ارزیابی میزان آلودگی فلزات سنگین در آب رودخانه بهشت‌آباد

مهرسا نجفی[۱]
رسول زمانی احمدمحمودی[۲*]
فردین شالویی[۳]
پونه قربانی دشتکی[۴]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد بوم‌شناسی آبزیان، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
۲،۳. استادیار گروه شیلات و محیطزیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
۴. دانشجوی کارشناسی ارشد محیطزیست، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران

***مسئول مکاتبات:**
rasoolzamani@yahoo.com

کد مقاله: ۱۳۹۸۰۴۰۷۰۸
تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۸/۲۳
این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد است.

چکیده

رودخانه‌ها یکی از منابع اساسی تأمین آب برای مصارف گوناگون ازجمله کشاورزی، شرب و صنعت شناخته‌شده‌اند. هدف تحقیق حاضر ارزیابی میزان آلودگی فلزات سنگین (آرسنیک، کادمیوم، کروم، مس، سرب و روی) در آب رودخانه بهشت‌آباد چهارمحال و بختیاری است. نمونه‌های آب از رودخانه در ۷ ایستگاه و در طی بهمن ۱۳۹۴، اردیبهشت ۱۳۹۵، بهمن ۱۳۹۵ و آبان ۱۳۹۵ جمع‌آوری شد. غلظت کل عناصر آرسنیک، کادمیوم، کروم، مس، سرب و روی با استفاده از دستگاه ICP-MASS تعیین شد. توصیف آماری نتایج با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد. همچنین از آزمون اسپیرمن برای بررسی همبستگی بین فلزات استفاده شد. غلظت متوسط آرسنیک، کادمیوم، کروم، مس، سرب و روی در نمونه‌های آب به ترتیب: ۰/۴۸±۰/۶، ۰/۰۲±۰/۰۸، ۲/۲۷±۲/۰۳، ۳/۲۳±۲/۲۴، ۱/۲۵±۱/۲۹ و ۱۹/۲۵±۱۷/۰۸ میکروگرم بر کیلو-گرم بود. با توجه به نتایج حاصل از شاخص‌های مختلف از قبیل شاخص فلزی، بار آلودگی، ارزیابی آلودگی و درجه آلودگی، آلودگی قابل‌توجه و شدید در آب رودخانه بهشت‌آباد مشاهده نشد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده میزان فلزات سنگین در آب رودخانه بهشت‌آباد طبیعی بوده و برای جلوگیری از آلودگی رودخانه باید از ورود آلاینده‌های ناشی از پساب‌های کشاورزی، کارگاه‌های پرورش ماهی و فاضلاب‌های خانگی به رودخانه پیش‌گیری کرد.

واژگان کلیدی: فلزات سنگین، پایش، شاخص‌های آلودگی آب، رودخانه بهشت‌آباد، استان چهارمحال و بختیاری.

مقدمه

اکوسیستم‌های آبی یکی از مهم‌ترین و غنی‌ترین اکوسیستم‌های جهان هستند که نقش مهمی در زندگی بشر و سایر موجودات زنده دارند (Maanan *et al*., 2015). به‌طوری‌که کیفیت این اکوسیستم‌ها به‌عنوان یکی از فاکتورهای اساسی جهت کنترل وضعیت سلامت و بیماری‌های انسانی و حیوانی در نظر گرفته می‌شود (Yipel and Yarsan, 2014). از میان جریان‌های سطحی، رودخانه‌ها به دلیل نحوه ارتباط با رشد و توسعه جوامع بیش از دیگر منابع در بهبود و ارتقا سطح زندگی انسان‌ها مؤثر بوده و به همین نسبت نیز بیشتر از دیگر موارد در معرض خطر آلودگی و کاهش کیفیت می‌باشند (عسکری ساری و ولایت‌زاده، ۱۳۹۳؛ Wang *et al*., 2010). امروزه به علت رشد صنعتی، اکثر کارخانه‌ها، نیروگاه‌ها و پالایشگاه‌ها با آب سروکار دارند و نتیجه آن آلودگی آب است به همین خاطر باید نسبت به سیستم‌های آبی، انواع منابع آلوده‌کننده، اثرات آلودگی، روش‌های دفع آلودگی و روش‌های پیش‌گیری از آلودگی اطلاع کافی داشته باشیم (نوری و فردوسی، ۱۳۷۱). همگام با رشد صنعتی و اقتصادی و تولید انواع مختلف ترکیبات و مواد شیمیایی و به دنبال آن افزایش مصرف، انسان به‌طور ناخواسته آلاینده‌های مختلفی را به طبیعت وارد می‌کند

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-08-01]

که بسیاری از آن‌ها هم برای محیط و هم برای خود انسان مشکلات و خطرات جدی به همراه دارد (Espinoza-Quinones *et al*., 2005). وفور آلاینده‌ها، سمیت و ماندگاری آنها در اکوسیستم‌های آبی، توجه جهانی را در جوامع علمی به خود جلب کرده است. توسعه گسترده صنایع مقادیر زیادی از آلاینده‌ها شامل فلزات سنگین را وارد محیطزیست پیرامون می‌کند (Yeh *et al*., 2020). امروزه به علت استقرار مناطق شهری و روستایی و تمرکز واحدهای صنعتی در اطراف رودخانه‌ها، این بوم‌سامانه‌ها به‌شدت در معرض ورود آلاینده‌های فلزی قرار دارند (راست‌منش و همکاران، ۱۳۹۶). فلزات سنگین موجود در اکوسیستم‌های آبی دارای دو منشأ طبیعی زمین‌شناسی و یا انسانی هستند. منشأ طبیعی عمدتاً ناشی از هوازدگی خاک و سنگ‌ها، فرسایش محیط، آتش‌سوزی جنگل‌ها و فوران آتش‌فشان‌ها می‌باشند (Yang *et al*., 2015). منشأ انسانی ناشی از تخلیه پساب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی، تخلیه مواد زائد کشاورزی، معدنکاری، رواناب شهری و غیره هستند (Shang *et al*., 2015). اصولاً آلودگی اکوسیستم‌های آبی به فلزات سنگین می‌تواند از طریق بررسی آب، رسوبات و موجودات زنده و همچنین طیف وسیعی از شاخص‌های محیط زیستی همچون ارزیابی خطر اکولوژیکی، شاخص زمین انباشت شیمیایی، فاکتور آلودگی، شاخص بار آلودگی و غیره مورد تائید قرار گیرد؛ اما در این میان یکی از شاخص‌هایی که به دلیل اهمیت فراوان در چند سال اخیر توجهات قابل‌ملاحظه‌ای را به خود جلب کرده، شاخص ارزیابی خطر اکولوژیکی فلزات سمی در محیط‌های آبی است (Venkatramanan *et al*., 2013). چراکه این شاخص بر اساس میزان غلظت و فاکتور سمیت هر فلز، پتانسیل خطر اکولوژیکی آن‌ها و همچنین خطر محیط زیستی مجموع فلزات را مشخص می‌نماید (Gurumoorthi and Venkatachalapathy, 2016). عناصر سمی نظیر جیوه، سرب، کادمیوم و آرسنیک از مهم‌ترین منابع آلاینده محیطزیست به‌حساب می‌آیند (Ananth *et al*., 2014; Asha *et al*., 2010) که در بدن انسان اثرات سمی دارند و سبب انواع بیماری‌ها می‌شوند (اسماعیلی‌ساری، ۱۳۸۱). عوارض فلزات سنگین بر سلامت انسان به‌طور عمده به دنبال در معرض قرار گرفتن این آلاینده‌ها به‌طور مزمن و تدریجی اتفاق می‌افتد و علاوه بر مشکلات کبدی، کلیوی و استخوانی به‌طور بالقوه سرطان‌زا، جهش‌زا و آلرژی‌زا هستند (عسکری‌ساری و ولایت زاده، ۱۳۹۳). رودخانه بهشت‌آباد یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های استان چهارمحال و بختیاری واقع در شهرستان اردل می‌باشد. در سال‌های اخیر با توجه به رشد جمعیت و نیاز به تولید غذای سالم کارگاه‌های پرورش ماهی بسیاری در حاشیه این رودخانه احداث‌شده است. همچنین با توجه به روند رو به رشد گسترش روستاها و شهرها در حاشیه این رودخانه، ورود فاضلاب‌های خانگی و شهری به این رودخانه اجتناب‌ناپذیر است؛ بنابراین مطالعه حاضر باهدف ارزیابی میزان آلودگی فلزات سنگین در آب رودخانه بهشت‌آباد استان چهارمحال و بختیاری انجام‌شده است.

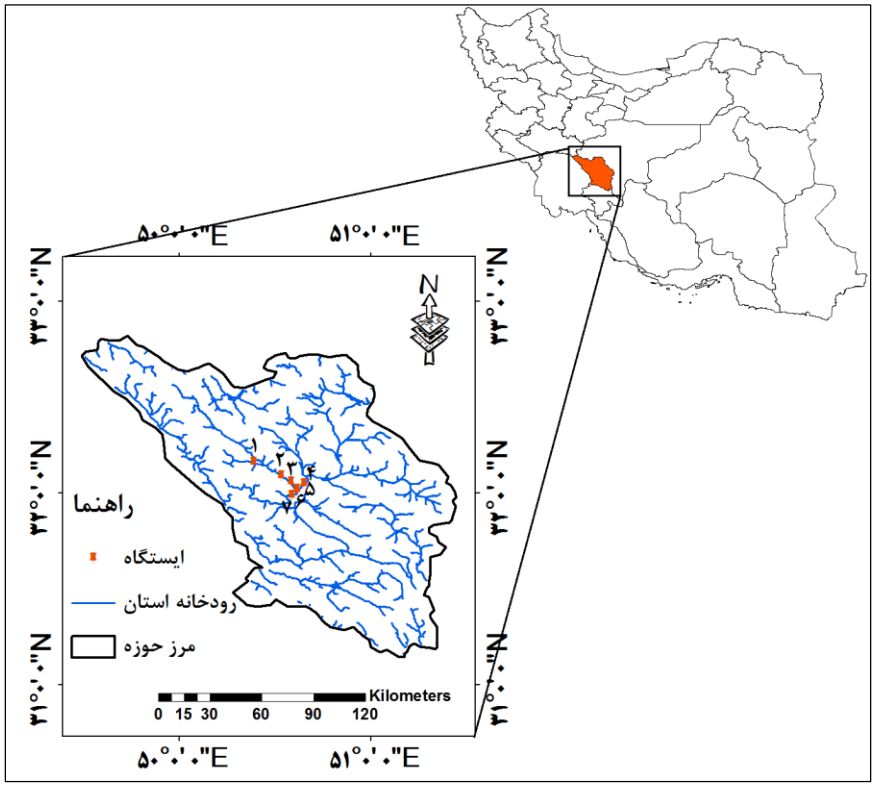
مواد و روش‌ها

به‌منظور سنجش فلزات سنگین در نمونه‌های آب سطحی، ظروف پلی‌پروپیلنی که قبلاً با اسید نیتریک و آب مقطر شستشو شده، استفاده شد. ظروف نمونه‌برداری (بطری‌های پلاستیکی) سه بار با آب رودخانه آب‌کشی و سپس نمونه‌برداری از یک‌سوم بالایی آب یعنی از سطح تا عمق ۳۰ سانتی‌متری انجام شد. بلافاصله پس از نمونه‌برداری، نمونه‌ها با استفاده از اسید نیتریک غلیظ اسیدی و تثبیت شد، بعد از اسیدی کردن، مشخصات مربوط به ایستگاه نمونه‌برداری روی بطری‌ها ثبت شد و نمونه‌ها در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به آزمایشگاه منتقل‌شده و تا زمان شروع آنالیز در همین شرایط نگهداری شدند (Jain *et al*., 2007; Kang *et al*., 2020). یک حجم مشخص از نمونه‌ی آب تثبیت‌شده با اسید نیتریک (مثلاً ۱۰۰ میلی‌لیتر) در زیر هود به بطری انتقال داده و با فویل شفاف پوشانده شد (برای جلوگیری از ورود آلودگی). بطری حاوی نمونه روی حرارت قرار داده شد. بعد از حرارت دیدن و تبخیر شدن تا حجم حدود ۲۰ میلی‌لیتر دوباره مقداری از اسید نیتریک به ظرف حاوی نمونه افزوده شد. این کار تا زمانی که هضم کامل انجام شود ادامه داده شد (از روی رنگ نمونه قابل‌تشخیص می‌باشد). مقداری از نمونه آماده‌شده را به فلاسک با حجم مشخص انتقال داده و با آب مقطر به حجم لازم رسانیده شد. به‌این‌ترتیب نمونه رقیق و سرد شده آماده‌ی انجام آنالیز توسط دستگاه ICP-MASS شد (APHA, 1992).

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-08-01]

به‌منظور محاسبه شاخص‌های ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در آب رودخانه بهشت‌آباد از نرم‌افزار Excel نسخه ۲۰۱۳ استفاده شد. همچنین به‌منظور انجام آنالیز همبستگی جهت تعیین ارتباط غلظت فلزات از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶ استفاده شد. ازآنجایی‌که توزیع داده‌ها با توجه به نتایج آزمون شاپیروویلکش نرمال نبود، از روش غیر پارامتری ضریب همبستگی اسپیرمن استفاده شد. همچنین از ضریب تغییرات به‌عنوان ضریبی برای مقایسه میزان تغییرپذیری استفاده شد. این ضریب نشان می‌دهد میزان پراکندگی، چند درصد میانگین می‌باشد.

موقعیت رودخانه بهشت‌آباد در شکل ۱ نشان داده‌شده است. ایستگاه‌های موردبررسی در مطالعه حاضر بر اساس دسترسی به نقاط نمونه‌برداری، وجود منابع آلاینده از قبیل خروجی کارگاه‌های پرورش ماهی و فاضلاب مناطق روستایی و وجود شاخه‌های فرعی انتخاب شدند. در کل ایستگاه‌ها بصورتی انتخاب شد که کاربری های مختلف منطقه و فعالیت‌های انسانی گوناگون را در برگیرد (Qu *et al.*, 2018). ایستگاه‌های مورد ارزیابی به ترتیب از ایستگاه یکتا هفت شامل: فخرآباد، رستم‌آباد، کاج، باغ رستم، بعد از پل بهشت‌آباد، محل تلاقی بهشت‌آباد و آب کوهرنگ و دوازده امام می‌باشد.



شکل ۱: موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری در رودخانه بهشت‌آباد استان چهارمحال و بختیاری (۱۳۹۵-۱۳۹٤).

برای تعیین میزان آلودگی منابع آب ازنظر فلزات سنگین از شاخص فلزی (Metal Index)، شاخص آلودگی فلزات سنگین (metal Heavy Pollution Index)، شاخص ارزیابی فلزات سنگین (Heavy metal Evaluation Index) و شاخص درجه آلودگی به شرح زیر از رابطه ۱ شاخص فلزی (Metal Index) استفاده شد (Tamas and Cini, 2004):

رابطه ۱:

$$MI = \sum \frac{C_i}{(MAC)}$$

در این رابطه:

C: غلظت هر یک از عناصر در محلول

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-08-01]

Maximum Acceptable Concentration (MAC): بیشترین حد مجاز غلظت برای یک عنصر فلزی در حالت استاندارد

i: شماره عنصراست.

اگر مقادیر به‌دست‌آمده برای MI کمتر از یک باشد (MI<1) آب قابل آشامیدن است.

اگر مقادیر به‌دست‌آمده برای MI بیشتر از یک باشد (MI>1) آب غیرقابل آشامیدن است.

اگر مقادیر به‌دست‌آمده برای MI برابر یک باشد (MI=1) آب در حد آستانه خطر قرار دارد.

از رابطه ۲ شاخص آلودگی فلزات سنگین (Heavy metal Pollution Index) استفاده شد (Ameh and Akpah, 2011):

رابطه ۲:

$$HPI = \frac{\sum_{i=1}^{n} W_i Q_i}{\sum_{i=1}^{n} W_i}$$

که در این رابطه:

W_i: نسبت وزنی iام مؤلفه می‌باشد که معکوس استاندارد می‌باشد ($w_i = {}^{1}/_{S_i}$).

Q_i: زیر شاخص عنصر مورد ارزیابی که از رابطه ۳ محاسبه می‌شود (Ameh and Akpah, 2011):

رابطه ۳:

$$Q_i = \sum_{i=1}^{n} \frac{\{Mi(-)Ii\}}{(Si - Ii)} * 100$$

که در آن:

Mi: غلظت قرائت‌شده عنصر (µg/L)

Ii: غلظت ایده آل عنصر موردنظر

S_i: رهنمود سازمان بهداشت جهانی

رابطه ۴ شاخص ارزیابی فلزات سنگین (Heavy metal Evaluation Index) را محاسبه نموده (Prasad *et al.*, 2014; Prasad and Bose, 2001):

رابطه ۴:

$$HEI = \sum_{i=1}^{n} \frac{H_i}{H_{mac}}$$

که در آن:

H_C: غلظت قرائت‌شده عنصر مورد ارزیابی (ppb)

H_{mac}: حداکثر غلظت مجاز هر عنصر مورد ارزیابی (ppb) می‌باشد (Prasad *et al.*, 2014).

بر اساس طبقه‌بندی موجود اگر:

رابطه ۵ شاخص درجه آلودگی:

رابطه ۵:

$$Cd = \sum_{i=1}^{n} Cfi$$

که در آن:

Cfi: عامل آلودگی هر عنصر می‌باشد و از رابطه ۶ قابل‌محاسبه است (Banu, 2012; Edet and Offiong, 2002):

رابطه ۶:

$$CFi = \frac{CAi}{CNi} - 1$$

که در آن:

C_{Ai}: غلظت قرائت‌شده عنصر (ppb)

C_{Ni}: بالاترین حد غلظت مجاز هر عنصر (ppb)، (Edet and Offiong, 2002).

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-08-01]

نتایج

در جدول ۱ آمار توصیفی شش فلز آرسنیک، کادمیوم، کروم، مس، سرب و روی در آب رودخانه بهشت‌آباد نشان داده‌شده است. بیشترین غلظت‌ها به‌این‌ترتیب مربوط به روی>مس>کروم>سرب>آرسنیک>کادمیوم بود. طبق ضریب تغییرات به‌دست‌آمده غلظت فلزات در آب دارای تغییرپذیری کم بودند. بیشترین میزان انحراف معیار برای فلز روی و کمترین انحراف معیار برای فلز کادمیوم مشاهده شد.

جدول ۱: آمار توصیفی غلظت فلزات سنگین در آب رودخانه بهشت‌آباد طی چهارفصل برحسب میکروگرم بر کیلوگرم (۱۳۹۵-۱۳۹٤).

فلزات	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار	ضریب تغییرات
آرسنیک	۰/۶۰	۰	۱/۸	۰/۴۸	۰/۸۰
کادمیوم	۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۱	۰/۰۲	۰/۲۳
کروم	۲/۰۳	۰	۹/۳	۲/۲۷	۱/۱۱
مس	۲/۲۴	۰	۱۵/۲	۳/۲۳	۱/۴۳
سرب	۱/۲۹	۰/۱	۶/۱	۱/۲۵	۰/۹۷
روی	۱۷/۰۸	۱/۴۴	۷۳/۱	۱۹/۲۵	۱/۱۲

غلظت‌های به‌دست‌آمده در این تحقیق با برخی مطالعات انجام‌شده در سایر نقاط جهان مقایسه شد. در جدول ۲ این مقادیر ارائه‌شده است. غلظت فلزات موجود در نمونه آب رودخانه بهشت‌آباد از سایر مطالعات مشابه در سایر کشورها در اغلب موارد مقادیر کمتری را نشان داد.

جدول ۲: مقایسه‌ی میانگین غلظت فلزات در آب رودخانه بهشت‌آباد با سایر نقاط جهان (۱۳۹۵-۱۳۹٤).

منطقه	آرسنیک	کادمیوم	کروم	مس	سرب	روی	مرجع
رودخانه بهشت‌آباد	۰/۶	۰/۰۸	۲/۰۳	۲/۲۴	۱/۲۹	۱۷/۰۸	مطالعه‌ی حاضر
رودخانه کرخه	۱-۲	۰,۰۲-۳	-	-	-	-	رومیانی و پاینده (۱۳۹۶)
رودخانه کارنافو بنگلادش	۲۶/۳۶	۶/۴۶	۶۹/۵۶	-	۹/۸۵	-	Mir Mohammad *et al*., 2016
رودخانه نیل-مصر	-	-	-	۷	۱۸	۱۵	Goher *et al*., 2014
رودخانه آبشینه همدان	-	۱,۲۷	-	۳,۰۸	۱۴,۳۶	۶۲,۹۲	یاری‌مقدم و همکاران (۱۳۹۲)
رودخانه بروجرد	۸۶,۱	۳۸	۲	-	۸۴	-	کمره‌ئی و همکاران (۸۸)

برای محاسبه شاخص فلزی و تعیین آلودگی منابع آب ازنظر فلزات سنگین لازم است که غلظت‌های به‌دست‌آمده از فلزات را با بیشترین حد مجاز یک عنصر فلزی در حالت استاندارد مورد مقایسه قرارداد. بر این اساس نتایج به‌دست‌آمده برای شاخص فلزی به‌قرار زیر است: میانگین این شاخص برابر با (۰/۹۵) و حداکثر مقدار آن برابر با (۴/۱۳) و کمترین مقدار آن برابر با (۰/۱۷) بود. با توجه به مقادیر به‌دست‌آمده برای این شاخص، آب رودخانه بهشت‌آباد در تمامی ایستگاه‌ها و همه دوره‌های نمونه‌برداری، قابل آشامیدن می‌باشد جز در ایستگاه ۱ از دوره نمونه‌برداری اردیبهشت‌ماه (۳/۴۲)، ایستگاه ۱ و ۲ از دوره نمونه‌برداری آبان ماه (به ترتیب ۱/۵۵ و ۴/۱۳) و ایستگاه ۴ از دوره نمونه‌برداری بهمن‌ماه ۱۳۹۴ (۱/۳) که آب رودخانه غیرقابل آشامیدن بود.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-08-01]

برای تعیین اثر فلزات سنگین بر سلامت انسان از شاخص آلودگی فلزات سنگین استفاده می‌شود. برای این منظور باید غلظت اندازه‌گیری شده فلزات را با غلظت ایده‌آل و استانداردهای سازمان بهداشت جهانی مقایسه کنیم. مقادیر محاسبه‌شده برای شاخص آلودگی فلزات سنگین در جدول ۳ قابل‌مشاهده می‌باشد. بر اساس طبقه‌بندی موجود برای این شاخص، آب رودخانه بهشت‌آباد در تمامی ایستگاه‌ها و همه دوره‌های نمونه‌برداری فاقد آلودگی به فلزات سنگین می‌باشد. به‌جز در مورد فلز مس که در همه ایستگاه‌ها مقداری بالاتر از ۱۰۰ را به ثبت رسانده و در طبقه آلوده قرار گرفت. لازم به ذکر است که از مقادیر مربوط به فلز کروم در محاسبات این شاخص استفاده نشد.

جدول ۳: آمار توصیفی شاخص آلودگی فلزات سنگین در آب رودخانه بهشت‌آباد (۱۳۹۵-۱۳۹٤).

راهنمای مقدار شاخص آلودگی فلزات سنگین (HPI)	فلز	میانگین	حداکثر	حداقل
HPI<100	آرسنیک	-۲۳/۴۸	-۲۴/۷۵	-۲۰/۵
آب فاقد آلودگی به فلزات سنگین	کادمیوم	-۱۴۵/۵۸	-۱۴۷/۵	-۱۴۵
HPI>100	کروم	-	-	-
آب به فلزات سنگین آلوده	مس	۱۹۹/۷۷	۲۰۰	۱۹۸/۴۸
HPI=100	سرب	-۹/۶۶	-۱۱	-۴/۳۳
آب در آستانه خطر آلودگی به فلزات سنگین	روی	-۱۴۹/۱۴	-۱۴۹/۹۲	-۱۴۶/۳۴

برای محاسبه شاخص ارزیابی فلزات سنگین، مقدار قرائت‌شده برای عناصر با حداکثر غلظت مجاز هر یک از عناصر در آب مورد ارزیابی، مقایسه می‌شود. مقادیر به‌دست‌آمده برای شاخص مذکور در جدول ۴ قابل‌مشاهده است. بر اساس طبقه‌بندی موجود برای این شاخص، آب رودخانه بهشت‌آباد در همه ایستگاه‌ها و در تمام دوره‌های نمونه‌برداری داری آلودگی کم یا بدون آلودگی به فلزات سنگین می‌باشد.

شاخص درجه آلودگی یک شاخص تجمعی می‌باشد که حاصل جمع شاخص فاکتور آلودگی برای عناصر مورد ارزیابی می‌باشد. در این شاخص باید غلظت‌های قرائت‌شده عناصر را با بالاترین حد غلظت مجاز هر عنصر مورد مقایسه و ارزیابی قرار دهیم. مقادیر حاصل از شاخص درجه آلودگی در جدول ۵ آورده شده است. طبق نتایج حاصل از این شاخص، آب رودخانه بهشت‌آباد در تمامی ایستگاه‌ها و همه دوره‌های نمونه‌برداری درجه آلودگی پایین (کم) را نشان می‌دهد (همه اعداد به‌دست‌آمده منفی می‌باشد).

نتایج همبستگی فلزات با استفاده از آزمون اسپیرمن برای کل ایستگاه‌ها در جدول ۶ نشان می‌دهد که در کل ایستگاه‌ها، ارتباط قوی بین تمامی فلزات در سطح ۰/۰۱ وجود دارد (به‌جز در مورد فلز کادمیوم که ارتباط معنی‌داری با هیچ‌یک 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.

جدول ٤: آمار توصیفی شاخص ارزیابی فلزات سنگین در آب رودخانه بهشت‌آباد (۱۳۹۵-۱۳۹٤).

راهنمای مقدار شاخص ارزیابی فلزات سنگین (HEI)	فلز	میانگین	حداکثر	حداقل
کمتر از ۴۰۰ درجه آلودگی کم	آرسنیک	۰/۰۱	۰/۰۳	۰
بین ۴۰۰ تا ۸۰۰ آلودگی متوسط	کادمیوم	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۱
	کروم	۰/۰۴	۰/۱۸	۰
بیشتر از ۸۰۰ آلودگی بالا	مس	۰/۰۰۲	۰/۰۱	۰
	سرب	۰/۸۶	۴/۰۶	۰/۰۶
	روی	۰/۰۰۳	۰/۰۱	۰/۰۰۰۲

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-08-01]

جدول ٥: آمار توصیفی شاخص درجه آلودگی فلزات سنگین در آب رودخانه بهشت‌آباد (۱۳۹۵-۱۳۹٤).

راهنمای مقدار شاخص درجه آلودگی (Cd)	فلز	میانگین	حداکثر	حداقل
کمتر از ۶ درجه آلودگی متوسط	آرسنیک	-۰/۹۸	-۱	-۰/۹۶
بین ۶ تا ۱۲ درجه آلودگی متوسط	کادمیوم	-۰/۹۷	-۰/۹۸	-۰/۹۶
بین ۱۲ تا ۲۴ میزان قابل‌توجهی از آلودگی	کروم	-۰/۹۵	-۱	-۰/۸۱
بیشتر از ۲۴ سطح بالایی از آلودگی	مس	-۰/۹۹	-۱	-۰/۹۸
	سرب	-۰/۱۳	۳/۰۶	-۰/۱
	روی	-۰/۹۹	-۰/۹۹	-۰/۹۸

جدول ٦: نتایج همبستگی بین غلظت فلزات در آب رودخانه بهشت‌آباد (۱۳۹۵-۱۳۹٤).

فلزات	آرسنیک	کادمیوم	کروم	مس	سرب	روی
آرسنیک	۱					
کادمیوم	-۰/۶۱**	۱				
کروم	۰/۵۰**	-۰/۵۴**	۱			
مس	۰/۰۷	۰/۲۹	۰/۰۱	۱		
سرب	۰/۱۸	۰/۲۴	-۰/۰۹	۰/۴۲*	۱	
روی	-۰/۶۰**	۰/۷۲**	-۰/۵۷**	۰/۱۵	۰/۲۸	۱

* همبستگی معنی‌دار در سطح ۰/۰۵.

بحث و نتیجه‌گیری

امروزه اهمیت آب شیرین و تأثیر به سزای آن بر نحوه و میزان پیشرفت جوامع در زمینه‌های صنعتی و کشاورزی بر هیچ‌کس پوشیده نیست و با توجه به جمعیت رو به افزایش جهان به‌خصوص در کشورهایی که با محدودیت منابع آب مواجه‌اند، بررسی و کنترل کمیت و کیفیت منابع آب، می‌تواند این جوامع را در رویارویی با بحران آب که در آینده‌ای نه‌چندان دور گریبان گیر بشر خواهد شد، یاری کند. آنچه در حال حاضر بیش از هر مقوله‌ای توجه بشر را به خود جلب کرده است، مسئله آلودگی محیطزیست به فلزات سنگین است (Qu *et al.*, 2018; Mao *et al.*, 2019; Siddiqui and Pandey; 2019) که به دلیل قابل تجمع بودن و داشتن اثرات فیزیولوژیکی در غلظت پایین بر فعالیت جانداران از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند (سبحان اردکانی، ۱۳۹۵). آمار توصیفی غلظت فلزات سنگین در آب رودخانه بهشت‌آباد در جدول ۱ آورده شده است. بیشترین غلظت فلزات به ترتیب: روی>مس>کروم>سرب>آرسنیک>کادمیوم می‌باشد. نتایج این تحقیق در مقایسه با سایر مطالعات در ایران و جهان مقادیر کمتری را به ثبت رسانده است. مقادیر کروم و مس در برخی ایستگاه‌ها مقدار یکسانی را نشان داد، اما به‌طورکلی مقدار مس بیشتر از کروم بود. بیشترین غلظت‌های ثبت‌شده مربوط به فلز روی می‌باشد که با نتایج مربوط به مطالعه سبحان اردکانی (۱۳۹۵) درزمینهٔ کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت رزن همدان مشابهت دارد. کمترین مقادیر ثبت‌شده مربوط به فلز کادمیوم می‌باشد. در مطالعه‌ای که توسط رجایی و همکاران (۱۳۹۱) در خلیج گرگان انجام شد نیز کمترین مقادیر به‌دست‌آمده مربوط به فلز کادمیوم بود. همچنین مقادیر گزارش‌شده برای فلز سرب

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-08-01]

مقادیر نزدیک به هم و کمتر از بالاترین حد مجاز آن در آب‌های سطحی و زیرزمینی بود. غلظت‌های ارائه‌شده برای فلز آرسنیک نیز مقدار بسیار پایین‌تر از حد مجاز آن برای آب‌های سطحی و زیرزمینی را نشان داد. به‌طورکلی تمامی غلظت‌های ثبت‌شده برای فلزات موردنظر در آب رودخانه بهشت‌آباد در مقایسه با سایر مطالعات مشابه، مقادیر کمتری را نشان داده است. همچنین در مقایسه با بالاترین حد مجاز فلزات در آب‌های سطحی و زیرزمینی که یک استاندارد جهانی است نیز مقادیر کمتری را به ثبت رسانده است، به‌جز در مطالعه‌ای که توسط سبحان اردکانی در دشت رزن همدان (۱۳۹۵) انجام شد، مقدار ثبت‌شده برای فلز کروم از مقدار محاسبه‌شده در مطالعه‌ی حاضر کمتر بود.

در بسیاری از مطالعات از شاخص‌ها بمنظور بهتر به تصویر کشیدن وضعیت آلاینده‌های اکوسیستم‌های آبی استفاده شده است (Qu *et al.*, 2018; Mao *et al.*, 2019; Siddiqui and Pandey, 2019). با استفاده از شاخص‌ها اطلاعات با دقت و سرعت بیشتری به مدیران جهت تصمیم‌گیری منتقل می‌شود.

شاخص‌های MI، HPI، HEL و Cd برای ارزیابی زیست‌محیطی آب رودخانه بهشت‌آباد مورداستفاده قرار گرفتند. شاخص فلزی (MI) که از مقایسه غلظت فلز مورد ارزیابی با بالاترین حد مجاز آن فلز در آب‌های سطحی و زیرزمینی به‌دست‌آمده آمد، نشان داد که آب رودخانه بهشت‌آباد در تمامی ایستگاه‌ها مقداری کمتر از یک را نشان داده و در طبقه قابل آشامیدن قرار گرفت. به‌جز در ایستگاه ۴ از دوره نمونه‌برداری بهمن‌ماه ۱۳۹۴ (۱/۳)، ایستگاه ۱ از دوره نمونه‌برداری اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۵ (۳/۴)، ایستگاه ۱ و ۲ از دوره نمونه‌برداری آبان ماه ۱۳۹۵ (به ترتیب ۱/۵ و ۴/۱)، مقادیر بالاتر از یک را نشان داده و در طبقه‌بندی غیرقابل آشامیدن قرار گرفت. ازآنجایی‌که شاخص فلزی یک شاخص تجمعی است و تحت تأثیر غلظت فلزات به‌صورت جداگانه نیز می‌باشد (نظری و همکاران، ۱۳۹۲) می‌توان علت افزایش این شاخص در ایستگاه‌های مذکور و غیرقابل آشامیدن شدن آن را به افزایش غلظت فلزات روی، کروم و سرب به‌صورت جداگانه در این ایستگاه‌ها نسبت داد. نتایج مشابهی در بررسی شاخص MI توسط نظری و همکاران (۱۳۹۲) در آب‌های تربت‌حیدریه گزارش شد که مقدار محاسبه‌شده بیشتر از یک بود و علت غیرقابل آشامیدن بودن آب را افزایش غلظت فلز کادمیوم بیان کردند.

شاخص HPI که برای تعیین اثر فلزات سنگین بر سلامت انسان مورداستفاده قرار می‌گیرد در تمامی ایستگاه‌ها و تمامی دوره‌های نمونه‌برداری مقدار منفی را نشان داد که بسیار کمتر از آستانه خطر (۱۰۰) بود. به‌جز در مورد فلز مس که در همه دوره‌ها مقدار بالاتر از ۱۰۰ را نشان داده و در طبقه آلوده به فلزات سنگین قرار گرفت (جدول ۳). به‌طورکلی میانگین شاخص آلودگی فلزات سنگین برای آب رودخانه بهشت‌آباد ۱۲۸/۱۵- می‌باشد که بسیار کمتر از آستانه خطر بوده و در طبقه فاقد آلودگی به فلزات سنگین قرار می‌گیرد و بر سلامت انسان تأثیر سوء ندارد. لازم به ذکر است که این شاخص برای فلز کروم قابل‌محاسبه نبود. Prasad و همکاران (۲۰۱۴) با ارزیابی غلظت روی، سرب، کادمیوم، کروم، مس و منگنز در منابع آب ناحیه‌ای از هندوستان نتیجه گرفتند که میانگین مقادیر شاخصHPI در فصول تابستان و زمستان کمتر از محدوده‌ی خطر است. در پژوهشی که توسط Abdollahi و همکاران (۲۰۱۳) باهدف بررسی ارزیابی کیفی آب اروندرود انجام شد، نتیجه گرفته شد که میانگین مقادیر شاخص HPI برای این رودخانه بسیار کمتر از آستانه خطر است. Maria-Alexandra و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی کیفیت منابع آب زیرزمینی شهر مدیاز رومانی با استفاده از عناصر آرسنیک، روی، سرب، کادمیوم، کروم، مس و منگنز پرداختند. نتایج نشان داد میانگین مقادیر شاخص HPI بسیار کمتر از آستانه خطر است. در مطالعه‌ای که باهدف بررسی آلودگی آب رودخانه هراز به آرسنیک، روی، سرب، کادمیوم، مس و منگنز توسط Nasrabadi (۲۰۱۵) انجام یافت، نتایج نشان داد میانگین مقادیر شاخص HPI در نمونه‌ها بسیار کمتر از آستانه خطر است.

بررسی‌های شاخص ارزیابی فلزات سنگین برای آب رودخانه بهشت‌آباد نشان داد که آب این رودخانه در تمامی ایستگاه‌ها و همه دوره‌های نمونه‌برداری بسیار کمتر از آستانه‌ی خطر (۴۰۰) می‌باشد (جدول ۴). در مطالعه‌ای که توسط اردکانی (۱۳۹۵) انجام شد نتایج به‌دست‌آمده برای شاخص HEI نشان از عدم مخاطره ساز بودن آب دشت رزن بر اثر آشامیدن بود. Edet و Offiong (۲۰۰۲) در پژوهشی که باهدف ارزیابی کیفی منابع آب سطحی در جنوب شرق نیجریه انجام یافت، نتیجه گرفتند که میانگین مقادیر شاخص HEI برای فلزات سنگین آرسنیک، روی،

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-08-01]

سرب، کادمیوم، کروم، مس و منگنز بیانگر آلودگی متوسط منابع آب جنوب شرق نیجریه می‌باشد. نتایج این شاخص نشان داد فعالیت صنعتی گسترده‌ای در منطقه مطالعاتی وجود ندارد.

محدویت‌های شاخص‌های منفرد (تک فلزی) در نشان دادن آلودگی‌ها، منجر به توسعه و گسترش شاخص‌های تجمعی (چند فلزی) شده است (Siddiqui and Pandey, 2019). شاخص درجه آلودگی یک شاخص تجمعی است، در بررسی این شاخص غلظت‌های قرائت‌شده با بالاترین حد مجاز هر عنصر موردبررسی قرار گرفت. نتایج به‌دست‌آمده برای شاخص Cd در ارزیابی آب رودخانه بهشت‌آباد نشان داد که در همه ایستگاه‌ها و دوره‌های نمونه‌برداری اعداد به‌دست‌آمده کمتر از صفر (منفی) بوده و بسیار پایین‌تر از آستانه خطر بود و در طبقه آلودگی کم قرار می‌گیرد (جدول ۵). در مطالعه‌ای که توسط سبحان اردکانی (۱۳۹۵) در دشت رزن همدان انجام شد، نتایج نشان داد که بر اساس شاخص Cd، آب دشت رزن در طبقه آلودگی کم قرار می‌گیرد و مقدار محاسبه‌شده پایین‌تر از آستانه خطر بود. در مطالعه‌ای که توسط Nasrabadi (۲۰۱۵) بر روی رودخانه هراز انجام شد، مقدار محاسبه‌شده برای شاخص Cd بسیار پایین‌تر از آستانه خطر بود و آلودگی کم را نشان داد. در بررسی که توسط Edet و Offiong (۲۰۰۲)، در مورد کیفیت آب سطحی جنوب شرق نیجریه انجام یافت، نتایج نشان داد که آب این ناحیه بر اساس شاخص Cd در طبقه آلودگی متوسط قرار می‌گیرد. پژوهشی که توسط Maria-Alexandra و همکاران (۲۰۱۳) بر روی آب‌های زیرزمینی شهر مدیاز رومانی انجام شد نتایج نشان داد که مقدار محاسبه‌شده برای Cd بسیار کمتر از آستانه خطر می‌باشد. در مطالعه Siddiqui و Pandey (۲۰۱۹) نتایج شاخص Cd نشان داد در ۹ منطقه مطالعاتی برخی از مناطق فاقد آلودگی، برخی دارای آلودگی شدید و بقیه مناطق دارای آلودگی متوسط بودند.

آنالیز همبستگی برای تعیین اشتراک رفتار و منشأ فلزات سنگین در نمونه‌های آب انجام شد (جدول ۶). بر اساس جدول ۶ آرسنیک با کروم در سطح ۰/۰۱ همبستگی معنی‌دار مثبت دارد و با کادمیوم و روی همبستگی منفی در سطح ۰/۰۱ دارد که نشان‌دهنده منشأ مشترک آرسنیک با کروم و منشأ متفاوت آرسنیک با کادمیوم و روی می‌باشد. کادمیوم با روی همبستگی مثبت در سطح ۰/۰۱ دارند که نشان از منشأ مشترک یا عوامل کنترل‌کننده مشترک دارد. همچنین کادمیوم با کروم همبستگی منفی در سطح ۰/۰۱ دارد که نشان از عدم وجود ارتباط معنی‌دار بین این دو فلز می‌باشد. کروم با روی در سطح ۰/۰۱ همبستگی منفی را نشان داد و ارتباط معنی‌داری باهم نداشتند. مس با سرب در سطح ۰/۰۵ ارتباط معنی‌دار مثبت دارد که احتمال از منشأ کنترل‌کننده یکسان دارد. در سایر موارد فلزات هیچ ارتباط معنی‌داری باهم ندارند. پژوهش‌های مشابهی درزمینهٔ بررسی همبستگی بین فلزات موجود در آب‌های سطحی و زیرزمینی انجام شد تا رفتار و منشأ فلزات سنگین مشخص شود که ازاین‌بین می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. در پژوهشی که توسط صفاییان و همکاران (۱۳۹۴) در مورد آب زیرزمینی نیشابور انجام شد، همبستگی قوی و مثبت بین فلزات آرسنیک و کبالت ثبت شد که ایشان این ارتباط را مربوط به منشأ مشترک این دو فلز دانستند. در پژوهشی که توسط نظری و همکاران (۱۳۹۲) انجام شد همبستگی مثبت و قوی بین سرب و کروم، آهن و آرسنیک گزارش شد که نشان‌دهنده منشأ مشترک این عناصر بود. همچنین در مطالعه‌ای که توسط سبحان اردکانی (۱۳۹۵) انجام شد، نتایج بررسی همبستگی نشان داد که ارتباط معنی‌داری بین آرسنیک، سرب و کادمیوم وجود ندارد که نشان از عدم وجود منشأ کنترل‌کننده یکسان برای این فلزات می‌باشد. در مطالعه‌ای که توسط Abdel-Satar و همکاران (۲۰۱۶) بر روی رودخانه نیل انجام شد نشان‌دهنده همبستگی معنی‌دار در سطح ۰/۰۱ بین فلزات کادمیوم، سرب، مس و روی بود و نشان از منشأ مشترک این فلزات داشت. ازآنجایی‌که غلظت‌های بالایی برای این فلزات ثبت شد ایشان منشأ این فلزات را انسانی دانستند. همچنین در پژوهشی که توسط Edet و Offiong (۲۰۰۲) بر روی رودخانه‌ای در نیجریه انجام شد، نتایج آنالیزها همبستگی معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ بین فلزات آرسنیک و کروم، مس و آهن، کادمیوم و کروم، نیکل و روی را ثبت کردند، ایشان این همبستگی را نشان از منشأ مشترک این فلزات دانستند و آن را به سنگ‌هایی که در مجاورت آب رودخانه مورد فرسایش و هوازدگی قرار می‌گیرند نسبت دادند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از آنالیز همبستگی فلزات سنگین موجود در آب رودخانه بهشت‌آباد، احتمالاً منشأ برخی از فلزات که باهم ارتباط معنی‌دار داشتند یکسان بوده و ازآنجایی‌که نتایج بررسی شاخص‌ها نشان‌دهنده عدم آلودگی یا آلودگی کم آب رودخانه بهشت‌آباد به فلزات سنگین می‌باشد می‌توان منشأ این فلزات را طبیعی دانست. در مورد ایستگاه‌هایی که مقدار کمی از آلودگی را نشان دادند با توجه به قرارگیری این ایستگاه‌ها در مناطق مسکونی

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-08-01]

حاشیه رودخانه، احتمالاً منشأ این فلزات ورود پسآب کشاورزی، خانگی و پرورش ماهی به آب رودخانه بهشت‌آباد می‌باشد. برای تشخیص دقیق تأثیر این پسآب‌ها بر آب رودخانه بهشت‌آباد نیازمند بررسی‌های دقیق درزمینهٔ رواناب‌ها و زه آب‌های حوزه آبریز بهشت‌آباد می‌باشیم.

سپاسگزاری

این تحقیق با حمایت مالی دانشگاه شهرکرد انجام‌شده است.

منابع

اسماعیلی ساری، ع.، ۱۳۸۱. آلاینده‌ها، بهداشت و استانداردها در محیط‌زیست. تهران، انتشارات نقش مهر، ۷۶۷ ص.

راستمنش، ف.، زراسوندی، ع. و طولابی، م.، ۱۳۹٦. بررسی غنی‌شدگی، سمناکی و خطر بوم‌شناختی فلزات سنگین در رسوبات سطحی رودخانه بهمنشیر آبادان. مجله علمی-پژوهشی علوم و مهندسی آبیاری، ویژه‌نامه بهار، دوره ۴۰، شماره ۱/۱، صفحات ۱۳۷-۱۲۳.

رجایی، ق.، حسن‌پور، م. و مهدی‌نژاد م. ه.، ۱۳۹۱. بررسی غلظت فلزات سنگین روی، سرب، کروم و کادمیوم در آب و رسوب خلیج گرگان و مصب رودخانه گرگان رود. مجله تحقیقات نظام سلامت، سال هشتم، شماره پنجم، صفحات ۷۵۵-۷۴۸.

رومیانی، ل. و پاینده، خ.، ۱۳۹٦. بررسی تجمع فلزات سنگین در آب، رسوبات سطحی و چهار گونه گیاهان آبزی رودخانه کرخه. فصلنامه علمی پژوهشی اکو بیولوژی تالاب، سال نهم، شماره سی‌وسه، صفحات ۸۴-۶۹.

سبحان اردکانی، س.، ۱۳۹۵. ارزیابی آلودگی آرسنیک، روی، سرب، کادمیوم، کروم، مس و منگنز در منابع آب زیرزمینی دشت رزن همدان توسط شاخص‌های کیفیت آب. مجله دانشکده علوم پزشکی نیشابور، سال ۴، شماره ۴، صفحات ۴۵-۳۳.

صفائیان، ا.، مظاهری، ا. و ملکزاده، آ.، ۱۳۹٤. تعیین آلودگی در منابع آب معدن فیروزه نیشابور (شمال غرب شهرستان نیشابور، خراسان رضوی). هفتمین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، ۱۸ و ۱۹ شهریورماه ۱۳۹۴، دانشگاه دامغان، ایران.

عسکری‌ساری.، ا. و ولایت‌زاده.، م. ۱۳۹۳. فلزات سنگین در آبزیان. انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، چاپاول،۳۸۰ ص.

کمره‌ئی، ب.، میرحسینی، س.، جعفری، ع.، عسگری، ق.، بیرجندی، م.، و رستمی، ز.، ۱۳۸۸. اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین (آرسنیک، باریم، کادمیوم، جیوه، سرب، کروم) در منابع آب و رودخانه شهر بروجرد در سال ۱۳۷۸-۱۳۸۸. فصلنامه علمی-پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی لرستان. دوره یازدهم، شماره چهارم، صفحات ۵۱-۴۵.

نظری، ا.، رزم‌آرا م. و قاسمی، ع.، ۱۳۹۲. بررسی شاخص‌های آلودگی منابع آب، در منطقه افیولیتی کته تلخ (شمال غرب تربت‌حیدریه، خراسان رضوی). اولین همایش سراسری محیط‌زیست، انرژی و پدافند زیستی، صفحات ۸-۱.

نوری، ج. و فردوسی، س.، ۱۳۷۱. شیمی محیط‌زیست. انتشارات علمی دانشگاه آزاد اسلامی. ۱۹۱ ص.

یاری‌مقدم، ن.، چراغی، م.، حسنی، ا.، و جاوید، ا.، ۱۳۹۲. بررسی میزان فلزات سنگین (روی، مس، سرب و کادمیوم) در رودخانه آبشینه همدان. مجله بهداشت و توسعه، سال دوم، شماره چهارم، صفحات ۳۰۴-۲۹۶.

Abdel-Satar, A. M., Mohamed, H. A. and Mohamed Goher, E., 2016. Indices of water quality and metal pollution of Nile River, Egypt. Egyptian Journal of Aquatic Research, 25: 1-9.

Abdollahi, S., Raoufi, Z., Faghiri, I., Savari, A., Nikpour, Y. and Mansouri, A., 2013. Contamination levels and spatial distributions of heavy metals and PAHs in surface sediment of Imam Khomeini Port, Persian Gulf, Iran. Marine Pollution Bulletin, 71: 336-345.

APHA., 1992. Standard method for examination of water and wastewater, 18th edn. American Public Health Association, Washington

Ameh, E. G. and Akpah, F. A., 2011. Heavy metal pollution indexing and multivariate statistical evaluation of hydrogeochemistry of River PovPov in Itakpe Iron-Ore mining area, Kogi State, Nigeria. Advances in Applied Science Research, 2: 33-46.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-08-01]

Ananth, S., Mathivanan, V., Aravinth, S. and Sangeetha, V., 2014. Impact of Arsenic metal toxicant on biochemical changes in the grass carp, *Ctenopharyngodonidella*. International Journal of Modern Research and Reviews, 2 (2): 74-78.

Asha, P. S., Krishnakumar, P. K., Kaladharan, P., Prema, D., Diwakar, K. and Valsalaand, K. K. G., 2010. Heavy metal concentration in sea water, sediment and bivalves off Tuticorin. Journal Marine Biology Association, 52(1): 48-54.

Banu, Z., Chowdhury, M. S. A., Hossain, M. D. and 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.

Edet, A. E. and Offiong, O. E., 2002. Evaluation of water quality pollution indices for heavy metal contamination monitoriong. A study case from Akpabuyo-Odukpani area, Lower Cross River Basin (southeastem Nigeria), Geo Journal, 57: 295-304.

Espinoza-Quinones, F. R., Zacarkim, C. E., Palacio, S. M., Obregón, C. L., Zenatti, D. C. and Galante, R. M., 2005. Removal of heavy metal from polluted river water using aquatic macrophytes Salvinia sp. Brazilian Journal of Physics, 35: 744-746.

Goher, M. E., Farhat H. I., Abdo, M. H. and Salem, G., 2014. Metal pollution assessment in the surface sediment of Lake Nasser. Egypt. Egyptian Journal of Aquatic Research, 40: 213-224.

Gurumoorthi, K. and Venkatachalapathy, R., 2016. Spatial and seasonal trend of trace metals and ecological risk assessment along Kanya kumari coastal sediments, southern India. Pollution, 2(3): 269-87.

Jain, C. K., Malik, D. S. and Yadar, R., 2007. Metal fractionation study on bed sediments of Lake Nainital, Uttaranchal, India. Environmental Monitoring and Assessment. 130: 129-139.

Kang, M., Tian, Y., Zhang, H. and Lan, Q., 2020. Distribution, Ecological Risk Assessment, and Source Identification of Heavy Metals in River Sediments from Hai River and Its Tributaries, Tianjin, China. Environmental Science and Pollution Research, 231: 38.

Maanan, M., Saddik, M., Maanan, M., Chaibi, M., Assobhei, O. and Zourarah, B., 2015. Environmental and ecological risk assessment of heavy metals in sediments of Nador lagoon, Morocco. Ecological Indicators, 48: 616-26.

Mao, G., Zhao, Y., Zhang, F. Liu, J. and Huang, X., 2019. Spatiotemporal variability of heavy metals and identification of potential source tracers in the surface water of the Lhasa River basin. Environmental Science and Pollution Research, 26: 7442–7452.

Maria-Alexandra, H., Roman, C., Ristoiu, D., Popita, G. and Tanaselia, C., 2013. Assessing of water quality pollution Indices for hevay metal contamination. A study case from Medias City groundwaters. *Agricultural Science* and *Practice*, 87: 25-31.

Mir Mohammad, A., Lokman, Ali, M., Saiful Islam, M.D. and Zillur Rahman, M., 2016. Preliminary assessment of heavy metals in water and sediment of Karnaphuli River, Bangladesh. Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management, 5: 27–35.

Nasrabadi, T., 2015. An Index Approach to Metallic Pollution in River Waters. International Journal of Environmental Research, 9(1): 385-394.

Prasad, B. and Bose, J. M., 2001. Evaluation of heavy metal pollution indexfor surface and spring water near a limestone mining area of the lower Himalayas. Environmental Geology, 41:183–188.

Prasad, B., Kumari, P., Bano, S. and Kumari, S., 2014. **Ground water quality evaluation near mining area and development of heavy metal pollution index. Applied Water Science, 4: 7-11.**

Qu, L., Huang, H., Xia, F., Liu, Y., Dahlgren, R. A., Zhang, M. and Mei, K., 2018. Risk analysis of heavy metal concentration in surface waters across the rural-urban interface of the Wen-Rui Tang River, China. Environmental pollution, 237: 639-649.

Shang, Z., Ren, J., Tao, L. and Wang, X., 2015. Assessment of heavy metals in surface sediments from Gansu section of Yellow River, China. Environmental Monitoring and Assessment, 187(3): 79.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-08-01]

Siddiqui, E. and Pandey, J., 2019. Assessment of heavy metal pollution in water and surface sediment and evaluation of ecological risks associated with sediment contamination in the Ganga River: a basin-scale study. Environmental Science and Pollution Research, *26: 10926–10940.*

Tamasi, G. and Cini, R., 2004. Heavy metals in drinking waters from Mount Amiata (Tuscany, Italy). Possible risks from arsenic for public health in the Province of Siena, Science of the Total Environment, 327: 41–51.

Venkatramanan, S., Ramkumar, T., Anithamary, I. and Jonathan, M. P., 2013. Speciation of selected heavy metals geochemistry in surface sediments from Tirumalairajan river estuary, east coast of India. Environmental monitoring and assessment, 185(8): 6563-78

Wang, Y., Chen, P., Cui, R., Si, W., Zhang, Y. and Ji, W., 2010. Heavy metal concentrations in water, sediment, and tissues of two fish species (*Triplohysa pappenheimi*, *Gobio hwanghensis*) from the Lanzhou section of the Yellow River, China. Environmental Monitoring and Assessment, 165 (1-4): 97-102.

Yang, X., Duan, J., Wang, L., Li, W., Guan, J., Beecham, S. and Mulcahy, D., 2015. Heavy metal pollution and health risk assessment in the Wei River in China. Environmental Monitoring and Assessment, 187(3): 111.

Yipel, M. and Yarsan, E., 2014. A risk assessment of heavy metal concentrations in fish and an invertebrate from the Gulf of Antalya. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 93(5): 542-8.

Yeh, G., Hoang, H., Lin, C., Bui X.T., Tran, H. T., Shern, C. C. and Vu, C. T., 2020. Assessment of heavy metal contamination and adverse biological effects of an industrially affected river. Environmental Science and Pollution Research, https://doi.org/10.1007/s11356-020-07737-0

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-08-01]