

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.

¹Environmental Department, Natural Resources & Environmental Science Faculty, Malayer University, Malayer, Iran

²Biotechnology Department, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran

*Correspondence

Address: Natural Resources & 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-availability (Zn, Cd, Ni, Cu, and Pb) in ... [39] Geochemical speciation and risk assessment of ...

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

پریسا نوروزی فرد MSc

گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

ثمر مرتضوی PhD

گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

صدیقه اسد PhD

گروه بیوتکنولوژی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران

نسرين حسن زاده PhD

گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

چکیده

مقدمه: تعیین بخش قابل دستیابی زیستی عناصر در رسوبات از موضوعات مهم سم شناسی است. با توجه به شرایط خاص خلیج فارس و تاثیر آلاینده ها، مطالعه حاضر با هدف ارزیابی قابلیت دستیابی زیستی عناصر سمی از مقدار کل در رسوبات سطحی خلیج فارس انجام شد.

مواد و روش ها: 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 اندازه گیری شد. به منظور تعیین غلظت کلی از ترکیبات نیتریک اسید و پرکلریک اسید برای سنجش بخش قابل دستیابی زیستی از محلول آنزیمی پروتئاز K استفاده شد.

یافته ها: 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.

نتیجه گیری: با توجه به دقت پایین تعیین غلظت کلی فلزات در سمیت رسوبات برای آبریان و لزوم توجه به بخش قابل دستیابی زیستی، احتمال ایجاد ریسک اکولوژیک سرب و کروم نسبت به سایر عناصر برای آبریان خلیج فارس بیشتر است. اما روی و نیکل با وجود بالابودن غلظت کلی، کمترین تهدید را در محیط ایجاد می کنند.

کلیدواژه ها: 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 سال های اخیر آلودگی بوم سازگان آبی با طیف متنوعی از انواع آلاینده ها توجه جهانی را به خود جلب کرده است [1]. حضور آلاینده ها

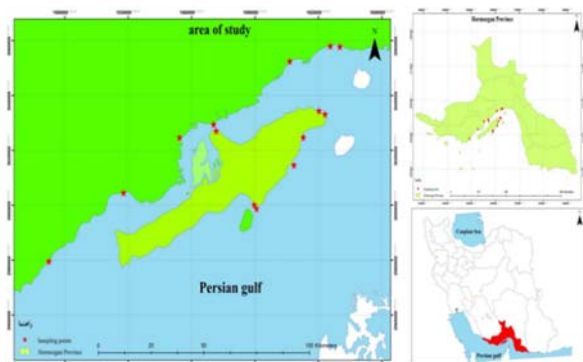
در بوم سازگان آبی خلیج فارس به دلیل فاکتورهایی مانند زمان چرخش و تخلیه طولانی، عمق کم، شوری، دما و تبخیر بیشتر، پایدارتر و بر ساکنان این زیست بوم تاثیرگذارتر است. وجود منابع عظیم نفت و گاز، استخراج و انتقال آنها و استقرار صنایع مختلف از جمله پتروشیمی در حاشیه خلیج فارس منجر شد که از دیرباز به عنوان یکی از بوم سازگان آلوده جهان به ویژه از نظر فلزات سنگین به شمار رود [2-4]. فلزات سنگین شامل عناصر ضروری و غیرضروری به دلیل سمیت، پایداری، تجمع و بزرگ نمایی زیستی از اهمیت ویژه ای در بوم سم شناسی برخوردار هستند [5]. رسوبات منبع غذایی بسیاری از گونه ها بوده و هر ماده سمی موجود در آنها می تواند به گونه های آبی منتقل شود [6]. با این که رسوبات یکی از واسطه های احتمالی در پایش سلامت بوم سازگان آبی هستند، کمی سازی سمیت فلزات سنگین و پتانسیل آنها برای تجمع زیستی با استفاده از محتوای کلی فلزات در رسوبات و سیستم های بیولوژیکی از دقت زیادی برخوردار نیست [7]. تعیین کمیت غلظت کلی عناصر سمی به تنهایی نمی تواند اطلاعات کافی برای ارزیابی صحیح اثرات ناسازگار بالقوه، تعاملات بین مواد شیمیایی یا مدت زمان دسترسی این مواد برای ارگانیزم های آبی در دسترس قرار دهد [8]. تحرک فلزات و دستیابی زیستی آنها به طور ویژه ای به تفکیک شیمیایی این فلزات بستگی دارد [9]. بخش قابل دستیابی زیستی عناصر سمی، حداکثر مقدار یک آلاینده است که در محیط معده- روده ای یک ارگانیزم در دسترس قرار گرفته و یا به صورت محلول است [10]. در محیط آبی فقط بخشی از غلظت کلی یک ماده شیمیایی به طور بالقوه برای جذب توسط موجودات زنده در دسترس است [11]. از آنجایی که بخشی از این آلاینده ها ممکن است توسط ارگانیزم های 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 آبریان بسیار ضروری است [8].

اکثر مطالعات برای دستیابی به آلاینده های موجود در رسوبات، معرف هایی مثل اسیدهای رقیق، بازها، الکترولیت ها و حلال ها را به کار می برند. این معرف ها آنزیم های هیدرولیتیک، سورفاکتانت ها و مواد شیمیایی حاصل از پیش هضم مواد غذایی موجود در محیط گوارشی موجودات کفزی را تکرار نمی کنند. مطالعات زیست سنجی، مایعات گوارشی جدا شده از موجودات تغذیه کننده از رسوب را به منظور تعیین بخش قابل انحلال فلز در محلول روده ای به کار می گیرند [12]. این روش که به ارزیابی بخش قابل دستیابی زیستی آلاینده های متصل به رسوبات می پردازد، دقیق ترین روش است، اما به دلیل زمانبردن استخراج مایعات گوارشی و جمع آوری ارگانیزم ها معمولاً این روش به کار نمی رود [10]. در این راستا شبیه سازی شرایط معده می تواند با استفاده از آنزیم های گوارشی تجاری در دسترس تحت شرایط اسیدی یا نزدیک به حالت خنثی انجام شود [10]. شرایط معده و روده نیز با استفاده از آنزیم های گوارشی مانند پپسین، تریپسین و پروتئاز K شبیه سازی می شود [13، 14، 16]. مطالعات اخیر

به نسبت ۴ به ۱ ترکیب شد [20]. نمونه‌ها در دستگاه هضم‌کننده ابتدا در دمای ۴۰°C به مدت یک ساعت و سپس برای هضم کامل در دمای ۱۴۰°C به مدت سه ساعت قرار داده شدند. پس از سرد شدن، نمونه‌ها از کاغذ صافی ۴۲ میکرونی عبور داده، به حجم نهایی ۲۵ میلی‌لیتر رسانده [21] و در نهایت با دستگاه جذب اتمی مدل Analytik Jena) contrAA 700؛ 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 ۰/۴ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر انجام شد [6]. پروتئاز K (P-8044) به صورت منجمد (سیگما آلدریج؛ ایالات متحده) تهیه و در محلول بافر فسفات استاندارد شامل ۱/۱۷۹ گرم پتاسیم‌دی‌هیدروژن‌فسفات (KH_2PO_4) و ۴/۳۰۰ گرم

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 تونز [12] در رسوبات خلیج تی‌مار در جنوب غربی اسپانیا، یانی [10] و همکاران در رسوبات خلیج درین در آلبانیا، روزاردو [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 ۱۰ سانتی‌متر با سه تکرار به روش تصادفی برداشت و در کیسه پلاستیکی در دمای ۴°C 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 (۶۳ میکرون) عبور داده شدند.

تعیین غلظت کلی فلزات در رسوبات

به‌منظور تعیین غلظت کلی عناصر در نمونه‌های رسوب، ۵/۰ گرم از هر نمونه با نیتریک‌اسید (HNO_3) ۶۵٪ فوق خالص (Merck؛ آلمان) و پرکلریک‌اسید (HClO_4) ۷۲٪ فوق خالص (Merck؛ آلمان)

درصد سهم بخش قابل دستیابی زیستی از غلظت کل 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 به صورت ارتباط مثبت و معنی دار بین غلظت کلی و بخش قابل دستیابی زیستی عناصر مس و کروم بود (جدول ۵).

آنالیز آماری چند متغیره تحلیل مولفه های اصلی

در بخش مقادیر ویژه اولیه، برای هر یک از عاملها در قالب مجموع واریانس تبیین شده برآورد شد. واریانس تبیین شده 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. پایین بودن این مقدار برای یک عامل به معنی نقش اندک آن در تبیین واریانس متغیرها است. در بخش مجموع مربعات عاملهای استخراج شده، واریانس تبیین شده عاملهایی ارایه شد که مقادیر ویژه آنها بزرگتر از عدد یک باشد. مجموع مربعات عاملهای چرخش داده شده نشان دهنده مجموعه مقادیر عاملهای استخراج شده بعد از چرخش بود. بر این اساس دو عامل قابلیت تبیین واریانسها را داشتند. اگر عاملهای به دست آمده 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 یک سو توانایی عاملهای تعیین شده در تبیین واریانس متغیرهای مورد مطالعه را نشان می دهد و از سوی می تواند برای بررسی تناسب متغیرها برای تحلیل عاملی استفاده شود. در ماتریس عاملهای دوران یافته هر متغیر در عاملی قرار می گیرد که با آن عامل همبستگی بالای معنی داری داشته باشد (جدول ۷).

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

خوشه بندی براساس غلظت کلی و بخش قابل دستیابی زیستی

عناصر مورد مطالعه

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

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

سدیم هیدروژن فسفات (Na_2HPO_4) با اسیدیته برابر $۷/۴$ درون آب مقطر حل شد. بخش قابل استخراج پروتئاز K از طریق هضم $۵/۰$ گرم از هر نمونه با ۲۵ میلی لیتر محلول پروتئاز K، به مدت سه ساعت در دمای اتاق با همزن مغناطیسی با سرعت ۲۵۰ دور در دقیقه به دست آمد. سپس سوسپانسیون برای مدت ۲۰ دقیقه با سرعت ۴۲۰۰ دور 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 نمونه ها طی یک شب در دمای ۶۰°C در آون خشک و سپس توسط هاون یکنواخت شدند. برای حذف کربن معدنی، $۱/۵$ گرم از هر نمونه با $۱-۲$ میلی لیتر هیدروژن کلرید (HCl) امولار ترکیب شد تا کربنات های آن حذف شود. همچنین برای حذف هیدروژن کلرید از نمونه ها، حدود ۱۰ ساعت در آون با دمای $۱۰۰-۱۰۵^\circ\text{C}$ قرار داده شدند. در نهایت درصد ماده آلی از اختلاف وزن بوته چینی حاوی نمونه قبل و بعد از قرارگیری به مدت ۴ ساعت در دمای ۵۵°C درون کوره محاسبه شد [22, 23]. مقادیر اسیدیته و هدایت الکتریکی نمونه های رسوب با نسبت $۱:۵$ رسوب به آب به ترتیب با استفاده از pH متر مدل AZ86552 (AZ؛ تایوان) و EC متر AZ86503 (AZ؛ تایوان) اندازه گیری شد [24].

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده ها با استفاده از نرم افزار SPSS 21 انجام شد. ابتدا نرمال بودن داده ها با استفاده از آزمون شاپیرووولیک بررسی شد. با توجه به نرمال بودن داده ها در ایستگاه های مختلف، به منظور 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 مولفه های اصلی (PCA) و خوشه بندی عناصر برای تعیین مهم ترین عناصر تاثیرگذار بر آلودگی منطقه و دسته بندی آنها استفاده شد. رسم نمودارها و محاسبات عددی نیز با استفاده از نرم افزار Excel 2010 انجام شد.

یافته ها

میانگین غلظت کلی عناصر در رسوبات ایستگاه ها

بیشترین میانگین غلظت به عنصر روی و کمترین آن به عنصر کروم مربوط بود. به طور کلی در ایستگاه های مورد مطالعه در منطقه قشم مقادیر بیشتری از عناصر و آلاینده ها نسبت به ایستگاه های 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).

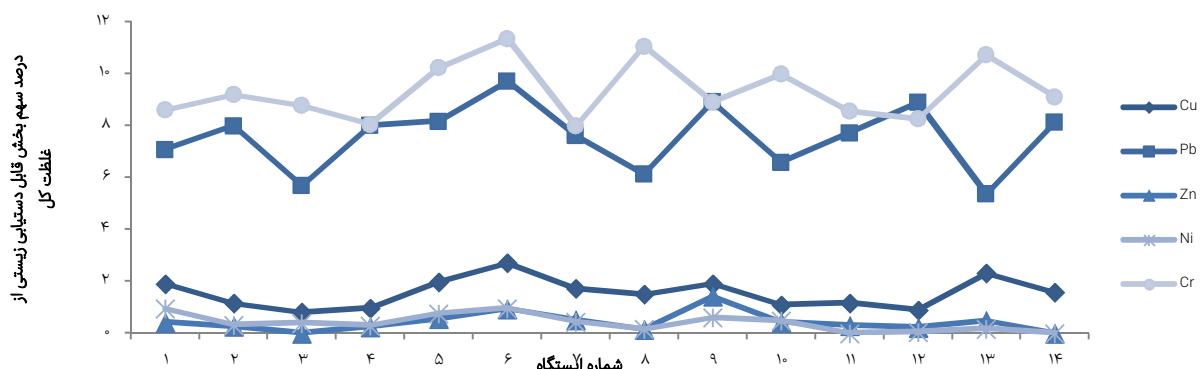
جدول ۲) میانگین آماری غلظت عناصر مختلف در رسوبات سطحی خلیج فارس (بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم)

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
رمچه	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	۰/۶±۰/۰۳	۱/۹۱±۰/۰۹	۰/۳±۰/۰۱	۰/۵۵±۰/۰۲	۱/۹۰±۰/۰۴
اسکله نخل ناخدا	۰/۶±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	۰/۶±۰/۰۳	۲/۱۵±۰/۰۴	۰/۳±۰/۰۲	۰/۳±۰/۰۱	۱/۷۵±۰/۰۳
برکه سفلین	۰/۵±۰/۰۳	۲/۱۵±۰/۰۳	۰/۲۵±۰/۰۱	۰/۳±۰/۰۱	۱/۶±۰/۰۲
قلعه پرتغالی‌ها	۰/۶±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	۱/۷±۰/۰۱
جزیره قشم					
کندالو	۰/۵±۰/۰۵	۱/۶۵±۰/۰۳	۰/۱±۰/۰۲	۰/۵۵±۰/۰۱	۱/۷±۰/۰۱
شیب‌دراز	۰/۶±۰/۰۷	۲/۴۰±۰/۲۰	۱/۱±۰/۰۵	۰/۳±۰/۰۳	۱/۵±۰/۰۱
رمچه	۱/۲±۰/۰۳	۱/۹±۰/۰۶	۰/۴۵±۰/۰۱	۰/۳±۰/۰۷	۱/۷۵±۰/۰۳
دریاچه هامون	۱/۳۵±۰/۰۴	۲/۴۵±۰/۰۱	۰/۴±۰/۰۲	N.D.	۱/۷۵±۰/۰۱
اسکله ذاکری	۱/۱۵±۰/۰۴	۲/۸۵±۰/۰۴۵	۰/۳±۰/۰۳	۰/۵±۰/۰۱	۱/۷±۰/۰۴
جزایر ناز	۰/۵۵±۰/۰۲	۱/۸±۰/۰۱	۰/۳±۰/۰۲	۰/۵±۰/۰۱	۱/۵۹±۰/۰۵
اسکله لافت	۰/۵±۰/۰۲	۲/۲±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

N.D. = یافت نشد



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

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
رمچه	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

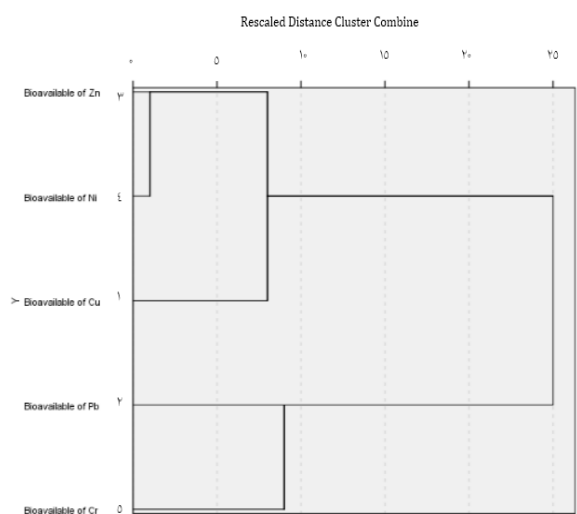
	میزان ماده آلی	هدایت الکتریکی	اسیدیته	بخش زیستی کروم	بخش زیستی نیکل	بخش زیستی روی	بخش زیستی مس	بخش غلظت کلی کروم	بخش غلظت کلی نیکل	غلظت کلی روی	غلظت کلی سرب	غلظت
غلظت کلی مس	R Sig	۰/۳۹۵ ⁺ ۰/۰۱۰	۰/۳۸۷ ⁺ ۰/۰۱۱	-۰/۶۷۹ ⁺ ۰/۰۰۰	۰/۲۰۳ ⁺ ۰/۱۹۶	-۰/۱۸۹ ⁺ ۰/۲۷۱	-۰/۰۱۵ ⁺ ۰/۹۳۳	۰/۳۷۹ ⁺ ۰/۰۱۳	۰/۸۶۹ ⁺ ۰/۰۰۰	۰/۴۸۳ ⁺ ۰/۰۰۱	۰/۷۰۳ ⁺ ۰/۰۰۰	۰/۵۱۵ ⁺ ۰/۰۰۰
غلظت کلی سرب	R Sig	۰/۰۷۵ ⁺ ۰/۶۳۹	-۰/۰۶۴ ⁺ ۰/۶۸۶	-۰/۷۳۳ ⁺ ۰/۰۰۰	-۰/۱۴۱ ⁺ ۰/۳۷۴	-۰/۰۵۶۳ ⁺ ۰/۰۰۰	-۰/۰۸۱ ⁺ ۰/۶۴۰	۰/۱۷۴ ⁺ ۰/۲۷۱	۰/۵۰۹ ⁺ ۰/۰۰۱	۰/۲۲۱ ⁺ ۰/۱۶۱	۰/۴۷۲ ⁺ ۰/۰۰۲	۱
غلظت کلی روی	R Sig	-۰/۶۱۸ ⁺ ۰/۰۰۰	۰/۶۰۹ ⁺ ۰/۰۰۰	-۰/۴۱۸ ⁺ ۰/۰۰۶	۰/۲۱۱ ⁺ ۰/۱۸۰	-۰/۱۶۰ ⁺ ۰/۳۵۲	۰/۰۰۵ ⁺ ۰/۹۷۶	۰/۳۵۳ ⁺ ۰/۰۲۲	۰/۶۲۷ ⁺ ۰/۰۰۰	۰/۸۶۲ ⁺ ۰/۰۰۰	۱	
غلظت کلی نیکل	R Sig	۰/۶۶۴ ⁺ ۰/۰۰۰	۰/۶۸۸ ⁺ ۰/۰۰۰	-۰/۲۰۹ ⁺ ۰/۱۸۴	۰/۳۴۴ ⁺ ۰/۰۲۶	۰/۲۴۴ ⁺ ۰/۱۵۱	-۰/۰۲۵ ⁺ ۰/۸۸۴	۰/۲۲۳ ⁺ ۰/۱۵۶	۰/۴۴۶ ⁺ ۰/۰۰۳	۰/۷۸۴ ⁺ ۰/۰۰۰	۱	
غلظت کلی کروم	R Sig	۰/۳۴۶ ⁺ ۰/۰۲۵	۰/۴۵۰ ⁺ ۰/۰۰۳	۰/۱۵۸ ⁺ ۰/۳۱۸	۰/۵۲۷ ⁺ ۰/۰۰۰	۰/۴۵۳ ⁺ ۰/۰۰۵	-۰/۰۷۰ ⁺ ۰/۶۸۶	۰/۱۴۸ ⁺ ۰/۳۴۹	۰/۳۷۰ ⁺ ۰/۰۱۶	۱		
بخش زیستی مس	R Sig	۰/۰۳۲ ⁺ ۰/۸۳۹	-۰/۰۰۸ ⁺ ۰/۹۵۹	-۰/۷۴۱ ⁺ ۰/۰۰۰	۰/۱۲۰ ⁺ ۰/۴۴۸	-۰/۱۴۰ ⁺ ۰/۴۱۴	۰/۱۱۶ ⁺ ۰/۵۰۰	۰/۴۳۹ ⁺ ۰/۰۰۴	۱			
بخش زیستی سرب	R Sig	۰/۳۲۰ ⁺ ۰/۰۳۹	۰/۱۴۰ ⁺ ۰/۳۷۸	-۰/۲۶۳ ⁺ ۰/۰۹۳	-۰/۱۱۹ ⁺ ۰/۴۵۳	-۰/۱۶۲ ⁺ ۰/۳۴۶	۰/۳۹۳ ⁺ ۰/۰۱۸	۱				
بخش زیستی روی	R Sig	-۰/۱۰۳ ⁺ ۰/۵۴۸	-۰/۱۱۷ ⁺ ۰/۴۹۷	-۰/۰۸۷ ⁺ ۰/۶۱۳	-۰/۴۳۶ ⁺ ۰/۰۰۸	۰/۲۱۸ ⁺ ۰/۲۲۲	۱					
بخش زیستی نیکل	R Sig	-۰/۱۱۷ ⁺ ۰/۴۹۸	۰/۰۱۱ ⁺ ۰/۹۴۷	۰/۵۰۳ ⁺ ۰/۰۰۲	۰/۳۸۹ ⁺ ۰/۰۱۹	۱						
بخش زیستی کروم	R Sig	-۰/۰۱۱ ⁺ ۰/۹۴۷	۰/۲۵۵ ⁺ ۰/۱۰۳	۰/۱۴۶ ⁺ ۰/۳۵۷	۱							
اسیدیته	R Sig	۰/۰۰۱ ⁺ ۰/۹۹۳	۰/۰۵۴ ⁺ ۰/۷۵۳	۱								
هدایت الکتریکی	R Sig	۰/۷۸۶ ⁺ ۰/۰۰۰	۱									
میزان ماده آلی	R Sig	۱										

*p<۰/۰۵، **p<۰/۰۱

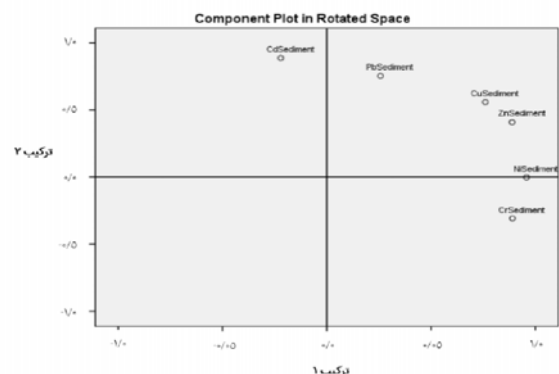
مؤلفه‌ها	۱	۲	۳	۴	۵	۶
مقادیر ویژه اولیه						
درصد تجمعی	۵۶/۲۰۱	۸۵/۳۸۳	۹۴/۲۰۶	۹۷/۲۴۸	۹۹/۴۲۴	۱۰۰/۰۰
درصد واریانس	۵۶/۲۰۱	۲۹/۱۸۲	۸/۸۲۳	۳/۰۴۲	۲/۱۷۷	۰/۵۷۶
کل	۳/۳۷۲	۱/۷۵۱	۰/۵۲۹	۰/۱۸۳	۰/۱۳۱	۰/۰۳۵
مجموع مربعات عامل‌های استخراج‌شده						
درصد تجمعی	۵۶/۲۰۱	۸۵/۳۸۳	-	-	-	-
درصد واریانس	۵۶/۲۰۱	۲۹/۱۸۲	-	-	-	-
کل	۳/۳۷۲	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 ۴) دندوگرام آنالیز خوشه‌بندی بخش قابل دستیابی زیستی عناصر در ایستگاه‌های مورد مطالعه در سواحل استان هرمزگان و جزیره قشم

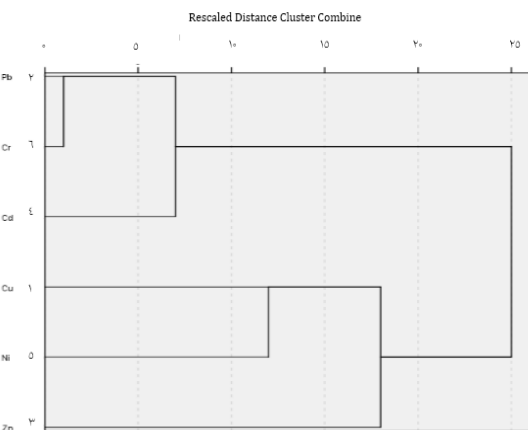


نمودار ۲) آنالیز مؤلفه‌های اصلی برای عامل‌های چرخش‌یافته

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 بیشتر بودن 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 بیشتر بودن آلاینده‌ها در این منطقه بود که با نتایج درویش‌نیا و همکاران [25] هم‌خوانی دارد. همچنین ایستگاه ذاکری به‌دلیل ترافیک و تردد



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

شناورهای مسافری، 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
به طور 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 تأثیرگذار 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 به علت استفاده اکثر کف‌زیان از عنصر روی به عنوان ماده مغذی و تجمع این عنصر در پیکره این موجودات باشد^[27]. به دلیل جذب بیشتر عنصر روی در بدن کف‌زیان، مقادیر آن در رسوبات کاهش پیدا می‌کند و از طرفی به دلیل ورود به ساختارهای فیزیولوژیک این موجودات کمتر تحت تأثیر 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 هوازگی 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 تأثیرگذار بر غلظت فلزات بستگی دارد. میزان دستیابی زیستی عناصر در محیط آبی، متأثر 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 آرایه 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

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 0.26 ± 0.34 و 0.16 ± 0.21 میلی‌گرم بر کیلوگرم و نیز مس با میانگین غلظت 0.31 ± 0.74 میلی‌گرم بر کیلوگرم در یک خوشه و عناصر سرب و کروم به ترتیب با میانگین غلظت 0.35 ± 0.13 و 0.11 ± 0.71 میلی‌گرم 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) می‌تواند دلایلی مبنی بر منشأ 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 به دلیل تهدید حیات آبریان 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)، بیشتر بودن غلظت فلزات مس، سرب و نیکل موجود در خلیج فارس از استانداردهای جهانی را نشان داد (جدول ۸).

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 به دلیل 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 رستمی [36] هم‌خوانی دارد. وجود همبستگی مثبت معنی‌دار بین میزان ماده آلی و غلظت عنصر کروم می‌تواند به دلیل 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 دو مولفه‌ای گروه‌بندی کرد که 89.23% کل تغییرات داده‌ها را به خود اختصاص می‌دهد. در ماتریس عامل‌های چرخش داده‌شده PC اول (با واریانس 56.155) شامل عناصر مس، روی، نیکل و کروم و PC دوم (با واریانس 33.076) 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

منبع	کروم	نیکل	روی	سرب	مس	
[39]	۸۱-۳۷۰	۲۰/۹-۵۱/۶	۱۵۰-۴۱۰	۴۶/۷-۲۱۸	۳۴-۲۷۰	با اثرات بیولوژیکی ناسازگار مواجه نمی شود.
						ممکن است به طور تصادفی با اثرات بیولوژیکی ناسازگار مواجه شود.
						به میزان زیادی با اثرات بیولوژیکی ناسازگار مواجه می شود.
[39]	۵۲/۳-۱۶۰	۱۵/۹-۴۲/۸	۱۲۴-۲۷۱	۳۰/۲-۱۱۲	۱۸/۷-۱۰۸	رسوبات لایروبی شده ممکن است آلوده نباشند.
						اثر متوسط است.
						به شدت تحت تاثیر قرار گرفته است.
[38]	۲۶-۱۱۰	۱۶-۵۰	۱۲۰-۲۷۰	۳۱-۱۱۰	۱۶-۱۱۰	کمینه حد اثرات
						اثرات به طور تصادفی رخ می دهند.
						اثرات به وفور رخ می دهند.
[36]	۷۲	۵۲	۹۵	۱۹	۳۳	میانگین جهانی رسوبات
[1]	۲۵	۲۰	۱۲۳	۱۰	۲۵	WHO/USEPA
مطالعه حاضر	۱۹/۴۵	۶۳/۴۷	۸۱/۳۱	۲۶/۷۶	۴۵/۱۴	استان هرمزگان
مطالعه حاضر	۱۷/۶۶	۵۹/۱۹	۹۶/۳۹	۲۹/۵۳	۶۷/۶۷	جزیره قشم
مطالعه حاضر	۱۸/۵۶	۶۱/۳۳	۸۸/۸۵	۲۸/۱۴	۵۶/۴۱	خلیج فارس

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

نتیجه گیری

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

تشکر و قدردانی: نویسندگان بر خود لازم می دانند که از سرپرست محترم آزمایشگاه های دانشگاه ملایر جناب آقای مهندس مصطفی میرشاه ولد و نیز کلیه مسئولان و کارشناسان آزمایشگاه های محیط زیست و زیست شناسی این دانشگاه که در راستای فراهم کردن امکانات لازم برای انجام این پژوهش همکاری داشتند، تشکر و قدردانی به عمل آورد.

تاییدیه اخلاقی: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

تعارض منافع: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

سهم نویسندگان: (پریسا نوروبی فرد)، پژوهشگر اصلی/نگارنده بحث (۲۵٪)؛ (ثمر مرتضوی)، روش شناس/نگارنده بحث (۲۵٪)؛ (صدیقه اسد)، نگارنده مقدمه/نگارنده بحث (۲۵٪)؛ (نسرین حسن زاده)، 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 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, Sadjadi 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- Yilmaz 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-availability (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