



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

مقاله پژوهشی

## ارزیابی کیفیت بوم‌شناسی تالاب انزلی از نظر فلزات سنگین آب با استفاده از شاخص آلودگی فلزات سنگین (HPI)

فائزه جعفری، نسرین حسن زاده\*

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

### اطلاعات مقاله:

### چکیده

**زمینه و هدف:** تحقیقات نشان داده‌اند که ارزیابی سمیت و خطر بوم‌شناسی انواع آلاینده‌ها از جمله فلزات سنگین با استفاده از شاخص‌های اختصاصی، در ارزیابی بوم‌شناسی بوم‌سازگان‌های آبی ضروری است. بر این اساس، مطالعه حاضر با هدف ارزیابی اثر بوم‌شناسی حضور فلزات سنگین (Pb, Zn, Cu, Cd) در آب تالاب انزلی با استفاده از شاخص اختصاصی آلودگی فلزات سنگین (HPI) انجام گرفت.

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۲/۰۱  
تاریخ ویرایش: ۹۸/۰۲/۲۴  
تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۲/۲۸  
تاریخ انتشار: ۹۸/۰۶/۱۳

**روش بررسی:** ۴۳ نمونه آب از قسمت‌های شرقی، غربی و مرکزی تالاب انزلی برداشت شد و پس از انتقال به آزمایشگاه، مراحل آماده سازی با روش ASTM method صورت گرفت و غلظت عناصر نیز با دستگاه طیف سنجی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-AES) تعیین شد. با توجه به غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های آب، شاخص (HPI) محاسبه شد. نتایج شاخص HPI در سه طبقه کم خطر ( $> 15$ )، متوسط ( $15-30$ )، و پرخطر ( $< 30$ ) طبقه‌بندی شد.

**واژگان کلیدی:** فلزات سنگین، ارزیابی خطر بوم‌شناسی، شاخص آلودگی فلزات سنگین، تالاب انزلی

**یافته‌ها:** ارزش عددی شاخص HPI، در محدوده  $3/23-59/3$  با میانگین  $27/97$  تعیین شد که این میانگین نشان‌دهنده سطح آلودگی متوسط فلزات سنگین در تالاب انزلی است. شاخص HPI در قسمت شرقی تالاب انزلی و منطقه پیربازار، آلودگی شدید و خطر بوم‌شناسی فلزات سنگین و در منطقه آب‌کنار وضعیت مطلوب بوم‌شناسی را نشان داد.

**نتیجه‌گیری:** اگر چه مقدار میانگین HPI در کل تالاب انزلی در حد متوسط است اما در برخی ایستگاه‌ها، خصوصاً در شرق تالاب، مقدار HPI وقوع خطرات بوم‌شناسی در تالاب، در صورت عدم کنترل ورود آلاینده‌ها را در آینده نشان می‌دهد. بنابراین نظارت بر منابع ورود این آلاینده‌ها و کنترل خطرات بوم‌شناسی آنها ضروری است.

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:

nassrinhassanzadeh@gmail.com

## مقدمه

روند جهانی افزایش آلودگی ناشی از عوامل تنش‌زای طبیعی و انسانی، ضرورت به‌کارگیری راهبردهای کنترل و پایش آلاینده‌ها در محیط‌های آبی را اجتناب‌ناپذیر ساخته است (۱). امروزه آلودگی فلزات سنگین (Heavy metals) به دلیل سمیت، پایداری، توزیع گسترده و تجزیه‌ناپذیری زیستی در زنجیره غذایی، به‌عنوان عوامل تهدیدکننده بوم‌سازگان‌های آبی، از اهمیت مطالعاتی زیادی برخوردار است (۲). فلزات سنگین از طریق منابع نقطه‌ای مانند فاضلاب‌های خانگی، شهری و صنعتی و نیز منابع گسترده مانند رواناب‌های سطحی، فرسایش و رسوب اتمسفری به بوم‌سازگان‌های آبی وارد می‌شوند (۳-۶). حضور فلزات سنگین در آب‌های زیرزمینی، آب‌های سطحی و فاضلاب‌های صنعتی به دلیل اثرات منفی بر سلامت از جمله سرطان، نگرانی‌های بسیاری را ایجاد کرده است (۷-۱۰). امروزه نظارت بر حضور فلزات سنگین در بوم‌سازگان‌های آبی از نقطه نظر سلامت بوم‌شناسی در بلندمدت بسیار با اهمیت است (۱۱). تعیین غلظت کلی فلزات سنگین در بخش‌های مختلف محیط زیست، نتایج قابل اعتمادی از خطرات بوم‌شناسی ناشی از این آلاینده‌ها در بلندمدت را نشان نمی‌دهد. لذا جدیدترین مطالعات، با استفاده از داده‌های کمی غلظت این آلاینده‌ها، اقدام به ارائه شاخص‌های کیفی در بخش‌های مختلف محیط‌زیست برای برآورد سمیت و خطرات بوم‌شناسی این آلاینده‌ها نموده‌اند (۱۱-۱۴). Horton (۱۹۶۵) شاخص کیفیت را به‌عنوان یک کیفیت کلی تعریف می‌کند که منعکس‌کننده تاثیر مرکب تعدادی از ویژگی‌های کیفیت فردی است. تعدادی از شاخص‌های کیفیت برای تخمین ویژگی‌های آب سطحی به وسیله پارامترهای کیفیت آب توسعه یافته است. اخیراً شاخص اختصاصی آلودگی فلزات سنگین ((Heavy metal pollution index (HPI)) به منظور ارزیابی آلودگی کلی فلزات سنگین در محیط‌های آبی توسعه یافته است (۱۳). HPI ابزاری قدرتمند به منظور رتبه‌بندی تاثیر ادغام شده فلزات سنگین بر کیفیت کلی آب است و رویکردی از تناسب آب برای مصرف انسان است. در واقع

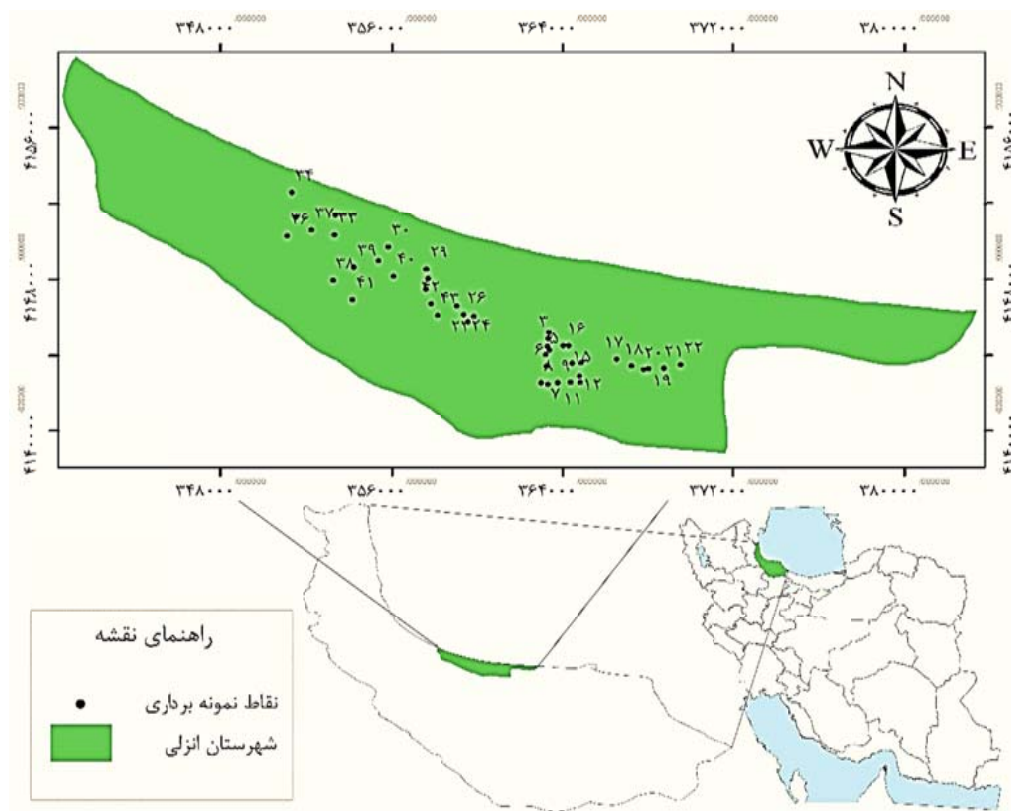
HPI نشان‌دهنده کیفیت کلی آب با توجه به مقادیر فلزات سنگین است (۱۴-۱۰). این شاخص براساس روش میانگین کیفیت محاسباتی وزن‌دار محاسبه می‌شود و دارای دو مرحله اصلی است: در مرحله اول با ایجاد یک مقیاس درجه‌بندی برای هر پارامتر انتخاب شده، وزن فلز سنگین انتخاب شده، محاسبه می‌شود و در مرحله دوم پارامترهای آلودگی که شاخص باید براساس آن محاسبه شود، تعیین می‌شود (۱۱). ۱۳، ۱۴). در سال‌های اخیر توجه بسیاری به ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در بوم‌سازگان‌های آبی با استفاده از شاخص HPI شده است. Nasrabadi (۲۰۱۵) به منظور ارزیابی خطر فلزات سنگین در رودخانه هراز، شاخص آلودگی ( $C_p$ ) و شاخص HPI را در آب رودخانه بررسی کرد. نتایج مطالعات او نشان داد مقادیر این دو شاخص در آب رودخانه کمتر از مقادیر بحرانی است (۱۵). Sobhanardakani و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعات خود بر روی بررسی آلودگی منابع آب زیرزمینی دشت قلعه شاهین به عناصر سرب و کادمیوم با استفاده از شاخص HPI، به این نتیجه دست یافتند که منطقه مورد مطالعه از نظر آلودگی به سرب و کادمیوم، آلوده نیست (۱۶). مطالعات Nejatijahromi و همکاران (۲۰۱۸) در رابطه با ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی آبخوان ورامین از نظر فلزات سنگین با استفاده از شاخص HPI نشان داد، آلودگی آبخوان ورامین از نظر فلزات سنگین خطرناک نیست اما در صورت تداوم منشا آلودگی در بلندمدت احتمال رسیدن آلودگی به مرز خطر وجود دارد (۱۷). در خارج از کشور نیز مطالعات Balakrishnan و همکار (۲۰۱۶) با استفاده از شاخص HPI در آب‌های زیرزمینی اطراف نواحی ساحلی خلیج مانار و تنگه پالک نشان داد میانگین مقادیر HPI بالاتر از مقدار شاخص آلودگی بحرانی ۱۰۰ (Critical pollution index value) است (۱۲). Cengiz و همکاران (۲۰۱۷) غلظت فلزات سنگین را در نمونه‌های آب رودخانه Bogacayi در ترکیه بررسی کردند. نتایج، مقادیر HPI محاسبه شده برای رودخانه Bogacayi را کمتر از حد شاخص بحرانی نشان داد (۱۰). در میان بوم‌سازگان‌های آبی در ایران، تالاب بین‌المللی انزلی

## مواد و روش‌ها

### نمونه برداری از منطقه مورد مطالعه

انتخاب ایستگاه‌های نمونه‌برداری در تالاب انزلی با مساحت  $193 \text{ km}^2$  براساس حضور منابع آلاینده، توزیع آنها، پیوستن رودخانه و ورودی‌ها به تالاب، نزدیکی به مناطق بندرگاهی و حمل و نقل، نزدیکی به اجتماعات شهرنشینی، امکانات و سهولت دسترسی (به بخش‌هایی از تالاب که فاقد گیاهان متراکم از جمله آزولا باشد) صورت گرفت. نمونه برداری در پاییز ۱۳۹۵ از ۳ منطقه شرقی، مرکزی و غرب تالاب انزلی در ۴۳ ایستگاه انجام شد (شکل ۱). جهت اطمینان از همگن بودن نمونه‌های آب در هر محل نمونه برداری و در نظر گرفتن وسعت هر ایستگاه، هر ایستگاه خود به ۳ زیرمجموعه با مساحت هر کدام  $50 \text{ m}^2$  تقسیم شد. در هر ایستگاه تعداد ۳ نمونه آب از ۳ زیرمجموعه (از ستون آب) جمع‌آوری شد. همچنین برخی از ویژگی‌های فیزیکی آب از جمله دما، pH و هدایت الکتریکی نیز بر طبق روش استاندارد

یکی از مهمترین تالاب‌هایی است که در لیست کنوانسیون رامسر به ثبت رسیده است (۱۸). تالاب انزلی در جنوب غربی دریای خزر با مساحتی حدود  $193 \text{ km}^2$  واقع شده است. حوضه آبریز تالاب، مساحتی حدود  $3610 \text{ km}^2$  را پوشش می‌دهد و از شمال به دریای خزر، از جنوب به رشته کوه البرز، از غرب به کوه‌های تالیش و از شرق به دلتای سفیدرود محدود شده است. این تالاب به دلیل ماهیت فیزیکی و زیستی منحصر به فرد از اهمیت بوم‌شناسی ویژه‌ای برخوردار است (۱۹). در سال‌های اخیر، افزایش جمعیت ناشی از شهرنشینی، فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و گردشگری، تغییرات کاربری اطراف تالاب و وقوع پدیده یوتریفیکاسیون این بوم‌سازه ارزشمند را به مرز نابودی رسانده است (۱۸، ۲۰). با توجه به احتمال ورود فلزات سنگین به این تالاب از طریق منابع ذکر شده، این مطالعه در پاییز ۱۳۹۵ به ارزیابی بوم‌شناسی تالاب با استفاده از شاخص HPI، برای تعیین خطرات بوم‌شناسی آن در آینده پرداخته است.



شکل ۱- نقشه ایستگاه‌های مورد مطالعه در تالاب انزلی در استان گیلان

## شاخص ارزیابی آلودگی

HPI یک روش رتبه‌بندی موثر برای ارزیابی کیفیت آب براساس غلظت فلزات سنگین است (۱۰). به منظور محاسبه شاخص آلودگی از معادله ۱ و ۲ استفاده شد.

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

$$Q_i = \sum_{i=1}^n \frac{\{M_i(-)I_i\}}{(S_i - I_i)} \times 100 \quad (2)$$

در محاسبه HPI، واحد وزن ( $W_i$ ) به‌عنوان یک مقدار معکوس با استاندارد توصیه شده ( $S_i$ ) در نظر گرفته می‌شود،  $n$  تعداد عناصر مورد ارزیابی،  $Q_i$  زیر شاخص عنصر مورد ارزیابی،  $M_i$  غلظت عنصر مورد ارزیابی،  $I_i$  مقدار مطلوب و ایده‌آل عنصر مورد ارزیابی و  $S_i$  ارزش استاندارد عنصر مورد ارزیابی است. مقادیر  $S_i$  و  $I_i$  براساس رهنمود سازمان بهداشت جهانی (WHO) برای عناصر مورد ارزیابی از مطالعات پیشین استخراج شده است (۱۱، ۱۵، ۲۳). نتایج HPI به سه طبقه کم یا بی‌خطر ( $> 15$ )، متوسط (۱۵-۳۰) و زیاد یا پرخطر ( $< 30$ ) طبقه‌بندی شد.

## یافته‌ها

جدول ۱ ویژگی‌های کیفی نمونه‌های آب را نشان می‌دهد. در نمودار ۱ غلظت فلزات سنگین مختلف در ایستگاه‌های مختلف تالاب انزلی ارائه شده است. نمودار ۲ نمودار جعبه‌ای مربوط به غلظت عناصر مختلف موجود در آب تالاب انزلی را نشان می‌دهد.

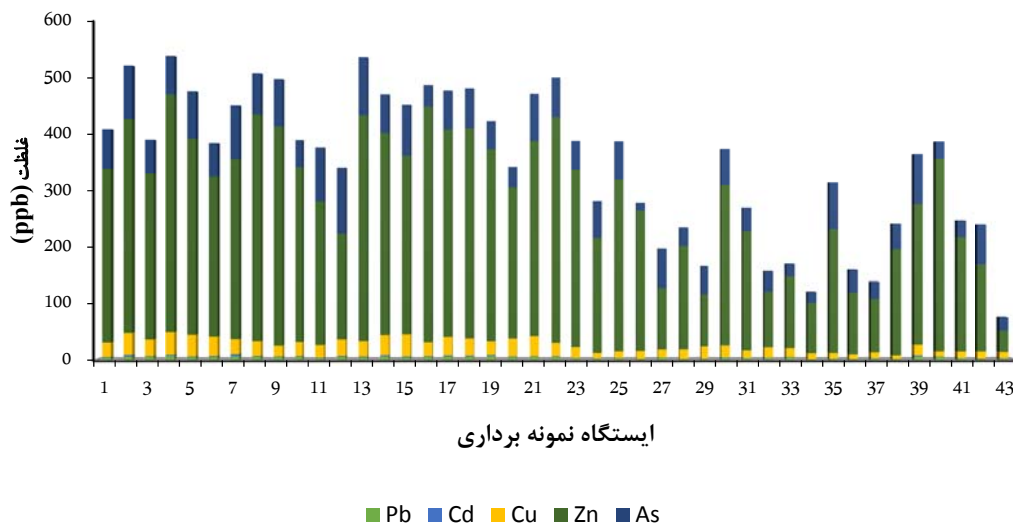
متد سنجش شد. نمونه‌ها پس از قرار گرفتن در بطری‌های پلی اتیلنی ۲ لیتری، طبق روش ASTM method، در داخل یخ به آزمایشگاه منتقل شدند (۲۱) و با استفاده از اسید نیتریک غلیظ (فوق خالص) در pH کمتر از ۲ اسیدی شدند (۲۲). ۱۰۰ mL نمونه آب با ۵ mL اسید کلریدریک فوق خالص ترکیب شد و نمونه‌ها روی هیتر حرارت داده شدند تا به حجم مناسب رسیدند. نمونه‌ها پس از سرد شدن با کاغذ صافی اسید شویی شده و صاف گردیدند. در نهایت نمونه‌ها به حجم نهایی ۱۰۰ mL رسانده شدند. تعیین غلظت عناصر سرب، روی، آرسنیک، کادمیوم و مس با استفاده از دستگاه طیف‌سنجی پلاسمای جفت‌شده القایی (ICP-AES) انجام شد. در این مطالعه حد تشخیص دستگاه (LOD) برای عناصر سرب، روی، آرسنیک، کادمیوم و مس به ترتیب ۰/۰۰۸، ۰/۰۲۱، ۰/۱۰۳، ۰/۰۱ و ۰/۰۵ ppb به‌دست آمد.

## محاسبات آماری

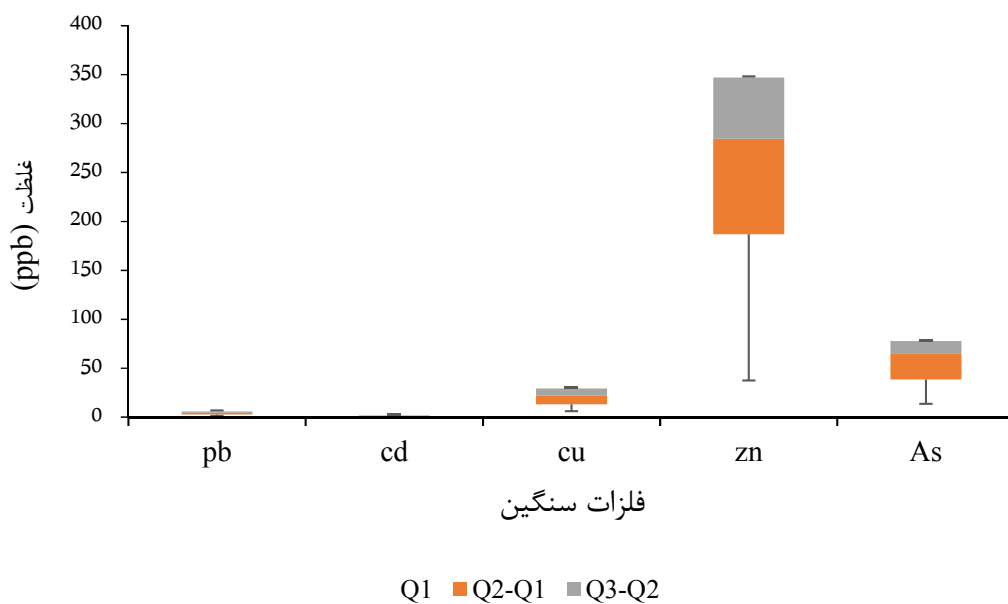
محاسبات آماری با استفاده از نرم افزار IBM SPSS Statistics 22 و Excel انجام شد. برای تعیین نرمال بودن داده‌ها از آزمون شاپیرو-ویلک (Shapiro-Wilk) استفاده شد. با توجه به غیرنرمال بودن داده‌ها، از آزمون همبستگی اسپیرمن (Spearman) به منظور توصیف رابطه بین متغیرهای مورد مطالعه استفاده شد. جهت بررسی وجود تفاوت معنی‌دار بین متغیرهای مورد مطالعه از آزمون کروسکال والیس (Kruskal-Wallis) استفاده شد.

جدول ۱- پارامترهای توصیفی کیفیت آب در ایستگاه‌های تالاب انزلی

متغیر	هدایت الکتریکی ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	دما ( $^{\circ}\text{C}$ )	قلیابیت $\text{CaCO}_3$ (mg/L)
میانگین	۵۴۲	۱۷/۲۴	۷/۹۱
انحراف معیار	۲۱/۱۹	۲/۰۶	۰/۲۸
کمینه	۳۴۵	۱۱/۵۸	۷/۲۶
بیشینه	۸۰۳	۲۰/۱۴	۸/۳۰



نمودار ۱- غلظت فلزات سنگین (سرب، روی، آرسنیک، کادمیوم و مس) در آب تالاب انزلی



نمودار ۲- نمودار جعبه ای مربوط به غلظت عناصر مختلف موجود در آب تالاب انزلی

انزلی برابر با ۲۷/۹۷ و در محدوده ۳/۵۹-۲۳/۳ به دست آمد. نمودار ۳ نتایج محاسبه شاخص HPI در ۴۳ ایستگاه تالاب انزلی را نشان می‌دهد. جدول راهنمای طبقه‌بندی کیفیت آب براساس شاخص HPI در جدول ۴ ارائه شده است.

مقایسه میانگین فلزات سنگین در نمونه‌های آب در مطالعات سایر محققان با مطالعه حاضر در جدول ۲ ارائه شده است. جدول ۳ محاسبات و میانگین شاخص HPI را در نمونه‌های آب تالاب نشان می‌دهد. میانگین شاخص آلودگی فلزات سنگین برای فلزات مورد مطالعه در نمونه‌های آب ۴۳ ایستگاه تالاب

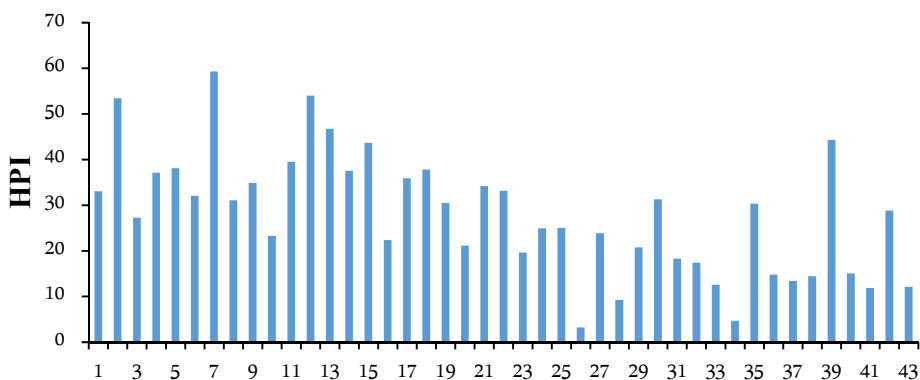
جدول ۲- مقایسه فلزات سنگین در آب تالاب انزلی با سایر مطالعات مشابه

منبع	عنصر					رودخانه
	روی	سرب	کادمیوم	مس	آرسنیک	
(۱۵)	—	۴/۴	۲/۶۵	۱۳/۲۵	۵۵/۳۵	هراز / ایران
(۲۴)	—	۱/۷۷	۰/۱۴	۸/۲۴	—	آدرا / لهستان
(۲۵)	—	۱۷/۹	۲/۶	۲۷	۵/۵	سیرسا / هند
(۲۶)	—	۲۳	۴/۸	۱۰۵	—	سابارنارکه / هند
(۲۷)	—	۹/۶۶	۰/۱۳	۱۴/۳	۳/۴	برهمانی / هند
(۲۸)	—	۰/۱۰	۲/۱۴	۲/۴۸	—	فرات / عراق
(۲۷)	—	۲/۶۸	۰/۰۹	۵/۹	۱	ماهاندی / هند
(۱۰)	—	۰/۴۸	۰/۲۳	۰/۹۲	۰/۴۳	بوگاسیا / ترکیه
مطالعه حاضر	۲۶۳/۸۸	۴/۳۹	۱/۲۵	۲۱/۹۵	۶۰/۴۴	تالاب انزلی / ایران

جدول ۳- محاسبات شاخص HPI در نمونه‌های آب تالاب انزلی

نسبت وزنی × نرخ کیفی	نرخ کیفی (Q <sub>i</sub> )	نسبت وزنی (W <sub>i</sub> )	مقدار ایده آل (I <sub>i</sub> )	مقدار استاندارد (S <sub>i</sub> )	میانگین (M <sub>i</sub> )	پارامتر عنصر
۰/۱۸	۸/۷۹	۰/۰۲	-	۵۰	۴/۳۹	سرب
۱/۲۵	۱۲/۵۳	۰/۱	-	۱۰	۱/۲۵	کادمیوم
-۰/۰۰۳۰	-۲/۹۵	۰/۰۰۱	۵۰	۱۰۰۰	۲۱/۹۵	مس
۰/۰۰۲۸	-۴۷/۳۶	۰/۰۰۰۰۶	۵۰۰۰	۱۵۰۰۰	۲۶۳/۸۸	روی
۲/۵۲	۱۲۶/۱۲	۰/۰۲	۱۰	۵۰	۶۰/۴۵	آرسنیک

$$\sum W_i = 0.14106, \sum W_i \times Q_i = 3/94, HPI = 27/97$$



ایستگاه نمونه برداری

نمودار ۳- مقادیر شاخص HPI در ایستگاه‌های مختلف تالاب انزلی

جدول ۴- طبقه بندی استاندارد کیفیت بوم‌شناسی آب براساس محاسبه شاخص HPI

شاخص	مقادیر عددی	ریسک بوم‌شناسی	وضعیت ایستگاه‌ها
	۱۵ >	کم	۲۶, ۲۸, ۳۳, ۳۴, ۳۶, ۳۷, ۳۸, ۴۱, ۴۳
HPI	۱۵-۳۰	متوسط	۳, ۱۰, ۱۶, ۲۰, ۲۳, ۲۴, ۲۵, ۲۷, ۲۹, ۳۱, ۳۲, ۴۰, ۴۲
	۳۰ <	زیاد	۱, ۲, ۴, ۵, ۶, ۷, ۸, ۹, ۱۱, ۱۲, ۱۳, ۱۴, ۱۵, ۱۷, ۱۸, ۱۹, ۲۱, ۲۲, ۳۰, ۳۵, ۳۹

## بحث

در بازدید میدانی نیز آلودگی در این ناحیه و ورود فاضلاب‌ها به صورت مستقیم مشاهده شد. جزیره بهشتی در تالاب انزلی نیز از جمله مناطق پر تردد کشتیرانی و عبوری در تالاب است. هم‌جواری تالاب انزلی با شهر بندر انزلی به‌عنوان شهری با تراکم جمعیتی بالا و تقریباً صنعتی، با فعالیت‌های کشاورزی و بندرگاهی، پتانسیل بالقوه‌ای برای تولید و پراکنش وسیع آلاینده‌ها و ورود آن به تالاب انزلی فراهم نموده است (۱۹). همچنین بررسی پراکنش فلزات سنگین در تالاب انزلی نشان می‌دهد که در نواحی غربی (منطقه آب‌کنار) تالاب انزلی که نسبت به مناطق شرقی، فاصله بیشتری با اجتماعات انسانی و صنعتی دارد مقادیر تعیین شده عناصر مختلف بسیار کمتر از نواحی مرکزی و شرقی است. همبستگی بین فلزات می‌تواند اطلاعاتی را در مورد منشا فلزات و وقوع فرایندهای مشابه ظهور آن فلزات فراهم آورد (۱۷). نتایج حاصل از تحلیل آزمون همبستگی اسپیرمن نمونه‌های آب نشان داد بین غلظت تمامی عناصر مورد مطالعه همبستگی مثبت در سطح ۰/۰۱ ( $p > 0/01$ ) برقرار است که نشان‌دهنده منابع مشترک و رفتار یکسان فلزات در طول حرکت و ورود به تالاب است. در تالاب انزلی حدود ۱۱ رود اصلی و ۳۰ رود فرعی پس از آبیاری مزارع و شالیزارها به همراه جریان‌های سطحی حوزه آبریزی به وسعت  $3600 \text{ km}^2$  به این تالاب می‌ریزند که اکثر این رودها تمرکز زیادی در نواحی شرقی و مرکزی دارند (۲۹). در سایر مطالعات مربوط به بررسی عناصر سمی در بوم‌سازگان‌های آبی، تاثیر فعالیت‌های انسانی و رابطه مستقیم حضور اجتماعات انسانی و تبعات آن اعم از دفن زباله، ورود پساب‌های صنعتی و شهری و

براساس نتایج حاصل از آنالیز آماری، بین غلظت ۵ فلز سنگین در ایستگاه‌های مختلف تالاب انزلی تفاوت معنی‌دار آماری مشاهده شد ( $p < 0/05$ ). علت تفاوت در غلظت آلاینده‌های مختلف در محیط‌های آبی متاثر از عوامل زیادی است که مهمترین آنها فاصله از منابع آلاینده است (۱۹). در تالاب انزلی آلاینده‌های مختلف از طریق رودخانه‌های طبیعی، فاضلاب‌های شهری و صنعتی مختلف و پساب‌های شهری بندر انزلی در نقاط مختلف وارد این تالاب می‌شود. از جمله سایر عوامل موثر بر تفاوت مقادیر آلاینده‌ها می‌توان به تاثیر جریانات آبی، شوری، مواد محلول در آب، دما، اختلاط و پخش‌شدگی فیزیکی اشاره کرد (۲۰). مطابق جدول ۲ بیشترین و کمترین غلظت فلزات سنگین به ترتیب مربوط به روی و کادمیوم است. بیشترین غلظت فلزات سنگین در قسمت شرقی تالاب انزلی و نواحی نزدیک به شهر بندر انزلی و محل ورودی‌های مختلف به تالاب مشاهده شد. ترتیب غلظت عناصر در آب تالاب انزلی به صورت روی < آرسنیک < مس < سرب < کادمیوم است. ایستگاه‌های منطقه پیربازار دارای بیشترین غلظت از عناصر مورد بررسی بودند. پیربازار محل ورود فاضلاب‌های شهری و صنعتی بسیار زیادی به این بخش از تالاب است. سایر مطالعات نیز حضور مقادیر بالای انواع مختلفی از آلاینده‌ها را در این ناحیه از تالاب نشان داده‌اند (۱۸، ۲۰). همچنین در ایستگاه شماره ۲ که در منطقه نهنگ روگای بزرگ است نیز مقادیر زیادی از عناصر مورد بررسی وجود دارد. نهنگ روگای یکی از مهمترین کانال‌های ورود رواناب و پساب‌های اطراف تالاب به داخل تالاب است که

فعالیت‌های کشاورزی همبستگی زیادی با غلظت عناصر سمی داشته است (۲، ۷). فاضلاب شهر انزلی، رشت و صومعه سرا به‌صورت نیمه تصفیه مستقیماً وارد تالاب می‌شود. همچنین دفن زباله‌های شهری و ورود پساب‌های صنعتی و رواناب‌های کشاورزی در اطراف تالاب نیز نقش بسیار مهمی در پراکنش فلزات سنگین در تالاب دارد. با توجه به نتایج حاصل از سایر مطالعات، وجود فلزات سنگین مختلف در نواحی ساحلی محیط‌های آبی به دلیل تخلیه پساب‌های شهری تصفیه نشده و عدم وجود تسهیلات تصفیه فاضلاب است (۸). غلظت فلزات سنگین در آب به برخی از ویژگی‌های فیزیکی - شیمیایی آب از جمله کلیاییت، کل جامدات محلول (Total Dissolved Solids) و هدایت الکتریکی بستگی دارد. نتایج این مطالعه نیز همبستگی مثبت و معنی‌دار غلظت فلزات سنگین در آب و هدایت الکتریکی را نشان داد. ارزش عددی هدایت الکتریکی، سطحی از توانایی آب در هدایت جریان الکتریکی است که به مقدار عناصر محلول در آب وابسته است. به دلیل قابلیت اتصال و واکنش فلزات سنگین به ماده آلی و سایر عناصر محلول در آب، افزایش فلزات سنگین در آب، افزایش هدایت الکتریکی را در پی خواهد داشت (۹، ۱۰).

در این مطالعه میانگین مقدار عددی شاخص HPI ۲۷/۹۷ محاسبه شد. شاخص HPI در واقع یک تکنیک رتبه‌بندی است که تاثیر ترکیب فلزات سنگین مختلف را بر کیفیت آب تعیین می‌کند. همان‌طور که نتایج محاسبه شاخص HPI در این مطالعه (نمودار ۲) نشان می‌دهد، ارزش عددی این شاخص در ایستگاه‌های نواحی شرقی تالاب به مراتب بیشتر از ایستگاه‌های مرکزی و ناحیه غربی در تالاب انزلی است. نتایج این شاخص براساس راهنمای طبقه‌بندی آن در جدول ۶ در برخی ایستگاه‌های مناطق شرقی و مرکزی، شرایط بحرانی خطر بوم‌شناسی در آینده را نشان می‌دهد. این نتایج نشان‌دهنده آلودگی نسبتاً زیاد از عناصری است که از طریق فعالیت‌های مختلف انسانی در کمیت زیاد در یک بازه زمانی طولانی مدت وارد تالاب انزلی شده است که این مقدار ورود مواد بیگانه خارج از ظرفیت پالایش تالاب در بلندمدت است. لذا مدیریت

کاربری‌های اطراف تالاب و کنترل ورود فاضلاب‌های شهری و صنعتی و رواناب‌های کشاورزی در بخش‌های شرقی تالاب انزلی از جمله اولویت‌های اصلی در بهبود شرایط بوم‌شناسی این تالاب در بلندمدت است. افزایش ورود عناصر مغذی به داخل تالاب و وقوع پدیده غنی‌شدگی تالاب در سال‌های اخیر نیز بر تشدید شرایط بوم‌شناسی حاکم بر این تالاب موثر بوده است، که این نتایج در سایر محیط‌های آبی که تحت تاثیر فعالیت‌های انسانی متراکم و کاربری‌های متنوع بوده‌اند نیز اثبات شده است (۱۱، ۱۲، ۳۰). براساس نتایج محاسبه شده شاخص HPI، وضعیت بوم‌شناسی تالاب انزلی در بخش‌های غربی تالاب در منطقه آب‌کنار و همچنین منطقه حفاظت شده سیاه‌کشیم به دلیل دوری از مراکز تجمع و فعالیت‌های انسانی در شرایط کم‌خطر و بسیار مطلوب است. حضور تنوع زیستی بالا از پرندگان و انواع آبزیان در این منطقه نیز مویدی بر مطلوبیت زیستگاهی این بخش از تالاب انزلی است (۱۹، ۲۰). به‌طور مشابه نتایج مطالعات Nasrabadi (۲۰۱۵) در رودخانه هراز نیز نشان داد در بخش‌های مرکزی و پایین دست رودخانه که تعداد زیادی از معادن، معدن سنگ و فعالیت‌های کشاورزی و همچنین تخلیه فاضلاب‌های صنعتی و شهری به رودخانه دیده می‌شود، اقدامات احتیاطی شدید باید در نظر گرفته شود (۱۵). Cengiz و همکاران (۲۰۱۷) نیز بیان داشتند شاخص HPI یک تکنیک بسیار مفید در ارزیابی سطح آلودگی آب رودخانه از نظر فلزات سنگین است. نتایج مطالعات آنها نشان داد در برخی نقاط نمونه‌برداری نزدیک به دریا غلظت فلزات سنگین بیشتر از سایر نقاط است ( $HPI > 30$ ) (۱۰). هدف اصلی این مطالعه، ارزیابی آب تالاب انزلی از نظر فلزات سنگین با استفاده از یک شاخص اختصاصی برای آب و فلزات سنگین بوده است که در کشور چنین مطالعه‌ای با کاربرد یک شاخص اختصاصی برای آب کمتر انجام شده است و با توجه به اینکه مطالعات بر روی شاخص‌های ارزیابی کیفیت رسوبات با دیدگاه آلودگی فلزات سنگین به تعداد زیاد در کشور انجام شده است (در نواحی دریایی خلیج فارس و دریای خزر)، ارائه یک مطالعه اختصاصی در مورد آب و استفاده از یک شاخص

### نتیجه‌گیری

نتایج طبقه‌بندی کیفی آب در تالاب انزلی با محاسبه شاخص HPI براساس اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین، نشان‌دهنده شرایط آسیب‌پذیر این تالاب ارزشمند بین‌المللی و ایجاد خطر بوم‌شناسی احتمالی در سال‌های آینده است. در بخش‌هایی از این تالاب، خصوصاً در مناطق شرقی وضعیت تالاب در شرایط بحرانی است. همچنین نتایج آزمون همبستگی اسپیرمن نمونه‌های آب همبستگی زیادی را بین غلظت فلزات مورد مطالعه در تالاب نشان می‌دهد که نشان‌دهنده منابع ورودی مشترک به تالاب است. با توجه به نقش، اهمیت و جایگاه این تالاب در سواحل دریای خزر برای تنوع زیستی و ثبات بوم‌شناسی منطقه و تامین نیازهای انسانی، مدیریت بهینه تالاب از نظر فعالیت‌های مخرب انسانی و کنترل فاضلاب و پساب‌های ورودی به تالاب، جهت تداوم بقای این تالاب بسیار ضروری است.

### ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند.

### References

1. Gamain P, Gonzalez P, Cachot J, Pardon P, Tapie N, Gourves PY, et al. Combined effects of pollutants and salinity on embryo-larval development of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*. *Marine Environmental Research*. 2016;113:31-38.
2. Islam MS, Hossain MB, Matin A, Sarker MSI. Assessment of heavy metal pollution, distribution and source apportionment in the sediment from Feni River estuary, Bangladesh. *Chemosphere*. 2018;202:25-32.
3. Akcay H, Oguz A, Karapire C. Study of heavy metal pollution and speciation in Buyak Menderes and Gediz river sediments. *Water Research*. 2003;37(4):813-22.
4. Demirak A, Yilmaz F, Tuna AL, Ozdemir N. Heavy metals in water, sediment and tissues of *Leuciscus cephalus* from a stream in southwestern Turkey. *Chemosphere*. 2006;63(9):1451-58.

کاملاً اختصاصی جنبه‌ای از نوآوری این مطالعه بوده است. از کاستی‌های این تحقیق می‌توان به این نکته اشاره نمود که در برخی از قسمت‌های تالاب، رشد گیاهان آبی (لاشه‌ای و شناور) و به خصوص آزولا به قدری زیاد بوده است که امکان ورود قایق به محل و برداشت نمونه آب بسیار سخت و دور از دسترس بوده است. ضمن اینکه نمونه‌برداری همزمان از رسوبات و آنالیز همزمان ۵ عنصر در رسوب با توجه به قیمت و هزینه ICP، هزینه انجام این مطالعه را بسیار افزایش می‌دهد است. هرچند استفاده و کاربرد شاخص HPI جهت ارزیابی اولیه بوم‌سازگان‌های آبی ضروری و مفید به نظر می‌رسد، اما کاربرد همزمان آن با شاخص‌های تعیین کیفیت و رتبه‌بندی رسوبات، می‌تواند نتایج مناسب‌تری را برای ارزیابی بوم‌شناسی خطرات ناشی از حضور همزمان فلزات سنگین در یک بوم‌سازگاری فراهم کند. با توجه به اینکه این مطالعه به صورت مقطعی و کوتاه مدت و با تعداد ایستگاه‌های کم انجام شده است، پیشنهاد می‌گردد جهت رسیدن به اطمینان کامل و همچنین اطلاع از سلامت تالاب بین‌المللی انزلی مطالعات بلندمدت و با تعداد ایستگاه‌های بیشتر بر روی آب و رسوب این ناحیه صورت گیرد.

5. Armstrong-Altrin JS, Machain-Castillo ML, Rosales-Hoz L, Carranza-Edwards A, Sanchez-Cabeza J-A, Ruiz-Fernández AC. Provenance and depositional history of continental slope sediments in the Southwestern Gulf of Mexico unraveled by geochemical analysis. *Continental Shelf Research*. 2015;95:15-26.
6. Ramos-Vázquez MA, Armstrong-Altrin JS, Rosales-Hoz L, Machain-Castillo ML, Carranza-Edwards A. Geochemistry of deep-sea sediments in two cores retrieved at the mouth of the Coatzacoalcos River delta, western Gulf of Mexico, Mexico. *Arabian Journal of Geosciences*. 2017;10:148.
7. Wei H, Yu H, Zhang G, Pan H, Lv C, Meng F. Revealing the correlations between heavy metals and water quality, with insight into the potential factors

- and variations through canonical correlation analysis in an upstream tributary. *Ecological Indicators*. 2018;90:485-93.
8. Kobielska PA, Howarth AJ, Farha OK, Nayak S. Metal-organic frameworks for heavy metal removal from water. *Coordination Chemistry Reviews*. 2018;358:92-107.
  9. Majhi A, Biswal S. Application of HPI (Heavy Metal Pollution Index) and correlation coefficient for the assessment of ground water quality near ash ponds of thermal power plants. *International Journal of Science Engineering and Advance Technology*. 2016;4(8):395-405.
  10. Cengiz MF, Kilic S, Yalcin F, Kilic M, Yalcin MG. Evaluation of heavy metal risk potential in Bogacayi River water (Antalya, Turkey). *Environmental Monitoring and Assessment*. 2017;189:248.
  11. Prasad B, Bose J. Evaluation of the heavy metal pollution index for surface and spring water near a limestone mining area of the lower Himalayas. *Environmental Geology*. 2001;41(1-2):183-88.
  12. Balakrishnan A, Ramu A. Evaluation of heavy metal pollution index (HPI) of ground water in and around the coastal area of Gulf of Mannar Biosphere and Palk Strait. *Journal of Advanced Chemical Sciences*. 2016:331-33.
  13. Mohan SV, Nithila P, Reddy SJ. Estimation of heavy metals in drinking water and development of heavy metal pollution index. *Journal of Environmental Science & Health Part A*. 1996;31(2):283-89.
  14. Prasad B, Jaiprakash K. Evaluation of heavy metals in ground water near mining area and development of heavy metal pollution index. *Journal of Environmental Science & Health Part A*. 1999;34(1):91-102.
  15. Nasrabadi T. An Index Approach to Metallic Pollution in River Waters. *International Journal of Environmental Research*. 2015;9(1):385-94.
  16. Sobhanardakani S. Assessment of pb and cd pollution in groundwater resources of Qaleh Shahin plain, Iran, using the heavy metal pollution index in 2014. *Journal of Health System Research*. 2016;12(3):300-306.
  17. Nejatijahromi Z, Nassery H, Nakhaei M, Alijani F. Assessment of the quality of groundwater for drinking purposes in Varamin aquifer: heavy metals contamination. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2018;10(4):559-72 (in Persian).
  18. Hassanzadeh N, Sari AE, Khodabandeh S, Bahramifar N. Occurrence and distribution of two phthalate esters in the sediments of the Anzali wetlands on the coast of the Caspian Sea (Iran). *Marine Pollution Bulletin*. 2014;89(1-2):128-35.
  19. Jamshidi S, Bastami KD. Metal contamination and its ecological risk assessment in the surface sediments of Anzali wetland, Caspian Sea. *Marine Pollution Bulletin*. 2016;113(1-2):559-65.
  20. Zamani-Ahmadmahmoodi R, Esmaili-Sari A, Mohammadi J, Bakhtiari AR, Savabieasfahani M. Spatial distribution of cadmium and lead in the sediments of the western Anzali wetlands on the coast of the Caspian Sea (Iran). *Marine Pollution Bulletin*. 2013;74(1):464-70.
  21. Razo I, Carrizales L, Castro J, Díaz-Barriga F, Monroy M. Arsenic and heavy metal pollution of soil, water and sediments in a semi-arid climate mining area in Mexico. *Water, Air, and Soil Pollution*. 2004;152(1-4):129-52.
  22. Kumar R, Rani M, Gupta H, Gupta B. Trace metal fractionation in water and sediments of an urban river stretch. *Chemical Speciation & Bioavailability*. 2014;26(4):200-209.
  23. WHO. *Guidelines for Drinking-water Quality*. 4th ed. Geneva: World Health Organization; 2011.
  24. Adamiec EHRE, Helios-Rybicka E. Heavy metals distribution in water of the upper and middle Odra river in period 1998–2000. Part IV International Odra Project. *Journal of Environmental Studies*. 2002;11(6):669-73.
  25. Herojeet R, Rishi MS, Kishore N. Integrated approach of heavy metal pollution indices and complexity quantification using chemometric models in the Sirsa Basin, Nalagarh valley, Himachal Pradesh, India. *Chinese Journal of Geochemistry*. 2015;34(4):620-33.

26. Manoj K, Padhy P, Chaundhury S. Study of heavy metal contamination of the river water through index analysis approach and environmetrics. *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*. 2012;1(10):7-15.
27. Konhauser K, Powell M, Fyfe W, Longstaffe F, Tripathy S. Trace element chemistry of major rivers in Orissa State, India. *Environmental Geology*. 1997;29(1-2):132-41.
28. Hassan FM, Saleh MM, Salman JM. A study of physicochemical parameters and nine heavy metals in the Euphrates River, Iraq. *Journal of Chemistry*. 2010;7(3):685-92.
29. Mortazavi S, Bakhtiari AR, Sari AE, Bahramifar N, Rahbarizade F. Phenolic endocrine disrupting chemicals (EDCs) in Anzali Wetland, Iran: elevated concentrations of 4-nonylphenol, octhylphenol and bisphenol A. *Marine Pollution Bulletin*. 2012;64(5):1067-73.
30. Cheng S, Grosse W, Karrenbrock F, Thoennessen M. Efficiency of constructed wetlands in decontamination of water polluted by heavy metals. *Ecological Engineering*. 2002;18(3):317-25.



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

Original Article



## Ecological quality assessment of Anzali wetland for heavy metals using heavy metals pollution index (HPI)

F Jaffari, N Hassanzadeh\*

Department of Environmental Sciences, Faculty of Environment and Natural Resource, Malayer University, Malayer, Iran

### ARTICLE INFORMATION:

**Received:** 20 February 2019  
**Revised:** 14 May 2019  
**Accepted:** 18 May 2019  
**Published:** 4 September 2019

**Keywords:** Heavy metals, Ecological risk assessment, Heavy metal pollution index, Anzali wetland

**\*Corresponding Author:**  
nassrinhassanzadeh@gmail.com

### ABSTRACT

**Background and Objective:** Research has shown that assessing the toxicity and ecological risk of various types of pollutants, including heavy metals, using specific indicators, is indispensable in the ecological risk assessment of the ecosystem. Accordingly, the aim of this study was the assessment of the ecological effect of heavy metals presence (Pb, Zn, Cu, Cd and, As) in Anzali wetland using Heavy Metals Pollution Index (HPI).

**Materials and Methods:** 43 water samples were collected from the eastern, western and central parts of Anzali wetland. The samples were transferred to the laboratory, and the preparation steps were carried out using the ASTM method. Concentration of the elements was determined by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectroscopy (ICP-AES). According to the concentration of heavy metals in the water samples, the index (HPI) was calculated. The results of the HPI index were classified into three classes: low risk (<15), moderate (15-30), and high risk (> 30).

**Results:** The numerical value of the HPI index was 3.59-23.3 with an average of 27.97, indicating the average level of heavy metals pollution in Anzali wetland. Indicator (HPI) in the eastern part of Anzali wetland and the Pirbazar area showed a severe contamination and ecological hazard of the heavy metals and in the Abkenar region showed an acceptable ecological status.

**Conclusion:** Although the average of HPI in the whole Anzali wetland was modest, but at some stations, especially in the east of the wetland, the HPI indicates the occurrence of ecological hazards in the wetland in the event of uncontrolled entry of pollutants in future. Therefore, monitoring the sources of these pollutants entering to the wetland and controlling the ecological risks is necessary.

Please cite this article as: Jaffari F, Hassanzadeh N. Ecological quality assessment of Anzali wetland for heavy metals using heavy metals pollution index (HPI). *Iranian Journal of Health and Environment*. 2019;12(2):173-84.