



## Original Research Paper

## Investigation of the effect of discharge of desalination plants on the accumulation of heavy metal copper (Cu) and its ecological risk assessment in the coastal sediments of the Persian Gulf (Case study: Bushehr city)

Moslem Sharifinia\*, Mehrzad Keshavarzifard, Parisa Hosseinkhezri, Arash Haghshenas

Shrimp Research Center, Iranian Fisheries Science Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Bushehr, Iran

### Key Words

Heavy metals  
Ecological risk  
Desalination plant  
Persian Gulf  
Bushehr

### Abstract

**Introduction:** Chemical and condensate discharges of desalination plants into the environment may cause deterioration and damage to coastal water quality.

**Materials & Methods:** Therefore, the aim of this study was to investigate the effect of desalination effluent on the accumulation of heavy metal copper and its ecological risk assessment in the sediments of Bushehr city in 24 sampling stations for one year. To measure the concentration of heavy metal copper and sediment grain size, 3 sediment samples were collected from each station by Van Veen Garb sampler. Three heavy metal-based pollution indices including contaminant factor, potential ecological risk assessment index and pollution load index were used in this study.

**Results:** In general, in most stations, the minimum and maximum concentrations of copper metal between different seasons were observed in winter ( $16.31 \pm 0.31$ ) and summer ( $36.07 \pm 0.48$ ), respectively. Also, the maximum concentration of copper metal was observed in stations affected by desalination effluent. Contaminant values for copper metal concentrations in the sampled sediments of control stations and close to desalination effluent during the four sampling seasons were less than one and in the range of  $1 < Cf < 3$ , respectively, indicating "low pollution" and "moderate pollution" by this metal.

**Conclusion:** In general, the results of the present study showed that effluents from desalination plants can affect the accumulation of heavy metals and in the long run lead to negative environmental effects on the biodiversity of the Persian Gulf.

\* Corresponding Author's email: [moslem.sharifinia@yahoo.com](mailto:moslem.sharifinia@yahoo.com)

Received: 29 December 2020; Reviewed: 29 January 2021; Revised: 31 March 2021; Accepted: 8 May 2021

(DOI): [10.22034/AEJ.2021.284639.2525](https://doi.org/10.22034/AEJ.2021.284639.2525)

## مقاله پژوهشی

## بررسی تاثیر تخلیه پساب تاسیسات آب‌شیرین‌کن بر تجمع فلز سنگین مس (Cu) و ارزیابی ریسک بوم‌شناختی آن در رسوبات ساحلی خلیج فارس (مطالعه موردی: شهرستان بوشهر)

مسلم شریفی‌نیا\*، مهرزاد کشاورزی‌فرد، پریسا حسین‌خضری، آرش حق‌شناس

پژوهشکده میگوی کشور، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بوشهر، ایران

## چکیده

## کلمات کلیدی

**مقدمه:** تخلیه‌های شیمیایی و تغلیظ‌شده شورابه‌های تاسیسات آب‌شیرین‌کن به محیط‌زیست دریایی می‌تواند موجب زوال و آسیب‌رسانی به کیفیت آب‌های و تنوع زیستی ساحلی شود.

**مواد و روش‌ها:** بنابراین مطالعه حاضر با هدف بررسی تاثیر پساب تاسیسات آب‌شیرین‌کن بوشهر بر تجمع فلز سنگین مس و ارزیابی ریسک بوم‌شناختی آن در رسوبات آب‌های ساحلی در ۲۴ ایستگاه نمونه‌برداری و به مدت یک سال انجام شد. برای سنجش غلظت فلز سنگین مس و دانه‌بندی رسوبات، از هر ایستگاه ۳ نمونه رسوب توسط نمونه‌بردار ون‌وین گرب جمع‌آوری گردید. سه شاخص آلودگی مبتنی بر فلزات سنگین شامل فاکتور آلاینده، شاخص ارزیابی بالقوه ریسک بوم‌شناختی و شاخص بار آلودگی در این مطالعه استفاده شدند. **نتایج:** به‌طور کلی در اغلب ایستگاه‌ها حداقل و حداکثر غلظت فلز مس به ترتیب در فصول زمستان ( $16/31 \pm 0/31$ ) و تابستان ( $36/07 \pm 0/48$ ) مشاهده شد. هم‌چنین حداکثر میزان غلظت فلز مس ( $36/07 \pm 0/48$ ) در ایستگاه‌های تحت تاثیر پساب آب‌شیرین مشاهده شد. مقادیر فاکتور آلاینده برای غلظت فلز مس در رسوبات نمونه‌برداری شده از ایستگاه‌های شاهد و هم‌چنین نزدیک به پساب آب‌شیرین‌کن در طول چهار فصل نمونه‌برداری به ترتیب کم‌تر از یک و در محدوده  $1 < Cf < 3$  بود، که نشان‌دهنده "آلودگی کم" و "آلودگی متوسط" توسط این فلز می‌باشد.

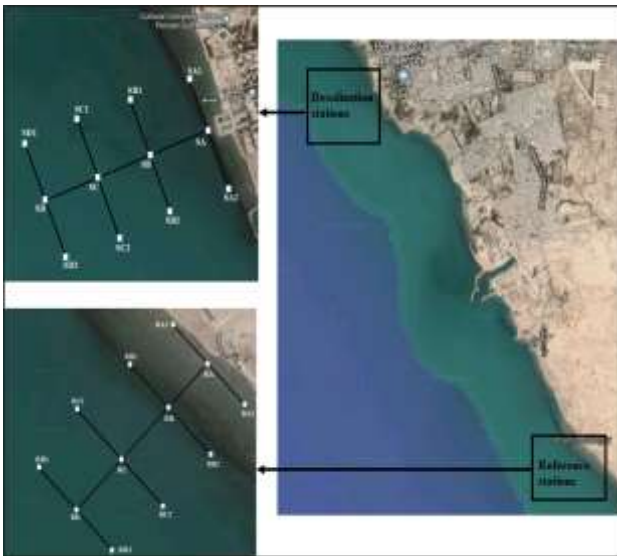
**بحث و نتیجه‌گیری:** به‌طور کلی نتایج مطالعه حاضر نشان داد که پساب‌های حاصل از آب‌شیرین‌کن‌ها می‌توانند تجمع فلزات سنگین را تحت تاثیر گذاشته و در بلندمدت منجر به آثار منفی زیست محیطی بر تنوع زیستی خلیج فارس گردد.

## مقدمه

دریایی را تحت تاثیر خود قرار می‌دهند. یکی دیگر از منابع عمده آلودگی در خلیج فارس فعالیت‌های نفتی و استخراج نفت می‌باشد. حدود بیش از ۳۰٪ تولید نفت جهان و بیش از ۶۰٪ حمل و نقل نفت دنیا از طریق خلیج فارس انجام می‌گردد (۱۳). به‌طور کلی شناورها، نفت‌کش‌ها، اکتشافات نفتی و پساب‌های صنایع هم‌جوار دریا و رودخانه‌های منتهی به دریا آلاینده‌های مربوط به فلزات سنگین را وارد دریا می‌کنند. بنابر موارد ذکر شده پایش رسوبات بستر نواحی ساحلی با استفاده از فلزات سنگین و شاخص‌های مبتنی بر آن‌ها دارای اهمیت ویژه‌ای می‌باشد که به‌عنوان ابزاری برای ارزیابی میزان آلودگی شیمیایی حاصل از این فلزات در جهت تشخیص سمیت و اثرات زیستی حائز اهمیت هستند. پالایش نفت یکی از راه‌های ورود مس به محیط آبی است (۱۴). علاوه بر این، استفاده از این عنصر در مواد ضدزنگ در بدنه کشتی‌ها، فاضلاب‌های شهری، صنعتی و پساب‌های کشاورزی نیز باعث ورود این فلز به محیط می‌شوند. مقادیر کم این عنصر برای گیاهان، جانوران و انسان ضروری می‌باشد و در تنفس، فتوسنتز و سنتز پروتئین در گیاهان، در ساختار هموسیانین جانوران و رشد و نمو جنین انسان، نقش اساسی دارد (۱۵). اگرچه مس از عناصر ضروری محسوب می‌شود، اما غلظت بیش از حد آن، باعث ایجاد تنش اکسیداتیو در گیاهان شده و فرآیندهای فیزیولوژیکی متعددی مانند فتوسنتز و رشد را به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم تحت تاثیر قرار می‌دهد (۱۶). از سوی دیگر مقادیر بالای این عنصر در انسان سبب بروز بیماری‌های مختلفی می‌شود. امروزه استفاده از سیستم‌های نمک‌زدا (آب‌شیرین‌کن) به راهکاری بسیار مطلوب و به‌صرفه جهت رفع مشکل کم آبی به‌ویژه در مناطق خشک، نیمه‌خشک و ساحلی تبدیل شده است (۱۷). تقاضای جهانی برای آب آشامیدنی منجر به افزایش تولید آب‌شیرین توسط نمک‌زداها از آب دریا شده است، که در حال حاضر در حدود ۲۵ میلیون مترمکعب در روز در سراسر جهان تخمین زده شده است (۱۸). محصولات جانبی عمده این صنعت، آب شوری است که حاوی غلظت زیاد نمک (حدود دو برابر شوری آب دریا) و مواد شیمیایی است که در مراحل مختلف فرآیند نمک‌زدا مورد استفاده قرار می‌گیرند (۱۹). در حال حاضر، اغلب نمک‌زداهای دریایی آب شور را همراه مواد شیمیایی به مناطق ساحلی تخلیه می‌کنند. تمام فرایندهای نمک‌زدایی، تولید مقدار زیادی کنسانتره می‌کنند، که ممکن است با درجه حرارت افزایش یابد و باقی‌مانده‌های مواد پیش‌تصفیه و تمیزکننده‌های شیمیایی، محصولات جانبی نتیجه واکنش آن‌ها، و فلزات سنگین ناشی از خوردگی را شامل می‌شود. علی‌رغم صرفه اقتصادی، این عمل می‌تواند تهدیدات و خطرات زیست‌محیطی عمده‌ای را برای موجودات زنده و زیستگاه‌ها، به‌ویژه در بازه زمانی بلندمدت ایجاد کند (۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۳). پساب نمک‌زداها علاوه بر

رسوبات دریایی بستر زیست‌موجودات کفزی را فراهم می‌کنند و از طریق تبادل ترکیبات شیمیایی بین رسوب و آب بر اکوسیستم تأثیر می‌گذارند (۱، ۲). خصوصیات فیزیکوشیمیایی رسوبات دریایی و میزان آلودگی آن‌ها می‌تواند تنوع زیستی را کاهش دهد (۳). برای تسهیل حفظ سلامت بوم‌سازگان در مناطق دریایی، به‌ویژه برای درک تأثیر آلاینده‌ها، ارزیابی خصوصیات فیزیکوشیمیایی رسوبات دریایی و غلظت آلاینده‌ها (از جمله فلزات سنگین) مورد نیاز است (۴، ۵، ۶، ۲). در بین انواع آلاینده‌هایی که به اکوسیستم‌های ساحلی وارد می‌شوند، فلزات سنگین به‌دلیل بالا بودن میزان سمیت، پایداری، تجزیه‌ناپذیر بودن و توانایی تجمع زیستی در بسیاری از گونه‌های جانوری در نواحی ساحلی به‌خصوص در بدن ماکروبن‌توزها از اهمیت بالایی برخوردارند. فلزات سنگین توسط فرآیند خودپالایی حذف نمی‌شوند بلکه در ذرات معلق شده در آب و رسوبات و جانوران آبی تجمع پیدا کرده و در نهایت از طریق زنجیره غذایی به انسان منتقل می‌شوند (۷، ۸). منبع عمده و اصلی انباشته شدن فلزات سنگین در محیط‌های آبی رسوبات کف دریا هستند که نقش مهمی در انتقال و ذخیره این فلزات سمی دارند (۲). با توجه به این‌که این نوع از آلاینده‌ها برای مدت زمان طولانی‌تری در رسوبات باقی می‌مانند، در نتیجه می‌توانند منعکس‌کننده تاریخچه آلودگی‌های یک اکوسیستم آبی باشند (۲). میزان در معرض قرار گرفتن گونه‌های آبی و به‌خصوص ماکروبن‌توزها به آلودگی ناشی از فلزات سنگین روز به روز در حال افزایش می‌باشد و افزایش تجمع این فلزات در بدن آن‌ها به‌خصوص گونه‌های که مورد تغذیه قرار می‌گیرند خطراتی را برای کسانی که از آن‌ها تغذیه می‌کنند به‌دنبال خواهد داشت. این نوع از آلاینده‌ها سبب کاهش فعالیت‌های زیستی شده و می‌توانند باعث افزایش مرگ و میر گونه‌های آبی و کاهش تنوع زیستی در یک اکوسیستم گردند (۹، ۱۰). علی‌رغم این‌که فلزات سنگین از اجزاء تشکیل‌دهنده پوسته زمین می‌باشند و به‌طور طبیعی در همه اکوسیستم‌های آبی حضور دارند، روز به روز غلظت این فلزات در نتیجه فعالیت‌های انسانی به‌طور قابل توجهی در حال افزایش می‌باشد (۱۱). اثرات زیان‌بار زیست‌محیطی فلزات سنگین در حال حاضر یکی از مباحث اصلی و مهم در تحقیقات بوم‌شناختی می‌باشد. دریای عمان و به‌خصوص خلیج فارس به‌دلیل ویژگی‌های بوم‌سازگانی خاص خود و محدودیت‌های جغرافیایی حاکم بر آن و همچنین وجود فعالیت‌های انسانی در نواحی ساحلی و دریایی همواره تحت تاثیر منابع آلاینده به‌خصوص فلزات سنگین قرار دارند (۱۲). آلودگی‌های حاصل از فعالیت‌های انسانی کشورهای حاشیه خلیج فارس به‌طور مستقیم وارد خلیج فارس شده و به‌شدت محیط‌زیست

تاسیسات (ایستگاه‌های با پیشوند R) در نواحی ساحلی بخش شمالی خلیج فارس در شهرستان بوشهر می‌باشد. نمونه‌برداری میدانی به صورت فصلی (بهمن ۱۳۹۸ تا آذر ۱۳۹۹) و در منطقه تحت تاثیر پساب (۱۲ ایستگاه) و در منطقه فاقد اثر و شاهد (۱۲ ایستگاه) با ۳ تکرار در هر ایستگاه جهت مقایسه دقیق مناطق تحت تاثیر با مناطق شاهد انجام شد (شکل ۱).



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های نمونه‌برداری در نواحی ساحلی استان بوشهر (نواحی ساحلی آب‌شیرین کن و بندرگاه)، ایستگاه‌ها در هر دو منطقه نمونه‌برداری با فاصله مشخص از ساحل و خروجی آب‌شیرین کن انتخاب شدند.

**نمونه‌برداری و آنالیز نمونه‌ها:** جمع‌آوری نمونه‌های رسوب در هر ایستگاه با استفاده از نمونه‌بردار گرب‌ون وین (van Veen grab) انجام شد. برای سنجش غلظت فلز سنگین مس از هر ایستگاه ۳ نمونه رسوب سطحی توسط نمونه‌بردار گرب جمع‌آوری گردید. نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه در دمای ۴۰- درجه سانتی‌گراد در فریز درایر به مدت ۲۴ ساعت به صورت خشک در آمده و سپس رسوبات از الک ۶۳ میکرون عبور داده شد و نمونه‌های کم‌تر از ۶۳ میکرون در هاون پودر گردید. پس از آماده‌سازی نمونه‌ها مطابق استانداردهای بین‌المللی میزان غلظت فلزات سنگین با استفاده از دستگاه پلاروگراف در پژوهشکده میگوی کشور اندازه‌گیری شد. به منظور تعیین میزان کل مواد آلی رسوبات (TOM) از روش فیزیکی (کوره الکتریکی) در دمای ۵۲۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴ ساعت استفاده شد (۲۹). روش اندازه‌گیری TOM به شرح ذیل می‌باشد:

$$TOM\% = [(B - C) / (B - A)] \times 100$$

A: وزن بوته خشک شده در آون پس از ۲ ساعت؛ B: وزن بوته و رسوب خشک شده در آون پس از ۲۴ ساعت؛ C: وزن بوته و رسوب سوخته در کوره پس از ۴ ساعت

مقادیر بالای شوری حاوی مواد معدنی محلول مانند Cu، Cd، Pb، Ni، U، Hg، Cr و As می‌باشند. فلزات سنگین حاصل از نمک‌زداها ممکن است در صورتی به محیط دریا اضافه شوند که شورابه حاصل از آن‌ها با مواد فلزی مورد استفاده در کارخانه‌جات نمک‌زدا ارتباط داشته باشد. انتشار مقادیر زیاد فلزات سنگین به آب باعث ایجاد مشکلات جدی بهداشتی و زیست‌محیطی می‌شود. تاثیرات بوم‌شناختی فلزات سمی بر موجودات دریایی شامل کاهش رشد، آسیب به اندام‌ها، آسیب به سیستم عصبی و در موارد شدید، مرگ می‌باشد (۲۴). بنابراین ارزیابی تاثیر این صنایع و کارخانجات بر میزان تجمع فلزات سنگین در رسوبات نواحی نزدیک به نمک‌زداها هم می‌تواند از جنبه زیست‌محیطی حائز اهمیت باشد. با این حال، در حال حاضر نه تنها در خلیج فارس بلکه در سراسر دنیا اطلاعات بسیار محدودی در زمینه بررسی اثرات زیست‌محیطی پساب‌های نمک‌زداها بر اکوسیستم‌های دریایی در دسترس می‌باشد (۲۵). داشتن اثرات بالقوه منفی پساب نمک‌زداها (شوری شدید به همراه غلظت فلزات سنگین)، همواره نگرانی‌های عمده‌ای را ایجاد می‌کنند. این نگرانی‌ها عمدتاً مربوط به تخلیه‌های شیمیایی و تغلیظ شده شورابه‌ها به محیط‌زیست است که ممکن است موجب زوال و آسیب‌رسانی به کیفیت آب‌های ساحلی شود و حیات‌آبریان در نواحی ساحلی را به خطر اندازد. در نواحی ساحلی خلیج فارس بسیاری از اثرات زیست‌محیطی بالقوه ناشی از فرایندهای شیرین‌سازی آب توسط کارخانه‌های آب‌شیرین‌کن در کشورهای پیرامون خلیج فارس مانند دیگر صنایع و تاسیسات وجود دارد. البته شدت و ضعف این اثرات می‌تواند به نوع فرایند شیرین‌سازی آب و فناوری خاص آن روش نیز بستگی داشته باشد. چندین ماده شیمیایی در مراحل مختلف شیرین‌سازی آب دریا توسط نمک‌زداها استفاده می‌شوند. در مرحله پیش‌تصفیه آب دریا، منعقدکننده‌هایی از قبیل نمک‌های حاوی آهن اضافه می‌شوند (۲۶، ۱۹). پس از مراحل انعقاد و قبل از فیلتراسیون، آنتی‌اسکلانت‌ها یا مواد ضد رسوبی، مانند پلی‌فسفونات‌ها، به طور معمول به سیستم‌غشایی ورودی آب اضافه می‌شوند تا از انسداد غشاء توسط فولینگ مواد معدنی جلوگیری شود. این ترکیبات نهایتاً همراه با شورابه حاصل از نمک‌زداها به محیط دریایی تخلیه می‌شوند (۲۷، ۲۸). بنابراین مطالعه حاضر با هدف بررسی تاثیر پساب آب‌شیرین‌کن بر تجمع فلز سنگین مس (Cu) و ارزیابی ریسک بوم‌شناسی آن در رسوبات شهرستان بوشهر به مدت یک سال انجام شد.

## مواد و روش‌ها

**منطقه مورد مطالعه:** محدوده مطالعاتی این تحقیق شامل مناطق احداث واحدهای نمک‌زدا (ایستگاه‌های با پیشوند S) و فاقد حضور این

**محاسبه شاخص‌های آلودگی مبتنی بر فلزات سنگین:** سه شاخص آلودگی براساس فلزات سنگین شامل فاکتور آلاینده (Contaminant factor)، شاخص ارزیابی بالقوه ریسک بوم‌شناختی (Potential Ecological Risk Index) و شاخص بار آلودگی

(Pollution Load Index) در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت. معادلات، توضیحات و طبقه‌بندی هر کدام از این شاخص‌های آلودگی فلزات در جدول ۱ لیست شده‌اند.

جدول ۱: شاخص‌های آلودگی: معادلات، توضیحات و طبقه‌بندی (۲)

الگوریتم	توضیحات	طبقه‌بندی
$Cf = \frac{C_H}{C_B}$	Cf: فاکتور آلاینده	Cf > ۱: آلودگی پایین
	C <sub>H</sub> : غلظت فلز سنگین	۱ > Cf > ۳: آلودگی متوسط
	C <sub>B</sub> : مقادیر مرجع فلز سنگین (۰/۱۶=Cd, ۱۰=Pb, ۲۶=Cu, ۶۴=Zn)	Cf > ۳: آلودگی قابل ملاحظه Cf < ۶: آلودگی بسیار بالا
$PLI = (Cf_1 \times Cf_2 \times Cf_3 \times \dots \times Cf_n)^{1/n}$	Cf: فاکتور آلاینده	PLI < ۱: حضور آلودگی
	n: تعداد فلزات سنگین	PLI > ۱: عدم حضور آلودگی
$PERI = \sum_{i=1}^n (T_i \times Cf)$	Tr: ضریب سمیت (۳۰=Cd, ۵=Pb=Cu, ۱=Zn)	PERI > ۹۵: ریسک بوم‌شناختی پایین
		۹۵ > PERI > ۱۹۰: ریسک بوم‌شناختی متوسط
		۱۹۰ > PERI > ۳۸۰: ریسک بوم‌شناختی قابل ملاحظه PERI < ۳۸۰: ریسک بوم‌شناختی بسیار بالا

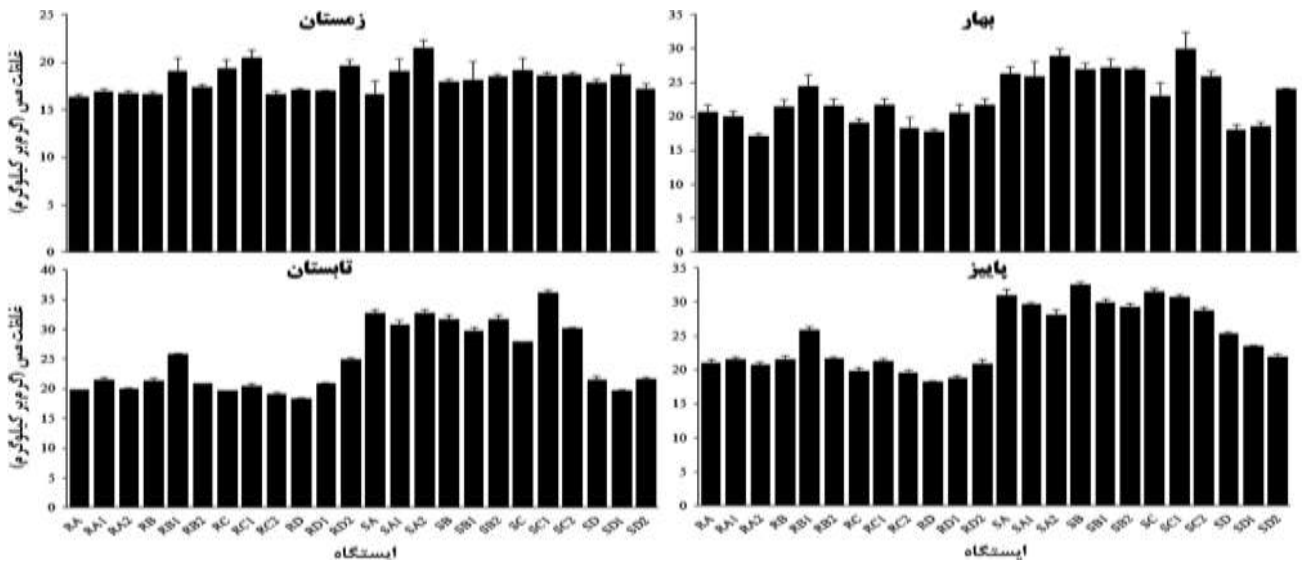
مشاهده گردید. نتایج حاصل از مقایسه غلظت فلز مس در هر ایستگاه بین فصول مختلف نیز تفاوت معنی‌داری را بین فصول مختلف در هر ایستگاه نشان داد (P < ۰/۰۵). به‌طور کلی در اغلب ایستگاه‌ها حداقل و حداکثر غلظت فلز مس در بین فصول مختلف به‌ترتیب در فصول زمستان و تابستان مشاهده شد (شکل ۴).

**تغییرات زمانی و مکانی شاخص‌های آلودگی:** مقادیر میانگین (±انحراف معیار) عامل آلاینده (CF)، شاخص ارزیابی ریسک بوم‌شناختی (PERI) و شاخص بار آلودگی (PLI) در رسوبات تمام ایستگاه‌های نمونه‌برداری در طول چهار فصل نمونه‌برداری در شکل‌های ۴، ۵ و ۶ نشان داده شده است. مقادیر عامل آلاینده برای غلظت فلز مس در رسوبات نمونه‌برداری شده ایستگاه‌های شاهد و به دور از پساب آب شیرین کن در طول چهار فصل نمونه‌برداری کم‌تر از یک بود، که نشان دهنده "آلودگی کم" توسط این فلز می‌باشد. مقادیر عامل آلاینده برای فلز مس در رسوبات ایستگاه‌های نزدیک به آب‌شیرین کن در محدوده  $Cf > ۱$  قرار گرفتند که نشان‌دهنده "آلودگی متوسط" در این ایستگاه‌ها می‌باشد. دامنه تغییرات شاخص بار آلودگی (PLI) در اغلب ایستگاه‌های مورد مطالعه کم‌تر از ۱ محاسبه گردید که نشان دهنده "عدم وجود آلودگی" در این ایستگاه‌ها می‌باشد. دامنه تغییرات شاخص بار آلودگی در ایستگاه‌های کاملاً نزدیک به خروجی پساب آب‌شیرین کن بیش‌تر از ۱ محاسبه گردید که نشان‌دهنده "وجود آلودگی" در این ایستگاه‌ها می‌باشد. میزان شاخص ارزیابی ریسک بوم‌شناختی (PERI) در رسوبات نمونه‌برداری شده تمام ایستگاه‌ها در طول چهار فصل نمونه‌برداری کم‌تر از ۹۵ بود، که نشان‌دهنده "ریسک بوم‌شناختی پایین" می‌باشد.

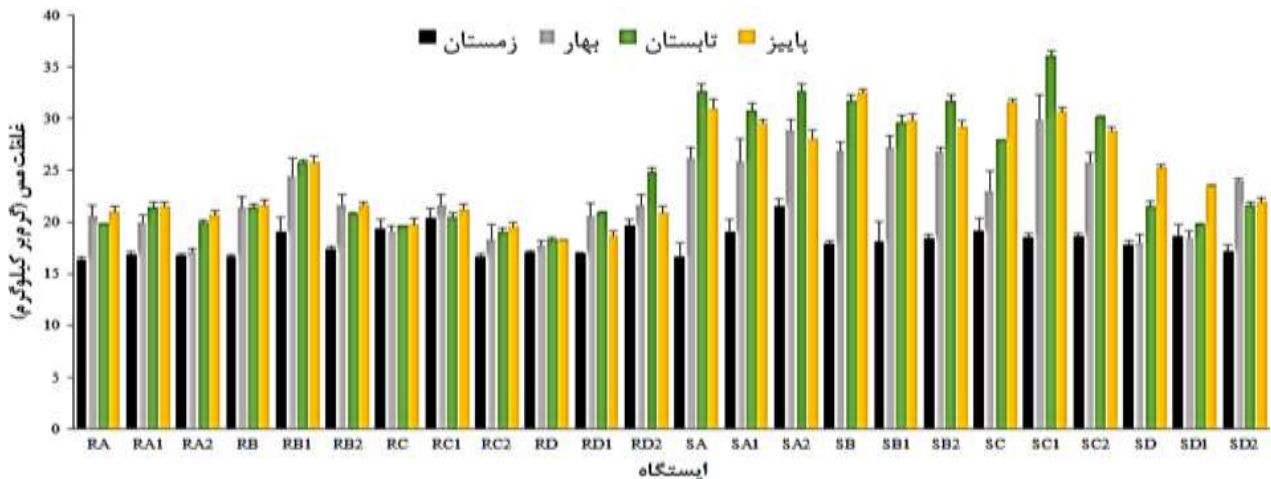
**تجزیه و تحلیل آماری:** پس از حصول اطمینان از نرمالیت و همگنی واریانس‌های داده‌ها با استفاده از آزمون‌های شاپیرو-ویلک و لیون، برای مقایسه فاکتورهای خصوصیات رسوب و غلظت فلز بین ایستگاه‌های مختلف از آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه ANOVA استفاده شد و برای تفکیک گروه‌های دارای اختلاف از پس آزمون توکی استفاده گردید. برای تعیین ضریب همبستگی بین غلظت فلز سنگین مس با خصوصیات رسوب از آزمون همبستگی پیرسون استفاده گردید.

## نتیجه

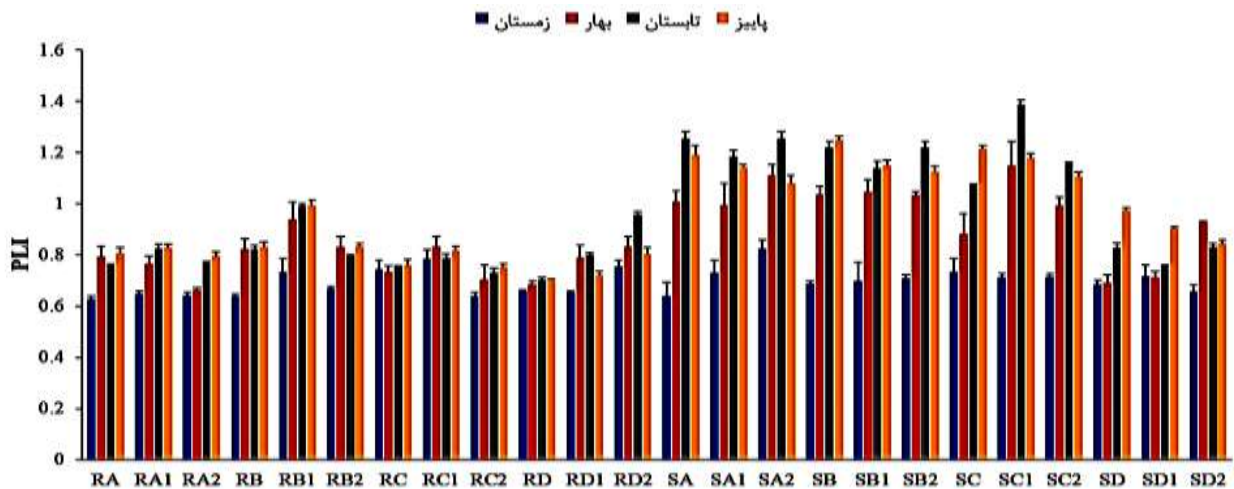
**تغییرات زمانی و مکانی غلظت فلز مس:** میانگین غلظت مس (میانگین ± انحراف معیار) در رسوبات ایستگاه‌های مختلف در طول چهار فصل (زمستان، بهار، تابستان و پاییز) نمونه‌برداری در شکل‌های ۳ و ۴ ارائه شده است. حداقل (۱۶/۳۱ ± ۰/۳۱) و حداکثر (۲۱/۴۷ ± ۰/۸۰) غلظت فلز مس در فصل زمستان به‌ترتیب در ایستگاه‌های RA (ایستگاه شاهد و نزدیک ساحل) و SA2 (ایستگاه تحت تاثیر پساب آب‌شیرین کن و نزدیک ساحل) مشاهده شد و نتایج آنالیز آماری اختلافات معنی‌داری را بین ایستگاه‌های مختلف نشان داد (P < ۰/۰۵). در فصل بهار حداقل (۱۷/۱۵ ± ۰/۲۹) و حداکثر (۲۹/۹۱ ± ۲/۴۳) غلظت فلز مس به‌ترتیب در ایستگاه‌های RA2 و SC1 مشاهده گردید. حداقل (۱۸/۳۳ ± ۰/۱۶) و حداکثر (۳۶/۰۷ ± ۰/۴۸) میانگین غلظت این فلز در فصل تابستان به‌ترتیب در ایستگاه‌های RD و SC1 مشاهده شد و نتایج آنالیز آماری اختلافات معنی‌داری را بین ایستگاه‌های مختلف نشان داد (P < ۰/۰۵). در فصل پاییز حداقل (۱۸/۲۵ ± ۰/۰۹) و حداکثر (۳۲/۴۸ ± ۰/۳۸) غلظت فلز مس به‌ترتیب در ایستگاه‌های RD و SB



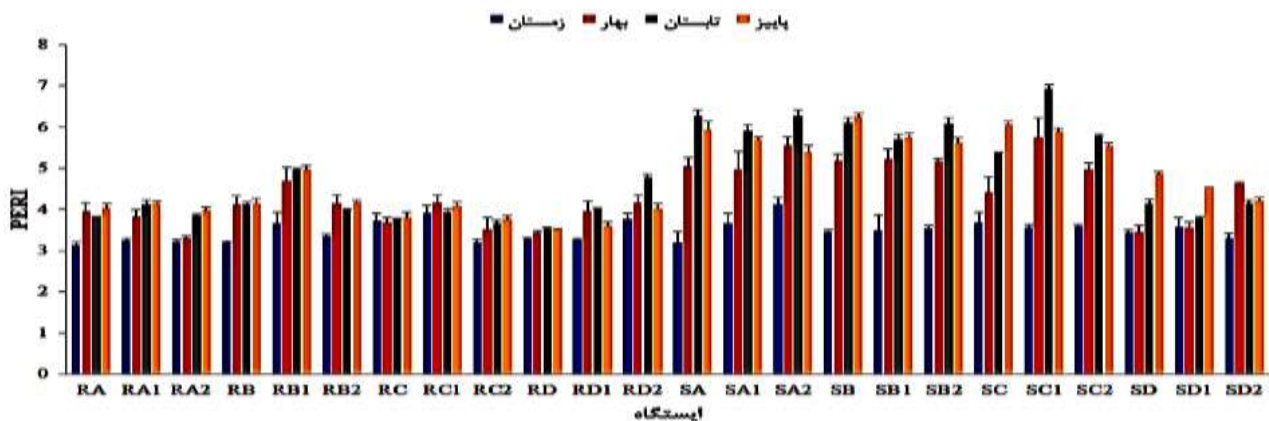
شکل ۲: مقایسه تغییرات مکانی غلظت فلز مس (میانگین  $\pm$  انحراف معیار) در ایستگاه‌های مختلف در طول چهار فصل (زمستان، بهار، تابستان و پاییز)



شکل ۳: مقایسه تغییرات زمانی غلظت فلز مس (میانگین  $\pm$  انحراف معیار) در هر ایستگاه در طول چهار فصل (زمستان، بهار، تابستان و پاییز)



شکل ۵: مقادیر میانگین ( $\pm$  انحراف معیار) شاخص بار آلودگی (PLI) در رسوبات سطحی تمام ایستگاه‌های نمونه‌برداری در طول چهار فصل



شکل ۶: مقادیر میانگین ( $\pm$  انحراف معیار) شاخص ارزیابی ریسک بوم‌شناختی (PERI) در رسوبات سطحی تمام ایستگاه‌های نمونه‌برداری در طول چهار فصل

ارتباط منفی بین غلظت فلز این فلز با درصد ماسه و سیلت و همبستگی مثبت با درصد رس مشاهده شد. نتایج حاصل از همبستگی بین میزان فسفات کل با میزان کل مواد آلی (TOM) ارتباط منفی و معنی‌داری را نشان داد ( $P < 0.05$ ).

#### ارتباط بین غلظت فلز مس و خصوصیات رسوب: نتایج

حاصل از ضرایب همبستگی پیرسون بین غلظت فلز مس و خصوصیات رسوب در جدول ۲ ارائه شده است. غلظت فلز مس ارتباط معنی‌داری را با میزان مواد آلی کل (TOM) نشان داد ( $P < 0.05$ ). همچنین

جدول ۲: ماتریکس همبستگی پیرسون بین غلظت فلز مس و خصوصیات رسوب

مواد آلی کل (TOM)	درصد رس	درصد سیلت	درصد ماسه	غلظت مس	
		۱	۱	-۰/۱۱۱	درصد ماسه
		-۰/۳۶۲**	-۰/۴۸۴**	-۰/۱۱۸	درصد سیلت
	۱	-۰/۰۰۸	-۰/۰۶۳**	۰/۲۴۳*	درصد رس
۱	۰/۰۰۸	۰/۰۰۴	-۰/۰۶۱	۰/۵۷۴**	مواد آلی کل (TOM)
-۰/۳۴۹**	۰/۱۷۸	-۰/۱۸۵	-۰/۰۰۱	۰/۰۰۸	فسفات کل

عنصر مس در ترکیب رنگ‌ها از جمله رنگ‌های مورد استفاده برای کشتی‌ها و شناورها وجود دارد و این عنصر در پساب‌های شهری و خانگی نیز وجود دارد (۳۳). در نتیجه به‌نظر می‌رسد علاوه بر پساب خروجی آب‌شیرین‌کن‌ها، تردد قایق‌ها و شناورها و نیز تخلیه فاضلاب‌های انسانی و صنعتی به‌ویژه پتروشیمی به آب‌های این منطقه موجب ناپاکی این منطقه به عنصر مس شده است. مس همچنین ممکن است با سولفورهای آلی و معدنی گوناگون موجود در رسوبات واکنش داده و انواع مختلفی از کمپلکس‌های محلول و نامحلول را تشکیل دهد. از سوی دیگر در رسوبات حاوی غلظت‌های بالای مواد آلی، عنصر مذکور با مواد آلی پیوند تشکیل می‌دهد (۴). نتایج مطالعه حاضر نشان داد که میزان غلظت مس دارای ارتباط مثبت و معنی‌داری را با رسوبات دانه‌ریز و همچنین میزان مواد آلی کل (TOM) می‌باشد. این نتایج نشان می‌دهد که اندازه ذرات رسوبات یکی از عوامل کنترل‌کننده غلظت فلزات سنگین در رسوبات خلیج فارس و دریای عمان می‌باشد. مطابق با سایر مطالعات در محیط‌های دریایی (۳۵، ۳۶، ۳۷)، ذرات ریز رسوبات سطحی (از قبیل رس) به‌علت جذب بالای یونی، مساحت سطح ویژه بالا، توانایی تشکیل کمپلکس با مواد آلی یا غیرآلی و بارندگی، میزان بالایی از غلظت فلزات سنگین را دارند. از این‌رو، طبق نظر Pourang و همکاران (۳۸) و Huang و همکاران (۳۷) منطقی است که بگوییم غلظت فلزات سنگین در رسوبات نه تنها بستگی به منابع انسانی و سنگ‌شناسی دارد بلکه به مکانیسم‌های تجزیه‌ای،

## بحث

ایستگاه‌های مورد مطالعه در امتداد سواحل شهرستان بوشهر، خلیج فارس فرصتی فراهم کرد تا تغییرات غلظت فلز مس و ارزیابی خطر بوم‌شناختی آن با استفاده از شاخص‌های آلودگی شیمیایی صورت گیرد و پاسخ این شاخص‌ها به پساب خروجی آب‌شیرین‌کن شهرستان بوشهر مورد بررسی قرار گیرد. مطالعه حاضر، پاسخ شاخص‌های بر پایه فلزات سنگین را به فعالیت‌های انسانی از قبیل پساب خروجی آب‌شیرین‌کن‌ها را نمایان می‌سازد. در مطالعه حاضر میانگین غلظت مس در رسوبات ایستگاه‌های مختلف در طول چهار فصل (زمستان، بهار، تابستان و پاییز) نمونه‌برداری بین  $16/31 \pm 0/31$  تا  $36/07 \pm 0/48$  متغیر بود. نتایج غلظت‌های بالای مس را به‌ویژه در ایستگاه‌های نزدیک به خروجی پساب آب‌شیرین‌کن و در فصل تابستان را نشان می‌دهد که بالاتر از مقدار مجاز این فلز در رسوب ( $18/7$  میلی‌گرم در کیلوگرم) بودند (۳۰). سطح بالای مس در رسوبات ایستگاه‌های نزدیک به آب‌شیرین‌کن ساحل شهرستان بوشهر ممکن است به‌دلیل استفاده از آلیاژهای مس-نیکل به‌عنوان مواد مبدل حرارتی در دستگاه آب‌شیرین‌کن باشد. آلودگی شورآبه خروجی آب‌شیرین‌کن به مس به دلیل خوردگی در این مواد است (۳۱). مس برای اکثر موجودات یک ریز مغذی ضروری است و تنها در صورت موجود بودن مقادیر اضافی از نظر زیستی، ممکن است باعث ایجاد مسمومیت شود (۳۲).

شواهدی از یک آلودگی موضعی در منطقه مورد مطالعه را ارائه داد. بنابراین مقررات و سیاست‌های مربوط به تخلیه پساب آب‌شیرین‌کن‌ها و دفع ترکیبات شیمیایی باید اجرا و لحاظ گردد. به‌طور کلی، اطلاعات موجود از این مطالعه نشان‌دهنده نیاز به یک برنامه مدیریت زیست محیطی برای کاهش و کنترل ورود غلظت‌های بالای فلزات سنگین از طریق آب‌شیرین‌کن‌ها به خلیج فارس می‌باشد. با این حال، اگر در منطقه مورد مطالعه، خلیج فارس، از مسئله آلودگی غفلت شود، این مسئله باعث نگرانی بزرگی خواهد شد که می‌تواند در دراز مدت آسیب‌های زیست محیطی جبران‌ناپذیری ایجاد کند.

## تشکر و قدردانی

این مقاله مستخرج از گزارش نهایی پروژه "ارزیابی اثرات بوم‌شناسی پساب واحدهای نمک‌زدا شهرستان بوشهر بر جوامع کفزی و پلانکتونی در شرایط آزمایشگاهی و میدانی" می‌باشد که با حمایت صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور با شماره ۹۷۰۱۵۹۸۴ و موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور با شماره مصوب ۹۸۱۱۴۸-۰۲۴-۱۲-۸۰-۲۴، انجام شد. بدین‌وسیله محققین بر خود لازم می‌دانند از کلیه همکاران در پژوهشکده میگوی کشور و هم‌چنین موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور که در این تحقیق همکاری داشته‌اند، تشکر و قدردانی بنمایند.

## منابع

1. Sharifinia, M., Taherizadeh, M., Imanpour Namin, J. and Kamrani, E., 2018. Ecological assessment the impacts of shrimp farms effluents on the structure of benthic macroinvertebrates communities using BENTIX biotic index (Tiyab creek - Hormozgan Province). *Journal of Animal Environment*. 10(1): 303-312. (In Persian)
2. Sharifinia, M., Taherizadeh, M., Namin, J.I. and Kamrani, E., 2018. Ecological risk assessment of trace metals in the surface sediments of the Persian Gulf and Gulf of Oman: evidence from subtropical estuaries of the Iranian coastal waters. *Chemosphere*. 191: 485-493.
3. Johnston, E.L. and Roberts, D.A., 2009. Contaminants reduce the richness and evenness of marine communities: a review and meta-analysis. *Environmental pollution*. 157: 1745-1752.
4. Ota, Y., Suzuki, A., Yamaoka, K., Nagao, M., Tanaka, Y., Irizuki, T., Fujiwara, O., Yoshioka, K., Kawagata, S. and Kawano, S., 2021. Geochemical distribution of heavy metal elements and potential ecological risk assessment of Matsushima Bay sediments during 2012-2016. *Science of the Total Environment*. 751: 141825.
5. Dash, S., Borah, S.S. and Kalamdhad, A.S., 2021. Heavy metal pollution and potential ecological risk assessment for surficial sediments of Deepor Beel, India. *Ecological indicators*. 122: 107265.
6. Buch, A.C., Niemeyer, J.C., Marques, E.D. and Silva Filho, E.V., 2021. Ecological risk assessment of trace metals in soils affected by mine tailings. *Journal of hazardous materials*. 403: 123852.
7. Yang, C.P., Liu, Y., Shan, B.B., Xu, J., Yu, W., Sun, D.R. and Zhang, Z.W., 2021. Heavy metal concentrations and associated health risks in edible tissues of marine nekton from the outer Pearl River Estuary, South China Sea. *Environmental Science and Pollution Research*. 28: 2108-2118.
8. Kuang, Z., Gu, Y., Rao, Y. and Huang, H., 2021. Biological Risk Assessment of Heavy Metals in Sediments and Health Risk Assessment in Marine

میزان ماده آلی و خصوصیات بافتی رسوبات دانه‌ریز نیز بستگی دارد. رسوبات دانه‌ریز، بی‌هوازی و غنی از مواد آلی و سولفید هستند از این‌رو محل مناسبی جهت به دام انداختن فلزات موجود در ستون آب می‌باشند. بنابراین شاید اختلاف در جنس رسوبات و اندازه ذرات تشکیل‌دهنده آن‌ها، یکی دیگر از علت تفاوت موجود بین غلظت فلز مس در ایستگاه‌های مختلف باشد. Defew و همکاران، بیان کردند که غلظت آلاینده‌های فلزی در اکوسیستم‌های دارای دانه‌بندی ریزتر از میزان این آلاینده‌ها در رسوبات با دانه‌بندی درشت‌تر بالاتر می‌باشد (۳۹). رسوبات دانه‌ریز، تجمع‌دهنده‌های خوبی برای آلاینده‌های آلی و غیرآلی هستند و این به دلیل بزرگ‌تر بودن نسبت سطح به حجم این ذرات است (۴۰). طبق نظر Mendiguchía و همکاران، مجموع ماده آلی در غلظت فلزات سنگین و به‌واسطه فعالیت جذب یا تشکیل کمپلکس تاثیر در رسوبات دریایی تاثیر دارد (۴۱). اثرات فعالیت‌های پرورش آبزیان و به‌دنبال آن تجمع مواد آلی ناشی از این فعالیت‌ها و اثرگذاری روی تجمع فلزات سنگین در رسوبات توسط سایر محققین گزارش شده است (۴۱، ۴۲). هم‌چنین نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که کم‌ترین و بیش‌ترین غلظت فلز مس در طول یک‌سال نمونه‌برداری به ترتیب در اغلب ایستگاه‌ها در فصل زمستان و تابستان می‌باشد. این آلاینده‌ها (فلزات سنگین) پس از ورود به محیط آبی به تدریج در بستر آن به صورت‌های مختلفی هم‌چون فاز معدنی جامد، جذب سطحی به رسوبات دانه‌ریز و یا بقایای آلی تجمع می‌یابند. رسوبات ایستگاه‌های مختلف دارای مقادیر متفاوتی از فلزات می‌باشند که غلظت فلزات تجمع یافته در رسوب را می‌توان به ساختار شیمیایی رسوب، ریز و درشت بودن ذرات رسوبی، نرخ رسوب‌گذاری فلز از آب به رسوب، مواد آلی، میزان عناصر موجود در آب، شرایط فیزیکی‌وشیمیایی فلزات، هم‌چنین خصوصیات آب نظیر قلیائیت، میزان اکسیژن محلول، درجه حرارت و اسیدیته، نوع فلز و قابلیت در دسترس بودن زیستی آن نسبت داد (۳۸، ۴۳). یکی از عوامل موثر بر میزان غلظت فلزات سنگین در بستر، مواد آلی و معلق موجود در آب است (۴۴). در فصل زمستان بر اثر بارش، وزش بادهای و جریانات آبی، تلاطم و برهم خوردگی آب افزایش می‌یابد. با افزایش آشوب‌های دریایی و افزایش بار مواد معلق رسوبی، جذب فلزات از آب توسط ذرات معلق، بالامی‌گیرد. در تابستان که منطقه با کاهش رواناب‌های ورودی و جریانات آبی مواجه می‌گردد، در نتیجه مواد آلی و معلق محتوای فلزات در بستر دریا ته‌نشست می‌شوند و غلظت فلزات سنگین تجمع یافته در مواد معلق و مواد آلی رسوب بستر به حداکثر خود رسیده و نسبت به فصل زمستان افزایش قابل ملاحظه‌ای را نشان می‌دهد. Bilos و همکاران، گزارش دادند که تغییرات زیاد فلزات سنگین در رسوب یا ذرات معلق به علت تغییرات دینامیک آب می‌باشد (۴۵). از طرفی عامل اصلی ته‌نشینی رسوبات در آب‌دریاها و خورها به‌وسیله جریانات و دینامیک حرکت آب‌ها کنترل می‌شود (۴۶). با توجه به مطالعه حاضر، تجزیه و تحلیل غلظت فلز سنگین مس در رسوبات نزدیک به محل دفع پساب خروجی آب‌شیرین‌کن



- M., 2005. Assessing heavy metal contamination in Sado Estuary sediment: an index analysis approach. *Ecological Indicators*. 5: 151-169.
30. USEPA. 1996. Report: recent Developments for in Situ Treatment of Metals contaminated Soils, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste and Emergency Response.
  31. Dawoud, M.A. and Al Mulla, M.M., 2012. Environmental impacts of seawater desalination: Persian Gulf case study. *Int J Environ Sustain*. 1(3): 22-37.
  32. Hoepner, T. and Lattemann, S., 2002. Chemical impacts from seawater desalination plants - a case study of the northern Red Sea. *Desalination*. 152: 133-140.
  33. Khorasani, N.A., Shaygan, J.A. and Karimi Shahri, N., 2014. A Survey of Heavy Metal Concentration in the Upper Sediment Layers of Bandar Abbas Coasts. *Iranian Journal of Natural Resources*. 58(4): 869-861. (In Persian)
  34. Battelle and Exponent. 2000. Guide for Incorporating bioavailability adjustments into human health and ecological risk assessments at U.S. Navy and Marine Corps Facilities. Naval Facilities Engineering Command Washington. DC 20374-5065.
  35. Zhang, W., Feng, H., Chang, J., Qu, J., Xie, H. and Yu, L., 2009. Heavy metal contamination in surface sediments of Yangtze River intertidal zone: an assessment from different indexes. *Environmental pollution*. 157: 1533-1543.
  36. Bastami, K.D., Afkhami, M., Mohammadzadeh, M., Ehsanpour, M., Chambari, S., Aghaei, S., Esmaeilzadeh, M., Neyestani, M.R., Lagzaee, F. and Baniamam, M., 2015. Bioaccumulation and ecological risk assessment of heavy metals in the sediments and mullet *Liza klunzingeri* in the northern part of the Persian Gulf. *Marine Pollution Bulletin*. 94: 329-334.
  37. Huang, P., Li, T.G., Li, A.C., Yu, X.K. and Hu, N.J., 2014. Distribution, enrichment and sources of heavy metals in surface sediments of the North Yellow Sea. *Continental Shelf Research*. 73: 1-13.
  38. Pourang, N., Nikouyan, A. and Dennis, J., 2005. Trace element concentrations in fish, surficial sediments and water from northern part of the Persian Gulf. *Environmental monitoring and assessment*. 109: 293-316.
  39. Defew, L.H., Mair J.M. and Guzman, H.M., 2005. An assessment of metal contamination in mangrove sediments and leaves from Punta Mala Bay, Pacific Panama. *Marine Pollution Bulletin*. 50: 547-552.
  40. Veerasingam, S., Raja, P., Venkatachalapathy, R., Mohan, R. and Sutharsan, P., 2010. Distribution of Petroleum Hydrocarbon Concentration in Coastal Sediment along Tamilnadu Coast, India. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*. 5(2): 5-8.
  41. Mendiguchía, C., Moreno, C., Mánuel-Vez, M.P. and García-Vargas, M., 2006. Preliminary investigation on the enrichment of heavy metals in marine sediments originated from intensive aquaculture effluents. *Aquaculture*. 254: 317-325.
  42. Duodu, G.O., Goonetilleke, A. and Ayoko, G.A., 2016. Comparison of pollution indices for the assessment of heavy metal in Brisbane River sediment. *Environmental pollution*. 219: 1077-1091.
  43. Davari, A., Danehkar, A., Khorasani, N. and Poorbagher, H., 2010. Heavy metal contamination of sediments in mangrove forests of the Persian Gulf. *Journal of Food, Agriculture & Environment*. 8: 1281.
  44. Poté, J., Haller, L., Loizeau, J.L., Bravo, A.G., Sastre, V. and Wildi, W., 2008. Effects of a sewage treatment plant outlet pipe extension on the distribution of contaminants in the sediments of the Bay of Vidy, Lake Geneva, Switzerland. *Bioresource Technology*. 99: 7122-7131.
  45. Bilos, C., Colombo, J.C. and Presa, M.J., 1998. Trace metals in suspended particles, sediments and Asiatic clams (*Corbicula fluminea*) of the Río de la Plata Estuary, Argentina. *Environmental Pollution*. 99: 1-11.
  46. Maanan, M., 2008. Heavy metal concentrations in marine molluscs from the Moroccan coastal region. *Environmental Pollution*. 153: 176-183.
  9. Organisms from Daya Bay, China. *Journal of Marine Science and Engineering*. 9: 17.
  9. Sfakianakis, D., Renieri, E., Kentouri, M. and Tsatsakis, A., 2015. Effect of heavy metals on fish larvae deformities. *Environmental research*. 137: 246-255.
  10. Rabaoui, L., El Zrelli, R., Mansour, M.B., Balti, R., Mansour, L., Tlig-Zouari, S. and Guerfel, M., 2015. On the relationship between the diversity and structure of benthic macroinvertebrate communities and sediment enrichment with heavy metals in Gabes Gulf, Tunisia. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. 95: 233-245.
  11. Rahman, M.S., Saha, N., Molla, A.H. and Al-Reza, S.M., 2014. Assessment of anthropogenic influence on heavy metals contamination in the aquatic ecosystem components: water, sediment, and fish. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*. 23: 353-373.
  12. Agah, H., Hashtroudi, M. and Baeyens, W., 2012. Trace metals and heavy elements in sediments of the northern Persian gulf. *Journal of the Persian gulf*. 3: 45-58.
  13. Reynolds, R.M., 1993. Physical oceanography of the Gulf, Strait of Hormuz, and the Gulf of Oman-Results from the Mt Mitchell expedition. *Marine Pollution Bulletin*. 27: 35-59.
  14. Patnalk, P., 2002. *Inorganic Compounds-Handbooks*, manual, third edition, Springer-Verlag, Berlin. 365-390.
  15. Shorrocks, V.M. and Alloway, B.J., 1988. *Copper in Plant, Animal and Human Nutrition*. CDA Publication. 30-103.
  16. Mattioni, C., Gabbriellini, R., Vangronsveld, J. and Clijsters, H., 1997. Copper toxicity and enzymatic activity. *Journal of Plant Physiology*. 150: 173177.
  17. Petersen, K.L., Paytan, A., Rahav, E., Levy, O., Silverman, J., Barzel, O., Potts, D. and Bar-Zeev, E., 2018. Impact of brine and antiscalants on reef-building corals in the Gulf of Aqaba-Potential effects from desalination plants. *Water Research*. 144: 183-191.
  18. Oelkers, E.H., Hering, J.G. and Zhu, C., 2011. Water: Is there a global crisis? *Elements*. 7: 157-162.
  19. Prihasto, N., Liu, Q.F. and Kim, S.H., 2009. Pre-treatment strategies for seawater desalination by reverse osmosis system. *Desalination*. 249: 308-316.
  20. Jahangiri, M., Mohammadi, Gh.H. and Velayatzadeh, M., 2020. Measurements of Fe and Zn in muscle of Cobia fish (*Rachycentron canadum*) in different groups in the fishing waters of the Northwest longitudinal Persian Gulf. *J of Animal Environment*. 12(1): 191-200. (In Persian)
  21. Lattemann, S. and Höpner, T., 2008. Environmental impact and impact assessment of seawater desalination. *Desalination*. 220: 1-15.
  22. Miller, S., Shemer, H. and Semiat, R., 2015. Energy and environmental issues in desalination. *Desalination*. 366: 2-8.
  23. Chang, J.S., 2015. Understanding the role of ecological indicator use in assessing the effects of desalination plants. *Desalination*. 365: 416-433.
  24. Alshahri, F., 2017. Heavy metal contamination in sand and sediments near to disposal site of reject brine from desalination plant, Persian Gulf: Assessment of environmental pollution. *Environmental Science and Pollution Research*. 24(2): 1821-1831.
  25. Sharifinia, M., Afshari Bahmanbeigloo, Z., Smith Jr, W.O., Yap, C.K. and Keshavarzifard, M., 2019. Prevention is better than cure: Persian Gulf biodiversity vulnerability to the impacts of desalination plants. *Global change biology*. 25: 4022-4033.
  26. Edzwald, J.K. and Haarhoff, J., 2011. Seawater pretreatment for reverse osmosis: chemistry, contaminants, and coagulation. *Water research*. 45: 5428-5440.
  27. Andrews, B., Davé, B., López-Serrano, P., Tsai, S.-P., Frank, R., Wilf, M. and Koutsakos, E., 2008. Effective scale control for seawater RO operating with high feed water pH and temperature. *Desalination*. 220: 295-304.
  28. Greenlee, L.F., Freeman, B.D. and Lawler, D.F., 2014. Ozonation of phosphonate antiscalants used for reverse osmosis desalination: Parameter effects on the extent of oxidation. *Chemical Engineering Journal*. 244: 505-513.
  29. Caeiro, S., Costa, M., Ramos, T., Fernandes, F., Silveira, N., Coimbra, A., Medeiros, G. and Painho,