Archive of SID

ISSN: 2476-6887; Journal of Fisheries Science and Technology. 2019;8(1):39-49

Toxic Elements Bioavailability from Total Amount in Persian Gulf Surface Sediments

ARTICLE INFO

Article Type
Original Research

Authors
Nourozifard P.[1] *MSc,*
Mortazavi S.*[1] *PhD,*
Asad S.[2] *PhD,*
Hassanzadeh N.[1] *PhD*

How to cite this article
Nourozifard P, Mortazavi S, Asad S, Hassanzadeh N. Toxic Elements Bioavailability from Total Amount in Persian Gulf Surface Sediments. Journal of Fisheries Science and Technology. 2019;8(1):39-49.

[1]Environmental Department, Natural Recourses & Environmental Science Faculty, Malayer University, Malayer, Iran
[2]Biotechnology Department, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran

**Correspondence*
Address: Natural Recourses & Environmental Science Faculty, Malayer University, 4 Kilometer of Malayer to Arak Road, Malayer, Iran. Postal Code: 6571995863
Phone: +98 (81) 32355357
Fax: +98 (81) 3259841
mortazavi.s@gmail.com

Article History
Received: December 3, 2018
Accepted: January 22, 2019
ePublished: March 19, 2019

ABSTRACT

Aims Determining bioavailability fraction of the elements in sediments is an important topic in toxicology. Considering the specific conditions of the Persian Gulf and the impact of pollutants, the aim of the present study was to evaluation of toxic elements bioavailability from the total amount of surface sediments in the Persian Gulf.

Materials & Methods In the present study, the total concentration and bioavailability fraction of copper, lead, zinc, cadmium, nickel, and chromium were measured at 14 coastal stations of Hormozgan province and Qeshm island. Nitric acid and perchloric acid were used to measuring the total concentration and K protease enzyme solution was used to measuring the bioavailable fraction.

Findings Zinc and chromium have the highest mean of total concentration, respectively. Qeshm island has more pollution than Hormozgan. The higher bioavailability and higher percentage of components were observed in lead and chromium than the other elements. With increasing concentrations of lead, chromium, and copper, the bioavailability of these elements also increased. As well as, zinc and nickel showed the lowest bioavailability. The concentration of copper, lead, and nickel was also higher than the sediments world average and the WHO / US EPA maximum, and the nickel concentration was above the ERM, PEL, and SEL.

Conclusion Due to the low accuracy of determining the total concentration of metals in sediment toxicity for aquatics and the need to pay attention to bioavailability fraction, the probability of ecological risk of lead and chromium elements is higher than the other elements for aquatics of Persian Gulf. Zinc and nickel, have the lowest risk to the environment despite the high total concentration.

Keywords Multivariate Analyzes; Hormozgan Province; Qeshm Island; Bioavailability; Sediment Quality Guidelines; Toxic Elements

CITATION LINKS

[1] Environmental contamination and assessment ... [2] Geochemical speciation and ecological ... [3] Bioaccumulation and ecological risk assessment ... [4] Trace element geochemical associations ... [5] Metals in the water, sediment, and tissues of ... [6] Ability of 3 extraction methods ... [7] Geochemical fractionation and ecological risks assessment ... [8] Heavy metals in marine pollution ... [9] Salinity increases the mobility ... [10] Metal bioavailability in marine sediments ... [11] Environmental risk assessment for ... [12] Enzymatic mobilisation of trace ... [13] Pepsin-digestibility of contaminated estuarine ... [14] Estimation of lead and arsenic bioavailability ... [15] Using proteolytic enzymes to assess metal ... [16] Determination of heavy metals bonding in ... [17] New ecological risk indices for evaluating ... [18] The gulf: A young sea in ... [19] First genotoxicity assessment of marine ... [20] Assessment of Cu, Pb, and Zn contamination ... [21] Heavy metal concentrations in sediments ... [22] Vertical distribution and source identification of ... [23] Speciation and risk of heavy metals in ... [24] Heavy metal fractions and ecological risk assessment ... [25] Bioaccumulation of heavy metals (Pb, Fe & Zn) in ... [26] Metals (major, essential to non-essential) ... [27] The Bivalve Corbicula fluminalis (Müller, 1774): An ... [28] Nickel: A review of its sources and ... [29] Metal speciation in Jhanji River ... [30] Heavy metal pollution in a sewage-fed lake ... [31] Simultaneous sorption of Cd, Cu, Ni, Zn, Pb, and Cr on ... [32] The relationship between adsorption of heavy ... [33] Characterization of metal pollution in soils under ... [34] Fulvic acid: Modifier of metal-ion ... [35] Study of role organic matter in changes ... [36] Effect of Contamination and fractionation of heavy ... [37] Heavy metals in the environment: Origin, interaction ... [38] Heavy metals bio-availablity (Zn, Cd, Ni, Cu, and Pb) in ... [39] Geochemical speciation and risk assessment of ...

Copyright© 2019, TMU Press. This open-access article is published under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License which permits Share (copy and redistribute the material in any medium or format) and Adapt (remix, transform, and build upon the material) under the Attribution-NonCommercial terms.

www.SID.ir

Archive of SID

قابلیت دست‌یابی زیستی عناصر سمی از مقدار کل در رسوبات سطحی خلیج فارس

پریسا نوروزی‌فرد MSc
گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران
ثمر مرتضوی* PhD
گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران
صدیقه اسد PhD
گروه بیوتکنولوژی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران
نسرین حسن‌زاده PhD
گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

چکیده
مقدمه: تعیین بخش قابل دست‌یابی زیستی عناصر در رسوبات از موضوعات مهم سم‌شناسی است. با توجه به شرایط خاص خلیج فارس و تاثیر آلاینده‌ها، مطالعه حاضر با هدف ارزیابی قابلیت دست‌یابی زیستی عناصر سمی از مقدار کل در رسوبات سطحی خلیج فارس انجام شد.
مواد و روش‌ها: در مطالعه حاضر غلظت کلی و بخش قابل دست‌یابی زیستی عناصر مس، سرب، روی، نیکل و کروم در ۱۴ ایستگاه ساحلی استان هرمزگان و جزیره قشم اندازه‌گیری شد. به‌منظور تعیین غلظت کلی از ترکیبات نیتریک‌اسید و پرکلریک‌اسید برای سنجش بخش قابل دست‌یابی زیستی از محلول آنزیمی پروتئاز K استفاده شد.
یافته‌ها: بیشترین میانگین غلظت کلی مربوط به روی و کمترین مقدار آن مربوط به کروم بود و جزیره قشم آلودگی بیشتری را نسبت به هرمزگان داشت. سرب و کروم نسبت به سایر عناصر دست‌یابی زیستی و درصد سهم عنصری بیشتری دارند. با افزایش غلظت سرب، کروم و مس قابلیت دست‌یابی زیستی این عناصر نیز افزایش پیدا کرد. همچنین روی و نیکل کمترین مقادیر قابل دست‌یابی زیستی را نشان دادند. غلظت عناصر مس، سرب و نیکل نیز از میانگین جهانی رسوبات و حد بیشینه WHO/US EPA و عنصر نیکل از حد ERM، PEL و SEL بیشتر بود.
نتیجه‌گیری: با توجه به دقت پایین تعیین غلظت کلی فلزات در سمیت رسوبات برای آبزیان و لزوم توجه به بخش قابل دست‌یابی زیستی، احتمال ایجاد ریسک اکولوژیک سرب و کروم نسبت به سایر عناصر برای آبزیان خلیج فارس بیشتر است. اما روی و نیکل با وجود بالابودن غلظت کلی، کمترین تهدید را در محیط ایجاد می‌کنند.
کلیدواژه‌ها: آنالیز چندمتغیره، استان هرمزگان، جزیره قشم، دست‌یابی زیستی، رهنمودهای کیفیت رسوب، عناصر سمی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۰۲
*نویسنده مسئول: mortazavi.s@gmail.com

مقدمه

در سال‌های اخیر آلودگی بوم‌سازگان آبی با طیف متنوعی از انواع آلاینده‌ها توجه جهانی را به خود جلب کرده است[1]. حضور آلاینده‌ها در بوم‌سازگان آبی خلیج فارس به‌دلیل فاکتورهایی مانند زمان چرخش و تخلیه طولانی، عمق کم، شوری، دما و تبخیر بیشتر، پایدارتر و بر ساکنان این زیست‌بوم تاثیرگذارتر است. وجود منابع عظیم نفت و گاز، استخراج و انتقال آنها و استقرار صنایع مختلف از جمله پتروشیمی در حاشیه خلیج فارس منجر شد که از دیرباز به‌عنوان یکی از بوم‌سازگان آلوده جهان به‌ویژه از نظر فلزات سنگین به شمار رود[2-4]. فلزات سنگین شامل عناصر ضروری و غیرضروری به‌دلیل سمیت، پایداری، تجمع و بزرگ‌نمایی زیستی از اهمیت ویژه‌ای در بوم‌سم‌شناسی برخوردار هستند[5]. رسوبات منبع غذایی بسیاری از گونه‌ها بوده و هر ماده سمی موجود در آنها می‌تواند به گونه‌های آبزی منتقل شود[6]. با این که رسوبات یکی از واسطه‌های احتمالی در پایش سلامت بوم‌سازگان آبی هستند، کمی‌سازی سمیت فلزات سنگین و پتانسیل آنها برای تجمع زیستی با استفاده از محتوای کلی فلزات در رسوبات و سیستم‌های بیولوژیکی از دقت زیادی برخوردار نیست[7]. تعیین کمیت غلظت کلی عناصر سمی به‌تنهایی نمی‌تواند اطلاعات کافی برای ارزیابی صحیح اثرات ناسازگار بالقوه، تعاملات بین مواد شیمیایی یا مدت زمان دسترسی این مواد برای ارگانیزم‌های آبی در دسترس قرار دهد[8]. تحرک فلزات و دست‌یابی زیستی آنها به‌طور ویژه‌ای به تفکیک شیمیایی این فلزات بستگی دارد[9]. بخش قابل دست‌یابی زیستی عناصر سمی، حداکثر مقدار یک آلاینده است که در محیط معده- روده‌ای یک ارگانیزم در دسترس قرار گرفته و یا به‌صورت محلول است[10]. در محیط آبی فقط بخشی از غلظت کلی یک ماده شیمیایی به‌طور بالقوه برای جذب توسط موجودات زنده در دسترس است[11]. از آنجایی که بخشی از این آلاینده‌ها ممکن است توسط ارگانیزم‌های دریایی جذب شده و با تجمع در بدن موجود منجر به بروز اثرات ناسازگار شود، تخمین جزء قابل دست‌یابی زیستی فلزات سنگین در رسوبات دریایی آلوده برای درک میزان خطرات ناشی از آن در آبزیان بسیار ضروری است[8].

اکثر مطالعات برای دست‌یابی به آلاینده‌های موجود در رسوبات، معرف‌هایی مثل اسیدهای رقیق، بازها، الکترولیت‌ها و حلال‌ها را به کار می‌برند. این معرف‌ها آنزیم‌های هیدرولیتیک، سورفاکتانت‌ها و مواد شیمیایی حاصل از پیش هضم مواد غذایی موجود در محیط گوارشی موجودات کف‌زی را تکرار نمی‌کنند. مطالعات زیست‌سنجی، مایعات گوارشی جداشده از موجودات تغذیه‌کننده از رسوب را به‌منظور تعیین بخش قابل انحلال فلز در محلول روده‌ای به کار می‌گیرند[12]. این روش که به ارزیابی بخش قابل دست‌یابی زیستی آلاینده‌های متصل به رسوبات می‌پردازد، دقیق‌ترین روش است، اما به‌دلیل زمانبربودن استخراج مایعات گوارشی و جمع‌آوری ارگانیزم‌ها معمولاً این روش به کار نمی‌رود[10]. در این راستا شبیه‌سازی شرایط معده می‌تواند با استفاده از آنزیم‌های گوارشی تجاری در دسترس تحت شرایط اسیدی یا نزدیک به حالت خنثی انجام شود[10]. شرایط معده و روده نیز با استفاده از آنزیم‌های گوارشی مانند پپسین، تریپسین و پروتئاز K شبیه‌سازی می‌شود[6, 13, 14]. مطالعات اخیر

www.SID.ir

Archive of SID

پتانسیل پروتئاز K را برای کمی‌سازی مشابهت تعامل بین فلزات و مایعات گوارشی ارگانیزم‌های کف‌زی نشان دادند[10, 12, 15]. مطالعات متعددی به تعیین و تفکیک بخش قابل دست‌یابی زیستی با استفاده از روش‌های شیمیایی و زیستی پرداختند که از جمله می‌توان به مطالعه *تورنر*[12] در رسوبات خلیج تی‌مار در جنوب غربی اسپانیا، *یانی*[10] و همکاران در رسوبات خلیج درین در آلبانیا، *روزادو*[6] و همکاران در رسوبات خلیج هولوا در جنوب غربی اسپانیا، *ضرغامی*[16] و همکاران در رودخانه بهشهر و سد بندرعباس و *بنسون*[17] و همکاران در رسوبات خلیج گینه اشاره کرد.

مطالعات گسترده در خلیج فارس و اثبات حضور فلزات سنگین در رسوبات آن از یک سو و حضور گونه‌های مختلف کف‌زی و پتانسیل خطر این عناصر برای آنها از سوی دیگر، ضرورت سنجش و پایش غلظت این عناصر را اجتناب‌ناپذیر می‌کند. از آنجایی که امکان پیش‌بینی سمیت این عناصر برای آبزیان از طریق سنجش غلظت کلی آنها وجود ندارد، مطالعه حاضر با هدف بررسی مقدار قابل دست‌یابی زیستی عناصر سمی در رسوبات و همچنین پتانسیل خطر مربوطه برای کف‌زیان خلیج فارس انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی و ایستگاه‌های نمونه‌برداری

خلیج فارس به‌عنوان یک دریای نیمه‌بسته با نرخ تبخیر بسیار زیاد و زمان بازچرخش طولانی منجر به محدودیت رقیق‌شدن و پراکندگی آلاینده‌ها در محیط آبی خود می‌شود[18]. همچنین وقایع محیط زیستی، محدودیت‌های گردش آب، توسعه صنعتی، رشد جمعیت و نیاز به حفظ ارزش‌های اقتصادی و اجتماعی در منطقه با صنعت گردشگری، منجر به افزایش خطر آلودگی محیط زیستی می‌شود. درواقع در مقایسه با سیستم‌های دریایی باز، تشدید تنش‌های محیطی در این منطقه احتمالاً پیامدهای شدیدی دارد[19]. در این راستا هفت ایستگاه در نوار ساحلی استان هرمزگان در مجاورت خلیج فارس و هفت ایستگاه دیگر در سواحل شرقی جزیره قشم انتخاب شد (جدول ۱؛ شکل ۱).

نمونه‌برداری و آماده‌سازی رسوبات

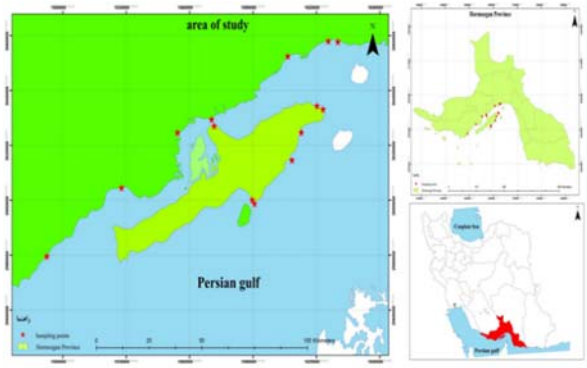
نمونه‌برداری در اواسط بهار سال ۱۳۹۶ انجام شد. در هر ایستگاه نمونه‌های رسوب سطحی از صفر تا ۱۰سانتی‌متر با سه تکرار به روش تصادفی برداشت و در کیسه پلاستیکی در دمای ۴C° به آزمایشگاه انتقال داده شد. نمونه‌ها در مجاورت هوا خشک و پس از کوبیدن با هاون چینی، ابتدا به منظور جداسازی اجزای خارجی و مواد اضافی از الک با شماره مش ۱۰ و سپس از الک با شماره مش ۲۳۰ (۶۳میکرون) عبور داده شدند.

تعیین غلظت کلی فلزات در رسوبات

به‌منظور تعیین غلظت کلی عناصر در نمونه‌های رسوب، ۰/۵گرم از هر نمونه با نیتریک‌اسید (HNO_3) ۶۵% فوق خالص (Merck؛ آلمان) و پرکلریک‌اسید ($HClO_4$) ۷۲% فوق خالص (Merck؛ آلمان) به نسبت ۴ به ۱ ترکیب شد[20]. نمونه‌ها در دستگاه هضم‌کننده ابتدا در دمای ۴۰°C به‌مدت یک ساعت و سپس برای هضم کامل در دمای ۱۴۰°C به‌مدت سه ساعت قرار داده شدند. پس از سردشدن، نمونه‌ها از کاغذ صافی ۴۲میکرونی عبور داده، به حجم نهایی ۲۵میلی‌لیتر رسانده[21] و در نهایت با دستگاه جذب اتمی مدل contrAA 700 (Analytik Jena؛ آلمان) خوانده شدند.

جدول ۱) موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه در سواحل استان هرمزگان و جزیره قشم

ایستگاه	موقعیت جغرافیایی
سواحل استان هرمزگان	
خور شیلات	۲۷°۱۱′۰۰″ E/۵۶°۱۹′۱۱″ N
اسکله نخل ناخدا	۲۷°۱۰′۳۹″ E/۵۶°۲۱′۵۳″ N
بندر پل (پهل)	۲۶°۵۸′۲۵/۶″ E/۵۵°۴۴′۵۵″ N
اسکله شیلات در بندر خمیر	۲۶°۵۶′۳۷″ E/۵۵°۳۵′۶۰″ N
برکه سفلین	۲۶°۴۷′۰۳″ E/۵۵°۱۸′۲۲″ N
قلعه پرتغالی‌ها واقع در بندر کنگ در بندرلنگه	۲۶°۳۵′۱۵″ E/۵۴°۵۶′۱۱″ N
خون سرخ	۲۷°۰۸′۵۸″ E/۵۶°۰۷′۳۳″ N
جزیره قشم	
کندالو	۲۶°۴۱′۵۸″ E/۵۵°۵۴′۴۹″ N
شیب‌دراز	۲۶°۴۱′۰۹″ E/۵۵°۵۵′۲۳″ N
رمچاه	۲۶°۵۳′۵۶″ E/۵۶°۰۹′۵۲″ N
دریاچه هامون	۲۶°۵۸′۴۳″ E/۵۶°۱۴′۴۶″ N
اسکله ذاکری	۲۶°۵۷′۵۷″ E/۵۶°۱۶′۲۳″ N
جزایر ناز	۲۶°۴۸′۴۷″ E/۵۶°۰۶′۴۲″ N
اسکله لافت	۲۶°۵۷′۰۷″ E/۵۵°۴۵′۳۰″ N



شکل ۱) موقعیت مکانی ایستگاه‌های مورد مطالعه در سواحل استان هرمزگان و جزیره قشم

تعیین بخش قابل دست‌یابی زیستی فلزات در رسوبات

تعیین بخش قابل دست‌یابی زیستی فلزات با استفاده از محلول پروتئاز K با غلظت ۰/۴میلی‌گرم بر میلی‌لیتر انجام شد[6]. پروتئاز K (P-8044) به‌صورت منجمد (سیگما آلدریچ؛ ایالات متحده) تهیه و در محلول بافر فسفات استاندارد شامل ۱/۱۷۹گرم پتاسیم‌دی‌هیدروژن‌فسفات (KH_2PO_4) و ۴/۳۰۰گرم

www.SID.ir

Archive of SID

سدیم‌هیدروژن‌فسفات (Na_2HPO_4) با اسیدیته برابر ۷/۴ درون آب مقطر حل شد. بخش قابل استخراج پروتئاز K از طریق هضم ۰/۵گرم از هر نمونه با ۲۵ میلی‌لیتر محلول پروتئاز K، به‌مدت سه ساعت در دمای اتاق با همزن مغناطیسی با سرعت ۲۵۰دور در دقیقه به دست آمد. سپس سوسپانسیون برای مدت ۲۰ دقیقه با سرعت ۴۲۰۰دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. در نهایت مایع رویی جدا و برای تعیین بخش قابل دست‌یابی زیستی فلزات مورد مطالعه از دستگاه جذب اتمی مدل contrAA 700 استفاده شد[6].

تعیین میزان ماده آلی (TOC)، اسیدیته (pH) و هدایت الکتریکی (EC) رسوبات

برای تعیین میزان ماده آلی، ابتدا نمونه‌ها طی یک شب در دمای ۶۰°C در آون خشک و سپس توسط هاون یکنواخت شدند. برای حذف کربن معدنی، ۱/۵-۱گرم از هر نمونه با ۲-۱میلی‌لیتر هیدروژن‌کلرید (HCl) ۱مولار ترکیب شد تا کربنات‌های آن حذف شود. همچنین برای حذف هیدروژن‌کلرید از نمونه‌ها، حدود ۱۰ ساعت در آون با دمای ۱۰۵-۱۰۰°C قرار داده شدند. در نهایت درصد ماده آلی از اختلاف وزن بوته چینی حاوی نمونه قبل و بعد از قرارگیری به‌مدت ۴ ساعت در دمای ۵۵۰°C درون کوره محاسبه شد[22, 23]. مقادیر اسیدیته و هدایت الکتریکی نمونه‌های رسوب با نسبت ۱:۵ رسوب به آب به ترتیب با استفاده از pHمتر مدل AZ86552 (AZ؛ تایوان) و ECمتر AZ86503 (AZ؛ تایوان) اندازه‌گیری شد[24].

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS 21 انجام شد. ابتدا نرمال‌بودن داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیروویلک بررسی شد. با توجه به نرمال‌بودن داده‌ها در ایستگاه‌های مختلف، به‌منظور بررسی روابط بین غلظت کل عناصر سمی، میزان قابل دست‌یابی زیستی هریک از عناصر، اسیدیته، ماده آلی و هدایت الکتریکی از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد. همچنین از آزمون تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) و خوشه‌بندی عناصر برای تعیین مهم‌ترین عناصر تاثیرگذار بر آلودگی منطقه و دسته‌بندی آنها استفاده شد. رسم نمودارها و محاسبات عددی نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel 2010 انجام شد.

یافته‌ها

میانگین غلظت کلی عناصر در رسوبات ایستگاه‌ها

بیشترین میانگین غلظت به عنصر روی و کمترین آن به عنصر کروم مربوط بود. به‌طور کلی در ایستگاه‌های مورد مطالعه در منطقه قشم مقادیر بیشتری از عناصر و آلاینده‌ها نسبت به ایستگاه‌های استان هرمزگان مشاهده شد (جدول ۲).

بخش قابل دست‌یابی زیستی عناصر در رسوبات

عناصر سرب و کروم بیشترین مقادیر قابل دست‌یابی زیستی را نشان دادند (جدول ۳).

درصد سهم بخش قابل دست‌یابی زیستی از غلظت کل عناصر

عناصر کروم و سرب بیشترین درصد قابل دست‌یابی زیستی را داشتند و نیکل و روی کمترین درصد را به خود اختصاص دادند (نمودار ۱).

پارامترهای فیزیکوشیمیایی رسوبات

میزان اسیدیته رسوبات اغلب در محدوده خنثی قرار داشت (جدول ۴).

همبستگی بین عناصر و پارامترهای فیزیکوشیمیایی رسوبات

همبستگی بین غلظت کلی عناصر، بخش قابل دست‌یابی زیستی و پارامترهای فیزیکوشیمیایی رسوبات به‌صورت ارتباط مثبت و معنی‌دار بین غلظت کلی و بخش قابل دست‌یابی زیستی عناصر مس و کروم بود (جدول ۵).

آنالیز آماری چند متغیره تحلیل مولفه‌های اصلی

در بخش مقادیر ویژه اولیه، برای هر یک از عامل‌ها در قالب مجموع واریانس تبیین‌شده برآورد شد. واریانس تبیین‌شده بر حسب درصدی از واریانس کل و درصد تجمعی بود. مقدار ویژه هر عامل نسبتی از واریانس کل متغیرها بود که توسط آن عامل تبیین شد. پایین‌بودن این مقدار برای یک عامل به معنی نقش اندک آن در تبیین واریانس متغیرها است. در بخش مجموع مربعات عامل‌های استخراج‌شده، واریانس تبیین‌شده عامل‌هایی ارایه شد که مقادیر ویژه آنها بزرگتر از عدد یک باشد. مجموع مربعات عامل‌های چرخش‌داده‌شده نشان‌دهنده مجموعه مقادیر عامل‌های استخراج‌شده بعد از چرخش بود. بر این اساس دو عامل قابلیت تبیین واریانس‌ها را داشتند. اگر عامل‌های به‌دست‌آمده با روش واریماکس (Varimax) چرخش داده شوند، عامل‌های اول و دوم به ترتیب ۶۷/۳۴۳ و ۲۱/۸۸۸ و در مجموع ۸۹/۲۳۱% از واریانس را در بردارند (جدول ۶).

ضرایب مربوط به سهم متغیرها در عامل‌ها قبل و بعد از چرخش، از یک‌سو توانایی عامل‌های تعیین‌شده در تبیین واریانس متغیرهای مورد مطالعه را نشان می‌دهد و از سویی می‌تواند برای بررسی تناسب متغیرها برای تحلیل عاملی استفاده شود. در ماتریس عامل‌های دوران‌یافته هر متغیر در عاملی قرار می‌گیرد که با آن عامل همبستگی بالای معنی‌داری داشته باشد (جدول ۷).

در مورد عامل‌های دوران یافته، پراکنش متغیرهای مورد بررسی نسبت به عامل‌های اول و دوم مشاهده شد (نمودار ۲).

خوشه‌بندی براساس غلظت کلی و بخش قابل دست‌یابی زیستی عناصر مورد مطالعه

عناصر سرب و کروم به ترتیب با میانگین غلظت ۲/۴۲±۲۸/۱۴ و ۲/۵۶±۱۸/۵۶میلی‌گرم بر کیلوگرم در یک خوشه قرار داشتند (نمودار ۳).

عناصر روی و نیکل به ترتیب با میانگین غلظت ۳۲/۰۹±۸۸/۸۵ و ۲۶/۵۷±۶۱/۳۳میلی‌گرم بر کیلوگرم و نیز مس با میانگین غلظت ۳۵/۴۸±۵۶/۴۱میلی‌گرم بر کیلوگرم در یک خوشه قرار گرفتند (نمودار ۴).

www.SID.ir

Archive of SID

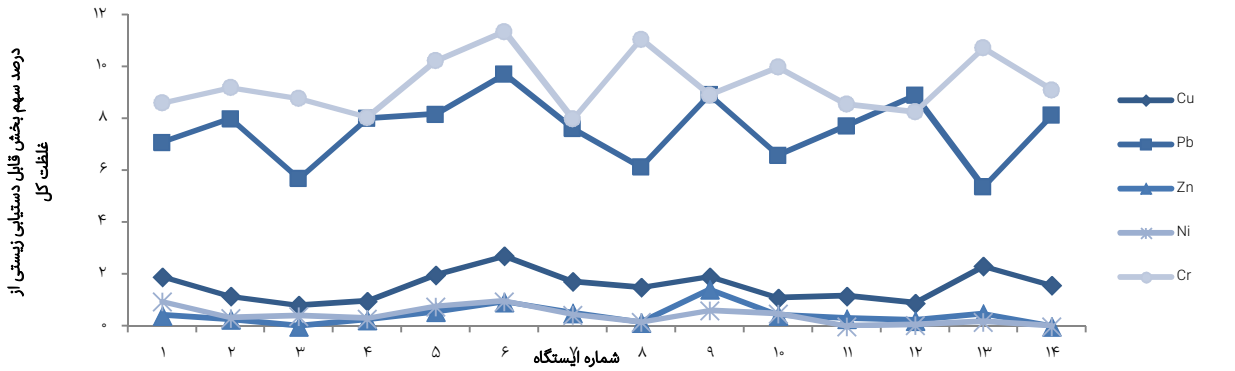
جدول ۲) میانگین آماری غلظت عناصر مختلف در رسوبات سطحی خلیج فارس (بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم)

ایستگاه	مس	سرب	روی	نیکل	کروم
سواحل استان هرمزگان					
خور شیلات	۳۱/۶۵±۰/۵۷	۲۶/۹۸±۰/۴۴	۷۱/۱۷±۱/۷۳	۵۷/۸۶±۲/۲۲	۲۲/۰۷±۰/۱۴
اسکله نخل ناخدا	۵۲/۳۲±۱/۵۷	۲۶/۸۴±۰/۰۶	۹۲/۹۴±۰/۰۲	۷۷/۱۰±۰/۱۳	۲۰/۱۱±۰/۴۵
بندر پل (پهل)	۵۵/۹۱±۰/۰۵	۲۷/۱۸±۰/۲۶	۱۰۵/۷۸±۰/۵۹	۸۷/۲۸±۰/۶۸	۱۹/۹۴±۰/۴۸
اسکله شیلات در بندر خمیر	۶۲/۱۱±۰/۸۵	۲۶/۸۱±۰/۲۵	۱۲۱/۵۲±۱/۶۹	۱۰۱/۶۲±۲/۶۴	۲۱/۷۱±۰/۴۶
برکه سفلین	۲۵/۲۶±۰/۸۲	۲۶/۲۸±۰/۰۹	۴۴/۷۲±۰/۱۶	۳۹/۰۶±۰/۴۳	۱۵/۶۳±۰/۱۹
قلعه پرتغالی‌ها	۲۲/۱۵±۰/۷۳	۲۵/۵۵±۰/۰۵	۴۷/۱۶±۰/۹۹	۲۵/۷۸±۰/۰۳	۱۵/۴۱±۰/۴۰
خون سرخ	۶۶/۵۹±۰/۶۳	۲۷/۶۶±۰/۰۸	۸۵/۸۶±۰/۱۶	۵۵/۵۷±۱/۴۲	۲۱/۲۷±۰/۶۵
جزیره قشم					
کندالو	۳۳/۳۲±۲/۴۵	۲۶/۸۵±۰/۶۸	۶۷/۵۰±۱/۶۸	۳۰/۱۰±۰/۴۳	۱۵/۳۷±۰/۱۵
شیب‌دراز	۳۱/۵۸±۰/۴۲	۲۶/۸۹±۰/۴۷	۷۶/۹۵±۸/۳۵	۴۸/۸۵±۴/۸۳	۱۶/۸۲±۰/۱۷
رمچاه	۱۱۰/۰۵±۱/۶۱	۲۸/۸۰±۰/۳۵	۱۰۴/۶۴±۰/۴۱	۶۱/۶۱±۰/۴۰	۱۷/۵۱±۰/۱۲
دریاچه هامون	۱۱۵/۴۰±۰/۶۱	۳۱/۶۹±۰/۲۸	۱۳۱/۸۸±۱/۵۶	۱۰۹/۴۶±۰/۱۶	۲۰/۴۵±۰/۱۵
اسکله ذاکری	۱۲۷/۸۶±۱/۳۱	۳۱/۹۸±۰/۱۲	۱۵۹/۲۲±۱/۷۹	۸۵/۳۸±۱/۱۳	۲۰/۵۷±۰/۲۸
جزایر ناز	۲۳/۷۵±۰/۰۷	۳۳/۴۸±۱/۷۴	۶۱/۸۱±۰/۵۶	۲۷/۳۵±۰/۲۲	۱۴/۸۲±۰/۲۳
اسکله لافت	۳۱/۷۵±۰/۲۴	۲۷/۰۱±۰/۰۸	۷۲/۷۰±۰/۶۲	۵۱/۵۹±۰/۳۰	۱۸/۱۰±۰/۰۴
میانگین کلی	۵۶/۴۱±۳۵/۴۸	۲۸/۱۴±۲/۴۲	۸۸/۸۵±۳۲/۰۹	۶۱/۳۳±۲۶/۵۷	۱۸/۵۶±۲/۵۶

جدول ۳) میانگین آماری غلظت قابل دست‌یابی زیستی عناصر در ایستگاه‌های مختلف (بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم)

ایستگاه	مس	سرب	روی	نیکل	کروم
سواحل استان هرمزگان					
خور شیلات	۰/۶۰±۰/۰۳	۱/۹۱±۰/۰۹	۰/۳۰±۰/۰۱	۰/۵۵±۰/۰۲	۱/۹۰±۰/۰۴
اسکله نخل ناخدا	۰/۶۰±۰/۰۳	۲/۱۵±۰/۰۲	۰/۲۵±۰/۰۳	۰/۲۵±۰/۰۱	۱/۸۵±۰/۰۳
بندر پل (پهل)	۰/۴۵±۰/۰۱	۱/۵۵±۰/۰۳	N.D.	۰/۳۵±۰/۰۳	۱/۷۵±۰/۰۲
اسکله شیلات در بندر خمیر	۰/۶۰±۰/۰۳	۲/۱۵±۰/۰۴	۰/۳۰±۰/۰۲	۰/۳۰±۰/۰۱	۱/۷۵±۰/۰۳
برکه سفلین	۰/۵۰±۰/۰۳	۲/۱۵±۰/۰۳	۰/۲۵±۰/۰۱	۰/۳۰±۰/۰۱	۱/۶۰±۰/۲۰
قلعه پرتغالی‌ها	۰/۶۰±۰/۰۵	۲/۴۸±۰/۱۱	۰/۴۵±۰/۰۳	۰/۲۵±۰/۰۳	۱/۷۵±۰/۰۴
خون سرخ	۱/۱۵±۰/۰۴	۲/۱۱±۰/۱۳	۰/۴۵±۰/۰۳	۰/۲۵±۰/۰۳	۱/۷۰±۰/۱۰
جزیره قشم					
کندالو	۰/۵۰±۰/۰۵	۱/۶۵±۰/۰۳	۰/۱۰±۰/۰۲	۰/۰۵±۰/۰۱	۱/۷۰±۰/۱۰
شیب‌دراز	۰/۶۰±۰/۰۷	۲/۴۰±۰/۲۰	۱/۱۰±۰/۰۵	۰/۳۰±۰/۰۳	۱/۵۰±۰/۰۱
رمچاه	۱/۲۰±۰/۰۳	۱/۹۰±۰/۰۶	۰/۴۵±۰/۰۱	۰/۳۰±۰/۰۷	۱/۷۵±۰/۰۳
دریاچه هامون	۱/۳۵±۰/۰۴	۲/۴۵±۰/۰۱	۰/۴۰±۰/۰۲۰	N.D.	۱/۷۵±۰/۰۱
اسکله ذاکری	۱/۱۵±۰/۰۴	۲/۸۵±۰/۰۴۵	۰/۳۵±۰/۰۳	۰/۰۵±۰/۰۱	۱/۷۰±۰/۰۴
جزایر ناز	۰/۵۵±۰/۰۲	۱/۸۰±۰/۱۰	۰/۳۰±۰/۰۲	۰/۰۵±۰/۰۱	۱/۵۹±۰/۰۵
اسکله لافت	۰/۵۰±۰/۰۲	۲/۲۰±۰/۰۲	N.D.	N.D.	۱/۶۵±۰/۰۲
میانگین کلی	۰/۷۴±۰/۳۱	۲/۱۳±۰/۳۵	۰/۳۴±۰/۲۶	۰/۲۱±۰/۱۶	۱/۷۱±۰/۱۱

یافت نشد= N.D.



نمودار ۱) بخش قابل دست‌یابی زیستی نسبت به غلظت کل عناصر مختلف (بر حسب درصد)

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴) مقادیر TOC، pH و EC در ایستگاه‌های مختلف

ایستگاه	TOC	pH	EC
سواحل استان هرمزگان			
خور شیلات	۵/۷۹	۷/۹۴	۱/۶۵
اسکله نخل ناخدا	۹/۸۳	۷/۵۹	۹/۱۷
بندر پل (پهل)	۹/۴۲	۷/۵۵	۹/۴۷
اسکله شیلات در بندر خمیر	۱۳/۸۰	۷/۷۳	۸/۴۹
برکه سفلین	۱۰/۰۹	۷/۵۲	۳/۹۸
قلعه پرتغالی‌ها	۶/۲۴	۷/۴۱	۳/۷۲
خون سرخ	۶/۳۱	۷/۴۳	۲/۸۱
جزیره قشم			
کندالو	۶/۹۶	۷/۶۴	۲/۱۶
شیب‌دراز	۸/۲۰	۷/۵۳	۳/۴۰
رمچاه	۷/۵۸	۶/۷۴	۴/۱۶
دریاچه هامون	۸/۹۰	۶/۶۳	۴/۱۵
اسکله ذاکری	۱۱/۹۴	۷/۰۶	۸/۰۳
جزایر ناز	۶/۷۷	۷/۰۱	۱/۷۵
اسکله لافت	۷/۷۰	۷/۶۰	۳/۲۳

جدول ۵) روابط بین غلظت عناصر و پارامترهای فیزیکوشیمیایی رسوبات

		میزان ماده آلی	هدایت الکتریکی	اسیدیته	بخش زیستی کروم	بخش زیستی نیکل	بخش زیستی روی	بخش زیستی سرب	بخش زیستی مس	غلظت کلی کروم	غلظت کلی نیکل	غلظت کلی روی	غلظت کلی سرب	غلظت کلی مس
غلظت کلی مس	R	۰/۳۹۵**	۰/۳۸۷*	-۰/۶۷۹**	۰/۲۰۳	-۰/۱۸۹	-۰/۰۱۵	۰/۳۷۹	۰/۸۶۹**	۰/۴۸۳**	۰/۷۰۲**	۰/۸۹۰**	۰/۵۱۵**	۱
	Sig	۰/۰۱۰	۰/۰۱۱	۰/۰۰۰	۰/۱۹۶	۰/۲۷۱	۰/۹۳۳	۰/۰۱۳	۰/۰۰۰*	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	
غلظت کلی سرب	R	۰/۰۷۵	-۰/۰۶۴	-۰/۷۳۳**	-۰/۱۴۱	-۰/۵۶۳**	-۰/۰۸۱	۰/۱۷۴	۰/۵۰۹**	۰/۰۱۸	۰/۲۲۱	۰/۴۷۲**	۱	
	Sig	۰/۶۳۹	۰/۶۸۶	۰/۰۰۰	۰/۳۷۴	۰/۰۰۰	۰/۶۴۰	۰/۲۷۱	۰/۰۰۱	۰/۹۱۰	۰/۱۶۱	۰/۰۰۲		
غلظت کلی روی	R	-۰/۶۱۸**	۰/۶۰۹**	-۰/۴۱۸**	۰/۲۱۱	-۰/۱۶۰	۰/۰۰۵	۰/۳۵۳*	۰/۶۲۷**	۰/۶۴۸**	۰/۸۶۲**	۱		
	Sig	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۶	۰/۱۸۰	۰/۳۵۲	۰/۹۷۶	۰/۰۲۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰			
غلظت کلی نیکل	R	۰/۶۶۴**	۰/۶۸۸**	-۰/۲۰۹	۰/۳۴۴*	۰/۲۴۴	-۰/۰۲۵	۰/۲۲۳	۰/۴۴۶**	۰/۷۸۴**	۱			
	Sig	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۱۸۴	۰/۰۲۶	۰/۱۵۱	۰/۸۸۴	۰/۱۵۶	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰				
غلظت کلی کروم	R	۰/۳۴۶*	۰/۴۵۰**	۰/۱۵۸	۰/۵۲۷**	۰/۴۵۳**	-۰/۰۷۰	۰/۱۴۸	۰/۳۷۰*	۱				
	Sig	۰/۰۲۵	۰/۰۰۳	۰/۳۱۸	۰/۰۰۰	۰/۰۰۵	۰/۶۸۶	۰/۳۴۹	۰/۰۱۶					
بخش زیستی مس	R	۰/۰۳۲	-۰/۰۰۸	-۰/۷۴۱**	۰/۱۲۰	-۰/۱۴۰	۰/۱۱۶	۰/۴۳۹*	۱					
	Sig	۰/۸۳۹	۰/۹۵۹	۰/۰۰۰	۰/۴۴۸	۰/۴۱۴	۰/۵۰۰	۰/۰۰۴						
بخش زیستی سرب	R	۰/۳۲۰*	۰/۱۴۰	-۰/۲۶۳	-۰/۱۱۹	-۰/۱۶۲	۰/۳۹۳*	۱						
	Sig	۰/۰۳۹	۰/۳۷۸	۰/۰۹۳	۰/۴۵۳	۰/۳۴۶	۰/۰۱۸							
بخش زیستی روی	R	-۰/۱۰۳	-۰/۱۱۷	-۰/۰۸۷	-۰/۴۳۶**	۰/۲۱۸	۱							
	Sig	۰/۵۴۸	۰/۴۹۷	۰/۶۱۳	۰/۰۰۸	۰/۲۲۲								
بخش زیستی نیکل	R	-۰/۱۱۷	۰/۰۱۱	۰/۵۰۲**	۰/۳۸۹*	۱								
	Sig	۰/۴۹۸	۰/۹۴۷	۰/۰۰۲	۰/۰۱۹									
بخش زیستی کروم	R	-۰/۰۱۱	۰/۲۵۵	۰/۱۴۶	۱									
	Sig	۰/۹۴۷	۰/۱۰۳	۰/۳۵۷										
اسیدیته	R	۰/۰۰۱	۰/۰۵۴	۱										
	Sig	۰/۹۹۳	۰/۷۵۳											
هدایت الکتریکی	R	۰/۷۸۶**	۱											
	Sig	۰/۰۰۰												
میزان ماده آلی	R	۱												
	Sig													

*p<۰/۰۵ ،**p<۰/۰۱

www.SID.ir

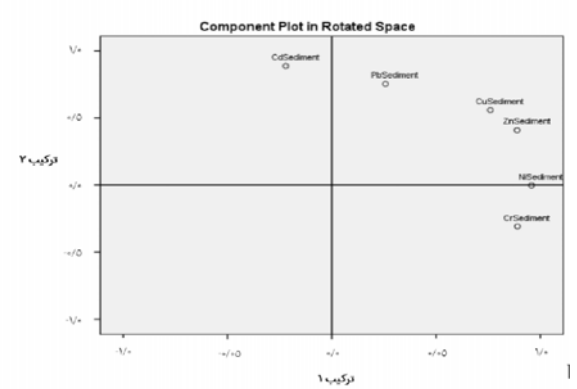
Archive of SID

جدول ۶) درصد واریانس و مقادیر ویژه عامل‌های مختلف

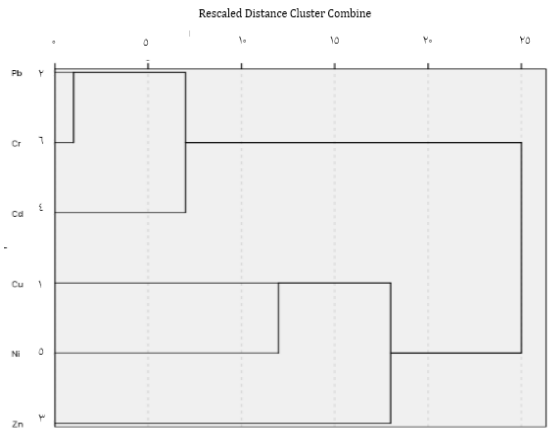
مولفه‌ها	۱	۲	۳	۴	۵	۶
مقادیر ویژه اولیه						
درصد تجمعی	۵۶/۲۰۱	۸۵/۳۸۳	۹۴/۲۰۶	۹۷/۲۴۸	۹۹/۴۲۴	۱۰۰/۰۰
درصد واریانس	۵۶/۲۰۱	۲۹/۱۸۲	۸/۸۲۳	۳/۰۴۲	۲/۱۷۷	۰/۵۷۶
کل	۳/۳۷۲	۱/۷۵۱	۰/۵۲۹	۰/۱۸۳	۰/۱۳۱	۰/۰۳۵
مجموع مربعات عامل‌های استخراج‌شده						
درصد تجمعی	۵۶/۲۰۱	۸۵/۳۸۳	-	-	-	-
درصد واریانس	۵۶/۲۰۱	۲۹/۱۸۲	-	-	-	-
کل	۳/۳۷۲	۱/۷۵۱	-	-	-	-
مجموع مربعات عامل‌های چرخش‌داده‌شده						
درصد تجمعی	۵۳/۱۹۸	۸۵/۳۸۳	-	-	-	-
درصد واریانس	۵۳/۱۹۸	۳۲/۱۸۵	-	-	-	-
کل	۳/۱۹۲	۱/۹۳۱	-	-	-	-

جدول ۷) ماتریس عاملی قبل و بعد از دوران

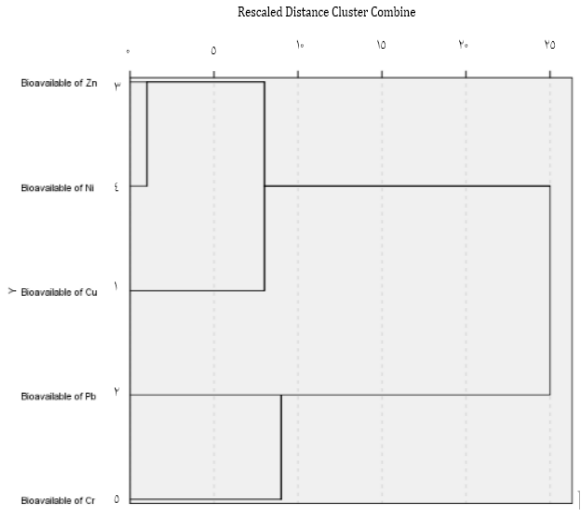
	مس	سرب	روی	نیکل	کروم
ماتریس عاملی دوران نیافته					
PC1	۰/۸۹۳	۰/۴۷۸	۰/۹۷۰	۰/۹۱۲	۰/۷۵۴
PC2	۰/۲۳۱	۰/۸۱۹	۰/۰۶۱	-۰/۲۷۷	۰/۵۳۸
ماتریس عاملی دوران یافته					
PC1	۰/۶۶۱	۰/۰۰۹	۰/۸۱۲	۰/۹۲۹	۰/۹۲۱
PC2	۰/۶۴۴	۰/۹۴۹	۰/۵۳۴	-۰/۲۱۲	-۰/۰۹۳



نمودار ۲) آنالیز مولفه‌های اصلی برای عامل‌های چرخش‌یافته



نمودار ۳) دندوگرام آنالیز خوشه‌بندی غلظت کلی عناصر در ایستگاه‌های مورد مطالعه در سواحل استان هرمزگان و جزیره قشم



نمودار ۴) دندوگرام آنالیز خوشه‌بندی بخش قابل دست‌یابی زیستی عناصر در ایستگاه‌های مورد مطالعه در سواحل استان هرمزگان و جزیره قشم

بحث

میانگین غلظت کلی عناصر در رسوبات ایستگاه‌ها

به‌طور کلی میانگین غلظت عناصر روی، نیکل، مس، سرب و کروم ترتیب کاهشی داشتند، به‌طوری که بیشترین میانگین غلظت به عنصر روی و کمترین آن به عنصر کروم مربوط شد. به نظر می‌رسد بیشتربودن غلظت عناصر در ایستگاه‌های مورد مطالعه در جزیره قشم نسبت به استان هرمزگان ناشی از جزیره‌ای و بسته‌بودن منطقه قشم و نیز وجود صنایع و اسکله‌های متعدد در مجاورت یکدیگر باشد. در مطالعه حاضر، بیشترین غلظت اغلب عناصر مربوط به ایستگاه‌های دریاچه هامون و اسکله ذاکری بود. مجاورت با شهرک‌های صنعتی، کارخانه‌های کشتی‌سازی و فعالیت‌هایی همچون ماهی‌گیری، قایق‌رانی و جت‌اسکی و نیز تردد وسایل نقلیه در منطقه تفریحی حوضچه هامون از دلایل اصلی بیشتربودن آلاینده‌ها در این منطقه بود که با نتایج *درویش‌نیا* و همکاران[25] هم‌خوانی دارد. همچنین ایستگاه ذاکری به‌دلیل ترافیک و تردد

www.SID.ir

Archive of SID

شناورهای مسافربری، تعمیرات، آب توازن آنها و نیز تخلیه فاضلاب تصفیه‌نشده شهری وضعیت آلودگی بیشتری را نشان داد.

بخش قابل دست‌یابی زیستی و درصد سهم آن از غلظت کل عناصر

به‌طور کلی دست‌یابی زیستی عناصری که در رسوبات ته‌نشین می‌شوند بیشتر از عناصری است که حضور و تحرک بیشتری در فازهای غیررسوبی آب دارند[6]. طبق مطالعه تورنر[12] پروتئاز K علاوه بر این که قادر است تعاملات بین مایعات گوارشی موجودات کف‌زی و فلزات سنگین را نشان دهد، ابزار اصلی آزادسازی فلزات از رسوبات آلوده است که در بی‌مهرگان از طریق ترکیب (کاتیون‌ها) یا تبادلات (اکسی‌آنیون‌ها) با لیگاندهای مواجه‌شده در محیط گوارشی انجام می‌شود. بخش قابل دست‌یابی زیستی عناصر سرب، کروم، مس، روی و نیکل ترتیب کاهشی را داشتند، به‌طوری که عناصر سرب و کروم بیشترین مقدار قابل دست‌یابی زیستی و بیشترین درصد سهم قابل دست‌یابی از غلظت کل عناصر را به خود اختصاص دادند. این یافته می‌تواند بیانگر ارتباط قوی بین غلظت کلی عنصر و بخش قابل دست‌یابی زیستی آن باشد. درواقع در بوم‌سازگان مورد مطالعه چنانچه غلظت کلی عناصر کروم و سرب بیشتر شود، احتمال ایجاد ریسک اکولوژیک برای زیست‌مندان آن بوم‌سازگان نسبت به سایر عناصر بیشتر خواهد بود. از سوی دیگر با توجه به این که این عناصر از فلزات غیرضروری برای موجودات زنده هستند، کنترل و پایش آنها در مناطق مورد مطالعه ضرورت بیشتری پیدا می‌کند[26].

با توجه به بیشتربودن مقادیر قابل دست‌یابی زیستی و غلظت کلی اغلب عناصر در ایستگاه‌های دریاچه هامون و اسکله ذاکری می‌توان گفت غلظت کلی عنصر موجود در رسوب نقش تعیین‌کننده‌ای در میزان قابلیت دست‌یابی زیستی آن دارد. نتایج مطالعه *روزادو*[6] و همکاران نیز نشان داد که مقدار غلظت کل عناصر سمی در رسوبات رابطه مثبت و معنی‌داری با مقدار عناصر در بخش قابل دست‌یابی زیستی برای کف‌زیان دارد. با این که بیشتربودن غلظت عناصر در محیط می‌تواند بر احتمال ایجاد سمیت ناشی از عنصر تاثیرگذار باشد، اما آنچه که در دست‌یابی موجود زنده به عنصر اهمیت دارد، بخش قابل دست‌یابی زیستی آن است. بر این اساس می‌توان گفت با وجود بیشتربودن غلظت کلی عنصر روی در محیط، از نظر دست‌یابی زیستی مقادیر کمتری را نشان می‌دهد که این موضوع می‌تواند به‌علت استفاده اکثر کف‌زیان از عنصر روی به‌عنوان ماده مغذی و تجمع این عنصر در پیکره این موجودات باشد[27]. به‌دلیل جذب بیشتر عنصر روی در بدن کف زیان، مقادیر آن در رسوبات کاهش پیدا می‌کند و از طرفی به‌دلیل ورود به ساختارهای فیزیولوژیک این موجودات کمتر تحت تاثیر آنزیم گوارشی و هضم‌کننده پروتئاز K قرار می‌گیرد. از سوی دیگر با این که عنصر نیکل بعد از روی بیشترین غلظت کلی را به خود اختصاص داده است، اما از نظر دست‌یابی زیستی بین عناصر مورد مطالعه دارای کمترین میزان است. عنصر نیکل قادر است در فرم‌های مختلفی همچون معدنی، کریستال‌های آلی، ترکیب یا جذب شده و بر سطوح کاتیون‌ها، محلول در آب، ترکیبات فلزی چلاته‌شده یا یون‌های آزاد، در محلول خاک وجود داشته باشد[28]. بخش زیادی از عنصر نیکل در جریان رسوبات در سیلیکات‌ها و اکسیدهای مواد معدنی جذب می‌شود که نسبت به هوازدگی نیز مقاوم هستند. انحلال بخش محدودی از Ni^{2+} ممکن است در pH اسیدی رخ دهد، اما به‌طور کلی تحرک این عنصر از طریق تمایل به جذب توسط رس معدنی، کمتر می‌شود. همچنین گرمای تبخیر، نقطه جوش و نیز نیمه عمر بالای عنصر نیکل می‌تواند از دلایل احتمالی پایداری این عنصر و دست‌یابی زیستی پایین آن باشد[28]. به این ترتیب می‌توان گفت این عنصر از لحاظ دست‌یابی زیستی نسبت به سرب و کروم خطر بوم‌سم‌شناسی کمتری در بوم‌سازگان مورد مطالعه ایجاد می‌کند.

همبستگی بین عناصر و پارامترهای فیزیکوشیمیایی رسوب

دست‌یابی زیستی عناصر از رسوبات برای موجودات زنده به شرایط محیطی و پارامترهای تاثیرگذار بر غلظت فلزات بستگی دارد. میزان دست‌یابی زیستی عناصر در محیط آبی، متاثر از تفکیک فرم‌های مختلف فلزی، مقادیر pH محیط و میزان کل ماده آلی است[29, 30]. مطالعات مختلف نشان می‌دهد که مقدار ماده آلی موجود در رسوبات نقش مهمی در جذب و پراکندگی فلزات دارد. بر این اساس در اسیدیته‌های خنثی یا قلیایی، ماده آلی مهم‌ترین عامل در جذب فلزاتی چون مس، روی و نیکل است[31]. در حقیقت ماده آلی با فراهم‌کردن مکان‌های پیوندی مناسب در رسوب، در جذب و چلاته‌شدن بسیاری از فلزات در رسوبات نقش دارد[32]. میزان درصد ماده آلی در ایستگاه‌های مختلف بین ۵/۷۹ تا ۱۳/۸۰ به دست آمد که کمترین و بیشترین مقدار آن به ترتیب مربوط به ایستگاه اول (خور شیلات) و ایستگاه چهارم (بندر خمیر- اسکله شیلات) بود. اسیدیته تعیین‌کننده مشخصه احیای محیط است[11]. این پارامتر در ایستگاه‌های مختلف در وضعیت خنثی و یا نزدیک به حالت خنثی قرار داشت. همچنین میزان هدایت الکتریکی در محدوده ۱/۶۵ برای ایستگاه اول (خور شیلات) تا ۹/۴۷ برای ایستگاه سوم (بندرپهل) بود.

بررسی روابط همبستگی برای نشان دادن ارتباط خطی میان دو متغیر به کار می‌رود. این رابطه می‌تواند اطلاعات مفیدی در مورد منشا، مسیر یا سرنوشت آلاینده‌ها در محیط ارایه دهد[33]. در بین همبستگی‌های به‌دست‌آمده، برخی روابط از اهمیت بیشتری برخوردار هستند.

بین میزان درصد کل ماده آلی و هدایت الکتریکی با غلظت کلی عنصر مس، روی، نیکل و کروم همبستگی مثبت و معنی‌داری برقرار بود. همچنین بین میزان ماده آلی و هدایت الکتریکی نیز ارتباط مثبت و معنی‌داری مشاهده شد. بر این اساس می‌توان گفت با افزایش هدایت الکتریکی و میزان درصد کل ماده آلی، غلظت عناصر مذکور افزایش یافته است. علت وجود ارتباط بین TOC و غلظت

www.SID.ir

Archive of SID

عناصر موجود در رسوبات، ساختار مواد آلی (مولکول‌هایی مانند کربوکسیل و فنولیک با گروه عاملی کربوکسیل) و تشکیل کمپلکس‌های موثر با فلزات است که باعث جذب و حفظ فلزات در ساختار شده و منجر به برقراری ارتباط بین مواد آلی و سطح فلزات موجود در رسوبات می‌شود. این کمپلکس در مقابل گسستگی مقاومت کرده و سبب جذب یا بازجذب آنها توسط فاز جامد رسوب می‌شود[34, 35]. انحلال‌پذیری عنصری همچون نیکل در آب به‌دلیل حضور کانی‌های رسی و ماده آلی در رسوبات بسیار محدود بوده و به همین علت این عنصر در رسوبات تخریبی دانه‌ریز و غنی از ماده آلی متمرکز می‌شود[36]. همچنین بین میزان ماده آلی و بخش قابل دست‌یابی زیستی فلز سرب در رسوبات نیز این ارتباط مثبت و معنی‌دار مشاهده شد. انحلال‌پذیری سرب در آب‌های طبیعی بسیار کم است و توسط مواد آلی یا هیدروکسیدهای آهن و منگنز و نیز کانی‌های رسی موجود در رسوبات جذب می‌شود. با این وجود غلظت کلی عنصر سرب در رسوبات ارتباط معنی‌داری با درصد ماده آلی موجود در رسوبات نشان نداد که این نتیجه با مطالعه *قشلاقی و رستمی*[36] هم‌خوانی دارد. وجود همبستگی مثبت معنی‌دار بین میزان ماده آلی و غلظت عنصر کروم می‌تواند به‌دلیل انحلال‌پذیری کم این عنصر در آب‌های طبیعی و جذب راحت آن به کانی‌های رسی و مواد آلی رسوبات باشد[37].

بین مقادیر اسیدیته با غلظت کلی عناصر مس، سرب و روی و بخش قابل دست‌یابی زیستی عنصر مس همبستگی منفی و معنی‌داری وجود داشت. با کاهش میزان این پارامتر و اسیدی‌شدن محیط غلظت این عناصر افزایش پیدا می‌کند.

بین غلظت کلی عناصر مس، سرب و کروم و بخش قابل دست‌یابی زیستی هر یک از این عناصر همبستگی مثبت و معنی‌داری مشاهده شد. با افزایش غلظت این عناصر میزان قابل دست‌یابی زیستی آنها افزایش پیدا می‌کند.

بین غلظت کلی عنصر مس با عناصر سرب، روی، نیکل و کروم، غلظت کلی عنصر سرب با روی و بین غلظت کلی عنصر روی با نیکل و کروم همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت. وجود ارتباط مثبت و معنی‌دار بین غلظت عناصر می‌تواند به وجود منبع مشترک و یا مشابه این عناصر مرتبط باشد[38].

تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA)

مقادیر ویژه دو مولفه استخراج شده قبل و بعد از چرخش بزرگتر از یک بودند. به این ترتیب می‌توان عناصر مورد مطالعه را به یک مدل دومولفه‌ای گروه‌بندی کرد که ۸۹/۲۳۱% کل تغییرات داده‌ها را به خود اختصاص می‌دهد. در ماتریس عامل‌های چرخش‌داده‌شده PC اول (با واریانس ۵۶/۱۵۵) شامل عناصر مس، روی، نیکل و کروم و PC دوم (با واریانس ۳۳/۰۷۶) شامل سرب و کادمیوم بود.

خوشه‌بندی براساس غلظت کلی و بخش قابل دست‌یابی زیستی عناصر

از لحاظ خوشه‌بندی براساس غلظت کلی، عناصر سرب و کروم در یک خوشه و عناصر مس و نیکل و نیز روی در خوشه دیگر قرار گرفتند. از نظر خوشه‌بندی براساس بخش قابل دست‌یابی زیستی عناصر، روی و نیکل به ترتیب با میانگین غلظت ۰/۲۶±۰/۳۴ و ۰/۱۶±۰/۲۱میلی‌گرم بر کیلوگرم و نیز مس با میانگین غلظت ۰/۳۱±۰/۷۴میلی‌گرم بر کیلوگرم در یک خوشه و عناصر سرب و کروم به ترتیب با میانگین غلظت ۰/۳۵±۲/۱۳ و ۰/۱۱±۱/۷۱میلی‌گرم بر کیلوگرم در خوشه دیگر قرار داشتند.

با توجه به خوشه‌بندی‌های می‌توان گفت عناصر روی، مس و نیکل در هر یک از دندوگرام‌های مربوط به غلظت کلی و بخش قابل دست‌یابی زیستی در یک خوشه قرار گرفته که می‌تواند بیانگر منبع مشترک و مشابه آنها در منطقه مورد مطالعه باشد. همچنین مقایسه غلظت کلی عناصر با میانگین جهانی رسوبات و نیز دست‌یابی زیستی کمتر این عناصر نسبت به عناصر خوشه دیگر (سرب و کروم) می‌توانند دلایلی مبنی بر منشا طبیعی آنها باشد. از سوی دیگر عناصر سرب و کروم با وجود مقادیر غلظت کلی کمتر نسبت به خوشه دیگر، دست‌یابی زیستی بیشتری را نشان دادند.

ارزیابی ریسک اکولوژیکی عناصر و مقایسه با استانداردهای کیفیت رسوب

توجه به غلظت عناصر سمی در رسوبات به‌دلیل تهدید حیات آبزیان اهمیت بسیاری دارد. استانداردهای کیفیت رسوب و مقادیر زمینه برای تعیین آلودگی فلزات سنگین در بوم‌سازگان آبی به‌طور گسترده‌ای در ارزیابی ریسک اکولوژیکی به کار می‌روند (جدول ۸)[17]. این وضعیت با سه مجموعه از رهنمودهای کیفیت رسوب مانند سطح آستانه احتمالی (TEL) و سطح اثر احتمالی (PEL)، کمینه سطح اثر (LEL) و سطح اثر شدید (SEL)، کمینه محدوده اثرات (ERL) و متوسط محدوده اثرات (ERM) ارزیابی می‌شود. این سه مجموعه عددی رهنمودهای کیفیت رسوب (SQGs) به‌طور مستقیم برای ارزیابی خطرات احتمالی ناشی از آلودگی عناصر سمی در رسوبات منطقه مورد مطالعه به کار می‌روند[39].

میانگین غلظت عناصر در استان هرمزگان، جزیره قشم و به‌طور کلی در خلیج فارس، غلظت عنصر نیکل از حد بیشینه رهنمودهای سازمان ملی آب و هوا و اقیانوس‌شناسی (NOAA)، رهنمودهای کیفیت رسوب کانادا (Canadian Guideline) و حد SEL بیشتر بود. به جز فلز مس که در محدوده بین حد کمینه و بیشینه قرار داشت، سایر عناصر مورد مطالعه از حد کمینه LEL، ERL و TEL کمتر بودند. مقایسه غلظت عناصر با میانگین جهانی رسوبات (WMS) و مقادیر حداکثر حدود سازمان بهداشت جهانی و سازمان حفاظت از محیط زیست ایالات متحده (بیشینه WHO/US EPA)، بیشتربودن غلظت فلزات مس، سرب و نیکل موجود در خلیج فارس از استانداردهای جهانی را نشان داد (جدول ۸).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۸) مقادیر راهنما برای عناصر سمی در رسوبات و اثرات آنها (بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک)

			مس	سرب	روی	نیکل	کروم	منبع
رهنمودهای NOAA	<TEL	با اثرات بیولوژیکی ناسازگار مواجه نمی‌شود.	۳۴-۲۷۰	۴۶/۷-۲۱۸	۱۵۰-۴۱۰	۲۰/۹-۵۱/۶	۸۱-۳۷۰	[39]
	TEL-PEL	ممکن است به‌طور تصادفی با اثرات بیولوژیکی ناسازگار مواجه شود.						
	>PEL	به میزان زیادی با اثرات بیولوژیکی ناسازگار مواجه می‌شود.						
رهنمودهای کیفیت رسوب کانادا	<LEL	رسوبات لایروبی‌شده ممکن است آلوده نباشند.	۱۸/۷-۱۰۸	۳۰/۲-۱۱۲	۱۲۴-۲۷۱	۱۵/۹-۴۲/۸	۵۲/۳-۱۶۰	[39]
	LEL-SEL	اثر متوسط است.						
	>SEL	به شدت تحت تاثیر قرار گرفته است.						
رهنمودهای ERL و ERM	<ERL	کمینه حد اثرات	۱۶-۱۱۰	۳۱-۱۱۰	۱۲۰-۲۷۰	۱۶-۵۰	۲۶-۱۱۰	[38]
	ERL-ERM	اثرات به‌طور تصادفی رخ می‌دهند.						
	>ERM	اثرات به‌وفور رخ می‌دهند.						
میانگین جهانی رسوبات			۳۳	۱۹	۹۵	۵۲	۷۲	[36]
بیشینهWHO/USEPA			۲۵	۱۰	۱۲۳	۲۰	۲۵	[1]
استان هرمزگان			۴۵/۱۴	۲۶/۷۶	۸۱/۳۱	۶۳/۴۷	۱۹/۴۵	مطالعه حاضر
جزیره قشم			۶۷/۶۷	۲۹/۵۳	۹۶/۳۹	۵۹/۱۹	۱۷/۶۶	مطالعه حاضر
خلیج فارس			۵۶/۴۱	۲۸/۱۴	۸۸/۸۵	۶۱/۳۳	۱۸/۵۶	مطالعه حاضر

نتیجه‌گیری

با توجه به دقت پایین تعیین غلظت کلی فلزات در سمیت رسوبات برای آبزیان و لزوم توجه به بخش قابل دست‌یابی زیستی، احتمال ایجاد ریسک اکولوژیک سرب و کروم نسبت به سایر عناصر برای آبزیان خلیج فارس بیشتر است. در این میان روی و نیکل با وجود بالابودن غلظت کلی، کمترین تهدید را در محیط ایجاد می‌کنند.

تشکر و قدردانی: نویسندگان بر خود لازم می‌دانند که از سرپرست محترم آزمایشگاه‌های دانشگاه ملایر جناب آقای مهندس مصطفی میرشاه‌ولد و نیز کلیه مسئولان و کارشناسان آزمایشگاه‌های محیط زیست و زیست‌شناسی این دانشگاه که در راستای فراهم‌کردن امکانات لازم برای انجام این پژوهش همکاری داشتند، تشکر و قدردانی به عمل آورند.

تاییدیه اخلاقی: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

تعارض منافع: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

سهم نویسندگان: (پریسا نوروزی‌فرد)، پژوهشگر اصلی/نگارنده بحث (۲۵%)؛ (ثمر مرتضوی)، روش‌شناس/نگارنده بحث (۲۵%)؛ (صدیقه اسد)، نگارنده مقدمه/نگارنده بحث (۲۵%)؛(نسرین حسن‌زاده)، تحلیلگر آماری/نگارنده بحث (۲۵%).

منابع مالی: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

منابع

1- Mortuza MG, Al-Misned FA. Environmental contamination and assessment of heavy metals in water, sediments and shrimp of Red Sea Coast of Jizan, Saudi Arabia. J Aquat Pollut Toxicol. 2017;1(1):5.

2- Neyestani MR, Bastami KD, Esmaeilzadeh M, Shemirani F, Khazaali A, Molamohyeddin N, et al. Geochemical speciation and ecological risk assessment of selected metals in the surface sediments of the northern Persian Gulf. Mar Pollut Bull. 2016;109(1):603-11.

3- Bastami KD, Afkhami M, Mohammadizadeh M, Ehsanpour M, Chambari Sh, Aghaei S, et al. Bioaccumulation and ecological risk assessment of heavy metals in the sediments and mullet Liza klunzingeri in the northern part of the Persian Gulf. Mar Pollut Bull. 2015;94(1-2):329-34.

4- Abaychi JK, Douabul AA. Trace element geochemical associations in the Arabian Gulf. Mar Pollut Bull. 1986;17(8):353-6.

5- Weber P, Behr ER, De Lellis Knorr C, Vendruscolo DS, Flores EMM, Dressler VL, et al. Metals in the water, sediment, and tissues of two fish species from different trophic levels in a subtropical Brazilian river. Microchem J. 2013;106:61-6.

6- Rosado D, Usero J, Morillo J. Ability of 3 extraction methods (BCR, Tessier and protease K) to estimate bioavailable metals in sediments from Huelva estuary (Southwestern Spain). Mar Pollut Bull. 2016;102(1):65-71.

7- Benson NU, Udosen ED, Essien JP, Anake WU, Adedapo AE, Akintokun OA, et al. Geochemical fractionation and ecological risks assessment of benthic sediment-bound heavy metals from coastal ecosystems off the Equatorial Atlantic Ocean. Int J Sediment Res. 2017;32(3):410-20.

8- Ansari TM, Marr IL, Tariq N. Heavy metals in marine pollution perspective-a mini review. J Appl Sci. 2004;4(1):1-20.

9- Zhao Sh, Feng Ch, Wang D, Liu Y, Shen Z. Salinity increases the mobility of Cd, Cu, Mn, and Pb in the

www.SID.ir

Archive of SID

sediments from urban, rural and reclamation-affected rivers of the Pearl River Estuary, China. Chemosphere. 2017;184:278-88.
25- Darvishnia Z, Riahi Bakhtiari A, Kamrani E, Sadjjadi MM. Bioaccumulation of heavy metals (Pb, Fe & Zn) in the tissues of skeletal coral family, faviidae and surrounding sediments in the south of Qeshm Island-the Persian Gulf. J Aquat Ecol. 2015;5(1):77-87. [Persian]
26- Yılmaz AB, Sangün MK, Yağlıoğlu D, Turan C. Metals (major, essential to non-essential) composition of the different tissues of three demersal fish species from Iskenderun Bay, Turkey. Food Chem. 2010;123(2):410-5.
27- Movahedi H, Fattollahi M, Pir Ali E, Zamani Ahmad Mahmoudi R. The Bivalve Corbicula fluminalis (Müller, 1774): An indicator for heavy metals accumulation in the habitat of Zayandeh-Roud River. J Aquat Ecol. 2016;6(3):33-44. [Persian]
28- Cempel M, Nikel G. Nickel: A review of its sources and environmental toxicology. Pol J Environ Stud. 2006;15(3):375-82.
29- Baruah NK, Kotoky P, Bhattacharyya KG, Borah GC. Metal speciation in Jhanji River sediments. Sci Total Environ. 1996;193(1):1-12.
30- Shrivastava P, Saxena A, Swarup A. Heavy metal pollution in a sewage-fed lake of Bhopal, (MP) India. Lakes Reserv Res Manag. 2003;8(1):1-4.
31- Gao S, Walker WJ, Dahlgren RA, Bold J. Simultaneous sorption of Cd, Cu, Ni, Zn, Pb, and Cr on soils treated with sewage sludge supernatant. Water Air Soil Pollut. 1997;93(1-4):331-45.
32- Lin JG, Chen SY. The relationship between adsorption of heavy metal and organic matter in river sediments. Environ Int. 1998;24(3):345-52.
33- Qishlaqi A, Moore F, Forghani G. Characterization of metal pollution in soils under two landuse patterns in the Angouran region, NW Iran; a study based on multivariate data analysis. J Hazard Mater. 2009;172(1):374-84.
34- Saar RA, Weber JH. Fulvic acid: Modifier of metal-ion chemistry. Environ Sci Technol. 1982;16(9):510A-7A.
35- Kalantar Hormozi S, Javaheri Baboli M, Askari Sari A. Study of role organic matter in changes concentrations Nickel, Mercury and Cadmium in sediment and leaf Avicennia Marina in the Bandar Imam Khomeini. J Mar Sci Technol. 2012;11(1):68-76. [Persian]
36- Qishlaqi A, Rostami Sh. Contamination and fractionation of heavy metals in bedload sediments of the Siahrood River (Qaem-Shar area-Mazandaran Province). J Stratigr Sedimentol Res. 2016;32(2):73-90. [Persian]
37- Bradl H, editor. Heavy metals in the environment: Origin, interaction and remediation. 1st Edition. Amsterdam: Elsevier; 2005.
38- Arfania H, Asadzadeh F. Heavy metals bio-availablity (Zn, Cd, Ni, Cu, and Pb) in sediments of Abshineh River. J Soil Manag Sustain. 2016;5(4):133-46. [Persian]
39- Sundaray SK, Nayak BB, Lin S, Bhatta D. Geochemical speciation and risk assessment of heavy metals in the river estuarine sediments-a case study: Mahanadi basin, India. J Hazard Mater. 2011;186(2-3):1837-46.
sediments of Yangtze Estuary: Relative role of sediments' properties and metal speciation. Chemosphere. 2013;91(7):977-84.
10- Ianni C, Bignasca A, Magi E, Rivaro P. Metal bioavailability in marine sediments measured by chemical extraction and enzymatic mobilization. Microchem J. 2010;96(2):308-16.
11- Isimekhai KA. Environmental risk assessment for an informal e-waste recycling site in Lagos State, Nigeria [Dissertation]. London: Middlesex University; 2017.
12- Turner A. Enzymatic mobilisation of trace metals from estuarine sediment. Mar Chem. 2006;98(2-4):140-7.
13- Turner A, Henon DN, Dale JLL. Pepsin-digestibility of contaminated estuarine sediments. Estuar Coast Shelf Sci. 2001;53(5):671-81.
14- Ruby MV, Davis A, Schoof R, Eberle S, Sellstone CM. Estimation of lead and arsenic bioavailability using a physiologically based extraction test. Environ Sci Technol. 1996;30(2):422-30.
15- Bignasca A, Ianni C, Magi E, Rivaro P. Using proteolytic enzymes to assess metal bioaccessibility in marine sediments. Talanta. 2011;86:305-15.
16- Zarghami F, Biati A, Karbassi AR. Determination of heavy metals bonding in various sedimentary phases in Behshahr River and Abbas Abad dam. J Environ Sci Technol. 2017;19(5):287-97. [Persian]
17- Benson NU, Adedapo AE, Fred-Ahmadu OH, Williams AB, Udosen ED, Ayejuyo OO, et al. New ecological risk indices for evaluating heavy metals contamination in aquatic sediment: A case study of the Gulf of Guinea. Reg Stud Mar Sci. 2018;18:44-56.
18- Sheppard Ch, Al-Husiani M, Al-Jamali F, Al-Yamani F, Baldwin R, Bishop J, et al. The gulf: A young sea in decline. Mar Pollut Bull. 2010;60(1):13-38.
19- Leitão A, Al-Shaikh I, Hassan H, Hamadou RB, Bach S. First genotoxicity assessment of marine environment in Qatar using the local Pearl oyster Pinctada radiata. Reg Stud Mar Sci. 2017;11:23-31.
20- Yap CK, Pang BH. Assessment of Cu, Pb, and Zn contamination in sediment of north western Peninsular Malaysia by using sediment quality values and different geochemical indices. Environ Monit Assess. 2011;183(1-4):23-39.
21- Ismail A. Heavy metal concentrations in sediments off Bintulu, Malaysia. Mar Pollut Bull. 1993;26(12):706-7.
22- Bakhtiari AR, Zakaria MP, Yaziz MI, Lajis MN, Bi X, Rahim MC. Vertical distribution and source identification of polycyclic aromatic hydrocarbons in anoxic sediment cores of Chini Lake, Malaysia: Perylene as indicator of land plant-derived hydrocarbons. Appl Geochem. 2009;24(9):1777-87.
23- Gu YG, Lin Q, Yu ZL, Wang XN, Ke CL, Ning JJ. Speciation and risk of heavy metals in sediments and human health implications of heavy metals in edible nekton in Beibu Gulf, China: A case study of Qinzhou Bay. Mar Pollut Bull. 2015;101(2):852-9.
24- Zhang G, Bai J, Xiao R, Zhao Q, Jia J, Cui B, et al. Heavy metal fractions and ecological risk assessment in

www.SID.ir