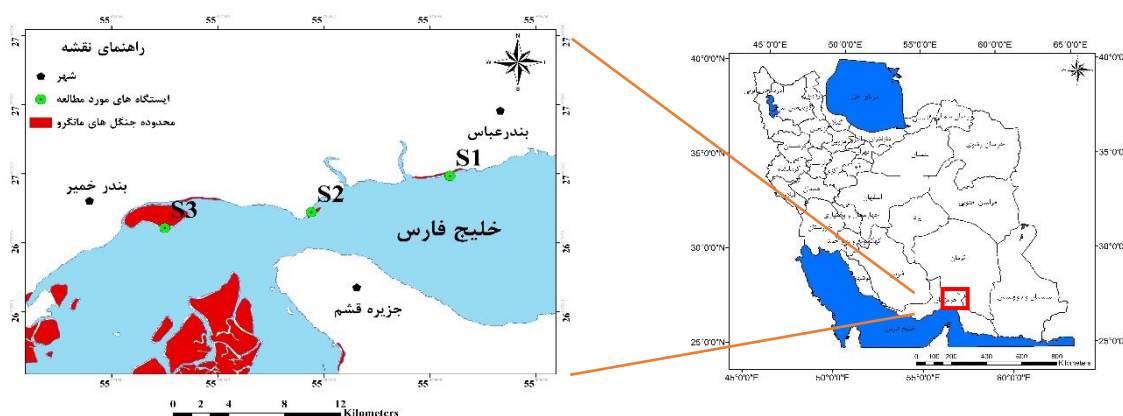
مورد توجه قرار می‌گیرند (MacFarlane & Burchett, 2000; Negi, 2017; Meena et al., 2018). جنگل‌های مانگرو، تالاب‌های بین جزرومدی مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری بوده و از زیستگاه‌های مهم اکولوژیک با تولید زیاد در مناطق ساحلی به شمار می‌روند. این زیستگاه‌ها دارای آبیان حساس و منابع غذایی و معدنی فراوانند و پشتوانه بسیار مهمی برای فعالیت‌های معیشتی و شیلاتی به شمار می‌آیند (Almulla et al., 2013; Aljahdali & Alhassan, 2020). بررسی‌ها نشان می‌دهد که در بین انواع رسوب، رسوبات جنگل‌های مانگرو پتانسیل زیادی در ذخیره‌سازی فلزات سنگین از آب در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری دارند (Tam & Wong, 1997; Clark et al., 1998; Shi et al., 2018; Arumugam et al., 2019). توانایی زیاد جذب و نگهداری فلزات سنگین در رسوبات مانگرو به دلیل خصوصیات فیزیکی و شیمیایی این دسته از رسوبات است (Harbison, 1986; Qiu et al., 2011; Zarezadeh et al., 2017). رسوبات جنگل‌های مانگرو بیشتر در شرایط غیرهوازی هستند و ترکیبات آلی بسیار زیادی دارند. از این رو این رسوبات شاخص مناسبی از دریافت و تجمع فلزات سنگین هستند و نیز آلودگی‌های بلندمدت پدیدآمده توسط فعالیت‌های انسانی را نشان می‌دهند و قابلیت انتقال آلودگی‌های یادشده به گیاهان مانگرو را دارند (Defew et al., 2005; Meena et al., 2018). فعالیت‌های مختلف انسانی موجب ورود این آلاینده‌ها به اکوسیستم می‌شوند. این عناصر از راه تخلیه مستقیم یا به‌طور غیرمستقیم توسط رواناب‌های ناشی از باران و همچنین از طریق اتمسفر وارد اکوسیستم‌های آبی می‌شوند (Machado et al., 2002; Szalinska et al., 2019; Tavakoli et al., 2006). پژوهش‌های مشابه زیادی در مانگروهای خلیج فارس و دیگر نقاط جهان صورت گرفته است. در پژوهش Ghasemi et al., (2018) درباره غلظت فلزات سنگین در رسوب و بافت گیاه حرا در منطقه حفاظت‌شده خورآذینی استان هرمزگان، بیشترین غلظت فلزات در ریشه گیاه مانگرو

پودر شده 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 شد (MacFarlane, 2002). برای فیلتر کردن نمونه‌های هضم‌شده، محلول از کاغذ صافی واتمن ۴۲ میکرون عبور داده شده و با آب دوبار تقطیر به حجم معینی رسانده شد. غلظت فلزات سنگین با بهره‌گیری از دستگاه آنالیز عنصری ICP OES سری ۷۰۰ شرکت آمریکایی Agilent Technologies^۱ در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه هرمزگان تعیین شد. درصد بازیابی هضم^۲ در محدوده اطمینان ۹۵ درصد و انحراف معیار اندازه‌گیری‌ها کمتر از ۱۰ درصد بود. به منظور کالیبراسیون دستگاه و ارزیابی دقت از Oreas 503b به‌عنوان ماده مرجع استاندارد استفاده شد (Sako et al., 2021).

رویشگاه در آذرماه ۱۳۹۹ از رویشگاه‌های بندر خمیر در زمان جزر کامل انجام گرفت.

شیوه اجرای پژوهش

نمونه‌برداری از برگ، ساقه، ریشه و رسوب در سه رویشگاه، در فاصله ۷ کیلومتری از یکدیگر، در قالب طرح کامل تصادفی (Van Belle et al., 2004) و با سه تکرار در هر کدام، انجام گرفت. در مجموع نه نمونه ساقه، ریشه، برگ و رسوب برداشت شد (شکل ۱). نمونه‌ها در کیسه‌های پلاستیکی (با درج نام ایستگاه و تاریخ نمونه‌برداری) قرار داده شده و به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه‌ها در محیط آزمایشگاه با آب مقطر شسته شدند و سپس برگ‌ها در آن با دمای ۶۰ درجه و ریشه‌ها در آن با دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند. نمونه‌های خشک‌شده با هاون پودر شدند. یک گرم نمونه



شکل ۱- موقعیت منطقه پژوهش و ایستگاه‌های نمونه‌برداری

واریانس غلظت فلزات سنگین در بافت‌های گیاه و سایت‌های نمونه‌برداری به روش کروسکال والیس^۵ و معنی‌داری اختلاف میانگین‌ها، با آزمون توکی^۶ بررسی شد (Griffin & Corso, 2019). آزمون پیرسون نیز برای مقایسه همبستگی نتایج مشاهداتی در ساقه، ریشه و برگ استفاده شد. در نهایت بررسی تجمع زیستی فلزات

روش تحلیل

پس از دستیابی به نتایج آزمایشگاهی در گام نخست توزیع احتمال غلظت فلزات سنگین با استفاده از آزمون شاپیرو-ویلک^۴ در محیط نرم‌افزار SPSS 16 بررسی شد. پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، آنالیز

5. Kruskal-Wallis H test
6. Tukey Test

1. ICP Optical Emission Spectrometers
2. Company Information, webpage link
3. Digestion recoveries
4. Shapiro-Wilk Test

مشخصه گونه‌های تجمع دهنده فلزات و کوچک‌تر از یک در گونه‌های دفع‌کننده فلزات دیده می‌شود (Yanqun et al., 2005).

نتایج

در ارزیابی کلی غلظت فلزات سنگین استانداردهای گوناگونی وجود دارد. میانگین غلظت این عناصر در پوسته بالایی زمین از استانداردهای رایج است و در پژوهش‌های بسیاری به کار رفته است (Chandrasekaran et al., 2015; Alzahrani et al., 2018; Victório et al., 2020). مشاهداتی و استاندارد پوسته در (جدول ۱) ارائه شده است.

در اندام‌های گیاه و تعیین ضریب انتقال به ترتیب از شاخص‌های تجمع زیستی BCF^۱ و ضریب انتقال TF^۲ بهره گرفته شد (Machado et al., 2002).

$$\text{رابطه ۱} \quad BCF = \frac{\text{Metal (plant part)}}{\text{Metal (substrate)}}$$

$$\text{رابطه ۲} \quad TF = \frac{\text{Metal (plant part)}}{\text{Metal (plant root)}}$$

در رابطه‌های (۱ و ۲) Metal (plant part) غلظت فلز در بافت گیاه و Metal (substrate) غلظت فلز در رسوب و Metal (plant root) غلظت فلز در ریشه است. از ضریب انتقال می‌توان برای بررسی توانایی گیاهان در فرایند گیاه‌پالایی استفاده کرد (Sasmaz et al., 2008) به این صورت که مقادیر بیشتر از یک

جدول ۱- غلظت فلزات (میانگین ± انحراف معیار) در رسوب، ریشه، ساقه و برگ گیاه به تفکیک رویشگاه و میانگین غلظت فلزات سنگین در پوسته بالایی زمین برحسب میکروگرم بر کیلوگرم (Taylor & Mclennan, 1995)^۱

Zn	Pb	Ni	Cu	Cd	رویشگاه
۸/۴۹ ± ۰/۴۲	۵/۷۶ ± ۱/۲۸	۷ ± ۰/۹۳	۹/۶۰ ± ۱/۹۸	۰/۴۵ ± ۰/۰۶	برگ
۱۱/۵۴ ± ۲/۸۴	۶/۰۳ ± ۱/۶۱	۸/۸۷ ± ۰/۱۹	۶/۳۴ ± ۰/۷۳	۰/۴۹ ± ۰/۰۴	ریشه
۱۳/۲۴ ± ۴/۳۵	۵/۹۸ ± ۰/۱۸	۸/۷۰ ± ۱/۲۰	۶/۶۰ ± ۱/۳۱	۰/۵۳ ± ۰/۰۵	ساقه
۱۴۸/۱۱ ± ۲/۱۳	۲۲/۳۰ ± ۱/۷۷	۷۵/۴۵ ± ۱۸/۲۵	۱۶/۳۳ ± ۴/۴۲	-	رسوب
۷/۳۰ ± ۱/۰۲	۷ ± ۱/۸۱	۶/۴۴ ± ۰/۶۴	۵/۸۶ ± ۰/۳۹	۰/۵ ± ۰/۰۶	برگ
۱۱/۷۰ ± ۲/۵۸	۷/۰۵ ± ۱/۶۵	۱۶/۱۵ ± ۰/۵۲	۶/۷۹ ± ۰/۳۷	۰/۷۳ ± ۰/۱۷	ریشه
۲۵/۹۰ ± ۲۵/۶۲	۵/۸۷ ± ۱/۵۳	۸/۵۷ ± ۱/۹۶	۴/۳۱ ± ۰/۶۵	۰/۴۷ ± ۰/۱۱	ساقه
۶۱/۷۴ ± ۳/۱	۱۷/۸۷ ± ۳/۶۰	۱۲۶/۱۴ ± ۳/۶	۲۱/۶۰ ± ۱/۸	-	رسوب
۷/۳۸ ± ۳/۹۳	۴/۲۲ ± ۱/۹۷	۶/۱۶ ± ۲/۲۱	۶/۳۰ ± ۰/۶۸	۰/۳۹ ± ۰/۰۵	برگ
۱۱/۰۸ ± ۲/۷۰	۸/۰۷ ± ۱/۲۳	۱۵/۰۳ ± ۶/۰۵	۶/۹۹ ± ۰/۱۷	۰/۷۸ ± ۰/۲۸	ریشه
۹/۶۸ ± ۲/۶۸	۷/۳۵ ± ۱/۷۹	۹ ± ۶/۵۲	۵/۳۵ ± ۰/۲۰	۰/۴۹ ± ۰/۱	ساقه
۵۷/۵۲ ± ۴/۷۰	۲۲/۱۴ ± ۳/۷	۱۱۴/۳۰ ± ۱۰/۸۶	۲۵/۰۵ ± ۲/۳۰	-	رسوب
۷/۷۲ ± ۱/۸۴	۵/۶۶ ± ۱/۵۳	۶/۵۳ ± ۰/۶۴	۷/۲۵ ± ۰/۶۵	۰/۴۴ ± ۰/۱	برگ
۱۱/۴۴ ± ۲/۱۳	۷/۰۵ ± ۱/۶۵	۱۳/۳۵ ± ۰/۵۹	۵/۴۲ ± ۰/۳۹	۰/۶۷ ± ۰/۰۵	ریشه
۱۶/۲۷ ± ۱/۰۲	۶/۴۰ ± ۰/۱۸	۸/۷۵ ± ۰/۲۵	۶/۳۰ ± ۰/۶۸	۰/۴۹ ± ۰/۰۵	ساقه
۸۹/۷۷ ± ۱/۶۵	۲۰/۷۷ ± ۱/۸۱	۱۰۵/۲۹ ± ۰/۶۴	۲۱ ± ۴/۶۸	-	رسوب
۷۱	۲۰	۲۰	۳۵	-	میانگین در پوسته بالایی

1. Bioaccumulation factor
2. Transfer factor

فلز مس

نوسان دارد و میانگین غلظت آن نیز ۷/۲۵ میکروگرم به کیلوگرم است. بیشترین غلظت این فلز در رسوب و بعد از آن در برگ گیاه مانگرو متمرکز است. نتایج آزمون کروسکال والیس نشان داد (جدول ۲) که غلظت این فلز در رسوب و اندام‌های گیاه در ایستگاه‌های ۱ و ۳ اختلاف معنی‌داری دارد ($P < 0/05$). نتایج آنالیز همبستگی نیز برای این فلز نشان داد که فلز مس در برگ بیشترین همبستگی را با فلز مس در ساقه دارد (جدول ۲). نتایج آزمون توکی نیز نشان داد که بین غلظت فلز مس در برگ و رسوب و همچنین ساقه و رسوب ارتباط معنی‌داری وجود دارد ($P < 0/05$) (جدول ۴).

غلظت مس در رسوب بین $۱۶/۳۳ \pm ۴/۴۲$ میکروگرم بر کیلوگرم در ایستگاه S1 تا $۲/۳۰ \pm ۲۵/۰۵$ میکروگرم بر کیلوگرم در ایستگاه S2 در نوسان بوده و میانگین آن ۲۱ میکروگرم بر کیلوگرم است. غلظت این فلز در ریشه گیاه بین $۶/۳۴ \pm ۰/۷۳$ تا $۶/۹۹ \pm ۰/۱۷$ میکروگرم بر کیلوگرم با میانگین $۶/۷۰$ میکروگرم بر کیلوگرم است. غلظت مس در اندام ساقه نیز بین $۴/۳۱ \pm ۰/۶۵$ تا $۶/۶۰ \pm ۱/۳۱$ میکروگرم بر کیلوگرم با میانگین $۵/۴۲$ میکروگرم بر کیلوگرم است. در برگ گیاه مانگرو، غلظت مس بین $۵/۸۶ \pm ۰/۳۹$ تا $۹/۶ \pm ۱/۹۸$ میکروگرم بر کیلوگرم

جدول ۲- نتایج آزمون کروسکال والیس (KW) غلظت فلزات سنگین در رسوب و اندام‌های برگ، ریشه و ساقه گیاه مانگرو

ایستگاه	KW	Cu	Ni	Pb	Zn
۱	شاخص کای	۸/۴۳۶	۹/۳۵۹	۶/۲۸۲	۹/۶۶۷
	سطح معنی‌داری	۰/۰۳۸	۰/۰۲۵	۰/۰۹۹	۰/۰۲۲
۲	شاخص کای	۶/۸۹۷	۸/۷۴۴	۸/۷۴۴	۸/۴۳۶
	سطح معنی‌داری	۰/۰۷۵	۰/۰۳۳	۰/۰۳۳	۰/۰۳۸
۳	شاخص کای	۸/۸۹۷	۸/۷۴۴	۷/۳۰۸	۷/۲۰۵
	سطح معنی‌داری	۰/۰۳۱	۰/۰۳۳	۰/۰۶۳	۰/۰۶۶

جدول ۳- نتایج ضریب همبستگی پیرسون فلزات سنگین در رسوب، برگ، ساقه و ریشه گیاه مانگرو

	برگ					ریشه					ساقه					رسوب				
	Cu	Ni	Pb	Zn	Cu	Ni	Pb	Zn	Cu	Ni	Pb	Zn	Cu	Ni	Pb	Zn	Cu	Ni	Pb	Zn
برگ	Cu																			
	Ni	۰/۰۷																		
	Pb	۰/۰۴	-۰/۴۵																	
	Zn	۰/۰۲	۰/۰۵	-۰/۴۹																
	Cu	۰/۱۷	۰/۰۹	۰/۲۶	۰/۰۶															
ریشه	Ni	-۰/۴	-۰/۵۴	۰/۰۶	۰/۱۲	۰/۳۶														
	Pb	-۰/۱۳	-۰/۲۴	۰/۴	-۰/۴	۰/۵۵	۰/۵۲													
	Zn	۰/۴۲	-۰/۱۳	-۰/۴۳	۰/۶۲	۰/۳۲	۰/۳۷	۰/۱۴												
	Cu	۰/۷۹**	۰/۱۵	-۰/۱۸	-۰/۰۴	-۰/۳۷	-۰/۰۶	-۰/۱۵	۰/۱۵											
	Ni	۰/۳۱	۰/۳	-۰/۵	-۰/۰۴	۰/۳۸	۰/۰۸	۰/۰۱	۰/۳۲	۰/۲۱										
ساقه	Pb	-۰/۲۱	-۰/۳۱	-۰/۳۱	-۰/۱۲	-۰/۲۹	۰/۴۳	۰/۱۸	۰/۲۲	۰/۰۹	۰/۱۸	۰/۱۸								
	Zn	۰/۲۵	-۰/۳۳	-۰/۵	۰/۲۲	-۰/۰۴	۰/۴۶	۰/۰۳	۰/۷۱*	۰/۲۴	۰/۵۴	۰/۴۹								
	Ni	-۰/۸۵	-۰/۲۹	۰/۲۴	۰/۱۱	۰/۲۴	۰/۶۷*	۰/۳۲	-۰/۲۱	-۰/۳۲	۰	-۰/۲۴								
	Pb	۰/۲	-۰/۳۸	۰/۴۵	-۰/۰۳	-۰/۰۵	۰/۶۴	-۰/۰۲	-۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۰۶	-۰/۲								
	Zn	۰/۷۶*	۰/۱	-۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۴۲	-۰/۲۸	۰/۲۵	۰/۵۲	۰/۴۲	۰/۳۸	۰/۱۶								
رسوب	Zn	-۰/۶۴	-۰/۴	-۰/۲۸	۰/۴	۰/۳	۰/۶	۰/۵	۰/۳	۰/۵	۰/۳	۰/۵۳								
	Cu	-۰/۶۴	-۰/۴	-۰/۲۸	۰/۴	۰/۳	۰/۶	۰/۵	۰/۳	۰/۵	۰/۳	۰/۵۳	-۰/۵۳							

فلز روی

غلظت روی در رسوبات نهشته‌های مانگروی پهنه بندر خمیر بین $4/70 \pm 57/52$ تا $2/129 \pm$ $148/11$ میکروگرم به کیلوگرم متغیر است. غلظت این فلز در اندام‌های برگ گیاه مانگرو بین $1/02 \pm 7/30$ تا $0/42 \pm 49/$ ، در ساقه بین $2/68 \pm 9/68$ تا $12/90$ و در ریشه نیز بین $2/70 \pm 11/08$ تا $2/58$ $11/70 \pm$ میکروگرم بر کیلوگرم است. بیشترین غلظت فلز روی به ترتیب در رسوب، ساقه و برگ است.

برمبنای آزمون کروسکال والیس، بین غلظت رسوب و اندام‌های گیاه نسبت به فلز مس در ایستگاه‌های ۱ و ۲ رابطه معنی‌داری وجود دارد ($P < 0/05$) (جدول ۲). نتایج تحلیل همبستگی نشان‌دهنده همبستگی مثبت بین غلظت روی در ساقه با غلظت روی در برگ است ($P < 0/05$) (جدول ۳). نتایج آزمون توکی نیز نشان‌دهنده ارتباط معنی‌دار غلظت فلز روی در رسوب و برگ گیاه مانگرو است (جدول ۴).

جدول ۴- نتایج آزمون توکی درباره غلظت فلزات سنگین در رسوب، ریشه، ساقه و برگ گیاه مانگرو

Ni			Cu			نوع فلز	
سطح معنی‌داری	انحراف معیار	میانگین تفاضل (i-j)	سطح معنی‌داری	انحراف معیار	میانگین تفاضل (i-j)	(J) Part	(I) Part
۰/۴۳	۰/۲۹	-۰/۴۵	۱	۲/۵۴	۰/۰۵	ریشه	
۰/۹۷	۰/۲۹	-۰/۱۲	۰/۹۹	۲/۵۴	۰/۵۶	ساقه	برگ
۰	۰/۲۹	-۳/۴۲	۰/۱۲	۲/۵۴	-۵/۷۹	رسوب	
۰/۴۳	۰/۲۹	۰/۴۵	۱	۲/۵۴	-۰/۰۵	برگ	
۰/۶۹	۰/۲۹	۰/۳۳	۰/۹۹	۲/۵۴	۰/۵۱	ساقه	ریشه
۰	۰/۲۹	-۹۷/۲	۰/۱۲	۲/۵۴	-۵/۸۵	رسوب	
۰/۹۷	۰/۲۹	۰/۱۲	۰/۹۹	۲/۵۴	-۰/۵۶	برگ	
۰/۶۹	۰/۲۹	-۰/۳۳	۰/۹۹	۲/۵۴	-۰/۵۱	ریشه	ساقه
۰	۰/۲۹	-۳/۲۹	۰/۰۸	۲/۵۴	-۶/۳۶	رسوب	
۰	۰/۲۹	۳/۴۲	۰/۱۲	۲/۵۴	۵/۷۹	برگ	
۰	۰/۲۹	۲/۹۶	۰/۱۲	۲/۵۴	۵/۸۵	ریشه	رسوب
۰	۰/۲۹	۳/۲۹	۰/۰۸	۲/۵۴	۶/۳۶	ساقه	
Zn			Pb			نوع فلز	
۰/۹۹	۵/۶۱	-۰/۹۶	۰/۹۹	۲/۵۶	-۰/۵۹	ریشه	
۱	۵/۶۱	-۰/۳	۱	۲/۵۶	۰/۰۴۴	ساقه	برگ
۰/۰۴	۵/۶۱	-۱۵/۳۴	۰/۰۰۱	۲/۵۶	-۱۱/۱۶	رسوب	
۰/۹۹	۵/۶۱	۰/۹۶	۰/۹۹	۲/۵۶	۰/۵۹	برگ	
۰/۹۹	۵/۶۱	۰/۶۶	۰/۹۹	۲/۵۶	۰/۶۳	ساقه	ریشه
۰/۰۷	۵/۶۱	-۱۴/۳۷	۰/۰۰۱	۲/۵۶	-۱۰/۵۶	رسوب	
۱	۵/۶۱	۰/۳	۱	۲/۵۶	۴	برگ	
۰/۹۹	۵/۶۱	-۰/۶۶	۰/۹۹	۲/۵۶	-۰/۶۳	ریشه	ساقه
۰/۰۵۴	۵/۶۱	-۱۵/۰۳	۰/۰۰۱	۲/۵۶	-۱۱/۲	رسوب	
۰/۰۴	۵/۶۱	۱۵/۳۳	۰/۰۰۱	۲/۵۶	۱۱/۱۵	برگ	
۰/۰۷	۵/۶۱	۱۴/۳۷	۰/۰۰۱	۲/۵۶	۱۰/۵۶	ریشه	رسوب
۰/۰۵۴	۵/۶۱	۱۵/۰۳	۰/۰۰۱	۲/۵۶	۱۱/۲	ساقه	

فلز سرب

غلظت سرب در رسوبات ایستگاه‌های مختلف بین $۱۷/۸۷ \pm ۳/۶۰$ میکروگرم به گرم تا $۲۲/۳ \pm ۱/۷۷$ میکروگرم در نوسان است. بیشینه و کمینه این فلز در بافت برگ به ترتیب بین $۱/۹۷ \pm ۴/۲۲$ تا $۱/۸۱ \pm ۷$ میکروگرم به کیلوگرم است. غلظت سرب در ساقه بین $۱/۵۳ \pm ۵/۸۷$ تا $۷/۳۵ \pm ۱/۷۹$ میکروگرم بر کیلوگرم و در ریشه بین $۱/۶۱ \pm ۶/۰۳$ تا $۱/۲۳ \pm ۸/۰۷$ میکروگرم بر کیلوگرم نوسان دارد. بیشترین غلظت این فلز به ترتیب در رسوب، ریشه، ساقه و برگ دیده شد. نتایج آزمون کروسکال والیس نشان داد که غلظت سرب در رسوب و اندام‌های گیاه به‌ویژه در ایستگاه ۲ اختلاف معنی‌داری دارد ($P < 0/05$) (جدول ۲). نتایج آزمون همبستگی نیز نشان داد که غلظت این فلز در برگ با غلظت فلز مس در ساقه همبستگی زیادی دارد ($P < 0/05$) (جدول ۳). نتایج آزمون توکی در جدول ۴ حاکی از ارتباط معنی‌دار غلظت فلز سرب در رسوب با همه اندام‌های گیاه مانگرو است.

فلز نیکل

غلظت نیکل در رسوبات رویشگاه مانگرو بین $۱۸/۲۵ \pm ۷۵/۴۵$ تا $۳/۶۰ \pm ۱۲۶/۱۴$ میکروگرم بر

گرم، در برگ بین $۲/۲۱ \pm ۶/۱۶$ تا $۰/۹۳ \pm ۷$ میکروگرم بر گرم، در ساقه بین $۱/۹۶ \pm ۸/۵۷$ تا $۶/۵۲ \pm ۹$ میکروگرم بر گرم و در ریشه بین $۰/۱۹ \pm ۸/۸۷$ تا $۰/۵۲ \pm ۱۶/۱۵$ میکروگرم بر کیلوگرم است (جدول ۱). بیشترین غلظت این فلز به ترتیب در رسوب برگ، ساقه و ریشه است. نتایج آزمون کروسکال والیس نشان داد که غلظت این فلز در اندام‌های گیاه مانگرو و رسوب در ایستگاه‌های تحت بررسی تفاوت معنی‌داری دارد ($P < 0/05$) (جدول ۲). تحلیل همبستگی پیرسون نیز نشان داد که غلظت نیکل در ریشه با غلظت نیکل رسوب و مس رسوب همبستگی قوی دارد (جدول ۳). بررسی‌ها در آزمون توکی نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار غلظت فلز نیکل بین رسوب و همه اندام‌های درخت مانگرو است ($P < 0/05$) (جدول ۴).

محاسبه شاخص تجمع زیستی برای فلزات در اندام‌های گیاه مانگرو نشان داد که همه فلزات بیشترین تجمع را به ترتیب در ریشه، ساقه و برگ دارند. شاخص انتقال نیز در مورد مس و سرب در برگ بیشتر از ساقه، و برای روی و نیکل در ساقه بیشتر از برگ است (جدول ۵).

جدول ۵- مقدار شاخص تجمع زیستی و شاخص انتقال در ریشه، ساقه و برگ گیاه مانگرو

شاخص TF				شاخص BCF				
Zn	Pb	Ni	Cu	Zn	Pb	Ni	Cu	
۰/۶۶	۰/۹۳	۰/۷۳	۱/۱۴۳	۲/۵۴	۱/۶	۲/۰۸	۲/۲۷	برگ
۲/۲	۰/۹۱	۱/۳۶	۰/۹۲	۴/۷	۳/۰۷	۳/۳۶	۲/۲۵	ساقه
				۴/۲	۳/۴	۶/۶	۳/۱	ریشه

بحث

در بررسی آلودگی رسوبات منطقه، میانگین غلظت این فلز در رسوبات رویشگاه مانگرو با میانگین غلظت فلزات در پوسته قاره‌ای مقایسه شد (جدول ۱). نتایج نشان داد که تنها غلظت مس کمتر از میانگین غلظت این فلزات در پوسته قاره‌ای است و غلظت نیکل، روی و سرب به ترتیب ۵/۲۵، ۱/۲۵ و ۱/۰۳ برابر غلظت میانگین

پوسته قاره‌ای است که نشان‌دهنده آلودگی رسوبات رویشگاه مانگروی بندر خمیر به این سه فلز است. از سوی دیگر نتایج بررسی غلظت فلزات سنگین در رسوب، ریشه، ساقه و برگ مانگرو نشان داد که به‌طور تقریبی با افزایش غلظت فلزات در رسوب در ایستگاه‌های یادشده، غلظت فلزات در اندام‌های گیاه نیز افزایش محسوسی می‌یابد که ممکن است نشان‌دهنده توان

افزایش غلظت فلزات در رسوبات رویشگاه بندر خمیر به ترتیب شامل نیکل، روی، مس و سرب است که با پژوهش‌های پیشین در خلیج فارس (Cheraghi et al., 2013) و (2012) Einollahi مطابقت دارد. الگوی افزایش تجمع در بافت‌های گیاه نیز به ترتیب شامل عناصر روی، نیکل، مس و سرب است. بررسی مقدار فلزات سنگین در اندام‌های گیاه مانگرو در رویشگاه تحت بررسی نشان می‌دهد که در بین فلزات، بیشترین میانگین غلظت فلز متعلق به روی در اندام ساقه و ریشه است. فلز روی عنصری ضروری برای رشد گیاهان است و در بسیاری از فرایندهای متابولیکی گیاه تأثیر دارد (Macfarlane et al., 2003; Kara, 2005; Aljahdali & Cheraghi et al., 2020). نتایج پژوهش (Alhassan, 2020) در (2013) در گیاه مانگرو نشان داد که بیشترین مقدار فلز سنگین در بافت ریشه و برگ متعلق به فلز روی است. نتایج تحقیق (Shete et al., 2007) در گیاه حرا نشان داد که فلز روی به دلیل تحرک زیاد، به تجمع در بافت‌های گیاه تمایل دارد. در تحقیق حاضر، بعد از فلز روی، نیکل بیشترین غلظت را در رسوب رویشگاه‌های مانگروی بندر خمیر به خود اختصاص داد. غلظت زیاد نیکل در رسوبات این منطقه ممکن است با آلودگی‌های انسانی مانند تردد کشتی‌ها یا فاضلاب‌های شهری و صنعتی ارتباط مستقیم داشته باشد (Zarezadeh et al., 2005; Pourang et al., 2017). با توجه به قرار داشتن این رویشگاه‌ها در غرب بندرعباس و در پایین دست اسکله، ثبت آلودگی به فلز نیکل در این رویشگاه‌ها طبیعی به نظر می‌رسد. تفاوت زیاد در غلظت این فلز در رسوب با اندام‌های گیاه ممکن است نشان‌دهنده غیرضروری بودن این فلز برای متابولیسم گیاه باشد. فلزات ضروری در بافت‌های گیاه تجمع زیادی دارد و کمترین غلظت فلزات مربوط به فلزات غیرضروری است. پس از روی و نیکل، فلز مس بیشترین تجمع را در اندام‌های گیاه مانگرو دارد. این فلز یکی از فلزهای ضروری برای تنفس، فتوسنتز و سنتز پروتئین در گیاهان است. فلز مس با انواع مختلفی از سولفورهای آلی

درختان حرا در جذب فلزات سنگین باشد. غلظت همه فلزات اندازه‌گیری شده در رسوبات بیش از بافت گیاه است. رویشگاه گیاه مانگرو شرایط تالابی با تناوب اکسیداسیون-احیا دارد و کشندهای مداوم در این رویشگاه‌ها سبب افزایش مقدار ماده آلی و سولفید در رسوبات می‌شود؛ از این رو محل مناسبی برای تجمع فلزات سنگین است (Zhang et al., 2010; Meena et al., 2018). افزون بر این، بافت ریزدانه رسوبات رویشگاه مانگرو سبب به دام انداختن فلزات می‌شود و تبادل کاتیونی در رسوب را افزایش و دسترسی زیستی عناصر به گیاه را کاهش می‌دهد (Alharbi et al., 2019; Nobil et al., 2010). از این رو غلظت زیاد فلزات سنگین در رسوب رویشگاه مانگرو نسبت به بافت گیاه توجیه می‌شود. بررسی میانگین غلظت فلزات در بافت‌های گیاه مانگرو نشان داد که غلظت کادمیوم، سرب و نیکل در ریشه بیشتر از ساقه و در ساقه بیشتر از برگ است که نشان می‌دهد جذب این فلزات توسط ریشه بیشتر از برگ بوده است. علت این موضوع، ارتباط مستقیم ریشه با رسوب و امکان جذب بیشتر این فلزات توسط بافت ریشه است (Yan et al., 2017; Alizadeh et al., 2015). به نظر می‌رسد علت دیگر تجمع بیشتر فلزات سنگین در ریشه نسبت به اندام‌های هوایی (ساقه و برگ)، وجود نوارهای کاسپارین در ریشه و نفوذناپذیری دیواره آوندهای بافت چوبی باشد که در نتیجه آن، بخش زیادی از فلزات موجود در ریشه به اندام‌های دیگر منتقل نمی‌شود و انتقال به برگ گیاه کمتر است (Prasad, 2019; Shi et al., 2004). فلز مس نیز بیشترین غلظت را به ترتیب در برگ، ریشه و ساقه دارد. به نظر می‌رسد این مهم به علت ضریب انتقال زیاد این فلز است (MacFarlane et al., 2007). از سوی دیگر این الگوی غلظت مشابه غلظت فلزات در اندام‌های گیاه مانگرو در پژوهش (Rezaei et al., 2021) است. فلز روی بیشترین غلظت را در ساقه، ریشه و برگ دارد. در پژوهش (Victório et al., 2020) غلظت فلز روی در ساقه نسبت به دیگر بافت‌های گیاه مانگرو بیشتر ارزیابی شد. الگوی

می‌تواند توانایی گیاه در جذب عناصر سمی از طریق گیاه‌پالایی را نشان دهد (Sasmaz et al., 2008) و مقادیر بیش از عدد ۱، گونه‌های جذب‌کننده و مقادیر کوچک‌تر از ۱ گونه‌های دفع‌کننده فلزات را نشان می‌دهد (Yanqun et al., 2005).

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج تحقیق حاضر که شاخص TF ساقه برای فلز نیکل و برگ برای فلز مس بیش از ۱ است، به نظر می‌رسد این اندام‌ها برای دو فلز یادشده توانایی گیاه‌پالایی دارند و برای فلزات دیگر، گیاه حرا جزء گونه‌های دفع‌کننده است. ضریب انتقال فلز مس در برگ در پژوهش‌های (MacFarlane et al., 2007) و (Rezaei et al., 2021) وضعیت مشابهی دارد که آن را به‌دلیل ضروری بودن این فلز تشخیص دادند. به‌طور کلی نتایج این تحقیق نشان‌دهنده روند تجمع فلزات در بافت‌های گیاه مانگرو و ارتباط مستقیم آن با غلظت فلزات در رسوبات رویشگاه مانگرو است. از نظر کاربردی نیز می‌توان ریشه درختان حرا را نشانگر مناسبی برای سنجش آلاینده‌های رویشگاه مانگرو معرفی کرد. یافته‌های این تحقیق تأییدکننده توانایی تجمعی ساقه و برگ این گیاه به‌ترتیب برای فلزهای نیکل و مس است و در برابر دیگر فلزات دفع‌کننده به‌شمار می‌آید.

و معدنی واکنش نشان می‌دهد و ترکیبات غیرمحلول ایجاد می‌کند (Negi, 2017; Arumugam et al., 2018; Rauchfuss, 2004). از این‌رو بخشی از مس از دسترس گیاه خارج می‌شود (Cheraghi et al., 2013). وجود مس در بافت‌های گیاه، بازتاب مستقیم نیاز فیزیولوژیک گیاه است (Che, 1999; Meena et al., 2018). سرب دیگر فلز سنگین و سمی در بافت گیاه است که بیشترین غلظت را در ریشه دارد. کارکرد این فلز در واکنش‌های فیزیولوژیک مشخص نیست، اما به‌علت شباهت شیمیایی با عناصر ضروری امکان جذب آن توسط گیاهان وجود دارد (Pais & Jones, 1997; Shi et al., 2019). فلز سرب در گیاه مانگرو دارای تأثیراتی مانند زردی برگ درخت، کاهش جذب عناصر ضروری مانند آهن و کاهش فتوسنتز می‌شود (Koohrani & Chamani, 2019). با بررسی شاخص BCF در این گیاه در رویشگاه تحت بررسی، این شاخص در همه اندام‌ها زیاد است که نشان می‌دهد همه بافت‌ها قادر به جذب فلزات سنگین هستند و در نتیجه بیواندیکاتور (زیست‌نشانگر) مناسبی برای این فلز است. در بین بافت‌های گیاه مانگرو، بافت ریشه به‌دلیل BCF بیشتر برای همه فلزات نسبت به ساقه و برگ می‌تواند به‌عنوان بیواندیکار استفاده شود. این یافته‌ها با نتایج (MacFarlane, 2002) مطابقت دارد. ضریب انتقال

References

- Alharbi, O.M., Khatatb, R.A., Ali, I., Binnaser, Y.S., & Aqeel, A. (2019). Assessment of heavy metals contamination in the sediments and mangroves (*Avicennia marina*) at Yanbu coast, Red Sea, Saudi Arabia. *Marine Pollution Bulletin*, 149, 110669.
- Alizadeh, S.M., Zahedi, Amir, Gh., Shirmardi, M., & Shahriari, M.H. (2015). Effect of heavy metals (lead, cadmium and chromium) on some root morphological characteristics of *Populus alba* L. and *Populus nigra* L. seedlings. *Iranian Journal of Forest*, 6(3), 267-277.
- Aljahdali, M.O., & Alhassan, A.B. (2020). Ecological risk assessment of heavy metal contamination in mangrove habitats, using biochemical markers & pollution indices: A case study of *Avicennia marina* L. in the Rabigh lagoon, Red Sea. *Saudi journal of biological sciences*, 27(4), 1174-1184.
- Almulla, L., Bhat, N., Thomas, B., Rajesh, L., Ali, S., & George, P. (2013). Assessment of existing mangrove plantation along Kuwait coastline. *Biodiversity Journal*, 4(1), 111-116.
- Alzahrani, D.A., Selim, E.M.M., & El-Sherbiny, M.M. (2018). Ecological assessment of heavy metals in the grey mangrove (*Avicennia marina*) and associated sediments along the Red Sea coast of Saudi Arabia. *Oceanologia*, 60(4), 513-526.

- Arumugam, G., Rajendran, R., Ganesan, A., & Sethu, R. (2018). Bioaccumulation and translocation of heavy metals in mangrove rhizosphere sediments to tissues of *Avicennia marina*—A field study from tropical mangrove forest. *Environmental nanotechnology, monitoring & management*, 10, 272-279.
- Chandrasekaran, A.R., Ravisankar, N., Harikrishnan, K.K., Satapathy, M.V.R., Prasad & Kanagasabapathy, K.V. (2015). Multivariate statistical analysis of heavy metal concentration in soils of Yelagiri Hills, Tamilnadu, India—Spectroscopical approach. *Spectrochim. Acta, Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 137, 589–600.
- Che, R.O. (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.
- Cheraghi, M., Safahieh, A., Dadolahi Sohrab, A., Ghanemi, K., & Doraghi, A. (2013). Determination of Heavy Metals Concentrations in the Mangroves (*Avicennia marina*) and Sediments of Imam Khomeini Port. *Journal Oceanography*, 4(14), 19-25
- Clark, M.W., McConchie, D.M., Lewis, D.W., & Saenger, P. (1998). Redox stratification & heavy metal partitioning in *Avicennia* dominated mangrove sediments: a geochemical model. *Chemical Geology*, 149, 147–171.
- Machado, W., Moscatelli, M., Rezende, L.G., & Lacerda, L.D. (2002). Mercury, zinc, and copper accumulation in mangrove sediments surrounding a large landfill in southeast Brazil. *Environmental Pollution*, 120(2), 455-461.
- Defew, L.H., Mair, J.M., & Guzman, H.M. (2005). An assessment of metal contamination in mangrove sediments & leaves from Punta Mala Bay, Pacific Panama. *Marine Pollution Bulletin*. 50, 547–552.
- Einollahi peer, 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. *Journal Oceanography*, 3(11), 73-82
- Ghasemi, S., Moghaddam, S.S., Rahimi, A., Damalas, C.A., & Naji, A. (2018). Phyto management of trace metals in mangrove sediments of Hormozgan, Iran, using gray mangrove (*Avicennia marina*). *Environmental Science and Pollution Research*, 25(28), 28195-28205.
- Griffien, B., & Corso, J. (2019). Tukey-inspired video object segmentation. In *2019 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV)*. IEEE, 1723-1733.
- Harbison, P. (1986). Mangrove muds: a sink or source for trace metals. *Marine Pollution Bulletin*. 17, 246–250.
- Kara, Y. (2005). Bioaccumulation of Cu, Zn and Ni from the wastewater by treated *Nasturtium officinale*. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 2(1), 63-67.
- Koohrani, P., & Chamani, A. (2019). The concentration of Lead and Nickel in the sediment and root and leaves of *Rhizophora mucronata* in Khore Azini international wetland. *Journal of marin biology*, 11(2), 21-32.
- 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., & Burchett, M.D. (2000). Cellular distribution of Cu, Pb & Zn in the Grey Mangrove *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. *Aquatic Botany*, 68, 45–59.
- MacFarlane, G.R., & Burchett, M.D. (2002). Toxicity, growth & accumulation relationships of copper, lead & zinc in the Grey Mangrove *Avicennia marina* (Forsk.) Veirh. *Marine Environmental Research*, 54, 65–84.
- MacFarlane, G.R., Koller, C.E., & Blomberg, S.P. (2007). Accumulation & partitioning of heavy metals in China. *Environmental International*, 31, 755–762.

- MacFarlane, G.R., Pulkownik, A., & Burchett, M.D. (2003). Accumulation & distribution of heavy metals in the grey mangrove, *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh.: biological indication potential. *Environmental Pollution*, 123, 139–151.
- Machado, W., Moscatelli, M., Rezende L.G., & Lacerda, L.D. (2002). Mercury, zinc, and copper accumulation in mangrove sediments surrounding a large landfill in southeast Brazil. *Environmental Pollution*, 120, 455–461.
- Meena, R.A.A., Sathishkumar, P., Ameen, F., Yusoff, A.R.M., & Gu, F.L. (2018). Heavy metal pollution in immobile & mobile components of lentic ecosystems (a review). *Environmental Science & Pollution Research*, 25(5), 4134-4148.
- Morrisey, D.J., Turner, S.J., Mills, G.N., Williamson, R.B., & Wise, B.E. (2003). Factors affecting the distribution of benthic macrofauna in estuaries contaminated by urban runoff. *Marine Environmental Research*, 55(2), 113-136.
- Moezzi-pour, A., Pourtahmasi, K., Motesharezadeh, B., Oladi, R., & Ramezani, A. (2020). Effect of irrigation with municipal landfill leachate on the chemicals content of the tree shoots of *Populus* (*Populus deltoides*) and *Fraxinus* (*Fraxinus excelsior*). *Iranian Journal of Forest*, 11(4), 458-475.
- Negi, S. (2017). Study of physicochemical parameters & heavy metal accumulation in soil sediment & leaves of *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. *International Journal of Applied Environmental Sciences*, 12(6), 1241-1248.
- Nobi, E.P., Dilipan, E., Thangaradjou, T., Sivakumar, K., & Kannan, L. (2010). Geochemical and geo-statistical assessment of heavy metal concentration in the sediments of different coastal ecosystems of Andaman Islands, India. *Estuarine, coastal and shelf science*, 87(2), 253-264.
- Pais, I., & Jones Jr, J.B. (1997). *The handbook of trace elements, 1st Edition*, Crc Press, 240 Pages.
- Pourang, N., Nikouyan, A., & Dennis, J.H. (2005). Trace element concentrations in fish, surficial sediments and water from northern part of the Persian Gulf. *Environmental monitoring and assessment*, 109(1), 293-316.
- Prasad, M.N.V. (2004). *Heavy metal stress in plants: from biomolecules to ecosystems*. Springer Science & Business Media.
- 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 Materials*, 190(1-3), 631-638.
- Rauchfuss, T.B. (2004). Research on soluble metal sulfides: from polysulfido complexes to functional models for the hydrogenases. *Inorganic chemistry*, 43(1), 14-26.
- Rezaei, M., Kafaie, R., Mahmoodi, M., Sanati, A.M., Vakilabadi, D.R., Arfaeinia, H., Dobaradaran, S., Sorial, G.A., Ramavandi, B., & Boffito, D.C. (2021). Heavy metals concentration in mangrove tissues and associated sediments and seawater from the north coast of Persian Gulf, Iran: Ecological and health risk assessment. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 15, 100456.
- Sako, A., Nimi, M., Sawadogo, S., & Hema, A.A.K. (2021). Occurrence, behaviour and environmental risk assessment of trace metals in stream sediments from southwestern Burkina Faso, West Africa. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(3), 1-22.
- 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(3-4), 278-284.
- Shi, C., Ding, H., Zan, Q. & Li, R. (2019). Spatial variation & ecological risk assessment of heavy metals in mangrove sediments across China. *Marine pollution bulletin*, 143, 115-124.
- Szalinska, E., Drouillard, K.G., Fryer, B., & Haffner, G.D. (2006). Distribution of heavy metals in sediments of the Detroit River. *Journal of Great Lakes Research*, 32(3), 442-454.

- Tam, N.F.Y., & Wong, Y.S. (2000). Spatial variation of heavy metals in surface sediments of Hong Kong mangrove swamps. *Environmental pollution*, 110(2), 195-205.
- Tam, N.F., & Wong, Y.S. (1997). Accumulation and distribution of heavy metals in a simulated mangrove system treated with sewage In Asia-Pacific. *Conference on science and management of coastal environment* (pp. 67-75). Springer, Dordrecht.
- Tavakoli, M., Hojjati, S., & Kooch, Y. (2019). The Effect of Traditional Coal Mining on Soil Physical and Chemical Properties and Heavy Metals Concentrations in Lavij Forest. *Iranian Journal of Forest*, 11(1), 81-93.
- Taylor, S.R., & McLennan, S.M. (1995). The geochemical evolution of the continental crust. *Reviews of geophysics*, 33(2), 241-265.
- Van Belle, G., Fisher, L.D., Heagerty, P.J., & Lumley, T. (2004). *Biostatistics: a methodology for the health sciences*, Vol.: 519, John Wiley & Sons, 871pp.
- Victório, C.P., Dos Santos, M.S., de Mello, M.C., Bento, J.P.S.P., da Costa Souza, M., Simas, N.K., & de Oliveira Arruda, R.D.C. (2020). The presence of heavy metals in *Avicennia schaueriana* Stapf & Leechman ex Moldenke leaf and epicuticular wax from different mangroves around Sepetiba Bay, Rio de Janeiro, Brazil. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(19), 23714-23729.
- Yan, Z., Sun, X., Xu, Y., Zhang, Q., & Li, X. (2017). Accumulation and tolerance of mangroves to heavy metals: a review. *Current pollution reports*, 3(4), 302-317.
- Zarezadeh, R., Rezaee, P., Lak, R., Masoodi, M., & Ghorbani, M. (2017). Distribution & accumulation of heavy metals in sediments of the northern part of mangrove in Hara Biosphere Reserve, Qeshm Isl& (Persian Gulf). *Soil & Water Research*, 12(2), 86-95.
- Zhang, J.E., Liu, J.L., Ouyang, Y., Liao, B.W. & Zhao, B.L. (2010). Removal of nutrients and heavy metals from wastewater with mangrove *Sonneratia apetala* Buch-Ham. *Ecological Engineering*, 36(6), 807-812.
- Yanqun, Z., Yuan, L., Jianjun, C., Haiyan, C., Li, Q., & Schvartz, C. (2005). Hyperaccumulation of Pb, Zn and Cd in herbaceous grown on lead-zinc mining area in Yunnan, China. *Environment International*, 31(5), 755-762.



Research Article

Investigation of accumulation of heavy metals in sediment and *Avicennia marina* (Forssk.) Vierh. plants of Khorkhoran protected area

R. Zamani Afshar¹, Y. Esmailpour^{2*}, A. Naji³, and H. Gholami⁴

¹ Ph.D. candidate in Combatting Desertification, Qeshm Campus, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

² Assistant Prof., Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

³ Associate Prof., Faculty of Marine Science and Technology University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

⁴ Associate Prof., Faculty of Agriculture and Natural Resources, Hormozgan University, Bandar Abbas, Iran

(Received: 05 July 2021; Accepted: 10 November 2021)

Abstract

Increasing industrial activity, followed by the entry of heavy metal pollutants into the aquatic ecosystems, are one of the biggest environmental challenges. Plants are good indicator of metals concentration in water and sediment of aquatic ecosystems. The aim of this study was to investigate the concentration of heavy metals in sediments, roots, stems and leaves of mangrove trees in Khorkhoran protected area as one of the most important mangrove habitats in the Persian Gulf. For this purpose, 9 samples of sediment, leaves, roots and stems were collected from this area and analyzed by ICP-OES to determine the concentration of heavy metals. Shapiro, Kruskal-Wallis, Tukey and bioaccumulation index and transfer coefficient were used for statistical analysis. The results showed that the highest concentrations of heavy metals in sediment samples were specific to nickel, zinc, copper and lead, respectively, and in the plant the highest concentrations were related to zinc, nickel, copper and lead. In general, the process of accumulation of metals in sediment and plant tissues indicates an increase in the concentration of metals in plant tissue with an increase in sediment. Bioaccumulation index showed that the highest and lowest concentrations of heavy metals were in roots and leaves, respectively, and mangrove root is a suitable indicator for measuring mangrove contaminants. The transfer coefficient of nickel metal in the stem and copper metal in the leaf showed the ability of these organs for phytoremediation of these two metals. The results showed mangroves are repelling species for other metals.

Keywords: Pollution, Bioaccumulation, Sediment, Roots, Mangroves.