

## ارزیابی کیفیت آب تالاب چغاخور از نظر فلزات سنگین با استفاده از شاخص های HEI، HPI، MI، IRWQI<sub>ST</sub> و Cd

سمیرا بیاتی<sup>۱</sup>، رسول زمانی احمدمحمودی<sup>۲\*</sup>، داوود مافی غلامی<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیز، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد

۲. دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد

۳. استادیار گروه علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد

(تاریخ دریافت ۱۳۹۹/۰۵/۱۵، تاریخ تصویب ۱۳۹۹/۰۸/۱۲)

### چکیده

به منظور حفظ پایداری اکولوژیکی و بیولوژیکی تالابها، باید درک صحیحی از محیط فیزیکی، بیولوژیکی و شیمیایی آنها داشت و وضعیت فلزات سنگین در آنها بررسی شود. هدف از مطالعه حاضر، بررسی آلودگی آب تالاب چغاخور به آرسنیک، مس، کروم، سرب، روی و کادمیوم با استفاده از شاخص های HEI، HPI، MI، IRWQI<sub>ST</sub> و Cd طی فصل پاییز ۱۳۹۷ بود. نمونه برداری از آب سطحی در ۱۰ ایستگاه انجام شده و میزان غلظت فلزات توسط دستگاه ICP-MASS سنجیده شد. نتایج محاسبه شاخص های آلودگی آب نیز نشان داد آب تالاب طبق شاخص MI در تمامی ایستگاهها با مقدار ۱/۰۴ در طبقه آستانه خطر از نظر شرب و طبق شاخص HEI با مقدار ۰/۴۶ در طبقه آلودگی کم قرار گرفت. شاخص Cd نیز با مقدار ۴/۹۶- نشان دهنده آلودگی کم و HPI با مقدار ۳۴/۷۳ نشان دهنده عدم آلودگی آب تالاب به فلزات سنگین بودند. همچنین، طبق نتایج شاخص IRWQI<sub>ST</sub> کیفیت آب در همه ایستگاههای بررسی شده از نظر آلاینده های سمی با کمترین مقدار ۷۶/۴ در ایستگاه ۱ و بیشترین مقدار ۸۰/۴ در ایستگاه ۱۰ در محدوده وضعیت خوب این شاخص قرار داشتند. بنابراین، به طور کلی کیفیت آب تالاب چغاخور از نظر فلزات سنگین موجود در آب در وضعیت آلودگی کم قرار دارد که نیازمند توجه ویژه بر کیفیت آب این تالاب به منظور جلوگیری از آلودگی آن است.

**کلیدواژگان:** تالاب چغاخور، شاخص های آلودگی آب، فلزات سنگین، کیفیت آب.

## مقدمه

امروزه آلودگی فلزات سنگین به دلیل سمیت، پایداری، توزیع گسترده و تجزیه‌ناپذیری زیستی در زنجیره غذایی، به‌عنوان عوامل تهدیدکننده بوم‌سازگان‌های آبی، بسیار اهمیت دارد [۱] و آلودگی زیست‌محیطی فلزات سنگین در حال تبدیل شدن به یک پدیده جهانی است [۲]. ورود فلزات سنگین از طریق منابع نقطه‌ای مانند فاضلاب‌های خانگی، شهری و صنعتی و نیز منابع گسترده مانند رواناب‌های سطحی، فرسایش و رسوب اتمسفری به بوم‌سازندگان‌های آبی صورت می‌گیرد [۳-۶]. این آلاینده‌ها بر اساس درجه سمیت، پایداری و انتقال در زنجیره‌های غذایی، سلامت موجودات زنده را به خطر می‌اندازند [۷]. عدم مدیریت پسماندها و فاضلاب‌ها در محیط تالاب، قطعه‌قطعه کردن تالاب، آتش زدن حوضچه‌های نفتی در تالاب از ابتدای حضور و تخلیه پسماندهای نفتی در محدوده تالابی که از تخلفات میدان نفتی است، از جمله عواملی هستند که اهمیت مدیریت تالاب‌ها را نشان می‌دهند [۸]. علاوه بر این، غلظت فلزات سنگین در رسوبات تالاب‌ها به دلیل فاضلاب‌های شهری، به میزان درخور توجهی زیاد است که خطرات زیست‌محیطی را به دنبال خواهد داشت [۹]. در سال‌های اخیر، افزایش فعالیت‌های غیراصولی تجاری، کشاورزی، شهری و صنعتی بدون برنامه‌ریزی، سبب ایجاد آثار مخرب زیست‌محیطی شده است [۱۰]. همچنین، عواملی مانند تغییرات اقلیمی، کمبود بارندگی، فعالیت‌های انسانی و سوءمدیریت در دهه اخیر سبب کاهش آب درون تالاب‌ها و به‌دنبال آن، موجب خشک شدن فصلی و یا دائمی تالاب‌ها شده است [۱۱]. به‌طور کلی، ناآگاهی از اطلاعات علمی درباره تولیدات تالاب و توازن اکولوژیک آن سبب استفاده بیشتر از منابع تالاب می‌شود که روند تخریب آن را تشدید می‌کند [۱۲]. بنابراین، با توجه به ضرورت و اهمیت حفاظت از تالاب‌ها در برابر تهدیدهای یادشده، چنانچه هم‌اکنون اقدامی برای محافظت از این بوم‌سازگان طبیعی ارزشمند انجام نشود، بهره‌برداری‌های غیراصولی در آینده‌ای نزدیک، تخریب و نابودی این منابع باارزش را به دنبال خواهد داشت [۱۳]. تالاب چغاقور یکی از این اکوسیستم‌های آسیب‌پذیر است که در سال‌های اخیر با تهدیدهای زیادی مواجه شده است. این تالاب منحصر به فرد در نزدیکی ذخیره‌گاه زیست‌کره

تنگ صیاد و سبزکوه در جنوب غربی ایران واقع در استان چهارمحال و بختیاری است. در سال‌های اخیر این تالاب تحت تأثیر فعالیت‌های مختلف انسانی، ساخت سد و به تبع آن، نوسان‌های آبی، فعالیت‌های کشاورزی، چرای دام‌ها در حاشیه تالاب، تخلیه پساب روستاهای مجاور و گسترش بی‌رویه برخی از گونه‌های گیاهی آبی از جمله *Myriophyllum spicatum* قرار گرفته است. به‌منظور حفظ پایداری اکولوژیکی و بیولوژیکی این تالاب باید ابتدا درک صحیحی از محیط فیزیکی، بیولوژیکی و شیمیایی این اکوسیستم آبی داشته باشد و برنامه‌ریزی دقیق و صحیح برای مدیریت یکپارچه این پهنه آبی صورت گیرد. با استفاده از شاخص‌های مختلف آلودگی می‌توان خطر فلزات سنگین در منابع آب را ارزیابی کرد [۱۴]. این شاخص‌ها به‌عنوان ابزارهای مفیدی برای انجام اقدامات لازم توسط مدیران بخش آب، مدیران محیط زیست و تصمیم‌گیرندگان هستند که تمامی پارامترهای قابل کاربرد در برآورد شاخص‌ها، تصمیم‌گیری‌های آنها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. همچنین، تحلیل مکانی فلزات سنگین با استفاده از این شاخص‌ها در تشخیص و کمی‌سازی روند کیفیت آب بسیار سودمند است [۱۵]. مهم‌ترین شاخص‌ها برای ارزیابی درجه آلودگی آب به فلزات سنگین به‌منظور مصارف شرب (MI<sup>۱</sup>)، شاخص ارزیابی فلزات سنگین (HEI<sup>۲</sup>)، شاخص آلودگی فلزات سنگین (HPI<sup>۳</sup>) و درجه آلودگی (Cd) هستند [۱۶]. شاخص MI برای تعیین قابلیت شرب منابع آبی محاسبه می‌شود. اگر مقدار شاخص محاسبه‌شده کمتر از ۱ باشد، آب قابل آشامیدن؛ مقدار بیشتر از یک، آب غیر قابل شرب و اگر برابر با ۱ باشد، در حد آستانه خطر است [۱۷]. روشی دیگر که برای رتبه‌بندی کیفیت آب بر اساس فلزات سنگین است و با استفاده از آن می‌توان اثر فلزات سنگین را بر سلامت انسان تعیین کرد، شاخص HPI است. مقادیر شاخص بیشتر از ۱۰۰، نشان‌دهنده آلودگی آب به فلزات سنگین؛ مقادیر برابر با ۱۰۰، نشان‌دهنده آلودگی فلزات سنگین در آستانه خطر و مقادیر کمتر از ۱۰۰ نشان‌دهنده آلودگی کم آب به فلزات سنگین است [۱۸]. محاسبه شاخص HEI

1. Metal Index  
2. Heavy Metal Evaluation Index  
3. Heavy Metal Pollution Index

متوسط فلزات سنگین تالاب انزلی بود و در قسمت شرقی تالاب انزلی و منطقه پیربازار، آلودگی شدید و در منطقه آب کنار وضعیت مطلوب بوم‌شناسی را نشان داد. تحقیقات انجام‌شده در زمینه شاخص‌های آلودگی منابع آب فقط به کشور ایران محدود نمی‌شود، در خارج از کشور نیز مطالعاتی صورت گرفته است. از جمله در شهر مدیاس رومانی، هوگی و همکاران [۲۵] وضعیت آلودگی آب زیرزمینی را با استفاده از شاخص‌های Cd و HPI بررسی کردند که مقادیر آنها بسیار کمتر از ۱۰۰ گزارش شد. نتایج پژوهش نصرآبادی [۱۸] که با هدف ارزیابی کیفی آب رودخانه هراز انجام شد، نشان داد میانگین مقادیر شاخص‌های Cd و HPI بسیار کمتر از آستانه خطر است. از دیگر مطالعاتی که فقط به بررسی شاخص HPI پرداخته شده است، می‌توان به تحقیق بالاکیش‌نشان و همکاران [۲۶] اشاره کرد که طی آن، آلودگی آب زیرزمینی اطراف نواحی ساحلی خلیج مانار و تنگنه پالک ارزیابی شد. نتایج تحقیق یادشده نشان‌دهنده بیشتر بودن مقدار شاخص آلودگی بحرانی ۱۰۰ بود. نتایج مطالعه سنگیز [۲۷] نیز نشان داد غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های آب رودخانه Bogacayi کمتر از حد شاخص بحرانی بود.

در تحقیق حاضر علاوه بر استفاده از شاخص‌های آلودگی HPI، HEI و Cd، شاخص فلزی (MI) و شاخص پارامترهای سمی کیفیت منابع آب سطحی IRWQI<sub>ST</sub> نیز در ارزیابی آلودگی آب تالاب چغاخور به فلزات سنگین استفاده شد. مطالعات مختلفی در زمینه بررسی کیفیت آب و رسوب تالاب چغاخور انجام شده است، اما مطالعه‌ای درباره بررسی آلودگی آب به فلزات سنگین با استفاده از شاخص‌های یادشده صورت نگرفته است و یا مطالعات بسیار محدودی در زمینه آلودگی به فلزات سنگین وجود دارد. هدف از مطالعه حاضر، شناسایی کانون‌های آلودگی تالاب چغاخور طی دوره‌ای یک‌ساله است. برای نیل به این هدف، کیفیت آب تالاب با استفاده از شاخص‌های آلودگی مختلفی بررسی شد.

## مواد و روش‌ها

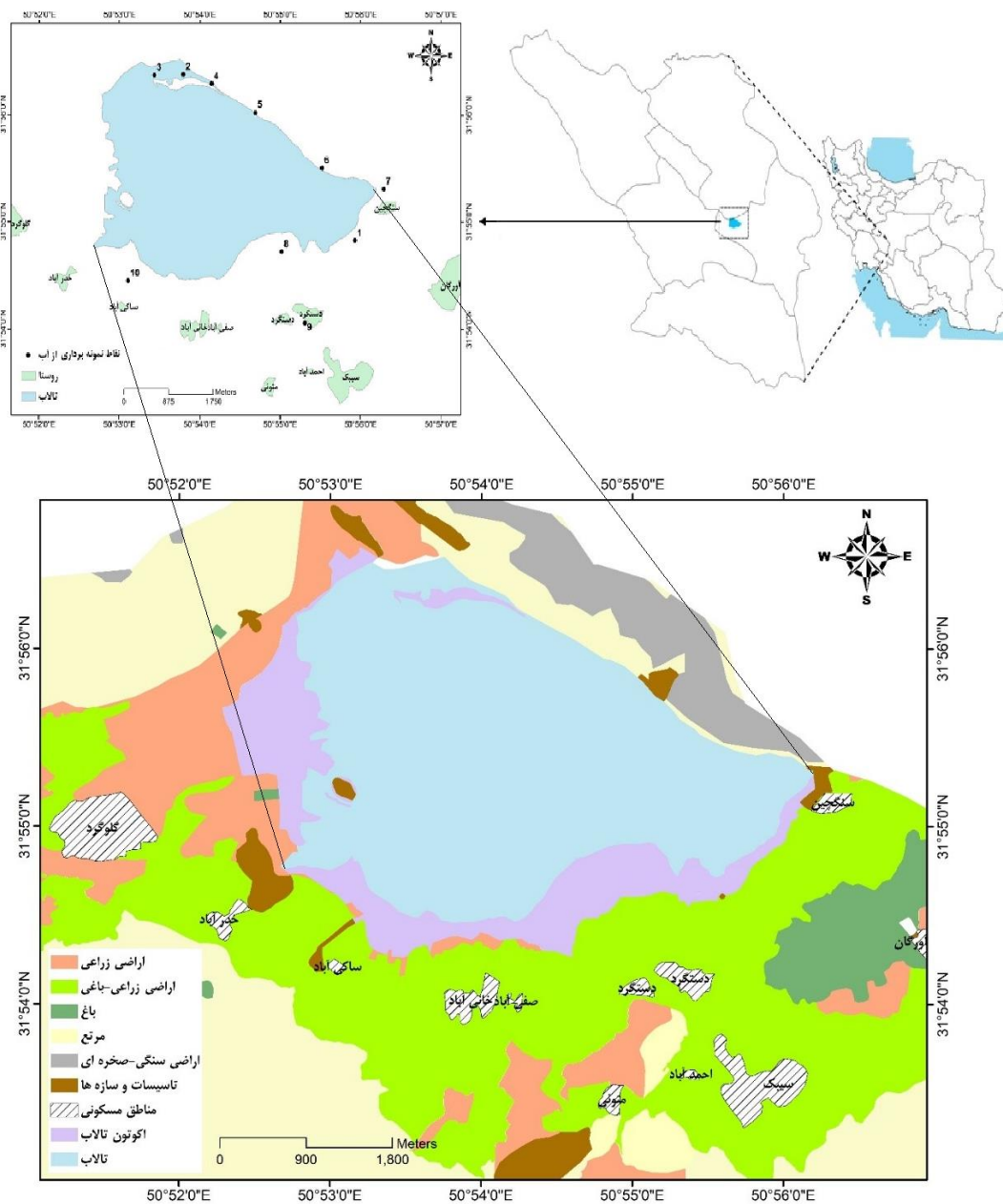
### منطقه مطالعه‌شده

تالاب چغاخور و اراضی حاشیه آن، در محدوده بین ۵۲° ۵۰' تا ۵۰° ۵۶' طول شرقی و ۳۱° ۵۶' تا ۳۱° ۵۶' عرض

نیز در رتبه‌بندی کلی کیفیت آب بر اساس آلودگی فلزات سنگین و درک بهتر از شرایط کیفی آب کاربرد دارد. مقادیر شاخص کوچک‌تر از ۴۰۰ بیانگر آلودگی کم آب به فلزات سنگین، مقادیر ۴۰۰-۸۰۰ بیانگر آلودگی متوسط آب به فلزات سنگین و مقادیر بزرگ‌تر از ۸۰۰ بیانگر آلودگی زیاد آب به فلزات سنگین هستند [۱۹]. برای تعیین تأثیرات ترکیبی تعدادی از پارامترهای کیفی که می‌تواند بر کیفیت آب شرب آثار نامطلوبی داشته باشد نیز از شاخص Cd استفاده می‌شود [۲۰]. طبق این شاخص، مقادیر کوچک‌تر از ۱ آلودگی کم، ۱-۳ آلودگی متوسط و بزرگ‌تر از ۳، آلودگی زیاد را نشان می‌دهند [۱۸]. علاوه بر این، به‌منظور محاسبه این شاخص از مقادیر فلزات آرسنیک، جیوه، سرب، کادمیوم، کروم، آهن و منگنز در نمونه‌های آب، می‌توان از شاخص کیفیت منابع آب سطحی ایران برای آلاینده‌های سمی (IRWQI<sub>ST</sub>) استفاده کرد که مقادیر شاخص می‌توانند در محدوده وضعیت خیلی بد (کمتر از ۱۵) تا بسیار خوب (بیشتر از ۸۵) قرار گیرند [۲۱]. مطالعات مختلفی در این زمینه با استفاده از شاخص‌های یادشده انجام شده است. از جمله مطالعات مربوط به کاربرد شاخص‌های HPI، HEI و Cd می‌توان به مطالعه سبحان اردکانی [۲۲] اشاره کرد که آلودگی آرسنیک، روی، سرب، کادمیوم، کروم، مس و منگنز را در منابع آب زیرزمینی دشت رزن همدان طی فصول بهار و تابستان سال ۱۳۹۱ بررسی کرد. میانگین مقادیر شاخص‌های Cd، HPI و HEI در فصل بهار به ترتیب ۲/۹۶، ۴۵/۴۷ و ۴/۰۴ و در فصل بهار به ترتیب ۳/۵۴، ۴۵/۰۷ و ۳/۵۹ و بسیار کمتر از آستانه خطر شاخص‌ها بود. همچنین، شاخص‌های HPI و HEI در مطالعه نجاتی جهرمی و همکاران [۲۳] به‌منظور ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی آبخوان و رامین از نظر قابلیت شرب استفاده شدند. نتایج پژوهش آنها نشان داد آلودگی این آبخوان از نظر فلزات سنگین خطرناک نیست، اما تغییرات شدید در غلظت برخی فلزات در بخش‌هایی مشاهده شد. در برخی مطالعات نیز به محاسبه یکی از شاخص‌های یادشده اکتفا شده است مانند مطالعه جعفری و حسن‌زاده [۲۴] که کیفیت آب تالاب انزلی را از نظر فلزات سنگین آب با استفاده از شاخص آلودگی فلزات سنگین HPI بررسی کردند. نتایج مطالعه آنها نشان‌دهنده سطح آلودگی

به آن محدود شده است. از نظر جغرافیای گیاهی، این تالاب در بخش کوهستانی منطقه رویشی ایران و تورانی قرار دارد. پوشش گیاهی طبیعی دامنه‌ها و تپه‌ماهورهای اطراف آن، با ویژگی‌های ادافیکی محل و اقلیمی این منطقه انطباق دارد. در حالی که پوشش گیاهی تالاب و اراضی اطراف آن تحت تأثیر نظام هیدرولوژیکی تالاب بوده و در تسلط گیاهان آبدوست و آبرزی است. موقعیت تالاب چغاخور در شکل ۱ مشاهده می‌شود.

شمالی و در ارتفاع حدود ۲۲۷۰ متری از سطح آب‌های آزاد قرار دارد [۲۸]. حجم این تالاب ۴۰ میلیون مترمکعب است و یکی از ذخیره‌گاه‌های مهم اکولوژیکی در منطقه به شمار می‌رود [۲۹]. مساحت منطقه مطالعه شده حدود ۶۰۳۴ هکتار است که دریاچه با وسعت ۱۴۵۳ هکتار در مرکز آن قرار دارد و از سه جهت اصلی (شمال، غرب و جنوب) در دامنه‌های پرشیب ارتفاعات (بالای شیب ۳۰ درصد) محاصره شده و مرز شرقی آن نیز با سد چغاخور و تأسیسات مربوط



شکل ۱. نقشه منطقه مطالعه شده تالاب چغاخور

### شاخص‌های ارزیابی آلودگی و پارامترهای سمی کیفیت منابع آب سطحی

#### شاخص فلزی (MI)

برای تعیین میزان آلودگی منابع آب از نظر فلزات سنگین و نیز ارزیابی قابلیت شرب از شاخص فلزی استفاده می‌شود (رابطه ۱):

$$MI = \sum \frac{C_i}{(MAC)} \quad (1)$$

که C غلظت هر یک از عناصر در محلول، MAC<sup>1</sup> بیشترین حد مجاز غلظت برای یک عنصر فلزی در حالت استاندارد و i شماره عنصر است. اگر مقادیر به دست آمده برای MI کمتر از یک باشد، آب قابل آشامیدن و بیشتر از یک، آب غیر قابل آشامیدن است و برابر یک، آب در حد آستانه خطر قرار دارد [۱۷].

#### شاخص آلودگی فلزات سنگین (HPI)

با محاسبه شاخص آلودگی فلزات سنگین می‌توان اثر فلزات سنگین را روی سلامت انسان تعیین کرد (رابطه ۲):

$$HPI = \frac{\sum_{i=1}^n W_i Q_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (2)$$

که  $W_i$  نسبت وزنی مؤلفه i ام و معکوس استاندارد و  $Q_i$  زیرشاخص عنصر ارزیابی شده است که از رابطه ۳ محاسبه می‌شود:

$$Q_i = \sum_{i=1}^n \frac{\{Mi(-)Ii\}}{(Si - Ii)} * 100 \quad (3)$$

که در آن  $M_i$  غلظت قرائت شده عنصر ( $\mu\text{g/L}$ )،  $I_i$  غلظت ایده آل عنصر مورد نظر و  $S_i$  رهنمود سازمان بهداشت جهانی هستند. اگر مقادیر به دست آمده برای HPI کمتر از ۱۰۰ باشد، آب فاقد آلودگی به فلزات سنگین و بیشتر از ۱۰۰ آب آلوده به فلزات سنگین است و مساوی ۱۰۰، آب در آستانه خطر آلودگی به فلزات سنگین قرار دارد [۳۱].

#### شاخص ارزیابی فلزات سنگین (HEI)

شاخص ارزیابی فلزات سنگین به صورت رابطه ۴ محاسبه می‌شود:

$$HEI = \sum_{i=1}^n \frac{H_i}{H_{mac}} \quad (4)$$

### نمونه برداری از آب سطحی و آنالیز نمونه‌های آب برای سنجش فلزات سنگین

در این تحقیق به منظور نمونه برداری از آب سطحی، از ظروف پلی پروپیلنی که پیش‌تر با اسید نیتریک و آب مقطر شست‌وشو شده، استفاده شد. ظروف نمونه برداری (بطری‌های پلاستیکی) سه بار با آب تالاب آب‌کشی و سپس، نمونه برداری از یک سوم بالایی آب صورت گرفت. نمونه برداری در فصل پاییز ۱۳۹۷ و در ده ایستگاه انجام شد. برای تعیین ایستگاه‌های پایش سعی شد تمام نقاط ورودی آب به تالاب و همچنین، نقاطی که احتمال ورود آلاینده‌ها به تالاب وجود دارد، برای آنالیز فلزات نمونه برداری شوند. به دلیل پوشش متراکم گیاهان آبی، امکان نمونه برداری و قایق‌رانی برای برداشت نمونه‌های آب در تمام گستره آبی تالاب مقدور نبود. بلافاصله بعد از نمونه برداری، نمونه‌ها با استفاده از اسید نیتریک غلیظ، اسیدی و تثبیت شده و مشخصات مربوط به ایستگاه نمونه برداری روی بطری‌ها ثبت شد. سپس، نمونه‌ها در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به آزمایشگاه منتقل و تا زمان شروع آنالیز در همان شرایط نگهداری شدند. استریل کردن ظروف نمونه برداری، حمل و نقل و نگهداری آنها در آزمایشگاه طبق دستورالعمل‌های موجود در استاندارد متد صورت گرفت [۳۰]. پارامترهای دما، EC، pH و DO در محل نمونه برداری با استفاده از دستگاه HQ30d Portable ISE Multi-Parameter Meter مدل HACH اندازه‌گیری و دیگر پارامترها برای سنجش به آزمایشگاه منتقل شدند.

به منظور سنجش فلزات سنگین در آب یک حجم مشخص از نمونه آب تثبیت شده با اسید نیتریک (به طور مثال، ۱۰۰ میلی‌لیتر) در زیر هود به بطری انتقال داده شده و با فویل شفاف برای جلوگیری از ورود آلودگی پوشانده شد. بطری حاوی نمونه روی حرارت قرار داده شد و 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 یافت که از طریق رنگ نمونه قابل تشخیص بود. مقداری از نمونه آماده شده را به فلاسک با حجم مشخص انتقال داده و با آب مقطر به حجم مشخص رسانیده شد و در ادامه، میزان فلزات توسط دستگاه ICP-MASS سنجیده شد [۳۰].

چغاقور از شاخص پارامترهای سمی کیفیت منابع آب سطحی (IRWQI<sub>ST</sub>) استفاده شد. هدف تدوین شاخص کیفیت منابع آب ایران، تهیه شاخصها (با توجه به شرایط طبیعی و مسائل و مشکلات منابع آب) در ایران بوده است، به طوری که شاخصهای تدوین شده بتوانند چشم انداز و فهم و درک مناسبی از وضعیت کیفی منابع آب در ایران ارائه کنند. جدول ۱ پارامترهای لازم برای محاسبه این شاخص را به همراه وزن مربوط به هر یک نشان می دهد. بعد از محاسبه شاخص IRWQI<sub>ST</sub> مقدار عددی به دست آمده، وضعیت کیفیت منابع آب سطحی از نظر پارامترهای سمی مطابق با درجه بندی ارائه شده در جدول ۲ مشخص می شود. مقدار این شاخص نیز به صورت روابط ۷ و ۸ محاسبه می شود:

$$IRWQI_{ST} = \left[ \prod_{i=1}^n I_i^{W_i} \right]^{\frac{1}{7}} \quad (7)$$

$$\gamma = \sum_{i=1}^n W_i \quad (8)$$

که در آن  $W_i$  وزن پارامتر  $i$ ام،  $n$  تعداد پارامترها و  $I_i$  مقدار شاخص برای پارامتر  $i$ ام از منحنی رتبه بندی است.

جدول ۱. پارامترهای شاخص IRWQI<sub>ST</sub> (مقادیر بر حسب

میکروگرم بر لیتر) و وزن آنها [۲۱]

ردیف	پارامتر	وزن
۱	آرسنیک	۰/۱۲۸
۲	جیوه	۰/۱۱۷
۳	TPH	۰/۱۰۸
۴	دترجنت	۰/۱۰۰
۵	سرب	۰/۰۹۲
۶	کادمیوم	۰/۰۹۲
۷	فنول	۰/۰۹۱
۸	کروم	۰/۰۸۴
۹	سیانید	۰/۰۷۰
۱۰	آهن	۰/۰۶۳
۱۱	منگنز	۰/۰۵۶

در صورتی که تعداد پارامترهای اندازه گیری شده کمتر از ۱۱ پارامتر مندرج در جدول یاد شده باشد، از روابط ۷ و ۸ استفاده می شود و نیاز به هیچ تصحیحی نیست.

که  $H_i$  غلظت قرائت شده عنصر مورد ارزیابی ( $\mu\text{g/L}$ ) و  $H_{\text{mac}}$  حداکثر غلظت مجاز هر عنصر ارزیابی شده ( $\mu\text{g/L}$ ) است [۳۲]. براساس طبقه بندی موجود اگر شاخص HEI کمتر از ۴۰۰ باشد، نشان دهنده آلودگی کم، بین ۴۰۰ تا ۸۰۰، نشان دهنده آلودگی متوسط و بیشتر از ۸۰۰، نشان دهنده آلودگی زیاد است [۳۳].

#### شاخص درجه آلودگی (Cd)

به منظور محاسبه شاخص درجه آلودگی از رابطه ۵ استفاده می شود:

$$Cd = \sum_{i=1}^n Cfi \quad (5)$$

که در آن  $Cfi$  عامل آلودگی هر عنصر است و با استفاده از فرمول ۶ محاسبه می شود:

$$Cfi = \frac{CAi}{CNI} - 1 \quad (6)$$

که  $CAi$  غلظت قرائت شده عنصر ( $\mu\text{g/L}$ ) و  $CNi$  بالاترین حد غلظت مجاز هر عنصر ( $\mu\text{g/L}$ ) هستند [۳۴]. اگر مقادیر به دست آمده برای  $Cd$  کمتر از ۱ باشد، نشان دهنده درجه آلودگی پایین، بین ۱ تا ۳ درجه آلودگی متوسط و بزرگتر از ۳، درجه آلودگی زیاد است [۱۸].

درخور یادآوری است که در محاسبه این شاخصها، بالاترین حد غلظت مجاز آرسنیک ۵۰، روی ۵۰۰۰، کادمیوم ۳، کروم ۵۰، مس ۱۰۰۰ [۳۴] و سرب ۱۰ میکروگرم بر لیتر در نظر گرفته شد [۳۵]. غلظت ایده آل نیز برای آرسنیک، روی، سرب، کادمیوم، کروم و مس به ترتیب برابر با ۱۰، ۳۰۰۰، ۱۰، ۳، ۵۰ و ۲۰۰۰ میکروگرم بر لیتر و مقادیر رهنمود سازمان بهداشت جهانی برای آرسنیک ۵۰، روی ۵۰۰۰، سرب ۱۰۰، کادمیوم ۵، کروم ۵۰ و مس ۱۰۰۰ در نظر گرفته شدند [۳۴].

#### شاخص پارامترهای سمی کیفیت منابع آب سطحی IRWQI<sub>ST</sub>

شاخص کیفیت منابع آب ایران (IRWQI) شاخصی تلفیقی از NSFQI و BCEQI بوده که در سالهای اخیر توسط محققان سازمان حفاظت محیط زیست ایران ارائه شده است. در این تحقیق به منظور ارزیابی کیفیت آب تالاب

را با بیشترین حد مجاز یک عنصر فلزی در حالت استاندارد مقایسه کرد. طبق نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق، مقدار عددی مربوط به محاسبه شاخص فلزی، آب تالاب چغاخور در تمامی ایستگاه‌ها برابر با مقدار ۱/۰۴ بوده که در آستانه خطر از نظر آشامیدن قرار دارد. نکته اینکه در این شاخص اگر فقط مقدار یکی از فلزات بیشتر از بالاترین حد مجاز باشد، میزان شاخص بیشتر از یک می‌شود و آب از نظر آشامیدن در طبقه غیر قابل آشامیدن قرار می‌گیرد.

#### نتایج شاخص آلودگی فلزات سنگین (HPI)

شاخص آلودگی فلزات سنگین به‌منظور تعیین اثر فلزات سنگین بر سلامت انسان استفاده می‌شود. به این منظور، باید غلظت اندازه‌گیری‌شده فلزات با غلظت ایده‌آل و استانداردهای سازمان بهداشت جهانی مقایسه شود. نتایج محاسبه شاخص آلودگی فلزات سنگین نشان داد مقدار این شاخص در تمامی ایستگاه‌ها برابر ۳۴/۷۳ بود. از آنجا که مقدار این شاخص در تمام ایستگاه‌ها کمتر از ۱۰۰ بوده، بنابراین آب تالاب چغاخور در تمامی ایستگاه‌ها به فلزات سنگین و آرسنیک آلودگی نداشت.

#### نتایج شاخص ارزیابی فلزات سنگین (HEI)

به‌منظور محاسبه شاخص ارزیابی فلزات سنگین، غلظت اندازه‌گیری‌شده فلزات با حداکثر غلظت مجاز هر یک از فلزات در آب مقایسه می‌شود. طبق نتایج این شاخص با مقدار ۰/۴۶ در همه ایستگاه‌ها نشان می‌دهد آب تالاب چغاخور در طبقه آلودگی کم قرار می‌گیرد.

#### نتایج شاخص درجه آلودگی (Cd)

شاخص درجه آلودگی یک شاخص تجمعی بوده که حاصل جمع شاخص فاکتور آلودگی برای فلزات ارزیابی‌شده است. در این شاخص غلظت‌های قرائت‌شده فلزات با بالاترین حد غلظت مجاز هر فلز مقایسه می‌شود. طبق نتایج به‌دست‌آمده شاخص درجه آلودگی در تمامی ایستگاه‌ها با مقدار ۴/۹۶- (مقدار کمتر از ۱) دارای درجه آلودگی پایین بود.

نتایج مقادیر شاخص‌های آلودگی مربوط به آب در تالاب چغاخور و وضعیت آب تالاب به طور خلاصه در جدول ۴ مشاهده می‌شود.

جدول ۲. درجه‌بندی منابع آبی براساس مقدار عددی شاخص

IRWQI <sub>ST</sub> [۲۱]	
مقدار شاخص	معادل توصیفی
<۱۵	خیلی بد
۱۵-۲۹/۹	بد
۳۰-۴۴/۹	نسبتاً بد
۴۵-۵۵	متوسط
۵۵/۱-۷۰	نسبتاً خوب
۷۰/۱-۸۵	خوب
>۸۵	بسیار خوب

#### نتایج

##### غلظت فلزات سنگین در آب تالاب چغاخور

توصیف آماری غلظت آرسنیک، کادمیوم، کروم، مس، سرب و روی در آب تالاب چغاخور در فصل پاییز ۱۳۹۷ در ۱۰ ایستگاه انتخابی در جدول ۳ ارائه شده است. بیشترین میانگین غلظت کل فلزات بررسی‌شده در آب این تالاب به ترتیب شامل مس با مقدار ۵/۲، روی، کروم، سرب و شبه‌فلز آرسنیک با مقدار ۵ و کادمیوم با مقدار ۱ بود. همچنین، همه مقادیر غلظت فلزات سنگین و شبه‌فلز بررسی‌شده از مقدار مجاز آن کمتر بود. مقادیر بیشتر فلزات در نمونه‌های آب برابر یا کوچک‌تر از حد تشخیص دستگاه گزارش شد. بنابراین، حد تشخیص دستگاه معادل میزان فلز در نمونه آب در نظر گرفته شد [۱۷].

جدول ۳. آمار توصیفی غلظت فلزات سنگین و آرسنیک در آب تالاب چغاخور و مقدار مجاز بر حسب میکروگرم بر لیتر

فلزات	میانگین	مقدار مجاز WHO
کادمیوم	۱	۳
کروم	۵	۵۰
مس	۵/۲	۲۰۰۰
سرب	۵	۱۰
روی	۵	۳۰۰۰
آرسنیک	۵	۱۰

#### نتایج ارزیابی شاخص‌های آلودگی و پارامترهای سمی

##### کیفیت منابع آب سطحی در تالاب چغاخور

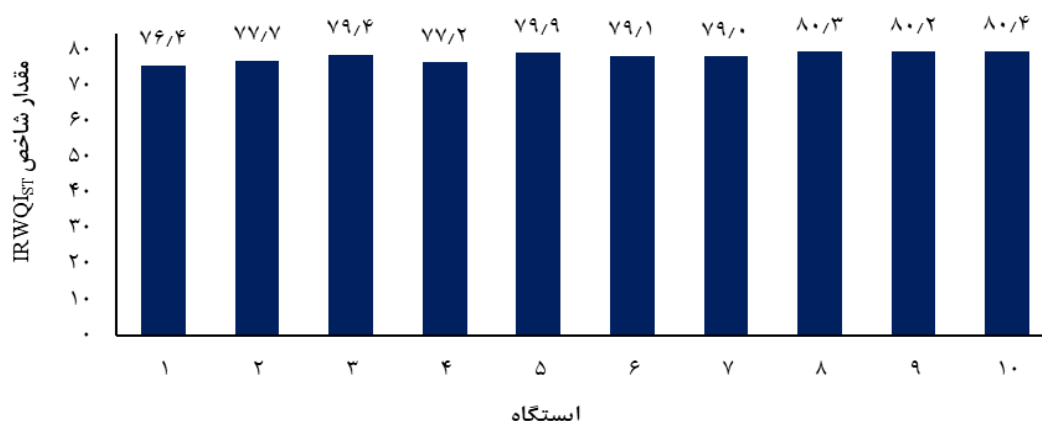
##### نتایج شاخص فلزی (MI)

به‌منظور محاسبه شاخص فلزی و تعیین آلودگی منابع آب از نظر فلزات سنگین، باید غلظت‌های به‌دست‌آمده از فلزات

جدول ۴. مقادیر شاخص‌های آلودگی فلزات سنگین و آرسنیک در آب تالاب چغاخور

شاخص	مقدار میانگین در تالاب	وضعیت آب
Cd	-۴/۹۶	آلودگی پایین
HPI	۳۴/۷۳	فاقد آلودگی به فلزات سنگین
HEI	۰/۴۶	آلودگی کم
Mi	۱/۰۴	در آستانه خطر (از نظر شرب)

نتایج شاخص کیفیت منابع آب سطحی ایران برای آلاینده‌های سمی ( $IRWQI_{ST}$ ) به‌منظور محاسبه این شاخص از مقادیر آرسنیک، جیوه، سرب، کادمیوم، کروم، آهن و منگنز در نمونه‌های آب استفاده شد. نتایج مربوط به محاسبه این شاخص در ایستگاه‌های منتخب در پاییز ۱۳۹۷ شکل ۲ ارائه شده است. طبق این جدول کیفیت آب در همه ایستگاه‌های بررسی شده در وضعیت خوب (طبق جدول ۲) قرار دارد.

شکل ۲. میزان شاخص  $IRWQI_{ST}$  در ایستگاه‌ها در پاییز ۱۳۹۷

سلامت انسان استفاده می‌شود، در تمامی ایستگاه‌ها مقدار منفی را برای همه فلزات نشان داد که بسیار کمتر از آستانه خطر (۱۰۰) بود. بنابراین، در تمامی ایستگاه‌ها آلودگی به آرسنیک و فلزات سنگین وجود نداشت. در مورد شاخص ارزیابی فلزات سنگین HEI نیز نتایج نشان می‌داد در تمامی ایستگاه‌های نمونه‌برداری مقدار محاسبه شده این شاخص بسیار کمتر از آستانه خطر (۴۰۰) بود. بنابراین، در همه ایستگاه‌ها، آب تالاب چغاخور در طبقه آلودگی کم قرار گرفت. همچنین، شاخص درجه آلودگی Cd نیز نشان داد در همه ایستگاه‌ها مقادیر شاخص به‌دست‌آمده کمتر از صفر (منفی) بوده و بسیار پایین‌تر از آستانه خطر بود. به این ترتیب، شاخص Cd در تمامی ایستگاه‌ها، برای آرسنیک و همه فلزات سنگین بررسی شده در درجه آلودگی پایین قرار داشت.

علاوه بر این، شاخص کیفیت منابع آب سطحی ایران برای آلاینده‌های سمی با اندازه‌گیری مقادیر فلزات آرسنیک، جیوه، سرب، کادمیوم، کروم، آهن و منگنز (به ترتیب با مقادیر میانگین ۵، ۱، ۵، ۱، ۵، ۱۸۲/۷ و ۳۶/۱)

### بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق به‌منظور بررسی وضعیت آلودگی آب تالاب چغاخور به فلزات سنگین، نمونه‌برداری آب در فصل پاییز ۱۳۹۷ از ۱۰ ایستگاه انجام و غلظت آرسنیک، کادمیوم، مس، کروم، روی و سرب اندازه‌گیری شد. در این مطالعه میانگین غلظت مس ۵/۲ میکروگرم بر لیتر (بیشترین غلظت آن در ایستگاه ۱ برابر با مقدار ۷ میکروگرم بر لیتر بود)، کادمیوم ۱، کروم، روی، سرب و آرسنیک نیز ۵ میکروگرم بر لیتر در تمامی ایستگاه‌ها بود. با توجه به استانداردهای ارائه شده از سوی سازمان بهداشت جهانی (WHO) نتایج تحقیق حاضر نشان داد خوشبختانه سطح آلودگی آرسنیک، مس، سرب، کادمیوم، روی و کروم در آب تالاب چغاخور کمتر از میزان استانداردهای ارائه شده است.

نتایج ارزیابی شاخص آلودگی MI مربوط به آب تالاب چغاخور نشان داد مقدار عددی این شاخص در تمامی ایستگاه‌ها با مقدار ۱/۰۴ در وضعیت آستانه خطر از نظر شرب قرار گرفت.

شاخص HPI نیز که برای تعیین اثر فلزات سنگین بر



- Leuciscus cephalus from a stream in southwestern Turkey. *Chemosphere*. 2006; 63(9): 1451-1458.
- [5]. Armstrong-Altrin JS, Machain-Castillo ML, Rosales-Hoz L, Carranza-Edwards A, Sanchez-Cabeza J-A, Ruiz-Fernandez 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-Vazquez 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 Coatzacoalcas River delta, western Gulf of Mexico, Mexico. *Arabian Journal of Geosciences*. 2017; 10(6):148.
- [7]. Ganjavi M, Ezzatpanah H, Givianrad M.H, Shams A. Effect of canned tuna fish processing steps on lead and cadmium contents of Iranian tuna fish. *Food Chemistry*. 2010; 118: 525-528.
- [8]. Yousefi A, Bahmanpour H, Salajegah B, Dashti S. Survey of birds in microhabitats of National Park in Boujagh Wetland. *Journal of Wetland Ecobiology*. 2013; 5(2):19-32. [Persian]
- [9]. Maanan M, Landesman C, Maanan M, Zourarah B, Fattal P, Sahabi M. Evaluation of the anthropogenic influx of metal and metalloid contaminants into the Moulay Bouselham lagoon, Morocco, using chemometric methods coupled to geographical information systems. *Environmental Science and Pollution Research*. 2013; 20(7): 4729-4741.
- [10]. Ganji Doost H, Ayati B, Khara H, Khodaparast Sharifi H, Akbarzadeh A, Ahmadzadeh Layeghi T, Nezami Baloochi Sh, Zolfi Nejad K. Investigation of the environment of the Black Keshim Wetland. *Journal of Environmental Science*. 2009; 6(3): 117-132. [Persian]
- [11]. Ghahroodi Tali M, Mirzakhani B, Asgari A. Desertification phenomena in Iranian wetlands (Case study: Mighan wetland). *Journal of Geography and Environmental Hazards*. 2012; 1(4): 97-111. [Persian]
- [12]. Abdollah Rash M, Bashiri M, Haghghi F. Wetland Management, Challenges and Solutions. *International Management Conference, Challenges and Solutions, Shiraz*. 2013. [Persian]
- [13]. Astani S, Baharmastian B. Assessment of Environmental Hazards of Mighan Desert Wetland. 3rd National Conference on Desertification and Sustainable Development of Iranian Desert Wetlands. Arak. Islamic Azad University of Arak. [Persian]
- میکروگرم بر لیتر) در نمونه‌های آب در ۱۰ ایستگاه محاسبه شد. شاخص IRWQI<sub>ST</sub> بر اساس پارامترهای وزنی ثابت محاسبه می‌شود. مقدار این شاخص در همه ۱۰ ایستگاه بررسی شده با مقادیر بین کلاس ۷۰/۱ تا ۸۵ دارای وضعیت کیفیت آب خوب بودند.
- به طور کلی، نتایج تحقیق حاضر نشان داد کیفیت آب تالاب چغاخور از نظر فلزات سنگین آب در وضعیت آلودگی کم قرار دارد. انجام فعالیت‌های کشاورزی پیرامون تالاب و استفاده از کودها و سموم کشاورزی و کاربری‌های مسکونی و اراضی زراعی-باغی که در نیمه جنوبی تالاب متمرکز هستند، به دلیل فاصله کم تا تالاب و ورود پساب آنها، مهم‌ترین تهدید برای آلودگی تالاب محسوب می‌شوند. از این رو با توجه به نقش، اهمیت و جایگاه این تالاب، کنترل و حذف منابع آلاینده اراضی اطراف تالاب و کاهش میزان مصرف کودهای نیتروژنه و فسفات در اراضی کشاورزی، برای تداوم بقای تالاب و جلوگیری از آلودگی آن بسیار ضروری است.
- ### تشکر و قدردانی
- پژوهش حاضر با همکاری معاونت پژوهشی دانشگاه شهرکرد و اداره کل حفاظت محیط زیست استان چهارمحال و بختیاری طی قرارداد پژوهشی شماره ۲۱۰۰۲/۹۶ مورخ ۱۳۹۶/۱۲/۲۴ به انجام رسیده است. به این وسیله از تمام کسانی که ما را در انجام این تحقیق یاری کردند، صمیمانه تشکر می‌شود.
- ### منابع
- [1]. Islam MS, Hossain MB, Matin A, Sarker MS. Assessment of heavy metal pollution, distribution and source apportionment in the sediment from Feni River estuary, Bangladesh. *Chemosphere*. 2018; 202: 25-32.
- [2]. Keshavarzi B, Ebrahimi P, Moore F, Hamzeloo M.A. Geochemistry and distribution of heavy metals in coastal and marine sediments of Chabahar Bay. *Journal of Advanced Applied Geology*. 2013; 3: 74-81.
- [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): 813-822.
- [4]. Demirak A, Yilmaz F, Tuna AL, Ozdemir N. Heavy metals in water, sediment and tissues of

- [14]. Boateng TK, Opoku F, Acquah SO, Akoto O. Pollution evaluation, sources and risk assessment of heavy metals in hand-dug wells from Ejisu-Juaben Municipality, Ghana. *Environmental Systems Research*. 2015; 4(1):18.
- [15]. Mishra S, Kumar A, Yadav S, Singhal MK. Assessment of heavy metal contamination in water of Kali River using principle component and cluster analysis, India. *Sustainable Water Resources Management*. 2018; 4(3): 573-581.
- [16]. Backman B, Bodis D, Lahermo P, Rapant S, Tarvainen T. Application of a groundwater contamination index in Finland and Slovakia. *Environmental Geology*. 1998; 36(1-2): 55-64.
- [17]. Tamasi G, Cini R. 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*. 2004; 327: 41-51.
- [18]. Nasrabadi T. An Index Approach to Metallic Pollution in River Waters. *International Journal of Environmental Research*. 2015; 9(1): 385-394.
- [19]. Caeiro S, Costa MH, Ramos TB, Fernandes F, Silveira N, Coimbra A, Medeiros G, Painho M. Assessing heavy metal contamination in Sado Estuary sediment: an index analysis approach. *Ecological Indicators*. 2005; 5(2): 151-169.
- [20]. Prasanna MV, Praveena SM, Chidambaram S, Nagarajan R, Elayaraja A. Evaluation of water quality pollution indices for heavy metal contamination monitoring: a case study from Curtin Lake, Miri City, East Malaysia. *Environmental Earth Sciences*. 2012; 67(7): 1987-2001.
- [21]. Hashemi H. Guide to Calculating Water Quality Index in Iran. Department of Environmental Engineering- Environmental Pollutants. Shahid Beheshti University. Institute of Environmental Sciences. 2011. [Persian]
- [22]. Sobhanardakani S. Assessing of As, Zn, Pb, Cd, Cr, Cu and Mn Contamination in Groundwater Resources of Razan Plain Using Water Quality Pollution Indices. *Journal of Neyshabur University of Medical Sciences*. 2016; 4(4): 33-45. [Persian]
- [23]. 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): 559-572. [Persian]
- [24]. Jaffari F, Hassanzadeh N. Ecological quality assessment of Anzali wetland for heavy metals using heavy metals pollution index (HPI). *Journal of Health and Environment*. 2019; 12(2): 173-184. [Persian]
- [25]. Hoaghi MA, Roman C, Ristoiu D, Popita G, Tanaselia C. Assessing of water quality pollution Indices for heavy metal contamination. A study case from Medias City groundwaters. *Agricultura*. 2013; 87(3-4): 25-31.
- [26]. 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; 331-333.
- [27]. 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.
- [28]. Assadollahi Z, Danehkar A, Assadollahi Z. Protective zoning of Choghakhor Wetland through Multi Criteria Spatial Evaluation (SMCE). *Journal of Wetland Ecobiology*. 2012; 4(13): 35-47. [Persian]
- [29]. Fathi P., Ebrahimi E., Esmaeili A.R. and Motaghi E. Investigation of density and large biomass of invertebrate invertebrates in Choghakhor wetland. *Journal of Animal Research (Iranian Journal of Biology)*. 2016; 29(1): 64-76. [Persian]
- [30]. APHA, AWWA, WPCF. Standard Methods for Examination of Water and Waste Water. 21th ed. Washington: American Public Health Association 2005; Part 1000-3000.
- [31]. Ameh E.G. and Akpah F.A. 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*. 2011; 2: 33-46.
- [32]. Prasad B, Kumari P, Bano S, Kumari S. Ground water quality evaluation near mining area and development of heavy metal pollution index. *Applied water science*. 2014; 4: 7-11.
- [33]. Prasad B, Bose J.M. Evaluation of heavy metal pollution index for surface and spring water near a limestone mining area of the lower Himalayas. *Environmental Geology*. 2001; 41: 183-188.
- [34]. Edet A.E. and Offiong O.E. Evaluation of water quality pollution indices for heavy metal contamination monitoring. A study case from

- Akpabuyo-Odukpani area, Lower Cross River Basin (southeastern Nigeria). *GeoJournal*. 2002; 57: 295-304.
- [35]. Aldin Ebrahimi SJ, Eslami A, Ebrahimzadeh L. Evaluation of heavy metals concentration in the drinking water distribution network in Kurdistan villages in the year 2012. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2015; 6(2): 55-61.