

ارزیابی آلاینده‌های فلزات سنگین در رسوبات پهنه جزر و مدی دلتای مهران در خلیج فارس

مهرداد پسندی^{۱*}، حمیدرضا پاکزاد^۱، عبدالمهدی حلوائی لنگه^۱ و محمدرضا طاهری زاده^۲

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۵/۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۲/۴)

چکیده

غلظت و آلاینده‌های فلزات سنگین در رسوبات دانه ریز بخش جزر و مدی دلتای مهران واقع در خلیج فارس که جنگل‌های مانگرو رشد کرده اند و ارتباط غلظت این عناصر با عوامل فیزیکوشیمیایی مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است. بدین منظور از رسوبات سطحی پهنه جزر و مدی دلتای مهران نمونه‌برداری شد و دانه‌بندی، میزان کربنات کلسیم، مواد آلی، pH/Eh و فلزات سنگین در رده گل رسوبات تعیین شد. وجود کربنات کلسیم بالا در رسوبات عامل مؤثر در میزان فراوانی عناصر منگنز، کادمیوم و سرب است. رس و مواد آلی به صورت جذب سطحی در فراوانی غلظت عناصر روی و مس نقش داشته‌اند و اکسی-هیدرواکسیدهای آهن نیز به صورت جذب سطحی در میزان غلظت عناصر کبالت، کروم و نیکل تأثیرگذار بوده است. بر اساس شاخص غنی‌شدگی (EF)، میانگین غنی‌شدگی عناصر در رسوبات مورد مطالعه از زیاد به کم به صورت کروم، نیکل، کادمیوم، روی، منگنز، سرب، کبالت و مس است. بر اساس شاخص انباشت آلودگی (PLI)، هیچکدام از عناصر در رسوبات دلتا اعم از رسوبات درون مانگرو و رسوبات خارج از مانگرو در طبقه‌بندی آلوده قرار ندارند. بر اساس شاخص زمین‌انباشتگی (Igeo) عناصر در اکثر نمونه‌ها غیرآلوده بوده و فقط فلزات کادمیوم، کروم، نیکل در تعدادی نمونه‌ها آلودگی کمی نشان می‌دهند. لذا در حال حاضر تهدیدی متأثر از آلودگی عناصر بالقوه سمی مورد بررسی با منشأ طبیعی و انسان‌زاد متوجه محیط زیست مانگرو و دلتای مهران نیست.

واژه‌های کلیدی: آلاینده‌های فلزات سنگین، رسوبات گلی، دلتای رودخانه مهران، مانگرو

۱. گروه زمین‌شناسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

۲. گروه زیست، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: m.pasandi@sci.ui.ac.ir

مقدمه

اکوسیستم‌های مانگرو بیشتر در پهنه‌های جزر و مدی تالاب‌های واقع در مصب رودخانه‌های مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری پدید می‌آیند (۲۶). گیاهان مانگرو به‌صورت منبع کربن آلی عظیمی برای رسوبات این مناطق عمل کرده و تأثیر مستقیمی بر شبکه غذایی اکوسیستم‌های دریایی دارند (۵). علاوه بر این به‌عنوان پناهگاهی برای بسیاری از موجودات دریایی و پرندگان مهاجر عمل کرده و همچنین توسط بشر به طرق مختلف از جمله به‌عنوان علوفه دام و هیزم، در ساخت قایق، خانه و ماهیگیری مورد استفاده قرار می‌گیرند (۱۸). مانگروهای مصب رودخانه‌ها حتی به‌دلیل پتانسیل عظیم زیستی از قبیل محتوای آلی، متابولیت‌های ثانویه، ترکیبات عنصری و ضد میکروبی و خواص دارویی مورد تحقیق واقع می‌شوند (۳). این زیستگاه‌ها با وجود قابلیت‌های بوم‌شناختی، اجتماعی و اقتصادی به‌دلیل فعالیت‌های انسانی و تغییرات آسیب‌زننده اقلیمی به‌طور مداوم تحت تنش هستند (۲۱). با گسترش شهرنشینی و صنعت در مناطق ساحلی، گیاهان مانگروها در معرض آلاینده‌های مختلف قرار گرفته و به‌طور فزاینده‌ای در معرض جنگل‌زدایی قرار دارند (۲۵). فلزات سنگین به‌دلیل تأثیرات زیان‌آور به‌عنوان آلاینده‌های اصلی محیط زیست محسوب شده و در اثر فعالیت‌های انسان‌زاد در محیط‌های دریایی و ساحلی در سرتاسر جهان در حال افزایش هستند (۱۹). این عناصر پایدار بوده و لذا تمایل به تجمع در محیط‌های زیست مختلف را دارا هستند (۲۵). توزیع فلزات سنگین در محیط‌های ساحلی به‌وسیله فرایندهای تبدل‌اتی پیچیده متأثر از عوامل طبیعی و انسان‌زاد مختلف، کنترل می‌شود (۲۴). مانگروها به‌صورت فیلتر مؤثری برای این عناصر بالقوه سمی منشأ گرفته از منابع مختلف عمل می‌کنند (۴۰). فلزات سنگین که به محیط‌های خلیج دهانه‌ای وارد می‌شوند به‌صورت محلول و یا مرتبط با ذرات معلق در ستون آب سیستم رودخانه‌ای بوده و یا از طریق ته‌نشست‌های جوی حاصل شده‌اند (۳۱). به‌طور کلی، رسوبات مصب رودخانه بی‌هوازی و احیا هستند و بنابراین مستعد به دام

انداختن و نگهداشت فلزات سنگین موجود در آب هستند (۴۶). گیاهان مانگرو به‌صورت یک مخزن طبیعی برای مواد مغذی همچون کربن آلی عمل می‌کنند و از این طریق بر چرخه‌های بیوژئوشیمیایی در این زیستگاه‌های منحصر به‌فرد تأثیرگذار هستند (۲۲). اجزای آلی و غنی از سولفید رسوبات مانگرو امکان تشکیل سولفیدهای فلزی نامحلول و کمپلکس‌های آلی فلزی را افزایش می‌دهند که این نیز باعث افزایش نگهداشت فلزات سنگین شده و منجر به طیف گسترده‌ای از توزیع فلزات سنگین و در نتیجه پتانسیل تجمع زیستی این عناصر در اکوسیستم مانگرو شده است (۲۷).

شناخت توزیع فلزات سنگین در زیستگاه‌های مانگرو و نظارت بر دسترسی زیستی بالقوه جانوران و گیاهان به این عناصر حائز اهمیت ویژه‌ای است (۴۲). تاکنون مطالعات متعددی در سرتاسر جهان روی تمرکز فلزات سنگین در رسوبات رویشگاه‌های مانگرو صورت گرفته است که از جمله تحقیقات زیست‌محیطی صورت گرفته روی این اکوسیستم‌ها در ایران می‌توان مطالعات آلاینده‌های فلزات سنگین در رسوبات مانگروهای بیدخوان، بساتین و مل‌گزنه (۱۲)، بندر امام خمینی (۸)، جزیره قشم (۱۶)، بردستان بندر دیر (۹)، منطقه میان بندر خمیر و جزیره قشم (۳۵)، سیریک (۴۴)، خوریات ماهشهر (۱۰)، تیاب و کلاهی (۱۴)، خور گابریک (۴۵) و خلیج آذینی (۲۰) اشاره کرد.

اغلب پایش و ارزیابی فلزات سنگین موجود در رسوبات تنها بر میزان کل این عناصر متمرکز است. ولی سمیت فلزات سنگین موجود در رسوبات برای موجودات زنده به‌طور مستقیم با مقدار کل فلزات سنگین مرتبط نیست، بلکه به بخشی بستگی دارد که می‌تواند از نظر زیستی مورد استفاده واقع شود (۳۸). از این‌رو بررسی غلظت و آلاینده‌های فلزات سنگین در رسوبات گلی (سیلت و رس) رسوبات اکوسیستم مانگرو از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این پژوهش تعیین غلظت و ارزیابی آلاینده‌های فلزات سنگین در رسوبات دانه ریز بخش جزر و مدی دلتای مهران و همچنین ارتباط خصوصیات فیزیکوشیمیایی

رسوبات و تمرکز عناصر مورد بررسی، مطالعه شده است.

نمونه‌ها استفاده شد.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری و آزمایش‌ها

برای نمونه‌برداری از بخش‌های مختلف سیستم مانگرو (شکل ۱)، ابتدا به‌واسطه تصاویر ماهواره‌ای منطقه مورد بررسی قرار گرفت و در طی دو روز پیمایش در خشکی و یک روز پیمایش آبی با قایق تعداد ۲۱ نمونه رسوبات سطحی از پهنه جزر و مدی (بالای جذر و مدی، پایین جزر و مدی و بین جزر و مدی) دلتای مهران به‌وسیله بیلچه و گراب (Grab Sampler) برداشت شد. میزان کربنات کلسیم رسوبات به‌روش وزنی محاسبه شد (۳۷). درصد مواد آلی رسوبات گلی به‌روش کوره الکتریکی تعیین شد (۱۳). دانه بندی رسوبات به‌روش الک خشک، الک تر و هیدرومتری انجام شد (۲۸). میزان pH/Eh رسوبات به‌روش الکتریکی تعیین شد (۲۳). نمونه‌های رده گل رسوبات (۱۴) نمونه انتخابی) در هوای آزاد خشک شدند و برای به‌دست آوردن مخلوطی همگن با هاون چینی به‌صورت پودر در آمدند. سپس ۱ گرم از هر نمونه رسوب با اضافه کردن مخلوطی از اسید نیتریک و اسید هیدروکلریک غلیظ (با نسبت ۳:۱) ابتدا به مدت ۱ ساعت در دمای آزمایشگاه و سپس به مدت ۳ ساعت در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد روی هات پلیت هضم شد (۳۰). نمونه‌ها پس از سرد شدن با استفاده از کاغذ صافی واتمن ۴۲ میکرون فیلتر شده و سپس با آب دو بار تقطیر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. سنجش میزان فلزات سنگین در محلول حاصل به‌روش طیف‌سنجی پلاسمای جفت شده القایی طیفی (ICP-AES) انجام شد. دقت اندازه‌گیری این روش برای عناصر کروم، نیکل، روی، مس، کبالت، سرب و کادمیوم به‌میزان ۰/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم و برای عنصر آهن و منگنز ۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. از نمونه استاندارد GSS-16 به‌منظور حصول اطمینان از صحت نتایج به‌دست آمده از اندازه‌گیری مقدار فلزات سنگین در

جغرافیا و زمین‌شناسی منطقه

منطقه مورد مطالعه در استان هرمزگان در طول جغرافیایی ۵۵ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۳۶ دقیقه شرقی و عرض ۲۶ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۵۵ دقیقه شمالی واقع است. مساحت این دلتا در حدود ۲۹۰ کیلومتر مربع و طول کمان رو به دریای آن ۴۰ کیلومتر است. حوضه آبریز مهران به‌صورت یک حوضه کشیده با طول حدود ۳۳۰ کیلومتر و عرض ۳۵ کیلومتر و مساحت ۸۶۵۶ کیلومتر مربع است (شکل ۲). اوج گرما در این ناحیه در طی ماه‌های تیر و مرداد رخ می‌دهد و دما تا ۳۸ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. دی‌ماه خنک‌ترین ماه سال است و کمینه دمای هوا در آن ۱۲ درجه سانتی‌گراد است (۳۳). میانگین بارندگی در منطقه ۱۲۲ میلی‌متر و معمولاً به صورت رگبار و باران‌های سیل‌آسا است (۱۱). امواج خلیج فارس کوچک مقیاس بوده و بیش از ۷۵ درصد ایام سال دامنه امواج کمتر از یک متر است. دامنه جزر و مد در خط ساحلی محدوده دلتای مهران معمولاً بین ۲ تا ۴ متر و از نوع Meso tidal است. در هنگام جزر و مد کمینه (Neap tide) دامنه جزر و مد تا ۷۲ سانتی‌متر و در هنگام جزر و مد بیشینه (Spring tide) این دامنه تا بیش از ۴/۵ متر می‌رسد (۳۹). منطقه مورد مطالعه از منظر تقسیمات زمین‌شناسی ایران و از دیدگاه ساختاری در پهنه زاگرس چین‌خورده واقع است (۱). در حوزه آبریز رودخانه مهران انواع سنگ‌های کربناته، مارن، انیدریت، کنگلومرا، شیل و گنبد نمکی رخنمون یافته‌اند.

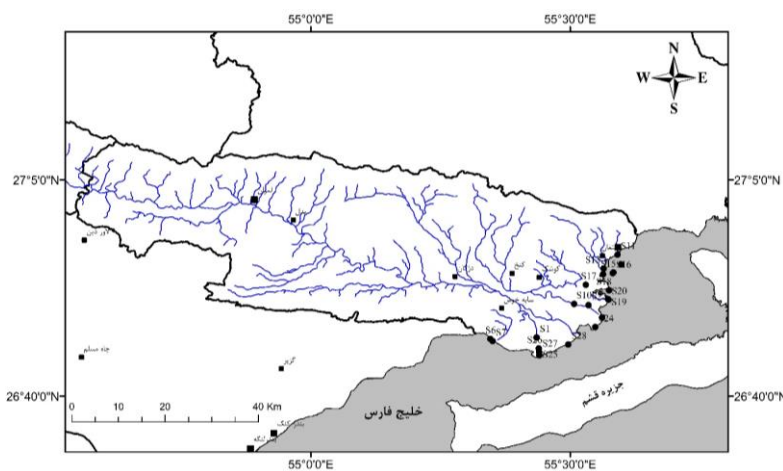
نتایج و بحث

رسوب‌شناسی

مقدار ذرات در اندازه ماسه در نمونه‌های مورد مطالعه بین ۱ تا ۹۹/۸ درصد و میانگین آن ۳۹/۲ درصد است. حداکثر مقدار ذرات در اندازه سیلت برابر ۸۴ درصد و میانگین آن برابر ۴۵/۸۳ درصد است.



شکل ۱. چشم‌اندازی از درختان مانگرو و رسوبات گلی در دلتای مهران



شکل ۲. رودخانه مهران و محدوده مورد مطالعه در حوضه آبریز مهران

جزر و مدی محدود تا حد زیادی قادر به حفظ مواد آلی در داخل محیط هستند (۷).

رسوبات به دلیل واقع شدن در محیط دریایی تماماً دارای pH نزدیک به یکدیگر هستند (میانگین ۸/۵۸) و تغییرات این پارامتر روند خاصی نشان نمی‌دهد. پتانسیل اکسیداسیون و احیا رسوبات نشان می‌دهد که کمترین و بیشترین مقدار Eh به ترتیب برابر ۲۲۶- و ۱۵۲+ بوده، میانگین ۷۲- میلی‌ولت و انحراف معیار ۱۲۶ است. تغییرات مقدار Eh در رسوبات ناحیه بین جزر و مدی نمایانگر حاکم بودن شرایط اکسیدان در بخش غربی دلتا است که فاقد مانگرو است و به سمت شرق و با نزدیک شدن به پوشش مانگرو شرایط احیایی حاکم می‌شود و با ادامه مسیر به سمت شرق و افزایش تراکم پوشش مانگرو، شرایط احیایی تشدید می‌شود. در جهت عمود بر ساحل

میزان ذرات در اندازه رس نیز حداکثر ۴۱ درصد و میانگین آن ۱۷/۴۷ درصد است. کمترین و بیشترین میزان کربنات کلسیم رسوبات به ترتیب ۳۸/۵ و ۷۵ درصد و مقدار میانگین ۴۹/۴۸ درصد است (جدول ۱). بیشترین مقدار کربنات کلسیم مربوط به رسوبات دهانه کانال جزر و مدی است که دارای رخساره ماسه‌ای است و کمترین مقدار آن مربوط به بالادست کانال جزر و مدی است که دارای رخساره گلی است.

کمترین و بیشترین مقدار مواد آلی رسوبات به ترتیب ۲/۶ و ۱۰/۲ درصد و با میانگین ۵/۴۸ درصد است. کمترین مقدار مواد آلی مربوط به نمونه‌های منطقه زیرین بین جزر و مدی است، زیرا در مناطقی که تأثیرات جزر و مدی زیاد باشد مقدار قابل توجهی از مواد آلی خارج می‌شود (۱۵). بیشترین مقدار مواد آلی مربوط به منطقه بالایی بین جزر و مدی است، زیرا تبادلات

جدول ۱. فراوانی ذرات تشکیل دهنده رسوب، مقادیر CaCO_3 ، pH، Eh و مواد آلی رسوبات جزر و مدی دلتای مهران

نام نمونه	ماسه (%)	سیلت (%)	رس (%)	کربنات کلسیم (%)	ماده آلی کل (%)	Eh (mV)	pH
S ₁	۱۳	۶۲/۵	۲۴/۵	۴۵/۵	۷/۲	۱۵۲	۸/۵۹
S ₆	۹	۹۵/۵	۳۱/۵	۵۱/۵	۶/۲	۱۰۵	۸/۴۴
S ₇	۸۰	۱۳	۷	۵۱	۴	-۲۱/۵	-
S ₁₀	۱۳	۶۸/۵	۱۸/۵	۴۴/۵	۵/۸	۷۸	۸/۵۸
S ₁₁	۲۶	۶۲/۵	۱۱/۵	۵۳	۷/۶	-۱۰۶	۸/۴۴
S ₁₂	۳۱	۵۴/۵	۱۴/۵	۴۸/۵	۷/۸	-۲۰۴	۸/۷
S ₁₃	۱	۸۴	۱۵	۴۵/۵	۱۰/۲	۱۴۱	۸/۲۲
S ₁₄	۵۳	۳۶	۱۱	۴۳	۲/۶	-۱۵۱	۸/۲۲
S ₁₅	۵۳	۳۶/۵	۱۰/۵	۴۹	۳/۶	-۲۲۶	۸/۸۱
S ₁₆	۹۲/۷۵	۷/۲۵		۶۸/۵	-	-	-
S ₁₇	۲	۵۷	۴۱	۳۸/۵	۶/۴	-۱۹۵	۸/۳۶
S ₁₈	۱۱	۷۵	۱۴	۴۳	۳/۴	۴۰	۸/۷۹
S ₁₉	۷۸	۱۹	۳	۴۴	۳	-۱۹۷	۸/۹
S ₂₀	۹۹/۸	۰/۲		۷۵	-	-	-
S ₂₁	۶۷	۲۳/۵	۹/۵	۴۹/۵	۵/۲	-۱۱۹	۸/۵۸
S ₂₂	۱۲	۷۵	۱۳	۴۶/۵	۴/۶	-۱۷۶	۸/۱۵
S ₂₃	۱۳	۶۹	۱۸	-	-	-	-
S ₂₄	۳۶	۳۹/۵	۲۴/۵	۴۵/۵	۴/۴	-۱۱۴	۸/۸۳
S ₂₅	۲۵	۴۶/۵	۲۸/۵	۴۴/۵	۴/۴	-۸۹	۸/۶۸
S ₂₈	۱۴	۶۷	۱۹	۴۷	۶/۸	-۱۴۵	۸/۹۴
S ₂₉	۹۳/۶	۶/۴		۵۶	-	-	-

- اندازه‌گیری نشده

اندازه‌گیری شده در رسوبات رویشگاه‌های ساحلی مانگرو دیگر مناطق کشور (منطقه میان بندر خمیر و جزیره قشم، بیدخون، بساتین و مل‌گنزه) کمتر است (جدول ۳). غلظت کروم بین ۸۷ تا ۱۸۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم در تغییر بوده و میانگین این عنصر در نمونه‌ها ۱۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. میانگین غلظت کروم تنها در رسوبات مانگروهای تیاب و کلاهی تعیین شده که به مقدار اندازه‌گیری شده در این مطالعه بسیار نزدیک است (جدول ۳). توزیع نیکل در رسوبات بین ۵۴ تا ۱۶۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر بوده و

(به‌سمت مناطق زیر جزر و مدی و بالای جزر و مدی) شرایط احیایی به اکسیدان تبدیل می‌شود (جدول ۱).

بررسی تأثیر عوامل فیزیکوشیمیایی بر غلظت فلزات سنگین
ترتیب فراوانی میانگین غلظت عناصر در رسوبات مورد بررسی به‌صورت $\text{Fe} > \text{Mn} > \text{Cr} > \text{Ni} > \text{Zn} > \text{Cu} > \text{Co} > \text{Pb} > \text{Cd}$ است (جدول ۲). حداقل و حداکثر غلظت عنصر آهن در نمونه‌ها بین ۲۱۴۹۸ و ۳۱۵۲۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم و با میانگین ۲۶۵۵۵ است. میانگین غلظت این عنصر از متوسط مقادیر

جدول ۲. مقادیر غلظت، میانگین و انحراف معیار فلزات سنگین مورد مطالعه در رسوبات گلی دلتای مهران
(برحسب میلی گرم بر کیلوگرم)

نام نمونه	Fe	Mn	Cr	Ni	Zn	Cu	Co	Pb	Cd
S ₁	۲۳۲۰۸	۵۱۰	۸۷	۷۳	۳۹	۱۱/۸	۸	۶	۰/۱
S ₆	۲۷۴۸۸	۵۴۱	۱۱۸	۸۸	۴۷	۵۵	۱۰/۱	۸	۰/۴
S ₁₁	۲۴۰۵۵	۴۷۶	۹۷	۸۱	۴۱	۵۲	۸	۶	۰/۳
S ₁₂	۲۶۵۴۳	۵۱۰	۱۲۷	۸۵	۴۳	۵۴	۹	۸	۰/۴
S ₁₃	۲۷۴۲۸	۳۹۶	۱۵۱	۱۳۲	۴۸	۱۳/۸	۱۰	۲	۰/۱
S ₁₅	۲۹۱۲۶	۵۵۸	۱۳۵	۹۰	۳۹	۱۰/۵	۹	۶	۰/۱
S ₁₇	۳۰۳۹۸	۳۹۱	۱۸۳	۱۶۵	۵۳	۱۴/۸	۱۱	۵	۰/۱
S ₁₈	۲۶۱۳۶	۵۴۸	۱۱۹	۸۵	۳۷	۱۰/۱	۹	۵	۰/۱
S ₁₉	۳۱۵۲۴	۵۳۷	۱۴۴	۵۴	۳۳	۵/۸	۸	۴	۰/۲
S ₂₁	۲۷۳۲۹	۵۲۳	۱۱۲	۷۹	۳۷	۹/۱	۹	۸	۰/۱
S ₂₅	۲۶۴۶۰	۴۷۷	۱۰۴	۸۱	۴۱	۱۰/۷	۹	۷	۰/۱
S ₂₈	۲۴۰۲۶	۵۲۰	۹۹	۷۶	۳۷	۹/۵	۹	۷	۰/۲
میانگین	۲۶۵۵۵	۴۹۹	۱۲۰	۸۸/۴	۴۱	۲۰/۴	۹/۱	۶/۱	۰/۱۶
انحراف معیار	۲۵۲۶	۵۵/۲۲	۲۷/۰۹	۲۹/۴۱	۵/۶۱	۱۹/۵۶	۰/۹۴	۱/۷۱	۰/۱۰۸

جدول ۳. میانگین تمرکز فلزات سنگین در رسوبات رویشگاه‌های مانگرو مختلف کشور و منطقه مورد مطالعه
(برحسب میلی گرم بر کیلوگرم)

نام محل	Fe	Cr	Ni	Zn	Cu	Pb	Cd	منبع
بندر امام خمینی (استان خوزستان)	-	-	۹۷/۴۹	۷۹/۹۷	۲۹/۰۷	۲۳/۶۹	۵/۶۳	(۸)
بساتین (استان بوشهر)	۳۶۱۱۲	-	۸۲/۱	۲۵۴/۵	۶۴/۳	۱۳۸	۱/۹	(۱۲)
بیدخون (استان بوشهر)	۳۷۸۱۱	-	۶۸/۵	۲۰۱/۲	۴۷/۵	۹۶/۲	۲	(۱۲)
مل گنزه (استان بوشهر)	۱۸۲۸۶	-	۴۱/۹	۸۸/۷	۲۶/۳	۵۳/۳	۱/۳	(۱۲)
جزیره قشم (استان هرمزگان)	-	-	۵۴/۱۲	۴۳/۶۱	-	۴۷/۹۰	۰/۲۴	(۱۶)
بردستان بندر دیر (استان بوشهر)	-	-	۸۱/۴۵	۴۱/۴۸	۱۰/۳۰	۱۱/۵۵	۴/۵	(۹)
میان بندر خمیر و جزیره قشم (استان هرمزگان)	۴۶۲۶۱	-	۷۹/۸۶	-	-	۳۶/۶۵	۳/۵۴	(۳۵)
سیریک (استان هرمزگان)	-	-	۱۳۲/۷	۱۰۹/۰۵	-	۹۹/۴	-	(۴۴)
خوریات ماهشهر (استان خوزستان)	-	-	۹۵/۴۷	۷۹/۹۳	۱۱/۱۹	۲۳/۹۸	-	(۱۰)
تیاب و کلاهی (استان هرمزگان)	-	۱۲۲/۵۶	۱۴۲/۸۱	۵۸/۸۱	۳۶/۱۸	۲۲/۲۳	۶/۱۵	(۱۴)
خور گابریک (استان هرمزگان)	-	-	۸۳/۸۸	۶۸/۸۳	-	۹۷/۵۶	-	(۴۵)
خلیج آذینی (استان هرمزگان)	-	-	-	۳۹/۷۱	-	۱۷/۲۹	-	(۲۰)
دلتای مهران (استان هرمزگان)	۲۶۵۵۵	۱۲۰	۸۸/۴	۴۱	۲۰/۴	۶/۱	۰/۱۶	مطالعه حاضر

جانشین کلسیم در کربنات‌ها شود (۱۷). سرب نیز مشابه کادمیوم می‌تواند جانشین کلسیم در ساختار کربنات‌ها شود (۲). همچنین حضور کربنات کلسیم تأثیر مهمی در جذب منگنز دارد و یون متحرک Mn^{2+} جذب شیمیایی کربنات کلسیم شده و ته‌نشست می‌شود (۴۳).

مواد آلی و رس

تغییرات غلظت روی نشان می‌دهد که بیشترین مقدار این عنصر در نمونه‌های دانه ریزتر و نمونه‌های غنی از مواد آلی است (شکل ۳-د). روی در حضور مواد آلی می‌تواند تشکیل کمپلکس‌های آلی دهد و یا جذب ذرات رسی شود و این عوامل فیزیکوشیمیایی باعث افزایش این عنصر در رسوبات می‌شود (۲۹ و ۳۶). لذا در نمونه‌هایی که حاوی مواد آلی و رس بیشتری هستند غلظت مس نیز بیشتر است (شکل ۳-د)، زیرا مواد آلی و رس عوامل مهمی برای جذب این عنصر در رسوبات است (۲).

اکسی - هیدروکسیدهای آهن

اکسی - هیدروکسیدهای آهن قادر به جذب سطحی تعدادی از فلزات سنگین و افزایش غلظت این عناصر در رسوبات است و عناصر در pH بالا (pH رسوبات مورد مطالعه) به‌صورت جذب شیمیایی با اکسید/هیدروکسیدهای آهن رسوب می‌کنند (۲ و ۲۹). در اغلب نمونه‌ها مطابقت روند افزایش کروم، نیکل و کبالت با آهن بیانگر تأثیر اکسی - هیدروکسیدهای آهن در جذب و افزایش غلظت این عناصر هستند (شکل‌های ۳-ه، ۳-و). نیکل و کبالت به‌صورت جذب شیمیایی و رسوب با اکسی - هیدروکسیدهای آهن در افزایش غلظت این عناصر در رسوب مؤثرند (۲۹). کروم نیز می‌تواند توسط اکسی - هیدروکسیدهای آهن جذب و همراه آنها ته‌نشین شود (۲).

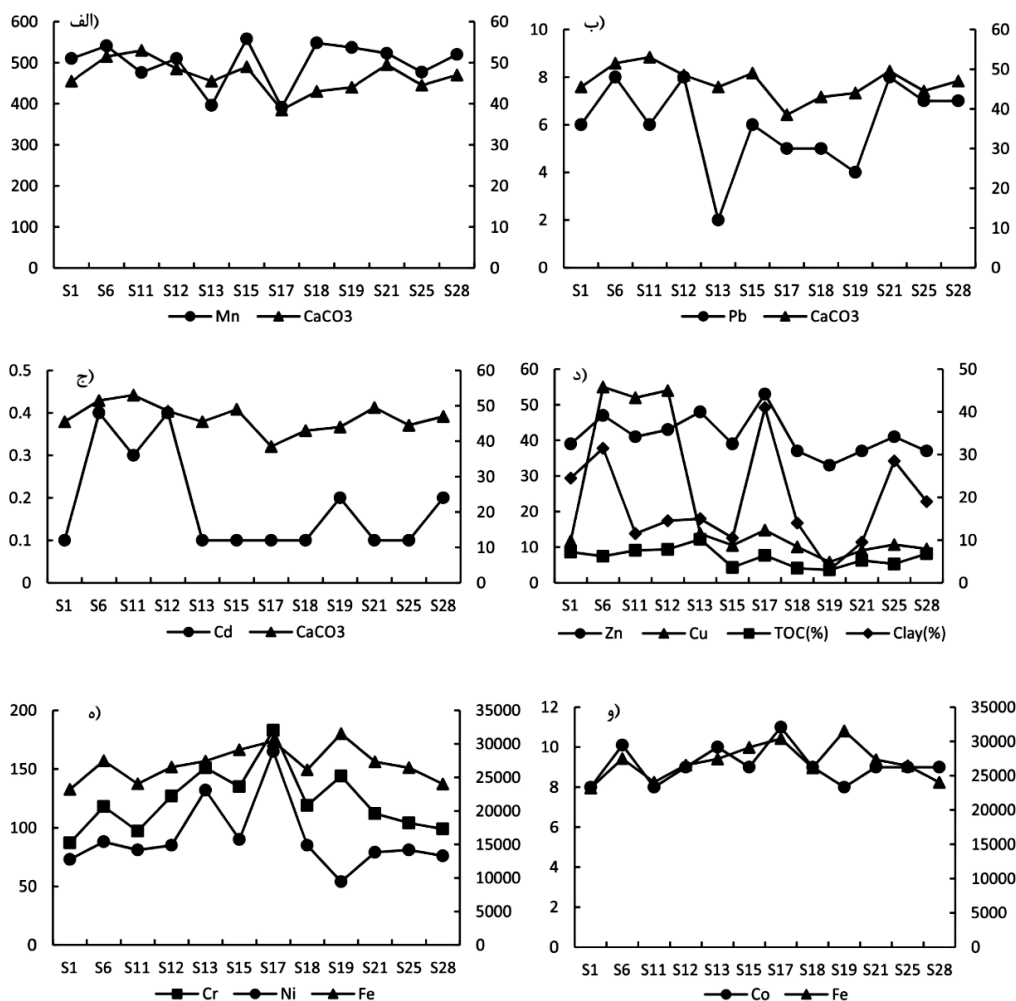
ارزیابی آلاینده‌گی فلزات سنگین

روش‌های مختلفی برای تشخیص تجمع غیرعادی و بررسی

دارای میانگین $88/4$ است. میانگین مقدار این عنصر در رسوبات مورد بررسی تقریباً مشابه مانگروهای بین بندر خمیر و جزیره قشم، بساتین و خور گابریک است (جدول ۳). حداقل و حداکثر غلظت روی در سطح دلتا به‌ترتیب 33 و 53 میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده و میانگین غلظت این عنصر 41 میلی‌گرم بر کیلوگرم است. میانگین مقدار روی در مقایسه با رسوبات مناطق مانگرویی دیگر کم بوده و با تمرکز این عنصر در رسوبات مانگروهای جزیره قشم، خلیج آزینی و بردستان بندر دیر مشابهت دارد (جدول ۳). توزیع غلظت مس در سطح دلتا بین $5/8$ تا 55 میلی‌گرم بر کیلوگرم تغییر می‌کند و دارای میانگین غلظت $20/4$ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. میزان این عنصر نیز در رسوبات در مقایسه با مناطق دیگر به جز خوریات ماهشهر کمتر بوده و با مانگروی مل‌گنزه مشابهت نشان می‌دهد. حداقل و حداکثر غلظت عنصر کبالت در سطح دلتا 8 و 11 میلی‌گرم بر کیلوگرم و با میانگین $9/1$ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. غلظت عنصر سرب در نمونه‌های مورد مطالعه بین 2 تا 8 میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر بوده و دارای میانگین $6/1$ میلی‌گرم بر کیلوگرم است که از میزان این عنصر در رسوبات رویشگاه‌های دیگر کمتر است (جدول ۳). غلظت کادمیوم بین $0/1$ و $0/4$ میلی‌گرم بر کیلوگرم تغییر می‌کند و واجد میانگین $0/16$ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (جدول ۲). متوسط مقدار این عنصر نیز در رسوبات دلتای مهران بسیار کمتر از رسوبات رویشگاه‌های دیگر بوده و با مانگرو جزیره قشم قابل قیاس است (جدول ۳).

کربنات کلسیم

کربنات کلسیم در رسوبات دلتا (میانگین $49/48$ درصد) بیشتر به‌صورت آواری از سنگ‌های منشأ حمل و در دلتا رسوب کرده‌اند. روند تغییرات غلظت عناصر منگنز، سرب و کادمیوم با میزان کربنات کلسیم رسوبات مورد مطالعه همخوانی دارد (شکل ۳-الف، ب و ج). این عناصر به‌صورت جذبی یا جانشینی همراه کربنات کلسیم حمل شده و در محیط دلتا رسوب کرده‌اند. کادمیوم به‌دلیل تشابه یونی Cd^{2+} ($0/97$ آنگستروم) و Ca^{2+} ($0/99$ آنگستروم) می‌تواند



شکل ۳. نمودار تطبیقی روند تغییرات غلظت فلزات سنگین با عوامل فیزیکوشیمیایی در رسوبات مورد مطالعه

الف) عنصر منگنز با کربنات کلسیم، ب) عنصر سرب با کربنات کلسیم، ج) عنصر کادمیوم با کربنات کلسیم، د) عناصر مس و روی با رس و ماده آلی، ه) عناصر کروم و نیکل با آهن و ه) عنصر کبالت با آهن

$$EF = \frac{(H_s/Fe_s)_{\text{نمونه}}}{(H_c/Fe_c)_{\text{زمینه}}}$$

در این رابطه H_s و H_c به ترتیب غلظت فلز سنگین در نمونه رسوب و مقدار زمینه این عنصر است و Fe_s و Fe_c غلظت آهن در نمونه و مقدار زمینه ای آهن هستند. در این محاسبه میانگین غلظت عناصر سنگین در پوسته قاره ای به عنوان غلظت زمینه در نظر گرفته شده است (۴۱). میانگین فاکتور غنی شدگی عناصر مورد بررسی به ترتیب میزان به صورت $Cr > Ni > Cd > Zn > Mn > Pb > Co > Cu$ است (جدول ۴).

بر اساس این فاکتور عناصر کروم و مس به ترتیب دارای

وضعیت آلاینده‌گی فلزات سنگین ارائه شده است. در این روش‌ها غلظت این فلزات سنگین با میزان طبیعی (زمینه) این عناصر مقایسه می‌شود. در این پژوهش برای بررسی آلاینده‌گی و توزیع فلزات سنگین از فاکتور غنی شدگی (EF)، شاخص انباشت آلودگی (PLI) و شاخص زمین انباشتگی (Igeo) استفاده شده است.

فاکتور غنی شدگی (EF)

برای تعیین فاکتور غنی شدگی از رابطه زیر استفاده می‌شود (۴):

جدول ۴. غنی‌شدگی فلزات سنگین در رسوبات گلی مورد مطالعه

Cu	Co	Pb	Mn	Zn	Cd	Ni	Cr	نام نمونه
۰/۴۶	۰/۷۲	۰/۹۳	۱/۱۶	۱/۲۰	۰/۶۸	۲/۱۰	۱/۸۸	S ₁
۱/۸۳	۰/۷۳	۱/۰۵	۱/۰۴	۱/۲۱	۳/۱۸	۲/۱۳	۲/۱۵	S ₆
۰/۳۶	۰/۶۸	۱/۰۳	۱/۰۸	۱/۰۶	۰/۸۹	۱/۹۵	۲/۰۰	S ₈₋₁
۰/۳۷	۰/۶۹	۱/۲۹	۱/۲۳	۱/۱۲	۱/۰۴	۱/۸۶	۱/۹۲	S ₉
۱/۹۵	۰/۶۶	۰/۹۶	۱/۰۴	۱/۲۲	۲/۶۷	۲/۲۴	۲/۰۲	S ₁₁
۱/۸۵	۰/۶۸	۱/۱۵	۱/۰۱	۱/۱۵	۳/۴۰	۲/۱۳	۲/۳۹	S ₁₂
۰/۴۶	۰/۷۴	۰/۳۱	۰/۷۶	۱/۲۴	۰/۸۱	۳/۲۲	۲/۷۵	S ₁₃
۰/۳۳	۰/۶۵	۰/۸۰	۱/۰۱	۰/۹۷	۰/۷۶	۲/۰۷	۲/۳۲	S ₁₅
۰/۴۴	۰/۷۵	۰/۶۵	۰/۶۸	۱/۲۶	۰/۷۸	۳/۶۲	۳/۰۱	S ₁₇
۰/۳۵	۰/۷۲	۰/۷۶	۱/۱۰	۱/۰۱	۰/۸۸	۲/۱۷	۲/۲۸	S ₁₈
۰/۱۷	۰/۵۴	۰/۴۹	۰/۹۰	۰/۷۵	۱/۵۹	۱/۱۴	۲/۲۸	S ₁₉
۰/۳۰	۰/۶۶	۱/۰۸	۱/۰۱	۰/۹۸	۰/۸۱	۱/۹۲	۲/۰۵	S ₂₁
۰/۳۷	۰/۶۸	۱/۰۲	۰/۹۵	۱/۱۰	۰/۸۴	۲/۰۵	۱/۹۶	S ₂₅
۰/۳۶	۰/۷۴	۱/۱۹	۱/۱۴	۱/۰۹	۲/۰۸	۲/۱۲	۲/۰۵	S ₂₈
۰/۵۷	۰/۶۷	۲/۰۳	۱/۰۲	۱/۲۷	۰/۷۸	۱/۵۷	۱/۵۱	DS ₇
۰/۶۸	۰/۶۹	۰/۹۸	۱/۰۱	۱/۱۱	۱/۴۱	۲/۱۵	۲/۱۷	میانگین
۰/۶۳	۰/۰۵	۰/۴۱	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۹۵	۰/۵۹	۰/۳۷	انحراف معیار

جدول ۵. طبقه‌بندی آلودگی رسوبات بر مبنای فاکتور غنی‌شدگی (۴)

EF>40	20<EF<40	5<EF<20	2<EF<5	EF<2	فاکتور غنی‌شدگی (EF)
غنی‌شدگی فوق‌العاده زیاد	غنی‌شدگی بسیار زیاد	غنی‌شدگی زیاد	غنی‌شدگی متوسط	غنی‌شدگی کم	غنی‌شدگی

استفاده شده است. این شاخص از روابط زیر به دست می‌آید (۳۴):

$$PLI = (Cf_1 \times Cf_2 \times Cf_3 \times \dots \times Cf_n)^{1/n}$$

$$Cf_{\text{metals}} = CH_{\text{metal}} / CH_{\text{Background}}$$

n تعداد فلزات مورد آنالیز و Cf نسبت غلظت هر فلز در نمونه (CH_{metal}) به غلظت زمینه‌ای آن عنصر (CH_{Back}) است (۳۴). در این رابطه نیز میانگین غلظت فلزات سنگین در پوسته قاره‌ای به‌عنوان غلظت زمینه عناصر استفاده شده است (۴۱). مزیت این

بیشترین و کمترین غنی‌شدگی در رسوبات مورد مطالعه هستند. همچنین براساس تقسیم‌بندی فاکتور غنی‌شدگی (جدول ۵) عناصر Ni و Cr دارای غنی‌شدگی متوسط و Cu، Co، Pb، Mn، Zn، Cd دارای غنی‌شدگی کم هستند.

شاخص انباشت آلودگی (PLI)

برای بررسی ارزیابی کیفیت زیست‌محیطی و آلودگی رسوبات به فلزات سنگین از شاخص انباشت آلودگی نیز

جدول ۶. شاخص انباشت آلودگی (PLI) در رسوبات گلی مورد بررسی

نام نمونه	S ₁	S ₆	S ₁₁	S ₁₂
PLI شاخص انباشت آلودگی	۰/۵۰	۰/۷۷	۰/۶۶	۰/۷۶
نام نمونه	S ₁₃	S ₁₅	S ₁₇	S ₁₈
PLI شاخص انباشت آلودگی	۰/۵۶	۰/۵۶	۰/۷۳	۰/۵۲
نام نمونه	S ₁₉	S ₂₁	S ₂₅	S ₂₈
PLI شاخص انباشت آلودگی	۰/۴۲	۰/۵۳	۰/۵۴	۰/۵۱

جدول ۷. طبقه‌بندی آلودگی رسوبات بر اساس شاخص انباشت آلودگی (PLI) (۶)

شاخص انباشت آلودگی (PLI)	< ۱	> ۱
آلودگی رسوب	غیرآلوده	آلوده

مقدار به صورت Cr>Ni>Cd>Zn>Fe>Mn>Pb>Co>Cu است. کروم و مس به ترتیب دارای بیشترین و کمترین مقدار Igeo هستند.

با توجه به طبقه‌بندی آلودگی بر اساس شاخص زمین‌انباشتگی (Igeo) (جدول ۹)، اکثر نمونه‌ها نسبت به عناصر مورد بررسی غیرآلوده هستند. تنها عناصر کادمیوم، کروم، نیکل در تعدادی از نمونه‌ها آلودگی کمی نشان می‌دهند. احتمالاً افزایش آلودگی کادمیوم به دلیل تأثیر پرورش میگو و وجود کارخانه سیمان و افزایش آلایندگی کروم و نیکل می‌تواند به دلیل تأثیر فعالیت کارخانه سیمان پدید آمده باشد.

نتیجه‌گیری

دلتای مهران که یکی از دلتاهای بزرگ خلیج فارس محسوب می‌شود، عمدتاً توسط رسوبگذاری رودخانه فصلی مهران ایجاد شده است. ترتیب فراوانی غلظت عناصر بالقوه سمی مورد بررسی در رسوبات گلی دلتا به صورت منگنز، کروم، نیکل، روی، مس، کبالت، سرب و کادمیوم است. وجود کربنات کلسیم زیاد (به صورت آواری) در رسوبات از عوامل مؤثر بر میزان فراوانی عناصر منگنز، کادمیوم و سرب است. رس و مواد آلی

شاخص نسبت به دیگر اندیس‌ها دخالت دادن همه عناصر در فرمول و ارائه یک شاخص نسبی برای آلودگی هر نمونه رسوب است. برای محاسبه PLI در نمونه رسوبات گلی مورد مطالعه از غلظت فلزات Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn در فرمول استفاده شده است. میانگین مقادیر شاخص PLI نمونه‌ها ۰/۵۹ و انحراف معیار ۰/۱۱ است. بیشترین مقدار PLI مربوط به ایستگاه S₆ و کمترین مقدار مربوط به ایستگاه S₁₉ است (جدول ۶). بر اساس طبقه‌بندی درجه آلودگی (جدول ۷) و شاخص انباشت آلودگی (PLI) (جدول ۶) تمام نمونه‌های مورد بررسی در محدوده غیرآلوده قرار می‌گیرند.

شاخص زمین‌انباشتگی (Igeo)

شاخص زمین‌انباشتگی به صورت زیر محاسبه می‌شود (۳۲):

$$I_{geo} = \log_2 (C_n / 1.5B_n)$$

C_n غلظت اندازه‌گیری شده فلز سنگین در رسوب و B_n غلظت زمینه‌ای همان عنصر است. مقادیر میانگین غلظت فلزات سنگین در پوسته قاره‌ای به عنوان غلظت زمینه‌ای این عناصر در رابطه استفاده شده است (۴۱). این شاخص برای هر یک از عناصر نمونه‌برداری شده در هر ایستگاه به طور جداگانه محاسبه شده است (جدول ۸). همان‌طور که جدول ۸ نشان می‌دهد میانگین شاخص انباشتگی عناصر در رسوبات مورد مطالعه به ترتیب

جدول ۸. شاخص زمین انباشتگی (Igeo) رسوبات گلی مورد بررسی

نام نمونه	Zn	Pb	Mn	Cr	Co	Cu	Cd	Ni	Fe
S1	-۱/۴۳	-۱/۷۹	-۱/۴۸	-۰/۷۸	-۲/۱۶	-۲/۸۱	-۲/۲۵	-۰/۶۲	-۱/۶۹
S6	-۱/۱۷	-۱/۳۸	-۱/۴۰	-۰/۳۵	-۱/۹۰	-۰/۵۸	۰/۲۲	-۰/۳۶	-۱/۴۵
S8-1	-۱/۵۰	-۱/۵۵	-۱/۴۸	-۰/۵۹	-۲/۱۵	-۳/۰۶	-۱/۷۵	-۰/۶۳	-۱/۵۹
S9	-۱/۶۴	-۱/۴۳	-۱/۵۱	-۰/۸۶	-۲/۳۳	-۳/۲۵	-۱/۷۵	-۰/۹۱	-۱/۸۰
S11	-۱/۳۶	-۱/۷۰	-۱/۵۸	-۰/۶۳	-۲/۲۴	-۰/۶۸	-۰/۲۲	-۰/۴۸	-۱/۶۴
S12	-۱/۳۰	-۱/۳۰	-۱/۴۸	-۰/۲۴	-۲/۰۶	-۰/۶۱	۰/۲۷	-۰/۴۱	-۱/۵۰
S13	-۱/۱۴	-۳/۱۶	-۱/۸۵	۰/۰۱	-۱/۸۹	-۲/۵۸	-۱/۷۵	۰/۲۴	-۱/۴۵
S15	-۱/۴۱	-۱/۶۸	-۱/۳۵	-۰/۱۵	-۱/۹۸	-۲/۹۷	-۱/۷۵	-۰/۳۲	-۱/۳۶
S17	-۰/۹۸	-۱/۹۳	-۱/۸۷	۰/۲۹	-۱/۷۱	-۲/۴۸	-۱/۶۶	۰/۵۵	-۱/۳۰
S18	-۱/۵۰	-۱/۹۲	-۱/۳۸	-۰/۳۳	-۱/۹۹	-۳/۰۲	-۱/۷۱	-۰/۴۰	-۱/۵۲
S19	-۱/۶۷	-۲/۲۹	-۱/۴۱	-۰/۰۶	-۲/۱۴	-۳/۸۳	-۰/۵۸	-۱/۰۷	-۱/۲۵
S21	-۱/۴۹	-۱/۳۵	-۱/۴۵	-۰/۴۲	-۲/۰۶	-۳/۱۹	-۱/۷۵	-۰/۵۲	-۱/۴۶
S25	-۱/۳۷	-۱/۴۷	-۱/۵۸	-۰/۵۳	-۲/۰۷	-۲/۹۴	-۱/۷۵	-۰/۴۷	-۱/۵۰
S28	-۱/۵۱	-۱/۳۹	-۱/۴۵	-۰/۶۱	-۲/۰۷	-۳/۱۲	-۰/۵۸	-۰/۵۶	-۱/۶۴
DS7	-۱/۰۶	-۰/۳۸	-۱/۳۷	-۰/۸۰	-۱/۹۸	-۲/۲۲	-۱/۷۵	-۰/۷۵	-۱/۴۰
میانگین	-۱/۳۷	-۱/۶۵	-۱/۵۱	-۰/۴۰	-۲/۰۵	-۲/۴۹	-۱/۲۵	-۰/۴۵	-۱/۵۰
انحراف معیار	۰/۲۰	۰/۵۹	۰/۱۶	۰/۳۳	۰/۱۵	۱/۰۳	۰/۸۳	۰/۴۰	۰/۱۵

جدول ۹. طبقه‌بندی آلودگی رسوبات بر اساس شاخص زمین انباشتگی (۶)

شاخص زمین انباشتگی (Igeo)	< ۰	۱-۰	۲-۱	۳-۲	۴-۳	۵-۴	> ۵
آلودگی رسوب	غیر آلوده	غیر آلوده تا کمی آلوده	کمی آلوده	کمی آلوده تا خیلی آلوده	خیلی آلوده	خیلی آلوده تا شدیداً آلوده	شدیداً آلوده

آلوده قرار ندارند. عناصر مورد بررسی در اکثر نمونه‌ها بر اساس شاخص زمین‌انباشتگی (Igeo) غیر آلاینده بوده و فقط تعدادی نمونه‌ها به عناصر کادمیوم، کروم، نیکل در آلودگی کمی نشان می‌دهند. احتمالاً افزایش آلودگی کادمیوم به دلیل تأثیر پرورش میگو و وجود کارخانه سیمان و افزایش آلاینده‌گی کروم و نیکل تنها به دلیل وجود کارخانه سیمان در منطقه مورد مطالعه اتفاق افتاده است. لذا پرورش میگو و صنعت به اندازه محدودی توانسته‌اند کیفیت رسوب را تحت تأثیر قرار دهند. بنابراین بر

در فراوانی غلظت عناصر روی و مس نقش به‌صورت جذب سطحی داشته‌اند و هیدرواکسید آهن نیز به‌صورت جذبی در میزان غلظت عناصر کبالت، کروم و نیکل تأثیرگذار بوده است. ترتیب میانگین غنی‌شدگی عناصر در رسوبات مورد مطالعه بر اساس شاخص غنی‌شدگی (EF) از زیاد به کم به‌صورت کروم، نیکل، کادمیوم، روی، منگنز، سرب، کبالت و مس است. بر اساس شاخص انباشت آلودگی (PLI) هیچکدام از عناصر در رسوبات دلتا اعم از رسوبات درون و خارج از مانگرو در رده

جلوگیری از کلونی‌سازی دوباره مانگرو به‌صورت طبیعی می‌شود. ولی پرورش میگو در دلتای مهران منجر به افزایش اسیدیته نشده است، زیرا حدود ۵۰ درصد از رسوبات دلتا را رسوبات کربناته که به‌صورت یک عامل کنترل‌کننده اسیدیته عمل می‌کند تشکیل داده‌اند. در انتها پیشنهاد می‌شود که تمرکز فلزات سنگین در رسوبات بالادست دلتای مهران که مشرف به گنبد‌های نمکی است برای تعیین منشأ طبیعی (زمین‌زاد) این عناصر تعیین، بررسی و مقایسه شود.

سپاسگزاری

از حمایت مالی معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه اصفهان قدردانی می‌شود.

اساس شاخص‌های آلایندگی مورد بررسی و توزیع غلظت فلزات در رسوبات دلتا در حال حاضر آلودگی عناصر بالقوه سمی متأثر از هیچ‌یک از عوامل طبیعی و انسان‌زاد محیط زیست مانگرو و دلتای مهران را تهدید نمی‌کند. مقایسه مقادیر متوسط فلزات سنگین مورد بررسی در رسوبات دلتای مهران با میانگین میزان این عناصر در سایر رویشگاه‌های ساحلی مانگرو کشور نیز مؤید این نتیجه است. میزان این عناصر در این منطقه از دیگر مناطق کمتر بوده و با رویشگاه‌های بکرتر و به دور از مناطق صنعتی و شهری مشابهت نشان می‌دهد. پرورش میگو در بخش بالایی دلتا می‌تواند اثرات بلندمدت بر روی بستر مانگرو (بخش بین جزر و مدی دلتا) داشته باشد، زیرا رسوبات در چنین مناطقی معمولاً اسیدی‌تر می‌شوند و این روند باعث

منابع مورد استفاده

1. Aghanbati, A. S. 2013. Geology of Iran and Neighboring Countries. Rahi Publication.
2. Alloway, B. J. 2013. Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and Their Bioavailability. Springer, Netherlands.
3. Bakshi, M., S. S. Ram, S. Ghosh, A. Chakraborty, M. Sudarshan and P. Chaudhuri. 2017. Micro-spatial variation of elemental distribution in estuarine sediment and their accumulation in mangroves of Indian Sundarban. *Environmental Monitoring and Assessment* 189(5): 221.
4. Barbieri, M. 2016. The importance of enrichment factor (EF) and geoaccumulation index (Igeo) to evaluate the soil contamination. *Journal of Geology and Geophysics* 5(237): 1-4.
5. Bodin, N., R. N'Gom-Kâ, S. Kâ, O. T. Thiaw, L. T. De Morais, F. Le Loc'h, E. Rozuel-Chartier, D. Auger and J. F. Chiffolleau. 2013. Assessment of trace metal contamination in mangrove ecosystems from Senegal, West Africa. *Chemosphere* 90(2): 150-157.
6. Bourliva, A., N. Kantiranis, L. Papadopoulou, E. Aidona, C. Christophoridis, P. Kollias and K. Fytianos. 2018. Seasonal and spatial variations of magnetic susceptibility and potentially toxic elements (PTEs) in road dusts of Thessaloniki city, Greece: A one-year monitoring period. *Science of the Total Environment* 639: 417-427.
7. Bracken, L. 2008. Environmental sedimentology-edited by Chris Perry and Kevin Taylor. *Geographical Journal* 174(2): 190-190.
8. Cheraghi, M., A. Safahieh, K. Ghanemi and A. Doraghi. 2013. A Study on the heavy metals accumulation in sediment, leaf and root of Avicennia Marina in Khuzestan province. *Journal of Marine Sciences and Technology* 11(4): 47-56.
9. Cheraghi, M., A. Safahieh, A. Dadollahi Sohrab, K. Ghanemi and A. M. I. Doragh. 2014. Concentration of heavy metals in Avicennia marina and sediments in Dayyer port. *Wetland Ecobiology* 5(4): 45-55
10. Cheraghi, M., A. Safahieh, A. Dadollahi Sohrab, K. Ghanemi and A. Doraghi. 2015. The Survey of Avicennia marina as biomonitor for heavy metals in the Mahshahr estuary. *Environmental Sciences* 13(1) : 33-42.
11. Climate, Retrieved, January, 2020. www.Climate-Data.org.
12. Davari, A., N. Khorasani and A. Danekar. 2013. Comparison of Heavy Metal Concentration in Bidekhun, Basatin and Melgonze Mangrove Forests. *Iranian Journal of Applied Ecology* 1(2): 15-26.
13. Dean, W. E. 1974. Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition; comparison with other methods. *Journal of Sedimentary Petrology* 44(1): 242-248.
14. Dehghani, M. and S. Dast Afkan. 2016. Assessment of heavy metals pollution indices in sediments of Tiyaab and Kolahi International Wetlands. *Journal of Aquatic Ecology* 6(1): 82-92.
15. Dittmar, T., R. J. Lara and G. Kattner. 2001. River or mangrove Tracing major organic matter sources in tropical Brazilian coastal waters. *Marine Chemistry* 73(3-4): 253-271.

16. Einollahipeer, F., S. Khammar and A. Sabaghzadeh. 2013. A Study on heavy metal concentration in sediment and mangrove (*Avicenia marina*) tissues in Qeshm Island, Persian Gulf. *Journal of Novel Applied Sciences* 10: 498-504.
17. Efimenko, N., J. Espangenberg, J. Schneider, M. Chiaradia, T. Adatte, V. Matera and K. B. Follmi. 2010. High Cd Concentrations in Bajocian carbonates in the Swiss Jura Mountains: Evidences for hydrothermal input. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 74(12) Suppl. 1: A260.
18. Fernández-Cadena, J. C., S. Andrade, C. L. Silva-Coello and R. De la Igle-sia. 2014. Heavy metal concentration in mangrove surface sediments from the north-west coast of South America. *Marine Pollution Bulletin* 82(1): 221-226.
19. Gao, X. and C. T. A. Chen. 2012. Heavy metal pollution status in surface sediments of the coastal Bohai Bay. *Water Research* 46(6): 1901-1911.
20. Ghasemi, S., S. Siavash Moghaddam, A. Rahimi, C. Damalas and A. Naji. 2018. Ecological risk assessment of coastal ecosystems: The case of mangrove forests in Hormozgan Province, Iran. *Chemosphere* 191: 417-426.
21. Ghosh, S., M. Bakshi, S. Bhattacharyya, B. Nath and P. Chaudhuri. 2015. A review of threats and vulnerabilities to mangrove habitats: with special emphasis on east coast of India. *Journal of Earth Science and Climate Change* 6(4): 270.
22. Hamilton, S. E. and D. Casey. 2016. Creation of a high spatio-temporal resolution global database of continuous mangrove forest cover for the 21st century (CGMFC-21). *Global Ecology and Biogeography* 25: 729-738.
23. Humphries, M. S., A. Kindness, W. N. Ellery and J. C. Hughes. 2010. Sediment geochemistry, mineral precipitation and clay neoformation on the Mkuze River floodplain, South Africa. *Geoderma* 157(1-2): 15-26.
24. Jiang, Q., J. He, G. Ye and G. Christakos. 2018. Heavy metal contamination assessment of surface sediments of the East Zhejiang coastal area during 2012-2015. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 163: 444-455.
25. Kulkarni, R., D. Deobagkar and S. Zinjarde. 2018. Metals in mangrove Ecosystems and associated biota: a global perspective. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 153: 215-228.
26. Lee, S. Y., J. H. Primavera, F. Dahdouh-Guebas, K. McKee, J. O. Bosire, S. Cannicci, K. Diele, F. Fromard, N. Koedam, C. Marchand and I. Mendelssohn. 2014. Ecological role and services of tropical mangrove ecosystems: a reassessment. *Global Ecology and Biogeography* 23(7): 726-743.
27. Li, R., M. Chai and G. Y. Qiu. 2016. Distribution, fraction, and ecological assessment of heavy metals in sediment—plant system in Man-grove Forest, South China Sea. *PLOS ONE* 11(1): e0147308.
28. Lindholm, C. R. 1987. A practical approach to sedimentology. Allen and Unwin, London.
29. McBride. M. B. 1989. Reactions Controlling Heavy Metal Solubility in Soils. In: B. A. Stewart (Eds), *Advances in Soil Science*, vol 10, Springer, New York.
30. Micó, C., L. Recatala, M. Peris and J. Sanches. 2008. Discrimination of lithogenic and anthropogenic metals in calcareous agricultural soils. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal* 17: 467-485
31. Miola, B., J. O. de Moraes and L. de Souza Pinheiro. 2016. Trace metal concentrations in tropical mangrove sediments: NE Brazil. *Marine Pollution Bulletin* 102(1): 206-209.
32. Muller, G. 1969. Index of Geo-Accumulation in Sediments of the Rhine River. *Geo Journal* 2: 108-118.
33. National Geography Organization of Iran, 2004. Geography of Hormozgan Province, Publications of the National Geography Organization of Iran, Tehran.
34. Neyestani, M. R., K. D. Bastami, M. Esmaeilzadeh, F. Shemirani, A. Khazaali, N. Molamohyeddin, M. Afkham, S. Nourbakhsh, M. Dehghani, S. Aghaei and M. Firouzbakht. 2016. Geochemical speciation and ecological risk assessment of selected metals in the surface sediments of the northern Persian Gulf. *Marine Pollution Bulletin* 109(1): 603-611.
35. Nowrouzi, M. and A. Pourkhabbaz. 2014. Application of geoaccumulation index and enrichment factor for assessing metal contamination in the sediments of Hara Biosphere Reserve, Iran. *Chemical Speciation & Bioavailability* 26(2) 99-105.
36. Refaey, Y., B. Jansen, J. R. Parsons, P. de Voogt, S. Bagnis, A. Markus and K. Kalbitz. 2017. Effects of clay minerals, hydroxides, and timing of dissolved organic matter addition on the competitive sorption of copper, nickel, and zinc: A column experiment. *Journal of Environmental Management* 187: 273-285.
37. Robinson, P. 1980. Determination of calcium, magnesium, manganese, strontium, sodium and iron in the carbonate fraction of limestones and dolomites. *Chemical Geology* 28: 135-146.
38. Romañach, S. S., D. L. Deangelis, H. L. Koh, Y. H. Li, Y. T. Su, R. S. R. Barizan and L. Zhai. 2018. Conservation and restoration of mangroves: Global status, perspectives, and prognosis. *Ocean & Coastal Management* 154: 72-82.
39. Salimzadeh, M. 1986. *Marine and River Currents*, Negarestan Publications, Tehran.
40. Sundaramanickam, A., N. Shanmugam, S. Cholan, S. Kumaresan, P. Madeswaran and T. Balasubramanian. 2016. Spatial variability of heavy metals in estuarine, mangrove and coastal ecosystems along Parangipettai, Southeast coast of India. *Environmental Pollution* 218: 186-195.
41. Taylor, S. R. 1964. Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 28(8): 1273-1285.

42. Udechukwu, B. E., A. Ismail, S. Z. Zulkifli and H. Omar. 2015. Distribution, mobility, and pollution assessment of Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, and Fe in intertidal surface sediments of Sg. Puloh mangrove estuary, Malaysia. *Environmental Science and Pollution Research* 22(6): 4242-4255.
43. Wartel, M., M. Skiker, Y. Auger, A. Boughriet, E. Puskaric and P. Guegueniat. 1991. Seasonal variation of Mn^{2+} adsorption on to calcareous surfaces in the English Channel, and its implication on the manganese distribution coefficient. *Marine Chemistry* 36(1-4): 85-105.
44. Zarezadeh, R., P. Rezaee and H. Masihi. 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, 16-19 February.
45. Zarezadeh, R. and P. Rezaee. 2016. Study on accumulation of heavy metals in Mangrove sediments, Gabrik Creek (Jask). *Journal of Natural Environment* 69 (1): 61-78.
46. Zhang, C., S. Nie, J. Liang, G. Zeng, H. Wu, S. Hua, J. Liu, Y. Yuan, H. Xiao, L. Deng and H. Xiang. 2016. Effects of heavy metals and soil physicochemical properties on wetland soil microbial biomass and bacterial community structure. *Science of the Total Environment* 557: 785-790.

Assessing Heavy Metals Pollution of the Mangrove Sediments along Tidal Flat of the Mehran River Delta, Persian Gulf

M. Pasandi^{1*}, H. R. Pakzad¹, A. M. Halvaie Lengeh¹ and M. R. Taherizadeh²

(Received: July 26-2021; Accepted: April 24-2022)

Abstract

The relationship between the concentration of heavy metals and physicochemical factors was studied in the fine-grained sediments of the tidal section of the Mehran delta where mangrove trees have grown. Surface sediments of the tidal zone of the Mehran delta were sampled. The grain size distribution, calcium carbonate, organic matter contents, pH/Eh, and heavy metals concentration were determined in the mud fraction of the sediments. The presence of high calcium carbonate in sediments is an effective factor in the abundance of Mn, Cd, and Pb. Clay and organic matter as adsorptive have contributed to the high concentration of Zn, Cu, while Fe oxy-hydroxides have affected the concentration of Co, Cr, and Ni. According to the index of Enrichment Factor (EF), the average enrichment of the elements in the studied sediments from high to low order is Cr, Ni, Cd, Zn, Mn, Pb, Co, and Cu. According to the Pollution Load Index (PLI), none of the delta sediments including sediments from inside and outside of the mangrove forest are classified as polluted to the heavy metals. According to the Igeo Index, most samples, and only Cd, Cr, and Ni show slight pollution in some samples. Accordingly, there is no current threat of contamination of potentially toxic elements of natural and anthropogenic origins to the mangrove environment and Mehran delta.

Keywords: Pollution, Heavy metals, Mud sediments, The Mehran river delta, Mangrove

1. Department of Geology, University of Isfahan, Isfahan, Iran.

2. Department of Environment, Faculty of Marine Science and Technology, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.

*: Corresponding author, Email: m.pasandi@sci.ui.ac.ir