(DOI): 10.22034/AEJ.2020.130833

مقاله پژوهشی

ارزیابی آلودگی فلزات سنگین روی، نیکل، کروم، سرب، کادمیوم، مس و آهن در آب، رسوبات سطحی و جلبک‌های سواحل شمالی دریای مکران در فصل تابستان ۱۳۹۹

- **الهام شهری**: گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
- **محمدحسین صیادی***: گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
: گروه محیط زیست، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران
- **الهام یوسفی**: گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

تاریخ دریافت: تیر ۱۳۹۹ تاریخ پذیرش: مهر ۱۳۹۹

چکیده

این تحقیق با هدف ارزیابی غلظت فلزات سنگین در آب، رسوبات سطحی و جلبک‌های ۱۲ ایستگاه در سواحل دریای مکران با ۳ تکرار در فصل تابستان ۱۳۹۹ انجام شد. فلزات سنگین به کمک دستگاه جذب اتمی ConterAA700 سنجش شدند. میانگین فلزات سنگین روی، نیکل، کروم، سرب، کادمیوم، مس و آهن در آب به‌ترتیب ۰/۱۳۵، ۰/۰۶۱، ۰/۱۱۸، ۰/۰۱۸، ۰/۰۱۸، ۰/۰۳۶ و ۰/۱۲۳ میلی‌گرم در لیتر و در رسوبات ۳۶/۸۹۳، ۲۵/۹۵۲، ۴۳/۸۱۵، ۲۱/۵۸۸، ۰/۱۸۴، ۳۲/۵۲۵ و ۲۴/۰۶۹ میلی‌گرم در کیلوگرم به‌دست آمد. نتایج نشان بین فلزات سنگین روی، نیکل، سرب، کروم، مس، کادمیوم و آهن در آب، رسوبات و جلبک‌ها همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت (P<۰/۰۱)، اما درمورد فلز ارتباط بین فلزات روی ـ کادمیوم (r=۰/۳۶۴) و آهن ـ کادمیوم (r=۰/۲۸۰) همبستگی ضعیف بود (P>۰/۰۱). غلظت فلزات روی، کروم، نیکل، مس، آهن، سرب و کادمیوم در رسوبات سطحی بالاتر از آب و جلبک‌های مورد مطالعه بود. براساس آنالیز خوشه‌ای فلزات سنگین مورد مطالعه در آب، رسوبات و جلبک‌ها به دو گروه عمده تقسیم‌بندی شدند. گروه اول شامل نیکل، آهن، روی، مس، سرب و کروم هستند و در گروه دوم فلز کادمیوم بود. گروه متفاوت خوشه‌ای نشان‌دهنده تفاوت در رفتار ژئوشیمیایی و منشا مختلف فلزات هستند. بنابراین فلزاتی که در یک گروه هستند دارای منشاء یکسان و طبیعی می‌باشند. ارزیابی ریسک سلامت نشان داد که برخی فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه می‌توانند سبب مشکلات بهداشتی و بیماری‌زایی در انسان شود. فاکتور انتقال فلزات سنگین به‌وسیله آب در جلبک‌ها برای فلز کروم، نیکل، سرب، کادمیوم، مس، روی و آهن بالاتر از ۱ به‌دست آمد، اما فاکتور انتقال فلزات سنگین به‌وسیله رسوبات برای همه فلزات کم‌تر از ۱ بود و در برخی موارد در دامنه ۲/۵-۱ محاسبه شد.

کلمات کلیدی: جلبک، دریای مکران، رسوبات، فلزات سنگین

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول: mh_sayadi@birjand.ac.ir

(DOI): 10.22034/AEJ.2020.130833

مقدمه

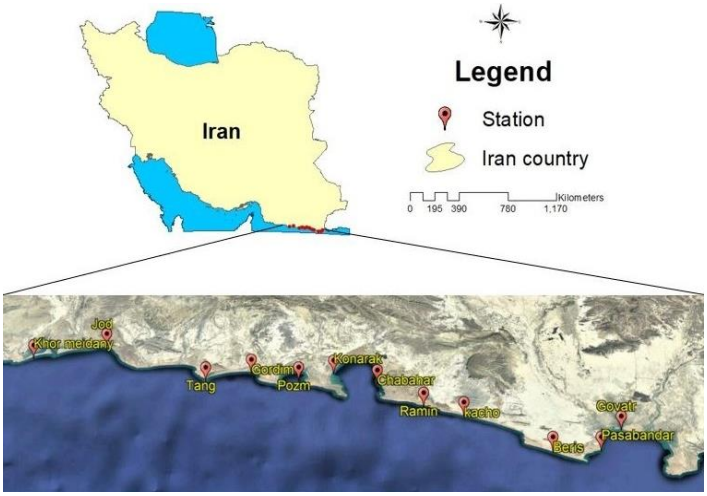
پیشرفت فناوری و توسعه صنایع مختلف و کشاورزی موجب شده تا میزان زیادی از پساب‌های صنعتی و شهری با ترکیب‌های شیمیایی مختلف به‌ویژه فلزات سنگین وارد اکوسیستم‌های آبی شوند. فلزات‌سنگین از مهم‌ترین آلاینده‌های محیط‌زیست‌هستندکه از طریق مناطق و نواحی ساحلی و رودخانه‌ها وارد دریا شده و بین جانداران در سطح‌های مختلف زنجیره غذایی منتقل می‌شوند (سینکاکریمی و همکاران، ۱۳۹۹؛Pirsaheb و همکاران،۲۰۱۹).فلزات‌سنگین‌هم‌چنین به‌طور طبیعی در پوسته زمین وجود دارند و با توجه به این‌که غلظت آن‌ها پایین است، اما به‌طورکلی توسط هوازدگی و فرسایش، از پوسته زمین جدا شده و وارد اکوسیستم‌های آبی می‌شوند (Kharkan و همکاران، ۲۰۱۹). آلودگی فلزات سنگین به‌دلیل فعالیت‌های صنعتی و توسعه فناوری منشا می‌شوند. این ترکیبات سمی به‌علت سمیت، غیرقابل تجزیه بودن و انباشت زیستی، تهدیدهای جدی برای محیط زیست و بهداشت محیط و سلامت جامعه ایجاد کرده‌اند. سطح جهانی آلودگی محیطی به فلزات در ۱۵۰ سال گذشته بیش از ۴۰۰۰ برابر شده است. زمانی که فلزات سنگین در حالت عنصری یا مواد آلی فلزی درمی‌آیند، می‌توانند تاثیرات قابل توجه‌ای بر سلامت جوامع انسانی داشته باشند. تماس با فلزات سنگین می‌تواند سبب اختلالات عصبی، پیری سلولی، نارسایی کبدی، کلیوی و سرطان‌زایی شود (Sayadi و همکاران، ۲۰۱۷). به‌دلیل ویژگی انباشت‌زیستی این عنصرها و دخالت درعملکرد فیزیولوژیک اندام‌های مختلف موجودات آبزی، پژوهش‌های زیادی درمورد میزان جذب و تجمع فلزات سنگین در آبزیان صورت گرفته است (میرزایی و همکاران، ۱۳۹۹؛ Sayadi و همکاران، ۲۰۲۰). در سال‌های اخیر استفاده از جلبک، به‌عنوان شاخص زیستی برای پایش و کنترل عامل‌های آلاینده نیز مورد توجه زیادی قرار گرفته است (Rajfur و همکاران، ۲۰۱۰). جلبک‌های دریایی ارگانیسم‌هایی مانندگیاه هستندکه به‌طور معمول روی محل‌های ثابت‌وسخت مناطق ساحلی زیست می‌کنند. معمولاً جلبک‌های قرمز و قهوه‌ای در دریاها یافت می‌شوند، درحالی‌که جلبک‌های سبز در آب‌های شیرین نظیر رودخانه‌ها و دریاچه‌ها و حتی در صخره‌ها، دیواره‌ها و پوست درختان در مناطق مرطوب نیز دیده می‌شوند. آن‌ها انواع مختلفی از چرخه زندگی و اندازه را دارند. اندازه جلبک‌ها از گونه‌های میکروسکوپی گرفته تا تپه‌های غول پیکر که طول آن‌ها حدود ۶۰ متر است. به‌دلیل در دسترس بودن و فراوانی آن‌ها در اکوسیستم دریایی، جلبک‌های دریایی به منابع بسیار خوبی از ترکیبات فعال زیستی مانند فیبر رژیم غذایی، اسیدهای چرب امگا-۳، کاروتنوییدها،ویتامین‌ها و مواد معدنی تبدیل می‌شوند (Veluchamy و Palaniswamy، ۲۰۲۰). سلول‌های آن‌ها دارای ویژگی‌های منحصربه فردی هستند که در بین گیاهان عالی‌یافت نشده‌اند. رنگدانه‌های فتوسنتزی آن‌ها نیز متفاوت از گیاهان هستند. جلبک‌ها طیف گسترده‌ای از خواص درمانی را دارند. آن‌ها تولیدکننده اکسیژن و هم‌چنین پایه غذایی برای زندگی آبزیان هستند که تقریباً از نظر اقتصادی منبع اصلی بسیاری از محصولات دارویی و صنعتی برای انسان هستند. پتانسیل فعال زیستی جلبک‌های دریایی مختلف در تحقیقات و مطالعات مختلف نیز بررسی شده است (Li و همکاران، ۲۰۱۱؛ Lordan و همکاران، ۲۰۱۱؛ Wijesinghe و Jeon، ۲۰۱۲؛ Vo و Kim، ۲۰۱۳). چهار گروه اصلی جلبک‌هاشامل جلبک‌های سبز، جلبک‌های قهوه‌ای، جلبک‌های قرمز و جلبک‌های سبز-آبی هستند (Veluchamy و Palaniswamy، ۲۰۲۰). اهمیت بررسی غلظت فلزات سنگین در جلبک‌ها به‌دلیل توانایی انباشت فلزات سنگین در این موجودات آبزی می‌باشد (Trifan و همکاران، ۲۰۱۵). مطالعه روی جلبک‌ها علاوه بر این که بر پایش زیستی حائز اهمیت هستند به‌علت خاصیت و توانایی بالای انباشت زیستی انواع فلزات می‌توانند به‌عنوان یک فناوری پالایش گیاهی برای تصفیه و باز چرخش کیفیت آب مورد توجه قرار گیرد (Wong و همکاران، ۲۰۰۱؛ Ghaleno و همکاران، ۲۰۱۵). جلبک‌ها به‌دلیل قرارگرفتن‌در ابتدای زنجیره غذایی، پراکنش گسترده، جذب میزان بالایی از فلزات و اندازه‌گیری آسان و راحت فلزات در آن‌ها، به‌عنوان شاخص زیستی استفاده می‌شوند (Rajfur و همکاران، ۲۰۱۰). این ویژگی‌ها سبب شده که پایش آلودگی فلزات سنگین با استفاده از گونه‌های مختلف جلبکی توسط پژوهشگران مختلف در نقاط مختلف دنیا و ایران صورت گیرد (Chakraborty و همکاران، ۲۰۱۴). این تحقیق با هدف تعیین ارتباط بین غلظت فلزات سنگین در جلبک‌های مورد مطالعه و محیط آن‌ها (آب و رسوبات سطحی) به‌منظور امکان استفاده از جلبک‌ها به‌عنوان شاخص کنترل زیستی آلاینده‌ها انجام شد.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری آب، رسوبات و جلبک‌ها از سواحل دریای مکران ۱۲ ایستگاه(جدول ۱)(ایستگاه ۱ بندرگواتر، ایستگاه ۲ پسابندر، ایستگاه ۳ بریس، ایستگاه ۴ کچو، ایستگاه ۵ رمین، ایستگاه ۶ بندرچابهار، ایستگاه ۷ کنارک،ایستگاه ۸ پزم،ایستگاه ۹ گوردیم،ایستگاه ۱۰ تنگ، ایستگاه ۱۱ جود و ایستگاه ۱۲ خورمیدانی) با ۳ تکرار در فصل تابستان ۱۳۹۹ انجام شد(شکل ۱). علت انتخاب ایستگاه‌های مورد مطالعه تنوع‌زیستی گروه‌های مختلف جلبک‌های قرمز، سبز و قهوه‌ای در این‌سواحل بود. هم‌چنین وجود منابع آلاینده متعدد نظیر کارخانه‌های صنایع فلزی و کشتی‌سازی، مجتمع‌های بزرگ آبزی پروری میگو و ماهی و تردد و حمل نقل دریایی و کشتی‌های بزرگ و کوچک از دیگر عوامل انتخاب ۱۲ ایستگاه بوده است. برای شناسایی هر یک از گونه‌های

(DOI): 10.22034/AEJ.2020.130833

جلبکی از کلیدهای شناسایی معتبر و خصوصیات ریخت‌شناسی آن‌ها از قبیل رنگ، اندازه، شکل پایه‌ها و پهنک استفاده شد (Sohrabipour و Rabii، ۱۹۹۹). در برخی ایستگاه‌ها، جلبک‌های مورد مطالعه وجود نداشتند.نمونه‌های جلبک به‌مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند تا خشک شدند. سپس نمونه‌ها به‌وسیله آون چینی کوبیده و آسیاب شدند تا بهتر بتوانند در اسید حل شوند. برای هضم ۱ گرم از نمونه در ارلن مایر قرار داده شد. سپس برای هضم شیمیایی نمونه‌ها از اسیدنیتریک ۶۵ درصد و اسیدپرکلریک ۷۰ درصد به نسبت ۵ به ۱/۵ استفاده شد. نمونه‌ها روی حمام شن با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و حرارت دادن تا زمانی که رنگ نمونه شفاف شد ادامه پیدا کرد پس از هضم نمونه‌ها در هوای محیط قرار گرفتند تا سرد شدند. سپس نمونه‌ها با آب دو بار تقطیر به حجم ۵۰ سی‌سی رسیدند و با استفاده از کاغذ صافی، صاف شدند (Method۷۰۰۰، ۱۹۸۳).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری در سواحل دریای مکران

جدول ۱: مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری در سواحل دریای مکران

شماره	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	گواتر	۶۱° ۳۴' ۱۰/۶۵" E	۲۵° ۱۰' ۳۸/۲۴" N
۲	پسابندر	۶۱° ۲۸' ۵۲/۸۱" E	۲۵° ۵' ۵۵/۹۲" N
۳	بریس	۶۱° ۱۷' ۲۳/۵۲" E	۲۵° ۵' ۴۴/۷۴" N
۴	کچو	۶۰° ۵۶' ۳۳/۶۶" E	۲۵° ۱۳' ۱۴/۷۷" N
۵	رمین	۶۰° ۴۶' ۵۴/۵۹" E	۲۵° ۱۵' ۱۶/۳۲" N
۶	چابهار	۶۰° ۳۵' ۴۰/۳۸" E	۲۵° ۲۰' ۲۲/۱۸" N
۷	کنارک	۶۰° ۲۴' ۵۶/۰۰" E	۲۵° ۲۲' ۳۰/۴۵" N
۸	پزم	۶۰° ۱۶' ۲۵/۱۴" E	۲۵° ۲۰' ۴۳/۹۲" N
۹	گوردیم	۶۰° ۴۴' ۲/۶۴" E	۲۵° ۲۲' ۲۳/۱۹" N
۱۰	تنگ	۵۹° ۵۳' ۳۹/۲۰" E	۲۵° ۲۰' ۲۱/۴۵" N
۱۱	جود	۵۹° ۲۸' ۶/۳۹" E	۲۵° ۲۸' ۳/۹۶" N
۱۲	میدانی	۵۹° ۱۰' ۱۴/۵۶" E	۲۵° ۲۵' ۱/۱۶" N

نمونه‌های آب با استفاده از بطری‌های پلی استر استریل شده جمع‌آوری شدند. برای هضم نمونه‌های آب، حجم ۱۵ میلی‌لیتر از نمونه آب داخل یک بشر ریخته شد. سپس ۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ به آن اضافه شد و نمونه‌ها بر روی هیتر با درجه حرارت ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۵-۴ ساعت قرار گرفتند تا تبخیر شدند، حجم نمونه‌ها به ۵-۲ میلی‌لیتر رسید و یک محلول غلیظ از نمونه‌ها به‌دست آمد. سپس نمونه‌ها را از روی هیتر برداشته و در دمای محیط سرد شدند. پس از سرد شدن، نمونه‌ها با استفاده از آب مقطر به حجم ۱۰ میلی‌لیتر رسانده و با کاغذ ۰/۴۵میکرومتر صاف شدند (Standard Method، ۲۰۱۲). یک گرم از رسوبات الک شده را در ارلن ریخته، سپس ۱۶ سی‌سی اسید (ترکیب ۴ سی‌سی اسیدنیتریک ۶۵ درصد و ۱۲ سی‌سی اسیدکلریدریک ۳۷ درصد) به ارلن اضافه شد. ارلن‌ها به مدت ۶ تا ۷ ساعت بر روی حمام شن با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد تا هضم اسیدی صورت گیرد. پس از آن به هریک از ارلن‌ها ۴ سی‌سی اسیدپرکلریک ۷۲-۷۰ درصد اضافه‌شد. بعداز تبخیر نمونه‌ها از روی حمام شن برداشته و با آب مقطر به حجم ۵۰ سی‌سی رسانده شد و با استفاده از قیف پلاستیکی و کاغذ صافی، نمونه‌ها صاف گردید(Allen و همکاران، ۱۹۸۶).فلزات سنگین نمونه‌های آب، رسوبات و جلبک‌ها به‌کمک دستگاه جذب اتمی ConterAA700سنجش شدند. برای بررسی ریسک سلامت جلبک‌ها باید ابتدا دوز قرارگرفتن در معرض برای هر فلز سنگین از رابطه ۱ محاسبه شد. در این رابطه غلظت فلز سنگین در جلبک بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم در وزن خشک، میزان مصرف روزانه جلبک ۵/۲ گرم براساس گزارش FAO در کشور چین (Chen و همکاران، ۲۰۱۸) و وزن بدن ۸۶/۴ کیلوگرم برای مردان، ۶۹/۳ کیلوگرم برای زنان (Roleda و همکاران، ۲۰۱۹) و برای کودکان ۱۴/۵ کیلوگرم محاسبه شد. سپس برای هر فلز شاخص خطر (THQ) از رابطه ۲ تعیین شد. در این رابطه دوز قرار گرفتن در معرض که از رابطه ۱ به‌دست آمد و RfDi مقدار مرجع پیشنهادی برای فلزات است که توسط مرکز ملی ارزیابی محیط‌زیست ایالات متحده آمریکا (EPA) ارائه شده است (USA EPA، ۲۰۰۷).

رابطه (۱): = دوز قرار گرفتن در معرض

وزن بدن /میزان مصرف روزانه جلبک×غلظت فلز سنگین در جلبک

رابطه (۲): شاخص خطر= دوز قرار گرفتن در معرض/ دوز مرجع

فاکتور انتقال (TF) فلزات سنگین به‌عنوان نسبت غلظت عنصر معین در یک ارگانیسم و غلظت آن در آب دریا یا رسوبات تعریف شده است که از رابطه ۳ محاسبه شد. در این رابطه غلظت فلز در ارگانیسم زنده، غلظت فلز در آب و غلظت فلز در رسوبات برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم است (Rashed، ۲۰۰۱):

رابطه (۳): = فاکتور انتقال

غلظت فلز در ارگانیسم زنده/غلظت فلز در آب یا رسوبات

(DOI): 10.22034/AEJ.2020.130833

چنان‌چه فاکتور انتقال فلزات بالاتر از ۱ به‌دست آید، انباشت زیستی فلزات سنگین در جلبک‌ها تایید می‌شود و نشان‌دهنده این است که جلبک توانایی انباشت فلز مورد نظر را دارد (Vrhovnik و همکاران، ۲۰۱۳). تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۳ انجام شد. آزمون کولموگراف اسمیرنوف برای نرمال بودن‌داده به‌کاربرده شد.از آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه (ANOVA-oneway) برای تعیین اختلاف معنی‌دار بین ایستگاه‌ها استفاده گردید. برای بررسی ارتباط داده‌های فلزات‌سنگین در آب، رسوبات و جلبک‌ها از همبستگی Pearson و برای منشایابی فلزات از تجزیه و تحلیل خوشه‌ای استفاده شد.

نتایج

تجزیه‌و تحلیل داده‌های فلزات سنگین نشان داد که غلظت فلزات روی، کروم، نیکل، مس، آهن، سرب و کادمیوم در رسوبات سطحی بالاتر از آب و جلبک‌های مورد مطالعه بود. الگوی انباشت فلزات سنگین مورد مطالعه در آب، رسوبات و جلبک‌ها به‌ترتیب به‌صورت زیر به‌دست آمد: روی>آهن>کروم>نیکل>مس>سرب=کادمیوم، کروم>روی>آهن>نیکل>مس>سرب>کادمیوم‌و

روی>آهن>کروم>نیکل>مس>سرب>کادمیوم.

مقادیر چولگی و کشیدگی فلزات‌سنگین در آب، رسوبات سطحی و جلبک‌ها در جدول ۲ نشان داده شده است. میانگین فلزات سنگین روی، نیکل،کروم، سرب، کادمیوم، مس و آهن در آب به‌ترتیب ۰/۱۳۵، ۰/۰۶۱، ۰/۱۱۸، ۰/۰۱۸، ۰/۰۱۸، ۰/۰۳۶ و ۰/۱۲۳ میلی‌گرم در کیلوگرم و در رسوبات ۳۶/۸۹۳، ۲۵/۹۵۲، ۴۳/۸۱۵، ۲۱/۵۸۸، ۰/۱۸۴، ۳۲/۵۲۵ و ۲۴/۰۶۹ میلی‌گرم‌در کیلوگرم به‌دست آمد. ارزیابی ریسک سلامت فلزات سنگین در گونه‌های جلبکی مورد مطالعه نشان داد شاخص خطر فلز کادمیوم در همه جلبک‌ها برای مردان، زنان و کودکان کم‌تر از ۱ بود. شاخص خطر فلز سرب برای جلبک‌های *Cystoseira indica*، *Gracilaria corticata* و پایین‌تر از ۱ به‌دست آمد، درحالی‌که در جلبک *Sargassum glaucescens* برای کودکان، *Sargassum oligocystum* برای زنان و کودکان و در جلبک *Nizamudiinia zanardinii* در همه گروه‌های مصرف‌کننده شاخص خطر فلز سرب بالاتر از ۱ بود. شاخص خطر فلز نیکل در همه گونه‌های جلبک مورد مطالعه برای تمامی گروه‌های مصرف‌کنندگان بالاتر از ۱ به‌دست آمد. شاخص خطر فلز کروم در همه جلبک‌ها برای مردان و زنان کم‌تراز ۱ به‌دست آمد، فقط در جلبک *Nizamudiinia zanardinii* شاخص‌خطر این‌فلز برای همه گروه سنی مصرف‌کننده بالاتر از ۱ بود. هم‌چنین شاخص خطر فلز کروم در جلبک *Sargassum oligocystum* برای مصرف کودکان بالاتر از ۱ به‌دست آمد (جدول ۳). بالاترین میانگین کروم، سرب و کادمیوم در جلبک *Nizamudiinia zanardinii* به‌ترتیب ۴۶/۶۶۱، ۲۱/۷۸۳ و ۰/۲۴۴ میلی‌گرم در کیلوگرم و بالاترین غلظت آهن، روی، مس و نیکل در جلبک *Cystoseira indica* به‌ترتیب ۷۸/۱۸۹، ۸۵/۴۳۹، ۳۰/۶۱۲ و ۲۹/۱۰۶ میلی‌گرم‌در کیلوگرم به‌دست آمد. فاکتور انتقال فلزات سنگین به‌وسیله آب در جلبک‌ها برای فلز کروم، نیکل، سرب، کادمیوم، مس، روی و آهن بالاتر از ۱ به‌دست آمد، اما فاکتور انتقال فلزات سنگین به‌وسیله رسوبات برای همه فلزات کم‌تر از ۱ بود و در برخی موارد در دامنه ۲/۵-۱ محاسبه شد. میانگین فاکتور انتقال فلزات آب برای فلز کروم، نیکل، سرب، کادمیوم، مس، روی و آهن ۱۱۸/۳۹۸، ۱۷۳/۵۷۳، ۳۱۳/۱۶۶، ۶/۶۱۱، ۳۷۴/۹۴۴ ۲۱۰/۷۳۳ و ۲۱۰/۴۱۴ و میانگین فاکتور انتقال فلزات رسوبات برای فلزات‌به‌ترتیب ۰/۳۱۸، ۴۰۷، ۰/۲۶۱،۰/۶۴۶، ۰/۵۶۰، ۰/۷۷۱و ۰/۷۹۵ بود.بالاترین‌مقادیر فاکتور انتقال فلزات سنگین آب و رسوبات به‌ترتیب در جلبک *Nizamudiinia zanardinii*برای‌فلز سرب‌و جلبک *Cystoseira indica* برای‌فلز آهن به‌دست آمد. الگوی فاکتور انتقال فلزات آب برای جلبک‌های‌مورد‌مطالعه‌مس>سرب>روی>آهن>نیکل>کروم >کادمیوم و الگوی‌فاکتور‌انتقال‌فلزات‌رسوبات‌آهن>روی>کادمیوم>مس>نیکل > کروم>سرب‌بود(جدول ۴). با توجه به جدول ۵ میانگین مربعات و مجموع مربعات اختلاف معنی‌داری در غلظت فلزات سنگین در آب، رسوبات و جلبک‌های مورد مطالعه سواحل دریای مکران مشاهده شد ($P<0/05$). به‌منظور بررسی ارتباط میان فلزات‌سنگین‌در آب، رسوبات و جلبک‌ها از همبستگی Pearson استفاده شد. نتایج نشان بین فلزات سنگین‌روی، نیکل، سرب، کروم، مس، کادمیوم و آهن در آب، رسوبات و جلبک‌ها همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت ($P<0/01$)، اما درمورد‌فلز ارتباط‌بین‌فلزات روی-کادمیوم ($r=0/364$) و آهن-کادمیوم ($r=0/280$) همبستگی ضعیف بود ($P>0/01$) (جدول ۶). براساس آنالیز خوشه‌ای فلزات سنگین مورد مطالعه در آب، رسوبات و جلبک‌ها به دو گروه عمده تقسیم‌بندی شدند.گروه اول شامل نیکل، آهن، روی، مس، سرب و کروم هستند و در گروه دوم فلزکادمیوم بود. گروه متفاوت خوشه‌ای نشان‌دهنده تفاوت در رفتار ژئوشیمیایی و منشا مختلف فلزات هستند. بنابراین فلزاتی که در یک گروه هستند دارای منشاء یکسان و طبیعی می‌باشند (شکل ۲).

(DOI): 10.22034/AEJ.2020.130833

جدول ۲: آمار توصیفی فلزات سنگین در آب، رسوبات و جلبک‌های سواحل دریای مکران در تابستان ۱۳۹۹

نمونه‌ها	فلزات سنگین	کمینه	بیشینه	میانگین	خطای استاندارد	انحراف معیار	واریانس	چولگی	کشیدگی
آب	روی	۰/۰۸۰	۰/۱۹۷	۰/۱۳۵	۰/۰۰۹	۰/۰۳۴	۰/۰۰۱	۰/۳۵۴	-۰/۶۲۱
	نیکل	۰/۰۲۹	۰/۱۶۸	۰/۰۶۱	۰/۰۱۰	۰/۰۳۶	۰/۰۰۱	۰/۵۹۹	۰/۷۴۲
	کروم	۰/۰۵۵	۰/۲۵۰	۰/۱۱۸	۰/۰۱۸	۰/۰۶۲	۰/۰۰۴	۱/۱۷۴	۰/۲۱۶
	مس	۰/۰۲۴	۰/۰۵۲	۰/۰۳۶	۰/۰۰۲	۰/۰۰۸	۰	-۰/۱۳۸	۰/۱۰۹
	آهن	۰/۰۷۰	۰/۱۶۹	۰/۱۲۳	۰/۰۰۸	۰/۰۲۹	۰/۰۰۱	-۰/۰۹۳	-۰/۶۲۰
	سرب	۰/۰۰۹	۰/۰۴۴	۰/۰۱۸	۰/۰۰۳	۰/۰۱۱	۰	۱/۳۲۴	۰/۸۱۹
	کادمیوم	۰/۰۰۹	۰/۰۲۹	۰/۰۱۸	۰/۰۰۳	۰/۰۰۷	۰	۰/۱۳۲	۱/۵۶۶
رسوبات	روی	۳۰/۴۹۷	۴۸/۰۷۱	۳۶/۸۹۳	۱/۸۰۶	۶/۲۵۸	۳۹/۱۶۴	۰/۹۵۸	-۰/۴۵۳
	نیکل	۲۲/۸۹۰	۲۹/۳۸۳	۲۵/۹۵۲	۰/۵۷۴	۱/۸۹۶	۳/۵۹۶	۰/۰۹۲	-۰/۳۴۲
	کروم	۲۴/۸۶۵	۶۵/۱۱۵	۴۳/۸۱۵	۳/۵۷۲	۱۲/۳۷۴	۱۵۳/۱۲۵	۰/۴۷۱	-۰/۵۴۱
	مس	۱۷/۷۰۹	۲۷/۰۳۴	۲۴/۰۶۹	۰/۸۰۶	۲/۷۹۳	۷/۸۰۳	-۱/۱۴۸	۱/۰۶۱
	آهن	۲۸/۵۴۹	۳۸/۴۳۵	۳۲/۵۲۵	۱/۰۶۴	۳/۶۸۷	۱۳/۵۹۸	۰/۶۹۱	-۱/۰۲۷
	سرب	۱۲/۷۰۷	۲۸/۸۹۰	۲۱/۵۸۸	۱/۵۸۲	۵/۴۸۲	۳۰/۰۶۳	-۰/۴۲۲	-۱/۲۸۲
	کادمیوم	۰/۰۱۵	۰/۳۳۲	۰/۱۸۴	۰/۰۲۵	۰/۰۸۹	۰/۰۰۸	-۰/۲۶۲	-/۱۹۰
جلبک‌ها	روی	۰/۰۸۰	۹۱/۰۳۸	۲۳/۶۸۲	۳/۴۲۳	۲۴/۲۱۱	۵۸۶/۱۸۲	۱/۲۶۱	۱/۳۰۸
	نیکل	۰/۰۲۹	۳۵/۸۳۷	۱۲/۴۸۰	۱/۷۷۶	۱۲/۵۶۱	۱۵۷/۷۸۹	۰/۲۸۳	-۱/۷۹۵
	کروم	۰/۰۵۵	۶۵/۱۱۵	۱۹/۸۲۰	۳/۲۲۲	۲۱/۸۵۴	۴۷۷/۶۳۹	۰/۷۵۸	-۰/۹۳۳
	مس	۰/۰۲۴	۳۲/۷۶۳	۱۱/۹۷۸	۱/۶۸۱	۱۱/۸۸۷	۱۴۱/۳۱۸	۰/۳۰۰	-۱/۶۹۰
	آهن	۰/۰۷۰	۸۹/۵۳۴	۲۱/۱۲۶	۳/۰۹۲	۲۱/۸۶۹	۴۷۸/۲۷۸	۱/۳۹۳	۱/۹۶۹
	سرب	۰/۰۰۹	۲۸/۸۹۰	۹/۵۳۵	۱/۶۳۱	۱۰/۸۲۳	۱۱۷/۱۵۵	۰/۵۸۰	-۱/۴۰۸
	کادمیوم	۰/۰۰۳	۰/۳۳۲	۰/۱۲۶	۰/۰۱۸	۰/۰۹۷	۰/۰۰۹	۰/۴۷۸	-۰/۹۰۲

جدول ۳: ارزیابی ریسک سلامت فلزات سنگین (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در جلبک‌های سواحل دریای مکران در تابستان ۱۳۹۹

فلزات سنگین	گونه جلبک	میانگین (ppm)	مردان		زنان		کودکان	
			دوز در معرض	شاخص خطر	دوز در معرض	شاخص خطر	دوز در معرض	شاخص خطر
کروم	*Nizamudiinia zanardinii*	۴۶/۶۶۱	۲/۸۰۸	۱/۴۰۴	۳/۵۰۱	۱/۷۵۰	۱۶/۷۳۳	۸/۳۶۶
	Sargassum glaucescens	۳/۵۹۴	۰/۲۱۶	۰/۱۰۸	۰/۲۶۹	۰/۱۳۴	۱/۲۸۸	۰/۶۴۴
	Sargassum oligocystum	۱۰/۹۴۰	۰/۶۵۸	۰/۳۲۹	۰/۸۲۰	۰/۴۱۰	۳/۹۲۳	۱/۹۶۱
	Ulva fasciata	۴/۶۰۶	۰/۲۷۷	۰/۱۳۸	۱/۷۹۷	۰/۸۹۸	۱/۶۵۱	۰/۸۲۵
	Gracilaria corticata	۴/۰۵۰	۰/۲۴۳	۰/۱۲۱	۰/۳۰۳	۰/۱۵۱	۱/۴۵۲	۰/۷۲۶
	Cystoseira indica	غیرقابل سنجش	–	–	–	–	–	–
نیکل	*Nizamudiinia zanardinii*	۲۴/۸۰۶	۱/۴۹۲	۴۲۶/۵۵۸	۱/۸۶۱	۵۳۱/۸۱۲	۸/۸۹۵	۲۵۴۱/۶۹۸
	Sargassum glaucescens	۱/۱۷۷	۰/۰۷۰	۲۰/۲۳۹	۰/۰۸۸	۲۵/۲۳۳	۰/۴۲۲	۱۲۰/۵۹۹
	Sargassum oligocystum	۵/۶۶۰	۰/۳۴۰	۹۷/۳۲۸	۰/۴۲۴	۱۲۱/۳۴۴	۲/۰۲۹	۵۷۹/۹۶۰
	Ulva fasciata	۱/۸۵۷	۰/۱۱۱	۳۱/۹۳۲	۰/۱۳۹	۳۹/۸۱۱	۰/۶۶۵	۱۹۰/۲۷۳
	Gracilaria corticata	۰/۹۲۳	۰/۰۵۵	۱۵/۸۷۱	۰/۰۶۹	۱۹/۷۸۸	۰/۳۳۱	۹۴/۵۷۳
	Cystoseira indica	۲۹/۱۰۶	۱/۷۵۱	۵۰۰/۵۰۰	۲/۱۸۴	۶۲۴	۱۰/۴۳۸	۲۹۸۲/۲۸۹
سرب	*Nizamudiinia zanardinii*	۲۱/۷۸۳	۱/۳۱۱	۶۵/۵۵۰	۱/۶۳۴	۸۱/۷۲۵	۷/۸۱۱	۳۹۰/۵۹۱
	Sargassum glaucescens	۰/۱۰۱	۰/۰۰۶	۰/۳۰۳	۰/۰۰۷	۰/۳۷۸	۰/۰۳۶	۱/۸۱۱
	Sargassum oligocystum	۵/۰۶۹	۰/۳۰۵	۱۵/۲۵۳	۰/۳۸۰	۱۹/۰۱۷	۱/۸۱۷	۹۰/۸۹۲
	Ulva fasciata	غیرقابل سنجش	–	–	–	–	–	–
	Gracilaria corticata	۰/۰۳۳	۰/۰۰۱	۰/۰۹۹	۰/۰۰۲	۰/۱۲۳	۰/۰۱۱	۰/۵۹۱
	Cystoseira indica	۱/۲۰۱	۰/۰۷۲	۳/۶۱۴	۰/۰۹۰	۴/۵۰۵	۰/۴۳۰	۲۱/۵۳۵
کادمیوم	*Nizamudiinia zanardinii*	۰/۲۴۴	۰/۰۱۴	۰/۰۴۸	۰/۰۱۸	۰/۰۶۱	۰/۰۸۷	۰/۲۹۱
	Sargassum glaucescens	۰/۰۸۵	۰/۰۰۵	۰/۰۱۷	۰/۰۰۶	۰/۰۲۱	۰/۰۳۰	۰/۱۰۱
	Sargassum oligocystum	غیرقابل سنجش	–	–	–	–	–	–
	Ulva fasciata	غیرقابل سنجش	–	–	–	–	–	–
	Gracilaria corticata	۰/۱۰۵	۰/۰۰۶	۰/۰۲۱	۰/۰۰۷	۰/۰۲۶	۰/۰۳۷	۰/۱۲۵
	Cystoseira indica	۰/۰۴۵	۰/۰۰۲	۰/۰۰۹	۰/۰۰۳	۰/۰۱۱	۰/۰۱۶	۰/۰۵۳

(DOI): 10.22034/AEJ.2020.130833

جدول ۴: میانگین غلظت فلزات سنگین در جلبک‌های مورد مطالعه و فاکتور انتقال فلزات سنگین از آب و رسوبات سواحل به جلبک‌ها در سواحل دریای مکران در تابستان ۱۳۹۹

پارامترها	گونه جلبک	کروم	نیکل	سرب	کادمیوم	روی	مس	آهن
غلظت فلزات	*Nizamudiinia zanardinii*	۴۶/۶۶۱	۲۴/۸۰۶	۲۱/۷۸۳	۰/۲۴۴	۳۷/۲۰۲	۲۱/۹۷۱	۳۲/۷۸۴
	Sargassum glaucescens	۳/۵۹۴	۱/۱۷۷	۰/۱۰۱	۰/۰۸۵	۹/۴۹۶	۰/۶۸۴	۷/۷۷۳
	Sargassum oligocystum	۱۰/۹۴۰	۵/۶۶۰	۵/۰۶۹	غ ق س	۱۰/۱۷۱	۴/۹۳۴	۸/۸۳۴
	Ulva fasciata	۴/۶۰۶	۱/۸۵۷	غ ق س	غ ق س	۱۵/۱۶۰	۱۰/۰۵۴	۱۳/۲۴۸
	Gracilaria corticata	۴/۰۵۰	۰/۹۲۳	۰/۰۳۳	۰/۱۰۵	۱۳/۲۳۱	۰/۷۶۰	۱۴/۴۵۹
	Cystoseira indica	غ ق س	۲۹/۱۰۶	۱/۲۰۱	۰/۰۴۵	۸۵/۴۳۹	۳۰/۶۱۲	۷۸/۱۸۹
	میانگین در جلبک‌ها	۱۳/۹۷۰	۱۰/۵۸۸	۵/۶۳۷	۰/۱۱۹	۲۸/۴۴۹	۱۳/۴۹۸	۲۵/۸۸۱
	میانگین در آب	۰/۱۱۸	۰/۰۶۱	۰/۰۱۸	۰/۰۱۸	۰/۱۳۵	۰/۰۳۶	۰/۱۲۳
	میانگین در رسوبات	۴۳/۸۱۵	۲۵/۹۵۲	۲۱/۵۸۸	۰/۱۸۴	۳۶/۸۹۳	۲۴/۰۶۹	۳۲/۵۲۵
فاکتور انتقال آب	*Nizamudiinia zanardinii*	۳۹۵/۴۳۲	۴۰۶/۶۵۵	۱۲۱۰/۱۶۶	۱۳/۵۵۵	۲۷۵/۵۷۰	۶۱۰/۳۰۵	۲۶۶/۵۳۶
	Sargassum glaucescens	۳۰/۴۵۷	۱۹/۲۹۵	۵/۶۱۱	۴/۷۲۲	۷۰/۳۴۰	۱۹	۶۳/۱۹۵
	Sargassum oligocystum	۹۲/۷۱۱	۹۲/۷۸۶	۲۸۱/۶۱۱	–	۷۵/۳۴۰	۱۳۷/۰۵۵	۷۱/۸۲۱
	Ulva fasciata	۳۹/۰۳۳	۳۰/۴۴۲	–	–	۱۱۲/۲۹۶	۲۷۹/۲۷۷	۱۰۷/۷۰۷
	Gracilaria corticata	۳۴/۳۲۲	۱۵/۱۳۱	۱/۸۳۳	۵/۸۳۳	۹۸/۰۰۷	۲۱/۱۱۱	۱۱۷/۵۲۲
	Cystoseira indica	–	۴۷۷/۱۴۷	۶۶/۷۲۲	۲/۵۰۰	۶۳۲/۸۸۱	۸۵۰/۳۳۳	۶۳۵/۶۸۲
	میانگین	۱۱۸/۳۹۸	۱۷۳/۵۷۳	۳۱۳/۱۶۶	۶/۶۱۱	۲۱۰/۷۳۳	۳۷۴/۹۴۴	۲۱۰/۴۱۴
فاکتور انتقال رسوبات	*Nizamudiinia zanardinii*	۱/۰۶۴	۰/۹۵۵	۱/۰۰۹	۱/۳۲۶	۱/۰۰۸	۰/۹۱۲	۱/۰۰۷
	Sargassum glaucescens	۰/۰۸۲	۰/۰۴۵	۰/۰۰۴	۰/۴۶۱	۰/۲۵۷	۰/۰۲۸	۰/۲۳۸
	Sargassum oligocystum	۰/۲۴۹	۰/۲۱۸	۰/۲۳۴	–	۰/۲۷۵	۰/۲۰۴	۰/۲۷۱
	Ulva fasciata	۰/۱۰۵	۰/۰۷۱	–	–	۰/۴۱۰	۰/۴۱۷	۰/۴۰۷
	Gracilaria corticata	۰/۰۹۲	۰/۰۳۵	۰/۰۰۱	۰/۵۷۰	۰/۳۵۸	۰/۰۳۱	۰/۴۴۴
	Cystoseira indica	–	۱/۱۲۱	۰/۰۵۵	۰/۲۴۴	۲/۳۱۵	۱/۲۷۱	۲/۴۰۳
	میانگین	۰/۳۱۸	۰/۴۰۷	۰/۲۶۱	۰/۶۴۶	۰/۷۷۱	۰/۵۶۰	۰/۷۹۵

غ‌ق‌س: مقادیر فلزات سنگین در گونه جلبکی غیرقابل سنجش بود.

جدول ۵: تحلیل واریانس (ANOVA) فلزات سنگین در آب، رسوبات و جلبک‌های سواحل دریای مکران در تابستان ۱۳۹۹

فلزات سنگین	نمونه‌ها	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F Value	*Sig.
روی	بین گروهی	۲۷۷۶۶/۸۸۳	۷	۳۹۶۶/۶۹۸	۱۷۴/۲۶۰	۰
	درون گروهی	۹۵۶/۰۵۰	۴۲	۲۲/۷۶۳		
	مجموع	۲۸۷۲۲/۹۳۳	۴۹			
نیکل	بین گروهی	۷۵۸۴/۶۳۲	۷	۱۰۸۳/۵۱۹	۳۰۹/۵۱۱	۰
	درون گروهی	۱۴۷/۰۳۱	۴۲	۳/۵۰۱		
	مجموع	۷۷۳۱/۶۶۴	۴۹			
کروم	بین گروهی	۱۸۹۰۲/۵۵۷	۶	۳۱۵۰/۴۲۶	۴۷/۴۱۷	۰
	درون گروهی	۲۵۹۱/۱۹۶	۳۹	۶۶/۴۴۱		
	مجموع	۲۱۴۹۳/۷۵۳	۴۵			
مس	بین گروهی	۶۷۷۵/۶۲۴	۷	۹۶۷/۹۴۶	۲۷۲/۹۱۳	۰
	درون گروهی	۱۴۸/۹۶۲	۴۲	۳/۵۴۷		
	مجموع	۶۹۲۴/۵۸۶	۴۹			
آهن	بین گروهی	۲۲۸۸۲/۷۰۱	۷	۳۲۶۸/۹۵۷	۲۴۸/۳۰۷	۰
	درون گروهی	۵۲۲/۹۳۰	۴۲	۱۳/۱۶۵		
	مجموع	۲۳۴۳۵/۶۳۱	۴۹			
سرب	بین گروهی	۵۴۷۲/۳۰۲	۶	۷۶۲/۰۵۰	۶۰/۵۹۱	۰
	درون گروهی	۴۶۵/۳۴۴	۳۷	۱۲/۵۷۷		
	مجموع	۵۰۳۷/۶۴۶	۴۳			
کادمیوم	بین گروهی	۰/۱۴۹	۵	۰/۰۳۰	۳/۳۷۸	۰/۰۱
	درون گروهی	۰/۰۹۸	۲۱	۰/۰۰۵		
	مجموع	۰/۲۴۶	۲۶			

* اختلاف معنی‌دار در سطح ۹۵ تجزیه و تحلیل شده است.

(DOI): 10.22034/AEJ.2020.130833

جدول ۶: همبستگی پیرسون فلزات سنگین بین آب، رسوبات سطحی و جلبک‌های سواحل دریای مکران در تابستان ۱۳۹۹

فلزات سنگین	روی	کروم	نیکل	مس	آهن	سرب	کادمیوم
روی	۱						
کروم	۰/۹۵۰**	۱					
نیکل	۰/۸۶۳**	۰/۹۵۲**	۱				
مس	۰/۸۹۵**	۰/۹۳۰**	۰/۹۷۵**	۱			
آهن	۰/۹۴۴**	۰/۹۴۷**	۰/۸۵۷**	۰/۸۸۸**	۱		
سرب	۰/۵۰۲**	۰/۹۴۳**	۰/۷۸۴**	۰/۷۳۶**	۰/۴۶۸**	۱	
کادمیوم	۰/۳۶۴	۰/۶۷۵**	۰/۵۳۴**	۰/۵۱۱**	۰/۲۸۰	۰/۸۲۹**	۱

** همبستگی در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار بود.

بحث

در این تحقیق انباشت فلزات‌سنگین در آب سواحل‌دریای مکران و جلبک‌های موردمطالعه الگوی بسیار مشابهی داشت، به‌طوری‌که فلز روی و آهن بالاترین مقادیر تجمع را داشتند و کم‌ترین غلظت فلزات مربوط به کادمیوم و سرب بود. آهن و روی جزء فلزات ضروری بدن موجودات زنده هستند که نقش مهم در فعالیت‌های زیستی و حیاتی دارند (Knauer و همکاران، ۱۹۹۷). این مسئله در تحقیقات متعدد بیان شده است که عناصر ضروری در غلظت‌های بالا می‌توانند سمیت ایجاد کنند (Smirnoff، ۱۹۹۵؛ Poskuta و همکاران، ۱۹۹۶؛ Prasad، ۲۰۰۴)، اما باید توجه داشت که فلزاتی نظیر روی و آهن نقش مهمی در ساختار جلبک‌ها دارند (Valko و همکاران، ۲۰۰۵) که می‌تواند تاییدی بر بالا بودن غلظت آن‌ها در جلبک‌های مورد مطالعه باشد. بالا بودن فلز روی در آب‌های ساحلی سواحل دریای مکران می‌تواند به دلیل آلودگی دفع و تخلیه فاضلاب کشتی‌های کانتینری و قایق‌های صیادی، تخلیه مواد سوختی شناورهای کوچک و بزرگ، پساب‌های خانگی،صنعتی و کشاورزی باشد (McCall، ۱۹۸۵؛ Sinaei و Loghmani، ۲۰۱۹). فلز روی ازجمله فلزاتی است که با پساب‌های صنعتی، شهری و کشاورزی با مقادیر بالا وارد اکوسیستم‌های آبی می‌شود (Esmaeili، ۲۰۱۵). منابع اصلی آلودگی روی در محیط‌زیست شامل کودها، لجن فاضلاب و فعالیت‌های معدن می‌باشد (Bradi، ۲۰۰۵). منابع ایجاد کننده آلودگی‌های دریایی سواحل دریای عمان شامل منطقه صنعتی چابهار، اسکله‌ها، مناطق تکثیر و پرورش آبزیان، مناطق شهری، محل دفن زباله‌های شهری و آب‌شیرین‌کن‌ها می‌باشند. از میان منابع اشاره شده، وجود آلودگی‌های نفتی قابل توجه در اسکله‌ها و محل تجمع لنج‌ها از بروز یک‌حادثه‌زیست‌محیطی مخرب خبر می‌دهد که متاسفانه در حال افزایش می‌باشد. چابهار دارای مناطق صنعتی شامل پسابندر، بریس، نگور، رمین، شهرک صنعتی چابهار، ناحیه کارگاهی و دهکده صنعتی منطقه آزاد است. ازجمله موارد دیگری که در آلودگی دریا و سواحل آن تاثیرگذار می‌باشد، کارگاه‌های تکثیر و پرورش آبزیان است که از چند طریق اثرات‌خود را اعمال می‌کنند، از طریق معرفی گونه‌های جدید غیربومی به منطقه و از طریق کودها و داروهایی که به استخرها داده می‌شوند(شهری و همکاران، ۱۳۹۶؛ شهری و ولایت‌زاده، ۱۳۹۷). فلز کادمیوم به‌وسیله پساب کشاورزی حاصل از کودهای فسفاته و صنایع لاستیک، پلاستیک، رنگ، لحیم‌کاری، پوشش‌کاری و آبکاری فلزات وارد آب دریاها می‌شود (Vymazal، ۱۹۹۵)، اما درمورد پایین بودن‌غلظت‌کادمیوم در آب،رسوبات و جلبک‌هامی‌توان‌چنین استنباط کرد‌که با توجه به این‌که غلظت‌کادمیوم در رسوبات‌دریایی در محدوده ۰/۱ تا ۰/۶ میکروگرم بر گرم‌وزن‌خشک می‌باشد(Benkdadو همکاران، ۲۰۱۱)، بنابراین غلظت پایین این فلز در رسوبات و جلبک‌ها توجیه می‌گردد. در این تحقیق در رسوبات سواحل دریای مکران غلظت فلز کروم بالاتر از سایر فلزات مورد مطالعه به‌دست آمد. منشا اصلی فلز کروم به‌طور عمده از آتش‌سوزی‌ها، فرآیندهای احتراق موتورها و پساب صنایع منشا می‌شود و می تواند وارد اکوسیستم‌های آبی شده و در رسوبات تجمع کند (Komorowski و همکاران، ۲۰۰۸؛ Fiola و همکاران، ۲۰۰۸). کروم در سخت شدن فولاد، کرومات به‌عنوان عوامل ضدخوردگی‌رنگ‌ها،جوهرها و پلاستیک‌ها‌کاربرد دارد و اسیدکرومیک بر روی قطعات فلزی آبکاری می‌شود تا یک پوشش تزئینی یا محافظ را فراهم کند (Wang و Shen، ۱۹۹۵). براساس آنالیز خوشه‌ای فلزات سنگین مورد مطالعه در آب، رسوبات و جلبک‌ها به دو گروه عمده تقسیم‌بندی شدند. گروه اول شامل نیکل، آهن، روی، مس، سرب و کروم هستند و در گروه دوم فلزکادمیوم بود. گروه متفاوت خوشه‌ای نشان‌دهنده تفاوت در رفتار ژئوشیمیایی و منشا مختلف فلزات هستند. بنابراین فلزاتی که در یک گروه هستند دارای منشاء یکسان و طبیعی می‌باشند. نتایج نشان بین فلزات سنگین روی، نیکل، سرب، کروم، مس، کادمیوم و آهن در آب، رسوبات و جلبک‌ها همبستگی مثبت و معنی‌داری‌وجودداشت،اما درمورد فلز ارتباط بین فلزات روی-کادمیوم و آهن-کادمیوم همبستگی‌ضعیف‌بود. بنابراین باتوجه‌به‌آنالیزخوشه‌ای و همبستگی پیرسون فلزات سنگین می‌توان چنین بیان کرد که منشا فلز کادمیوم مستقل است، اما همبستگی بین فلزات سنگین سرب، روی، کروم، نیکل، آهن و مس نشان می‌دهد که تا حدودی منشا آن‌ها مشترک می‌باشند. منشا و پراکنش فلزات سنگین در محیط‌های آبی

(DOI): 10.22034/AEJ.2020.130833

توسط چندین عامل کنترل می‌شود(Ghanbarpour و همکاران، ۲۰۱۴). منشا و منابع ورود فلزات سنگین در اکوسیستم‌های آبی و محیط زیست شامل فرآیندهای طبیعی زمین‌شناختی، بافت زمین‌شناسی و فعالیت‌های انسان‌زاد، منطقه و منابع آلاینده موجود متفاوت است (Turner، ۲۰۱۳؛ Guo و همکاران، ۲۰۱۵). همبستگی بالا بین عناصر نشان می‌دهد که این فلزات احتمالاً از منبع انسانی سرچشمه می گیرند و عدم همبستگی فلز کادمیوم با سایر فلزات سنگین مورد مطالعه و همبستگی متوسط نشان می‌دهد که این فلز احتمالاً منشأ طبیعی دارند. بنابراین می‌توان استنباط کرد که منابع عمده برای فلزات مطالعه شده انسان‌زاد است. از مهم‌ترین منابع آلودگی این ساحل‌ها می‌توان به دفع و تخلیه فاضلاب کشتی‌های کانتینری و قایق‌های صیادی، تخلیه مواد سوختی شناورهای کوچک و بزرگ، پساب‌های خانگی، صنعتی و کشاورزی و هم‌چنین منشا طبیعی برخی از فلزات اشاره کرد (Mahdi Abkenar و همکاران، ۲۰۲۰). فاکتور انتقال فلزات سنگین به‌وسیله آب در جلبک‌ها برای فلز کروم، نیکل، سرب، کادمیوم، مس، روی و آهن بالاتر از ۱ به‌دست آمد، اما فاکتور انتقال فلزات سنگین به‌وسیله رسوبات برای همه فلزات کم‌تر از ۱ بود. میزان انتقال فلزات سنگین مورد مطالعه از آب به جلبک‌ها بالاتر از رسوبات به‌دست آمد که بالا بودن فاکتور انتقال از آب به جلبک‌ها نشان دهنده انباشت زیستی فلزات از آب دریا می‌باشد و غلظت بالای فلزات در خود رسوبات انباشته می‌شود. چنان‌چه مقادیر فاکتور انتقال بالاتر از ۱ باشد، بیانگر این است جلبک‌ها انباشتگر فلزات هستند (Diop و همکاران، ۲۰۱۴). در این تحقیق فاکتور انتقال فلزات سنگین آب نشان داد که جلبک‌های مورد مطالعه توانایی مناسبی برای انباشت فلزات سنگین از آب دریا مکران را دارند. در تحقیقات دیگر گزارش شده است که گونه‌های جلبک جنس *Ulva* sp. می‌توانند مقادیر بالای مس، سرب و کادمیوم را در خود ذخیره کنند (Jitar و همکاران، ۲۰۱۵؛ Diop و همکاران، ۲۰۱۵) که با نتایج این تحقیق هم‌خوانی دارد. بنابراین به دلیل توزیع گسترده، حضور در مناطق آلوده، جذب و انباشت مقادیر بالای فلزات در جلبک‌ها و سهولت اندازه‌گیری فلزات در آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند(Anusha و همکاران، ۲۰۱۷؛ Sinaei و همکاران، ۲۰۱۸). ارزیابی خطر سلامت فلزات سنگین در آبزیان می‌تواند به عنوان راهنمایی برای صدور مشاوره‌های مصرف و محدودیت مصرف مواد ماهی، میگو، خرچنگ و جلبک‌ها به‌کاربرده شود (Li و همکاران، ۲۰۱۲). شاخص خطر پیشنهاد شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده آمریکا، شاخص خطر یکپارچه برای مقایسه مقدار مصرف یک آلاینده با دوز مرجع،استانداردشده است و به‌طور گسترده‌ای در ارزیابی خطر فلزات در موادغذایی آلوده استفاده می‌شود (Yap و همکاران، ۲۰۱۵). در این تحقیق ارزیابی ریسک سلامت فلزات سرب، نیکل و کروم بالاتر از ۱ به‌دست آمد، اما شاخص خطر فلز کادمیوم در همه جلبک‌ها برای مردان، زنان و کودکان کم‌تر از ۱ بود.ارزیابی ریسک سلامت فلزات سنگین کادمیوم و کروم در سه گونه گیاه آبزی *Chara globularis*، *Plantago lanceolata* و *Adiantum capillus-verenis* در شرق ایران نشان داده سه گونه مورد مطالعه درمورد کودکان و گونه *Adiantum capillus-verenis* درمورد بزرگسالان حاکی از خطرات سلامتی غیرسرطان‌زا بالقوه مرتبط با تغذیه از آن‌ها است (Sayadi و همکاران، ۲۰۲۰). مقادیر شاخص خطر فلزات روی، مس، نیکل، کروم، کادمیوم و سرب در پنج گونه جلبک قرمز *Corallma*، *Jania*، *Hypnea*، *Gracilaria* و *Laurencia* در سواحل دریای سرخ در کشور سودان کم‌تر از ۱ گزارش شده است که نشان‌دهنده خطر سرطان‌زایی قابل قبول برای مصرف‌کنندگان است (Ali و همکاران، ۲۰۱۹). تحقیقات در آب‌های دریایی اروپا نیز نشان داده است که نمونه‌های جلبکی دریایی موجود در این مناطق حاوی مقادیر اندکی از فلزات سنگین بودند (Dewailly و همکاران، ۲۰۰۸؛ Roleda و همکاران، ۲۰۱۹)، اما مصرف جلبک‌های دریایی آلوده به سیانوباکتریوم سمی می‌تواند انسان را در معرض خطرات بالاتر از آلودگی فلزات سنگین قرار دهد. این نشان می‌دهد که مواد خام جلبکی باید قبل از مصرف با توجه به گونه، منطقه صید و زمان برداشت به خوبی شستشو شوند (Cheney، ۲۰۱۶؛ Stevant و همکاران، ۲۰۱۸).در مطالعه بر روی سه گونه ماهی سواحل مکران *Thunnus albacores*، *Katsuwonus pelamis* و *Euthynnus affinis* مقادیر THQ فلزات مورد مطالعه در سه گونه ماهی کم‌تر ۱ گزارش شده است که نشان می‌دهد مصرف این ماهیان می‌تواند برای سلامت انسان در سواحل دریای مکران بی‌خطر باشد (Sadeghi و همکاران، ۲۰۲۰) که با نتایج تحقیق حاضر هم‌خوانی دارد. بنابراین با توجه به دستورالعمل‌های سازمان حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده آمریکا درخصوص شاخص خطر و سرطان‌زایی فلزات سنگین (Idris و همکاران، ۲۰۱۵؛ Ali و همکاران، ۲۰۱۹) مصرف جلبک‌های ساحل سواحل دریای مکران می‌تواند سبب مشکلات بهداشتی و بیماری‌زایی در انسان شود.با توجه به تجزیه و تحلیل خوشه‌ای و پیرسون، همبستگی بالا بین عناصر روی، مس، آهن، سرب، نیکل و کروم نشان می‌دهد که این فلزات احتمالاً از منبع انسانی سرچشمه می‌گیرند و عدم همبستگی فلز کادمیوم با سایر فلزات سنگین مورد مطالعه و همبستگی متوسط نشان می‌دهد که این فلز احتمالاً منشأ طبیعی دارند. بنابراین می‌توان استنباط کرد که منابع عمده برای فلزات مطالعه شده انسان‌زاد می‌باشد. در سواحل شمالی دریای مکران در ۱۲ ایستگاه مورد مطالعه صنایع مختلف وجود دارند که پساب آن‌ها می‌تواند سبب افزایش غلظت فلزات در این سواحل شود. تردد کشتی‌ها و لنج‌ها، حمل و نقل دریایی وعبور نفت‌کش‌ها، مجتمع‌های آبزی‌پروری، کارخانه‌های صنایع فلزی،

(DOI): 10.22034/AEJ.2020.130833

معدنی، کشتی‌سازی و کنسروسازی ازجمله صنایع موجود در سواحل این‌دریا هستند.مهم‌ترین‌مسئله‌در زمینه آلودگی‌محیط‌زیست سلامت انسان می‌باشد. ارزیابی‌ریسک بهداشتی فلزات سنگین نیز نشان‌دهنده بالا بودن THQ بود، بنابراین مصرف جلبک‌های سواحل دریای مکران می‌تواند سبب مشکلات بهداشتی و بیماری‌زایی در انسان شود. فلزات سنگین در کوتاه مدت سبب مسمومیت‌های حاد می‌شوند و در دراز مدت می‌توانند باعث بیماری‌های مزمن نظیر سرطان‌ها شوند. با توجه به روند روبه گسترش فعالیت‌های صنعتی در خطوط ساحلی دریای مکران این احتمال‌وجود دارد که مصرف جلبک‌های مورد مطالعه برای انسان خطرناک باشد. فاکتور انتقال فلزات سنگین نیز بیانگر توانایی انباشت فلزات سنگین در جلبک‌های *Nizamudiinia zanardinii*، *Sargassum glaucescens*، *Sargassum oligocystum*، *Ulva fasciata*، *Cystoseira indica* و *Gracilaria corticata* بود. با توجه به این مسئله می‌توان از انواع جلبک‌های سبز، قرمز، قهوه‌ای و انواع دیگر جلبک‌های ساحلی و دریایی موجود در سواحل دریای مکران به عنوان شاخص زیستی آلودگی فلزات سنگین استفاده کرد.

تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از رساله دکتری مصوب در دانشگاه بیرجند می‌باشد. لذا نویسندگان این مقاله از حمایت‌های گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست و دانشگاه بیرجند قدردانی می‌کنند. هم‌چنین پژوهشگران مقاله از مهندس حسین شکری مسئول آزمایشگاه مرکزی آلودگی‌های محیط‌زیست دانشگاه بیرجند که در انجام این تحقیق زحمات زیادی متحمل شدند کمال تشکر را دارند.

منابع

۱. **سینکاکریمی، م.ح.؛ گرجیان‌عربی، م.ح.؛ احمدپور، م. و حسن‌پور، م.، ۱۳۹۹.** بررسی میزان روی و کادمیوم در ماهی آترینا (*Atherina boyeri*) صید شده از تالاب بین‌المللی انزلی. فصلنامه محیط‌زیست جانوری. دوره ۱۲، شماره ۳، صفحات ۱۷۴ تا ۱۶۷.

۲. **شهری، ا.؛ خراسانی، ن.؛ نوری، غ.؛ کردمصطفی پور، ف. و ولایت‌زاده، م.، ۱۳۹۶.** ارزیابی خطر برخی فلزات سنگین در عضله چهار گونه ماهی دریای عمان در فصل بهار. فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط، دوره ۳، شماره ۱، صفحات ۳۰ تا ۳۹.

۳. **شهری، ا. و ولایت‌زاده، م.، ۱۳۹۷.** تجمع نیکل، کادمیوم و سرب در عضله میش ماهی (*Argyrosomus hololepidotus*) و ماهی سوکلا (*Rachycentron canadum*) در دریای عمان (خلیج چابهار). فصلنامه زیست‌شناسی دریا. سال ۱۰، شماره ۳۷، صفحات ۷۷ تا ۸۶.

۴. **میرزایی، م.؛ ولی‌نسب، ت. و حاجی‌سیدمحمد شیرازی، ر.، ۱۳۹۹.** ارزیابی خطر فلزات سنگین سرب، مس و کادمیوم در بافت عضله و پوست بزماهی زرد جامه (*Upeneus sulphureus*) بندر ماهشهر. فصلنامه محیط‌زیست جانوری. دوره ۱۲، شماره ۳، صفحات ۱۳۹ تا ۱۴۴.

5. **Ali, A.Y.A.; Idris, A.M.; Eltayeb, M.A.H.; Adel A.; El Zahhar, A.A. and Ashraf, I.M., 2019.** Bioaccumulation and health risk assessment of toxic metals in red algae in Sudanese Red Sea coast. Toxin Reviews. pp: 1-10.
6. **Allen, S.E.; Grimshaw, H.M. and Rowland, A.P., 1986.** Chemical analysis. In: Moore PD, Chapman SB (eds) Methods in plant ecology. Blackwell Scientific Publication, Oxford, London. pp: 285-344.
7. **Anusha, W.A.; Wickramasinghe1, D.L.; Valentine, K.M. and Blust, R., 2017.** The effects of heavy metal concentration on bio-accumulation, productivity and pigment content of two species of marine macro algae, Sri Lanka. Journal of Aquatic Science. Vol. 22, No. 1, pp: 1-8.
8. **Benkdad, A.; Laissaoui, A.; Tornero, M.V.; Benmansour, M.; Chakir, E.; Garrido, I.M. and Moreno, J.B., 2011.** Trace metals and radio nuclides in macro algae from Moroccan coastal waters. Environmental Monitoring and Assessment. No. 182, pp: 317-324.
9. **Bradi, B.H., 2005.** Heavy metals in the environment. Interface Science and Technology, ed. Hubbard, A., Vol. 6, Elsevier Academie Press: Neubrucke.
10. **Chakrabortv, S.; Bhattacharva, T.; Singh, G. and Maitv, J.P., 2014.** Benthic macro algae as biological indicators of heavy metal pollution in the marine environments: a biomonitoring approach for pollution assessment. Ecotoxicology and environmental safety. Vol. 100, pp: 61-68.
11. **Chen, Q.; Pan, X.D.; Huang, B.F. and Han, J.L., 2018.** Distribution of metals and metalloids in dried seaweeds and health risk to population in southeastern China. Scientific Reports. Vol. 8, p: 3578.
12. **Cheney, D., 2016.** Toxic and harmful seaweeds. In Fleurence, J. and Levine I., (Eds.). Seaweed in health and disease prevention (pp: 407-421). Amsterdam: Elsevier.
13. **Dewailly, E.; Pereg, D.; Knap, A.; Rouja, P.; Galvin, J. and Owen, R., 2008.** Exposure and effects of sea food-borne contaminants in maritime populations. In Walsh, P.J.; Smith, S.L.; Fleming, L.E.; Solo-Gabriele, H.M. and Gerwick, W.H., (Eds.). Oceans and human health, risks and remedies from the seas. pp: 181-197.
14. **Diop, C.; Dewaele, D.; Cazier, F.; Diouf, A. and Ouddane, B., 2015.** Assessment of trace metals contamination level, bioavailability and toxicity in sediments from Dakar coast and Saint Louis estuary in Senegal, West Africa. Chemosphere. Vol. 138, pp: 980-987.
15. **Diop, C.; Dewaele, D.; Diop, M.; Toure, A.; Cabral, M.; Cazier, F.; Fall, M.; Diouf, A. and Ouddane, B., 2014.** Assessment of contamination, distribution and chemical speciation of tracemetals in water column in the Dakar coast and the Saint Louis estuary from Senegal, West Africa. Marine Pollution Bulletin. Vol. 86, pp: 539-546.
16. **Esmaeili, L., 2015.** Bioaccumulation and toxic effect of zinc on the green alga, *Chlorella vulgaris*. Thesis as a requirement for the master in chemistry. University Du Quebec a Montreal 102 p.
17. **Fiola, N.; Escuderoa, C. and Villaescusa, I., 2008.** Chromium sorption and Cr (VI) reduction to Cr(III) by grape stalks and you him be bark. Bioresource Technology. Vol. 99, pp: 5030-5036.
18. **Ghaleno, O.R.; Savadi, M.H. and Rezaei, M.R., 2015.** Potential ecological risk assessment of heavy metals in sediments of water reservoir case study: Chah Nimeh of Sistan. Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences. Vol. 5, No. 4, pp: 89-96.
19. **Ghanbarpour, M.R.; Goorzadi, M. and Vahabzade, G., 2014.** Spatial variability of heavy metals in surficial sediments: Tajan River Watershed, Iran. Sustainability of Water Quality and Ecology. Vol. 2, pp: 48-58.
20. **Guo, W.; Huo, S.; Xi, B.; Zhang, J. and Wu, F., 2015.** Heavy metal contamination in sediments from typical lakes in the 5 geographic regions of China: Distribution, bioavailability & risk. Ecological engineering. Vol. 81, pp: 243-255.

(DOI): 10.22034/AEJ.2020.130833

oxide nanoparticles and iron salts in blackfish (*Capoeta fusca*): Acute toxicity, bioaccumulation, depuration, and tissue histopathology. Chemosphere. Vol. 247, pp: 125900.

41. **Sayadi, M.H.; Rezaei, A. and Sayyed, M.R.G., 2017.** Grain size fraction of heavy metals in soil and their relationship with land use. Proceedings of the International Academy of Ecology and environmental sciences. Vol. 7, No. 1, pp: 1-11.
42. **Sinaei, M. and Loghmani, M., 2019.** Toxicity and Mechanisms of Action of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Pollution in Red Algae (*Gracilaria corticata*) from the Northern Coast of the Oman Sea. Environmental Toxicology and Chemistry. Vol. 38, No. 9, pp: 1947-1953.
43. **Sinaei, M., Loghmani, M. and Bolouki, M., 2018.** Application of biomarkers in brown algae (Cystoseria indica) to assess heavy metals (Cd, Cu, Zn, Pb, Hg, Ni, Cr) pollution in the northern coasts of the Gulf of Oman. Ecotoxicology and Environmental Safety. Vol. 164, pp: 675-680.
44. **Smirnoff, N., 1995.** Environment and plant metabolism: flexibility and acclimation. Oxford: BIOS Scientific.
45. **Sohrabipour, J. and Rabii, R., 1999.** A list of marine algae of seashores of Persian Gulf and Oman Sea in the Hormozgan Province. Iranian Journal of Botany. Vol. 8, pp: 132-162.
46. **Standard methods for the examination of water and waste water. 2012.** Prepared and published jointly by American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. (22nd).
47. **Stevant, P.; Marfaing, H.; Duinker, A.; Fleurence, J.; Rustad, T. and Sandbakken, I., 2018.** Biomass soaking treatments to reduce potentially undesirable compounds in the edible seaweeds sugar kelp (*Saccharina latissima*) and winged kelp (*Alaria esculenta*) and health risk estimation for human consumption. Journal of Applied Phycology. Vol. 30, pp: 2047-2060.
48. **Trifan, A.; Breaban, L.G.; Sava, D.; Bucur, L.; Toma, C.C. and Mirona, A., 2015.** Heavy metal content in macroalgae from Roumanian Black sea. Review Romanian Chemistry. Vol. 60, No. 9, pp: 915-920.
49. **Turner, A., 2013.** Metal contamination of soils, sediments and dusts in the vicinity of marine leisure boat maintenance facilities. Journal of Soils and Sediments. Vol.13, No. 6, pp: 1052-1056.
50. **USEPA. 2007.** Concepts, Methods, and Data Sources for Cumulative Health Risk Assessment of Multiple Chemicals, Exposures and Effects: A Resource Document.US Environmental Protection Agency Washington, DC.
51. **Valko, M.; Morris, H. and Cronin, M.T.D., 2005.** Metals, toxicity and oxidative stress. Current Medicinal Chemistry, Vol. 12, pp: 1161-1208.
52. **Veluchamy, C. and Palaniswamy, R., 2020.** A review on marine algae and its applications. Asian Journal of pharmaceutical & clinical research. Vol. 13, No. 3, pp: 21-27.
53. **Vo, T.S. and Kim, S.K. 2013.** Fucoidans as a natural bioactive ingredient for functional foods. J Funct Foods. Vol. 5, pp: 16-27.
54. **Vrhovnik, P.; Arrebola, J.P.; Serafimovski, T.; Dolenec, T.; Smuc, N.R.; Dolenec, M. and Mutch, E., 2013.** Potentially toxic contamination of sediments, water and two animal species inlake Kalimanci, Fyr Macedonia: relevance to human health. Environment pollution. Vol. 180, pp: 92-100.
55. **Vymazal, J., 1995.** Algae and element cycling in wetlands, C.R.C Press, Boca Raton, USA. 704 p.
56. **Wang, Y.T. and Shen, H., 1995.** Bacterial reduction of hexavalent chromium. Journal of Industrial Microbiology and Biotechnolog. Vol. 14, pp: 159.
57. **Wijesinghe, W.A. and Jeon, Y.J., 2012.** Enzyme-assistant extraction (EAE) of bioactive components: A useful approach for recovery of industrially important metabolites from seaweeds: A review. Fitoterapia. Vol. 83, pp: 6-12.
58. **Wong, C.; Wong, P. and Chu, L., 2001.** Heavy metal concentrations in marine fishes collected from fish culture sites in Hong Kong. Environmental Contamination and Toxicology. Vol. 40, pp: 60-69.
59. **Yap, C.K.; Jusoh, A.; Leong, W.J.; Karami, A. and Ong, G.H., 2015.** Potential human health risk assessment of heavy metals via the consumption of tilapia *Oreochromis mossambicus* collected from contaminated and uncontaminated ponds. Environmental Monitoring and Assessment. Vol. 187, No. 9, pp: 1-16.
21. **Idris, A.M.; Said, T.O.; Omran, A.A. and Fawy, K.F., 2015.** Combining multivariate analysis and human risk indices for assessing heavy metal contents in muscle tissues of commercially fish from Southern Red Sea, Saudi Arabia. Environmental science and pollution research. Vol. 22, No. 21, pp: 17012-17021.
22. **Jitar, O.; Teodosiu, C.; Oros, A.; Plavan, G. and Nicoara, M., 2015.** Bioaccumulation of heavy metals in marine organisms from the Romanian sector of the Black sea. New Biotechnol. Vol. 32, pp: 369-378.
23. **Kharkan, J.; Savadi, M.H. and Rezaei, M.R., 2019.** Investigation of heavy metals accumulation in the soil and pine trees. Environmental health engineering & management Journal. Vol. 6, No. 1, pp: 17-25.
24. **Knaur, K.; Behra, R. and Sigg, L., 1997.** Effects of free Cu and Zn ions on growth and metal accumulation in freshwater. Environmental toxicology & chemistry. Vol. 16, pp:220-229.
25. **Komorowski, J.R.; Greenberg D. and Juturu, V., 2008.** Chromium picolinate does not produce chromosome damage. Toxicology in Vitro. Vol. 22, pp: 819-826.
26. **Li, Y.X.; Wijesekara, I.; Li, Y. and Kim, S.K., 2011.** Phlorotannins as bioactive agents from brown algae. Process Biochemistry. Vol. 46, pp: 2219-2224.
27. **Li, J.; Huang, Z.Y.; Hu, Y. and Yang, H., 2012.** Potential risk assessment of heavy metals by consuming shellfish collected from Xiamen, China. Environmental Science and Pollution Research. Vol. 20, No. 5, pp: 2937-2947.
28. **Lordan, S.; Ross, R.P. and Stanton, C., 2011.** Marine bioactives as functional food ingredients: Potential to reduce the incidence of chronic diseases. Marine Drugs. Vol. 9, pp: 1056-1100.
29. **Mahdi Abkenari, A.; Yahyavi, M.; Bahri, A. and Jafaryan, H., 2020.** Assessment of heavy metals pollution in muscle of sole (*Cynoglossus arel*), spiny lobster (*Panulirus homarus*) and sediments in the northern coasts of the Oman Sea during pre and post monsoon. Iranian Journal of Fisheries Sciences. Vol. 19, No. 4, pp: 1638-1665.
30. **Mc Call, G.J.H., 1985.** Area Report, East Iran Project, Area No.1 (North makran and South Bluchestan). pp: 163-490.
31. **Method 7000. 1983.** U.S. Environment protection Agency, Methods for chemical Analysis of water and waste, EPA. 600.4- 79-0201.
32. **Pirsaheb, M.; Azadi, N.A.; Miglietta, M.L.; Savadi, M.H.; Blahova, J.; Fathi, M. and Mansouri, B., 2019.** Toxicological effects of transition metal-doped titanium dioxide nanoparticles on goldfish (*Carassius auratus*) and common carp (*Cyprinus carpio*). Chemosphere. Vol. 215, pp: 904-915.
33. **Poskuta, J.W.; Parys, E. and Romanowska, E., 1996.** Toxicity of lead to photosynthesis, accumulation of chlorophyll, respiration & growth of *Chlorella pyrenoidosa*. Protective role of dark respiration. Acta Physiological Plant. Vol. 18, pp: 165-171.
34. **Prasad, M.N.V., 2004.** Heavy metal stress in plants: from biomolecules to ecosystems. Berlin: Springer-Verlag.
35. **Rajfur, M.; Klos, A. and Waclawek, M., 2010.** Sorption properties of algae Spirogyra sp. and their use for determination of heavy metal ions concentrations in surface water. Bio electrochemistry. Vol. 80, pp: 81-86.
36. **Rashed, M.N., 2001.** Monitoring of environmental heavy metals in fish from Nasser Lake. Environment International. Vol. 27, pp: 27-33.
37. **Roleda, M.Y.; Marfaingc, H.; Desnicad, N.; Jonsdottird. R.; Skjermoe, J.; Reboursa, C. and Nitschkeg, U., 2019.** Variations in polyphenol and heavy metal contents of wild harvested and cultivated seaweed bulk biomass: Health risk assessment and implication for food applications. Food Control. Vol. 95, pp: 121-134.
38. **Sadeghi, P.; Loghmani, M. and Frokhzad, S., 2020.** Human health risk assessment of heavy metals via consumption of commercial marine fish (*Thunnus albacares*, *Euthynnus affinis*, and *Katsuwonus pelamis*) in Oman Sea. Environmental Science and Pollution Research. Vol. 27, pp: 14944-14952.
39. **Sayadi, M.H.; Kharkan, J. and Binkowski, L.J., 2020.** Cadmium and chromium levels in water and edible herbs in a risk assessment study of rural residents living in Eastern Iran. Environmental Science and Pollution Research. Vol. 27, pp: 9901-9909.
40. **Sayadi, M.H.; Mansouri, B.; Shahri, E.; Tyler, C.R.; Shekari, H. and Kharkan, J., 2020.** Exposure effects of iron

(DOI): 10.22034/AEJ.2020.130833

Scientific Research Journal of Animal Environment Vol. 12, No. 4, Winter 2020

Evaluation of heavy metal pollution of Zinc, Nickel, Chromium, Lead, Cadmium, Copper and Iron in water, surface sediments and algae of the northern shores of Makran Sea in summer 2020

- **Elham Shahri:** Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand, Birjand, Iran
- **Mohammad Hossein Sayadi*:** Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand, Birjand, Iran

  : Department of Environmental Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran
- **Elham Yousefi:** Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand, Birjand, Iran

Received: July 2020 Accepted: October 2020

Key words: Algae, Makran Sea, Sediments, Heavy metals

Abstract

The aim of this study was to evaluate the concentration of heavy metals in water, surface sediments and algae at 12 stations on the shores of the Makran Sea with 3 replications in the summer of 2020. Heavy metals were measured using the ConterAA700 atomic absorption spectrometer. The average heavy metals of zinc, nickel, chromium, lead, cadmium, copper and iron in water are 0.135, 0.061, 0.118, 0.018, 0.018, 0.036 and 0.123 mg, respectively. In liters and in sediments, 36.893, 25.952, 43.815, 21.588, 0.184, 32.55 and 24.069 mg/kg were obtained. The results showed that there was a significant positive correlation between heavy metals zinc, nickel, lead, chromium, copper, cadmium and iron in water, sediments and algae ($P<0.01$), but in the case of metal, the relationship between zinc and cadmium ($R=0.364$) and iron-cadmium ($r=0.280$) correlation was weak ($P>0.01$). The concentrations of zinc, chromium, nickel, copper, iron, lead and cadmium in surface sediments were higher than the studied water and algae. Based on the analysis of studied heavy metal clusters in water, sediments and algae were divided into two main groups. The first group consisted of nickel, iron, zinc, copper, lead and chromium, and the second group consisted of cadmium. Different cluster groups represent differences in the geochemical behavior and different origins of metals. Therefore, the metals in a group have the same and natural origin. Health risk assessment showed that some heavy metals in the study area can cause health problems and pathogenicity in humans. The transfer of heavy metals by water in algae for chromium, nickel, lead, cadmium, copper, zinc and iron was higher than 1, but the transfer of heavy metals by sediments for all metals was less than 1 and in some cases it was calculated in the range of 1-2.5.

* Corresponding Author's email: mh_sayadi@birjand.ac.ir