



Research Paper

## Evaluation of Element Pollution (Cd, As Cu, Zn) in Estuaries of Western Rivers of Mazandaran Province, Iran

Sayed Ahmad Hejazi<sup>1</sup>, Ahmad Tavana<sup>2\*</sup>, Aptin Rahnavard<sup>2</sup>, Farid Gholamreza Fahimi<sup>2</sup> and Masoud Kiadaliri<sup>2</sup>

<sup>1</sup>PhD Scholar, Department of Environmental Pollution, Tonekabon Branch, Islamic Azad University, Tonekabon, Iran

<sup>2</sup>Assist. Professor, Department of Environment, Tonekabon Branch, Islamic Azad University, Tonekabon, Iran

### Article information

**Received:** July 01, 2021

**Revised:** September 03, 2021

**Accepted:** September 10, 2021

### Keywords:

Agricultural Pesticides

Estuary

Heavy Metals

Mazandaran

River

\*Corresponding author:

[ahmad.tavana@toniau.ac.ir](mailto:ahmad.tavana@toniau.ac.ir)



### Abstract

The purpose of the present study was to assess the concentration of Cd, As, Cu, and Zn metals in water and sediments of rivers in the west of Mazandaran province, Iran. The number of water and sediment samples was 36 taken from four stations from April 2019 to March 2020 and analyzed with three replicates. Mean values of total environmental factors at the four stations during winter and summer seasons were as T=11.21-16.46 °C, salinity=3.58-6.47 g/l, pH=5.42-5.92, TDS=3.52-6.25 g/l, electrical conductivity=6.27-11.12 μmho/cm, nitrite=0.01-0.03 mg/l, and nitrate=1.37-3 mg/l respectively. The quality of environmental factors was found within the normal range for water quality in Iran for different types of land use: agricultural, industrial, recreational, and hot-and cold-water fish farming. Mean values of total adsorption of cadmium, arsenic, copper, and zinc were 0.25, 0.77, 11.44, and 11.02 mg/l respectively in water samples, and 0.2, 3.83, 20.91, and 59.27 μg/g in sediment samples. The adsorption of all metals was higher at the beginning of the cultivation season compared with the non-cultivation season both in water and sediment samples. Safarood river was the most polluted of all rivers. The concentration of metals was higher than the permissible limit in water, but lower in sediments (except for copper and arsenic) in all four rivers.

© Authors, Published by **Environment and Water Engineering** journal. This is an open-access article distributed under the CC BY (license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



### Introduction

The rapid progress of urban planning and human activities such as industry, agriculture, and mining increase the contamination of aquatic ecosystems, especially rivers and lakes. Of these, heavy metals are the biggest threat which pour into lakes and oceans through contaminated waters. As the contamination enters the ecosystem, its effects can be observed as a severe

decline in the biological activity of organisms and in some cases as a severe loss of aquatic life. Metal contamination in the water system is usually dissolved in water and remains suspended until eventual sedimentation or adsorption by living organisms. Studies show that heavy metal contamination negatively impacts the physiology, nutrition, growth, reproduction, and migration of living organisms. It also reduces the diversity of marine species,



leading to the consumption of contaminated seafood and endangering the lives of living organisms.

Environmental assessment and monitoring are required to determine the source and concentration of pollutants in aquatic environments. Water, sediments, and marine organisms are analyzed to determine the level of contamination. It is very important to calculate the level of heavy metal adsorption for the general health of the population and the protection of the marine environment. The present study aims to investigate the level of adsorption of heavy metals in water and sediments in the two seasons of growing and non-growing agricultural lands. The guidelines of the US National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) and the Canadian Interim Sediment Quality Guidelines (ISQGs) were used to investigate the level of contamination in sediments and compare them with Iranian and global standards.

## Materials and Methods

Regular sampling continued for one year from spring to winter in 2019, in two seasons of growing (summer) and non-growing (winter) of agricultural crops near the four rivers of Safarud, Shirud, Kazemrud, and Sardabrud in the cities of Ramsar, Tonekabon, Abbasabad, and Chalous in western Mazandaran Province in northern Iran. The seven factors of salinity, temperature, soluble materials, electrical conductivity, pH, nitrite (NO<sub>2</sub>-), and nitrate (NO<sub>3</sub>) were measured in each study station. The levels of cadmium, arsenic, copper, and zinc in the sediments and water were determined at each station by induced coupled plasma optical spectroscopy (ICP-OES), and the final concentrations of elements were reported in mg/kg drywt. The contamination index, geoaccumulation index, ecological risk, enrichment factor, and the potential ecological risk factors for all the metals were calculated. The level of contamination for all metals was also calculated.

Table 1 Results of the main indicators of metal pollution in the sediments of the studied rivers and determining the level of pollution

	River	Cd	As	Cu	Zn	Pollution status
Pollution factor index	Safaroud River	0.66	0.41	0.72	0.73	Low pollution
	Shiroud River	0.66	0.37	0.33	0.59	Low pollution
	Kazemrud River	0.66	0.24	0.43	0.59	Low pollution
	Sardabroud River	0.66	0.15	0.35	0.57	Low pollution
	Cultivation	0.83	0.45	0.50	0.63	Low pollution
	Non-cultivation	0.50	0.13	0.42	0.61	Uninfected
Miller accumulation ground	Safaroud River	- 1.21	- 2.83	- 1.05	- 1.04	Uninfected
	Shiroud River	- 1.21	- 2.6	- 2.2	- 1.34	Uninfected
	Kazemrud River	- 1.21	- 2.86	- 1.85	- 1.35	Uninfected
	Sardabroud River	1.21	- 3.71	- 2.08	- 1.38	Uninfected
	Cultivation	- 0.85	- 1.98	- 1.59	- 1.24	Uninfected
	Non-cultivation	- 1.58	- 4.02	- 2	- 1.32	Uninfected
Ecological risk index	Safaroud River	20	4.12	3.64	0.73	Low risk
	Shiroud River	20	3.73	1.67	0.59	Low risk
	Kazemrud River	20	2.41	2.18	0.59	Low risk
	Sardabroud River	20	1.53	1.79	0.57	Low risk
	Cultivation	25	4.55	2.54	0.63	Low risk
	Non-cultivation	15	1.35	2.09	0.63	Low enrichment
Enrichment index	Safaroud River	1	2.97	0.59	0.92	Low enrichment
	Shiroud River	1	2.69	0.27	0.75	Low enrichment
	Kazemrud River	1	1.74	0.35	0.75	Low enrichment
	Sardabroud River	1	1.10	0.29	0.73	Low enrichment
	Cultivation	1.25	3.28	0.41	0.80	Low enrichment
	Non-cultivation	0.75	0.97	0.34	0.77	Low enrichment
Metal toxicity assessment	Safaroud River	0.66	0.41	0.72	0.73	Non-toxicity
	Shiroud River	0.66	0.37	0.33	0.59	Non-toxicity
	Kazemrud River	0.66	0.24	0.43	0.59	Non-toxicity
	Sardabroud River	0.66	0.15	0.35	0.57	Non-toxicity
	Cultivation	0.83	0.45	0.50	0.63	Non-toxicity
	Non-cultivation	0.50	0.13	0.42	0.61	Non-toxicity
Pollution rate index (Cd)	Low pollution	Low pollution	Low pollution	Low pollution		
Modified Pollution Index (mCd)	very low	very low	very low	very low		
Environmental Risk Index (RI)	Low risk	Low risk	Low risk	Low risk		
Total Toxicity Index (TU $\Sigma$ )	Non-toxicity	Non-toxicity	Non-toxicity	Non-toxicity		

## Results

Cd, As, Cu, and Zn had low levels of contamination. All four rivers also had low levels of contamination. All four river mouths were uncontaminated in terms of the level of geoaccumulation for all the metals. In terms of ecological risks, our findings revealed low levels of threat to the environment by all the toxic and non-toxic metals. As for enrichment factors, our findings showed no enrichment for all toxic and non-toxic metals (Table 1). The toxicity of all metals in rivers was less than 1 during the growing and non-growing seasons. The total

toxicity level for all metals was less than 4, which indicates no toxicity in the rivers of western Mazandaran. In fact, these metals are naturally present in the soil, but agricultural activities and chemical fertilizers have led to the increasing accumulation of these metals in the sediment. In general, metals with enrichment power greater than 1 indicate the role of anthropogenic activities in the enrichment of these elements in the topsoil. Table (2) shows the results of the Pearson correlation to determine the relationship between environmental factors and the absorption of heavy elements.

Table 2 Results of Pearson correlation to determine the relationship between environmental factors and the absorption of heavy elements

	Temperature	Salinity	pH	TDS	Ec	Nitrite	Nitrate
Temperature	1						
Salinity	0.083	1					
pH	-0.404**	0.205	1				
TDS	0.075	0.999**	0.205	1			
EC	0.078	0.999**	0.205	0.999**	1		
Nitrite	-0.427**	-0.095	0.039	-0.096	-0.089	1	
Nitrate	-0.505**	-0.723**	-0.029	-0.721**	-0.724**	0.317**	1
Water (Cd)	0.493**	0.315**	-0.013	0.310**	0.306**	-0.251*	-0.289*
Water (As)	0.611**	0.102	-0.395**	0.102	0.110	-0.280*	-0.504**
Water (Cu)	0.656**	0.484**	-0.041	0.474**	0.473**	-0.300*	-0.534**
Water (Zn)	0.703**	0.424**	-0.269*	0.418**	0.421**	-0.228	-0.564**
Sediment (Cd)	0.882**	0.315**	-0.453**	0.309**	0.312**	-0.399**	-0.630**
Sediment (As)	0.287*	0.486**	-0.300*	0.487**	0.486**	-0.276*	-0.544**
Sediment (Cu)	0.246*	0.078	-0.205	0.081	0.080	0.142	-0.077
Sediment (Zn)	0.082	0.134	-0.075	0.138	0.138	0.251*	-0.075

NS) Not significant. p<0.01 \*\*) Significant is 0.01 level. \*) Significant is 0.05 level

## Conclusions

The levels of heavy metals accumulation in the water were found to be higher than permissible levels according to global and Iranian standards. Only Cd, and As accumulation in the sediments was over the limit during the growing season. The adsorption of all metals increases in water and sediments with the onset of summer and the beginning of the growing season. Cd and Zn had the lowest and highest levels of adsorption in water and sediments, respectively. A major share of contaminating factors in the rivers studied pertain to land usage change in the river banks, direct discharge of residential, industrial, and recreational centers' waste and sewage, asphalt

factories, excessive sand production, effluent from fish and livestock farms, urban and rural sewage and runoffs, dry waste production by the tourism industry, and excessive use of agricultural fertilizers and pesticides.

## Data Availability

Most of the data used in this research are presented in the paper. Data can be sent by the corresponding author through email upon request.

## Conflict of Interests

The authors of this paper declare no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.



ISSN: 2476-3683

محیط زیست و مهندسی آب

Homepage: [www.jewe.ir](http://www.jewe.ir)

مقاله پژوهشی

## ارزیابی آلودگی عناصر Cu, Zn, Cd, As در مصب رودخانه‌های غرب استان مازندران

سیداحمد حجازی<sup>۱</sup>، احمد توانا<sup>۲\*</sup>، آبتین راهنورد<sup>۲</sup>، فرید غلامرضا فهیمی<sup>۲</sup> و مسعود کیادلیری<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی دکترا، گروه محیط زیست، واحد تنکابن، دانشگاه آزاد اسلامی، تنکابن، ایران  
<sup>۲</sup>استادیار، گروه محیط زیست، واحد تنکابن، دانشگاه آزاد اسلامی، تنکابن، ایران

### چکیده

### اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: [۱۴۰۰/۰۴/۱۰]

تاریخ بازنگری: [۱۴۰۰/۰۶/۱۲]

تاریخ پذیرش: [۱۴۰۰/۰۶/۱۹]

### واژه‌های کلیدی:

فلزات سنگین

سموم کشاورزی

رودخانه

مازندران

مصب

\*نویسنده مسئول:

[ahmad.tavana@toniau.ac.ir](mailto:ahmad.tavana@toniau.ac.ir)

این پژوهش با هدف بررسی غلظت عناصر آرسنیک، کادمیم، روی و مس در آب و رسوبات مصب رودخانه‌های غرب استان مازندران انجام شد. تعداد ۳۶ نمونه آب و رسوب در ۴ ایستگاه با سه تکرار از فروردین تا اسفندماه ۱۳۹۸ نمونه‌برداری و آنالیز شدند. میانگین کل فاکتورهای محیطی در دو فصل زمستان-تابستان به ترتیب به صورت دما  $11/21 - 16/46$  °C، شوری g/l  $3/58 - 6/47$ ، pH  $5/92 - 5/42$ ، مواد محلول g/l  $3/52 - 6/25$ ، هدایت الکتریکی  $\mu\text{mho/cm}$   $6/27 - 11/12$ ، نیتریت mg/l  $0/03 - 0/01$  و نیترات mg/l  $1/37 - 3$  به دست آمد. طی مقایسه فاکتورهای محیطی با استاندارد کیفیت آب ایران بر اساس نوع کاربری کشاورزی، صنعتی، تفریحی و پرورش ماهیان گرمابی و سردابی در حد استاندارد بود. میزان کل جذب فلزات کادمیم، آرسنیک، مس، روی در آب به ترتیب  $0/25$ ،  $0/77$ ،  $1/44$  و  $11/02$  mg/l؛ در رسوبات به ترتیب  $0/2$ ،  $3/83$ ،  $20/91$  و  $59/27$   $\mu\text{g/g}$  بود. با شروع فصل کشت میزان غلظت فلزات در نمونه‌های آب و رسوبات بسیار بالاتر بود. رودخانه صفارود نسبت به سایر رودخانه‌ها آلوده‌تر بود. غلظت فلزات نمونه‌های آب در هر ۴ رودخانه بیش‌تر از حد مجاز بوده ولی در رسوبات به جز فلز مس و آرسنیک در بقیه کم‌تر از حد مجاز به دست آمد.

### ۱- مقدمه

دریاچه‌ها می‌شوند. فلزات سنگین از مهم‌ترین آلاینده‌ها هستند که از آب‌های آلوده به رودخانه‌ها وارد شده و در نهایت به دریاها و دریاچه‌ها می‌رسند (Keshavarzi et al. 2018). این تأثیرات از بدو ورود آلودگی به بوم‌ساز به صورت کاهش فعالیت زیستی موجودات و در برخی موارد تلفات شدید آبزیان، ظاهر می‌شود. با توجه به نزدیکی شهرهای ساحلی، جریانات رودخانه‌ای که حاوی پساب، مواد معلق و

مطالعه ویژگی‌های زیستی و غیرزیستی زیستگاه‌های آبی امکان شناخت بهتر و جامع‌تر از ساختار بوم‌شناختی را فراهم می‌کند. که برای شناخت بیش‌تر، حفاظت بهتر، بهره‌برداری پایدار و برنامه‌ریزی‌های مدیریتی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Kamaruzzaman et al. 2011). توسعه سریع شهرسازی، فعالیت‌های انسانی مانند صنایع، کشاورزی، معدن‌کاوی باعث افزایش آلودگی بوم‌سازگان آبی به خصوص رودخانه‌ها و



آشامیدنی قابل شرب میزان آلودگی فلزات سنگین را اندازه-گیری کردند که عناصر روی، مس، کادمیوم پایین تر از حد مجاز بوده ولی فلز سرب بالاتر از حد مجاز بود. (2019) Mortazavi et al. شاخص سمیت حاد و خطر بوم‌شناسی وضعیت آلودگی فلزات سنگین رسوبات رودخانه سزار لرستان را پایین تر از حد مجاز ارزیابی کردند. حال آنکه برای فلز نیکل وضعیت آلودگی را متوسط تا آلودگی قابل ملاحظه اعلام کردند. نتایج ارزیابی آلودگی عناصر سنگین کادمیوم، سرب و مس در رسوبات بندر امیرآباد مازندران توسط Chegini Far et al. (2017) نشان داد که میزان غلظت فلز کادمیوم از استاندارد کیفیت رسوب آمریکا و کانادا بالاتر بوده و سایر فلزات نیز مطابق با استاندارد بود. (2015) Bagheri and Azimi طی بررسی عناصر نیکل، سرب، روی، کادمیوم و آرسنیک در سواحل سیسنگان مازندران، غلظت فلزات کادمیوم و نیکل در رسوبات منطقه از استاندارد کیفیت رسوب آمریکا از کمترین حد تأثیرگذاری و در استاندارد کیفیت رسوب کانادا از حد آستانه تأثیرگذاری بیش تر بود. ولی در بقیه کم تر از حد استاندارد بود. همچنین در مطالعات خارج از کشور می توان به مطالعه (2019) Al-Edresy et al. میزان جذب عناصر سنگین در سواحل دریای سرخ جنوبی یمن، (2013) Ekpo et al. در محیط معدن آکامکپا<sup>۱</sup> در رودخانه کراس<sup>۲</sup> نیجریه نام برد.

در استان مازندران رودخانه‌های بزرگی مانند بابلرود، تجن، سیاهرود، هراز، نکارود، سردآبرود، چشمه‌کیله، شیرود، گلندرود، گرمابرو، چالوس رود، نسا رود، چالکرو، کاظم رود، صفارود وجود دارد که از آب این رودخانه‌ها برای مصرف در بخش‌های کشاورزی، صنعت و آشامیدن استفاده می-شود. در مسیر این رودخانه‌ها شهرها و مناطق مسکونی، اراضی کشاورزی و نیز صنایع و حوضچه‌های پرورش ماهی متعددی وجود دارد که پساب هرکدام می‌تواند اثرات مخربی بر کیفیت آب رودخانه بر جای بگذارد (Mirzaei et al. 2014).

مطابق شواهد موجود روزانه حجم زیادی از آلاینده‌های محیطی نظیر رواناب و فاضلاب‌های شهری، خانگی، صنعتی، سموم کشاورزی و شیرابه دفع زباله بدون هیچ‌گونه تصفیه یا با تصفیه اندک وارد این رودخانه‌ها می‌شود (Seyedasri and Tavana 2019). ورود این

رسوبات بوده و بعضاً حاصل سیلاب‌های مکرر ناشی از عوامل طبیعی هستند، خود بسیاری از مواد آلاینده از جمله سموم و کودهای شیمیایی باقیمانده در خاک و مواد حاصل از شستشوی زه‌آب‌های صنایع کوچک و بزرگ شهرها را به دریا تخلیه کرده و سبب تجمع عناصر سنگین در رسوبات می-گردند. فلزات سنگین می‌توانند با اجزاء و ترکیبات مختلف محیط‌های آبی واکنش دهند و با فازهای مختلف ژئوشیمیایی در رسوبات ترکیب شوند (Rajeshkumar and Li 2018). همچنین رسوبات می‌توانند به‌طور مؤثری به‌عنوان یک مخزن ذخیره و بی‌خطر فلزات سنگین از طریق فرآیندهای جذب سطحی، هیدرولیز و رسوب هم‌زمان در محیط‌های آبی یا به‌عنوان یک منبع تولید فلزات در طی فرآیند تغییر وضعیت محیط مانند تغییر pH یا پتانسیل اکسیداسیون و احیا محیط عمل کند (Wu et al. 2016).

آلودگی فلزی در سیستم آبی معمولاً به‌صورت محلول و معلق بوده و در نهایت ته‌نشین شده و توسط موجودات زنده جذب می‌شود. نتیجه مطالعات نشان داد که آلودگی ناشی از فلزات سنگین اثرات منفی بر سیستم فیزیولوژی، تغذیه، رشد، تولیدمثل و مهاجرت موجودات زنده داشته و سبب کاهش تنوع گونه‌های دریایی می‌شود و در نهایت مصرف غذای دریایی آلوده، حیات زیست‌مندان را به مخاطره می‌اندازد (Ahmad et al. 2010). در بخش مطالعات زیستی، عناصر سنگین در دو گروه عناصر سمی و غیرسمی مورد بررسی قرار می‌گیرند؛ عناصر سنگین نظیر کادمیوم و آرسنیک که هیچ‌گونه نقش شناخته‌شده‌ای در بدن جانداران نداشته و غیرضروری به شمار می‌آیند و سمی هستند (Gu et al. 2015). گروهی دیگر عناصر نظیر روی و مس، جز عناصر ضروری محسوب می‌شوند و برای بدن مفید بوده ولی اگر از حد مجاز عبور کند می‌تواند خطرناک باشد (WHO 1989). برای تعیین منابع و غلظت آلاینده‌ها در محیط‌های آبی نیاز به ارزیابی و پایش محیطی است که برای سنجش میزان آلودگی از آنالیز آب، رسوبات و موجودات دریایی استفاده می‌شود. از این رو اندازه‌گیری میزان جذب عناصر سنگین برای تعیین وضعیت سلامت عمومی و حفاظت از محیط-زیست دریایی اهمیت زیادی دارد (Veerasingam et al. 2010). مطالعات زیادی بروی میزان جذب عناصر سنگین در آب و رسوبات رودخانه‌های ایران و خارج از کشور انجام شده است. به‌طور مثال (2014) Yari Moghadam et al. طی مطالعه بر روی رودخانه آبشینه همدان برای تأمین آب

<sup>1</sup>Akamkpa<sup>2</sup>Cross



## ۲-۲- نمونه‌برداری آب برای سنجش فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی

در هر ایستگاه تعداد ۷ فاکتور فیزیکی و شیمیایی اندازه‌گیری شد. فاکتور شوری، دما و مواد محلول کل (TDS)<sup>۴</sup> توسط دستگاه Cond 3210 SET1 (WTW) فاکتور هدایت الکتریکی (EC) توسط دستگاه Euteoh instruments ECDO602k، متغییر pH به وسیله دستگاه pH 3110 SET2 (WTW) در همان محیط ایستگاه با ۳ تکرار اندازه‌گیری شد. ولی فاکتور نیتريت ( $\text{NO}_2^-$ ) و نترات ( $\text{NO}_3^-$ ) در هر ایستگاه مقدار ۵۰۰ ml نمونه آب در ظروف پلی‌اتیلن ریخته پس از برچسب زدن به آزمایشگاه مرکز تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی واحد تنکابن منتقل و توسط دستگاه Colorimetre DR/890 M (HCAH) اندازه‌گیری شد.

## ۳-۲- نمونه‌برداری رسوبات و آب برای سنجش عناصر سنگین

به‌منظور نمونه‌برداری رسوبات بستر از نمونه‌بردار گرب<sup>۵</sup> استفاده شد. در مجموع ۳۶ نمونه رسوبی از ۴ رودخانه جمع‌آوری شد. رسوبات در درون کیسه‌های پلاستیکی و در دمای  $4^\circ\text{C}$  به آزمایشگاه تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی واحد تنکابن منتقل و تا زمان آنالیز در دمای  $20^\circ\text{C}$  در فریزر نگهداری شدند (American Public Health Association 2005). در آزمایشگاه، همه نمونه‌ها در دمای  $50-55^\circ\text{C}$  به مدت ۷۲ hr خشک و از الک نمره  $63\ \mu\text{m}$  عبور داده شد. به‌منظور تزریق نمونه به دستگاه اتمیک پلاسما ۱ g از هر نمونه در هاون عقیق به‌آرامی پودر نموده و در زیر هود با ۷ ml تیزاب سلطانی (نیتریک اسید غلیظ و کلریدریک اسید به نسبت ۳ به ۱) درون لوله‌آزمایش مخلوط شده و بر روی صفحه داغ<sup>۶</sup> در دمای  $95^\circ\text{C}$  به مدت ۱ hr هضم شد. پس از خنک شدن ۵ ml هیدروژن فلوراید به محلول اضافه شد. محلول هضم شده با استفاده از NHCl در بالن ژوژه ۵۰ ml رقیق شده و سپس نمونه‌های آماده شده از کاغذ صافی واتمن ۴۲ عبور داده شدند (Karbassi et al. 2008). نمونه‌های آب از زیر سطح آب از عمق ۲۰ cm بستر تهیه گردید نمونه‌های آب در لوله‌های فالكون ۱۰۰ ml کاملاً

آلاینده‌ها به رودخانه ضمن تجمع در رسوبات منطقه می‌تواند باعث ایجاد خطر محیط‌زیستی بر گونه‌های گیاهی و جانوری رودخانه باشند. از سوی دیگر برداشت از آب رودخانه برای مصارف شرب، کاربری‌های کشاورزی، شهری و صنعتی می‌تواند تهدیدی جدی برای سلامت جوامع انسانی باشد. بنابراین بررسی و ارزیابی سمیت و خطر محیط‌زیستی غلظت عناصر سنگین در این بوم‌ساز آبی با توجه به مطالعات اندکی صورت گرفته در این ناحیه و نبود اطلاعات پایه در خصوص وضعیت آن در کنار لزوم پایش آلاینده‌های رودخانه از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. هدف از انجام این پژوهش بررسی میزان جذب عناصر سنگین در آب و رسوبات در دو فصل کشت و غیر کشت زمین‌های کشاورزی می‌باشد. همچنین وضعیت آلودگی رسوبات با استانداردهای جهان و ایران با استفاده از دو راهنمای کیفیت رسوب<sup>۱</sup>-راهنمای کیفیت رسوب آمریکا (NOAA)<sup>۲</sup> و راهنمای کیفیت رسوب کانادا (ISQGS)<sup>۳</sup> مقایسه شد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۱-۲- زمان و مکان نمونه‌گیری

چهار رودخانه صفارود، شیروود، کاظم رود، سردآبرود در شهرستان رامسر، تنکابن، عباس‌آباد و چالوس در غرب استان مازندران واقع شده است. نمونه‌برداری به‌طور منظم و به مدت ۱ Yr از بهار تا زمستان سال ۱۳۹۸ در دو فصل کشت (تابستان) و غیر کشت (زمستان) محصولات کشاورزی انجام شد. به‌همین منظور نمونه‌برداری از مصب در قسمت فوقانی مصب (رودخانه)، دهانه مصب و قسمت پایینی مصب (دریا) تعداد ۱۲ ایستگاه و در هر ایستگاه ۳ تکرار در نظر گرفته شد. که در مجموع تعداد ۳۶ نمونه آب و ۳۶ نمونه رسوب نمونه‌برداری شد. برای تعیین طول و عرض جغرافیایی در هر ایستگاه ابتدا به‌وسیله متر با فرض خط ساحلی (دهانه مصب) همه ایستگاه‌ها توسط دستگاه GPS موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌ها ثبت شد. نقشه موقعیت تمام ایستگاه‌ها در شکل (۱) نشان داده شده است.

<sup>4</sup>Total dissolved solids

<sup>5</sup>Van Veen Grab

<sup>6</sup>Hotplate

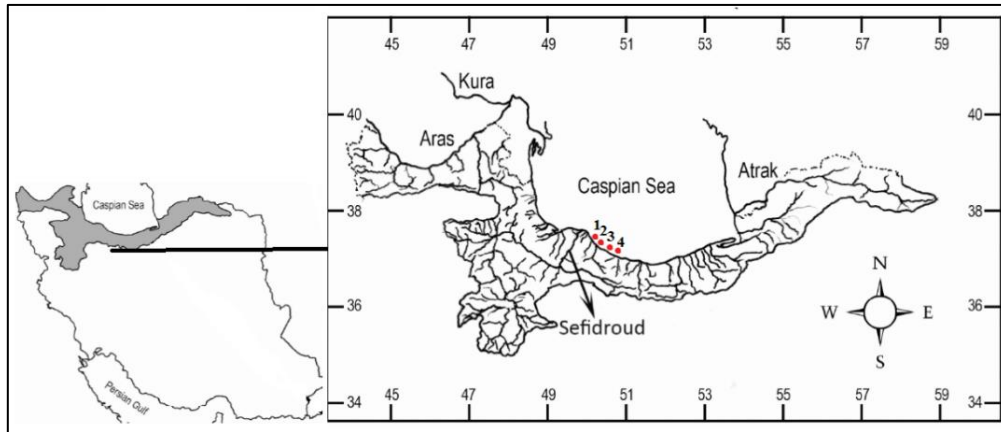
<sup>1</sup>Sediment Quality Guide Lines

<sup>2</sup>National Oceanic and Atmospheric Administration

<sup>3</sup>Canadian interim marine sediment quality

EOP ساخت کشور آلمان انجام شد. غلظت نهایی عناصر برحسب mg/kg وزن خشک اعلام شد (MOOPAM 2010). برای تحلیل داده‌ها از آزمون واریانس یک‌طرفه ANOVA و جهت تعیین رابطه بین فاکتورهای محیطی و جذب عناصر سنگین از آزمون همبستگی پیرسون به کمک نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۰) در سطح اطمینان ۹۵٪ استفاده گردید.

استریل شده توسط نیتریک اسید pH=۲ اسیدی شده و به همراه سایر نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل شدند (Pandey and Pandey 2009). همه اسیدها و مواد شیمیایی استفاده شده با کیفیت و درجه خلوص بالا (مرک) به نمونه‌ها اضافه شدند. اندازه‌گیری غلظت عناصر کادمیوم، آرسنیک، مس، روی از روش طیف‌سنجی نوری پلاسمای جفت شده القایی (ICP-OES) با استفاده از دستگاه نشر اتمی مدل Arcos



شکل ۱- نمایی از نقشه ایستگاه‌های مطالعاتی در رودخانه غرب مازندران

Fig. 1 View of the map of study stations in the west of Mazandaran River

$$Cd = \sum_{i=1}^4 CF^i \quad (2)$$

به خاطر محدودیت‌هایی که در شاخص درجه آلودگی توسط هاکنسون ارائه شده بود. Abrahimi (2005) رابطه اصلاح‌شده (۳) را براساس شاخص درجه آلودگی ارائه نمود و آن را شاخص آلودگی اصلاح‌شده (mcd) نامید. در این رابطه CF فاکتور آلودگی، n تعداد پارامترهای موردبررسی است.

$$mCd = \frac{\sum_{i=1}^4 CF^i}{n} \quad (3)$$

#### ۲-۶- تعیین شاخص زمین انباشتگی مولر

یکی از معیارهای ژئوشیمیایی ارزیابی آلودگی عناصر سنگین و همچنین به منظور تخمین شدت آلودگی خاک به فلزات سنگین استفاده از شاخص زمین انباشتگی مولر (Igeo)<sup>۴</sup> است که بر اساس رابطه (۴) محاسبه می‌گردد (Muller 1969).

$$Igeo = \log_2 \left( \frac{C_n}{1.5 B_n} \right) \quad (4)$$

که، Igeo شاخص زمین انباشتگی، C<sub>n</sub> غلظت فلز سنگین در خاک، B<sub>n</sub> غلظت زمینه در مطالعه حاضر از غلظت عنصر همان منطقه به عنوان شاهد استفاده شد. لازم به ذکر می-

#### ۲-۴- تعیین فاکتور آلودگی

به‌منظور تعیین آلودگی رسوب به عناصر سنگین از شاخص فاکتور آلودگی (CF)<sup>۱</sup> استفاده می‌کنند. بر اساس این شاخص می‌توان مقدار عناصر را نسبت به محیط طبیعی خود سنجید و میزان آلودگی خاک را تعیین کرد. این شاخص طبق رابطه (۱) برای تمام عناصر موردبررسی محاسبه شد. در این رابطه C<sub>metal</sub> نسبت غلظت هر فلز و C<sub>background</sub> مقدار غلظت زمینه مرجع آن می‌باشد. در این پژوهش از میانگین شیل به‌عنوان نمونه مرجع استفاده شد که برای کادمیوم، آرسنیک، مس و روی به ترتیب ۰/۳، ۱۳، ۴۵، ۹۵ mg/kg بود (Azimzadeh and Khademi 2013).

$$CF_{metal} = \frac{C_{metal}}{C_{background}} \quad (1)$$

#### ۲-۵- تعیین درجه آلودگی

اصولاً مجموع ضرایب آلودگی آلاینده‌های مورد مطالعه، درجه کلی آلودگی رسوب را بیان می‌کند که به آن درجه آلودگی (CD)<sup>۲</sup> هاکنسون گفته می‌شود که بر اساس رابطه (۲) به دست می‌آید (Hakanson 1980).

<sup>3</sup>Modified degree of contamination

<sup>4</sup>Integrated pollution index

<sup>1</sup>Contamination factor

<sup>2</sup>Contamination Degree

به ترتیب ۴/۲۱، ۴۱/۶، ۱۰۸، ۲۷۱ است. همچنین قابل ذکر می‌باشد از  $\sum TU$  می‌توان به منظور ارزیابی سمیت حاد مجموع چند فلز، در نمونه موردنظر استفاده کرد. در این صورت چنانچه مقادیر  $\sum TU$  بیش‌تر از ۴ باشد سمیت حاد وجود دارد و اگر  $\sum TU$  کم‌تر از ۴ باشد سمیت وجود ندارد (Pedersen et al. 1998).

$$TU = \frac{\text{Metals}}{\text{PEL}} \quad (7)$$

به منظور قضاوت درباره غلظت  $\text{NO}_3^-$  و  $\text{NO}_2^-$  در نمونه‌های آب، رابطه (۸) به کار گرفته می‌شود. در این رابطه  $C$  غلظت اندازه‌گیری شده  $\text{NO}_3^-$  و  $\text{NO}_2^-$  در نمونه‌های آب و  $CV$  غلظت  $\text{NO}_3^-$  و  $\text{NO}_2^-$  توصیه‌شده توسط سازمان جهانی بهداشت است. اگر حاصل این رابطه  $\leq 1$  شود، بدان معناست که  $\text{NO}_3^-$  و  $\text{NO}_2^-$  در حد مجاز است (Liu et al. 2017).

$$\frac{C_{\text{NO}_2^-}}{CV_{\text{NO}_2^-}} + \frac{C_{\text{NO}_3^-}}{CV_{\text{NO}_3^-}} \leq 1 \quad (8)$$

### ۳- یافته‌ها و بحث

نتایج بررسی فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی در چهار رودخانه مورد مطالعه در جنوب غربی دریای خزر و همچنین در دو فصل غیر کشت (زمستان) و فصل کشت (تابستان) در جدول (۱) نشان داد شده است. میانگین کل دما در ایستگاه صفارود، شیروود، کاظم‌رود و سردآبرود به ترتیب ۱۳/۱۳، ۱۲/۱۳، ۱۵/۳۰، ۱۳/۷۷ °C بود ( $P < 0.05$ ). میانگین کل شوری در ۴ ایستگاه به ترتیب ۶/۵۵، ۷/۵۰، ۳/۶۹، ۲/۳۵ g/l بود ( $P < 0.05$ ). میانگین کل pH در ۴ ایستگاه به ترتیب ۵/۵۸، ۵/۶۶، ۵/۸۰، ۵/۶۴ بود ( $P < 0.05$ ). میانگین TDS در ۴ ایستگاه به ترتیب ۶/۴۰، ۷/۳۸، ۳/۵۳، ۲/۲۲ g/l بود ( $P < 0.05$ ). میانگین کل EC در ۴ ایستگاه به ترتیب ۱۱/۳۵، ۱۳/۰۹، ۶۶/۲۳، ۴/۱۲  $\mu\text{mho/cm}$  بود ( $P < 0.05$ ). میانگین کل  $\text{NO}_2^-$  در ۴ ایستگاه به ترتیب ۰/۰۳۶، ۰/۰۳۲، ۰/۰۰۹، و ۰/۰۳۲ mg/l بود ( $P < 0.05$ ). میانگین کل  $\text{NO}_3^-$  در ۴ ایستگاه به ترتیب ۲/۲۹، ۱/۵۷، ۱/۹۹، و ۳/۰۴ mg/l بود ( $P < 0.05$ ). به‌طور کلی میانگین فاکتورهای محیطی در دو فصل زمستان-تابستان به ترتیب دما ۱۱/۲۱-۱۶/۴۶ °C، شوری ۳/۵۸-۶/۴۷ pH، ۵/۹۲-۵/۴۲ TDS g/l، ۶/۲۵-۰/۰۳ mg/l  $\text{NO}_2^-$ ، ۱۱/۱۲-۶/۲۷ mS/cm EC و ۱/۳۷-۳ mg/l  $\text{NO}_3^-$  بود.

باشد ضریب ۱/۵ با هدف کمینه کردن اثر تغییر احتمالی در غلظت‌های زمینه منظور شده است. مولر برای مشخص نمودن سطح آلودگی ۷ رده مشخص نموده است.

### ۷-۲- تعیین شاخص پتانسیل خطر محیط‌زیستی

به منظور ارزیابی پتانسیل خطر آلودگی رسوبات و خاک به سمیت فلزات در خاک‌ها از شاخص پتانسیل خطر محیط-زیستی (RI) هاکانسن استفاده گردید (Hakanson 1980). این شاخص بر اساس میزان سمیت فلزات روش‌های اصلاحی برای فلزات کادمیوم، آرسنیک، روی به ترتیب برابر با ۳۰، ۱۰، ۱، می‌باشد (Wang et al. 2013). شاخص RI بر اساس رابطه‌های (۵) و (۶) محاسبه گردید

$$RI = \sum_{i=1}^6 E_r^i \quad (5)$$

$$E_r^i = C_f^i \times T_r^i \quad (6)$$

که،  $E_r^i$  شاخص پتانسیل خطر بوم‌شناسی،  $T_r^i$  فاکتور سمیت فلز،  $C_f^i$  فاکتور آلودگی می‌باشد (Gurumoorthi and Venkatachalapathy 2016).

### ۸-۲- شاخص غنی‌شدگی

شاخص غنی‌شدگی (EF) بیانگر آلودگی واقعی است و وسیله‌ای برای تعیین منشأ انسان‌ساخت و طبیعی عناصر در رسوبات می‌باشد. شاخص EF از طریق میزان غلظت فلزات در رسوبات نمونه مورد مطالعه بر میزان آن فلز در پوسته زمین و یا غلظت اولیه عناصر قبل از صنعتی شدن در رسوبات محاسبه می‌گردد (Chiu-Wen Chen et al. 2007).

### ۹-۲- ارزیابی سمیت فلزات

برای ارزیابی میزان سمیت فلزات سنگین در رسوبات شاخص پتانسیل سمیت حاد<sup>۳</sup> فلزات استفاده شد. در واقع شاخص پتانسیل سمیت حاد رسوب را می‌توان به صورت مجموع واحدهای سمی ارزیابی و برآورد نمود. در این شاخص واحد سمی (TU) به صورت نسبت غلظت موردنظر به مقدار حد احتمال اثر (PEL)<sup>۵</sup> آن فلز مطابق با رابطه (۷) محاسبه می‌گردد. مقدار PEL برای فلزات کادمیوم، آرسنیک، مس و روی

<sup>2</sup>Enrichment Factor

<sup>3</sup>Potential Acute Toxicity

<sup>4</sup>Toxicity Unite

<sup>5</sup>Probable Effect Level

Potential ecological risk index



نتایج بررسی میزان جذب فلزات سمی و غیر سمی آب در چهار رودخانه مورد مطالعه در جنوب غربی دریای خزر و همچنین در دو فصل غیر کشت (زمستان) و فصل کشت (تابستان) در جدول (۲) نشان داده شده است. میانگین کل جذب فلز کادمیوم در ایستگاه صفارود، شیروود، کاظم‌رود و سردآبرود به ترتیب ۰/۱۳، ۰/۱۳، ۰/۶۱ و ۰/۱۵ mg/l بود (P<۰/۰۵). میزان جذب فلز آرسنیک به ترتیب ۰/۱۷، ۰/۵۰، ۰/۱۷ و ۰/۴۷ mg/l بود (P<۰/۰۵). میزان جذب فلز مس به ترتیب ۰/۹۹، ۰/۳۱، ۰/۴۶ mg/l و ۰/۴۶ mg/l بود (P<۰/۰۵). میزان جذب فلز روی به ترتیب ۰/۱۳/۰۸، ۰/۱۲/۹۶ و ۰/۷۶ mg/l بود (P<۰/۰۵). به‌طور کلی میانگین فلزات سمی در فصل زمستان و تابستان به ترتیب کادمیوم ۰/۰۳-۰/۵۱ و آرسنیک ۰/۱۵-۰/۵۴ mg/l بود. فلزات غیر سمی به ترتیب مس ۰/۰۱-۰/۸۷ و ۰/۰۳-۰/۳۷ mg/l بود. نتایج آماری نشان داد که این اختلاف در هر چهار فلز از نظر آماری معنی‌دار بود (P<۰/۰۵).

جدول ۱- پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب بین ایستگاه مطالعاتی طی فصول کشت و غیر کشت

Table 1 Physical and chemical parameters of water between the stations during cultivated and non-cultivated seasons

Season	River Name	Temperature °C	Salinity g/l	pH	TDS g/l	EC $\mu\text{mho/cm}$	Nitrite mg/l	Nitrate mg/l
Non-cultivation Winter season	Safaroud	11.35±0.35	3.29±4.65	5.83±0.56	3.28±4.58	5.92±8.20	0.06±0.02	3.70±1.61
	Shiroud	11.19±0.25	6.86±2.05	5.91±0.50	6.83±1.79	12.02±3.22	0.03±0.01	2.55±1.14
	Kazemroud	11.22±0.21	3.54±5.04	6.05±0.44	3.37±4.77	5.93±8.34	0.01±0.003	2.45±1
	Sardabroud	11.09±0.18	0.62±0.59	5.89±0.53	0.16±0.57	1.22±1.15	0.04±0.008	4.23±0.26
	Total	11.21±0.25	3.58±4.1	5.92±0.49	3.52±3.98	6.27±7.01	0.03±0.02	3±0.28
	Min-Max	10.8-11.80	0.10-1.50	5.16-7.05	0.18-9.80	0.3-17.10	0.01-0.10	0.94-4.65
Cultivation Summer season	Safaroud	14.92±1.16	9.81±1.19	5.33±0.56	9.52±1.13	16.78±1.80	0.01±0.008	1.52±0.29
	Shiroud	15.07±0.47	8.14±3.02	5.41±5.50	7.93±2.86	14.16±4.92	0.03±0.03	0.60±0.28
	Kazemroud	19.38±1	3.85±5.41	5.55±0.44	3.70±5.18	6.53±9.02	0.005±0.003	1.52±0.68
	Sardabroud	16.45±0.61	4.08±5.21	5.39±0.53	3.83±4.85	7.01±8.70	0.02±0.03	1.84±1.04
	Total	16.46±1.99	6.47±4.70	5.42±0.49	6.25±4.51	11.12±7.91	0.01±0.02	1.37±0.78
	Min-Max	13-2.50	0.1-11.40	4.69-6.76	0.2-11.10	0.3-19.2	0-0.1	0.94-4.5
Average	Safaroud	13.13±2.01	6.55±4.70	5.58±0.60	6.40±4.56	11.35±8	0.36±0.031	2.29±1.38
	Shiroud	12.13±2.03	7.50±2.59	5.66±0.55	7.38±2.38	13.09±4.18	0.32±0.028	1.57±1.29
	Kazemroud	15.30±4.26	3.69±5.08	5.80±0.50	3.53±4.84	6.23±7.43	0.009±0.004	1.99±0.96
	Sardabroud	13.77±2.79	2.35±4.01	5.64±0.57	2.22±3.74	4.12±6.72	0.032±0.025	3.04±1.4
Sig.	Different Rivers	**	*	**	*	*	**	**
	Different Seasons	**	**	**	**	**	**	**

NS) Not significant. p<0.01 \*\*) Significant is 0.01 level. \*) Significant is 0.05 level

جدول ۲- فلزات سنگین در آب بین ایستگاه مطالعاتی طی فصول کشت و غیر کشت (mg/l)

Table 2 Heavy metals in water between stations during cultivation and non-cultivation seasons (mg/l)

Stations	Cd	As	Cu	Zn
Safaroud River	0.13±0.14	0.50±0.50	8±10.30	9±10.34
Shiroud River	0.13±0.13	1.17±1.43	10.99±13.45	13.08±15.22
Kazemroud River	0.61±1.12	0.47±0.48	16.31±24.12	12.96±19.25
Sardabroud River	0.15±0.15	0.95±1.09	10.46±13.69	9.76±11.06
Sig.	**	*	**	*
Cultivation	0.51±0.77	1.54±0.89	22.87±16.22	22.37±12.43
Non-cultivation	0.003±0.0	0.15±0.0	0.01±0.0	0.03±0.07
Sig.	**	**	**	**
Average	0.25	0.77	11.44	11.02

NS) Not significant. p<0.01 \*\*) Significant is 0.01 level. \*) Significant is 0.05 level

نتایج بررسی میزان جذب فلزات سمی و غیر سمی رسوبات در چهار رودخانه مورد مطالعه در جنوب غربی دریای خزر و همچنین در دو فصل غیر کشت (زمستان) و فصل کشت (تابستان) در جدول (۳) نشان داده شده است. میزان جذب فلز کادمیوم در ایستگاه صفارود، شیروود، کاظم‌رود و سردآبرود به ترتیب ۰/۲۰، ۰/۱۹، ۰/۱۷ و ۰/۱۵  $\mu\text{g/g}$  بود (P<۰/۰۵). میزان جذب فلز آرسنیک در ایستگاه صفارود، شیروود، کاظم‌رود و سردآبرود به ترتیب ۵/۳۵، ۴/۸۵، ۳/۱۴ و

۱/۹۹  $\mu\text{g/g}$  بود ( $P < 0.05$ ). میزان جذب فلز مس در ایستگاه صفارود، شیرود، کاظم‌رود و سردآبرود به ترتیب ۳۲/۸۱، ۱۵/۰۹، ۱۹/۶۳ و ۱۶/۱۱  $\mu\text{g/g}$  بود ( $P < 0.05$ ). و تابستان به ترتیب کادمیوم ۰/۲۵-۰/۱۵ و آرسنیک  $\mu\text{g/g}$  ۵/۹۱-۱/۷۵ بود. فلزات غیر سمی به ترتیب مس ۱۸/۹۰-۲۲/۹۳ و روی ۵۷/۹۶-۶۰/۴۰ بود. نتایج آماری نشان داد که این اختلاف در فلزات کادمیوم، آرسنیک و مس از نظر آماری معنی‌دار بود ( $P < 0.05$ ) ولی این اختلاف در فلز روی معنی‌دار نبود ( $P > 0.05$ ). به‌طور میانگین فلزات سمی در فصل زمستان

جدول ۳- فلزات سنگین در رسوبات بین ایستگاه مطالعاتی طی فصول کشت و غیر کشت ( $\mu\text{g/g}$ )

Table 3 Heavy metals in sediments between stations during cultivated and non-cultivated seasons ( $\mu\text{g/g}$ )

	Cd	As	Cu	Zn
Safaroud River	0.20±0.05	5.35±4.75	32.81±4.06	69.49±7.39
Shiroud River	0.19±0.05	4.85±3.32	15.09±3.49	56.36±7.52
Kazemroud River	0.17±0.05	3.14±1.75	19.63±6.35	56.33±9.33
Sardabroud River	0.15±0.05	1.99±1.41	16.11±2.67	54.75±3.89
Sig.	Ns	**	*	**
Cultivation	0.25±0.77	5.91±3.26	22.93±5.15	60.48±6.26
Non-cultivation	0.15±0.0	1.75±1.73	18.90±10.25	57.98±11.58
Sig.	NS	**	**	**
Average	0.2	3.83	20.91	59.23

NS) Not significant. p<0.01 \*\*) Significant is 0.01 level. \*) Significant is 0.05 level

جدول ۴- نتایج شاخص‌های اصلی آلودگی فلزات در رسوبات رودخانه‌های مورد مطالعه و مشخص نمودن سطح آلودگی

Table 4 Results of the main indicators of metal pollution in the sediments of the studied rivers and determining the level of pollution

River	Cd	As	Cu	Zn	Pollution status	
Pollution factor index	Safaroud River	0.66	0.41	0.72	0.73	Low pollution
	Shiroud River	0.66	0.37	0.33	0.59	Low pollution
	Kazemroud River	0.66	0.24	0.43	0.59	Low pollution
	Sardabroud River	0.66	0.15	0.35	0.57	Low pollution
	Cultivation	0.83	0.45	0.50	0.63	Low pollution
	Non-cultivation	0.50	0.13	0.42	0.61	Uninfected
Müller accumulation ground	Safaroud River	- 1.21	- 2.83	- 1.05	- 1.04	Uninfected
	Shiroud River	- 1.21	- 2.6	- 2.2	- 1.34	Uninfected
	Kazemroud River	- 1.21	- 2.86	- 1.85	- 1.35	Uninfected
	Sardabroud River	1.21	- 3.71	- 2.08	- 1.38	Uninfected
	Cultivation	- 0.85	- 1.98	- 1.59	- 1.24	Uninfected
	Non-cultivation	- 1.58	- 4.02	- 2	- 1.32	Uninfected
Ecological risk index	Safaroud River	20	4.12	3.64	0.73	Low risk
	Shiroud River	20	3.73	1.67	0.59	Low risk
	Kazemroud River	20	2.41	2.18	0.59	Low risk
	Sardabroud River	20	1.53	1.79	0.57	Low risk
	Cultivation	25	4.55	2.54	0.63	Low risk
	Non-cultivation	15	1.35	2.09	0.63	Low enrichment
Enrichment index	Safaroud River	1	2.97	0.59	0.92	Low enrichment
	Shiroud River	1	2.69	0.27	0.75	Low enrichment
	Kazemroud River	1	1.74	0.35	0.75	Low enrichment
	Sardabroud River	1	1.10	0.29	0.73	Low enrichment
	Cultivation	1.25	3.28	0.41	0.80	Low enrichment
	Non-cultivation	0.75	0.97	0.34	0.77	Low enrichment
Metal toxicity assessment	Safaroud River	0.66	0.41	0.72	0.73	Non-toxicity
	Shiroud River	0.66	0.37	0.33	0.59	Non-toxicity
	Kazemroud River	0.66	0.24	0.43	0.59	Non-toxicity
	Sardabroud River	0.66	0.15	0.35	0.57	Non-toxicity
	Cultivation	0.83	0.45	0.50	0.63	Non-toxicity
	Non-cultivation	0.50	0.13	0.42	0.61	Non-toxicity
Pollution rate index (Cd)	Low pollution	Low pollution	Low pollution	Low pollution		
Modified Pollution Index (mCd)	very low	very low	very low	very low		
Environmental Risk Index (RI)	Low risk	Low risk	Low risk	Low risk		
Total Toxicity Index (TU $\Sigma$ )	Non-toxicity	Non-toxicity	Non-toxicity	Non-toxicity		

دارای خطر پایین برای محیطزیست بود. خطر غنی‌شدگی نشان داد که میزان غنی‌شدگی تمام فلزات سمی و غیر سمی در رسوبات مصب چهار رودخانه مورد مطالعه به‌صورت عدم غنی‌شدگی بود. همچنین نتایج بررسی میزان سمیت فلزات نیز نشان از عدم سمیت هر چهار فلز در مصب رودخانه‌های غرب استان مازندران در دو فصل تابستان و زمستان بود.

طی مقایسه فاکتورهای محیطی چهار رودخانه مورد مطالعه در غرب استان مازندران با استاندارد کیفیت آب‌های ایران برحسب نوع کاربری کشاورزی، آشامیدنی و پرورش ماهیان نتایج نشان داد که تمام فاکتورهای مورد سنجش در حد استاندارد بود و نتایج آن در جدول (۵) نشان داده شده است.

جدول ۵- مقایسه میزان جذب فلزات با استانداردهای ایران و جهان

Table 5 Comparison of metal absorption with Iranian and world standards

	Drinking	Agriculture	Hydrothermal fish	Cold-water fish
Temperature	No sudden change	No sudden change	16 – 30	9 – 17
Salinity	5.5-6.8	5.4 – 6.8	6 – 9	5.5 – 6.9
pH	-	-	-	-
TDS	-	-	-	< 200
EC	1000	3000	< 8000	-
Nitrite	50	-	< 0.2	< 0.02
Nitrate	-	-	2 – 5	< 2
Reference	Iranian Water Quality Standard (2016)		ISIRI (2006)	

کادمیوم، آرسنیک، مس نیز کاهش یا افزایش پیدا می‌کند. لازم به ذکر می‌باشد فاکتور نیتريت با میزان غلظت عنصر مس هیچ رابطه معنی‌داری وجود ندارد. به‌طور کلی فاکتورهای محیطی بیش‌ترین تأثیر را بروی عناصر کادمیوم و آرسنیک گذاشتند. همچنین فاکتورهای محیطی بروی میزان جذب عنصر در آب تأثیر بیش‌تری نسبت به میزان جذب عنصر در رسوبات دارند.

در پژوهشی مشخص شد دمای آب درون مصب نسبت به آب‌های ساحلی نزدیک به آن نوسانات بیش‌تری دارد (Aller et al. 2001). به‌طور کلی دمای آب رودخانه تابع دمای محیط است و به‌دلیل اینکه رودخانه منطقه غرب مازندران از بوم‌سازگان کوهستانی با ارتفاع زیاد وارد بوم‌سازگان دشت و جلگه با ارتفاعات کم شده و دمای هوا نیز با کاهش ارتفاع افزایش می‌یابد، بنابراین دمای آب نیز روند افزایشی داشته و ایستگاه‌های انتهایی دارای بیش‌ترین دمای آب هستند. رودخانه‌های مناطق معتدله در زمستان سردتر و در تابستان گرم‌تر از آب دریای مجاور هستند در نتیجه پس از ورود به مصب و اختلاط با آب دریا، آب مصب نسبت به آب سواحل اطراف در تابستان گرم‌تر و در زمستان سردتر خواهد بود. بالا

پس از بررسی میزان جذب فلزات در رسوبات رودخانه‌های مورد مطالعه مقدار شاخص فاکتور آلودگی، مقدار زمین انباشتگی فلز، خطر بوم‌شناسی هر فلز، شاخص غنی‌شدگی، و پتانسیل خطر تمامی فلزات محاسبه و همچنین وضعیت سطح آلودگی تمامی فلزات نیز در جدول (۴) نشان داده شد. در مجموع وضعیت فاکتور آلودگی فلزات کادمیوم، آرسنیک، مس و روی دارای آلودگی کم بودند. همچنین درجه آلودگی هر چهار رودخانه در سطح آلودگی پایین بود. میزان زمین انباشتگی تمام فلزات در مصب چهار رودخانه در وضعیت غیر آلوده بود. در بررسی خطر بوم‌شناسی فلزات، نتایج نشان داد که تمام فلزات سمی و غیر سمی دارای خطر پایین هستند. نتایج شاخص خطر نیز برای تمام فلزات سمی و غیر سمی

جهت بررسی تعیین نوع رابطه بین فاکتورهای محیطی آب با میزان جذب غلظت عناصر سنگین در آب و رسوب رودخانه-های مورد مطالعه از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد و نتایج آن در جدول (۶) نشان داده شده است. نتایج حاکی از آن است که فاکتورهای محیطی تأثیرات مثبت و منفی بروی میزان غلظت عناصر سنگین در آب و رسوبات دارند. به‌طوری‌که فاکتور دما رابطه مستقیمی با میزان غلظت عناصر کادمیوم، مس، روی دارد. بین شوری و میزان جذب فلزات کادمیوم، مس و روی در آب و کادمیوم و آرسنیک در رسوب رابطه مستقیمی برقرار است. فاکتور pH رابطه غیرمستقیمی با میزان غلظت عنصر روی در آب، عنصر آرسنیک در آب و رسوب و عنصر کادمیوم در رسوب دارد به این صورت که با افزایش یا کاهش pH آب میزان جذب غلظت این عناصر نیز کاهش یا افزایش می‌یابد. مواد محلول و هدایت الکتریکی با میزان جذب عناصر کادمیوم، مس، روی در آب و کادمیوم و آرسنیک در رسوب رابطه مثبت مستقیمی وجود دارد. بین دو فاکتور نیتريت و نترات با عناصر سنگین در آب و رسوب رودخانه رابطه منفی غیرمستقیمی برقرار است به‌طوری‌که با افزایش یا کاهش نیتريت و نترات آب میزان جذب عناصر

میزان pH می‌شود (Sammut et al. 2002). میزان افزایش و کاهش شوری ورودی آب رودخانه طی فصول مختلف می‌تواند عامل اصلی تغییرات pH در مصب رودخانه‌ها باشد. اما تغییرات ثبت شده در طول یک سال در مصب رودخانه‌های مورد مطالعه نشان داد که این تغییرات بسیار اندک است. همچنین علت تغییرات pH در مصب رودخانه‌های مختلف می‌تواند بر اثر افزایش بار آلودگی در مسیر این رودخانه‌ها باشد. استخرهای پرورش ماهی، فاضلاب‌های شهری و خانگی نقش زیادی در کاهش pH آب دارند.

بودن شوری رودخانه در فصول تابستان نسبت به فصل زمستان نیز ارتباط مستقیمی با میزان دمای آب دارد. طی پژوهشی در مصب چمخاله در طول فصل تابستان دمای آب افزایش و درصد رسوب نفوذ آب دریا در ناحیه مصب کاهش یافت که این عمل باعث افزایش مقدار شوری و همچنین در فصل زمستان جریان آب‌های مانند سیل باعث کاهش شوری شده است که کاملاً این موضوع در مصب رودخانه‌های مورد مطالعه نیز صادق است (Alipoor et al. 2011). فاکتورهای دما، شوری، فتوسنتز و فشار آب باعث تغییر در

جدول ۶- نتایج همبستگی پیرسون جهت تعیین رابطه بین فاکتورهای محیطی و جذب عناصر سنگین

Table 6 Results of Pearson correlation to determine the relationship between environmental factors and the absorption of heavy elements

	Temperature	Salinity	pH	TDS	Ec	Nitrite	Nitrate
Temperature	1						
Salinity	0.083	1					
pH	-0.404**	0.205	1				
TDS	0.075	0.999**	0.205	1			
EC	0.078	0.999**	0.205	0.999**	1		
Nitrite	-0.427**	-0.095	0.039	-0.096	-0.089	1	
Nitrate	-0.505**	-0.723**	-0.029	-0.721**	-0.724**	0.317**	1
Water (Cd)	0.493**	0.315**	-0.013	0.310**	0.306**	-0.251*	-0.289*
Water (As)	0.611**	0.102	-0.395**	0.102	0.110	-0.280*	-0.504**
Water (Cu)	0.656**	0.484**	-0.041	0.474**	0.473**	-0.300*	-0.534**
Water (Zn)	0.703**	0.424**	-0.269*	0.418**	0.421**	-0.228	-0.564**
Sediment (Cd)	0.882**	0.315**	-0.453**	0.309**	0.312**	-0.399**	-0.630**
Sediment (As)	0.287*	0.486**	-0.300*	0.487**	0.486**	-0.276*	-0.544**
Sediment (Cu)	0.246*	0.078	-0.205	0.081	0.080	0.142	-0.077
Sediment (Zn)	0.082	0.134	-0.075	0.138	0.138	0.251*	-0.075

NS) Not significant. p<0.01 \*\*) Significant is 0.01 level. \*) Significant is 0.05 level

بود. میانگین کل میزان جذب فلزات کادمیوم، آرسنیک، مس و روی در آب چهار رودخانه مورد مطالعه به ترتیب ۰/۲۵، ۰/۷۷، ۱۱/۴۴، و ۱۱/۰۲ mg/l و روند جذب به صورت مس < روی < آرسنیک < کادمیوم می‌باشد. نتایج بالا حاکی این است که بیشترین میزان جذب عناصر سمی و غیر سمی در دو رودخانه شیروود و کاظم‌رود و کمترین میزان جذب عناصر در رودخانه صفارود بود و این اختلاف از نظر آماری معنی‌داری بود. نتایج بررسی میزان جذب عناصر سمی و غیر سمی آب در دو فصل غیرکشت (زمستان) و کشت (تابستان) نشان داد میزان جذب عناصر در فصل کشت کادمیوم ۰/۵۱، آرسنیک ۱/۵۴، مس ۲۲/۸۷، و روی ۲۲/۳۷ mg/l بالاتر از فصل غیر کشت کادمیوم ۰/۰۳، آرسنیک ۰/۱۵، مس ۰/۰۱، و روی ۰/۰۳ mg/l بود. طی مقایسه میزان جذب عناصر کادمیوم، آرسنیک، مس، روی با استاندارد محیط‌زیست ایران در آب کشاورزی و آشامیدنی، استاندارد

در مجموع از بین این چهار رودخانه بیشترین میزان مواد محلول در رودخانه شیروود دیده شد که علت آن افزایش برداشت غیرقانونی شن و ماسه و وضعیت جنس بستر بوده که به علت شیب زیاد و فرسایش دیواره و بستر رودخانه صورت می‌گیرد (Tabari et al. 2009). طی بررسی میزان مواد محلول از کلیه استانداردهای ارائه شده بیش‌تر نبوده و محدودیت خاصی در این زمینه دیده نمی‌شود. بر اساس توصیه سازمان جهانی بهداشت حد مجاز  $\text{NO}_3^-$  و  $\text{NO}_2^-$  در آب به ترتیب برابر ۵۰ و ۳ mg/l می‌باشد. در مطالعه حاضر به منظور بررسی غلظت  $\text{NO}_3^-$  و  $\text{NO}_2^-$  از رابطه (۸) استفاده شد و نتیجه این شاخص کم‌تر از ۱ (۰/۰۵) به دست آمد و بدان معناست که  $\text{NO}_3^-$  و  $\text{NO}_2^-$  در حد مجاز است. Izanloo et al. (2016) میانگین سالیانه غلظت  $\text{NO}_3^-$  و  $\text{NO}_2^-$  در چاه‌های آب شهر جیرفت به ترتیب برابر ۱۰/۰۵ و ۰/۰۱ اعلام کردند که کم‌تر از استاندارد توصیه شده سازمان جهانی بهداشت بود که در دامنه منطقه مورد مطالعه

منطقه باعث آلودگی قابل توجه فلزات سنگین کبالت، کروم، مس، منگنز، نیکل، سرب و روی و آرسنیک شده است. که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. علت آلودگی در رودخانه‌های مورد مطالعه به دلیل تغییر کاربری تمام مسیر رودخانه به کاربری مسکونی و ورود فاضلاب‌های آن‌ها به رودخانه و حضور توریست و بار آلودگی ناشی از آن‌ها در قالب زباله‌های خشک در مسیر رودخانه می‌باشد. نوع آلودگی در دو فصل بهار و تابستان به علت حضور توریست بیشتر نمود دارد. میانگین کل میزان جذب فلزات کادمیوم، آرسنیک، مس، روی در رسوبات مصب چهار رودخانه مورد مطالعه به ترتیب ۰/۲، ۳/۸۳، ۲۰/۹۱، و ۲۷/۵۹ و روند جذب به صورت روی < مس < آرسنیک < کادمیوم می‌باشد. میزان روند جذب فلزات رسوبات در دو فصل کشت (تابستان) و غیر کشت (زمستان) در چهار رودخانه مورد مطالعه به این صورت که فلز کادمیوم: صفارود < شیروود < کاظم‌رود < سردآبرود؛ فلز آرسنیک: صفارود < شیروود < کاظم‌رود < سردآبرود؛ فلز مس: صفارود < کاظم‌رود < سردآبرود < شیروود؛ فلز روی: صفارود < شیروود < کاظم‌رود < سردآبرود بود. نتایج بالا بیانگر این است که بیشترین میزان جذب فلزات سمی و غیر سمی در رودخانه صفارود و کمترین میزان جذب فلزات در رودخانه سردآبرود و شیروود بود و این اختلاف از نظر آماری معنی‌داری بود. میزان جذب فلزات در فصل کشت (تابستان) کادمیوم ۰/۲۵، آرسنیک ۵/۹۱، مس ۲۲/۹۳، و روی ۶۰/۴۰  $\mu\text{g/g}$  بالاتر از میزان جذب فلزات در فصل غیرکشت (زمستان) کادمیوم ۰/۱۵، آرسنیک ۱/۷۵، مس ۱۸/۹۰، و روی ۵۷/۹۶  $\mu\text{g/g}$  بود. طی مقایسه میزان جذب فلزات با استانداردهای جهانی به جز فلزات آرسنیک و مس در بقیه پایین‌تر از حد مجاز بود. با توجه به این‌که دریای خزر و تالاب‌های اطراف آن جزء آب‌های بسته می‌باشند، عمده فلزات تخلیه شده در بستر مدفون می‌گردند.

به‌طور کلی به دلیل این‌که رسوب در بیش‌تر موارد مخزن اصلی فلزات است به همین دلیل مقادیر فلزات در رسوب‌های سطحی بیش‌تر از آب به دست آمد. ورود فاضلاب و رواناب شهری و روستایی، گسترش فعالیت‌های انسانی نظیر ساخت-وساز، فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی، ماهیگیری و گردشگری از عوامل مؤثر بر محیط‌زیست رودخانه و در نتیجه ورود آلاینده‌های عناصر سنگین است. (Jiang et al. 2013) غلظت فلزات سنگین کادمیوم، سرب، مس و روی را در

WHO و استاندارد کشور کانادا نشان دهنده بالا بودن فلزات در فصل کشت نسبت به فصل غیر کشت است.

نتایج مطالعه (Shanbehzadeh et al. 2012) بر روی فلزات سنگین در آب قبل و بعد از ورود فاضلاب به رودخانه تمبی مسجدسلیمان نشان داد که میانگین غلظت عناصر موردنظر در آب پایین‌دست نسبت به بالادست در فصول مختلف بیش‌تر است. غلظت فلز کادمیوم ۰/۱۶، روی ۰/۰۷، و مس ۰/۱۲ mg/l بود. نتایج آمار توصیفی تغییرات سالیانه فلزات سنگین در آب حوضه جنوبی دریای خزر در سال ۱۳۸۹ میزان فلز کادمیوم ۰/۶۸، روی ۰/۱۱، و مس ۰/۰۱ mg/l بود (Nasrollahzadeh Saravi et al. 2014). نتایج بررسی میانگین فلزات روی، مس، کادمیوم در ۴ فصل در رودخانه آبشینه همدان به ترتیب ۰/۰۶۲۹، ۰/۰۰۵۲۶، و ۰/۰۱۲۷ mg/l بود (Yari Moghadam et al. 2014). مقایسه نتایج مطالعه حاضر با نتایج مطالعات مختلف بروی عناصر سنگین در مصب و رودخانه ایران نشان از بالا بودن میزان جذب عناصر در فصل کشت (تابستان) می‌باشد. با توجه به بازدیدهای میدانی و مطالعه‌های دیگر محققین می‌توان گفت فعالیت‌های صورت گرفته در حوضه آبخیز رودخانه‌های مورد مطالعه که شامل کشاورزی و باغداری متراکم (منجر به استفاده بیشتر از کود و سموم مختلف شده است)، تخلیه مستقیم زباله‌ها و فاضلاب‌های مسکونی، کارخانه آسفالت، برداشت بی‌رویه شن و ماسه، شیرابه زباله‌های خانگی، فاضلاب مراکز تفریحی و گردشگری، معادن زغال‌سنگ و آلودگی‌های ناشی از دیو و استخراج آن‌ها، خروج فاضلاب و پساب مراکز پرورش ماهی و دامداری‌ها از عمده عامل‌های است که سهم بسزایی در آلودگی رودخانه‌های مورد مطالعه دارند (Maghsoudi et al. 2015; Qishlaqi and Rostami, 2016). کادمیوم از عناصر آلوده‌کننده‌ای است که نفوذ آن در آب می‌تواند ناشی از استفاده کودهای شیمیایی (کودهای فسفاته) در فعالیت‌های کشاورزی، رسوب‌های آلوده اتمسفری ناشی از کارخانجات صنعتی و پساب فعالیت‌های صنعتی یا معادن باشد.

نتایج مطالعه (Ho et al. 2013) در خصوص ارزیابی آلودگی سطحی و درونی رسوبات دهانه رودخانه کام، ایالت هایفونگ، در ویتنام به فلزات سنگین و آرسنیک مشخص گردید که توسعه اقتصادی و اجتماعی و صنعتی و فعالیت‌های کشاورزی در این



فلزات کادمیوم و آرسنیک در فصل کشت بسیار بالاتر از سطوح مورد تأکید NOAA (ERL) و کانادا (TEL- PEL) بوده ولی در فصل غیر کشت پایین تر از حد مجاز بوده است. لذا گرچه میزان این عناصر در رسوبات منطقه در حد خطرناک و بحرانی نیستند اما بایستی پیش از آنکه به تهدیدی جدی برای سلامت محیط زیست و موجودات منطقه تبدیل شوند، با اقدامات پیشگیرانه، مدیریت و نظارت صحیح از افزایش این آلاینده‌ها جلوگیری نمود. به‌طور کلی میزان وضعیت آلودگی رودخانه‌های مورد مطالعه در دو فصل کشت و غیر کشت در سطح پایین قرار دارد. میزان درجه آلودگی همگی فلزات در سطح آلودگی بسیار پایین قرار دارند. میزان شاخص زمین انباشتگی عناصر سمی و غیر سمی در رسوبات رودخانه مورد مطالعه و مقایسه آن با استاندارد ارائه شده توسط مولر در هر ۴ فلز پایین تر بوده و وضعیت آلودگی به‌صورت غیر آلوده می‌باشد. نتایج بررسی  $E_r^1$  و RI عناصر سنگین در ۴ رودخانه طی فصل کشت و غیر کشت از نظر خطر اکولوژیکی فلزات سنگین در طبقه خطر پایین قرار دارند. به‌علاوه روند تغییرات خطر کلی عناصر منطقه به ترتیب کادمیوم < آرسنیک < مس < روی ارزیابی شد. میزان شاخص غنی‌شدگی عناصر سنگین در رسوبات و مقایسه آن با استاندارد ارائه شده توسط Chiu-Wen Chen (2007) شاخص غنی‌شدگی فلز کادمیوم و آرسنیک به‌صورت غنی-شدگی کم، فلز مس و روی به صورت عدم غنی‌شدگی بود. میزان غنی‌شدگی فلز آرسنیک در فصل کشت در حد متوسط بود. طی مقایسه سمیت عناصر سمی و غیر سمی با استاندارد ارائه شده توسط MacDonald et al. (2000) میزان سمیت همه فلزات در رودخانه‌ها طی فصل کشت و غیر کشت کم‌تر از ۱ بود. و میزان سمیت کل تمام فلزات نیز کم‌تر از ۴ بود که نشان عدم سمیت در رودخانه‌های غرب مازندران می‌باشد. در واقع این فلزات به طور طبیعی در خاک وجود دارند اما فعالیت‌های انسان‌زاد نظیر کشاورزی و استفاده از کودهای شیمیایی منجر به تجمع هر چه بیشتر این فلزات در رسوب شده است.

#### ۴- نتیجه‌گیری

اهم یافته‌های این پژوهش عبارتند از:

۱- میزان تجمع عناصر سنگین در آب در مقایسه با استانداردهای جهانی و ایران بالاتر از حد مجاز بود. میزان تجمع عنصر سنگین کادمیوم و آرسنیک در رسوبات در فصل کشت بالاتر از حد مجاز بود.

رسوبات رودخانه شیوانگانگ<sup>۱</sup> کشور چین ناشی از ورود فاضلاب‌های شهری و صنعتی حامل این آلاینده‌ها به رودخانه عنوان کردند. اصولاً فلزات سرب، روی و مس دارای کاربرد فراوانی در محیط‌های شهری، کشاورزی و صنعتی هستند، و این فلزات از طریق رواناب و پساب‌های شهری و صنعتی وارد محیط‌های آبی می‌شوند. و در طی فرآیندهای مختلف در رسوبات تجمع می‌یابند (Mortazavi and Hatami 2019). عبور جریان آب رودخانه از مناطق شهری به دلیل ورود فاضلاب و مواد زائد انسانی باعث افزایش ذخیره فلزات می‌شود. در پی فرایند رسوب‌گذاری مصب‌ها مقادیر زیادی از فلزات جذب شده در سطح ذرات رسوبی در این مناطق ته‌نشین می‌شوند. رسوبات موجود در مصب‌های صنعتی یا بندرهای مهم حاوی فاضلاب‌های تخلیه شده طی زمان‌های طولانی هستند. لایروبی کانال‌های کشتیرانی در این نواحی مقادیر زیادی لجن لایروبی تولید می‌کند، که به استثنای موارد بسیار آلوده در دریا دفن می‌شوند (Ghaffarzadeh and Ghobadi 2018). به‌علت بالا بودن عنصر مس در رسوبات، می‌توان نتیجه گرفت که وجود صنایع کوچک و بزرگ و صنایع فلزی و آبکاری در شهرک‌های صنعتی اطراف منطقه، نقش مهمی در افزایش غلظت این آلاینده دارند. به‌طور کلی میزان وضعیت آلودگی رودخانه‌های مورد مطالعه در دو فصل کشت و غیر کشت در سطح پایین قرار دارد. میزان درجه آلودگی همگی فلزات در سطح آلودگی بسیار پایین قرار دارند. به دلیل تماس موجودات زنده با رسوبات بستر در بوم‌سازگان آبی یکی از مسیرهای مهم در مواجهه موجودات با فلزات سنگین همین رسوبات می‌باشند. در استاندارد NOAA دو خطر آلودگی فلزات برای رسوبات به‌صورت ERL<sup>۲</sup> حدی که کم‌تر از ۱۰٪ جوامع بیولوژیکی در خطرند و ERM<sup>۳</sup> حدی که کم‌تر از ۵۰٪ جوامع بیولوژیکی در خطرند بیان شده است. اما در استاندارد کیفیت رسوب کانادا دو سطح برای آلودگی فلزات مطرح شده که به‌صورت TEL<sup>۴</sup> (حد آستانه) و PEL<sup>۵</sup> (حدی که موجب اثرات زیان‌آور می‌شود) اعلام شده است. مقایسه میزان فلزات سنگین اندازه‌گیری شده در رسوبات مصب چهار رودخانه مورد مطالعه با راهنمای کیفیت رسوب کانادا و آمریکا نشان داد که غلظت

<sup>1</sup>Xiawangang

<sup>2</sup> Effect Rang Low

<sup>3</sup>Effect Rang Medium

<sup>4</sup> Threshold Effect Level

<sup>5</sup>Probable Effect Level

در مقیاس وسیع تر و در بخش زنده بوم‌سازگان فوق به صورت دوره‌ای انجام و تداوم داشته باشد تا مدیریت و کنترل آلودگی در منطقه مورد مطالعه با انسجام بیشتر و چالش کمتری انجام بپذیرد.

### دسترسی به داده‌ها

بیش‌تر داده‌های استفاده شده در این پژوهش در متن مقاله ارائه شده است. در صورت نیاز، از طریق ایمیل نویسنده مسئول ارسال خواهد شد.

### تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

## References

- Abraham, G. (2005). Holocene sediments of Tamaki Estuary: Characterisation and impact of recent human activity on an urban estuary in Auckland, New Zealand [dissertation]. Auckland: University of Auckland.
- Ahmad, K., Mehdi, Y., Haque, R. and Mondol, P. (2010). Heavy metal concentrations in some macrobenthic fauna of the Sundarbans mangrove forest, southwest coast of Bangladesh, pp.105-110.
- Al-Edresy, M. A. M., Wasel, S. O. and Al-Hagibi, H. A. (2019). Ecological risk assessment of heavy metals in coastal sediments between Al-Haymah and Al-Mokha, South Red Sea, Yemen. *Int. J. Hydrol.*, 3(2), 159-173.
- Alipoor, V., Rahimibashar, M. R. and Aliov, A.R. (2011). Temporal and spatial variability of macrofauna in a microtidal estuary (Sefid-Rood River Estuary, South of Caspian Sea), *Res. J. Fish. Hydrobio.*, 6, 432-435 [In Persian].
- Aller, Y., Woodin, S. A., Aller, R. C. (2001). Organism sediment interactions. University of South Carolina Press. Belle W Baruch Library in Marine Science., 21, 403.
- American Public Health Association (APHA). (2005). Standard Methods for Examination of water and wastewater. 21<sup>st</sup> ed. Washington, DC.
- Azimzadeh, B. and Khademi H. (2013). Estimation of Background Concentration of Selected Heavy Metals for Pollution Assessment of Surface Soils of Mazandaran Province, Iran. *J. Soil Water (Agri. Sci. Technol.)*, 27(3), 548-559.
- Bagheri, H. and Azimi, A. (2015). The Distribution of heavy metals in surface sediments of Sisangan Coasts-the southern coast of Caspian Sea. *J. Oceanogr.*, 6 (21), 27-36 [In Persian].
- Chegini Far, M. B., Mashinchian Moradi, A. and Moghaddasi, B. (2017). Assessment of the heavy metals (cadmium, copper, lead) pollution in the sediments of Amir-Abad port and its relation on diversity and density of benthic foraminifera. *Iran. J. Marine Sci. Technol.*, 20(80): 62-69. [In Persian]
- Chen, C. W., Kao, C. M., Chen, C. F. and Dong, C.D. (2007). Distribution and accumulation of heavy metals in the sediments of Kaohsiung Harbor, Taiwan. *Chemosphere.*, 66(8), 1431-1440.
- Ekpo, F. E., Agu, N. N. and Udoakpan, U. I. (2013). Influence of heavy metals concentration in three common fish, sediment and water collected within quarry environment, akamkpa l.g. Area, cross river state, Nigeria. *Europe. J. Toxicol. Scie.*, 3, 1-11.

- Ghaffarzadeh, M. and Sayad Ghobadi, A. (2018). Investigation of accumulation of heavy metals in soft and hard tissues of Barnacle. Case study of ships of Bandar Anzali. General Administration of Ports and Maritime of Guilan Province, 17 [In Persian].
- Gu, Y.G., Lin, Q., Wang, X.H., Du, F.Y., Yu, Z.L. and Huang, H.H. (2015). Heavy metal concentrations in wild fishes captured from the South China Sea and associated health risks. *Mar. Pollut. Bull.*, 96, 508e512.
- Gurumoorthi, K. and Venkatachalapathy, R. (2016). Spatial and seasonal trend of trace metals and ecological risk assessment along Kanyakumari Coastal Sediments, Southern India. *Pollut.*, 2(3), 269-287.
- Hakanson, L. (1980). An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Res.*, 14(8), 975-1001.
- Ho, H. H., Swennen, R., Cappuyns, V., Vassilieva, E., Neyens, G., Rajabali, M. and Tran, T. V. (2013). Assessment on pollution by heavy metals and arsenic based on surficial and core sediments in the Cam River Mouth, Haiphong Province, Vietnam. *Soil Sediment Contamin. Int. J.*, 22(4), 415-432,
- Iranian Water Quality Standard. (2016). Deputy Minister of Environment and Water Office. 1-14 [In Persian].
- ISIRI (Institute of Standards and Industrial Research of Iran). (2006). Water quality – Determination of pond water fish culture for common cold and warm water fishes – Specification. ISIRI 8726., (1): 1-10. [In Persian]
- Izanloo, H., Majidi, G., Nazri, SH., Maleki, F., Khazae, M., Tabatabaei Majd, M. S. and Vatan Khah, M. (2016). Survey of nitrate and nitrite concentration in Jiroft groundwater resources in 2009. *J. Sabzevar Univ. Med. Sci.*, 22(6), 1035-1042 [In Persian].
- Jiang, M., Zeng, G., Zhang, C., Ma, X., Chen, M. and Zhang, J. (2013). Assessment of heavy metal contamination in the surrounding soils and surface sediments in Xiawangang River, Qingshuitang District. *PLOS One.*, 8(8), 71176.
- Kamaruzzaman, B.Y. Rina, Z., Akbar John B., and Jalal, K. C. A. (2011). Heavy metal accumulation in commercially important fishes of South West Malaysian Coast. *Res. J. Environ. Sci.*, 5, 595-602.
- Karbassi, A. R., Monavari, S. M., Nabi Bidhendi, G. H. R., Nouri, J. and Nematpour, K. (2008). Metal pollution assessment of sediment and water in the Shur River. *Environ. Monit. Assess.*, 147, 107-116.
- Keshavarzi, B., Ebrahimi, P. and Moore, F. (2015). A GIS-based approach for detecting pollution sources and bioavailability of metals in coastal and marine sediments of Chabahar Bay, SE Iran. *Chemie der Erde- Geochem.*, 75(2), 185-195.
- Liu, L., Wang, L., Yang, Z., Hu, Y. and Ma, M. (2017). Spatial and temporal variations of heavy metals in marine sediments from Liaodong Bay, Bohai Sea in China. *Marine. Pollut. Bull.*, 124(1), 228-33.
- MacDonald, D. D., Ingersoll, C. G. and Berger, T. A. (2000). Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 39, 20-31.
- Maghsoudi, A., Vanaei, M. and Yazdi, M. (2015). Heavy metal pollution in stream sediments of the Neka River, N Iran. *J. Geosci.*, 24 (95), 167-174 [In Persian].
- Mirzaei, M., Riahi-Bakhtiari, A., Salman-Mahini, A. and Gholamalifard, M. (2014). Analysis of the physical and chemical quality of Mazandaran province (Iran) rivers using multivariate statistical methods. *J. Mazandaran Univ. Med. Sci.*, 23(108), 41-52 [In Persian]
- MOOPAM (Manual of Oceanographic Observations and Pollutant Analyses Methods). (2010). Regional Organization for the Protection of the Marine Environment. (Fourth Ed) Kuwait
- Mortazavi, S., Hatami-Manesh, M. and Joudaki, F. (2019). Evaluation of toxicity and ecological risk assessment of heavy metals in surface sediments of Sezar River, Lorestan Province. *Iran. J. Health Environ.*, 11(4), 487-504. [In Persian]
- Muller, G. (1969). Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Geoj.*, 2, 108-118.
- Nasrollahzadeh Saravi, H, Najafpour, S., Rezaei, M. and Solaimaniroudi, A. (2014). Temporal and spatial of heavy metals concentrations

- (Zn, Cu, Ni, Pb, Cd and Hg) in Iranian coastal waters of the Southern Caspian Sea. *J. Marine Bio.*, 3:6 (1), 1-12 [In Persian].
- Pandey, J. and Pandey, U. (2009). Accumulation of heavy metals in dietary vegetables and cultivated soil horizon in organic farming system in relation to atmospheric deposition in a seasonally dry tropical region of India. *Environ. Monit. Assess.*, 148(1-4), 61-74.
- Pedersen, F., Bjørnstad, E., Andersen, H.V., Kjølholt, J. and Poll, C. (1998). Characterization of sediments from Copenhagen Harbour by use of biotests. *Water Sci. Technol.*, 37(6-7), 23-40.
- Qishlaqi, A. and Rostami, S. (2016). Contamination and fractionation of heavy metals in bedload sediments of the Siahrood River (Qaem-Shararea-Mazandaran Province). *J. Stragraph. Sediment. Res.*, 32(2), 73-90.
- Rajeshkumar, S., Li, X. (2018). Bioaccumulation of heavy metals in fish species from the Meiliang Bay, Taihu Lake, China. *Toxicol. Report.*, 5, 288-95.
- Sammot, J., Melville, M. D., Callinan, R. B. and Fraser, G.C. (2002). Estuarine acidification: Impacts on aquatic biota of draining acid sulphate soils. *Austral. Geogr. Stud.*, 33, 89-100.
- Seyedasri, S. M. and Tavana, A. (2019). Monitoring toxic and nontoxic metals contamination of soil in landfill of Tonekabon in Iran. *J. Environ. Sci. Stud.*, 4(4), 2082-2092.
- Shanbehzadeh, Y., Vahid Dastjerdi, Mohsenzadeh, W. and Kianizadeh, I. (2012). Reviewing the municipal waste management in Massjed Soleiman, Iran in connection with environmental health. *J. Health Syst. Res.*, 8(3), 397-406 [In Persian].
- Tabari, M. R., Makhloogh, A., Soleimanroudi, A., Ardeshiri, R. R. and Mahdavi, A. (2009). The survey of gravel and sand exploitation effects on bed algae and benthos in Shiroud River. The Second Conference on Agricultural Biotechnology, Horticulture Research Institute and Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University. 222-227 [In Persian].
- Veerasingam, S., Raja, P., Venkatachalapathy, R., Mohan, R. and Sutharsan, P. (2010). Distribution of petroleum hydrocarbon concentrations in coastal sediments along Tamil Nadu coast, India. *Carpath. J. Earth Environ. Sci.*, 5, 5-8.
- WHO (1980). Technical report series. (Recommended health-based limits in occupational exposure to heavy metals). NO. 649.
- Wu, Q.H., Zhou, H.C., Nora, F.Y., Tian, Y., Tan, Y., Zhou, S., Li, Q., Chen, Y. H. and Jonathan, Y. S. (2016) Contamination, toxicity and speciation of heavy metals in an industrialized urban river: implications for the dispersal of heavy metals. *Mar. Pollut. Bull.*, 104(1-2):153-161.
- Yari Moghadam, N., Cheraghi, M., Hasani, A. and Javid, A. (2014). The amount of heavy metals (Zn, Cu, Pb and Cd) in Abshineh River, Hamadan, Iran. *J. Health Develop.*, 2(4), 296-304 [In Persian].

### How to cite this paper:

Hejazi, S. A., Tavana, A., Rahnavard, A., Gholamreza Fahimi, F. and Kiadaliri, M. (2022). Evaluation of element pollution (Cd, As Cu, Zn) in estuaries of western rivers of Mazandaran Province, Iran. *Environ. Water Eng.*, 8(2), 333-349. DOI: 10.22034/JEWE.2021.293310.1593