

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و سوم، شماره شش، شهریورماه ۱۴۰۰ (۲۴۴-۲۲۹)

بررسی غلظت و الگوی پراکنش فلزات سرب، روی، کروم و کادمیوم در رسوبات سطحی رودخانه کارون با استفاده از زمین آمار در محیط GIS

میرمهرداد میرسنجری^{۱*}

mmmirsanjari@malayeru.ac.ir

فریبا هدایت زاده^۲

حمیدرضا پورخباز^۳

تاریخ دریافت: ۹۶/۸/۴

تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۰/۲۳

چکیده

زمینه و هدف: در اکوسیستم‌های آبی فلزات سنگین به علت سمیت و پایداری بالا و نیز آثار فیزیولوژیکی‌شان بر موجودات زنده، بسیار حایز اهمیت هستند. هدف از این پژوهش مطالعه و بررسی میزان غلظت فلزات سرب، روی، کروم و کادمیوم در رسوبات سطحی رودخانه کارون و الگوی توزیع مکانی آن‌ها است.

روش بررسی: برای بررسی میزان و چگونگی توزیع غلظت فلزات سنگین سرب، روی، کروم و کادمیوم در رسوبات رودخانه کارون، در تابستان و زمستان ۱۳۹۴، شش ایستگاه انتخاب و با استفاده از روش سیستماتیک تصادفی، از هر ایستگاه سه نمونه از رسوبات رودخانه برداشت شد. پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، خشک کردن و هضم نمونه‌ها، سنجش فلزات سنگین با استفاده از دستگاه جذب اتمی شعله صورت گرفت. بعد از انجام تجزیه و تحلیل‌های آزمایشگاهی به منظور درون‌یابی توزیع غلظت عناصر سنگین از روش معکوس وزنی استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج حاصل از اندازه‌گیری غلظت فلزات نشان داد که فلز روی بیش‌ترین تجمع و فلز کادمیوم کم‌ترین تجمع را در رسوبات سطحی رودخانه کارون داراست. میانگین غلظت فلزات سرب، روی، کروم و کادمیوم در فصل تابستان به ترتیب ۲۶/۲۸، ۷۲/۳۶، ۵۳/۴۸ و ۳/۸۵ میکروگرم برگرم وزن خشک و در زمستان به ترتیب ۱۳/۴۷، ۵۹/۵۴، ۳۰/۲۶ و ۰/۴۲ میکروگرم بر گرم وزن خشک اندازه‌گیری شد. **بحث و نتیجه‌گیری:** مقایسه میزان اندازه‌گیری شده فلزات سنگین مورد مطالعه با راهنمای کیفیت رسوب آمریکا و کانادا نشان داد که تنها غلظت فلز کروم در فصل تابستان از سطح TEL و فلز کادمیوم نیز از سطح PEL و TEL بیش‌تر بود. غلظت سایر فلزات بسیار کمتر

۱- استادیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران. * (مسوول مکاتبات)

۲- دانشجوی دکترای محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران.

۳- استادیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء (ص) بهبهان، بهبهان، ایران.

از حدود راهنما به دست آمد. یافته‌های این تحقیق اطلاعات مناسبی را در مورد توزیع غلظت فلزات سنگین در رسوبات رودخانه کارون ارائه می‌کند که می‌تواند به فرایندهای پایش و ارزیابی رسوبات در منطقه مورد مطالعه کمک کند.

واژه‌های کلیدی: فلزات سنگین، رسوبات، رودخانه کارون، زمین آمار.

Evaluation of the concentration and distribution pattern of lead, zinc, chromium and cadmium in surface sediments of Karun River using geostatistics in GIS environment

Mir Mehrdad Mirsanjari^{1*}

mmirsanjari@malayeru.ac.ir

Fariba Hedayatzadeh²

Hamidreza Pourkhabbaz³

Admission Date: January 13, 2018

Date Received: October 26, 2017

Abstract

Background and Objective: In aquatic ecosystems heavy metals are very important due to their toxicity and endurance and having a high bio-accumulation in the environment. The aim of this research, Evaluation of the concentration and distribution pattern of heavy metals (lead, zinc, chromium and cadmium) in surface sediments of the Karun River.

Material and Methodology: To determine the concentration and distribution of heavy metals (lead, zinc, chromium and cadmium) in sediments of the Karun River in summer and winter of 2015, six stations were selected and from each station 3 samples of sediments were randomly collected. After transferring samples to the laboratory, drying and digestion of samples, the measurement of heavy metals was performed using a Flame atomic absorption spectrometry. An inverse weight-distance method was used to interpolate the distribution of heavy metals.

Findings: According to the results, zinc had the highest concentration and cadmium had the lowest concentration among the studied metals in the surface sediments of the Karun River. The mean concentrations of lead, zinc, chromium and cadmium in summer were 26.28, 72.36, 53.48 and 3.85 $\mu\text{g/g}$ dry weight and in winter were 13.47, 59.59, 30.26 And 0.42 $\mu\text{g/g}$ dry weight, respectively.

Discussion and Conclusion: Comparison of the measured heavy metals concentration by the American and Canadian national guidelines indicated that levels of Cr in the summer and Cd in surface sediments were higher than the Threshold effect level (Canadian Guideline) and Lowest Effect Level (NOAA Guideline). Whereas Concentrations of other metals were lower than mentioned limits. The findings of this study provide useful information on the distribution of heavy metals concentration in the Karun River sediments which can help monitoring and assessment of sediments in the region.

Key words: Heavy metals, Sediments, Karoon River, Geostatistics.

1- Assistant Professor, Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources & Environment, Malayer University, Hamadan, Iran.*(*Corresponding Author*)

2- Ph.D. candidate of Environment, Faculty of Natural Resources & Environment, Malayer University, Hamadan, Iran

3- Assistant Professor, Department of Environment, Faculty of Natural Resources, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Iran

مقدمه

امروزه افزایش جمعیت و توسعه صنایع مختلف و گسترش مناطق کشاورزی باعث ورود حجم بالای آلاینده‌های مختلف به محیط‌های آبی گردیده است (۱). آلاینده‌های محیط زیستی از جمله عوامل مختل‌کننده اکوسیستم‌های طبیعی به شمار می‌روند و از میان آن‌ها فلزات سنگین به علت اثرات سمی، پایداری بالا و پتانسیل بالای تجمع زیستی در بسیاری از گونه‌های آبی قابل توجه هستند (۲). خاصیت تجمع پذیری و تغلیظ زیستی این آلاینده‌ها در بافت‌های مختلف موجودات زنده و نیز تجزیه نشدن بیولوژیکی‌شان باعث می‌شود غلظت این فلزات در سطوح بالای زنجیره‌های غذایی افزایش یابد و سبب بروز اختلالاتی در عملکرد طبیعی موجودات زنده شوند (۳). به همین دلیل آلودگی فلزات سنگین در آب و رسوبات اکوسیستم‌های آبی از بزرگ‌ترین معضلات محیط زیست به حساب می‌آید و لذا آگاهی از میزان این آلاینده‌ها و پراکنش آن‌ها در محیط‌های آبی برای حفظ محیط زیست و سلامت موجودات زنده از جمله انسان بسیار حایز اهمیت است (۴). رسوبات جزئی تفکیک ناپذیر از اکوسیستم‌های آبی به شمار می‌روند و اغلب به منزله مخزن نهایی برای تجمع فلزات سمی محیط‌های ساحلی در نظر گرفته می‌شوند (۵). وقتی عناصر فلزی به محیط‌های ساحلی وارد می‌شوند، به صورت مجموعه‌هایی به یکدیگر می‌پیوندند و در نهایت در رسوبات تجمع می‌یابند و هنگامی که تعادل بین رسوبات و آب پوشاننده روی آن شکسته می‌شود، رسوبات عناصر سمی را به سرعت در زنجیره غذایی وارد می‌کنند و در نتیجه تغییرات بنیادی در اکوسیستم که می‌تواند برای سلامت بشر مضر باشد رخ می‌دهد (۶). پس در مجموع آب و رسوبات به منزله معرف و شناساگر مهمی برای آلودگی مطرح‌اند و می‌توانند برای برآورد میزان آلودگی در محیط زیست و خصوصاً محیط‌های آبی استفاده شوند (۷).

در میان اکوسیستم‌های آبی، رودخانه‌ها به عنوان یکی از منابع اساسی تأمین آب برای مصارف گوناگون مطرح هستند که با توجه به اهمیت این مجاری حفظ کیفیت آب رودخانه‌ها مهم می‌باشد. رودخانه کارون به عنوان پرآب‌ترین رود کشور، با

تأمین آب مورد نیاز صنایع نقش مهمی در تأمین منافع ملی بر عهده دارد. همچنین رودخانه در کناره‌های خود اراضی مزروعی و شهرهای بزرگی را جای داده است و از آب این رودخانه جهت شرب، آبیاری سطوح زیرکشت، فضای سبز شهری و نیز تکثیر و پرورش آبزیان استفاده می‌شود (۷). لذا تضمین کیفیت آب رودخانه کارون از نظر بسیاری از آلاینده‌ها در سلامت و بهداشت مصرف‌کنندگان آب شرب، نقش بسزایی را ایفا می‌کند و واضح است که هرگونه تغییر در کیفیت و غلظت املاح آب رودخانه می‌تواند صدمات جبران ناپذیری را ایجاد نماید. این در حالی است که متأسفانه بر اثر توسعه شدید شهرنشینی، صنایع و تکنولوژی و افزایش سطوح زیر کشت، سالانه آلاینده‌های مختلفی از نظر فیزیکی، شیمیایی و زیستی وارد این رودخانه می‌گردد (۹). در میان آلاینده‌های ورودی به رودخانه کارون، فلزات سنگین به علت سمی بودن و دسترسی زیستی بالا، از نگرانی‌های مهم و عمده برای این اکوسیستم به حساب می‌آیند. برای ارزیابی وضعیت آلودگی خاک، آب و رسوبات به فلزات سنگین و تعیین مناطق آلوده، نمونه برداری امری ضروری است؛ اما به دلیل وسعت مکانی و مشکلات مرتبط با نمونه‌های جمع‌آوری شده برای تعیین مناطق آلوده و مناطق در معرض آلودگی، استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و روش‌های زمین‌آمار بسیار مفید است (Sengupt, 2002). با استفاده از این روش‌ها علاوه بر توصیف و مشاهده الگوی تغییرات مکانی داده‌ها، می‌توان به تخمین و تهیه نقشه‌های کمی پراکنش آلودگی اقدام کرد (Webster & Burges, 2002). مطالعات متعددی در کشورهای مختلف برای درون‌یابی و تعیین توزیع مکانی غلظت فلزات سنگین انجام شده است که می‌توان به مطالعه حسینی و همکاران (۱۳۹۰) با عنوان ارزیابی آلودگی رسوبات سواحل دریای خزر با جیوه در استان مازندران با استفاده از GIS و زمین‌آمار اشاره کرد. آنها در این مطالعه از تخمین‌گر زمین‌آمار معکوس فاصله‌ی وزنی (IDW) استفاده کردند و به تهیه نقشه توزیع مکانی جیوه در رسوبات سواحل جنوبی دریای خزر پرداختند. همچنین، طاهری و همکاران (۱۳۹۳) طی مطالعه‌ای به بررسی غلظت و پراکنش

سازی پراکنش مکانی این فلزات، از GIS و اصول زمین آمار استفاده شد.

روش بررسی

منطقه مورد مطالعه

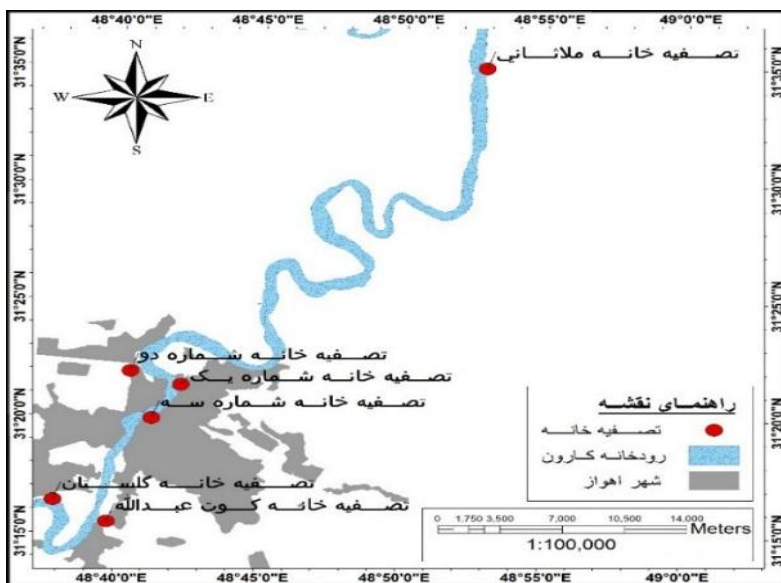
منطقه مورد مطالعه رودخانه کارون در استان خوزستان را در برمی گیرد که با مختصات جغرافیایی ۴۸ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۵ دقیقه عرض شمالی محدود می شود (۱۷). به دلیل وسعت بالای این مجموعه و اهمیت بالایی که کیفیت آب رودخانه برای مصارف متفاوت داراست، مقطعی از رودخانه که محل آبیگر تصفیه خانه های آب شرب شهرستان های اهواز و ملاتانی می باشد به عنوان محدوده مطالعاتی مد نظر قرار گرفته است. جهت انجام مطالعه حاضر، ۶ ایستگاه به مختصات جغرافیایی زیر در نظر گرفته شد (شکل ۳-۱).

تغییرات مکانی فلز جیوه، سرب و کادمیوم در رسوبات سطحی جنگل های مانگرو با استفاده از زمین آمار و GIS پرداختند. باقری و عظیمی (۱۳۹۴) در پژوهشی به مطالعه ی پراکنش فلزات سنگین در رسوبات سطحی سواحل سیسنگان در جنوب دریای خزر با استفاده از GIS پرداختند. Rajendran و همکاران (۲۰۱۷) نیز در پژوهشی به بررسی فلزات سنگین در اکوسیستم های مانگرو در ساحل جنوب شرقی هند با استفاده از روش های زمین آماری و GIS پرداختند. Gue و همکاران (۲۰۱۲) نیز به منظور شناسایی منشأ و آثار انسانی در رسوبات سواحل Guangdong در چین، از تکنیک های کریجینگ و وزن دهی فاصله ای معکوس (IDW) به منزله دو روش درون یابی برای نشان دادن توزیع فلزات سنگین استفاده کردند. هدف از پژوهش حاضر، مطالعه و بررسی میزان غلظت فلزات سرب، روی، کروم و کادمیوم در رسوبات سطحی رودخانه کارون در دو فصل تابستان و زمستان است و به منظور دستیابی به الگوی توزیع مکانی صحیح از این آلاینده ها در این اکوسیستم و مدل-

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه های نمونه برداری

Table 1- Geographic location of sampling stations

ایستگاه	عرض جغرافیایی (شمالی)	طول جغرافیایی (شرقی)	توضیحات
۱	۳۱° ۲۱' ۲۰"	۴۸° ۴۲' ۱۶"	تصفیه خانه گلستان
۲	۳۱° ۱۹' ۵۴"	۴۸° ۴۱' ۱۵"	تصفیه خانه کوت عبدالله
۳	۳۱° ۱۵' ۲۸"	۴۸° ۳۹' ۴۵"	تصفیه خانه شماره ۳
۴	۳۱° ۲۱' ۵۴"	۴۸° ۴۰' ۲۸"	تصفیه خانه شماره ۱
۵	۳۱° ۱۶' ۲۲"	۴۸° ۳۷' ۵۱"	تصفیه خانه شماره ۲
۶	۳۱° ۳۴' ۵۹"	۴۸° ۵۲' ۴۹"	تصفیه خانه ملاتانی (شاهد)



شکل ۲- موقعیت منطقه و ایستگاه های مورد مطالعه از رودخانه کارون

Figure 1. Map of the study area and the study sites of Karoon River

عملیات نمونه برداری

غلظت (۰/۶۵) و اسید پرکلریک (۰/۶۰) به نسبت ۱:۴ و قرار دادن بر روی دستگاه هضم، به مدت یک ساعت در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد و ۴ ساعت در دمای ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد هضم گردید (Yap et al., 2002). پس از اتمام عمل هضم نمونه‌های رسوب تمامی نمونه‌ها در بالن حجمی ۲۵ میلی‌لیتر، با آب دو بار تقطیر به حجم رسانده شدند و از کاغذ صافی واتمن ۴۲ عبور داده و تا زمان تزریق به دستگاه جذب اتمی در ظروف مخصوص در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد در یخچال نگهداری شدند. سرانجام برای سنجش فلزات سنگین از دستگاه جذب اتمی شعله مدل Shimadzu (AA-670G) استفاده گردید. پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیروویلیک و همگنی واریانس‌ها با استفاده از آزمون لون، برای آنالیز اختلاف معنی‌داری بین غلظت فلزات در ایستگاه‌های مورد مطالعه از آنالیز واریانس یک‌طرفه و آزمون دانکن استفاده شد. جهت بررسی اختلاف احتمالی غلظت فلزات سنگین مورد مطالعه در دو فصل مورد مطالعه از آزمون T-test استفاده شد. ترسیم نمودارها نیز با استفاده از نرم افزار Excel صورت پذیرفت.

نمونه برداری در طی دو فصل (تابستان و زمستان سال ۱۳۹۴) از رسوبات ایستگاه‌های مشخص شده با سه تکرار صورت گرفت. در مجموع از ۶ ایستگاه طی هر فصل ۱۸ نمونه رسوب برداشت گردید. نمونه‌ها به وسیله کاردک پلاستیکی از ۲۰ سانتی متری سطح بستر تهیه شدند (۱۸). نمونه‌های برداشت شده به طور جداگانه در ظروف پلی اتیلنی که دارای مشخصات ایستگاه و زمان نمونه برداری بودند، نگهداری شدند. سپس کلیه ظروف در یخ‌دان با دمای کمتر از ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری و به آزمایشگاه منتقل شدند. در آزمایشگاه تا فراهم شدن مقدمات کار نمونه‌ها داخل فریزر آزمایشگاه نگهداری شد. نمونه‌های رسوب از فریزر خارج شدند تا در دمای آزمایشگاه یخ زدایی شوند. سپس جهت انجام فرآیند هضم، مقداری از نمونه‌های رسوبات به مدت ۲۴ ساعت (تا ثابت شدن وزنشان) در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. سپس به منظور یک دست کردن نمونه‌ها، رسوبات خشک شده داخل هاون کوبیده شده و با استفاده از الک ۶۳ میکرون الک شدند. برای تعیین غلظت کلی فلزات در نمونه‌های رسوب از روش ارایه شده توسط Yap و همکاران (۲۰۰۲) استفاده گردید. به این ترتیب که جهت سنجش فلزات (کادمیوم، سرب، روی و کروم) یک گرم از رسوب الک شده را با افزودن ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک

$$Z(x_0) = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i} Z(x_i)}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i}}$$

در رابطه؛ d_i : فاصله بین نقطه تخمین تا هر یک از نمونه‌های واقع در همسایگی آن؛ $Z(x_i)$: مقادیر نمونه‌های واقع در همسایگی محل تخمین؛ $Z(x_0)$: مقدار تخمینی متغییر مورد نظر در نقطه‌ی x_0 است (۲۰).

یافته‌ها

نتایج حاصل از آنالیز رسوبات در ایستگاه‌های تحت بررسی از نظر میزان غلظت فلزات سنگین سرب، روی، کروم و کادمیوم در جدول ۲ آورده شده است.

تخمین‌گر معکوس فاصله وزنی

یکی از راهکارهای تصحیح شیوه وزن دهی یکسان به نمونه‌ها، وزن دهی بیش‌تر به نزدیک‌ترین نمونه و اختصاص وزن کوچک‌تر به نمونه‌هایی است که دارای فاصله بیش‌تری از محل تخمین است. بنابراین IDW روش تخمین متغیرها در نقاط نمونه برداری نشده با استفاده از ترکیب خطی ارزش متغیرها در نقاط نمونه برداری شده است که براساس تابع معکوس فاصله از نقاط نمونه برداری شده، وزن دهی می‌شود. بیان آماری چنین رویکرد وزن دهی، عبارت از وزن دهی براساس معکوس فاصله تا نقطه تخمین معادله به شرح زیر است:

جدول ۲- میانگین غلظت فلزات سنگین (میکروگرم بر گرم وزن خشک) در ایستگاه‌های مختلف در دو فصل تابستان و زمستان

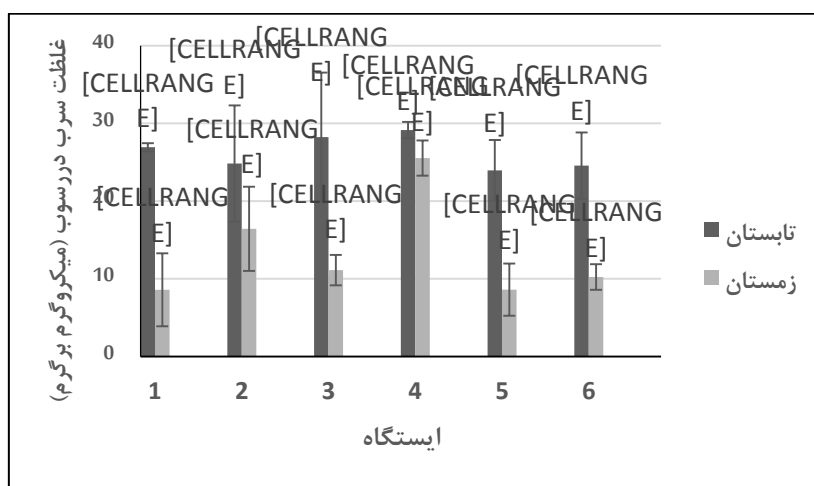
Table 2. Mean (\pm SE) of heavy metals concentration ($\mu\text{g/g}^{-1}$ dry weight) at different stations in summer and winter

Cd		Cr ($\mu\text{g/g}$)		Zn ($\mu\text{g/g}$)		Pb ($\mu\text{g/g}$)		شماره
تابستان	زمستان	تابستان	زمستان	تابستان	زمستان	تابستان	زمستان	
۰/۴±۰/۰۵	۳/۵±۰/۰۵	۳۱/۹±۰/۰۷	۴۷/۷±۱/۳	۶۷±۱۴/۷	۶۶/۷±۴/۵	۸/۵±۴/۷	۲۶/۹۳±۰/۵	۱
۰/۴±۰/۰۸	۳/۳±۰/۰۴	۳۰/۷±۱/۲	۵۹/۸±۳/۲	۵۸/۳±۵/۰	۸۷/۴۵±۶/۸	۱۶/۴±۵/۴	۲۴/۸۲±۷/۴	۲
۰/۳±۰/۰۸	۴/۳±۰/۰۵	۲۷/۸±۰/۸	۵۳/۹±۱۰/۲	۴۹/۷±۸/۵	۶۸/۸±۱۰/۷	۱۱/۱۱±۱/۹	۲۸/۲۴±۸/۲	۳
۰/۶±۰/۰۵	۴/۷±۰/۰۴	۳۱/۸±۰/۳	۵۹/۹±۰/۲	۷۲/۴±۱۰/۷	۸۹/۲۹±۴/۹	۲۵/۵۳±۲/۲	۲۹/۱۴±۱/۰	۴
۰/۳۱±۰/۰۱	۳/۶±۰/۰۳	۳۱±۰/۰۵	۴۸/۶±۳/۰	۵۳/۰±۴/۱	۵۹/۹±۳/۷	۸/۶۰±۳/۳	۲۳/۹۶±۳/۹	۵
۰/۳۶±۰/۰۳	۳/۴±۰/۰۳	۲۸/۲±۱/۷	۵۳/۷±۶/۶	۵۶/۷±۱/۴	۶۱/۸±۱۱/۲	۱۰/۲۳±۲/۶	۲۴/۵۶±۴/۲	۶

متفاوت بالای نمودارها بیان‌گر وجود اختلاف معنی‌دار در غلظت فلزات بین ایستگاه‌های مختلف مطالعاتی است. نتایج حاصل از اندازه‌گیری میزان فلز سرب در رسوبات رودخانه کارون نشان داد که میانگین آن در ایستگاه‌های مورد مطالعه در فصل تابستان و زمستان به ترتیب $۲۶/۲۸ \pm ۴/۷۷$ و $۱۳/۴۷ \pm ۸/۶۵$ میکروگرم بر گرم وزن خشک بوده است. مقایسه آماری غلظت سرب در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان داد که تنها در فصل زمستان اختلاف معنی‌داری بین ایستگاه‌ها وجود داشت ($P < ۰/۰۵$). این فلز در فصل تابستان در ایستگاه ۴ با میزان $۲۹/۱۴$ میکروگرم بر گرم وزن خشک بیش‌ترین میزان و

میانگین غلظت فلزات مورد مطالعه در رسوبات ایستگاه‌های مختلف در دو فصل تابستان و زمستان در اشکال ۵-۲ نشان داده شده است. نتایج آماری آزمون T-test جهت مقایسه میانگین غلظت فلزات در بین دو فصل نشان داد که غلظت فلزات مورد سنگین (سرب، روی، کروم و کادمیوم) در بخش رسوبات ایستگاه‌های مورد مطالعه در دو فصل تابستان و زمستان دارای تغییرات معنی‌داری بوده است ($P < ۰/۰۵$). مقایسه میزان فلزات بین ایستگاه‌های مختلف نشان داد که برخی فلزات در فصل تابستان و برخی در زمستان در بین ایستگاه‌های مطالعاتی دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند. حروف

کمترین میزان را در فصل زمستان با میزان ۸/۵۸ میکروگرم بر گرم وزن خشک در ایستگاه ۱ داشته است (شکل ۲).

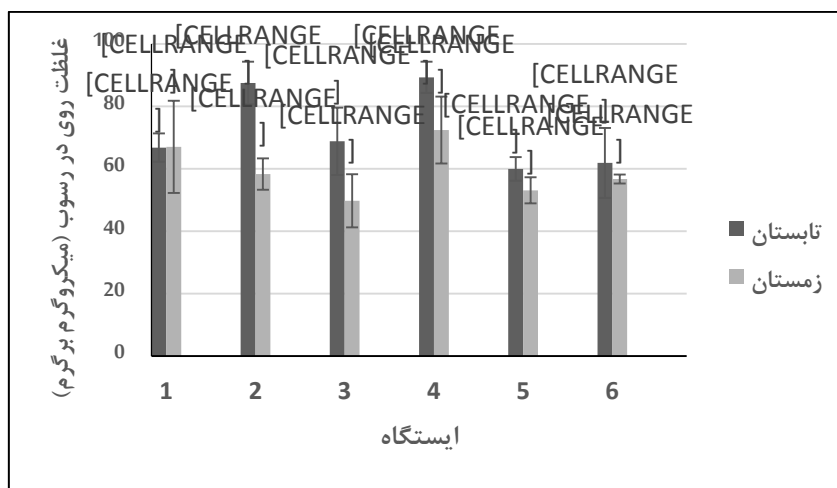


شکل ۲- غلظت فلز سرب در رسوب در فصول و ایستگاه های مختلف

Figure 2. Lead concentration in sediment in the season and various stations

($P < 0.05$). بیشترین و کمترین غلظت های این فلز به ترتیب در تابستان در ایستگاه ۴ با $۸۹/۲۹$ میکروگرم بر گرم وزن خشک و زمستان با $۴۹/۷۵$ میکروگرم بر گرم وزن خشک در ایستگاه ۳ اندازه گیری شد (شکل ۳).

میانگین روی در رسوبات ایستگاه های مورد مطالعه در رودخانه کارون در فصل تابستان $۷۲/۳۶ \pm ۱۳/۶۴$ میکروگرم بر گرم وزن خشک و در فصل زمستان $۵۹/۵۴ \pm ۱۰/۸۶$ میکروگرم بر گرم وزن اندازه گیری شد. تنها در فصل تابستان تفاوت معنی داری بین غلظت های روی در ایستگاه های مختلف مشاهده شد

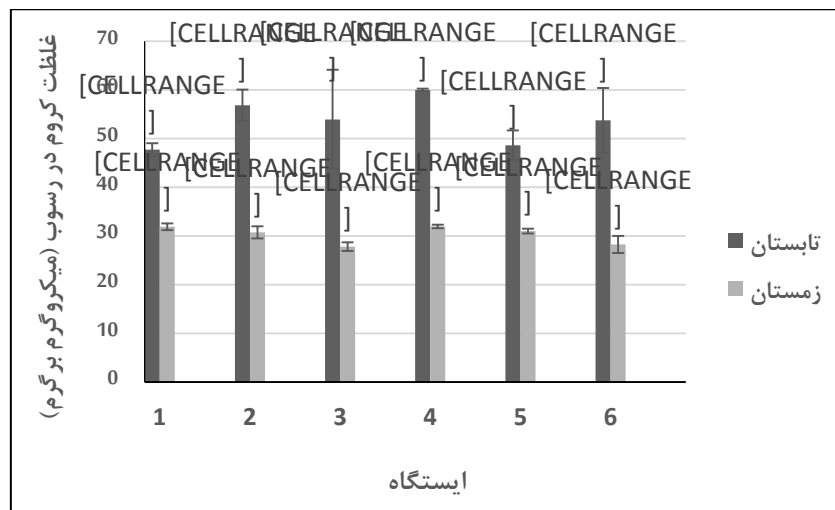


شکل ۳- غلظت فلز روی در رسوب در فصول و ایستگاه های مختلف

Figure 3. Zinc concentration in sediment in the season and various stations

معنی داری است ($P < 0.05$). بیشترین مقدار این فلز در تابستان در رسوب ایستگاه ۴ با میزان $۵۹/۹۸$ میکروگرم بر گرم وزن خشک و کمترین آن در زمستان با میزان ۳۰ میکروگرم بر گرم وزن خشک در ایستگاه ۳ مشاهده شد (شکل ۴).

میانگین فلز کروم در رسوبات منطقه $۵۳/۴۸ \pm ۶/۲۷$ و $۳۰/۲۶ \pm ۱/۸۸$ میکروگرم بر گرم وزن خشک در فصل تابستان و زمستان بوده است. بررسی های آماری نشان داد که غلظت کروم در ایستگاه های مختلف تنها در فصل زمستان دارای اختلاف

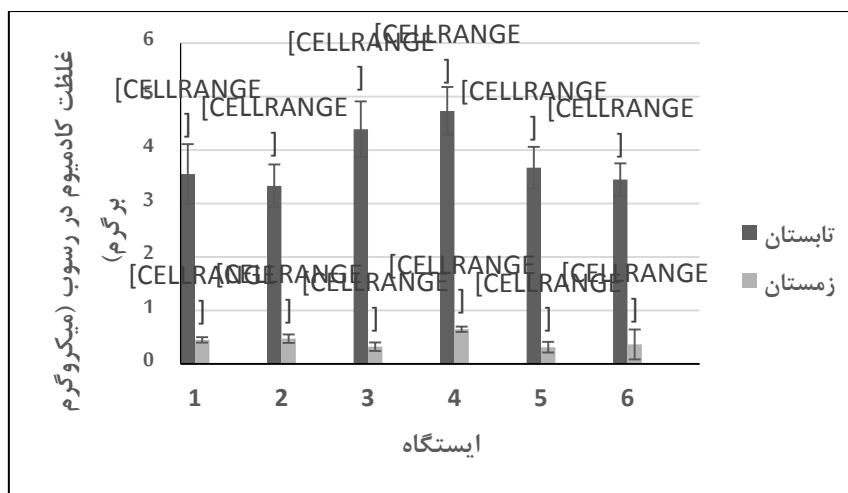


شکل ۴- غلظت فلز کروم در رسوب در فصول و ایستگاه های مختلف

Figure 4. Chromium concentration in sediment in the season and various stations

ایستگاه‌ها نشان داد ($P < 0.05$). بیش‌ترین و کم‌ترین غلظت کادمیوم به ترتیب در تابستان در ایستگاه ۴ با $3/73$ میکروگرم بر گرم وزن خشک و در زمستان با $0/31$ میکروگرم بر گرم وزن خشک در ایستگاه ۵ مشاهده گردید (شکل ۵).

میانگین غلظت فلز کادمیوم در رسوب ایستگاه‌های مختلف در فصل تابستان $3/85 \pm 0/65$ میکروگرم بر گرم وزن خشک و در فصل زمستان $0/42 \pm 0/23$ میکروگرم بر گرم وزن خشک مشاهده شد. بررسی آماری غلظت‌های فلز کادمیوم در ایستگاه‌های مختلف تنها در فصل تابستان اختلاف معنی‌داری بین



شکل ۵- غلظت فلز کادمیوم در رسوب در فصول و ایستگاه های مختلف

Figure 5. Cadmium concentration in sediment in the season and various stations

بحث و نتیجه گیری

می‌باشد. این بارش‌ها باعث ایجاد جریان‌هایی در آب رودخانه می‌شود که به این ترتیب به علت تلاطم و شوک وارد شده به آب مقادیری از رسوبات کف رودخانه جا به جا و فلزات سنگین داخل آن‌ها توسط جریان آب شسته می‌شود، ولی با شروع دوره

بررسی و مقایسه میانگین غلظت فلزات مورد مطالعه در بخش رسوبات رودخانه در دو فصل تابستان و زمستان نشان داد که غلظت فلزات در فصل تابستان بیش‌تر از فصل زمستان است. علت این تغییرات مربوط به بارش‌های شدید در فصل زمستان

فلز نسبت به سایر فلزات مورد مطالعه قابل توجه است. از طرف دیگر در میان عناصر مورد مطالعه کمترین غلظت در رسوب مربوط به عنصر کادمیوم بوده است. با توجه به میزان عنصر کادمیوم در رسوبات دریایی (در محدوده ۰/۱ تا ۰/۶ میکروگرم بر گرم وزن خشک) اختصاص کمترین غلظت میان عناصر اندازه گیری شده به عنصر کادمیوم در رسوبات توجه پذیر است (۲۵). نتایج مطالعه‌ی Rybak و همکاران (۲۰۱۲) در دو اکوسیستم در غرب لهستان، نشان داد غلظت متوسط فلزات در نمونه رسوب به ترتیب $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Pb} > \text{Ni} > \text{Cd}$ می‌باشد و کادمیوم کمترین میزان را داشته است. مطالعه‌ی دادالهی سهراب و همکاران (۲۰۱۱) نیز در بررسی میزان غلظت برخی فلزات در منطقه تنگه هرمز نشان داد میانگین سطح فلزات در رسوبات به ترتیب $\text{Fe} > \text{Zn} > \text{Pb} > \text{Ni} > \text{Cu} > \text{Cd}$ بوده است، که فلز روی بعد از آهن بیشترین غلظت و فلز کادمیوم کمترین غلظت را در رسوبات مطابق نتایج مطالعه حاضر داشته است.

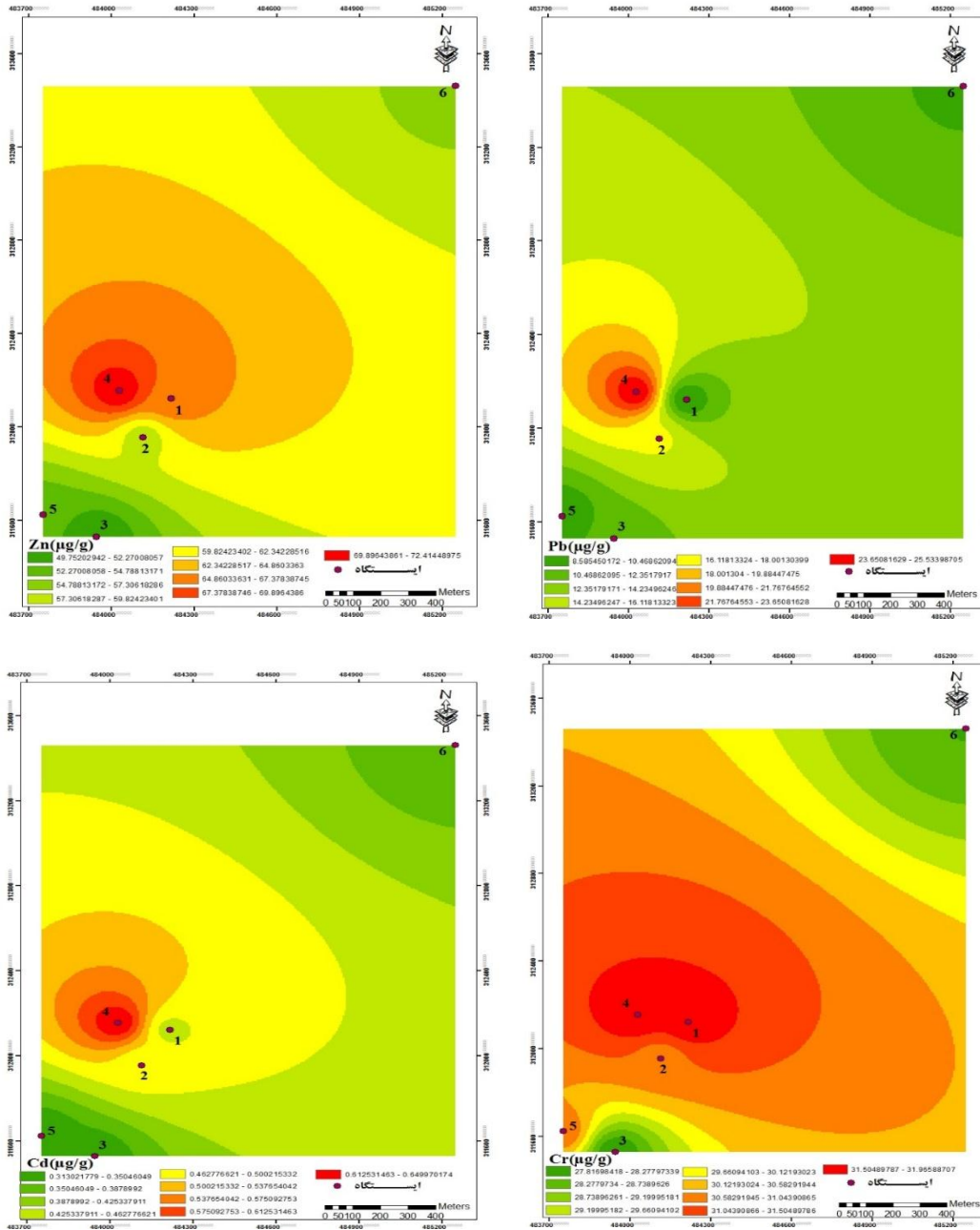
نقشه‌های الگوی توزیع مکانی غلظت فلزات سرب، روی، کروم و کادمیوم در رسوبات سطحی رودخانه کارون در دو فصل تابستان و زمستان نیز به ترتیب در شکل‌های آورده شده است. نقشه‌های ترسیم شده نشان می‌دهد که الگوی توزیع مکانی بیش‌تر فلزات مشابه است و تمرکز غلظتی این فلزات بیشتر به سمت ایستگاه ۴ و غرب آن است. میانگین غلظت فلزات در رسوبات ایستگاه ۴ که محل تأمین آب تصفیه خانه شماره ۱ می‌باشد نسبت به سایر ایستگاه‌ها دارای بیش‌ترین میزان و ایستگاه ۵ و ۶ که محل تأمین آب تصفیه خانه شماره ۲ و تصفیه‌خانه ملاتانی می‌باشند دارای کمترین میزان بود. ایستگاه‌های واقع در بالا دست رودخانه غلظت عناصر سنگین در رودخانه پایین است ولی در محدوده شهر پس از رهاسازی فاضلاب شهری و صنعتی و در نهایت در ایستگاه‌های پایین دست رودخانه که بعد از محل خروجی فاضلاب‌های مذکور قرار دارند غلظت این عناصر افزایش می‌یابد. در محدوده داخلی شهر عمدتاً فاضلاب‌های شهری و صنعتی به رودخانه کارون منتهی می‌شوند پس ایستگاه‌هایی مانند ایستگاه‌های ۳ و به ویژه ۴ یعنی محل تأمین آب تصفیه خانه‌های شماره ۳ و ۱ که در این محدوده واقع هستند پذیرای فاضلاب‌های شهری و صنعتی می‌-

گرم و افزایش مقدار تبخیر و پایان دوره بارش مجدداً غلظت این فلزات در رسوب افزایش می‌یابد. در واقع غلظت عناصر در تابستان با کاهش دبی رودخانه، شروع فصل بهره برداری بخش کشاورزی و افزایش تبخیر به بالاترین حد خود می‌رسد. نتیجه این بخش از پژوهش با نتایج سایر مطالعات در این زمینه از جمله مطالعه رشماملو و همکاران (۱۳۹۲)، شنبه‌زاده و همکاران (۱۳۹۲) و نیز پژوهش مودنی و همکاران (۱۳۹۲) که نشان دادند که میانگین غلظت فلزات در فصل گرم (خشک) نسبت به فصل سرد (بارشی) بالاتر بود مطابقت دارد. که علت آن را بارش-های سنگین در فصل سرد دانستند که باعث رقیق سازی و تحرک فلزات سنگین در رسوبات و محیط آبی شده است. از سویی نتایج حاصل از مقایسه غلظت این فلزات در رسوبات ایستگاه‌های مختلف در دو فصل تابستان و زمستان نشان داد که برخی فلزات در فصل تابستان و برخی در فصل زمستان در بین ایستگاه‌های مطالعاتی دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند، که تفاوت در غلظت فلزات در فصول و ایستگاه‌های مختلف ناشی از کم و زیاد شدن حجم آب رودخانه و تفاوت در آلاینده‌های ورودی به رودخانه می‌باشد. در فصولی که میزان فلزات در بین ایستگاه‌های مختلف فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشد، می‌تواند حاکی از این باشد که منابع انتشار آلاینده‌های فلزی در طول رودخانه و در مجاورت ایستگاه‌های مورد مطالعه به میزان یکسانی منجر به نشر این فلزات در آب رودخانه می‌شوند و فلزاتی که میزان آن‌ها در بین ایستگاه‌های مورد نظر دارای اختلاف معنی‌دار بوده است ($P < 0/05$)، می‌تواند به این دلیل باشد که منابع تولید این فلزات به صورت نقطه‌ای در محدوده مورد مطالعه قرار گرفته‌اند.

نتایج حاصل از بررسی غلظت فلزات سنگین در رسوبات نشان داد که الگوی تجمع عناصر مختلف بدین صورت است: کادمیوم $>$ سرب $>$ کروم $>$ روی. همان گونه که مشاهده می‌شود فلز روی نسبت به سایر عناصر دارای غلظت بالاتری می‌باشد که دلیل بالابودن میزان این عنصر در منابع آبی می‌تواند ورود پساب ناشی از فعالیت‌های کشاورزی، صنایع و فاضلاب‌های خانگی به این اکوسیستم‌ها باشد (۲۴). با توجه به این‌که این پساب‌ها به وفور وارد رودخانه کارون می‌شوند، لذا بالا بودن این

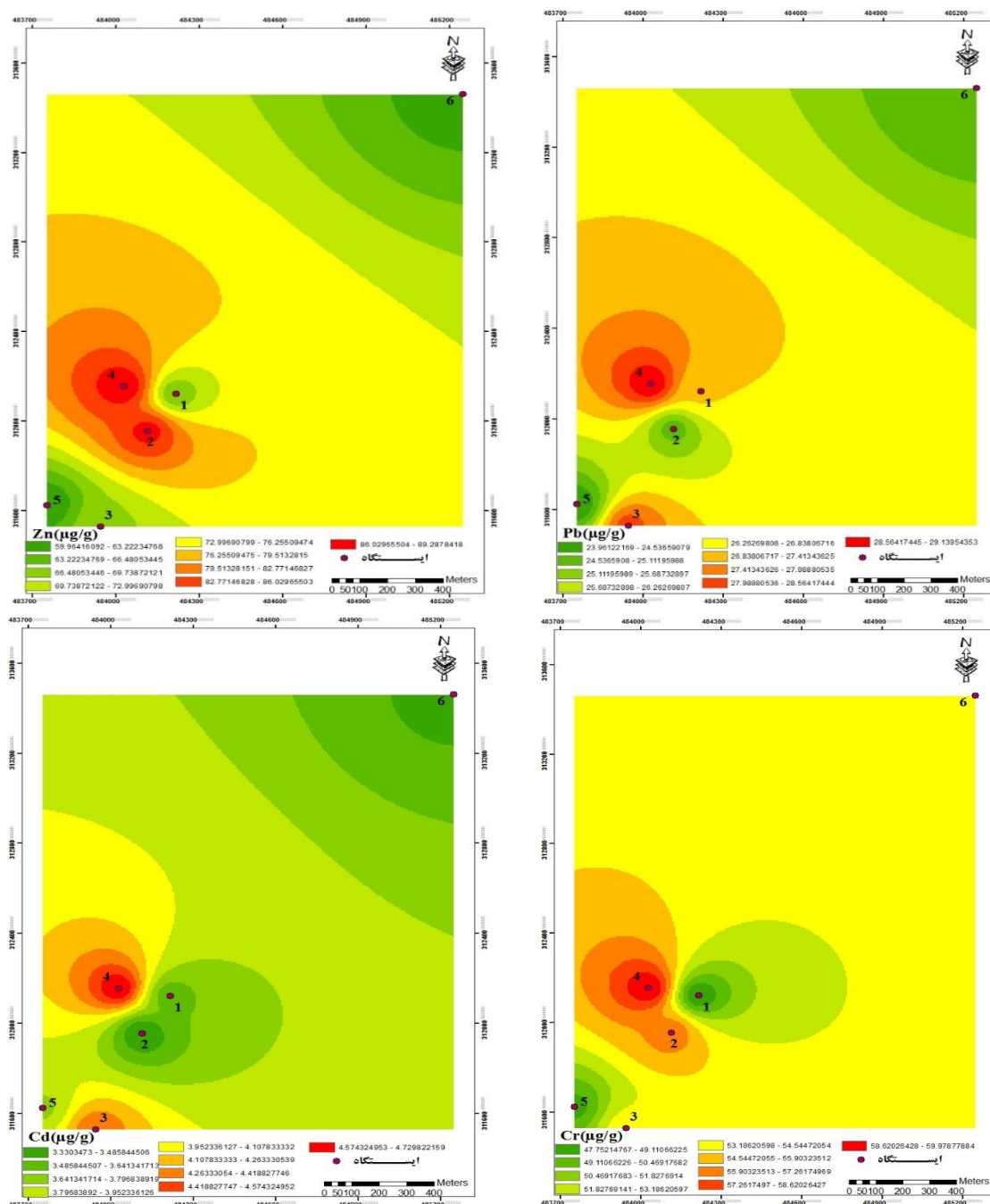
یافته در این ایستگاه نسبت داد و ایستگاه ۵ با توجه به اینکه در بالادست رودخانه واقع است پذیرای آلاینده‌های کمتری می‌باشد.

باشند. با توجه به اینکه ایستگاه ۴ محل خروجی فاضلاب شهری به رودخانه کارون می‌باشد، پس افزایش فلزات در ایستگاه ۴ را می‌توان به کانال خروجی فاضلاب شهری استقرار



شکل ۶- نقشه توزیع مکانی فلزات سرب، روی، کروم و کادمیوم در ایستگاه‌ها در فصل زمستان

Figure 6. The spatial distribution map of lead, zinc, chromium and cadmium at stations in winter



شکل ۷- نقشه توزیه مکانی فلزات سرب، روی، کروم و کادمیوم در ایستگاهها در فصل زمستان

Figure 7. The spatial distribution map of lead, zinc, chromium and cadmium at stations in summer

این استانداردها غلظتی از آلایندهها را نشان می دهند که در مقادیر پایین تر از آن، آثار بیولوژیکی به ندرت مشاهده می شوند. از طرفی اگر غلظت آلاینده بیش تر از این مقادیر باشد، آثار بیولوژیکی به فراوانی رخ خواهد داد. استاندارد NOAA با شاخص های ERL و ERM و استاندارد ISQGs با شاخص های TEL و PEL نشان داده می شوند. به منظور تعیین

برای تعیین میزان آلودگی رسوبات سطحی رودخانه به فلزات سرب، روی، کروم و کادمیوم، میانگین مقادیر غلظت محاسبه شده برای این فلزات با استانداردهای کیفیت رسوب آمریکا (NOAA)، استاندارد کیفیت رسوب کانادا (ISQGs) مقایسه شد. این استانداردها برای ارزیابی درجه آلودگی و بررسی میزان تأثیر آلایندهها روی موجودات زنده استفاده می شوند. در واقع

اختلاف معنی دار غلظت فلزات تحت بررسی در رسوبات سطحی با استانداردهای NOAA و USEPA از آزمون One sample t.test استفاده شد.

جدول ۳- مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین در رسوبات رودخانه کارون با برخی استانداردهای جهانی

Table 3. Comparison of the average concentration heavy metals in Karoon River sediments by the some national standards

منبع	سرب	روی	کروم	کادمیوم	شاخص	استاندارد
Mac Donald et al, 2000	۳۵	۱۲۰	۸۰	۵	ERL	کیفیت رسوب آمریکا (NOAA)
	۱۱۰	۲۷۰	۱۴۵	۹	ERM	
Persuad et al, 1993	۹۱/۳	۳۱۵	۹۰	۳/۵	PEL	کیفیت رسوب کانادا (ISQG)
	۳۵	۱۲۳	۳۷/۳	۰/۶	TEL	
رودخانه کارون	۲۶/۲۸	۷۲/۳	۵۳/۴۸	۳/۸۵	تابستان	مطالعه حاضر
	۱۳/۴۷	۵۹/۵۴	۳۰/۲۶	۰/۴۲	زمستان	

استانداردهای جهانی به دلیل صنایع آبکاری و فعالیت‌های کشاورزی در ایستگاه‌های بالادست بود که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. بنابراین گرچه میزان این عناصر در رسوبات منطقه در حد خطرناک و بحرانی نیست اما بایستی پیش از آن- منطقه تهدیدی جدی برای سلامت محیط زیست و موجودات منطقه تبدیل شوند، با اقدامات پیشگیرانه، مدیریت و نظارت صحیح از افزایش این آلاینده‌ها جلوگیری نمود.

مقایسه میزان اندازه گیری شده فلزات سنگین مورد مطالعه در رسوبات رودخانه کارون با راهنماهای کیفیت رسوب نشان داد که غلظت فلزات سرب و روی در رسوبات منطقه مورد مطالعه از سطوح مورد تأکید NOAA (ERL و ERM) و راهنمای کیفیت رسوب کانادا (TEL و PEL) بسیار کم‌تر است. اما میانگین فلز کروم در رسوبات منطقه در فصل تابستان از حد TEL در راهنمای کیفیت رسوب NOAA و میانگین فلز کادمیوم نیز از حد TEL و PEL در راهنمای کیفیت رسوب کانادا بیشتر بود. همان‌طور که ملاحظه می‌شود غلظت فلز کادمیوم نسبت به سایر فلزات به میزان بیشتری در مقایسه با برخی استانداردهای مورد مطالعه بالاتر است حضور فلزات سنگین بیش از استانداردهای تعریف شده در محیط باعث بروز مشکلات و عوارض زیست محیطی برای ساکنان آن محل و اکوسیستم می‌گردد. کادمیوم و ترکیبات آن بسیار سمی است و این فلز برای هیچ یک از عملکردهای بیولوژیکی در بدن انسان ضروری شناخته نشده است (۳۰). پس منابع انتشار این فلز به رودخانه کارون که منجر به افزایش غلظت فلز کادمیوم می‌گردد باید کنترل گردد و پایش‌های مستمر و منظم بر روی غلظت فلزات سنگین منطقه صورت گیرد. پژوهش میرزایی و سلگی (۱۳۹۴) در بررسی غلظت فلزات سنگین در رسوبات رودخانه زاینده رود حاکی از میزان بالای کادمیوم و بیش از

References

1. Adel, M., et al., Heavy metal concentration in muscle of pike (*Esox lucius* Linnaeus, 1758) from Anzali international wetland, southwest of the Caspian Sea and their consumption risk assessment. *Toxin Reviews*, 2016; 35(3-4): 217-223.
2. Khaled, A., ElNemr, A., ElSikaily, A. 2006. "An assessment of heavy metal contamination in surface sediments of the Suez Gulf using geoaccumulation indexes and statistical analysis", *Chemistry and Ecology*. 22(3): 239-252.
3. Zamani-Ahmadmahmoodi, R., Esmaili-Sari, A., Mohammadi, J.,

10. Sengupta, A. K. 2002. Environmental Separation of Heavy Metals. Engineered Processes, CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, 400p.
11. Webster, R. and T.M. Burges. 2002. Optimal Interpolation and Isarithmic Mapping of Soil Properties III- Changing Drift and Universal Kriging. *Journal of Soil Science*, 31, 505-524.
12. Hosseini, S.M., Mirghaffari, N., Mahboobi Soofiani, N., khodakarami, L. Evaluation of Mercury Contamination in the Caspian Sea's Sediment by GIS and Geostatistic. *Journal of Natural Environment, Iranian Journal of Natural Resources*, Vol. 64, No. 2, 2011, pp. 169-183. (In Persian)
13. Taheri, M., Riahi Bakhtiari, A., Naimi, B., Gholamalifard, M. 2014. The Concentration and Spatial Distribution of Mercury, Lead, and Cadmium in Surface Sediments of Mangrove Forests Using Geostatistics in GIS Environment. *Journal of Environmental Study*, 40 (2); 297-310. (In Persian)
14. Bagheri H, Azimi A. 2015. The Distribution of Heavy Metals in Surface Sediments of Sisangan Coasts- The Southern Coast of Caspian Sea. *Joc*, 6 (21): 27-36. (In Persian)
15. Rajaram, R., Ganeshkumar, A., Vinothkumar, SH., Rameshkumar, S., 2017. Multivariate statistical and GIS-based approaches for toxic metals in tropical mangrove ecosystem, southeast coast of India. *Environmental Monitoring and Assessment*, volume 189, Number 6, 189:288.
16. Gu, Y. G., Wang, Z. H., Lu, S. H., Jiang, S. J., Mu, D. H., & Shu, Y. H. 2012. Multivariate statistical and GIS- Bakhtiari, A. R., & Savabieasfahani, M. 2013. Spatial distribution of cadmium and lead in the sediments of the western Anzali wetlands on the coast of the Caspian Sea (Iran). *Marine pollution bulletin*, 74(1), 464-470 pp.
4. Laboy-Nieves, E.N., Conde, J.E. 2001. "Metal levels in eviscerated tissue of shallowwater deposit-feeding holothurians", *Journal of Hydrobiologia*, 459: 19-26.
5. Sin, S. N., Chua, H., Lo, W., & Ng, L. M. 2001. Assessment of heavy metal cations in sediments of ShingMun River, Hong Kong. *Environment International*. 26(5), 297-301 pp.
6. Malferrari, D., Brigatti, M. F., Laurora, A., & Pini, S. 2009. Heavy metals in sediments from canals for water supplying and drainage: mobilization and control strategies. *Journal of Hazardous Materials*, 161(2). 723-729 pp.
7. Karbasi, M., Karbasi, E., Saremi, A. and Ghorbani Zade Kharazi, H. 2010. Determination of heavy metals concentration in drinking water resources of Aleshtar in 2009. [YAFTEH](#), 12, 1 (43), 65 - 70. (In Persian)
8. Riahi Bakhtiari, A., Esmaeili Sari, A. and Satri, A. Determination of heavy metals (Ni, Zn, Cu, Pb, Co, Cd) in water, sediments and aquatics of Karun River. *Journal of Natural Environment (Iranian Journal Natural Resources)*, 1998; 1 (52). (In Persian)
9. Alam Sadani pour, S., Alavi Nasab, M.S. 2010. Check the effect of sewage plant of Khorramshahr soap factory on water quality of Karun River and Dehkord. *Journal of Environmental science*. 48; 43-49. (In Persian)

- Health System Research, 9(10); 1108 – 1116. (In Persian)
23. Moazeni, M., Hayeripour, S., Mohammadi, M., Foladi, H. 2013. Study of some Heavy metals concentration (Cd, Cu, Pb, Ni) in surface sediments of the Naiband national park, Persian Gulf, Iran. *Journal of wetland ecobiology*, 5(15); 23-32. (In Persian)
 24. Rajaei, Q., Hasanpour, M., Mehdinejad, M.H. 2012. Heavy Metals Concentration (Zinc, Lead, Chrome and Cadmium) in Water and Sediments of Gorgan Gulf and Estuarine Gorganroud River, Iran. *Scientific research journal of Health System Research (HSR)*, 8(5); 748-756.
 25. 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.
 26. Rybak, A., Messyasz, B., Łęska, B. 2012. "Freshwater Ulva (Chlorophyta) as a bioaccumulator of selected heavy metals (Cd, Ni and Pb) and alkaline earth metals (Ca and Mg)", *Chemosphere.* ; 89(9):1066-76. Doi: 10.1016. (In Persian)
 27. Dadolahi Sohrab A, Saghily M, Khivar N. Heavy metals (Ni, Cd, Pb, Cu) concentrations in seaweed and sediments along the coastal areas of Hormuzgan province (Bandar Abbas and Bandar Lengeh). *isfj.* 2011; 20 (1): 31-42. (In Persian)
 28. MacDonald, D.D., Ingersoll, C.G., Berger, T.A. 2000. "Development and based approach to identify source of anthropogenic impacts on metallic elements in sediments from the mid Guangdong coasts, China. *Environmental Pollution (Barking, Essex: 1987)*.163, 248 pp.
 17. Hosseini Zare, N. 2001. Investigation the impact of Faryab lands distribution and development plants in Khuzestan University of science and research. (In Persian)
 18. Al – Abdali, M. 1996. "Bottom Sediments of the Arabian Gulf – III. Trace Metal Contents as indicators of Pollution and implications for the effect and fate of the Kuwait oil slick", *Environmental pollution.* Vol 93. No. 3, PP 285-301.
 19. Yap, C.K., Ismail, A., Tan, S.G., Omar, H. 2002. "Correlations between speciation of Cd, Cu, Pb and Zn in sediment and their concentrations in total soft tissue of green-lipped mussel *Perna viridis* from the west coast of Peninsular Malaysia", *Environment International*, 28(1-2), 117-126.
 20. Mohammadi, J. 2006. *Spatial Statistics*, Pelk publication, Tehran. Iran, 453 p. (In Persian)
 21. Rashmanloo, K., Haeri, S., Saeb, K. 2013. Evaluation of heavy metal cadmium Tajan Sari River by sediment (case study: Sari Paper and wood area). *National Conferece Iran Environmental Research, Hamadan: Mofattah Shahid Faculty.* (In Persian)
 22. Shanbehzadeh, S., Vahid Dastjerdi, M., Hassanzadeh, A., Kiyanzadeh, T. 2014. Investigation of Heavy Metals in water and sediment on Massjed soleymanTembi river before and after of wastewater entrance. *Journal of*

- Heavy Metals Values in Drinking Water Sources of Alashtar in 2009", *Majaleh Daneshgahe Olum Pezeshki Lorestan*. 12(1):65-70. (In Persian)
31. Mirzaei, M. and Solgi, E. 2016. Evaluation of heavy metals concentration (cadmium, copper, manganese, nickel, lead and zinc) in sediments of Zayandehrood River. *Journal of Research in Environmental Health*, 1(4); 251-265. (In Persian)
29. Persaud, D., Jaagumagi, R., Hayton, A. 1993. "Guidelines for the protection and management of aquatic sediment quality in Ontario", Ontario Ministry of the Environment, Ottawa, Ontario. ISBN 0-7729-9248-7. 23 pp.
30. Karbasi, M., Karbasi, E., Sarami, A., Kharrazi, H.G. 2010. "Assessment of evaluation of consensus -based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems", *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 39, 20–31.