

اثر کاشت درختان حرا بر تجمع فلزات سنگین در رسوبات ساحلی خلیج فارس در منطقه بندرعباس

بهزاد شکوه حاج عباسعلی خان^۱، ایمان سوری نژاد^۱، زهرا قاسمی^{*۱}

۱- گروه شیلات، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

چکیده

نوع مقاله

مقاله پژوهشی اصیل

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۶/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۹/۱۰

تاریخ چاپ الکترونیکی: ۱۴۰۱/۱۲/۱۲

*نویسنده مسول:

z.ghasemi@hormozgan.ac.ir

اهمیت گونه‌های حرا در دنیا غیر قابل انکار است و کاشت مصنوعی حرا یک راه حل مطلوب در راستای حفاظت از گونه‌های حرا است. درختان حرا خدمات اکولوژیک حیاتی به ما ارائه می‌دهند و یکی از اصلی‌ترین ویژگی‌های آنها، پالایش زیستی فلزات سنگین است. در تحقیق حاضر اثرات کاشت درختان حرا در پارک ولایت بندرعباس بر آلودگی، جذب و ریسک اکولوژیک فلزات سنگین آرسنیک، مس، آهن، نیکل، سرب، وانادیوم و روی در رسوبات سطحی آن منطقه بررسی شد. بر این اساس، ۳۰ نمونه رسوب از دو منطقه نمونه‌برداری موازی دارای حرا و فاقد حرا تهیه شد و هر منطقه نمونه‌برداری شامل بخش‌های بالا، میانه و پایین بود. در آزمایشگاه نمونه‌ها پس از خشک شدن توسط آون با الکترون ۶۳ میکرونی الک و در محلول هیدروکلریک اسید و نیتریک اسید هضم شدند. غلظت فلزات سنگین آرسنیک، مس، آهن، نیکل، سرب، وانادیوم و روی توسط دستگاه ICP مشخص گردید. فاکتورهای مورد بررسی، ریسک اکولوژیک خطرناکی را برای آرسنیک و سرب نشان دادند که ریسک بالاتری در نمونه‌های بدون حرا مشاهده شد. مقایسه نتایج با سطوح راهنمای رسوب و دیگر مطالعات غلظت خطرناک آرسنیک را نشان دادند. ضرایب همبستگی پیرسون نشان داد که حرای مصنوعی تأثیر معنی‌داری بر الگوی جذب فلزات سنگین داشته است ($p\text{-Value} < 0.05$). آنالیز مولفه‌های اصلی (PCA) نشان داد که آرسنیک و سرب غالباً از نشت محصولات نفتی و پساب‌های صنعتی منشاء می‌گیرند درحالی‌که مس، آهن، نیکل، وانادیوم و روی غالباً منشاء طبیعی و زمین شناسی دارند.

کلید واژه‌ها: آلودگی، فلزات سنگین، پالایش زیستی، حرا، رسوبات

مقدمه

اکوسیستم‌های حرا یکی از با ارزش‌ترین اکوسیستم‌های بین خشکی و دریا هستند. از نظر وسعت، در بین کشورهای حاشیه خلیج فارس بیشترین سطح جنگل‌های طبیعی حرا مربوط به ایران است. مساحت هسته مرکزی جنگل‌های حرا در ایران حدوداً ۱۴ هزار هکتار است و در قسمت جنوبی استان سیستان و بلوچستان، هرمزگان و بوشهر وجود دارند [۱] و [۲]. حدود ۹۴ درصد از زیستگاه‌های حرای ایران در استان هرمزگان توزیع شده است که بخش اعظم آن پوشیده از گونه *Avicennia marina* است. یک مسئله بحث مهم در این اکوسیستم‌ها، سنجش سطح میزان آلودگی و سلامت اکوسیستم‌ها می‌باشد [۳] و [۴]. علاوه بر این، مطالعات متعددی نشان داده‌اند که می‌توان از اکوسیستم‌های حرا به عنوان شاخص زیستی جهت مانیتورینگ منطقه استفاده کرد [۵] و [۶].

در سراسر دنیا مانیتورینگ محیط زیست به خصوص گونه‌های مهم بسیار قابل توجه است و بررسی آلودگی فلزات سنگین در محیط می‌تواند نقش مهمی در پایش سلامت اکوسیستم ایفا کند. مطالعات متعددی نشان داده‌اند که فعالیت‌های انسانی تأثیر مشخصی بر آلودگی فلزات سنگین در رسوبات دارند [۷] و [۸]. فلزات سنگینی که بر اثر عوامل طبیعی و انسان ساز وارد محیط می‌شوند، با گذشت زمان در رسوبات نشست کرده و به واسطه فرایند جذب سطحی یا واکنش‌های شیمیایی و زیستی وارد بافت رسوب می‌شوند [۹] و [۱۰]. رسوبات غنی شده از فلزات سنگین تحت تاثیر شرایط محیطی به عنوان منبع ثانویه آلودگی عمل می‌کنند و با گذر زمان آلاینده‌ها را در محیط آزاد می‌کنند که این مسئله، باعث آسیب به زنجیره غذایی می‌شود [۱۱] و [۱۲]. در نتیجه نمونه‌های رسوب شاخص مناسبی جهت سنجش آلودگی فلزات سنگین در محیط می‌باشند [۱۳] و [۱۴].

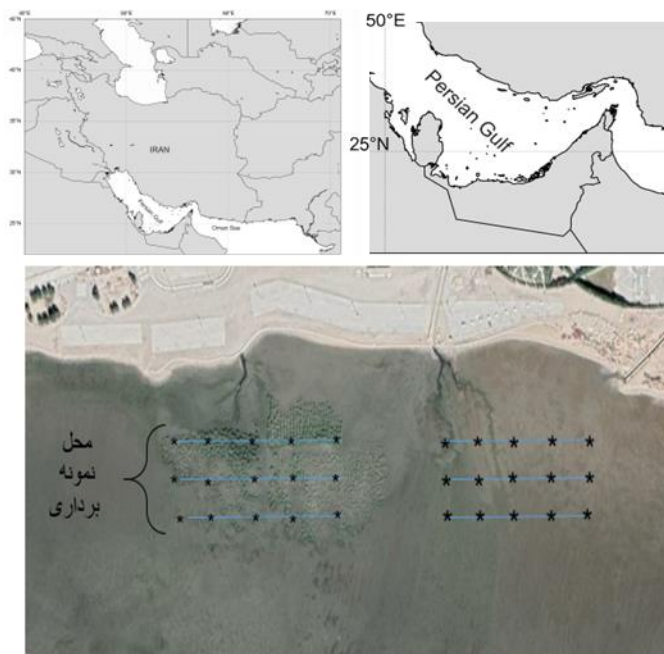
جنگل‌های حرا در سال‌های اخیر علی‌رغم اهمیت بالای اقتصادی و محیط زیستی، بر اثر برخی فعالیت‌های انسانی و گاه سوانح طبیعی در معرض تهدیدات جدی قرار گرفته‌اند که این امر ضرورت مدیریت درخور، به منظور حفظ و افزایش تنوع زیستی و گونه‌ای را دوچندان می‌نماید [۱۵] و [۱۶]. یکی از راهکارهای پیشنهادی در این خصوص، تکثیر مصنوعی و جنگل کاری است. در حال حاضر یکی از شلوغ‌ترین نقاط ساحلی بندرعباس

هدف کاشت مصنوعی جنگل حرا قرار گرفته است. کاشت درختان حرا در نوار ساحلی پارک ولایت با وسعت تقریبی ۱۴۷۰۰ متر مربع که طرح مطالعاتی آن در دی ماه سال ۱۳۹۴ توسط اداره منابع طبیعی و آبخیزداری شروع و در سه فاز اجرایی شد که در فاز اول در اردیبهشت سال ۱۳۹۵ شش هزار اصله نهال حرا و در اردیبهشت سال ۱۳۹۶ نیز پنج هزار اصله درخت حرا کشت شد. با توجه به این که کاشت با موفقیت همراه بوده و جنگل دست کاشت حرا به خوبی شکل گرفته است این امر می‌تواند موجب تغییر در اکوسیستم پارک، جذب موجودات زنده و تغییر در فاکتورهای محیطی شود که در این تحقیق با مطالعه دو منطقه دارای جنگل حرای مصنوعی و بدون حرا این تغییرات مقایسه و اثرات مثبت و منفی کاشت جنگل‌های حرا بر غلظت فلزات سنگین بررسی شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

در این مطالعه بررسی تأثیر جنگل‌کاری حرا بر تجمع و آلودگی فلزات سنگین در نوار ساحلی پارک ولایت بندرعباس (شکل ۱ و جدول ۱) به عنوان شاخص، مورد مطالعه قرار گرفت و آلودگی رسوبات آن با مناطق مجاور فاقد حرا مقایسه گردید.



شکل ۱: موقعیت ایستگاه‌های جمع‌آوری نمونه‌ها از مناطق فاقد حرا (سمت راست) و مناطق دارای حرای مصنوعی (سمت چپ)

جدول ۱: مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه

پیش‌بینی	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	نمونه
آلودگی بیشتر	۰۲۷/۱۱'۱۶/۰۳"	۰۵۶/۲۱'۸/۲۴"	فاقد حرا
آلودگی کمتر با توجه به توانایی جذب زیستی و پالایش حرا	۰۲۷/۱۱'۱۶/۰۳"	۰۵۶/۲۱'۴/۶۶"	دارای حرای مصنوعی

نمونه‌برداری

نمونه‌برداری در بهمن ماه در منطقه کاشت مصنوعی حرا در پارک ولایت بندرعباس و قسمت فاقد حرای مجاور صورت گرفت. نمونه‌برداری رسوب سطحی تا عمق ۵ سانتی متر با بیلچه پلاستیکی با پنج تکرار در یک خط با فاصله پنجاه متر و در سه لاین موازی با ساحل در منطقه بالا، وسط و پایین منطقه دست کاشت حرا و موازی آن در فاصله صد متری جنگل دست کاشت، در ناحیه بدون حرا صورت گرفت. نمونه‌ها بلافاصله بعد از جمع‌آوری، ابتدا وارد کیسه پلاستیکی زیپ‌دار شدند. نمونه‌ها پس از برچسب‌گذاری درون جعبه یونولیتی حاوی یخ قرار گرفتند و سپس به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه‌های جمع‌آوری شده پس از انتقال به آزمایشگاه توسط آون در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد خشک شدند.

استخراج و سنجش غلظت کل فلزات سنگین نمونه‌های رسوب

رسوب‌ها بعد از خشک شدن در قوطی‌های استریل شده قرار گرفتند، سپس با استفاده از الک ۶۳ میکرون، جداسازی صورت گرفت. مقدار ۵۰ میلی گرم از نمونه رسوب خشک شده ۶۳ میکرونی در اسید نیتریک غلیظ در محلول اسید نیتریک - اسید کلریدریک (۱/۴) هضم و سپس صاف شد [۱۷ و ۱۸]. محلول‌های استخراج شده به حجم رسانده شده و با استفاده از دستگاه ICP غلظت سنجی عناصر صورت گرفت. در پایان محلول‌های به حجم رسیده برای آنالیز به وسیله دستگاه طیف نشری پلاسمای جفت شده القایی سری ساخت توسط شرکت Agilent ایالات متحده آمریکا ۷۰۰ (ICP - OES) آماده شدند.

مقایسه غلظت‌های به دست آمده با سطوح راهنمای کیفیت رسوب^۱

سطوح راهنمای کیفیت رسوب یک روش قدرتمند برای سنجش ریسک فلزات سنگین است [۱۹ و ۲۰]. در این مطالعه برای مقایسه غلظت فلزات سنگین موجود در نمونه رسوب با استانداردهای جهانی، از دو سطح ERL^۲ و ERM^۳ استاندارد NOAA^۴ و همچنین دو سطح ISQG^۵ و PEL^۶ استاندارد کیفیت رسوب دریایی کانادا (ISQGS)^۷ استفاده گردید. مقادیر این استانداردها در جدول ۲ نمایش داده شده است [۲۱ و ۲۲].

جدول ۲: مقادیر ERL، ERM، ISQG و PEL برای عناصر مورد مطالعه (غلظت‌ها بر حسب میلی گرم بر کیلوگرم جرم خشک رسوب بیان شده‌اند)

	ISQG	ERL	PEL	ERM
As	۷/۲۴	۸/۲	۱۴/۶	۷۰
Cu	۱۸/۷	۳۴	۱۰۸	۲۷۰
Ni	۰	۲۱/۹	۰	۵۱/۶
Pb	۳۱/۲	۴۶/۷	۱۱۲	۲۱۳

نتایج

غلظت فلزات مختلف و مقایسه آن‌ها در نمونه‌های مختلف

میانگین غلظت‌های سنجیده شده در جدول ۳ و نمودار جعبه‌ای آن‌ها در شکل ۲ نمایش داده شده است. به منظور مقایسه وضعیت غلظت هر عنصر، در ایستگاه‌های مختلف، از آزمون ANOVA و دسته بندی به روش Tukey استفاده شد. بیشترین تا کمترین میزان آرسنیک به ترتیب در لاین ۳ بدون حرا، لاین ۲ بدون حرا، لاین ۱ دارای حرا، لاین ۲ دارای حرا، لاین ۱ دارای حرا و لاین ۱ بدون حرا مشاهده شد. بر اساس آزمون

¹ Sediment quality guidelines (SQGs)

² Effective Range Low

³ Effective Range Medium

⁴ National Ocean and Atmospheric Administration (NOAA)

⁵ Interim Marine Sediment Quality Guideline

⁶ Probable Effect Level

⁷ Canadian Interim Marine Sediment Quality Standard (ISQGS)

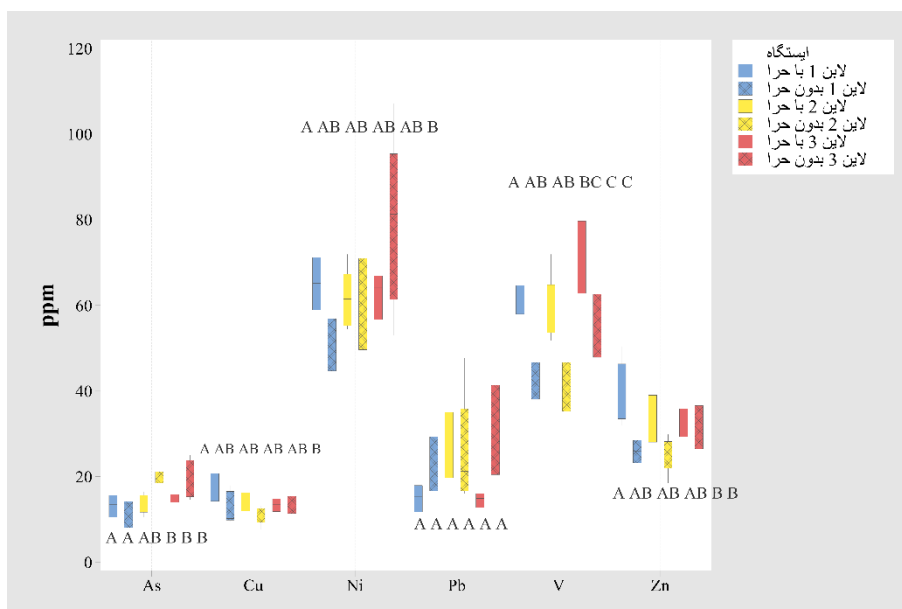
ANOVA، اختلاف نمونه‌های مختلف معنی دار بود ($P < 0.05$). نمونه‌های لاین ۳ بدون حرا و لاین ۲ بدون حرا در دسته اول و دیگر نمونه‌ها در دسته دوم قرار گرفتند. بیشترین تا کمترین میزان مس به ترتیب در لاین ۱ دارای حرا، لاین ۲ بدون حرا، لاین ۳ بدون حرا، لاین ۳ دارای حرا، لاین ۱ بدون حرا و لاین ۲ دارای حرا مشاهده شد. بر اساس آزمون ANOVA، اختلاف نمونه‌های مختلف معنی دار نبود ($P > 0.05$). نمونه‌ی لاین ۱ دارای حرا در دسته‌ی اول و دیگر نمونه‌ها در دسته‌ی دوم قرار گرفتند. بیشترین تا کمترین میزان آهن به ترتیب در لاین ۳ دارای حرا، لاین ۱ دارای حرا، لاین ۲ دارای حرا، لاین ۳ بدون حرا و لاین ۱ بدون حرا مشاهده شد. بر اساس آزمون ANOVA، اختلاف نمونه‌های مختلف معنی دار بود ($P < 0.05$). نمونه‌ی لاین ۳ دارای حرا در دسته اول، نمونه‌های لاین ۱ دارای حرا، لاین ۲ دارای حرا و لاین ۳ بدون حرا در دسته دوم و دیگر نمونه‌ها در دسته سوم قرار گرفتند.

بیشترین تا کمترین میزان نیکل به ترتیب در لاین ۳ بدون حرا، لاین ۱ دارای حرا، لاین ۲ بدون حرا، لاین ۲ دارای حرا و لاین ۱ بدون حرا مشاهده شد. بر اساس آزمون ANOVA، اختلاف نمونه‌های مختلف معنی دار بود ($P < 0.05$). نمونه‌ی لاین ۳ بدون حرا در دسته اول و دیگر نمونه‌ها در دسته دوم قرار گرفتند. بیشترین تا کمترین میزان سرب به ترتیب در لاین ۳ بدون حرا، لاین ۲ دارای حرا، لاین ۲ بدون حرا، لاین ۱ بدون حرا، لاین ۱ دارای حرا و لاین ۳ دارای حرا مشاهده شد. بر اساس آزمون ANOVA، اختلاف نمونه‌های مختلف معنی دار نبود ($P < 0.05$) و همه‌ی نمونه‌ها در گروهی یکسان قرار گرفتند.

بیشترین تا کمترین میزان وانادیوم به ترتیب در لاین ۳ دارای حرا، لاین ۱ دارای حرا، لاین ۲ دارای حرا، لاین ۳ بدون حرا و لاین ۱ بدون حرا و لاین ۲ بدون حرا مشاهده شد. بر اساس آزمون ANOVA، اختلاف نمونه‌های مختلف معنی دار بود ($P < 0.05$). نمونه‌ی لاین ۳ دارای حرا در دسته اول، نمونه‌های لاین ۱ دارای حرا، لاین ۲ دارای حرا و لاین ۳ بدون حرا در دسته دوم قرار و نمونه‌های لاین ۱ بدون حرا و لاین ۲ بدون حرا در دسته سوم گرفتند. بیشترین تا کمترین میزان روی به ترتیب در لاین ۱ دارای حرا، لاین ۲ دارای حرا، لاین ۳ دارای حرا، لاین ۳ بدون حرا، لاین ۱ بدون حرا و لاین ۲ بدون حرا مشاهده شد. بر اساس آزمون ANOVA، اختلاف نمونه‌های مختلف معنی دار بود ($P < 0.05$). نمونه‌های دارای حرا در دسته اول و نمونه‌های بدون حرا در دسته دوم قرار گرفتند. اثر کاشت حرا بر افزایش آلودگی روی، مشخص بود.

جدول ۳: غلظت فلزات جزئی آرسنیک، مس، آهن، نیکل، سرب، وانادیوم و روی در نمونه‌های مورد مطالعه (غلظت بر حسب میلی گرم بر کیلوگرم جرم خشک رسوب (ppm) و انحراف معیار (SD) در ردیف دوم)

Zn	V	Pb	Ni	Fe	Cu	As	
۲۵/۸۵	۴۳/۱۱	۲۲/۶۲	۵۰/۰۷	۱۹۰۹۵/۱۴	۱۲/۵۸	۱۱/۶۹	لاین ۱ بدون حرا
۲/۷۴	۴/۵۵	۷/۰۵	۶/۱۲	۲۱۷۵/۶۵	۳/۳۶	۳/۱۲	
۲۵/۳۵	۴۱/۱۶	۲۵/۲۵	۶۱/۶۳	۱۸۳۵۵/۹۲	۱۱/۰۲	۷۹/۸۵	لاین ۲ بدون حرا
۳/۷۵	۶/۴۱	۱۱/۵۷	۱۲/۱۱	۲۶۵۳/۱۸	۱/۸۴	۱/۳۰	
۳۱/۲۶	۵۵/۰۹	۲۹/۱۸	۷۸/۹۴	۲۳۰۸۱/۸۸	۱۳/۳۹	۱۹/۹۴	لاین ۳ بدون حرا
۶/۱۱	۷/۹۷	۱۴/۹۷	۱۷/۷۶	۲۷۳۵/۷۳	۲/۲۸	۳/۹۶	
۳۸/۹۸	۶۱/۱۰	۱۴/۹۵	۶۵/۰۲	۲۵۹۹۱/۰۲	۱۷/۱۴	۱۳/۱۴	لاین حرا ۱
۶/۶۳	۳/۴۶	۳/۰۰	۵/۵۲	۱۰۹۶/۵۰	۳/۱۵	۳/۱۳	
۳۳/۱۲	۵۸/۸۰	۷۸/۸۱	۶۱/۳۰	۲۴۵۳۶/۸۷	۱۳/۹۸	۱۳/۸۵	لاین حرا ۲
۵/۰۹	۶/۸۷	۱۰/۳۱	۶/۱۵	۲۱۴۰/۳۳	۲/۳۸	۲/۰۴	
۳۳/۰۵	۷۱/۱۶	۱۴/۵۱	۶۲/۲۳	۲۸۳۰۹/۰	۱۳/۳۸	۱۴/۹۲	لاین حرا ۳
۳/۳۰	۸/۶۳	۱/۶۶	۵/۶۶	۲۲۷۸/۹۰	۱/۵۱	۰/۸۴	



شکل ۲: نمودار جعبه‌ای غلظت فلزات مختلف در نمونه‌های مورد مطالعه. نتایج دسته بندی عناصر بر اساس روش Tukey به صورت حروف لاتین نمایش داده شده است (با توجه به اختلاف زیاد غلظت آهن با دیگر عناصر، غلظت آهن نمایش داده نشده است)

مقایسه غلظت فلزات با مطالعات مشابه

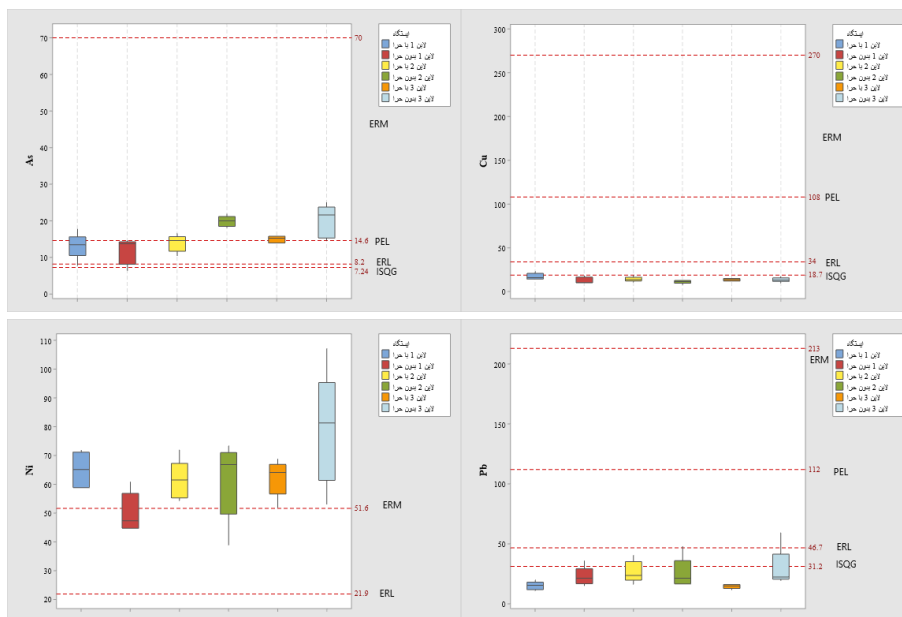
مقایسه نتایج به دست آمده با دیگر تحقیقات مشابه صورت گرفته در دنیا، می‌تواند اطلاعات جامعی را در مورد وضعیت منطقه مورد مطالعه به ما ارائه دهد (جدول ۴). طبق مقایسه‌ی صورت گرفته، غلظت آرسنیک در مقایسه با دیگر مطالعات، بسیار بیشتر بود. در حالیکه نیکل و روی اختلاف قابل توجهی با مطالعات مشابه نداشتند و غلظت مس و سرب نیز کمتر بود.

جدول ۴: مقایسه غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های مطالعه شده، با برخی از مطالعات صورت گرفته مشابه (برحسب میلی گرم بر کیلوگرم نمونه خشک)

منبع	Zn	V	Pb	Ni	Fe	Cu	As	مکان
Naji and Sohrabi, 2015	۶۰	-	۳۳	۴۵	-	۳۶	-	ساحل خزر
Zarezadeh et al., 2017a,b	۴۹	-	۸	۱۰۱	-	۲۱	-	قشم
Roy et al., 2018	۸۳	-	۳۱	۳۱	۳۳۱۰۱	۲۸	-	مالزی
Pignotti et al., 2018	۱۶۷	۱۰۴	۳۲	۷۱	-	۴۲	۴	ایتالیا
Joseph et al., 2019	۸۵	-	۱۴	۴۱	۳۶۴۷۵	۳۲	۱/۸	هند
Aljhdali and Alhassan, 2020	۳۴	-	۱۳۳	۵۰	۱۵۵۱	۷۷	-	عربستان
مطالعه حاضر	۲۵/۸	۴۳/۱	۲۲/۶	۵۰/۰	۱۹۰۹۵/۱	۱۲/۵	۱۱/۶	بدون چرا ۱
	۲۵/۳	۴۱/۱	۲۵/۲	۶۱/۶	۱۸۳۵۵	۱۱/۰	۷۹/۸	بدون چرا ۲
	۳۱/۲	۵۵/۰	۲۹/۱	۷۸/۹	۲۳۰۸۱	۱۳/۳	۱۹/۹	بدون چرا ۳
	۳۸/۹	۶۱/۱	۱۴/۹	۶۵/۰	۲۵۹۹۱	۱۷/۱	۱۳/۱	با چرا ۱
	۳۳/۱	۵۸/۸	۷۸/۸	۶۱/۳	۲۴۵۳۶	۱۳/۹	۱۳/۸	با چرا ۲
	۳۳/۰	۷۱/۱	۱۴/۵	۶۲/۲	۲۸۳۰۹	۱۳/۳	۱۴/۹	با چرا ۳

مقایسه غلظت‌های به دست آمده با سطوح راهنمای کیفیت رسوب

غلظت عناصر مختلف در مقایسه با سطوح راهنمای کیفیت رسوب نمایش داده شده است (شکل ۳). از چهار سطح PEL, ERL, ISQG و ERM به منظور تعیین میزان ریسک آلودگی استفاده شد [۲۹ و ۳۰]. بطوریکه مقادیر بیشتر از PEL ریسک اکولوژیک بالایی دارند. بر اساس نتایج به دست آمده، غلظت آرسنیک در لاین ۱ دارای حرا، لاین ۱ بدون حرا و لاین ۲ دارای حرا ریسک کم اکولوژیک را نشان دادند در حالیکه لاین ۲ بدون حرا، لاین ۳ دارای حرا و لاین ۳ بدون حرا میزان نگران کننده‌ای را نشان دادند. همچنین میزان مس و سرب در همه‌ی نمونه‌ها در سطح کاملاً بی خطر قرار داشت. مقایسه غلظت نیکل با سطوح استاندارد نشان دهنده‌ی آلودگی خطرناک در همه نمونه‌ها به جز لاین ۱ بدون حرا بود که آلودگی نگران کننده را نشان دادند.



شکل ۳: غلظت عناصر آرسنیک، مس، نیکل و سرب در مقایسه با سطوح استاندارد تعریف شده

همبستگی پیرسون بین فلزات مورد مطالعه

محاسبه ضریب همبستگی پیرسون روشی موثری در راستای دسته بندی عناصری است که منشاء مشترک دارند بطوریکه عناصر دارای منشاء مشترک، معمولاً همبستگی معنی داری با هم دارند [۲۹ و ۳۰]. به طور کلی، عناصری که همبستگی معنی داری با آهن دارند، غالباً منشاء طبیعی دارند و عناصر دیگر نیز که با هم در یک گروه قرار می‌گیرند، منشاء انسانی و مشترکی دارند [۱۷]. علاوه بر ویژگی تعیین منشاء، در این مطالعه از ضریب همبستگی پیرسون برای بررسی تأثیر حرا بر الگوی جذب فلزات سنگین توسط رسوب استفاده شد.

همبستگی بین عنصری نمونه‌های رسوب به تفکیک برای نمونه‌های بدون حرا (جدول ۵) و دارای حرا (جدول ۶) محاسبه گردیدند. نتایج بدست آمده در نمونه‌های بدون حرا و نمونه‌های دارای حرا نسبتاً مشابه بود. بطوریکه در هر دو نمونه آهن و وانادیوم و همچنین نیکل و روی همبستگی مثبت و معنی داری با هم داشتند. با وجود این، در نمونه‌های بدون حرا، آهن با مس همبستگی معنی دار مثبت داشت در حالیکه در نمونه‌های دارای حرا مس با نیکل و روی همبستگی معنی دار مثبت داشتند. علاوه بر این، در نمونه‌های بدون حرا آهن، نیکل، وانادیوم و روی یک گروه عنصر هم منشاء را تشکیل دادند، در حالیکه در نمونه‌های دارای حرا، گروه مشابهی مشاهده نشد. بطور کلی تأثیر حرا بر الگوی جذب فلزات سنگین توسط رسوب معنی دار بود.

جدول ۵: ضرایب همبستگی بین عناصر مختلف در نمونه‌های بدون حرا. ضرایب همبستگی دارای p-value ≈ 0.05 با * و p-value = 0.00 با ** مشخص شده‌اند.

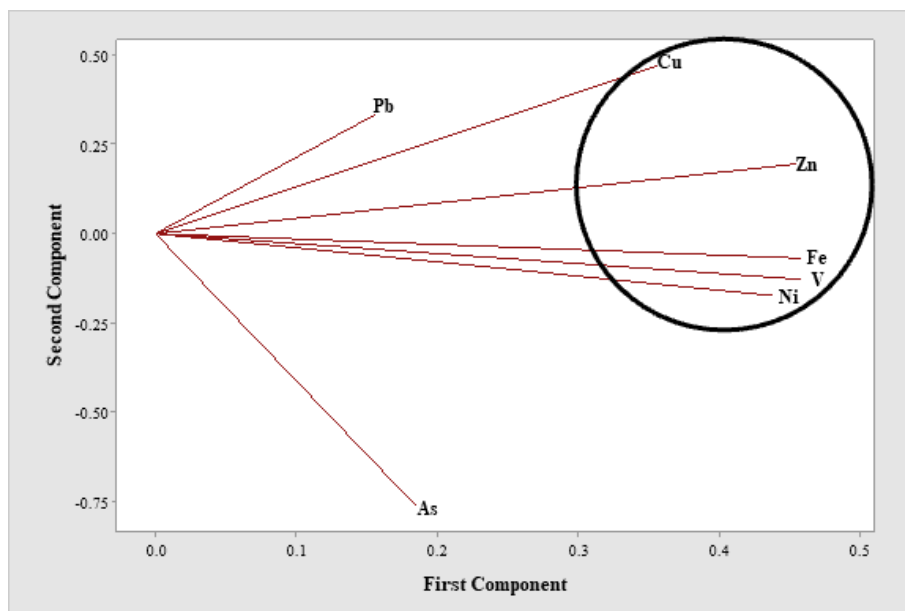
	As	Cu	Fe	Ni	Pb	V
Cu	-۰/۰۶۳					
Fe	۰/۳۶۴	۰/۶۶۲ *				
Ni	-۰/۴۷۶	۰/۵۰۶	-۰/۸۰۴ **			
Pb	-۰/۰۷۵	۰/۲۸۵	۰/۱۶۱	۰/۲۷۷		
V	-۰/۳۹۸	۰/۵۹۷	-۰/۹۸۵ **	۰/۸۴۱ **	۰/۱۴۴	
Zn	-۰/۱۴۷	۰/۷۶	-۰/۸۵۷ **	۰/۸۵۰ **	۰/۳۱۰	۰/۸۵۸ **

جدول ۶: ضرایب همبستگی بین عناصر مختلف در نمونه‌های دارای حرا. ضرایب همبستگی دارای p-value = 0.00 با ** مشخص شده‌اند.

	As	Cu	Fe	Ni	Pb	V
Cu	۰/۰۵۷					
Fe	۰/۲۰۴	۰/۲۹۶				
Ni	-۰/۰۲۹	-۰/۸۰۷ **	۰/۵۸۴			
Pb	-۰/۳۳۸	-۰/۱۱۳	-۰/۴۴۳	-۰/۰۸۲		
V	۰/۲۴۹	۰/۲۵۶	۰/۹۷۷ **	۰/۵۵۸	-۰/۳۸۴	
Zn	-۰/۰۰۳	-۰/۹۲۳ **	۰/۳۷۹	-۰/۸۳۳ **	-۰/۰۱۹	۰/۳۲۷

آنالیز PCA دسته بندی عناصر

استفاده از روش آنالیز مولفه‌های اصلی (PCA) روشی مقبول و پرکاربرد در راستای تعیین منشأ آلودگی فلزات سنگین می‌باشد [۳۱-۳۳]. در نتیجه علاوه بر ضرایب همبستگی، از PCA نیز در مطالعه حاضر استفاده شد (شکل ۴). نتایج بدست آمده شباهت زیادی با نتایج ضرایب همبستگی داشتند. سه مولفه اصلی در مطالعه حاضر، ۹۱،۷٪ از کل واریانس را نشان دادند. در مولفه اول (PC1) که ۶۱،۶٪ از واریانس را تشکیل داد، مس، آهن، نیکل، وانادیوم و روی بیشترین مقادیر Eigenvalues را نشان دادند که بیانگر منشأ یکسان این عناصر بود. مولفه دوم (PC2) و سوم (PC3) به ترتیب با تشکیل دادن ۱۶،۸٪ و ۱۳،۲٪ از کل واریانس، Eigenvalues منفی و قابل توجهی را برای آرسنیک و سرب نشان دادند. در نتیجه می‌توان چنین بیان کرد که مس، آهن، نیکل، وانادیوم و روی منشأ طبیعی داشتند در حالیکه آرسنیک و سرب تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی قرار داشتند. بنظر می‌رسد که آلودگی آرسنیک عمدتاً حاصل پساب‌های صنعتی و شهری بوده‌است [۳۴-۳۶] در حالیکه آلودگی سرب غالباً حاصل فعالیت‌های پالایشگاهی و نشت سوخت و نفت خام بوده است [۳۳ و ۳۷].



شکل ۴: نمودار مولفه‌های اصلی (PCA) عناصر مختلف در نمونه‌های مورد مطالعه

بحث و نتیجه‌گیری

براساس جمع بندی نتایج حاصل از بررسی غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های مختلف، بیشترین ریسک آلودگی مربوط به آرسنیک و پس از آن، سرب بود که بیشترین غلظت آرسنیک و سرب در لاین ۳ بدون حرا و لاین ۲ بدون حرا مشاهده شد. این وضعیت قرارگیری ترتیب ریسک اکولوژیک، نشان دهنده این مسئله است که در شرایطی که آلودگی فلزات سنگین در شرایط خطرناک قرار دارد، کاشت حرا باعث کاهش ریسک اکولوژیک می‌شود. با این وجود در مورد عناصری که آلودگی کم یا بی خطر را نشان دادند، الگوی خاصی برای مقایسه‌ی شرایط دارای حرا و بدون حرا مشاهده نشد و می‌توان بیان کرد که طبق نتایج این مطالعه، کاشت حرا تأثیر مشخصی بر کاهش یا افزایش غلظت فلزات دارای ریسک اکولوژیک کم و بدون ریسک ندارد.

بر اساس نتایج به دست آمده، بیشترین ریسک تجمعی فلزات سنگین در نمونه‌های لاین ۳ بدون حرا و لاین ۲ بدون حرا وجود داشت. این نمونه‌ها آلودگی معمولی و دیگر نمونه‌ها آلودگی کم را نشان دادند. نتایج بدست آمده در این بخش نیز، تأیید کننده بخش قبل بود و نشان داد که در مطالعه صورت گرفته، کاشت حرا تأثیر مشخصی بر کاهش آلودگی داشته است. این مسئله می‌تواند به دلیل توانایی جذب زیستی حرا و خاصیت تصفیه کنندگی آن باشد که در برخی مطالعات صورت گرفته در گذشته نیز نشان داده شده است که حرا و به‌خصوص برگ‌های حرا توانایی جذب فلزات سنگین آلاینده و در نتیجه پاکسازی زیستی محیط را دارند [۸، ۳۸ و ۳۹].

به منظور بررسی وضعیت آلودگی فلزات مورد مطالعه در منطقه نیز، از چهار سطح راهنمای تعیین کیفیت رسوب شامل دو سطح ERL و ERM استاندارد نوا (NOAA) و همچنین دو سطح ISQG و PEL استاندارد کیفیت رسوب دریایی کانادا (ISQGS) استفاده گردید. با توجه به این که مقادیر استاندارد آهن، نیکل و وانادیوم در این مرجع وجود نداشت، فقط چهار عنصر آرسنیک، مس، نیکل و سرب بررسی شدند. نتایج بدست آمده نشان داد که در مقایسه با سطوح استاندارد، میزان آرسنیک در وضعیت نگران کننده تا خطرناک قرار داشت و آلودگی نیکل نیز در وضعیت خطرناک قرار داشت. مس و سرب نیز وضعیت بدون ریسک را نشان دادند [۲۱ و ۲۲]. همچنین، مقایسه غلظت‌های این مطالعه با مطالعات مشابه نشان داد که غلظت آرسنیک در مقایسه با دیگر مطالعات بسیار بیشتر بود، در حالی که نیکل و روی نسبتاً برابر و غلظت مس و سرب نیز کمتر بودند. به منظور تعیین عناصر دارای منشأ مشترک، از ضریب همبستگی پیرسون و PCA استفاده شد. نتایج بدست آمده از جدول ضرایب همبستگی برای نمونه‌های دارای حرا و بدون حرا متفاوت بود. بطور مثال، در نمونه‌های فاقد حرا، آهن همبستگی قوی با مس و همبستگی بسیار قوی با نیکل، وانادیوم و روی نشان داد و نیکل، وانادیوم و روی نیز همبستگی معنی‌داری با هم داشتند. در حالی که در نمونه‌های دارای حرا آهن تنها با وانادیوم همبستگی معنی‌داری داشت و نیکل مس و روی همبستگی معنی‌داری را با هم نشان دادند. این موضوع نشان دهنده این مسئله بود که

کاشت حرا الگوی جذب و تجمع فلزات سنگین در نمونه‌های مورد مطالعه را تغییر داده است که مشابه نتایج حاصل از برخی مطالعات صورت گرفته بود [۴۰ و ۴۱].

نتایج بدست آمده از PCA نشان داد که آرسنیک و سرب دارای منشاء انسان‌ساز هستند. با توجه به این‌که این عناصر ریسک آلودگی بالایی را نیز نشان دادند می‌توان نتیجه گرفت که آرسنیک و سرب عمدتاً حاصل فعالیت‌های انسانی هستند و در این بین می‌توان به آلودگی حاصل از نشت محصولات نفتی و پساب‌های صنعتی اشاره کرد [۳۶ و ۳۷]. آهن، مس و روی که ریسک آلودگی کم و بسیار کم را نشان داده بودند نیز در دسته دوم قرار گرفتند که نشان دهنده منشاء طبیعی این عناصر بود [۴۲-۴۴]. در نهایت نیکل و وانادیوم نیز که سطح بدون ریسک را نشان دادند در دسته سوم قرار گرفتند و به نظر می‌رسید که این دو عنصر منشاء زمین شناسی داشته‌اند [۳۷ و ۴۵ و ۴۶].

در جمع بندی، با توجه به اهمیت گونه‌های حرا و تأثیر آن‌ها بر محیط زیست، در این مطالعه تأثیر جنگل‌کاری مصنوعی حرا بر تجمع فلزات سنگین مورد بررسی قرار گرفت و جنگل حرای پارک ولایت بندرعباس به عنوان مطالعه موردی انتخاب گردید. نمونه‌ها از دو ناحیه موازی دارای حرا و فاقد حرا در سه مقطع بالا، وسط و پایین برداشته شدند و پس از طی فرآیندهای آزمایشگاهی و استخراج محلول قابل سنجش توسط ICP، غلظت آرسنیک، مس، آهن، نیکل، سرب، وانادیوم و روی مورد سنجش قرار گرفتند و بر اساس غلظت‌های بدست آمده، سه فاکتور سنجش ریسک تک عنصری و دو فاکتور تعیین ریسک تجمعی محاسبه شدند. پس غلظت‌های بدست آمده با چهار سطح راهنمای تعیین کیفیت رسوب و برخی مطالعات مشابه مقایسه شدند. در نهایت به منظور تعیین الگوی جذب فلزات و تعیین منشاء فلزات مختلف از ضریب همبستگی پیرسون و نمودار چند متغیره‌ی دندروگرام استفاده شد. جمع بندی نتایج بدست آمده نشان داد که در مورد فلزاتی که ریسک اکولوژیک بالایی داشته بودند که شامل آرسنیک و سرب می‌شدند، کاشت حرا از طریق جذب زیستی و با توجه به خاصیت پالایندگی زیستی، باعث کاهش ریسک آلودگی در منطقه مورد مطالعه شد درحالی‌که تأثیر مشخصی بر عناصر دارای ریسک کم که شامل مس، آهن، روی، نیکل و وانادیوم می‌شدند یا بدون ریسک نداشت. ضرایب همبستگی نشان دادند که کاشت حرا تأثیر مشخصی بر الگوی جذب و تجمع فلزات سنگین داشته است. نتایج دندروگرام نیز مکمل ضرایب همبستگی بود و مشخص کرد که آرسنیک و سرب عمدتاً منشاء انسانی دارند که به احتمال زیاد حاصل نشت، رهاسازی محصولات، پسماندهای نفتی و همچنین پساب‌های صنعتی هستند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از مجموعه مدیریتی آزمایشگاه‌های دانشگاه هرمزگان در فراهم نمودن امکانات لازم برای انجام مطالعه حاضر قدردانی می‌نمایند.

تعارض منافع

مطالعه حاضر فاقد تعارض منافع می‌باشد.

منابع مالی

مطالعه حاضر با حمایت مالی پایان نامه‌های دانشگاه هرمزگان و اعتبار پژوهشی نویسندگان انجام شده است.

منابع

1. Mafi-Gholami D, Jaafari A, Zenner E K, Kamari A N, Bui D T. Spatial modeling of exposure of mangrove ecosystems to multiple environmental hazards. *Science of the total environment*. 2020; 740, 140167.
2. Zahed M A, Rouhani F, Mohajeri S, Bateni F, Mohajeri L. An overview of Iranian mangrove ecosystems, northern part of the Persian Gulf and Oman Sea. *Acta Ecologica Sinica*. 2010; 30(4), 240-244.
3. Barbier E B. Marine ecosystem services. *Current Biology*. 2017; 27(11), 507-510.
4. Torres C, Hanley N. Economic valuation of coastal and marine ecosystem services in the 21st century: an overview from a management perspective. University of St. Andrews, Saint Andrews. 2016; DEA WP no. 75.
5. Delfan N, Ghodrati Shojaei M, Naderloo R. Patterns of structural and functional diversity of macrofaunal communities in a subtropical mangrove ecosystem. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2021; 252, 107288.
6. Mafi-Gholami D, Baharlouii M. Monitoring long-term mangrove shoreline changes along the northern coasts of the Persian Gulf and the Oman Sea. *Emerging Science Journal*. 2019; 3(2), 88-100.
7. Ghasemi S, Moghaddam S S, Rahimi A, Damalas C A, Naji A. Ecological risk assessment of coastal ecosystems: the case of mangrove forests in Hormozgan Province, Iran. *Chemosphere*. 2018a; 191, 417-426.

8. Ghasemi S, Moghaddam S S, Rahimi A, Damalas C A, Naji A. Phytomanagement of trace metals in mangrove sediments of Hormozgan, Iran, using gray mangrove (*Avicennia marina*). *Environmental Science Pollution Research*. 2018b; 25(28), 28195-28205.
9. Gabarrón M, Zornoza R, Martínez-Martínez S, Muñoz V A, Faz Á, Acosta J A. Effect of land use and soil properties in the feasibility of two sequential extraction procedures for metals fractionation. *Chemosphere*. 2019; 218, 266-272.
10. Zhang M, He P, Qiao G, Huang J, Yuan X, L, Q. Heavy metal contamination assessment of surface sediments of the Subei Shoal, China: Spatial distribution, source apportionment and ecological risk. *Chemosphere*. 2019; 223, 211-222.
11. Maisano M, Cappello T, Natalotto A, Vitale V, Parrino V, Giannetto A, Oliva S, Mancini G, Cappello S, Mauceri A. Effects of petrochemical contamination on caged marine mussels using a multi-biomarker approach: histological changes, neurotoxicity and hypoxic stress. *Marine environmental research*. 2017; 128, 114-123.
12. Pourang N, Nikouyan A, Dennis J. Trace element concentrations in fish, surficial sediments and water from northern part of the Persian Gulf. *Environmental monitoring assessment*. 2005; 109(1-3), 293-316.
13. Apler A, Snowball I, Frogner-Kockum P, Josefsson S. Distribution and dispersal of metals in contaminated fibrous sediments of industrial origin. *Chemosphere*. 2019; 215, 470-481.
14. Saher N U, Siddiqui A S. Occurrence of Heavy Metals in Sediment and their Bioaccumulation in Sentinel Crab (*Macrophthalmus depressus*) from Highly Impacted Coastal Zone. *Chemosphere*. 2019; 221, 89-98.
15. Duan D, Lan W, Chen F, Lei P, Zhang H, Ma J, Wei Y, Pan K. Neutral monosaccharides and their relationship to metal contamination in mangrove sediments. *Chemosphere*. 2020; 251, 126368.
16. ELTurk M, Abdullah R, Zakaria R M, Bakar, N K A. Heavy metal contamination in mangrove sediments in Klang estuary, Malaysia: Implication of risk assessment. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2019; 226, 106266.
17. Souri A, Niyogi S, Naji A. Distribution, source apportionment, bioavailability and ecological risks of metals in reef sediments and corals of the Persian Gulf (Iran): Khark Island, Chirouyeh, and Hendorabi Island. *Marine Pollution Bulletin*. 2019; 149, 110654.
18. US-EPA. Method 3010A, Acid digestion of aqueous samples and extracts for total metal for analysis of by FLAA or ICP-Spectroscopy. In. United States Environmental Protection Agency. 1992. Available at: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/3010a.pdf>. Office of Solid, Waste.
19. Long E R. Calculation and uses of mean sediment quality guideline quotients: a critical review. *Environmental Science Technology*. 2006; 40(6), 1726-1736.
20. Pignotti E, Guerra R, Covelli S, Fabbri E, Dinelli E. Sediment quality assessment in a coastal lagoon (Ravenna, NE Italy) based on SEM-AVS and sequential extraction procedure. *Science of the total environment*. 2018; 635, 216-227.
21. CCME. Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life. summary tables. In: Canadian Council of Ministers of the Environment Winnipeg, MB, Canada. 2001; available at: https://www.elaw.org/system/files/sediment_summary_table.pdf.
22. Long E R, Macdonald D D, Smith S L, Calder F D. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environmental management*. 1995; 19(1), 81-97.
23. Naji A, Sohrabi T. Distribution and contamination pattern of heavy metals from surface sediments in the Southern part of Caspian Sea, Iran. *Chemical Speciation & Bioavailability*. 2015; 27, 29-43.
24. Zarezadeh R, Rezaee P, Lak R, Masoodi M, Ghorbani M. Distribution and accumulation of heavy metals in sediments of the Northern part of mangrove in Hara Biosphere Reserve, Qeshm Island (Persian Gulf). *Soil And Water Research*. 2017a; 12, 86-95.
25. Zarezadeh R, Rezaee P, Lak R, Masoodi M, Ghorbani M. A study of textural and accumulation heavy metals of sediments in mangrove ecosystem of Persian Gulf, South Iran. *Indian Journal of Geo Marine Sciences*. 2017b; 46(01), 78-85.
26. Roy D, Pramanik A, Banerje, S, Ghosh A, Chattopadhyay D, Bhattacharyya M. Spatio-Temporal variability and source identification for metal contamination in the river sediment of Indian Sundarbans, A world heritage site. *Environmental Science And Pollution Research*. 2018; 25, 31326-31345.
27. Joseph P, Nandan S B, Adarsh K, Anu P, Varghese R, Sreelekshmi S, Preethy C, Jayachandran P, Joseph K. Heavy metal contamination in representative surface sediments of mangrove habitats of Cochin, Southern India. *Environmental Earth Sciences*. 2019; 78, 1-11.

28. Aljahdali M O, Alhassan A B. Ecological risk assessment of heavy metal contamination in mangrove habitats, using biochemical markers and pollution indices: A case study of *Avicennia marina* L. in the Rabigh lagoon, Red Sea. *Saudi journal of biological sciences*. 2020; 27(4), 1174-1184.
29. Islam M S, Hossain M B, Matin A, Sarker M S I. Assessment of heavy metal pollution, distribution and source apportionment in the sediment from Feni River estuary, Bangladesh. *Chemosphere*. 2018; 202, 25-32.
30. Zhou J, Ma D, Pan J, Nie W, Wu K. Application of multivariate statistical approach to identify heavy metal sources in sediment and waters: a case study in Yangzhong, China. *Environmental Geology*. 2008; 54(2), 373-380.
31. Alhassan A B, Aljahdali M O. Sediment Metal Contamination, Bioavailability, and Oxidative Stress Response in Mangrove *Avicennia marina* in Central Red Sea. *Frontiers in Environmental Science*. 2021; 9, 185.
32. Koukina S E, Lobus N V. Relationship between enrichment, toxicity, and chemical bioavailability of heavy metals in sediments of the Cai River estuary. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2020; 192(5), 1-19.
33. Souri A, Masoodi M, Niyogi S, Naji A. Speciation and risk assessment of selected trace metals in bottom sediment of coral reef ecosystems of the Persian Gulf. *Environmental Science and Pollution Research*. 2020; 27(17), 21416-21428.
34. Bundschuh J, Schneider J, Alam M A, Niazi N. K, Herath I, Parvez F, Tomaszewska B, Guilherme L R G, Maity J P, López D L. Seven potential sources of arsenic pollution in Latin America and their environmental and health impacts. *Science of the Total Environment*. 2021; 780, 146274.
35. Liu X, Zeng B, Lin G. Arsenic (As) contamination in sediments from coastal areas of China. *Marine Pollution Bulletin*. 2022; 175, 113350.
36. Shrivastava A, Ghosh D, Dash A, Bose S. Arsenic contamination in soil and sediment in India: sources, effects, and remediation. *Current Pollution Reports*. 2015; 1(1), 35-46.
37. Pereira T L, Wallner-Kersanach M, Costa L D F, Costa D P, Baisch P R M. Nickel, vanadium, and lead as indicators of sediment contamination of marina, refinery, and shipyard areas. *Environmental Science Pollution Research*. 2018; 25(2), 1719-1730.
38. Moreira Í T, Oliveira O M, Azwell T, Queiroz A F, Nano R M, Souza E S, Dos Anjos J A, Assunção R V, Guimarães L M. Strategies of bioremediation for the degradation of petroleum hydrocarbons in the presence of metals in mangrove simulated. *CLEAN-Soil, Air, Water*. 2016; 44(6), 631-637.
39. Sathish T, Vinithkumar N, Dharani G, Kirubakaran R. Efficacy of mangrove leaf powder for bioremediation of chromium (VI) from aqueous solutions: kinetic and thermodynamic evaluation. *Applied Water Science*. 2015; 5(2), 153-160.
40. Sahoo S, Goli D. Chromium bioremediation by a Karnataka mangrove microbe *Bacillus pumilus* MF472596. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2010; 9(1), 34-47.
41. Santos H F, Carmo F L, Paes J E, Rosado A S, Peixoto R S. Bioremediation of mangroves impacted by petroleum. *Water, Air, & Soil Pollution*. 2011; 216(1), 329-350.
42. Jafarabadi A R, Bakhtiari A R, Maisano M, Pereira P, Cappello T. First record of bioaccumulation and bioconcentration of metals in Scleractinian corals and their algal symbionts from Kharg and Lark coral reefs (Persian Gulf, Iran). *Science of the Total Environment*. 2018; 640, 1500-1511.
43. Jafarabadi A R, Bakhtiari A R, Spanò N, Cappello T. First report of geochemical fractionation distribution, bioavailability and risk assessment of potentially toxic inorganic elements in sediments of coral reef Islands of the Persian Gulf, Iran. *Marine Pollution Bulletin*. 2018; 137, 185-197.
44. Jafarabadi A R, Bakhtiyari A R, Toosi A S, Jadot C. Spatial distribution, ecological and health risk assessment of heavy metals in marine surface sediments and coastal seawaters of fringing coral reefs of the Persian Gulf, Iran. *Chemosphere*. 2017; 185, 1090-1111.
45. Bruland K W. Oceanographic distributions of cadmium, zinc, nickel, and copper in the North Pacific. *Earth Planetary Science Letters*. 1980; 47(2), 176-198.
46. Harter R D. Effect of Soil pH on Adsorption of Lead, Copper, Zinc, and Nickel 1. *Soil Science Society of America Journal*. 1983; 47(1), 47-51.

The effect of mangrove planting on heavy metals accumulation in coastal sediments of the Persian Gulf, Bandar Abbas region

Behzad Shokouh Hajabbas Alikhan¹, Iman Sourinejad¹, Zahra Ghasemi^{1*}

1- Department of Fisheries, Faculty of Marine Science and Technology, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.

ABSTRACT

The significance of mangrove species in the world is undeniable and planting artificial mangrove forests is a desirable solution to preserve mangroves. The mangroves provide us with superior ecological services and one of their main services is the bioremediation of heavy metals. Hence, this study aimed to assess the effects of artificial mangroves of Velayat Park of Bandar Abbas on the contamination, adsorption pattern and ecological risk of heavy metals in the sediment samples. Thirty samples were collected from two paralleled sampling sections included those without mangroves and containing mangroves. Each sampling area consisted of upper, middle and lower sections. After drying samples using an oven, the dried sediments were sieved by a 63-micrometer sieve and digested by nitric and hydrochloric acid mixture. The concentration of As, Cu, Fe, Ni, Pb, V, and Zn was determined using ICP. The studied factors suggested a high level of ecological risk for As and Pb and the highest risk was observed in the samples without mangroves and a lower risk was reported for samples containing mangroves. Comparing the results with sediment quality guidelines and other studies indicated a dangerous concentration of As. Pearson correlation coefficient values exhibited that artificial mangroves have significantly affected the adsorption pattern of heavy metals (p -Value < 0.05). The principal component analysis (PCA) showed that As and Pb are dominantly derived from oil products leakages and industrial sewages while Cu, Fe, Ni, V and Zn are predominantly derived from natural and geological sources.

KEYWORDS: Pollution, Heavy metals, Bioremediation, Mangroves, Sediments

ARTICLE TYPE

Original Research

ARTICLE HISTORY

Received: 3 Oct. 2022

Accepted: 22 Nov. 2022

ePublished: 3 Mar. 2023

* Corresponding Author:

Email address: z.ghasemi@hormozgan.ac.ir

Tel:

© Published by Tarbiat Modares University

ISSN: