

# ارزیابی خطر اکولوژیک فلزات سنگین در رسوبات و بافت‌های مختلف درخت حرا (*Avicennia marina*) در سواحل خلیج فارس

ساناز خمرا\*<sup>۱</sup>، سید مهدی حسینی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران

<sup>۲</sup>دانشکده گیاهان دارویی، دانشگاه تخصصی فناوری‌های نوین، آمل، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۲۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۲۸

## چکیده

پژوهش حاضر، به منظور سنجش فلزات سنگین مس، نیکل، سرب و روی در رسوبات، ریشه، ساقه و برگ رویشگاه‌های مانگرو (*Avicennia marina*) و از ۵ ایستگاه در بندر خمیر واقع در جنوب غربی بندرعباس با سه تکرار در تابستان ۱۳۹۹ انجام شد. علاوه بر این، برخی از پارامترهای ژئوشیمیایی رسوبات بستر این مانگروها مانند شاخص مولر، فاکتور آلودگی و شاخص اریسک اکولوژیک مورد ارزیابی قرار گرفت. الگوی تجمع فلزات در رسوبات به صورت  $Ni > Pb > Zn > Cu$  به دست آمد. این الگو برای بافت‌های ریشه، ساقه و برگ به ترتیب به صورت  $Cu > Zn > Ni > Pb$ ،  $Ni > Cu > Zn > Pb$  و  $Cu > Zn > Ni > Pb$  به دست آمد. بر اساس میزان فاکتور تجمع زیستی، بافت‌های گیاه می‌توانند شاخص زیستی مناسبی برای فلز مس در منطقه باشند. ریشه نیز می‌تواند شاخص مناسبی برای فلزات سرب و نیکل محسوب شود. برای فلز روی، بافت‌های برگ و ساقه شاخص مناسبی در منطقه شناخته شدند. فاکتور انتقال، تنها برای فلزات مس و روی در بافت‌های ساقه و برگ معنی‌دار بود که نتایج نشان از رابطه مستقیم بین غلظت مس و روی در ریشه و پس از آن در برگ‌ها و ساقه‌ها بود. همچنین بررسی غلظت فلزات در رسوبات در همه ایستگاه‌ها نشان داد که تنها غلظت فلز نیکل بحرانی بود. علاوه بر این، شاخص‌های محیط زیستی زمین‌انباشتی و فاکتور آلودگی، بیانگر وضعیت آلودگی متوسط در رسوبات منطقه بود. همچنین یافته‌های شاخص ارزیابی محیط زیستی فلزات سنگین نشان داد که، رسوبات بندر خمیر از نظر شاخص آلودگی اکولوژیک در ردهٔ ریسک اکولوژیک کم ( $RI < 150$ ) قرار دارند. به طور کلی روند تجمع فلزات در رسوبات و بافت‌های درخت حرا نشان داد که با افزایش غلظت فلزات در رسوبات، میزان این عناصر در بافت‌های گیاه نیز افزایش می‌یابد، بنابراین گونهٔ *A. marina* می‌تواند شاخص زیستی برای فلزات سنگین در اکوسیستم مورد مطالعه باشد. علاوه بر این، این گیاه باعث کاهش تحرک و دسترسی زیستی فلزات مورد بررسی در رسوبات این اکوسیستم می‌شود.

**کلید واژگان:** فلزات سنگین، رسوب، درخت حرا، بندر خمیر

مقدمه

مانگروها درختان یا درختچه‌هایی مختص کرانه‌های کم شیب با رسوبات دانه‌ریز هستند که در نواحی جزر و مدی گرمسیری و همچنین حاشیه مصب‌ها و حد فاصل عرض‌های ۳۰ درجه شمالی تا ۲۰ درجه جنوبی پراکنش دارند و با زندگی در آب‌های شور و لب شور با تناوب غرقابی سازگار شده‌اند (Zarezadeh and Rezaee, 2014).

اکوسیستم‌های مانگرو در ایران به‌واسطه منابع حساس بیوفیزیکی، اهمیت زیستگاهی، تنوع زیستی، غذای جانداران و وجود گونه‌های در معرض خطر و کمیاب، واقع شدن در آستانه دامنه اکولوژیک شرایط محیط زیستی، حساسیت به آلاینده‌ها از جمله فلزات سنگین و مشکلات ناشی از پاک‌سازی آلاینده‌ها در ردیف یکی از مهم‌ترین مناطق حساس دریایی ایران قرار دارند (Meena et al., 2021) که این امر، لزوم مطالعات بیشتر این اکوسیستم‌ها را می‌طلبد.

فلزات سنگین اجزای طبیعی پوسته زمین هستند ولی در غلظت‌های زیاد به‌دلیل توان تجمع زیستی و عدم تجزیه زیستی که دارند سبب تجمع و بزرگنمایی در بدن موجودات و در نهایت مسمومیت آن‌ها شده، در نتیجه این فلزات سمی در مواد غذایی آبریان می‌تواند اثرات نامطلوبی بر کیفیت زیستگاه‌های آبی و سلامت انسان‌ها ایجاد کند (Noroozi et al., 2021; Khan et al., 2021). در بررسی فلزات سنگین در جنگل‌های خلیج گواتر چابهار بیان شده است که تجمع برخی فلزات سنگین مانند نیکل در ریشه درختان مانگرو به‌دلیل طبیعی و وجود سنگ‌های افیولیت در بستر سواحل است ولی تجمع سایر فلزات مانند کادمیوم، مس و روی در سایر اندام‌های می‌تواند دلایل انسانی و حاصل رواناب سطحی بالادست باشد (Einollahipeer, 2012).

با توجه به این‌که گیاهان این اکوسیستم به مواد شیمیایی و به‌خصوص نسبت به افزایش غلظت فلزات سنگین در محیط، واکنش‌ها و حساسیت‌های مختلفی نشان می‌دهند، برخی از آن‌ها از محیط، ناپدید می‌شوند، برخی

تحمل خود را به فلزات افزایش می‌دهند و برخی نیز ظرفیت بالایی در تجمع مقادیر زیادی از این فلزات در بافت‌های خود دارند (گیاهان انباشتگر) بنابراین در بسیاری از مطالعات مورد توجه قرار گرفته‌اند (Smical et al., 2008). در بررسی وضعیت آلودگی اکوسیستم‌های آبی، بررسی همه اجزا و روابط موجود در آن ناممکن است. از این‌رو، یکی از راه‌های بررسی اکوسیستم نسبت به آلاینده‌ها، استفاده از اجزاء زیستی مانند گیاهان به‌عنوان شاخص زیستی می‌باشد. گیاهان به‌واسطه داشتن ویژگی‌های خاص، پایشگرهای مناسبی هستند. از مهم‌ترین این ویژگی‌ها می‌توان به قابلیت تحمل غلظت بالای فلزات، امکان ذخیره فلز در بافت‌های گیاه، دارا بودن زی‌توده بالا و در نهایت داشتن سیستم ریشه‌ای قوی درختان حرا اشاره کرد (Asadi and Jalali, 2021). آلودگی ناشی از فلزات سنگین مس، آهن، منیزیم، منگنز و روی در گیاهان مانگرو در هند مورد بررسی قرار گرفت و گزارش شد که غلظت بالای آلاینده‌های ناشی از فعالیت‌های صنعتی بر جنگل‌های مانگرو تأثیر می‌گذارد و باعث کاهش تولید جنگل‌های مانگرو می‌شود (Agoramoorthy et al., 2008). همکاران (Zhou, 2002) و همکاران (2010)، تحقیقات گسترده‌ای در زمینه نقش گیاهان حرا در پاک‌سازی رسوبات ساحلی انجام داده‌اند. نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد که این گیاهان نقش مؤثری در کاهش آلاینده‌های فلزی منطقه از طریق تجمع این عناصر در بافت‌هایشان و بی‌تحرك نمودن آن‌ها در محیط دارند (MacFarlane et al., 2002; Zhou, 2010). در مطالعات جذب فلزات سنگین توسط گیاهان، شاخص‌های فاکتور تجمع زیستی<sup>۱</sup> و فاکتور انتقال فلزات<sup>۲</sup> از اهمیت فراوانی برخوردارند. فاکتور تجمع زیستی نشان‌دهنده نسبت سطح فلز سنگین در اندام موجود زنده به میزان آن در یک محیط غیر زنده (آب و رسوب) است. گونه‌ای دارای مقادیر فاکتور تجمع زیستی بالا (بیشتر از یک) برای یک فلز خاص می‌تواند به‌عنوان گونه تثبیت کننده

<sup>2</sup>Transfer Factor

<sup>1</sup>Bioconcentration Factor

عنصر، لحاظ شود (Almahasheer, 2019). از فاکتور انتقال فلزات می‌توان جهت ارزیابی توانایی گیاه در انتقال فلزات سنگین از اندام زیرزمینی (ریشه و ریزوم) به اندام‌های فوقانی (ساقه و برگ) استفاده کرد (Moslehi et al., 2022). بررسی تجمع فلزات سنگین مس، روی و جیوه در رسوبات مانگرو در جنوب غربی برزیل نشان داد که رسوبات مانگرو فلزات را در خود نگه می‌دارند و باعث کاهش انتقال آن‌ها به آب‌های خلیج گوانابارا می‌شوند و این اکوسیستم‌ها به‌عنوان سدهای فیزیکی و بیوژئوشیمیایی برای انتقال فلزات سنگین عمل می‌کنند (Machado et al., 2002).

مطالعات متعدد نشان داده است که مانگروها نیز به‌دلیل ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی قادرند بسیاری از آلاینده‌های فلزی را در خود جمع کنند و باعث کاهش دسترسی زیستی و کاهش تحرک فلزات در رسوبات این اکوسیستم شوند (Eisazadeh et al., 2019) و از این نظر نقش مهمی در پاک‌سازی رسوبات مناطق ساحلی از آلاینده‌های فلزی ایفا می‌نمایند. بررسی‌های انجام شده در اکوسیستم‌های دریایی نشان می‌دهد که غلظت فلزات سنگین در رسوبات جنگل‌های مانگرو، ۳ تا ۵ بار بیش از میزان آب‌های مناطق دیگر است (Arumugam et al., 2018). از سوی دیگر، در بین انواع رسوبات، رسوبات جنگل‌های مانگرو پتانسیل بالایی در ذخیره‌سازی فلزات سنگین از آب در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری دارند؛ بنابراین رسوبات فوق شاخص مناسبی از نظر دریافت و تجمع فلزات سنگین هستند (Shi et al., 2019). نتایج بررسی درختان حرا در سراسر تالاب خورخوران واقع در غرب بندر عباس نیز بیانگر آن بود که این جنگل‌ها نقش مهمی در به دام انداختن رسوبات و مواد معلق موجود در ستون آب باعث دارند و باعث تصفیه محیط‌های آبی می‌شوند بنابراین نقش به‌سزایی در بهبود شرایط محیط زیستی خط ساحلی دارند (Baharvand et al., 2022). بنابراین بررسی خصوصیات کیفی رسوبات

سطحی و اندازه‌گیری آلودگی فلزات سنگین در نواحی ساحلی یک ابزار مدیریتی مهم برای ارزیابی و سنجش سلامتی اکوسیستم‌های ساحلی و نواحی بین جزر و مدی هستند، زیرا تجمع بالای فلزات سنگین در این اجزا می‌تواند منجر به تغییرات بوم‌شناختی جدی شود. اصولاً آلودگی اکوسیستم‌های آبی به فلزات سنگین می‌تواند از طریق بررسی آب، گیاهان، رسوبات، موجودات زنده و همچنین طیف وسیعی از شاخص‌های محیط زیستی همچون ارزیابی ریسک اکولوژیک، شاخص زمین‌انباشت شیمیایی، فاکتور آلودگی مورد تأیید قرار گیرد. در این میان، یکی از شاخص‌هایی که به‌دلیل اهمیت فراوان در چند سال اخیر توجه قابل ملاحظه‌ای را به‌خود جلب کرده، شاخص زمین انباشت ژئوشیمیایی<sup>۳</sup> است. شاخص مذکور که توسط مولر (Muller) معرفی شده است روشی متداول برای برآورد شدت آلودگی رسوبات به فلزات سنگین می‌باشد. اصولاً فاکتور آلودگی<sup>۴</sup> می‌تواند توصیفی از آلودگی مربوط به عناصر سنگین مورد بررسی و آلودگی محیط رسوب را ارائه دهد. از دیگر شاخص‌ها، شاخص ارزیابی ریسک اکولوژیک<sup>۵</sup> است که اولین بار توسط Hakanson به‌منظور ارزیابی خطر آلودگی رسوبات به وسیله فلزات سنگین استفاده گردید. Moazeni و همکاران (۲۰۱۳)، به بررسی غلظت فلزات سنگین کادمیوم، مس، سرب و نیکل در رسوبات سطحی پارک ملی دریایی نای‌بند، پرداختند. تجزیه و تحلیل شاخص ریسک اکولوژیک بالقوه نشان داد که رسوبات از نظر کادمیوم و مس در وضعیت غیرآلوده و نیکل و سرب در دامنه آلودگی متوسط قرار دارند (Moazeni et al., 2013).

Moradi و Solgi (۲۰۱۹)، به محاسبه و ارزیابی خطر بوم‌شناختی با استفاده از فلزات سنگین در رسوبات ساحلی بندر بوشهر پرداختند. نتایج شاخص‌های آلودگی ژئوشیمیایی مولر و سایر شاخص‌ها نشان داد که رسوبات سطحی منطقه مورد مطالعه در وضعیت غیرآلوده قرار دارند (Moradi and

<sup>5</sup>Potential ecological risk index

<sup>3</sup>Geoaccumulation index

<sup>4</sup>Contamination factor

جدول ۱ - موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه

مختصات جغرافیایی	ایستگاه‌های مورد بررسی	
۵۵° ۴۵' ۲۳.۱۵"E	۲۶° ۴۹' ۴۳.۲۵"N	ایستگاه ۱
۵۵° ۴۵' ۱۸.۴۱"E	۲۶° ۴۸' ۰۱.۸۸"N	ایستگاه ۲
۵۵° ۴۱' ۴۰.۴۱"E	۲۶° ۵۰' ۵۳"N	ایستگاه ۳
۵۵° ۳۵' ۱۱.۱۴"E	۲۶° ۵۵' ۳۲.۶۸"N	ایستگاه ۴
۵۵° ۳۸' ۲۴.۴۵"E	۲۶° ۵۸' ۴۵.۴۴"N	ایستگاه ۵

رسوبات منطقه مورد مطالعه مورد استفاده قرار گرفتند.

### مواد و روش‌ها

**روش نمونه‌برداری و آنالیز شیمیایی:** بندر خمیر در استان هرمزگان در جنوب ایران و در فاصله ۹۵ کیلومتری جنوب غربی بندرعباس و ۱۱۰ کیلومتری شرق بندرلنگه واقع شده است. این بندر به‌واسطه مجاورت با بزرگترین تالاب دریایی ایران و خاورمیانه (تالاب بین‌المللی خورخوران) توانست عنوان اولین شهر ملی تالابی ایران را کسب کند. بندرخمیر با مساحت قانونی ۴۳۱/۵ هکتار و وسعت حریم ۱۱۵ کیلومترمربع در موقعیت جغرافیایی ۲۶ درجه و ۵۷ دقیقه عرض شمالی و ۳۵ دقیقه طول شرقی نسبت به نصف‌النهار گرینویچ و در ارتفاع ۱۵ متری از سطح دریا واقع شده‌است (Taheri et al., 2014). جدول ۱ موقعیت جغرافیایی نقاط نمونه‌برداری را نشان می‌دهد. نقاط نمونه‌برداری به‌شکلی انتخاب شد که نمایانگر کل منطقه و در شرایط مختلف رویشگاهی باشد. از آنجا که محدوده پراکنش رویشگاه‌ها از سمت خشکی به سمت دریا گسترده است، بنابراین انتخاب نقاط نمونه‌برداری از دورترین نقطه خشکی به سمت دورترین نقطه دریا بود تا بخش‌های مختلف رویشگاه در معرض بودن بیش از حد آب و یا دوری از آب را در بر گیرد.

این مطالعه با استفاده از نمونه‌برداری از رسوب، ریشه، ساقه و برگ درختان مانگرو و اندازه‌گیری فلزات سنگین مس، نیکل، سرب و روی از پنج ایستگاه نمونه‌برداری و تعداد سه تکرار از هر ایستگاه در تابستان ۱۳۹۹ انجام شد. از هر ایستگاه نمونه‌برداری رسوبات سطحی پهنه گلی از عمق ۱۰ سانتی متر به وزن ۵۰۰ گرم به وسیله بیلچه‌های پلاستیکی برداشته شد. در مرحله بعد جمع‌آوری نمونه، از هر یک از بافت‌های

(Solgi, 2019). بر این اساس، برای اطمینان از حفاظت پهینه مانگروها در هر ناحیه، اندازه‌گیری میزان فلزات سنگین در رسوبات و بافت‌های گیاه ضروری به‌نظر می‌رسد. با توجه به این‌که رویشگاه مانگرو بندر خمیر، اکوسیستم ویژه‌ای در میان جوامع مانگرو خلیج فارس به‌شمار می‌آید و محیط مناسبی برای زندگی موجودات زنده مختلف می‌باشد. اما متأسفانه در چند دهه اخیر تحت تأثیر صدمات و بحران محیط زیستی مختلف همچون آلودگی نفتی و فلزات سنگین ناشی از منابع طبیعی و انسانی مانند استحصال نفت و تخلیه پساب‌های شهری در معرض تهدیدات بیشتری قرار گرفته است. این مسأله به نوبه خود می‌تواند مشکلاتی را برای سلامت و زندگی انسان نیز ایجاد نماید. به‌همین جهت بررسی اثرات ناخوشایند محیط زیستی غلظت فلزات سنگین در این اکوسیستم از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است، زیرا اگر چه محققان زیادی به بررسی آلودگی و سنجش غلظت فلزات سمی در این اکوسیستم پرداخته‌اند اما اطلاعات اندکی در مورد ارزیابی خطر اکولوژیک آن‌ها در سواحل منطقه وجود دارد. به‌همین دلیل انجام چنین مطالعه‌ای به‌منظور دستیابی به اطلاعات کمی و کیفی از میزان آلودگی و اثرات آن بر محیط‌های آبی این نواحی ضروری است. در این راستا، بررسی و ارزیابی مخاطرات محیط زیستی فلزات سنگین مس، روی، نیکل و سرب در بافت‌های ریشه، ساقه و برگ و رسوبات سطحی مانگرو در این اکوسیستم انجام شد. همچنین برای بررسی میزان توانایی بافت‌های درختان حرا در پاک‌سازی محیط از فلزات سنگین، از شاخص‌های فاکتور تجمع زیستی و فاکتور انتقال فلزات استفاده گردید. همچنین شاخص‌های ضریب آلودگی، ارزیابی ریسک اکولوژی و شاخص تجمعی مولر برای بررسی وضعیت و درجه آلودگی

محلول‌های استاندارد با غلظت‌های تعیین شده برای هر کدام از این فلزات تهیه و به دستگاه تزریق شد و با رسم منحنی کالیبراسیون برای هر یک از فلزات، غلظت فلزات موجود در نمونه‌های رسوب و اندام‌های گیاه تعیین گردید. از هر نمونه، ۳ تکرار آماده‌سازی و آنالیز گردید و میانگین آن‌ها جهت غلظت نهایی در نظر گرفته شد. در کلیه مراحل عصاره‌گیری برای حذف اثر مزاحمت‌ها در تعیین غلظت فلزات، نمونه‌ای به‌صورت شاهد (بدون حضور رسوب، ریشه، ساقه و برگ) در نظر گرفته شد.

**تجزیه و تحلیل آماری:** در این مطالعه، به‌منظور انجام تجزیه و تحلیل‌های آماری از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۹ استفاده شد. در ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف مورد بررسی قرار گرفت و پس از تأیید، برای مقایسه میانگین و اختلاف بین مقادیر فلزات سنگین (روی، مس، نیکل و سرب) از آنالیز واریانس یک‌طرفه (One-way ANOVA) و آزمون آماره Tukey استفاده گردید ( $P < 0.05$ , ANOVA).

**فاکتور تجمع زیستی (BCF):** فاکتور تجمع زیستی با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد (Almahasheer, 2019).  
رابطه ۱

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

**فاکتور انتقال فلزات:** فاکتور انتقال فلزات بر اساس رابطه ۲ برآورد شد (Moslehi et al., 2022).  
رابطه ۲

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

**شاخص تجمع ژئوشیمیایی مولر:** این شاخص برای اولین بار توسط مولر (Muller) در سال ۱۹۶۹ بیان گردید که بر اساس رابطه ۳ محاسبه می‌گردد (Muller, 1969).  
رابطه ۳

$$I_{geo} = \log_2 \frac{C_n}{1.5} \times B_n$$

در این رابطه؛  $I_{geo}$ : شاخص تجمع ژئوشیمیایی یا شدت آلودگی در رسوبات،  $C_n$ : غلظت اندازه‌گیری شده فلز سنگین

ریشه، ساقه و برگ درخت حرا برداشت شد. تمامی نمونه‌های رسوب و بافت‌های گیاهی در کیسه‌های پلاستیکی پلی‌اتیلن قرار گرفتند و به آزمایشگاه منتقل و تا زمان آنالیز در دمای ۲۵- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. نمونه‌های رسوب برداشت شده در آون در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳ روز خشک شدند. در نهایت نمونه‌های خشک شده، پس از پودر شدن به‌منظور جداسازی مواد زائد و ذرات درشت‌تر، با الک استیل ۶۳ میکرون غربال و تا زمان هضم شیمیایی در داخل کیسه‌های زیپ‌دار کدگذاری شده در آزمایشگاه در جای تاریک و دور از نور نگهداری شدند (Nazli and Hashim, 2010). برای تهیه عصاره از نمونه‌های رسوب از روش هضم اسیدی با اضافه کردن مخلوطی از اسید نیتریک ۶۵٪ و اسید پرکلریک غلیظ به نسبت ۴:۱ ابتدا با قرار گرفتن به مدت دو ساعت در دمای ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد و سپس به مدت سه ساعت در دمای ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد استفاده شد. پس از اتمام هضم، نمونه‌ها توسط کاغذ صافی واتمن ۴۲ میکرون صاف و در نهایت با آب مقطر دو بار تقطیر تا حجم ۵۰ میلی‌لیتر رقیق شدند (USEPA, 1997). در مرحله آماده‌سازی بافت‌های گیاهی، نمونه‌های ریشه، ساقه و برگ بعد از شست و شو با آب مقطر، در آون در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شده تا وزن نمونه‌ها به مقدار ثابتی برسد. سپس نمونه‌های خشک شده پودر شدند و برای هضم بافت‌های گیاه، یک گرم از نمونه‌های پودر شده با ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۶۵٪ و هیدروژن پراکسید در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت روی هم‌زن مغناطیسی هضم شدند. نمونه‌های هضم شده پس از سرد شدن در دمای آزمایشگاهی با کاغذ صافی ۴۲ میکرون فیلتر و با آب مقطر دو بار تقطیر تا حجم ۵۰ میلی‌لیتر رقیق شدند (MacFarlane et al., 2007). غلظت فلزات سنگین مس، نیکل، سرب و روی در نمونه‌های رسوب و اندام‌های گیاه شامل ریشه، ساقه و برگ با استفاده از دستگاه جذب اتمی Konic مدل NOVA 300 بر حسب میکروگرم بر گرم وزن خشک ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1} \text{d.w}$ ) اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری فلزات توسط دستگاه جذب اتمی، ابتدا

### غلظت فلزات سنگین در رسوبات و بافت‌های گیاه:

جدول ۵، مشخصات آماری فلزات سنگین سرب، نیکل، مس و روی در ۵ ایستگاه رسوبات بستر جنگل مانگرو بندر خمیر را نشان می‌دهد و غلظت فلزات مذکور را با مطالعات مشابه و استانداردهای جهانی مقایسه می‌کند.

همچنین میانگین غلظت‌های مختلف سرب، نیکل، مس و روی در بافت‌های گیاهی (ریشه، ساقه و برگ) در جدول ۶ ارائه شده است. 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 شد. نتایج نشان داد میانگین غلظت فلزات سنگین سرب، نیکل، مس و روی در کل رسوبات به‌ترتیب ۴۷/۹۰، ۵۴/۱۲، ۴۲/۱۳ و ۴۳/۶۱ میکروگرم بر گرم وزن خشک و در بافت‌های گیاه به‌طور متوسط به‌ترتیب ۳/۸۱، ۱۶/۴۱، ۲۹/۲۳ و ۲۴/۸۰ میکروگرم بر گرم وزن خشک بود. بیشترین غلظت فلز سرب ( $47/90 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1} \text{ d.w}$ ) در رسوبات به‌دست آمد و کمترین غلظت فلز کادمیوم در برگ درخت حرا ( $0/14 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1} \text{ d.w}$ ) اندازه‌گیری شد ( $P < 0/05$ ). تفاوت غلظت فلزات مس و نیکل در بین نمونه‌های مختلف معنی‌دار بود. بر این اساس بیشترین غلظت این فلزات در رسوب اندازه‌گیری شد. کمترین غلظت فلز مس در ساقه و ریشه بود در حالی که حداقل غلظت فلز نیکل نیز در برگ به‌دست آمد ( $P < 0/05$ ). بر اساس نتایج به‌دست آمده، بیشترین غلظت فلز روی در رسوب اندازه‌گیری شد و کمترین غلظت این فلز در ساقه و ریشه مشاهده شد ( $P < 0/05$ )، درحالی‌که غلظت این فلز در بین سایر بافت‌ها تفاوت معنی‌داری نداشت ( $P < 0/05$ ). نتایج مقادیر شاخص ژئوشیمیایی مولر مربوط به فلزات مورد نظر در رسوبات جنگل‌های حرا بندر خمیر در ایستگاه مختلف در جدول ۷(S) (پیوست) نشان داده شده است. بر اساس نتایج حاصل از

در رسوبات، Bn: غلظت همان عنصر در پوسته زمین (غلظت زمینه یا غلظت عنصر در شیل). ضریب ۱/۵ به‌منظور تصحیح غلظت اولیه رسوبات به‌دلیل تأثیر عوامل زمینی اعمال شد. مولر ۷ طبقه مختلف را برای طبقه‌بندی این شاخص عنوان کرد که در آن، در بالاترین طبقه یعنی طبقه آلودگی ۶، مقادیر عناصر حداقل ۱۰۰ برابر مقادیر مرجع است. طبقه‌بندی کیفیت رسوبات بر اساس شاخص تجمعی مولر در جدول ۲(S) (پیوست) ارائه شده است.

**فاکتور آلودگی:** ضریب آلودگی از تقسیم غلظت عنصر در نمونه برداشت شده به غلظت همان عنصر در نمونه زمینه (غلظت همان عنصر در نمونه شیل) به‌دست می‌آید (جدول ۳s) (پیوست). ضریب آلودگی Hakanson از طریق رابطه ۴ محاسبه شد: در این رابطه Ci: غلظت عنصر در نمونه و Cn: غلظت همان فلز در ماده مرجع (میانگین شیل) است (Hakanson, 1980):

رابطه ۴

$$CF = \frac{Ci}{Cn}$$

**شاخص ارزیابی ریسک اکولوژیک فلزات سنگین در رسوبات:** در این مطالعه پتانسیل ریسک اکولوژیک بر اساس رابطه‌های ۵ و ۶ محاسبه شد. میزان خطر اکولوژیک و محیطی فلزات سنگین در جدول ۴(S) (پیوست) نشان داده شده است.

رابطه ۵

$$Er = Tr \times Cf$$

رابطه ۶

$$RI = \sum Er$$

در این رابطه ER: پتانسیل ریسک اکولوژیک هر یک از عناصر، Cf: شاخص ضریب آلودگی، Tr: به‌صورت ضریب سمیت تعریف شده که مقادیر آن برای فلزات روی، سرب، مس و نیکل به‌ترتیب ۱، ۵، ۵ و ۱ بیان شده است. همچنین RI: ریسک اکولوژیک مجموع عناصر را نشان می‌دهد (Hakanson, 1980).

### نتایج

جدول ۵- میانگین غلظت فلزات سنگین رسوبات رویشگاه مانگرو (میکروگرم در گرم وزن خشک) و مقایسه آن با مطالعات مشابه و استانداردهای جهانی

ایستگاه	مس	نیکل	سرب	روی		
۱	۰/۷۳±۴۷/۰۳	۰/۷۸±۵۸/۰۹	۱/۹۱±۴۷/۱۶	۱۹/۳۴±۴۶/۳۵		
۲	۳/۴۰±۴۷/۹۳	۰/۹۴±۴۷/۰۵	۳/۵۲±۱۰/۱۸	۳/۷۷±۲۶/۷۱		
۳	۸/۵۴±۴۲/۴۲	۳/۷۸±۵۷/۱۸	۱/۷۰±۵۲/۰۳	۱/۸۳±۵۴/۲۴		
۴	۲/۱۳±۳۵/۸۳	۱۴/۴۳±۵۲/۱۱	۲/۹۱±۵۰/۳۸	۱۱/۱۰±۳۷/۴۹		
۵	۰/۵۰±۳۷/۵۳	۰/۶۲±۵۶/۱۸	۲/۸۶±۴۷/۰۶	۶/۲۹±۴۲/۷۲		
کل	۶/۰۷±۴۲/۱۳	۲۴/۴۴±۵۴/۱۲	۳/۷۷±۴۷/۹۰	۱۲/۴۶±۴۳/۶۱	مطالعه حاضر	
رسوبات خوریات، ماهشهر	۲۵/۱۳	۱۰۰/۹۶	۱۵/۰۲	۷۵/۹۸	Cheraghi et al., 2015	
رسوبات بستر مانگرو، گابریک،	-	۸۶/۵۳	۶۷/۶۳	۶۹/۶۳	Zarezadeh an Rezaee, 2016	
رسوبات مانگرو بیدخون و بساتین،	۴۶/۰۴	۴/۱۴۶	۸۰۴/۹	۶۱/۴۸۱	Davari et al., 2012	
رسوبات بستر مانگرو منطقه سیریک	-	۷۲/۳۱	/۴۹۹	۰۵/۰۹۱	Zarezadeh et al., 2014	
استاندارد کیفیت رسوب آمریکا (NOAA) <sup>۱</sup>	۳۴	۲۰/۹	۴۶/۷	۱۵۰	ERL <sup>۲</sup>	
	۲۷۰	۵۱/۶	۲۱۸	۴۱۰	ERM <sup>۳</sup>	
استاندارد کیفیت رسوب کانادا (ISQGs) <sup>۱</sup>	۱۶	۳۱	۱۶	۱۲۰	LEL <sup>۴</sup>	
	۱۱۰	۲۵۰	۷۵	۸۲۰	SEL <sup>۵</sup>	
استاندارد کیفیت رسوب نیویورک	۱۶	۱۶	۳۲	۱۲۰	LEL	
	۱۱۰	۵۰	۱۱۰	۲۷۰	SEL	

<sup>1</sup>National Oceanic and Atmospheric Administration

<sup>2</sup>Effect Rang Low

<sup>3</sup>Effect Range Medium

<sup>4</sup>Interim Sediment Quality Guidelines

<sup>5</sup>The Lowest Effectrange

<sup>6</sup>The Sever Effect range

سرب، مس و روی با میزان ۲/۹۸، ۲/۸۹، و ۲/۷۸ میلی‌گرم بر گرم دارای آلودگی متوسط در منطقه هستند. الگوی مشابهی از آلودگی فلزات بر اساس شاخص فاکتور آلودگی برای فلزات مورد بررسی در منطقه به‌دست آمد و نتایج حاصله در جدول (S) ۸ (پیوست) نشان داده شده است. بر

جدول (S) ۷ (پیوست) و مقایسه آن با جدول (S) ۲ (پیوست) می‌توان اظهار داشت که غلظت فلزات در رسوبات مورد مطالعه در رده ۳ و ۴ مولر (متوسط تا خیلی آلوده) قرار می‌گیرند و شدت آلودگی این فلزات به شرح زیر است: نیکل با میزان ۳/۲ میکروگرم بر گرم بالاترین شدت آلودگی،

جدول ۶- میانگین غلظت فلزات سنگین در ریشه، ساقه و برگ رویشگاه مانگرو (میکروگرم در گرم وزن خشک)

ایستگاه	بافت ریشه			
	مس	نیکل	سرب	روی
۱	۴/۲۹±۲۵/۲۷	۰/۸۷±۳۹/۰۲	۱/۰۶±۹/۲۱	۲/۳۴±۲۴/۸۸
۲	۳/۴۰±۲۶/۹۴	۰/۹۴±۳۷/۴۲	۳/۵۲±۱۰/۱۸	۳/۷۷±۲۶/۷۱
۳	۱/۲۹±۲۳/۶۲	۱/۶۴±۳۸/۹۲	۰/۱۷±۸/۱۰	۴/۴۴±۷/۴۹
۴	۰/۵۴±۲۵/۲۷	۳/۳۷±۳۹/۱۷	۰/۶۴±۹/۰۷	۳/۹۰±۹/۶۴
۵	۱/۰۴±۲۶/۴۳	۰/۱۱±۴۱/۶۸	۱/۱۸±۱۰/۶۰	۰/۵۳±۲۵/۹۹
کل	۲/۴۹±۲۵/۵۱	۴/۲۰±۳۹/۷۶	۱/۷۴±۹/۴۳	۷/۲۵±۱۸/۹۴
ایستگاه	بافت ساقه			
	مس	نیکل	سرب	روی
۱	۰/۸۲±۳۷/۱۰	۰/۸۷±۷/۷۸	۰/۲۶±۱/۰۲	۷/۸۹±۴۱/۷۶
۲	۰/۹۴±۲۴/۵۵	۰/۹۷±۸/۷۵	۰/۰۶±۱/۵۶	۱/۷۴±۱۶/۴۵
۳	۰/۷۵±۲۳/۴۰	۰/۷۹±۹/۸۱	۰/۰۶±۱/۲۴	۲/۱۱±۱۴/۹۵
۴	۰/۸۱±۲۳/۱۵	۰/۷۲±۵/۵۷	۰/۰۱±۰/۷۳	۳/۸۰±۲۲/۳۲
۵	۱/۰۷±۲۴/۱۰	۱/۲۶±۳/۳۴	۰/۳۲±۱/۲۸	۲/۴۱±۱۲/۸۰
کل	۱/۶۴±۲۴/۴۶	۲/۵۷±۷/۰۵	۰/۳۳±۱/۱۷	۱۱/۴۸±۲۱/۶۵
ایستگاه	بافت برگ			
	مس	نیکل	سرب	روی
۱	۷/۵۷±۳۲/۴۷	۰/۵۸±۲/۵۰	۰/۱۴±۰/۸۹	۴/۶۲±۲۹/۵۰
۲	۲۲/۹۱±۳۸/۸۳	۰/۶۷±۲/۵۹	۰/۰۲±۰/۸۷	۳/۹۷±۱۹/۷۱
۳	۲۱/۷۰±۳۴/۹۴	۰/۵۹±۲/۱۷۸۸	۰/۰۲±۰/۸۳	۴/۵۰±۲۳/۰۳
۴	۵/۹۱±۵۹/۳۳	۰/۹۴±۱/۸۸	۰/۰۷±۰/۸۱	۹/۳۴±۴۹/۵۰
۵	۱/۲۳±۲۳/۰۸	۰/۵۸±۳/۰۷	۰/۰۸±۰/۸۱	۶/۳۹±۴۷/۴۳
کل	۱۷/۵۹±۳۷/۷۳	۰/۷۱±۲/۴۴	۰/۰۷±۰/۸۴	۱۳/۸۰±۳۳/۸۳

جدول ۱۰- میانگین فاکتور انتقال و فاکتور تجمع زیستی در بافت‌های گیاه حرا

بافت	مس	نیکل	سرب	روی
BCF در ریشه	۰/۶۰	۰/۷۳	۰/۶۰	۰/۴۳
BCF در ساقه	۰/۵۸	۰/۱۳	۰/۰۲	۰/۴۹
BCF در برگ	۰/۸۹	۰/۰۴	۰/۰۱۷	۰/۷۷
TF در ساقه	۰/۹۵	۰/۱۷	۰/۱۲	۱/۱۴
TF در برگ	۱/۴۷	۰/۰۶	۰/۰۸	۱/۷۸

اساس میانگین فاکتور آلودگی، مقادیر فاکتور آلودگی برای تمامی فلزات مس، نیکل، سرب و روی بین ۱-۳ بوده و در طبقه آلودگی متوسط قرار دارند.

#### ارزیابی ریسک اکولوژیک در رسوبات جنگل مانگرو:

نتایج بررسی ریسک اکولوژیک و ریسک محیط زیستی فلزات سنگین در جدول (S) ۹ (پیوست) ارائه شده است. به‌طور کلی، این یافته‌ها نشان می‌دهد اکثر ایستگاه‌های مورد بررسی، از نظر ریسک اکولوژیک فلزات سنگین در طبقه خطر پایین تا متوسط قرار دارند. به‌طوری که برای فلز مس ریسک اکولوژیک در طبقه متوسط بوده و برای سایر فلزات در طبقه بدون خطر می‌باشند همچنان، روند تغییرات خطر

کلی هر فلز در منطقه نشان می‌دهد که به‌ترتیب خطر به‌صورت (روی > نیکل > سرب > مس) ارزیابی می‌گردد. در واقع بیشترین و کمترین خطر به‌ترتیب مربوط به فلز مس و روی است. همچنین یافته‌های بررسی شاخص ارزیابی محیط زیستی این فلزات نشان می‌دهد که با توجه به مقادیر به‌دست آمده ( $RI < 150$ ) ریسک محیط زیستی این فلزات پایین بوده است. ضریب تجمع زیستی و ضریب انتقال در جدول ۱۰ نشان داده شده است. با توجه به محاسبه فاکتور تجمع زیستی، بافت‌های گیاهی می‌توانند یک شاخص زیستی مناسبی برای مس در این ناحیه باشند همچنین ریشه، یک شاخص زیستی خوبی برای سرب و نیکل است.



برای فلز روی، بافت‌های برگ و ساقه بهترین شاخص زیستی هستند. ضریب انتقال، تنها برای فلزات مس و روی در بافت‌های ساقه و برگ معنی‌دار است که نتایج حاصل، بیانگر رابطه مستقیم بین غلظت مس و روی در ریشه و پس از آن در برگ‌ها و ساقه‌ها است.

### بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به تجزیه و تحلیل آماری نمونه‌های مختلف، مشخص شد که بالاترین غلظت همه فلزات مورد مطالعه در رسوبات وجود دارد. همچنین در جدول ۵، مقایسه غلظت فلزات سنگین در ایستگاه‌های مورد بررسی رسوبات بندر خمیر با سایر نقاط آبی جهان ارائه شده است. الگوی تجمع فلزات در نمونه‌های رسوب مطالعه حاضر،  $Ni > Pb > Zn > Cu$  است. مقایسه الگوی تجمع فلزات سنگین در بندر خمیر نشان می‌دهد که روند غلظت فلز، یک روند کاهشی از فلزات ضروری به فلزات غیرضروری است. به عبارت دیگر، فلزات ضروری، غلظت کمتری در مقایسه با فلزات غیرضروری دارند. از مقایسه نتایج نیز مشخص شد که فلزات ضروری غلظت‌های پایین‌تری در بافت‌های ریشه دارند در حالی که فلزات غیرضروری دارای غلظت‌های بالاتری در این بافت هستند. این تغییرات ممکن است ناشی از استراتژی دفاع گیاه در غنی‌سازی فلزات غیرضروری در این بافت باشد (Moslehi et al., 2022). همچنین نتایج حاصل از بررسی غلظت فلزات سنگین در رسوب منطقه مورد مطالعه نشان داد که فلز نیکل در رسوب نسبت به سایر عناصر در این مطالعه دارای غلظت بالاتری است. غلظت بالای نیکل در رسوبات اصولاً ناشی از منابع انسانی و رواناب حاصل از رودخانه‌های بالادست این ناحیه است. علاوه بر این، بالا بودن میزان نیکل در رسوبات ارتباط مستقیمی با جنس بستر و شرایط اکولوژیک حاکم بر آن (بسته بودن خور و عمق کم آن) دارد (Zarezadeh et al., 2017). رسوبات گلی، تجمع‌دهنده‌های خوبی برای آلاینده‌های آلی و غیرآلی هستند و این به دلیل بزرگتر بودن نسبت سطح به حجم این

ذرات است. با توجه به اینکه بخش عظیمی از رسوبات رویشگاه‌های مانگرو از جنس سیلت و رس می‌باشد و دارای اندازه بسیار کوچکی هستند، بنابراین غلظت نسبتاً بالای فلزات در آن‌ها توجیه‌پذیر است (Zahed et al., 2010). به منظور تعیین میزان آلودگی رسوبات سطحی منطقه مورد مطالعه به فلزات نیکل، مس، روی و سرب مقدار میانگین غلظت آن‌ها علاوه بر مطالعات مشابه با استانداردهای کیفیت رسوب مقایسه شده است (جدول ۵). استاندارد کیفیت آمریکا (NOAA) میزان آلودگی را در دو سطح به صورت ERL و ERM بیان می‌کند. کیفیت رسوب کانادا نیز با استفاده از دو سطح LEL و SEL مقدار استاندارد کمترین و بیشترین سطح آلودگی را بیان می‌کند (Yazdan Panah et al., 2019). استاندارد کیفیت رسوب نیویورک نیز دو محدوده LEL و SEL گزارش می‌شود که به ترتیب شامل محدوده کمترین اثرات و محدوده اثرات شدید توصیف می‌شود (Long et al., 1995). غلظت فلز نیکل در رسوبات بندر خمیر نسبتاً بالا به نظر می‌رسد و نزدیک به سطح ERM بود. غلظت فلز نیکل تنها از سطح SEL کمتر بود در حالی که غلظت آن در رسوب از سایر استانداردها بیشتر بود. غلظت فلز سرب از سطوح ERL و LEL بیشتر و از سطوح ERM، SEL و کمتر از SEL بود. میزان غلظت فلز روی کمتر از تمام سطوح استانداردهای مورد بررسی بود. در مطالعات محیط زیستی، شاخص زمین انباشتگی، ضریب آلودگی و شاخص ارزیابی ریسک اکولوژی از معیارهایی هستند که با در نظر گرفتن غلظت عناصر در نمونه زمینی، روند آلودگی را در رسوبات نشان می‌دهند. توالی غلظت فلزات اندازه‌گیری شده در رسوبات ایستگاه‌های مختلف روی درجه بسیار پایین از آلودگی، مس درجه بالا از آلودگی و سرب و نیکل درجه متوسط از آلودگی را نشان می‌دهند و ریسک اکولوژیک کل فلزات کم است. مناطق ساحلی مانگرو منطقه خمیر از نظر وجود صنایع و معادن فقیر است در حالی که منطقه اصلی صیادی میگو و ماهی است. نتایج بررسی خطر اکولوژیک فلزات سنگین در رسوبات

ریشه، ساقه و برگ در بندر خمیر با سایر نقاط آبی جهان در جدول (s) ۱۱ (پیوست) مقایسه شده است. روند تجمع فلزات سنگین در ریشه گیاه تمامی ایستگاهها به صورت  $Ni > Cu > Zn > Pb$  به دست آمد. در عین حال این روند با روند تجمع فلزات سنگین در دیگر بافت‌های گیاه متفاوت بود. به طوری که در بافت‌های ساقه و برگ در ایستگاه‌های مورد بررسی به ترتیب  $Cu > Zn > Ni > Pb$  و  $Cu > Zn > Ni > Pb$  به دست آمدند. بر اساس الگوهای به دست آمده از تجمع فلزات می‌توان اظهار داشت، از آنجایی که ریشه در تماس مستقیم با رسوبات است، تجمع فلزات در رسوب می‌تواند بر روند تجمع آن‌ها در ریشه تأثیرگذار باشد در حالی که در دیگر بافت‌های گیاه غلظت فلزات سنگین می‌تواند بر اساس ضروری و یا غیرضروری بودن روند متفاوتی نسبت به رسوب داشته باشد. افزایش غلظت فلزات روی و مس در بافت‌های گیاه در مقایسه با فلزات سرب و نیکل می‌تواند ناشی از ضروری بودن فلزات مس و روی برای گیاه باشد. بر این اساس، غلظت این فلزات در بافت‌های این گیاه افزایش می‌یابد. بنابراین بالا بودن غلظت این فلزات نسبت به سایر فلزات مورد مطالعه می‌تواند انعکاسی از نیاز فیزیولوژیک گیاه باشد. Ingole و Vardanyan (۲۰۰۴)، با بررسی غلظت فلزات سنگین بافت‌های گیاهان شورپسند در Sevan ارمنستان و Carambolim هند نشان دادند که فلزات ضروری در بافت‌های گیاه تجمع بیشتری یافته و کمترین غلظت فلزات مربوط به عناصر غیرضروری است. نتایج حاصل از مطالعه Shete و همکاران (۲۰۰۷) بر روی گیاه حرا، نشان داد که بالاترین میزان عناصر در بافت ریشه و برگ به فلز مس و روی اختصاص دارد. این پژوهشگران بیان داشتند که روی یک عنصر ضروری برای گیاهان است. این فلز متحرک بوده و تمایل به تجمع در بافت‌های گیاهی دارد. نتایج نشان داد که بافت‌های گوناگون مقادیر مختلفی از عناصر را در خود ذخیره می‌نمایند و الگوی تجمع همه عناصر در بافت‌های مختلف گیاه (ریشه، ساقه و برگ) و رسوب به صورت ساقه > برگ > ریشه > رسوب است. بر اساس

ساحلی منطقه ویژه اقتصادی پارس جنوبی توسط Haghshenas و همکاران (۲۰۱۷)، نشان داد که اکثر ایستگاه‌های مورد بررسی از نظر خطر اکولوژیک فلزات سنگین در طبقه خطر پایین تا متوسط قرار دارند. در بین عناصر اندازه‌گیری شده، رسوبات از نظر فلز کادمیوم در معرض خطر متوسط اکولوژیک قرار دارد. بر اساس شاخص انباشت ژئوشیمیایی مولر کیفیت رسوبات برای تمامی فلزات مورد مطالعه در طبقه‌های ۳ و ۴ مولر (متوسط تا خیلی آلوده) قرار گرفته‌اند (جدول ۳). با توجه به میانگین شاخص زمین انباشتی و نیز درصد طبقات این شاخص، می‌توان بیان داشت که بیشترین انباشت برای فلز نیکل در نمونه‌های رسوب منطقه اتفاق افتاده است. نتایج فاکتور آلودگی نشان داد همه ایستگاه‌ها از لحاظ فاکتور آلودگی در طبقه آلودگی متوسط قرار دارند. بر اساس طبقه‌بندی Hakanson (۱۹۸۰)، ضریب آلودگی نمونه‌های در طبقه‌های  $CF \leq 1$  نشان‌دهنده آلودگی پایین،  $1 < CF \leq 3$  نشان‌دهنده آلودگی متوسط،  $3 < CF \leq 6$  آلودگی قابل ملاحظه و میزان بیشتر از ۶ بیانگر آلودگی بسیار بالا است. بالا بودن فاکتور آلودگی نیکل و سرب در منطقه بررسی شده احتمالاً به دلیل وجود دخالت‌های انسانی و همچنین تعمیر، شست و شو و رنگ و بنزین‌کشتی‌ها و قایق‌ها منطقه است (Pourang et al., 2005). همه روزه کشتی‌ها و قایق‌های مختلفی برای رنگ‌کاری و تعمیر در این اسکله توقف می‌کنند. به طور کلی عنصر سرب در ترکیبات رنگ‌ها وجود دارد. در رنگ‌کاری ممکن است بخشی از رنگ که شامل این فلزات است، وارد محیط دریا شده و غلظت این فلزات را در رسوب افزایش دهند. علاوه بر این، سرب در بنزین‌شناورها و قایق‌ها نیز وجود دارد و به دلیل ترافیک بالا، حجم بالایی از پساب ناشی از تردد وارد این منطقه می‌شود (El Tokhi et al., 2008). در بررسی رسوبات کارون فاکتور آلودگی برای تمام فلزات بین  $1 < CF \leq 3$  به دست آمد که نشان‌دهنده آلودگی متوسط رسوبات رودخانه است (Rastmanesh et al., 2015). روند تجمع فلزات سنگین در هر یک از بافت‌های گیاه حرا شامل

دارا می‌باشند. اغلب فلزات در لایه‌ی خارجی ریشه (اپیدرم) جذب سطحی می‌شوند. ریشه‌ها دارای بافت اسفنجی بوده که این نوع بافت جذب‌کننده‌ی فلزات از آب و خاک می‌باشد. فلزات جذب‌شده یا جذب سطحی شده توسط ریشه برای جلوگیری از انتقال آن‌ها به بخش‌های حساس گیاه، اغلب با مواد دیواره‌ی سلولی یا مولکول‌های بزرگ ترکیب می‌شوند (Zamani Afshar *et al.*, 2022). با بررسی عامل تجمع زیستی که نتایج حاصل از آن در جدول ۱۰ ارائه شده است، مشخص شد که برای فلز مس، تمامی بافت‌ها قادرند این فلز را از رسوب دریافت کرده و در نتیجه شاخص زیستی مناسبی برای فلز مس باشند. همچنین بر اساس میزان عامل تجمع زیستی به دست آمده، ریشه، شاخص زیستی مناسبی برای فلزات نیکل و سرب است در حالی که بافت‌های برگ و ساقه برای فلز روی شاخص بهتری هستند. فلز نیکل و سرب از جمله فلزات غی ضروری برای گیاه محسوب می‌شوند بنابراین با غلظت کمتری در ساقه و برگ تجمع می‌یابد. از آنجا که ریشه در تماس مستقیم با رسوب است، در نتیجه میزان تجمع فلز نیکل و سرب در رسوب به نسبت بیشتر است بنابراین می‌توان اظهار داشت که تغییرات غلظت فلزات سنگین در رسوب به صورت مستقیمی بر آن تأثیر می‌گذارد. به‌ویژه با توجه به نتایج مطالعه حاضر، این رابطه برای فلزات غیرضروری فقط در ریشه وجود دارد. فاکتور انتقال زیستی (TF) سرب، روی، نیکل و مس از ریشه به ساقه و برگ محاسبه گردید (جدول ۱۰). چنانچه شاخص انتقال بین ۰/۱ تا یک باشد به این معنی است که حالت تجمع و دسترسی در گیاه متوسط است. مقادیر فاکتور انتقال محاسبه شده برای بافت‌های گیاه نشان می‌دهد، در رابطه با فلز سرب و نیکل، حالت تجمع و دسترسی در گیاه متوسط است؛ اما در رابطه با فلز مس و روی مقدار این شاخص بزرگتر از یک بوده که بیانگر این است که پس از جذب فلزات از محیط توسط ریشه، این بافت می‌تواند انتقال‌دهنده مناسبی برای فلزات به اندام‌های هوایی نسبت به ریشه خود باشد و میزان انتقال گیاه در فلز روی از همه فلزات مورد مطالعه بیشتر بوده است.

نتایج حاضر، میزان تجمع فلزات در رسوب بیشتر از بافت‌های گیاه حرا می‌باشد. اکوسیستم‌های تالابی به دلیل حضور شرایط اکسیداسیون-احیا، سیلاب دوره‌های حاصل از جزرومد، بالابودن میزان مواد آلی و سولفید، محل مناسبی جهت به دام انداختن فلزات سنگین است. علاوه بر این، بافت ریزدانه رسوبات رویشگاه مانگرو سبب به دام انداختن فلزات شده و تبادل کاتیونی در رسوب را افزایش و دسترسی زیستی عناصر به گیاه را کاهش می‌دهد (Alharbi *et al.*, 2019)؛ بنابراین کمتر بودن فلزات در بافت گیاه نسبت به رسوب تا حدودی طبیعی به نظر می‌رسد. از طرفی نتایج این تحقیق نشان داد که غلظت عناصر در بافت ریشه بیشتر از میزان آن‌ها در بافت‌های برگ و ساقه است. اختلاف در غلظت فلزات در بافت برگ و ریشه ممکن است به دلیل تفاوت در ساختار فیزیولوژیک بافت‌ها باشد. از طرف دیگر، جذب عناصر از طریق ریشه گیاه صورت می‌گیرد، بنابراین بخشی از این یون‌های فلزی جذب سطحی ریشه می‌شوند. همچنین مقداری از عناصر جذب‌شده توسط ریشه نیز با ترکیبات موجود در بافت ریشه ترکیب شده، از این رو 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 دیواره آوندهای چوبی در ریشه شاید از جمله عوامل مؤثر بر این اختلاف باشند (Baharvand *et al.*, 2022). از این رو، ریشه درخت حرا پایشگر زیستی مناسبی برای همه فلزات مورد مطالعه به‌ویژه مس و نیکل است. Zheng و همکاران (۱۹۹۷) بیان کردند که اختلافات مشاهده شده در غلظت فلزات در بافت‌های مختلف مانگرو ممکن است به دلیل طبیعت بافت‌ها باشد. این پژوهشگران اظهار داشتند که ریشه‌ها اندامی چندساله و دائمی هستند و زمان طولانی‌تری برای تجمع فلزات دارند، در حالی که برگ‌ها، در بعضی فصول ریزش دارند و دائمی نمی‌باشند (Zheng *et al.*, 1997). همچنین Kabata-Pendias و Pendias (۲۰۰۱) گزارش کردند که ریشه‌ها میزان بیشتری از عناصر را نسبت به بخش‌های بالایی گیاه

فلزات نیکل و سرب، به این شیوه است که غلظت کمتری از این فلزات به بافت‌های دیگر از ریشه منتقل شده است. ریشه *A.marina* نقش موثری در انتقال فلزات به بخش‌های مختلف گیاه در بندر خمیر ایفا می‌کند. عامل مؤثر در نسبت‌های متفاوت فلزات سنگین در بین رسوب و بافت‌های مختلف گیاه می‌تواند ناشی از دسترسی زیستی و ضروری و غی ضروری بودن فلزات برای گیاه باشد. به‌طور کلی می‌توان بیان داشت که مانگرو می‌تواند نقش کلیدی در تجمع فلزات در اکوسیستم گرمسیری و زیر مجموعه‌های دریایی ایفا کند. الگوی متفاوت تجمع فلزات در رسوب و بافت‌های *A.marina* در بندر خمیر می‌تواند ناشی از نقش‌های متفاوت فلزات برای گیاه باشد. فلز نیکل از جمله فلزات غیرضروری برای گیاه محسوب می‌شود بنابراین با غلظت کمتری در ساقه و برگ تجمع می‌یابد. از آنجا که ریشه در تماس مستقیم با رسوب است، در نتیجه میزان تجمع فلز نیکل در رسوب به نسبت بیشتر است. شایان ذکر است که بالا بودن حضور فلزات روی، مس، نیکل و سرب را در اکوسیستم‌های آبی و زنجیره غذایی را باید بسیار جدی و خطری برای محیط زیست و انسان تلقی کرد. با توجه به نتایج مطالعه حاضر و حضور آلاینده‌ها در منطقه مورد مطالعه، توصیه می‌گردد پایش منظم و مداوم منطقه به‌منظور تعیین میزان آلودگی صورت گیرد. همچنین ایجاد قوانین به‌منظور کنترل آلودگی ناشی از منابع نقطه‌ای و پساب‌های شهری و صنعتی و نیز ایجاد سیستم‌های مناسب برای تصفیه فاضلاب‌ها امری ضروری است.

MacFarlane و همکاران (۲۰۰۷) ، میزان عامل عامل تجمع زیستی (BCF) را برای فلزات مس، سرب و روی در گیاه مانگرو (*A. marina*) کمتر از یک تا مساوی یک به‌دست آوردند. آن‌ها بافت ریشه را شاخص زیستی مناسبی برای این فلزات عنوان کردند. در ادامه آن‌ها، میزان فاکتور انتقال زیستی (TF) برای گیاهان مس و روی را ۰/۵۲ و ۰/۵۳ و میزان تجمع زیستی (BCF) فلزات در برگ را ۰/۱۱ و به‌دست آوردند. آن‌ها بالاترین شاخص انتقال زیستی (TF) در گیاه حرا را مربوط به فلزات مس و روی دانستند. آن‌ها میزان کاهش عامل انتقال فلزات از ریشه به گیاه را ناشی از نوع مصرف فلز برای گیاه دانستند (MacFarlane et al., 2007). Davari و Sharifan (۲۰۱۰)، با بررسی غلظت فلزات مس در درخت حرا در جزیره قشم، میزان انتقال فلزات مس از ریشه به برگ ۰/۸۹ و میزان عامل تجمع زیستی (BCF) را ۰/۸۴ به‌دلیل عامل افزایش عوامل انتقال و تجمع زیستی فلز مس را ناشی از ضروری بودن فلز مس دانستند. Wozny و Krzeslowska (۱۹۹۳) ، نشان دادند که ضروری بودن (مانند روی و مس) و غیرضروری بودن فلز برای گیاه منجر به تجمع میزان متفاوتی از آن در فرآیند متابولیک خواهد شد. بر این اساس یافته‌های این تحقیق می‌توان بیان کرد که به‌دلیل نیاز گیاهان به فلزات ضروری، میزان انتقال فلزات مس و روی، (جدول ۱۰) از ریشه به هر یک از بافت‌های گیاه بسیار بالا است، که نشان‌دهنده این است که پس از جذب فلزات از محیط توسط ریشه، این بافت می‌تواند انتقال‌دهنده مناسبی برای فلزات به هر یک از بافت‌های ساقه و برگ در گیاه باشد. اما این فرآیند، برای

## References

- Agoramoorthy, G., Chen, F.A., Hsu, M.J., 2008. Threat of heavy metal pollution in halophytic and mangrove plants of Tamil Nadu, India. *Environmental Pollution* 155, 320-326.
- Alharbi, O.M., Khattab, 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, 110-129.
- Almahasheer, H., 2019. High levels of heavy metals in Western Arabian Gulf mangrove soils. *Molecular Biology Report* 46(2), 1585-1592.
- 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 and Management* 10, 272-279.
- Asadi Kapourchal, S., Jalali, V., 2021. Phytoremediation and estimation of optimal clean up time of lead contaminated soils using *Portulaca oleracea* L. and *Amaranthus retroflexus*. *Journal of Environmental Water Engineering* 7(1), 25-37. (In Persian)
- Baharvand, A.B., Kiani Sadr, M., Lorestani, B., Cheraghi, M., Ardakani, S.S., 2022. Phytoremediation of Heavy Metals Nickel, Cadmium and Lead in the Coasts of the Persian Gulf Using Mangrove (*Avicennia marina*). *Journal of Environment and Water* 8(1), 79-92. (In Persian)
- Cheraghi, M., Safahieh, A.R., Dadolahi, Sohrab, Ghanemi, K., Doraghi, A., 2015. The Survey of *Avicennia Marina* as Biomonitor for Heavy Metals in the Mahshahr Estuary. *Environmental Sciences* 13(1), 33-42. (In Persian)
- Davari, A., Danekar, A., Khorasani, N., Javanshir A., 2012. Determination of heavy metals in mangrove forests of Booshehr. *Journal of Environment* 38, 27-36. (In Persian)
- Einollahipeer, F., 2012. Survey of heavy metals concentration Cd, Cu, Ni and Zn in sediment and different tissues of *Avicennia marina* (root, stem, leaf and flower) in gulf of Gwatr. *Journal of Oceanography* 3(11), 72-83. (In Persian)
- Eisazadeh, L., Azarjan, S., Kapourchal, S.A., Homae, M., Noorhosseini, S.A., Damalas, C.A., 2019. Chive (*Allium schoenoprasum* L.) response as a phytoextraction plant in cadmium-contaminated soils. *Environmental Science and Pollution Research* 26(1), 152-160. (In Persian)
- El Tokhi, M., Abdelgawad, E., Lotfy, M.M., 2008. Impact of Heavy Metals and Petroleum Hydrocarbons Contamination of the East Port Said Port area, Egypt. *Applied Sciences Research* 4, 1788-1798.
- Haghshenas, A., Hatami-manesh, M., Mirzaei, M., Mir Sanjari, M.M., Hossein Khezri, P., 2017. Measurement and Evaluation of Ecological Risk of Heavy Metals in Surface Sediments of Pars Special Economic Energy Zone. *Journal of Iranian South Medical* 20(5), 448-469. (In Persian)
- Hakanson, L., 1980. Ecological risk index for aquatic pollution control, a sedimentological approach. *Water Research* 14, 975-1001.
- Khan, A.H.A., Kiyani, A., Mirza, C.R., Butt, T.A., Barros, R., Ali, B., Iqbal, M., Yousaf, S., 2021. Ornamental plants for the phytoremediation of heavy metals: Present knowledge and future perspectives. *Journal of Environmental Research* pp. 187-195,
- Long, E.R., Mac Donald D.D., Smith, S. L., Calder, E. D., 1995. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environmental Management* 19, 81-97.
- 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.
- 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.
- 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 and Pollution Research* 25(5), 4134-4148.
- Moazeni, M., S. Hayeripour, M. Mohamadi and H. Foladi. 2013. Study of some heavy metals concentration (Cd, Cu, Pb, Ni) in surface sediments of the Naiband national park, Persian Gulf, Iran. *Journal of Wetland Ecobiology* 5(15), 23-32. (In Persian)
- Moradi, Z., Solgi, E., 2020. Measurement of Sediment Quality According to Heavy Metals (Fe, Zn, Cu, Mn, Ni) Status in Sediments: The Coastal Sediments of Bushehr Port. *Journal of Water and Soil Science* 23, 1-14. (In Persian)
- Moslehi, M., Salmanmahiny, A., Yaghoubzadeh, M., Mikaeili Tabrizi, A.R., Danehkar, A., 2022. Comparison of heavy metals concentration in sediments and vegetative organs of two species of grey and red mangrove. *Journal of Wood and Forest Science and Technology* 28(4), 119-134. (In Persian)

- Muller, G., 1969. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Geo Journal* 2, 108-118.
- Nazli, M.F., Hashim, N.R., 2010. Heavy Metal Concentrations in an Important Mangrove Species, *Sonneratia caseolaris*, in Peninsular Malaysia. *Environment Asia* 3, 50-55.
- Noroozi, M., Mohammadi, A., Behbahaninia, A., Babaei, F., 2021. Investigation of heavy metal pollution in the sediments of Salehieh Wetland, Karaj, Iran. *Journal of Environmental Water Engineering* 7(1), 50-58. (In Persian)
- Pourang, N., Nikouyan, A., Dennis, J.H., 2005. Trace Element Concentrations in Fish, Surficial Sediments Andwater from Northern Part of the Persian Gulf .*Environmental Monitoring and Assessment* 109, 293-316.
- 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* 190(1-3), 631-638.
- Rastmanesh, F., A. Zaraswandi and F. Muslem. 2015. Evaluation of heavy metals pollution in surface sediments of Karun River in Ahvaz city. *Journal of Advanced Applied Geology* 5(17), 11-22.
- Saleem, S.A., Noor, U.S.S., 2015. Heavy metals distribution in sediments and their transfer rate to benthic fauna in mangrove area near Hawks Bay Karachi, Pakistan. *Pakistan Journal of Marine Science* 24(1), 9-17.
- Sharifan, H.R., 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 (in Persian).
- Shete, A., Gunali, V.R., 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. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management* 11(3), 109-112.
- 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.
- Silva, C.A.R., Silva, A.P. d., Oliveira, S.R., 2006. Concentration, stock and transport rate of heavy metals in a tropical red mangrove, Natal, Brazil. *Marine Chemistry* 99, 2-11.
- Smical, A. I., Oros, V., Juhasz, J., Pop, E., 2008. Studies on transfer and bioaccumulation of heavy metals from soil into lettuce. *Environmental Engineering and Management Journal* 7(5), 609-615.
- Taheri, M., Riahi Bakhtiari, A.R., Nami, Babak, Gholamalifard, M., 2014. The concentration and spatial distribution of mercury, lead, and cadmium in surface sediments of mangrove forests using geostatistics in GIS environment. *Journal of Environmental Engineering* 40(2) 297-310. (In Persian)
- Ubong, I.U., Obunwo, C., 2018. Heavy metal contents in mangrove leaf, root and sediment from Eagle Island, Port Harcourt. *International Journal of Development and Sustainability* 6, 1759-1772.
- USEPA, 1997. Recent developments for in situ treatment of metal contaminated soil, Tech. Rep. EPA-542-r-97-004, USEPA, Washington, DC, USA.
- Vardanyan, L.G., 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.
- Yazdan Panah, D., Safahieh, A., Salari Aliabadi, M., Ghanemi, K., 2019. Accumulation heavy Metals (Zn, Cu, Ni, Pb and Cd) in sediment and stone snail *Tylothais savignyi* in the Kharg Island during summer and winter. *Journal of Aquatic Ecology* 9 (1), 38-49. (In Persian)
- Zahed, M. A., Rouhani, F., Mohajeri, S., Bateni, F. and Mohajeri L., 2010. An overview of Iranian mangrove ecosystems, northern part of the Persian Gulf and Oman Sea. *Acta Ecologica Sinica* 30, 240-244. (In Persian)
- Zamani Afshar, R., Esmailpour, Y., Naji, A., Gholami, H., 2022. Investigation of accumulation of heavy metals in sediment and *Avicennia marina* (Forssk.) Vierh. Plants of Khorkhoran protected area. *Journal of Iranian Journal of Forest* 14(1),

- 61-73. (In Persian)  
 Zarezadeh, R., Rezaee, P., 2016. Study on accumulation of heavy metals in mangrove sediments, Gabrik Creek (Jask). 2016. Journal of Natural Environment 69(1), 61-78 (In Persian)  
 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 and Water Research 12(2), 86-95. (In Persian)  
 Zarezadeh, R., Rezaee, P., Masihi, H., 2014. A study on geochemistry of heavy metals in Mangrove forests sediments of Sirik area, Azini Creek. 32nd National & the 1st International Geoscience Congress, Iran. pp. 16-19. (In Persian)  
 Zheng, S., Zheng, D., Liao, B., Li, Y., 1997. Tideland pollution in Gungdong province of china and mangrove afforestation. Forest Research 10(6), 639-649.  
 Zhou, Y., Zhao, B., Peng, Y., Chen, G., 2010. Influence of mangrove reforestation on heavy metal accumulation and speciation in intertidal sediments. Marine Pollution Bulletin 60, 1319-24.

### پیوست‌ها

جدول ۲s- طبقه‌بندی کیفیت رسوبات بر اساس شاخص تجمع زمینی مولر

مقادیر Igeo	درجه آلودگی	وضعیت آلودگی
>۰	۰	غیر آلوده
۰-۱	۱	از غیر آلوده تا آلودگی متوسط
۱-۲	۲	آلودگی متوسط
۲-۳	۳	از آلودگی متوسط تا آلودگی زیاد
۳-۴	۴	آلودگی زیاد
۴-۵	۵	از آلودگی زیاد تا به شدت آلوده
۵<	۶	به شدت آلوده

جدول ۳s- طبقه‌بندی ارزیابی ضریب آلودگی

مقدار فاکتور آلودگی CF	درجه آلودگی
CF < ۱	بسیار کم
۱ ≤ CF ≤ ۳	آلودگی متوسط
۳ ≤ CF ≤ ۶	آلودگی قابل توجه
CF ≥ ۶	آلودگی بسیار زیاد

جدول ۴s- طبقه‌بندی ارزیابی ریسک اکولوژیک فلزات سنگین

$E_r^i$	خطر اکولوژیک هر فلز	شاخص خطر RI	میزان ریسک اکولوژیک
$E_r^i < 30$	خطر کم	$RI < 150$	ریسک اکولوژیک کم
$30 \leq E_r^i \leq 80$	خطر متوسط	$150 \leq RI \leq 300$	ریسک اکولوژیک متوسط
$80 \leq E_r^i \leq 160$	خطر قابل قبول	$300 \leq RI \leq 600$	ریسک اکولوژیک قابل قبول
$160 \leq E_r^i \leq 320$	خطر بالا	$RI \geq 600$	ریسک اکولوژیک بسیار بالا
$E_r^i \geq 320$	خطر بسیار بالا	-	-

جدول ۷- نتایج مقادیر شاخص ژئوشیمیایی مولر مربوط به فلزات سنگین در رسوبات منطقه مورد مطالعه

ایستگاهها	مس (µg/g)	نیکل (µg/g)	سرب (µg/g)	روی (µg/g)
۱	۲/۸۹	۳/۶۳	۲/۹۳	۲/۷۷
۲	۲/۹۶	۲/۸۵	۳/۵۲	۲/۰۱
۳	۳/۰۷	۳/۶۱	۲/۹۸	۳/۲
۴	۲/۶۷	۳	۲/۶	۲/۸۶
۵	۲/۸۸	۳/۴	۲/۹۱	۳/۰۸

جدول ۸- نتایج فاکتور آلودگی در رسوبات منطقه مورد مطالعه

ایستگاهها	مس (µg/g)	نیکل (µg/g)	سرب (µg/g)	روی (µg/g)
۱	۱/۸۸	۲/۹۸	۲/۲۱	۱/۴
۲	۲/۰۲	۲/۷۸	۲/۸	۱/۲۳
۳	۲/۲۴	۲/۹۵	۲/۱	۲/۴
۴	۱/۶	۲/۲	۲/۴	۱/۷۹
۵	۱/۸۱	۲/۵	۲/۰۵	۲/۳

جدول ۹- نتایج مقادیر شاخص ارزیابی ریسک اکولوژیک فلزات سنگین در رسوبات منطقه مورد مطالعه

فلزات سنگین					ایستگاهها
RI	روی (µg/g)	سرب (µg/g)	نیکل (µg/g)	مس (µg/g)	
۶۷/۳۳	۰/۹۸	۲/۱۸	۱/۸۹	۷/۲۷	۱
۷۳/۲۲	۰/۸۸	۲/۳۷	۱/۷۶	۶/۸۵	۲
۵۸/۳۵	۰/۷۶	۱/۸۳	۲/۱	۶/۶۴	۳
۶۲/۱۱	۰/۹۳	۲/۲۶	۲/۰۵	۷/۵۷	۴
۵۸/۵۵	۰/۸۵	۲/۴۳	۱/۹۱	۶/۸۹	۵

جدول ۱۱- مقایسه میزان غلظت فلزات سنگین در در بافت‌های مختلف مانگرو با سایر نقاط آبی جهان (میکرو گرم بر

گرم)

نمونه	منطقه مورد مطالعه	مس	نیکل	سرب	روی	رفرنس
	جزیره ایسلند	۴/۸۲	۱/۷۶	۳/۲۸	۶/۵۲	Ubong et al., 2018
ریشه	سواحل پاکستان <i>A. marina</i>	۵/۲۵	-	-	۲۳/۳۴	Saleem et al., 2015
	مانگرو دریاچه Goa هند	۲۵/۶۸	۰/۶۸	۶/۷۱	۳۰/۷۸	Vardanyan and Ingole, 2004
	Natal برزیل <i>A. marina</i>	۰/۹۴	۲/۰۴	-	۰/۴۶	Silva et al., 2006
برگ	جزیره ایسلند	۳/۰۵	۰/۳۱	۴/۷۴	۲۰/۳۹	
	سواحل مالزی <i>Sonneratia caseolaris</i>	۲۶/۸	-	۳۵/۵	۵/۹۰	Nazli and Hashim, 2010
	خلیج Tamil Nadu هند <i>A. officinalis</i>	۱۴/۷۸	-	۲۳/۲۱	۱۰/۷/۸	Agoramoorthy et al., 2008
	Natal برزیل <i>A. marina</i>	۰/۰۵	۰/۱۷	-	۰/۱۵	Silva et al., 2006
	خلیج Guanabara برزیل	۲۸/۳	-	۳/۳۸	۲۶/۷۰	Machado et al., 2002
	<i>Laguncularia racemosa</i>					
ساقه	Natal برزیل <i>A. marina</i>	۰/۳۱	۴/۴۳	-	۱/۳۶	Silva et al., 2006
	گیاه مانگرو جزیره Hainan چین	۲/۹۰	-	-	۶/۲۰	Qiu et al., 2011
	خلیج Yingluo چین <i>Rhizophora stylosa</i>	۱/۳۳	۲/۱۷	-	۶/۴۸	Zheng et al., 1997



## Assessment of ecological risk of heavy metals in sediment and different tissues of *Avicennia marina* in the coasts of the Persian Gulf

Sanaz Khammar<sup>1\*</sup>, Sayed Mehdi Hosseini<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran

<sup>2</sup>Faculty of Medicinal Plants, University of Special Modern Technologies, Amol, Iran

\*Corresponding author: sanaz\_khammar@yahoo.com

### Abstract

The present study was conducted to measure the heavy metals of Cu, Ni, Pb and Zn in sediments, roots, stems and leaves of mangrove tree (*Avicennia marina*) from five stations in Khamir port located in the southwest of Bandar Abbas with three replications in summer 2020. In addition, some geochemical parameters of the sediments of the bed of these mangroves such as Muller index, contamination factor and ecological risk index have been evaluated. The accumulation pattern of heavy metals in the sediment was obtained as Ni>Pb>Zn>Cu. This pattern for root, stem and leaf tissues were determined as Ni>Cu>Zn>Pb, Cu>Zn>Ni>Pb and Cu>Zn>Ni>Pb, respectively. According to the bio concentration factor, plant tissues can be a suitable bio-indicator for Cu in the region. Root can also be considered a good bio indicator for Pb and Ni metals. For Zn metal, leaf and stem tissues were also identified as suitable indicators in the region. Transfer factor was significant only for Cu and Zn metals in stem and leaf tissues, which showed a direct relationship between Cu and Zn concentrations in roots and then in leaves and stems. Also, examination of metal concentrations in sediments in all stations showed that only nickel metal concentration was critical. Also, the findings of the study of environmental assessment index of heavy metals showed that the sediments of Khamir port are in the category of low ecological risk (RI<150) in terms of ecological pollution index. In general, the process of accumulation of metals in sediments and mangroves tissues showed that increasing the concentration of elements in sediments, the amount of these elements in plant tissues can also increase, so, *A. marina* can be a bioindicator for heavy metals in the studied ecosystem. In addition, this plant reduces the mobility and bioavailability of the studied metals in the sediments of this ecosystem.

**Keywords:** Heavy metals, Sediment, Mangrove, Port of Khamir