

## کاربرد شاخص‌ها در ارزیابی کیفیت و برآورد خطر بوم‌شناختی بالقوه

### فلزات در رسوبات سطحی رودخانه بهشت آباد

مهرسا نجفی<sup>۱</sup>؛ رسول زمانی احمد محمودی<sup>۲\*</sup> و فردین شالویی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد بوم‌شناسی آبریزان دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین دانشگاه شهرکرد

۲- دانشیار گروه شیلات و محیط زیست دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین دانشگاه شهرکرد

۳- استادیار گروه شیلات و محیط زیست دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین دانشگاه شهرکرد

(تاریخ دریافت ۹۷/۱۰/۰۳-تاریخ پذیرش ۹۷/۱۱/۲۴)

#### چکیده:

فلزات سنگین از جمله آلاینده‌هایی محسوب می‌شوند که از طریق منابع متعدد انسان‌ساخت یا طبیعی به صورت مستقیم یا غیرمستقیم وارد پیکره‌های آبی می‌شوند. رودخانه بهشت‌آباد یکی از منابع آبی مهم در استان چهارمحال و بختیاری می‌باشد. تحقیق حاضر به منظور ارزیابی میزان فلزات سنگین (آرسنیک، کادمیوم، کروم، مس، سرب و روی) در رسوب رودخانه بهشت‌آباد چهارمحال و بختیاری طراحی شده است. نمونه‌های رسوب در دو دوره به صورت سالانه از ۶ سانتی‌متر بالایی بستر جمع‌آوری شد. نمونه‌های رسوب، درون جعبه‌های یونولیتی حاوی یخ در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به آزمایشگاه منتقل شدند. غلظت کل عناصر آرسنیک، کادمیوم، کروم، مس، سرب و روی پس از عصاره‌گیری با دستگاه ICP-MASS تعیین شد. توصیف آماری نتایج با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد. غلظت متوسط آرسنیک، کادمیوم، کروم، مس، سرب و روی به ترتیب: ۰/۱۸، ۰/۱۳۴، ۰/۱۱۸، ۰/۱۱۵۱، ۹/۷ و ۲۹/۵۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که کمتر از حد سمیت می‌باشد. با توجه به نتایج شاخص خطر بالقوه بوم‌شناختی، فاکتور آلودگی، شاخص زمین‌شیمیایی و فاکتور غنی‌شدگی، بر اساس غلظت زمینه، آلودگی قابل توجه و شدید از فلزات سنگین در رسوبات رودخانه مشاهده نشد. غلظت مس در برخی از ایستگاه‌های مطالعاتی اثر زیستی نامطلوب بر موجودات آبی دارد. به طور کلی منشا فلزات سنگین در رسوبات رودخانه بهشت‌آباد با توجه به نتایج حاصل، منشا طبیعی بوده و برای پیشگیری از ایجاد آلودگی باید از ورود آلاینده‌های بر اثر پساب کشاورزی و پرورش ماهی و فاضلاب‌های خانگی به رودخانه پیشگیری کرد.

**کلیدواژه‌گان:** ارزیابی خطر بوم‌شناختی، رسوب، رودخانه بهشت‌آباد، عناصر سنگین، ICP-MASS

## ۱. مقدمه

(Jensen, 1989; Bermejo *et al.*, 2003).

رودخانه بهشت‌آباد یکی از منابع آبی مهم استان چهارمحال و بختیاری بوده که وسعت حوضه آبخیز آن حدود ۳۸۶۰ کیلومتر مربع می‌باشد. رودخانه مذکور یکی از سرشاخه‌های مهم کارون محسوب می‌شود. وجود فعالیت‌های مزارع پرورش ماهی و کشاورزی در حاشیه رودخانه می‌تواند از عوامل ورود پساب‌های ناشی از کودها و سموم کشاورزی به رودخانه باشد که زیست‌آزبان و فعالیت پرورش ماهی‌های حاشیه رودخانه را تحت تاثیر قرار می‌دهد، از مهم‌ترین این آلاینده‌ها می‌توان فلزات سنگین را نام برد (Raissy *et al.*, 2009).

مطالعات بسیاری در سراسر جهان به بررسی توزیع، منشأ و میزان آلودگی فلزات سنگین در رسوبات پرداخته است (Zamani-Ahmadmoodi *et al.*, 2013; Hamidian *et al.*, 2013; Nowrouzi & Pourkhabbaz, 2014; Alahabadi & Malvandi, 2018; Yarahmadi & Ansari, 2018; Rastmanesh *et al.*, 2018). این پژوهش‌ها با موضوعاتی چون ارزیابی کیفیت رسوبات، پراکنش و آلودگی فلزات سنگین و بررسی شاخص‌های آلودگی در رسوبات گزارش شده است (Sayadi *et al.*, 2010). مرور تحقیقات مختلف درباره آلودگی رسوبات، روش‌های گوناگونی در تعیین غلظت زمینه و همچنین استفاده از شاخص‌های مختلف آلودگی را نشان می‌دهد (Reimann *et al.*, 2005).

هدف از این مطالعه تعیین غلظت کل فلزات آرسنیک، کادمیوم، کروم، مس، سرب و روی در رسوبات رودخانه بهشت‌آباد، همچنین بررسی میزان آلودگی رودخانه با توجه به شاخص‌های آلودگی مختلف و مقایسه با استانداردهای جهانی می‌باشد.

ورود عوامل آلاینده ناشی از فعالیت‌های طبیعی و انسانی به محیط یکی از مهم‌ترین مسائل رودرروی جوامع امروزی است. مهم‌ترین منابع طبیعی آلاینده محیط عبارت از هوازدگی خاک و سنگ و بروز حوادث طبیعی مثل زلزله و جاری شدن سیل می‌باشد. ورود پساب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی و تخلیه غیراصولی زباله به محیط از دیگر راه‌های آلوده شدن محیط توسط انسان است (Espinoza *et al.*, 2005). اهمیت منابع آبی خصوصاً رودخانه‌ها در تامین نیازهای آبی انسان، حیوانات و صنایع، لزوم حفاظت آن‌ها را در برابر آلودگی‌ها بیش از پیش مطرح می‌کند (Prabu, 2009; Kane *et al.*, 2012). فلزات سنگین از جمله آلاینده‌های غیرآلی هستند که از مسیرهای مختلفی از جمله فرسایش و هوازدگی سنگ مادر، فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی، دود آگزوز ماشین‌ها، فاضلاب‌ها و نشست‌های جوی وارد بوم‌سازگان‌های آبی و خشکی می‌شود (Tang *et al.*, 2010). رسوبات محل نهایی تجمع فلزات سنگین در محیط‌های آبی‌اند، اما تحت شرایطی می‌توانند خود به‌عنوان منبع آلودگی در آب عمل کنند (Izquierd *et al.*, 1997; Yu *et al.*, 2001). مطالعات ژئوشیمیایی رسوبات موجود در پیکره‌های آبی مانند رودخانه‌ها، مصب‌ها و بستر دریاها، می‌تواند گام موثری برای یافتن منشأ رسوبات، الگوی پراکنش عناصر و ارزشیابی محیط زیستی وضعیت آلاینده‌ها برای مدت معینی در یک منطقه باشد (Sahjan, 2007). رسوبات به‌عنوان مخزن آلاینده‌ها عمل کرده، و آلاینده‌های ناشی از این منابع را دریافت و جذب می‌کنند (Liu *et al.*, 2007) از این رو یک شاخص مهم برای تعیین آلودگی آب می‌باشند (Larsen &

## ۲. مواد و روش ها

## ۲-۱. روش

نمونه برداری طی دو فصل بهمن ماه سال ۱۳۹۴ و آبان ماه سال ۱۳۹۵ صورت گرفت و طی هر مرحله نمونه برداری از هفت ایستگاه نمونه برداری انجام شد. ایستگاه‌های مورد ارزیابی در مطالعه حاضر در حوضه بهشت‌آباد قرار گرفته و به ترتیب از ایستگاه یک تا هفت شامل: فخرآباد، رستم‌آباد، کاج، باغ رستم، بعد از پل بهشت‌آباد، محل تلاقی بهشت‌آباد و آب کوه‌رنگ و دوازده می‌باشد. موقعیت ایستگاه‌های مطالعاتی با استفاده از سیستم موقعیت‌یاب جهانی ثبت شد. نقاط نمونه برداری با در نظر گرفتن دسترسی مناسب، اضافه‌شدن شاخه‌های فرعی، وجود منابع آلاینده و موقعیت کارگاه‌های پرورش‌های ماهی انتخاب شد. نمونه رسوب سطحی از ۶ سانتی‌متر بالایی بستر با استفاده از بیلچه پلاستیکی (پلی‌اتیلنی) جمع‌آوری گردید. نمونه‌های رسوب به کیسه پلی‌اتیلنی منتقل شده و پس از ثبت کامل مشخصات بر روی کیسه‌ها، درون جعبه‌های یونولیتی حاوی یخ در دمای ۴ درجه‌سانتی‌گراد به آزمایشگاه منتقل شد. همه ظروف شیشه‌ای و پلاستیکی یک شب در اسیدنیتریک ۱۰ درصد قرار داده شد و قبل از استفاده به‌طور کامل با آب مقطر شسته شد (Jain et al., 2007; Bai et al., 2011). نمونه‌های منتقل شده به آزمایشگاه در معرض هوای اتاق خشک شدند. سپس نمونه‌ها از الک عبور داده شدند تا رسوبات ریز از درشت جدا شود. به‌منظور استخراج فلزات سنگین از رسوبات از روش هضم اسیدی استفاده شد به این ترتیب که ابتدا ۰/۵ یا ۱ گرم رسوب در لوله تفلون ریخته شد و با مخلوطی از اسیدهای هیدرو فلوریک اسید (HF)،

اسید نیتریک (HNO<sub>3</sub>) و پرکلریک اسید (HClO<sub>4</sub>) در دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۶ ساعت در دستگاه هاضم مورد هضم اسیدی قرار گرفت. پس از سرد شدن نمونه رسوب به فلاسک ۲۵ میلی‌لیتری منتقل شده و با آب مقطر به حجم رسانده شد (Jain et al., 2007; Bai et al., 2011) و سپس قرائت میزان فلزات سنگین به دستگاه ICP-MASS (مدل ۷۵۰۰، ساخت آمریکا) انجام شد. لازم به ذکر است که تمامی ظروف قبل از وزن‌کشی نمونه‌ها، خشک شده و وزن می‌شوند تا از ایجاد خطای احتمالی در وزن نمونه‌ها اجتناب شود (Glier, 1996; Mester et al., 2008; Arias et al., 1998). به منظور کنترل کیفیت و تضمین کیفیت داده‌ها از استاندارد مرجع CRM-IAEA-433 استفاده شد. میزان بازیابی برای فلزات آرسنیک، کروم، مس، سرب و روی به ترتیب ۹۰، ۱۱۰، ۱۰۶، ۱۰۷ و ۹۷ درصد بدست آمد. همچنین میزان درصد انحراف معیار نسبی برای فلز مذکور به ترتیب ۱۶، ۳، ۵، ۷ و ۵ درصد محاسبه شد.

## ۲-۲. تحلیل‌های آماری

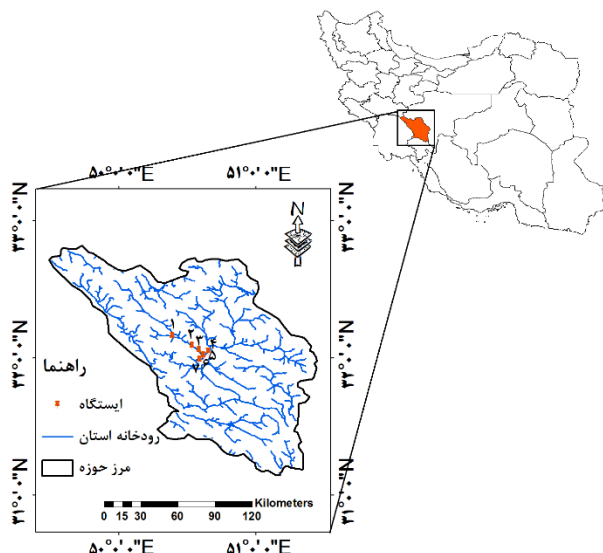
در ابتدا آنالیزهای آماری توصیفی با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۱۶ انجام شد. نمونه برداری در هر ایستگاه در سه تکرار انجام و داده میانگین گزارش شد. از آنالیز همبستگی جهت تعیین ارتباط غلظت فلزات استفاده شد. به دلیل تبعیت نکردن داده‌ها از توزیع نرمال و نرمال نشدن داده‌ها با روش‌های معمول، روش غیرپارامتری ضریب همبستگی اسپیرمن مورد محاسبه قرار گرفت. همچنین از ضریب تغییرات به‌عنوان ضریبی برای ارزیابی تغییرپذیری کلی استفاده شد (Shahbaz et al., 2013).

## ۲-۳. منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز مورد مطالعه در این تحقیق حوضه

شرقی ۵۰ درجه و ۳۶ دقیقه و ۵۱ درجه و ۴۵ دقیقه قرار دارد. محیط آن برابر ۳۸۹/۶۱ کیلومتر و ارتفاع متوسطی برابر ۲۳۱۷/۲۸ متر را دارا می‌باشد.

بهشت‌آباد با مساحتی برابر ۳۸۶۶ کیلومتر مربع در استان چهارمحال و بختیاری واقع شده است، این حوزه آبخیز بین عرض‌های جغرافیایی شمالی ۳۱ درجه و ۲۸ دقیقه و ۳۲ درجه و ۵۶ دقیقه و طول جغرافیایی



شکل ۱- موقعیت رودخانه در ایران و استان چهارمحال و بختیاری و نقاط نمونه برداری رسوب از رودخانه بهشت‌آباد

کرد (Hall, 2002). هم‌چنین شاخص بار آلودگی شامل ضریب آلودگی است که از تقسیم کردن غلظت فلز در نمونه مورد نظر به غلظت زمینه‌ای همان فلز به دست آمده و بیانگر میزان آلودگی نمونه به فلزات سنگین است (Adamoko et al., 2008).

که  $Cf_n$  در آن نسبت غلظت نمونه  $n$  به غلظت زمینه (فاکتور آلودگی) است. در این رابطه مقادیر فاکتور آلودگی برای فلزات مختلف محاسبه شده و نهایتاً پس از ضرب مقادیر  $Cf$ ، مقادیر  $PLI$  از محاسبه ریشه مقادیر  $n$  حاصل ضرب، محاسبه می‌گردد.

(۲)

$$PLI = (Cf_1 \times Cf_2 \times Cf_3 \times Cf_n)^{1/n}$$

اگر  $PLI$  نزدیک به عدد ۱ باشد نشان‌دهنده این است که غلظت فلزات سنگین نزدیک به غلظت زمینه و اگر بیش از ۱ بود بیانگر آلودگی نمونه به فلزات سنگین است.

## ۲-۴. فاکتور آلودگی ( $Cf$ ) و بار آلودگی

### ۲ (PLI)

از این شاخص جهت بررسی وضعیت آلودگی منابع آبی به آلاینده‌های مختلف و در نهایت شناسایی خطر بوم‌شناختی منبع مورد مطالعه، استفاده می‌گردد. روابط این شاخص‌ها به صورت زیر است:

$$(Cf_i = \sum_{i=1}^n \frac{C_{0-1}^i}{C_n^i} \quad (1)$$

که در آن:  $Cf_i$  = فاکتور آلودگی برای آلاینده،  $C_{0-1}^i$  = میزان میانگین فلزات  $i$  در لایه ۰ تا ۱ سانتی‌متری رسوبات،  $C_n^i$  = غلظت مرجع یا زمینه می‌باشد. اگر  $C_n^i \leq C_{0-1}^i$  باشد، آن عنصر می‌تواند باعث آلودگی گردد و اگر  $C_n^i - C_{0-1}^i \geq 1$  باشد، عنصر مورد نظر در منبع آبی سبب بروز آلودگی نمی‌گردد. هم‌چنین برای بیان بهتر میزان آلودگی می‌توان از جدول ۱ استفاده

شدت آلودگی،  $C_n$  غلظت اندازه گیری شده فلز سنگین در نمونه و  $B_n$  غلظت زمینه ای همان فلز سنگین در پوسته زمین می باشد. ضریب  $1/5$  نیز برای کمینه کردن تغییرات احتمالی در غلظت های زمینه ناشی از فعالیت های زمین شناسی اعمال می شود. این شاخص هفت گروه دارد که بر اساس مقادیر آن نمونه ها از غیر آلوده تا آلودگی شدید طبقه بندی می شوند (Azmet et al., 2014).

## ۲-۵. شاخص ژئوشیمیایی مولر (Igeo)

شاخص انباشتگی زمین (Igeo) در سال ۱۹۷۹ توسط مولر ارائه شد و پس از آن به طور گسترده ای در مطالعات فلزات سنگین در رسوبات و خاک به کار گرفته شد (Amin et al., 2009). این شاخص به صورت زیر بیان می شود:

(۳)

$$Igeo = (\log_2 C_n / 1.5 B_n)$$

که در آن: Igeo شاخص انباشت ژئوشیمیایی یا شاخص

جدول ۱- طبقه بندی کیفیت رسوبات براساس فاکتور آلودگی

سطح آلودگی	CF
آلودگی کم	> ۱
آلودگی متوسط	۱-۳
آلودگی فراوان	۳-۶
آلودگی بسیار شدید	> ۶

جدول ۲- طبقه بندی آلودگی براساس شاخص ژئوشیمیایی مولر

Igeo	سطح آلودگی	کلاس Igeo
$0 \leq Igeo$	کاملاً غیر آلوده	۱
$0 < Igeo < 1$	غیر آلوده تا آلودگی متوسط	۲
$1 < Igeo < 2$	آلودگی متوسط	۳
$2 < Igeo < 3$	آلودگی متوسط تا شدید	۴
$3 < Igeo < 4$	آلودگی شدید	۵
$4 < Igeo < 5$	آلودگی شدید تا بسیار شدید	۶
$5 < Igeo$	آلودگی بسیار شدید	۷

غلظت عناصر در نمونه آلوده با غلظت آن عنصر در نمونه زمینه مقایسه می گردد. این غلظت ها بر اساس غلظت استاندارد یا مرجع (مانند عنصر آهن، آلومینیوم، تیتانیوم، سزیم، منگن یا لیتیم) نرمال می شوند. در این مطالعه از آلومینیوم به عنوان فلز

## ۲-۶. شاخص غنی شدگی (EF)

یک رویکرد رایج برای ارزیابی آلودگی به فلزات سنگین و تفکیک منشا فلز از فعالیت های انسانی یا میانگین طبیعی آن، استفاده از شاخص غنی شدگی است (Selvaraj et al., 2004). در این فاکتور معمولاً

### 4-Enrichment Factor

### 3- Geo-Accumulation Index

تعیین مکانی است که باید در مطالعات در اولویت قرار بگیرند. فرمول محاسباتی این شاخص بر اساس سمیت عنصر و واکنش محیطی آن به شرح زیر است:

$$E = TC \quad (5)$$

$$C = C_a / C_b$$

$$PER = \sum E$$

به طوری که C فاکتور آلودگی نسبت غلظت نمونه به غلظت زمینه را نشان می‌دهد. T ضریب سمیت زیستی فلزات سنگین است (Zn=1, Cu=5, Pb=5, Cr=2, Cd=30, As=10) ، بر طبق پیشنهاد Hakanson (۱۹۸۰) و PER شاخص جامع ارزیابی پتانسیل بوم‌شناختی است که از مجموع E به دست می‌آید. PER را می‌توان به ۴ دسته پتانسیل ریسک بوم‌شناختی تقسیم کرد:  $PER < 95$  ریسک کم ،  $95 < PER < 190$  ریسک متوسط ،  $190 < PER < 380$  ریسک قابل ملاحظه و  $PER > 380$  ریسک بسیار بالا (Maanan et al., 2014).

مرجع استفاده شد. جدول ۳ طبقه‌بندی درجه آلودگی بر اساس شاخص EF را نشان می‌دهد. رابطه زیر بیانگر چگونگی محاسبه شاخص غنی‌سازی است.

$$EF = \frac{(C_M / C_X)_{sample}}{(C_M / C_X)_{background}} \quad (4)$$

که در آن: EF فاکتور غنی‌سازی،  $X_{sample}$ ،  $M_{sample}$  غلظت‌های فلز مورد نظر و فلز استاندارد در نمونه و  $X_{background}$ ،  $M_{background}$  غلظت‌های زمینه‌ای فلز مورد نظر و فلز استاندارد را نشان می‌دهد. ارزش فاکتور غنی‌شدگی به هفت طبقه تقسیم می‌شود (Birch & Olmos, 2008).

## ۲-۷. ارزیابی خطر بوم‌شناختی بالقوه (PER) ۵

شاخص ارزیابی خطر بوم‌شناختی بالقوه (PERI or RI) ۵ توسط (Hakanson, 1980) ارائه و سپس توسط Guo و همکارانش (۲۰۱۰) توسعه داده شد. عملکرد اصلی این شاخص نشان دادن عامل آلودگی و

جدول ۳- طبقه‌بندی آلودگی براساس شاخص غنی‌شدگی

EF	سطح آلودگی	کلاس EF
$EF < 1$	غنی‌شدگی وجود ندارد	۱
$1 < EF < 3$	غنی‌شدگی کم	۲
$3 < EF < 5$	غنی‌شدگی متوسط	۳
$5 < EF < 10$	غنی‌شدگی متوسط تا شدید	۴
$10 < EF < 25$	غنی‌شدگی شدید	۵
$25 < EF < 50$	غنی‌شدگی خیلی شدید	۶
$EF > 50$	غنی‌شدگی بی‌نهایت شدید	۷

## 5- Potential Ecological Risk Index

### ۳. نتایج

#### ۳-۱. آمار توصیفی

بر اساس میانگین غلظت، روند نزولی به صورت روی < کروم < مس < سرب < آرسنیک < کادمیوم مشاهده شد (جدول ۴). دامنه غلظت فلزات در رودخانه بهشت آباد به صورت زیر بود: آرسنیک ۲/۱ - ۰/۶، کادمیوم ۰/۲ - ۰/۱، کروم ۷۳ - ۳/۷، مس ۳۰ - ۳/۵، سرب ۱۶/۸ - ۱/۶ و روی ۶۹ - ۰/۷. بالابودن انحراف معیار در مورد فلزاتی همچون کروم و روی به دلیل تفاوت بالای غلظت فلزات در دو فصل بررسی شده می باشد. جدول ۵، میانگین غلظت فلزات در این مطالعه در

مقایسه با سایر مطالعات داخل و خارج از کشور کمتر بوده بجز در مورد مطالعه (Kishe et al., 2003)، که مقادیر کمتری از فلز کروم را گزارش کردند. همچنین مقادیر ثبت شده برای همه فلزات کمتر از غلظت زمینه بود؛ به جز در مورد فلز سرب که در ایستگاه یک از دوره نمونه برداری آبان ماه ۹۵ مقادیر بیشتر از غلظت زمینه (۲۱/۸) را نشان داد. بالا بودن غلظت سرب در مقایسه با غلظت زمینه احتمالاً به دلیل آلودگی های غیر نقطه ای با منبع نامشخص موجود در منطقه می باشد، زیرا در اطراف ایستگاه یک هیچگونه فعالیت صنعتی وجود ندارد.

جدول ۴- آمار توصیفی غلظت فلزات سنگین در رسوبات رودخانه بهشت آباد بر حسب ppm (۱۴ نمونه)

فلزات	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار	ضریب تغییرات
آرسنیک	۱/۳۴	۰/۶	۲/۱	۰/۴۷	۰/۳۵
کادمیوم	۰/۱۸	۰/۱	۰/۲	۰/۰۳	۰/۱۹
کروم	۲۵/۹۶	۳/۷	۷۳	۲۲/۵۸	۰/۸۶
مس	۱۱/۵۱	۳/۵	۳۰	۷/۷۴	۰/۶۷
سرب	۹/۷	۱/۶	۱۶/۸	۵/۳۰	۰/۵۴
روی	۲۹/۵۷	۷	۶۹	۱۹/۲۵	۰/۶۵

جدول ۵- مقایسه غلظت فلزات در رسوبات رودخانه بهشت آباد با سایر مطالعات و

معیارهای جهانی (ppm)

منطقه	آرسنیک	کادمیوم	کروم	مس	سرب	روی	مرجع
رودخانه بهشت آباد	۱/۳۴	۰/۱۸	۲۵/۹۶	۱۱/۵۱	۹/۷	۲۹/۵۷	مطالعه حاضر
غلظت زمینه	۱۵	۰/۳	۹۰	۴۵	۲۰	۹۵	Hakanson (1980)
دریای خزر	۱۹/۵	-	-	۱۰۸/۷۵	۷۱/۸۵	۳۹۵	Bastami et al., (2014)
دریاچه تگزوم آمریکا	-	۲	۳۰	۳۸	۱۰	-	Yin et al., (2011)
دلتای ماهاکام اندونزی	۲	۱/۰۷	۴۷/۳	۲۷/۶۶	۲۷/۵۹	۱۸۶/۶۱	Effendi et al., (2015)
دریاچه ویرانام هند	-	۰/۸۱	۸۸/۲	۹۴/۱۲	۳۰/۰۶	۱۸۰/۰۸	Suresh et al., (2012)
TEL	۷/۲	۰/۶۸	۵۲/۳	۱۸/۷	۳۰/۲	۱۲۴	MacDonald et al., (2000)
PEL	۴/۱۶	۴/۲۱	۱۶۰/۴	۱۰۸/۲	۱۱۲/۲	۲۷۱	MacDonald et al., (2000)

## ۲-۳. فاکتور آلودگی و بار آلودگی

طبق جدول ۶ بیشترین مقدار فاکتور آلودگی مربوط به سرب و کمترین آن مربوط به آرسنیک است. به طور کلی همه ایستگاه‌های نمونه برداری مقدار فاکتور آلودگی کمتر از ۱ داشتند و در طبقه آلودگی کم قرار گرفتند، بجز در ایستگاه یک از دوره نمونه برداری بهمن ماه ۹۴ مقدار فاکتور آلودگی برای سرب بیشتر از ۱ (۱/۰۹) بوده و در طبقه آلودگی متوسط قرار گرفت. با توجه به اینکه غلظت فلز سرب در ایستگاه یک بیشتر از غلظت زمینه‌ای گزارش شد، بنابراین انتظار می‌رفت طبق نتایج شاخص فاکتور آلودگی، منطقه مورد مطالعه میزانی از آلودگی را نشان دهد. در مورد شاخص بار آلودگی (PLI) نیز همه ایستگاه‌ها مقدار کمتر از یک و مقادیر نزدیک به غلظت زمینه محاسباتی داشتند.

## ۳-۳. شاخص غنی شدگی

طبق جدول ۷ بیشترین میزان غنی شدگی برای فلز سرب (۱/۰۹) و کمترین میزان فلز آرسنیک (۰/۰۴) مشاهده شد. براساس نتایج به دست آمده مقادیر محاسبه شده برای شاخص غنی شدگی برای تمامی فلزات و در همه ایستگاه‌ها کمتر از یک بوده و در طبقه غنی‌شدگی وجود ندارد قرار می‌گیرند، بجز در مورد فلز سرب (ایستگاه ۱، نمونه بهمن ۹۴) که مقدار محاسبه شده برای شاخص غنی‌شدگی بیشتر از یک (۱/۰۹) بود و در طبقه غنی شدگی کم قرار می‌گیرد. همانگونه که پیشتر نیز ذکر شد احتمالاً به دلیل آلودگی‌های غیر نقطه‌ای با منبع نامشخص، میزان فلز سرب مقادیر بالاتری را از میزان غلظت زمینه‌ای نشان داد، که نهایتاً بالا بودن میزان غنی شدگی فلز سرب در مقایسه با سایر فلزات به این دلیل می‌باشد.

جدول ۶- مقادیر آمار توصیفی به دست آمده برای فاکتور آلودگی و شاخص بار آلودگی در رسوبات رودخانه بهشت‌آباد

فلز	میانگین	حداکثر	حداقل
آرسنیک	۰/۰۸	۰/۱	۰/۰۴
کادمیوم	۰/۶۱	۰/۶۶	۰/۳۳
کروم	۰/۲۸	۰/۶	۰/۰۴
مس	۰/۲۵	۰/۶۶	۰/۰۷
سرب	۰/۴۸	۱/۰۹	۰/۰۸
روی	۰/۳۱	۰/۷۲	۰/۰۷
PLI	۰/۲۷	۰/۵۴	۰/۰۹

جدول ۷- آمار توصیفی شاخص غنی شدگی فلزات سنگین در رسوبات رودخانه بهشت‌آباد

فلز	میانگین	حداکثر	حداقل
آرسنیک	۰/۰۸	۰/۱	۰/۰۴
کادمیوم	۰/۱۶	۰/۶۶	۰/۳۳
کروم	۰/۲۸	۰/۸	۰/۰۴
مس	۰/۲۵	۰/۶۶	۰/۰۷
سرب	۰/۴۸	۱/۰۹	۰/۰۸
روی	۰/۳۱	۰/۷	۰/۰۷



## ۳-۴. ارزیابی خطر بوم‌شناختی بالقوه

شاخص خطر بالقوه بوم‌شناختی به دلیل کم بودن تعداد فلزات با طبقه‌بندی هاکانسون مطابقت چندانی نداشت، با این وجود رسوب رودخانه بهشت‌آباد بر اساس این طبقه‌بندی در همه ایستگاه‌های مورد ارزیابی، ریسک کم بوم‌شناختی را نشان داد. در این بین بیشترین مقدار به دست‌آمده برای ریسک بوم‌شناختی مربوط به ایستگاه ۳ از دوره نمونه‌برداری آبان ماه ۹۵ است که مربوط به شهر کاج می‌باشد. از علت افزایش ریسک بوم‌شناختی در این ایستگاه می‌توان به مزارع پرورش ماهی شهر کاج و ورود پساب آن‌ها به رودخانه بهشت‌آباد اشاره کرد. لازم به ذکر است به دلیل کم بودن تعداد فلزات بررسی شده جهت محاسبه شاخص ارزیابی خطر بوم‌شناختی بالقوه، نتایج به دست آمده برای این شاخص قابل

استناد نبوده و تنها گزارش شده است.

## ۳-۵. تحلیل همبستگی و تعیین منشا فلزات

نتایج همبستگی فلزات با استفاده از آزمون اسپیرمن برای کل ایستگاه‌ها در جدول ۸ نشان می‌دهد که در کل ایستگاه‌ها، ارتباط قوی بین تمامی فلزات در سطح ۰/۰۱ وجود دارد (بجز در مورد فلز کادمیوم که ارتباط معنی‌داری با هیچ یک از فلزات دیگر نداشت). بیشترین ارتباط بین فلزات مس و کروم با مقدار ۰/۹۴ و کمترین ارتباط بین فلزات روی و آرسنیک با مقدار ۰/۷۰ مشاهده شد. همانطور که بسیاری از محققین ذکر کرده اند همبستگی مثبت بین فلزات می‌تواند نشان دهنده منشا مشترک آنها باشد و همبستگی منفی می‌تواند نشان دهنده منبع احتمالی متفاوت فلزات باشد (Nowrouzi et al., 2014).

جدول ۸- نتایج همبستگی بین غلظت فلزات در رسوبات رودخانه بهشت‌آباد

فلزات	آرسنیک	کادمیوم	کروم	مس	سرب	روی
آرسنیک	۱					
کادمیوم	-۰/۱۷	۱				
کروم	۰/۷۲**	-۰/۳۰	۱			
مس	۰/۷۵**	-۰/۴۳	۰/۹۴**	۱		
سرب	۰/۷۶**	-۰/۵۰	۰/۷۵**	۰/۸۰**	۱	
روی	۰/۷۰**	-۰/۴۰	۰/۹۱**	۰/۹۳**	۰/۸۷**	۱

\*\* همبستگی معنی دار در سطح ۰/۰۱

## ۴. بحث و نتیجه گیری

با مقایسه غلظت‌های بدست آمده با معیارها و میانگین‌های جهانی مشخص شد که تمامی غلظت‌های بدست آمده پایین‌تر از سطح آستانه اثر (TEL) و سطح احتمال اثر (PEL) بودند؛ به جز

آنالیز همبستگی برای تعیین اشتراک خصوصیات مانند رفتار و منشا فلزات سنگین مورد بررسی قرار گرفت. براساس جدول ۸ همبستگی بالایی بین پنج فلز آرسنیک، کروم، مس، سرب و روی مشاهده شد. فلز ششم یعنی کادمیوم همبستگی معنی‌داری با هیچ یک از فلزات مورد بررسی نشان نداد.

## 7- Probable Effect Level

## 6- Threshold Effect Level

رسوب تالاب چغاخور ثبت کردند. ایشان نیز نتایج همبستگی بین فلزات را احتمالاً مربوط به منبع کنترل کننده یکسان دانستند. مطالعه‌ای که توسط Banu و همکاران (۲۰۱۲) بر رسوبات رودخانه ای در بنگلادش انجام شد نتایج مشابهی را در آنالیز همبستگی ثبت کرد، ایشان همبستگی معنی دار را برای کروم و روی، سرب و مس، روی و مس گزارش دادند و بیان کردند که نتایج حاصل ممکن است نشان دهنده یک ورودی مشترک برای این فلزات به رسوب رودخانه باشد.

بر این اساس و با توجه به نتایج حاصل از همبستگی فلزات در رسوبات رودخانه بهشت‌آباد احتمالاً منشأ یکسانی برای فلزات وجود دارد و با توجه به نتایج شاخص‌ها که عدم آلودگی یا میزان کم آن را نشان دادند، منشأ این فلزات را می‌توان منشأ طبیعی مانند فرآیندهای هوازدگی و فرسایش دانست. در مورد ایستگاه‌هایی که مقدار کمی از آلودگی به فلزات را نشان دادند (کاج، رستم‌آباد و فخرآباد) با توجه به قرارگیری این ایستگاه‌ها در مناطقی با بافت مسکونی و وجود زمین‌های کشاورزی و پرورش ماهی می‌توان منشأ آن را انسانی، و ورود همین پساب‌های کشاورزی و پرورش ماهی و نیز فاضلاب خانگی به آب رودخانه بهشت‌آباد دانست و برای جلوگیری از افزایش آلودگی رودخانه باید از ورود این پساب‌ها به رودخانه پیش‌گیری کرد. البته برای تشخیص دقیق تاثیر فاضلاب‌های انسانی و کشاورزی، نیاز به بررسی رواناب‌ها و زه‌آب‌های حوضه آبخیز و شیب رودخانه بهشت‌آباد می‌باشد.

فلز مس که در ایستگاه یک (فخرآباد) و ایستگاه سه (کاج)، مقادیر بیشتری از سطح آستانه اثر (TEL) را نشان داد. که این مسئله نشان‌گر در خطر بودن جوامع زیستی رودخانه از نظر فلز مس در این دو ایستگاه است. مشابه این نتایج در مطالعه Alibeygi-Beni و همکاران (۲۰۱۷)، در تالاب چغاخور گزارش شد که در خطر بودن جوامع زیستی تالاب را از نظر فلز نیکل ثبت نمودند. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که غلظت کل فلزات در رسوبات رودخانه بهشت‌آباد در مقایسه با معیارهای جهانی و نتایج شاخص‌های محاسبه شده در مقاله حاضر، اثرات منفی کمی بر موجودات این رودخانه دارد. طبق نتایج جدول ۸ همبستگی بالا بین فلزات موجود در رسوب احتمالاً مربوط به منشأ یکسان برای آن‌ها می‌باشد. مهمترین منبع آلوده‌کننده رودخانه بهشت‌آباد پساب‌های کارگاه‌های پرورش ماهی و روستاهای اطراف می‌باشد و هیچ‌گونه فعالیت صنعتی در محدوده منطقه مطالعاتی وجود ندارد. از آنجاییکه میزان فلزات در پساب‌های کارگاه‌های پرورش ماهی بسیار کم یا ناچیز می‌باشد، منشأ آنها را می‌توان به فرآیندهای طبیعی همچون هوازدگی و فرسایش نسبت داد. نتایج این تحقیق با مطالعه‌ای که توسط Cevik و همکاران (۲۰۰۹) در سد سیحان ترکیه انجام شد، مطابقت داشت. ایشان گزارش کردند همبستگی بالا می‌تواند نشان‌دهنده رفتار ژئوشیمیایی یا منشأ مشابه فلزات باشد. Zhang و همکاران (۲۰۱۷) نیز نتایج مشابهی را در آنالیز همبستگی ثبت کردند. ایشان نیز ارتباط بالای بین فلزات در رسوبات را احتمالاً مربوط به منشأ یکسان نسبت دادند. Alibeygi-Beni و همکاران (۲۰۱۷) نیز نتایج مشابهی را در آنالیز همبستگی برای

## References

- Adomako, D., Nyarko, B., Dampare, S., Serfor-Armah, Y., Osae, S., Fianko, J. 2008. Determination of toxic elements in waters and sediments from River Subin in the Ashanti Region of Ghana, *Environ Monit Assess.* 141: 165-75.
- Alahabadi, A., and Malvandi, H. 2018. Contamination and ecological risk assessment of heavy metals and metalloids in surface sediments of the Tajan River, Iran. *Marine Pollution Bulletin* 133: 741-749.
- Amin, B., Ismail Arshad, A., Kamarudin, M. 2009. Anthropogenic impacts on heavy metal concentrations in the costal sediments of Dumai, Indonesia, *Environ Monit Assess.* 148:291-305.
- Arias, R., Barona, A., Ibarra-Berastegi, G., Aranguiz, I., Elias, A. 2008 Assessment of metal contamination in dredged sediments using fractionation and self-organizing maps, *J.Hazard Mater.* 151: 78-85.
- Azmat, Z., Hashmi, M.Z., Malik, R.N., Ahmed, Z. 2014. Enrichment and geo-accumulation of heavy metals and risk assessment of sediments of the Kurang Nallah Feeding tributary of the Rawal Lake Reservoir, Pakistan, *Science of the Total Environment.* 470: 925-933.
- Bai, J., Xiao, R., Gong, A., Gao, H., Huang, L. 2011. Assessment of heavy metal contamination of surface soils from typical paddy terrace wetlands on the Yunnan Plateau of China, *Phys, Chem. Earth.* 36: 448-450.
- Banu, Z., Chowdhury, M.S.A., Hossain, M.D., Nakagami, K. 2012. Contamination and Ecological Risk assessment of heavy metal in the sediment of Turay River, Bangladesh, *An Index Analysis Approach, Journal of water Resource and Protection.* 5: 239-248.
- Bastami, K.D., Bagheri, H., Kheirabadi, V., Ghorbanzadeh Zaferani, G.H., Teymori, M.B., Hamzehpoor, A., Soltani, F., Haghparast, S., Moussavi Harami, S.R., Ghorghani, N.F., Ganji, S. 2014. Distribution and ecological risk assessment of heavy metals in surface sediments along southeast coast of the Caspian Sea, *Marine Pollution Bulletin.* 81: 262-267.
- Bermejo, J.C.S., Beltran, R., Ariza, J.L.G. 2003. Spatial variations of heavy metals contamination in sediments from Odiel River (Southwest Spain), *Environ Int.* 29(1):69-77.
- Birch, G.F., Olmos, M.A. 2008. Sediment-bound heavy metals as indicators of human influence and biological risk in coastal water bodies, *International Council for the Exploration of the Sea (ICES). Journal of Marine Science.* 65: 1407-1413.
- Çevik, F., Lugal Göksu, M.Z., Dericci, O.B., Fındık, O. 2009. An assessment of metal pollution in surface sediments of Seyhan dam by using enrichment factor, geoaccumulation index and statistical analyses, *Environ Monit Assess.* 152: 309-317.
- Effendi, H., Kawaroe, M., Mursalin, Lestari, D.F., 2015. Ecological risk assessment of heavy metal pollution in surface sediment of Mahakam Delta, East Kalimantan, *Procedia Environmental Sciences,* 33: 574 – 582.
- Espinoza-Quinones, F.R., Zacarkim, C.E., Palacio, S.M., Obregón, C.L., Zenatti, D.C., Galante, R.M. 2005. Removal of heavy metal from polluted river water using aquatic macrophytes *Salvinia* sp. *Brazilian Journal of Physics.* 35:744-746.
- Glier, 1996. Great Lakes institute for environmental research laboratory manual. Revised, March 22, 1996, section 4. 10, University of Windsor, Canada.
- Guo, W., Lau, X., Lau, Z., Li, G. 2010. Pollution and potential ecological risk evaluation of heavy metals in the sediments around Dong Jiang Harbor, Tianjin. *Procedia Environmental Sciences.* 2: 729-739.
- Hakanson, L. 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control, a sedimentological approach, *Water Research.* 14:975–1001.
- Hall, J.E. 2002. Bioconcentration, bioaccumulation, and biomagnification in puget sound biota: assessing the ecological risk of chemical contaminants in puget sound, University of Washington Tacoma, 19 p.

- Hamidian, A.H., Zareh, M., Poorbagher, H., Vaziri, L. and Ashrafi, S. 2016. Heavy metal bioaccumulation in sediment, common reed, algae, and blood worm from the Shoor river, Iran. *Toxicology and industrial health*. 32(3): 398-409.
- Izquierdo, C., Usero, J., Gracia, I. 1997. Speciation of heavy metals in sediments from salt marshes on the southern Atlantic coast of Spain. *Marine pollution bulletin*. 34(2): 123-128.
- Jain, C.K., Malik, D.S., Yadar, R. 2007. Metal fractionation study on bed sediments of Lake Nainital, Uttaranchal, India, *Environ, Monit, Assess*. 130: 129-139.
- Kane, S., Lazo, P., Vlora, A. 2012. Assessment of Heavy Metals in some Dumps of Copper Mining and Plants in Mirdita Area, Albania, *Proceeding of the 5th International Scientific Conference on Water, Climate and Environment*, Ohrid.
- Kishe, M.A., Machiwa, J.F. 2003. Distribution of heavy metals in sediments of Mwanza Gulf of Lake Victoria, Tanzania, *Environmental International*. 28:619-625.
- Larsen, B., Jensen, A. 1989. Evaluation of the sensitivity of sediment stations in pollution monitoring, *Marine Pollution Bulletin*. 20(11):556-560.
- Liu, Y., Guo, H.C., Yu, Y.J., Huang, K., Wang, Z. 2007. Sediment chemistry and the variation of three altiplano lakes to recent anthropogenic impacts in south-western China, *Water SA*. 33(2): 305-310.
- MacDonald, D.D., Ingersoll, C., Berger, T. 2000. Development and evaluation of consensus-based Sediment quality guidelines for freshwater ecosystems, *Arch Environ Contam Toxicol*. 39: 20-31.
- Mester, Z., Cremisini, C., China, E., Morabito, R. 1998. Comparason of two sequential extraction procedures for metal fractionation in sediment samples, *Anal, Chimica Acta*. 359: 133-142.
- Nowrouzi, M. and Pourkhabbaz, A. 2014. Application of geoaccumulation index and enrichment factor for assessing metal contamination in the sediments of Hara Biosphere Reserve, Iran. *Chemical Speciation & Bioavailability*. 26(2):99-105.
- Nowrouzi, M., Mansouri, B., Nabizadeh, S. and Pourkhabbaz, A. 2014. Analysis of heavy metals concentration in water and sediment in the Hara biosphere reserve, southern Iran. *Toxicology and industrial health*, 30(1):64-72.
- Prabu, P.C. 2009. Impact of heavy metal contamination of Akaki River of Ethiopia on soil and metal toxicity on cultivated vegetable crops, *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*. 8:818-827.
- Raissy, M., Ansari, M., Rahimi, E. 2009. Determination of lead and cadmium concentration in meat of four species of Cyprinid fish from Beheshtabad River, Chaharmahal & Bakhtyari Province and the relation with age and fish species. *Scientific Information Database*, 4(4): 38-47. (In Persian)
- Rastmanesh, F., Safaie, S., Zarasvandi, A.R. and Edraki, M. 2018. Heavy metal enrichment and ecological risk assessment of surface sediments in Khorramabad River, West Iran. *Environmental monitoring and assessment*. 190(5):273.
- Reimann, C., Filzmoser, P., Garrett, R.G. 2005. Background and threshold: critical comparison of methods of determination, *Science of the Total Environment*. 346: 1-16.
- Sayadi, M., Sayyed, M., Kumar, S. 2010. Short-term accumulative signatures of heavy metals in river bed sediments in the industrial area, Tehran, Iran, *Environmental Monitoring Assessment*. 162: 465-73.
- Selvaraj, K., Ram, M.V., Szefer, P., Yasmin, A. 2014. Relationship between heavy metals concentrations in egret species their environment and food chain differences from two Headworks of Pakistan, *Chemosphere*. 93: 274-282.
- Shahbaz, M., Hashmi, M.Z., Malik, R.N., Yasmin, A. 2013. Relationship between heavy metals concentrations in egret species, their environment and food chain differences from two Headworks of Pakistan, *Chemosphere*. 93: 274-282.

Shajan, K.P. 2001. Geochemistry of bottom sediments from a river-estuary-shelf mixing zone on the tropical southwest coast of India. Bulletin Geological Survey of Japan. 52(8):371-382.

Suresh, G., Sutharsan, P., Ramasamy, V., Venkatachalapathy, R. 2013. Assessment of spatial distribution and potential ecological risk of the heavy metals in relation to granulometric contents of Veeranam lake sediments, India, Ecotoxicology and Environmental Safety. 84:117-124.

Tang, W.Z., Shan, B.Q., Zhang, H., Mao, Z.P. 2010. Heavy metal sources and associated risk in response to agricultural intensification in the estuarine sediments of Chaohu Lake Valley, East China, Journal of Hazardous Materials. 176: 945-951.

Yarahmadi, S.S., and Ansari, M.R. 2018. Ecological risk assessment of heavy metals (Zn, Cr, Pb, As and Cu) in sediments of Dohezar River, North of Iran, Tonekabon city. Acta Ecologica Sinica. 38(2): 126-134.

Yin, H., Gao, Y., Fan, C. 2011. Distribution, sources and ecological risk assessment of heavy metals in surface sediments from Lake Taihu, China, Environmental Research Letters. 6: 12-44.

Yu, K.C., Tsal, L.J., Chen, S.H., Ho, S.T. 2001. Chemical binding of heavy metals in anionic river sediments, Water Research. 35(17): 4086-4096.

Zamani-Ahmadm Mahmoodi, R., Esmaili-sari, A., Mohammadi, J., Riyahi-Bakhtiari, A., Savabi-easfahani, M. 2013. Spatial distribution of cadmium and lead in the sediment of the western Anzali wetlands on the coast of Caspian Sea (Iran), Marine Pollution Bulletin. 74: 464-470.

Zhang, P., Hu, R., Zhu, L., Wang, P., Yin, D., Zhang, L. 2017. Distributions and contamination assessment of heavy metals in the surface sediments of western Laizhou Bay: Implications for the sources and influencing factors, Marine Pollution Bulletin. 8507: ON of Pages 10.