



## بررسی تغییرات غلظت فلزات سنگین کادمیوم، کروم و روی در آب و رسوب و تعیین شاخص ارزش زیستی کفزیان (Z) در رودخانه کرج

فاطمه سادات قلندرزاده<sup>۱</sup>، کامران رضایی توابع<sup>۲\*</sup>، رضا حاجی سید محمد شیرازی<sup>۳</sup>، بهاره صمدی کوچکسرای<sup>۴</sup>

۱. کارشناس ارشد آلودگی‌های محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران

۲. دانشکده منابع طبیعی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.

۳. استادیار گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

۴. دکترای اکولوژی دریا، گروه علوم دریایی، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۱۵

تاریخ ارسال: ۱۳۹۹/۰۲/۱۸

### چکیده

با توجه به اینکه رودخانه کرج یکی از تأمین‌کننده‌های آب شرب، کشاورزی، و نیز برق برای بخش‌هایی از استان‌های تهران و البرز است و از رودخانه‌های حفاظت شده در کشور به شمار می‌آید، در این پژوهش، میزان غلظت فلزات سنگین کادمیوم، کروم و روی در نمونه‌های آب و رسوبات رودخانه کرج و شاخص ارزش زیستی (Z) با استفاده از کفزیان مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این تحقیق، ۷ ایستگاه نمونه‌برداری شامل خوزنکلا، هفت چشمه، سرودار، نوجان، پورکان، ورودی بیلقان و خروجی بیلقان تعیین شد و از آب، موجودات کفزی یا بنتوز و رسوبات از دی‌ماه سال ۱۳۹۶ تا تیرماه سال ۱۳۹۷ در این ایستگاه‌ها نمونه برداری شد. نتایج نشان داد که هم در نمونه‌های آب و هم در نمونه‌های رسوب، میزان غلظت هر سه فلز از بالادست به سمت پایین‌دست، اختلاف معنی‌دار را دارند. غلظت کادمیوم کمتر از دو فلز دیگر و غلظت روی، بیشترین مقدار را در بین فلزات مورد مطالعه داشت. همچنین غلظت هر سه فلز در آب و رسوب، در دی‌ماه کمتر از تیرماه بود. نتایج شاخص ارزش زیستی Z نیز نشان داد که این شاخص در هر دو فصل دارای اختلاف معنی‌داری در بین ایستگاه‌های نمونه برداری است و بیشترین مقدار شاخص در هر دو فصل، مربوط به ایستگاه‌های پایین‌دست بود. دلایل آلودگی رودخانه به فلزات سنگین به‌ویژه در پایین‌دست، شامل فعالیت‌های انسانی مانند ورود فاضلاب‌های کشاورزی، روستایی و تفرجگاهی بود و در فصل سرد به دلیل کاهش تراکم جمعیت در منطقه، میزان آلودگی کاهش یافت. همچنین بر اساس نتایج به‌دست آمده از نظر کیفی، بخش‌های مختلف رودخانه کرج را می‌توان در طبقه کیفی II و III ساپروبی طبقه‌بندی کرد.

**کلمات کلیدی:** فلزات سنگین، شاخص ارزش زیستی، رسوبات، بزرگ‌بی‌مهرگان کفزی، رودخانه کرج.



## **Heavy metal (cadmium, chromium, zinc) evaluation of water and sediment, and assessing the biological value index (Z) in Karaj River**

**Fatemehsadat Ghalandarzadeh<sup>1</sup>, Kamran Rezaei Tavabe<sup>2\*</sup>,  
Reza Haji Seyed Mohamamd Shirazi<sup>3</sup>, Bahareh Samadi Kuchaksaraei<sup>4</sup>**

*1. Department of Environmental Science, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.*

*2. Natural Resources Faculty, University of Tehran.*

*3. Assistant Professor, Department of Environmental Science, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.*

*4. Ph.D. in Marine Ecology, Department of Marine Science, Faculty of Natural Resources and Environment, Islamic Azad University, Science and Research Branch.*

**Received: 07-May-2020**

**Accepted: 04-Jun-2020**

### **Abstract**

Karaj River is one of the main source of drinking and agriculture water in Tehran and Alborz province, because of so many ecological potentials, this river categorized as a protected river in Iran. For detecting the environmental condition as an annually environmental assessment, concentration of heavy metals: cadmium, chromium and zinc in the water and sediment were detected in this river. The quality of water determined using biological value index (Z) as well. By sampling from water, benthos and sediments from January to July 2018 from different stations along the river. Metals concentrations were measured by ICP device and aquatic insects identified at the lab. The obtained results demonstrated that in both water and sediment samples, there were significant concentration of metals from upstream to downstream stations. In addition, the concentrations of all metals in water and sediment were lower in January than in July. The results of the Z biological value index revealed significant differences in both seasons between the sampling stations, and the highest values recorded in downstream stations in both seasons. Contamination of heavy metals, especially in downstream, was due to human interventions such as agricultural, urban and industrial activities and production of wastewaters. In the cold season, because of reduction in population density in the vicinity river area, pollution levels decreased. In general, in terms of water quality index, Karaj River classified in the saprobe class between II - III.

**Key words:** Heavy metals, Biological value index, Sediments, Macro-benthos, Karaj River.

## ۱. مقدمه

رودخانه‌ها از منابع حیاتی طبیعی، کانون توسعه و شریان‌های حیاتی هر کشور محسوب می‌شوند (Bahmani et al., 2010). توسعه علم و فن‌آوری سبب استفاده گسترده بشر از منابع زیستی و غیرزیستی اکوسیستم‌ها و در نتیجه به هم خوردن تعادل اکولوژیک و بیولوژیک آنها شده است. مهم‌ترین عوامل آلاینده و تهدیدکننده حیات رودخانه‌ها، آلودگی‌های ناشی از فاضلاب‌های صنعتی، کشاورزی و شهری، برداشت آب به وسیله ایجاد سد، تخریب بستر رودخانه در اثر برداشت شن و ماسه و سیلاب است (Parmorad & Ghaderi, 2014; Heinrich et al., 2015; Talbot et al., 2018; Smith et al., 2019). فلزات سنگین آلاینده‌هایی خطرناک هستند که به دلیل سمیت، پایداری طولانی‌مدت، تجمع‌پذیری زیستی و بزرگ‌نمایی زیستی تهدیدی جدی در زنجیره غذایی هستند و علاوه بر تخریب اکوسیستم با مصرف آبیان به انسان نیز منتقل خواهند شد (Cogun et al., 2006; Tekin et al., 2007; Agah et al., 2009; Eslamian, 2010; Choon & Hyun, 2012). بخشی از فلزات سنگین پس از ورود به محیط‌های آبی به صورت محلول در می‌آیند، مقداری از این فلزات نیز توسط پیوندهای سست سولفیدی و یا آلی به ذرات معلق متصل می‌شوند؛ ذرات معلق حاوی فلزات سنگین در صورت ته‌نشین شدن به بستر می‌رسند و به مرور در رسوبات تجمع پیدا می‌کنند (Pote et al., 2008). در نتیجه، رسوبات می‌توانند به‌عنوان یک شاخص مناسب از آلودگی‌ها و تأثیرات سمی آنها در نظر گرفته شوند (Vosough et al., 2016; Shaddel et al., 2019). فلزات سنگین به‌طور طبیعی در غلظت‌های کم در محیط‌های آبی وجود دارند، ولی فعالیت و مداخله‌های انسانی باعث افزایش این فلزات در محیط‌زیست جانداران آبی و رسوبات شده است (Choon and Hyun., 2012; Moghadam et al., 2013). این رو موجوداتی که وابسته به رسوبات هستند، نسبت به جاندارانی که در ستون آب زندگی می‌کنند، با خطر

زیستی بیشتری روبه‌رو هستند.

میزان آلودگی محیط‌های آبی به آلاینده‌ها را می‌توان با بررسی شاخص‌های کیفی آب، رسوبات و موجودات آبی تعیین کرد (Hamed and Emara, 2006; Veerasingam et al., 2011). شاخص‌های زیستی، شامل فرآیندهای بیولوژیک، گونه یا اجتماعات هستند و برای ارزیابی کیفیت محیط‌زیست و درک چگونگی تغییر محیط زیست در طول زمان استفاده می‌شوند (Rezaei Tavabe et al., 2008). امروزه موجودات بسیاری به‌عنوان شاخص زیستی در محیط‌های آبی استفاده می‌شوند (Malek et al., 2014). شاخص‌های زیستی می‌توانند محققان را از بروز آلودگی‌ها یا مدت ماندگاری آلاینده‌ها در محیط آگاه کنند، در حالی که برخی از آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی نمی‌توانند چنین اطلاعات روشنی را عرضه کنند. بی‌مهرگان بزرگ کفزی، شاخص‌های زیستی مناسبی برای ارزیابی زیستگاه‌های دریایی و آب شیرین هستند (Malek, 2001; Rezaei Tavabe et al., 2008; Khaleghzadeh et al., 2011; Golestaninasab et al., 2014; Rezaei Tavabe & Samadi Kuchaksaraei, 2019). زیرا این موجودات، نسبت به برخی فاکتورهای زیستی و غیر زیستی واکنش نشان می‌دهند (Ali & Fishar, 2005; Agbozu et al., 2007) و به‌دلیل ارتباط نزدیک با رسوبات، می‌توانند فلزات را از رسوبات آلوده جذب کنند. شاخص‌های زیستی نمادهای عددی هستند که مقادیر کمی تنوع گونه‌ای را با اطلاعات کیفی در مورد حساسیت‌های اکولوژیکی هر تاکسون در بین دیگران، ترکیب می‌کنند (Czeniawska-Kusza, 2005). بر اساس نظر Gelber (۱۹۹۸)، هدف شاخص‌های زیستی یا سیستم امتیازدهی، ارزیابی کیفیت بیولوژیک آب‌های جاری است و اساس کار آنها بر جمعیت تاکسون‌های حساس با افزایش آلودگی است. شاخص ارزش زیستی (Z)، یکی از شاخص‌های زیستی است که با استفاده از اطلاعات بزرگ‌بی‌مهرگان آبی؛ قادر به تعیین و تفسیر وضعیت زیستی و طبقه کیفی محیط زیست آنها با کمک محاسبات مصوب است (Baur, 1980).

## ۲. مواد و روش‌ها

### ۲.۱. منطقه مورد مطالعه

رودخانه کرج در دامنه جنوبی البرز مرکزی به عنوان رودخانه حفاظت شده تحت حفاظت سازمان حفاظت محیط زیست قرار دارد. سرشاخه‌های آن از کوه خرسنگ سرچشمه می‌گیرند و با دریافت آب از شاخه‌های مختلف، با امتداد شمال به جنوب، به مخزن سد کرج وارد می‌شود. ۲۲/۳ درصد از حوزه این رودخانه متعلق به شاخه‌های فصلی است و رژیم کلی هیدرولوژیک آن در طبقه‌بندی برفی-بارانی قرار دارد.

### ۲.۲. زمان‌بندی و اجرای نمونه‌برداری

این مطالعه از نوع تحقیق آزمایشگاهی و میدانی بود که به مدت یک سال از دی‌ماه ۱۳۹۶ لغایت تیرماه ۱۳۹۷ روی رودخانه کرج و در یک مسافت حدود ۷۵ کیلومتر انجام شد. موقعیت رودخانه در محدوده مورد مطالعه با استفاده از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ در سامانه اطلاعات جغرافیایی به منظور تعیین ایستگاه‌های مناسب پردازش شد. پس از بررسی نقشه‌ها و بازدیدهای میدانی، به جهت بررسی امکان نمونه‌برداری، ورود آلاینده‌های نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای و وضعیت سرشاخه‌های فرعی به رودخانه، موقعیت ایستگاه‌ها بر اساس اصول لیمولوژیک انتخاب گردید. ۷ ایستگاه بر اساس شرایط ویژه رودخانه (طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا، عوامل طبیعی و مصنوعی) و توپوگرافی منطقه انتخاب شدند (شکل ۱ و جدول ۱).

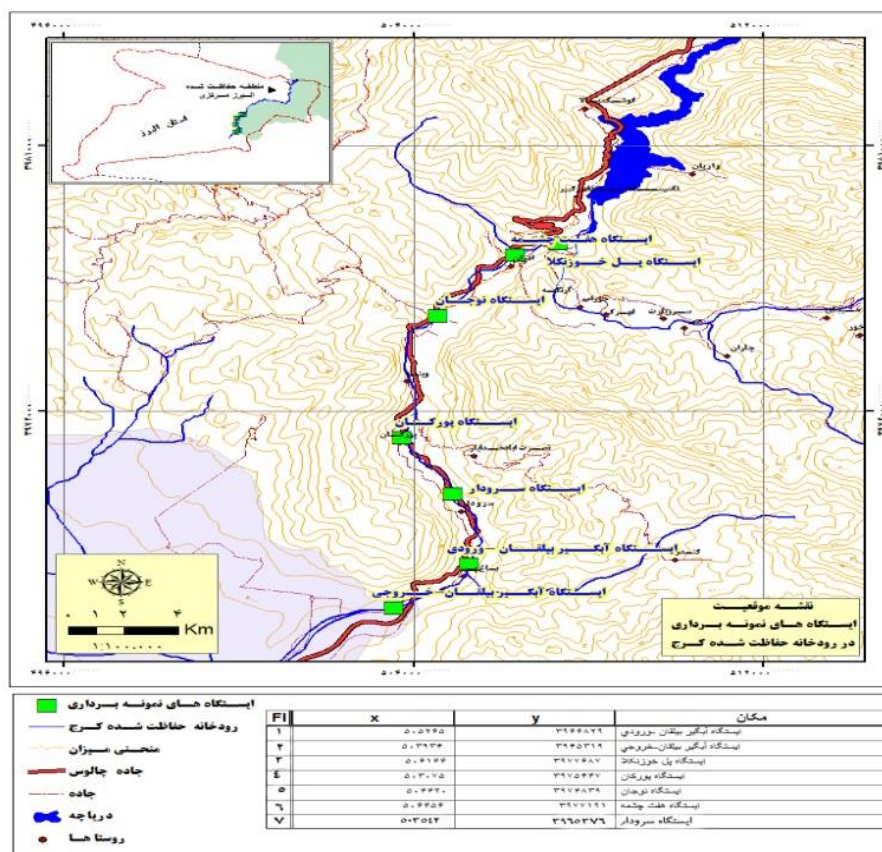
نمونه‌برداری از آب و رسوب در ایستگاه‌ها در طول رودخانه، مطابق با دستورالعمل RBPs برای آب‌های جاری و سطحی ارائه شده توسط EPA آمریکا (۲۰۰۶) و با توجه به خصوصیات بستر و نیز محل سرشاخه‌های ورودی رودخانه و قرارگیری باغات، مزارع، مناطق مسکونی و کارگاه‌ها انجام شد. نمونه‌برداری از رسوبات به عمق (۲ تا ۱۰ سانتی‌متری بستر)، به میزان ۱۰۰ گرم از هر ایستگاه

در پژوهش‌های زیادی به بررسی فلزات سنگین در رودخانه و منابع آب (Eghbali shamsabad *et al.*, 2010; Manoj *et al.*, 2012; Wang *et al.*, 2013; Babapour Mofrad *et al.*, 2013; Pirsahab *et al.*, 2013; Yarimoghadam *et al.*, 2014)، بررسی فلزات سنگین در رسوبات رودخانه‌ای (Corbi *et al.*, 2011; Paslarzadeh & Alipour, 2013; Venkatramanan *et al.*, 2014; Mirzaei & Solgi, 2016; Pandey & Singh, 2017) و ارزیابی کیفیت رودخانه بر اساس موجودات ماکروبنیتیک با استفاده از شاخص‌های زیستی انجام پرداخته شده است (Fereidouni Velashjerdi, 2009; Loayza-Muro *et al.*, 2010; Malaj *et al.*, 2012; Yazdanpanah Goharrizi, 2013; Mollazadeh, 2014; Rezaei Tavabe *et al.*, 2016; Nambatingar *et al.*, 2017; Mousavi Rineh & Pouebrahim, 2019).

رودخانه کرج به‌عنوان یکی از پرآب‌ترین رودخانه‌های دامنه جنوبی البرز و به‌عنوان یک رودخانه حفاظت شده، تأمین‌کننده آب بسیاری از نواحی استان‌های تهران و البرز است. با توجه به نقش ویژه این رودخانه در تأمین آب شرب منطقه و همچنین جذب گردشگر و با توجه به غنای جانوری وابسته به ماکروبنیتوز خصوصاً قزل‌آلای خال قرمز و قزل‌آلای رنگین‌کمان، این رودخانه از عوامل تهدیدکننده منابع آب در امان نیست. مهم‌ترین خطرات شامل منابع آلاینده در بستر و حریم رودخانه، عدم وجود قوانین و مقررات جامع و کافی برای حفظ حریم و بستر و کیفیت آب رودخانه، خلأ در اجرای قوانین موجود، بی‌انگیزگی مردم بومی و محلی در حفظ کاربری اراضی کشاورزی و باغات خود در حوضه رودخانه کرج است (Mousavi Rineh & Pouebrahim, 2019). لذا، در پژوهش حاضر کیفیت آب این رودخانه در دو فصل گرم و سرد سال بر اساس بررسی تغییرات غلظت فلزات سنگین کادمیوم، کروم، روی در آب و رسوب و تغییرات ارزش زیستی (Z) بر اساس اجتماعات بزرگ‌بی‌مهرگان کفزی مورد بررسی گرفت.

پرکلریک) صورت گرفت و پس از تغلیظ نمونه ها با روش استاندارد USEPA، عناصر مورد نظر، نمونه رسوب در محدوده (ppm) بر حسب میلی گرم در کیلوگرم با دستگاه ICP اندازه گیری شد (USEPA, 2004).

توسط بیلچه با سه تکرار انجام شد. ظروف نمونه به آزمایشگاه منتقل و در مرحله خشک کردن رسوب، هضم شیمیایی به روش مرطوب و مخلوط سه اسید (اسید سولفوریک، اسید نیتریک و اسید



شکل ۱- نقشه رودخانه کرج و جانمایی ایستگاه‌های تعیین شده بر اساس نقاط منابع آلاینده در طول رودخانه.

جدول ۱- موقعیت ایستگاه‌های نمونه برداری در منطقه مورد مطالعه

ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا
۱	خوزنکلا	۳۵ ۹۴' ۵۷"	۵۱ ۱' ۵۲"	۱۶۰۸
۲	هفت چشمه	۳۵ ۵۶' ۲۰"	۵۱ ۴' ۱۸"	۱۵۹۴
۳	سرودار	۳۵ ۳۷' ۶"	۵۰ ۳۵' ۴۲"	۱۵۸۶
۴	نوجان	۳۵ ۵۵' ۲۳"	۵۱ ۳' ۶"	۱۵۰۴
۵	پورکان	۳۵ ۵۳' ۶"	۵۵ ۲' ۲۷"	۱۴۹۴
۶	بیلقان ورودی	۳۵ ۶۸' ۲۹"	۵۰ ۵۲' ۶۵"	۱۴۳۲
۷	بیلقان خروجی	۳۵ ۴۹' ۳۷"	۵۱ ۱' ۴۲"	۱۳۵۶

ماکروبتوز، به طور ماهانه با دستگاه Surber Sampler با ابعاد ۳۰ در ۳۰ سانتی متر با چشمه ۵۰۰ میکرون انجام شد. نمونه‌ها پس از رنگ آمیزی با رز بنگال ۱ گرم بر لیتر، با فرمالین ۴ درصد فیکس شد و برای شناسایی به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه‌ها در آزمایشگاه با الک ۴۰۰ میکرون از ظرف نمونه جدا و در پلیت قرار داده شدند. جداسازی گروهی زیر استریومیکروسکوپ انجام شد. پس از جداسازی، گروه‌ها توسط لوپ با بزرگنمایی ۴x، با کلید شناسایی بی‌مهرگان رودخانه‌ای (Pennak, 1978; Maccafferty & Provonsha, 1981; Ahmadi & Nafisi, 2001). شناسایی و شمارش شدند.

### ۲.۳. ارزیابی زیستی رودخانه

ارزیابی زیستی رودخانه و ارزیابی شاخص زیستی رودخانه طبق رابطه ۱ (Baur, 1980) محاسبه شد. در این رابطه: Z نشانگر وضعیت زیستی،  $\Sigma h$  مجموع فراوانی،  $\Sigma O$  مجموع موجودات الیگوساپروب،  $\Sigma \beta$  مجموع موجودات بتامزوساپروب،  $\Sigma \alpha$  مجموع موجودات آلفامزوساپروب، و  $\Sigma P$  مجموع موجودات پلی‌ساپروب است. ارزیابی کیفیت رودخانه مطابق با جدول ۲ انجام گرفت.

$$Z = \frac{\Sigma O + 2\Sigma \beta + 3\Sigma \alpha + 4\Sigma P}{\Sigma h} \quad \text{رابطه ۱}$$

جدول ۲- طبقه‌بندی کیفی آب بر اساس وضعیت زیستی به روش بوئر (۱۹۸۰)

وضعیت زیستی	طبقه کیفی	میزان آلودگی
۱-۱/۵	I=Oligosaprobty	ناحیه الیگوساپروب با آلودگی کم
۱/۲-۵/۵	II=β-Mesosaprobty	ناحیه بتامزوساپروب با آلودگی متوسط
۲/۳-۵/۵	III=α-Mesosaprobty	ناحیه آلفامزوساپروب با آلودگی شدید
۳/۴-۵	VI=Obypolysapr	ناحیه پلی‌ساپروب با شدیدترین میزان آلودگی

مقایسه میانگین‌های عناصر در فصول و ایستگاه‌های مختلف با استفاده از آنالیز تجزیه واریانس یک طرفه One-way ANOVA و آزمون توکی انجام شد.

نمونه‌های آب نیز توسط بطری‌های پلی‌اتیلنی که از قبل در پودر دترجنت شست‌وشو داده شدند، از سه نقطه مورد نظر از عمق رودخانه (۰/۲ و ۰/۸) برداشت شد و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به آزمایشگاه منتقل شد. نمونه‌ها پس از فیلتراسیون و افزودن ۳ میلی‌لیتر اسید سولفوریک به ۱۰۰ میلی‌لیتر حجم نمونه آب (جهت تثبیت فلزات در نمونه‌های آب)، بسته‌بندی و به آزمایشگاه منتقل شدند. جهت تعیین مقدار فلزات سنگین در نمونه آب در محدوده (ppb) بر حسب میلی‌گرم در لیتر و از روش ICP (از نوع TERMO، مدل ICP6000) استفاده شد. هضم نمونه‌های آب با روش‌های استاندارد گزارش شده در EPA (۲۰۰۶) انجام شد. نمونه‌های آب همگن انتقال داده شده به آزمایشگاه، صاف شد و ۱۰۰ میلی‌لیتر از آن به ارلن ۱۲۵ میلی‌لیتری منتقل شد، ۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۶۵ درصد و چند دانه سنگ جوش به آن اضافه و به آرامی حرارت داده شد. عمل حرارت دادن تا رسیدن به کمترین حجم ممکن (در حدود ۱۰ تا ۲۰ میلی‌لیتر) قبل از ایجاد رسوب ادامه یافت و تا زمان کامل شدن عمل هضم (تشکیل محلول صاف و روشن)، بر حسب ضرورت اسیدنیتریک اضافه و حرارت داده شد. نمونه، صاف شد و به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. محلول فوق برای آنالیز با دستگاه جذب اتمی آماده شد. نمونه‌برداری از

### ۲.۴. تجزیه و تحلیل داده‌ها

قبل از انجام تجزیه واریانس، نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون Wilk-Shapiro بررسی شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شده و

## ۳. نتایج

## ۳.۱. نتایج مربوط به آنالیز غلظت فلزات کادمیوم،

## کروم و روی در آب و رسوب

جداول ۳ و ۴، غلظت فلزات سنگین را در نمونه آب رودخانه کرج بر حسب (ppb) میلی گرم بر لیتر، و در نمونه برداری رسوبات بر حسب (ppm) میلی گرم بر کیلوگرم نشان می دهند.

## ۳.۲. غلظت فلز سنگین کادمیوم

بیشترین غلظت سنجش شده در فلز کادمیوم، در نمونه آب و رسوب در دی ماه دارای حداقل و حداکثر میانگین به ترتیب (۹۶/۱۶-۱۱/۱۷) میلی گرم در لیتر و (۴/۸-۳۶/۳۳) میلی گرم در کیلو گرم بود. این مقدار در تیرماه نیز به ترتیب در نمونه آب و رسوب، (۵/۸-۰۳/۶۶) و (۱۶/۲۵-۴/۳) به دست آمد. در دی ماه در نمونه آب (جدول ۳)، از بالادست به سمت پایین دست، روند افزایشی غلظت معنادار بود ( $P \leq 0/05$ ). در نمونه رسوب نیز از ایستگاه های بالادست به پایین دست افزایش معنادار میزان غلظت این فلز مشاهده شد (جدول ۴). در تیرماه در نمونه آب، غلظت کادمیوم اختلاف معناداری را بین ایستگاه ها نشان داد. در تمام ایستگاه ها به شکل دو به دو ایستگاه های بالادست غلظت کمتری نسبت به دو ایستگاه بعد، یعنی میان دست رودخانه داشت (جدول ۳). در ایستگاه پایین دست بیلقان ورودی، اختلاف، معنادار نبود و غلظت مشابهی نسبت به ایستگاه پورکان و بیلقان خروجی داشت. در نمونه رسوب، نتایج حاکی افزایش غلظت فلز کادمیوم از بالادست به سمت ایستگاه های پایین دست بود؛ اما این روند افزایشی، در برخی از ایستگاه ها بدون اختلاف معنادار بود. سه ایستگاه با غلظت مشابه، شامل هفت چشمه، سرودار و نوجان بود. اما در کل میزان غلظت از بالا دست به پایین دست دارای اختلاف معنادار بود ( $P \leq 0/05$ ) (جدول ۴).

## ۳.۳. غلظت فلز سنگین کروم

میانگین غلظت سنجش شده برای فلز سنگین کروم در دی ماه از ایستگاه های بالادست تا پایین دست در نمونه آب و رسوب به ترتیب (۵۳/۹۳-۱۰/۱۶) و (۳۰/۴۳-۷۶/۷۶) بود و در تیرماه به ترتیب در نمونه آب (۱۶/۲۵-۸/۷) و رسوب (۴۶-۴۲/۵۶) به میزان حداقل و حداکثر رسید. در دی ماه در نمونه آب، از ایستگاه های بالادست به پایین دست، تغییرات غلظت افزایشی بود و اختلاف معنادار مشاهده شد (جدول ۳). در خروجی ایستگاه های خوزنکلا و بیلقان، غلظت فلز سنگین کروم غلظت بیشتری را به طور معنادار داشته اند ( $P \leq 0/05$ ). در نمونه رسوب، ایستگاه ها اختلاف غلظت کمی داشتند (جدول ۴). از ایستگاه اول خوزنکلا تا ایستگاه های میان دست اختلاف غلظت روند افزایشی اما با میزان کمتر داشت، اختلاف غلظت معنادار بین ایستگاه اول و آخر مشاهده شد ( $P \leq 0/05$ ). در تیرماه در نمونه آب، میزان غلظت فلز کروم روند افزایشی را از بالادست به سمت پایین دست نشان داد (جدول ۳)؛ اختلاف معنادار در دو ایستگاه اول خوزنکلا و آخرین ایستگاه بیلقان در خروجی بیشتر مشاهده شد ( $p \leq 0/05$ ). در نمونه رسوب، غلظت فلز کروم همین روند را مانند سایر ایستگاه ها طی کرد (جدول ۴)؛ اختلاف غلظت در میان ایستگاه ها کم بود، اما این اختلاف معنادار بوده است ( $P \leq 0/05$ ).

## ۳.۴. غلظت فلز سنگین روی

میزان میانگین غلظت سنجش شده برای فلز سنگین روی در دی ماه از ایستگاه های بالادست تا پایین دست در نمونه آب و رسوب به ترتیب (۱۹/۸-۱۲/۴) و (۵۰/۴۶-۶۳/۸) بود. در تیرماه نیز به همان ترتیب در نمونه آب و رسوب (۴/۳۳-۱۵/۲۶) و (۶۶/۶-۸۲/۱۶) به میزان حداقل و حداکثر به دست آمد. در دی ماه در نمونه آب، غلظت روی در سه ایستگاه بالادست غلظت کمتری از دیگر ایستگاه ها داشت و در سه ایستگاه بعد از میان دست تا پایین دست به غیر از بیلقان در خروجی، روند افزایشی را نسبت به ایستگاه های

بود (جدول ۴). در تیر ماه در نمونه آب (جدول ۳)، در ایستگاه‌ها اختلاف معناداری از بالادست تا پایین دست رودخانه به‌طور مشخص مشاهده شد ( $P \leq 0/05$ ). در نمونه رسوب نیز اختلاف غلظت معنادار بود (جدول ۴).

بالادست نشان داد (جدول ۳) که نشان‌دهنده اختلاف معنادار در طول ایستگاه‌های رودخانه بود ( $P \leq 0/05$ ). در نمونه رسوب، در سه ایستگاه ابتدایی و بالادست، اختلاف غلظت معنادار نبود و در چهار ایستگاه بعدی غلظت نسبت به بالادست افزایش داشت و این اختلاف معنادار

جدول ۳- میانگین ( $\pm$  انحراف معیار) فلزات سنگین کادمیوم کروم و روی در نمونه‌های آب به ترتیب در دی‌ماه و تیرماه در ایستگاه‌های مختلف مطالعاتی.

ردیف	نام ایستگاه	نمونه آب Cd±Sd		نمونه آب Cr±Sd		نمونه آب Zn±Sd	
		تیرماه	دی‌ماه	تیرماه	دی‌ماه	تیرماه	دی‌ماه
۱	خوزنگلا	۵/۰ ± ۰/۳/۳ <sup>a</sup>	۴/۰ ± ۳۶/۴۱ <sup>a</sup>	۱ ± ۸/۱۶/۴۹ <sup>a</sup>	۱۰/۱۱ ± ۵۳/۳۵ <sup>a</sup>	۲ ± ۴/۱۵/۳۵ <sup>a</sup>	۱۲/۰ ± ۴/۴۵ <sup>a</sup>
۲	هفت چشمه	۰ ± ۱۳/۵/۴ <sup>a</sup>	۴/۰ ± ۴۳/۷۶ <sup>a</sup>	۱۶/۰ ± ۸/۸ <sup>a</sup>	۱۱/۱ ± ۸۶/۴۵ <sup>ab</sup>	۴ ± ۱۶/۱۶/۳ <sup>ab</sup>	۱۳/۱ ± ۲/۶۵ <sup>a</sup>
۳	سرودار	۰ ± ۱۶/۶/۶ <sup>b</sup>	۵/۰ ± ۰/۶/۰۵۷ <sup>ab</sup>	۰ ± ۴/۱۷/۶۵ <sup>a</sup>	۱۲/۱ ± ۹۳/۱۶ <sup>bc</sup>	۴ ± ۱۶/۱۸/۱ <sup>ab</sup>	۱۴/۱ ± ۰/۳/۲۲ <sup>ab</sup>
۴	نوجان	۰ ± ۲۳/۷/۳ <sup>c</sup>	۵/۰ ± ۹۳/۳۲ <sup>b</sup>	۱ ± ۳/۲۲/۹ <sup>b</sup>	۱۴/۰ ± ۲۳/۶۳ <sup>cd</sup>	۱ ± ۴/۱۹/۹ <sup>ab</sup>	۱۷/۱ ± ۱۶/۶ <sup>bc</sup>
۵	پورکان	۰ ± ۹۳/۷/۲ <sup>d</sup>	۵/۰ ± ۹۳/۸ <sup>b</sup>	۰ ± ۵/۲۲/۸۱ <sup>b</sup>	۱۵/۰ ± ۲۶/۳۷ <sup>de</sup>	۵ ± ۱۶/۲۲/۳ <sup>bc</sup>	۱۷/۳ ± ۱۶/۶۲ <sup>bc</sup>
۶	بیلقان ورودی	۰ ± ۴۳/۸/۱ <sup>de</sup>	۷/۰ ± ۶/۶ <sup>c</sup>	۲ ± ۷/۲۲/۳ <sup>b</sup>	۱۵/۰ ± ۸۶/۶ <sup>de</sup>	۳ ± ۵۶/۲۲/۹ <sup>bc</sup>	۱۸/۳ ± ۶/۷۲ <sup>bc</sup>
۷	بیلقان خروجی	۰ ± ۶۶/۸/۳ <sup>e</sup>	۸/۰ ± ۳۳/۷۳ <sup>c</sup>	۰ ± ۷/۲۵/۹۶ <sup>c</sup>	۱۶/۰ ± ۹۳/۵۷ <sup>e</sup>	۱ ± ۳۳/۲۶/۹ <sup>c</sup>	۱۹/۳ ± ۸/۱۷ <sup>c</sup>

جدول ۴- میانگین ( $\pm$  انحراف معیار) فلزات سنگین کادمیوم، کروم و روی در نمونه‌های رسوب به ترتیب در دی‌ماه و تیرماه در ایستگاه‌های مختلف مطالعاتی.

ردیف	نام ایستگاه	نمونه رسوب Cd±Sd		نمونه رسوب Cr±Sd		نمونه رسوب Zn±Sd	
		تیرماه	دی‌ماه	تیرماه	دی‌ماه	تیرماه	دی‌ماه
۱	خوزنگلا	۱۶/۱ ± ۴/۲۷ <sup>a</sup>	۱۱/۹۶ ± ۰/۱۶ <sup>a</sup>	۴۲/۲ ± ۴۶/۸۳ <sup>a</sup>	۳۰/۷۶ ± ۱/۲۵ <sup>a</sup>	۶۶/۴ ± ۶/۹۷ <sup>a</sup>	۵۰/۴۶ ± ۵/۵۱ <sup>a</sup>
۲	هفت چشمه	± ۸۶/۱۹ ۱/۸۷ <sup>bc</sup>	۱۲/۲۷ ± ۰/۵۶ <sup>a</sup>	۴۲/۳ ± ۷/۵ <sup>a</sup>	۳۲/۷۴ ± ۱/۲۵ <sup>a</sup>	۶۷/۳ ± ۰/۳/۳۳ <sup>a</sup>	۵۱ ± ۲/۳۶ <sup>a</sup>
۳	سرودار	۲۰/۱ ± ۹/۱۱ <sup>bc</sup>	۱۳/۸۳ ± ۰/۸۵ <sup>b</sup>	± ۵۶/۴۷ ۰/۵۸ <sup>b</sup>	۳۶/۵۳ ± ۰/۸۵ <sup>b</sup>	۷۰/۲ ± ۵۶/۰۵ <sup>ab</sup>	۵۴/۲۶ ± ۰/۷۲ <sup>a</sup>
۴	نوجان	۲۰/۱ ± ۵۶/۷ <sup>bc</sup>	۱۴/۶۳ ± ۰/۱۱ <sup>b</sup>	۵۱/۱ ± ۱/۸۳ <sup>c</sup>	۳۶/۵۳ ± ۰/۸۹ <sup>b</sup>	۷۴/۳ ± ۲۳/۲۳ <sup>bc</sup>	۶۰/۵۳ ± ۰/۹۲ <sup>b</sup>
۵	پورکان	۲۲/۰ ± ۷۶/۹۴ <sup>cd</sup>	۱۶/۴ ± ۰/۴۵ <sup>c</sup>	۵۲/۱ ± ۰/۳/۵۸ <sup>cd</sup>	۳۸/۰۳ ± ۱/۸ <sup>bc</sup>	۷۱/۲ ± ۶/۲۴ <sup>bc</sup>	۶۱ ± ۱/۵۵ <sup>b</sup>
۶	بیلقان ورودی	۲۴/۱ ± ۳۶/۴۲ <sup>de</sup>	۱۶/۹۶ ± ۰/۳ <sup>c</sup>	۵۵/۰ ± ۴۶/۸۷ <sup>de</sup>	۳۹/۲۶ ± ۱/۰۷ <sup>bc</sup>	۷۷/۱ ± ۷/۰۴ <sup>cd</sup>	۶۲/۵۳ ± ۲/۱۲ <sup>b</sup>
۷	بیلقان خروجی	۲۵/۰ ± ۳/۷ <sup>e</sup>	۱۷/۱۶ ± ۰/۵۷ <sup>c</sup>	۰ ± ۵۶/۶۲ <sup>e</sup>	۴۳/۷۶ ± ۱/۲۸ <sup>c</sup>	۸۲/۵ ± ۱۶/۳۱ <sup>d</sup>	۶۳/۸ ± ۴/۰۲ <sup>b</sup>

پایین دست در خروجی بیلقان داشت. در سایر ایستگاه‌ها میزان غلظت در سه ایستگاه ابتدایی کمتر از سه ایستگاه بعدی و ایستگاه آخر بیشتر از بقیه ایستگاه‌ها با اختلاف معنادار بود ( $P \leq 0/05$ ). در دی ماه از بالادست رودخانه تا ایستگاه‌های پایین دست یک روند صعودی مشاهده شد.

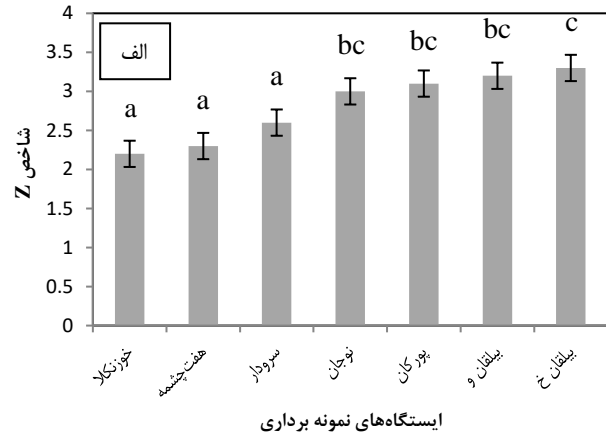
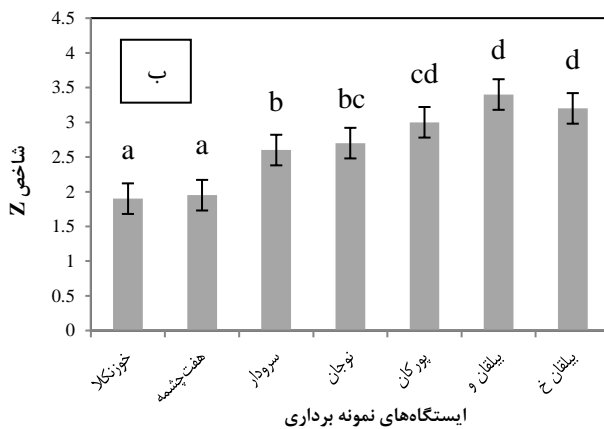
### ۳.۵. نتایج مربوط به آنالیز تغییرات شاخص زیستی Z

بر اساس نتایج به دست آمده، در تیر ماه، از ایستگاه‌های بالادست به سمت پایین رودخانه، میزان شاخص Z روند افزایشی داشت و در ایستگاه‌های بالادست که خوزنگلا است، اختلاف معناداری با ایستگاه‌های



۲) که بر اساس آزمون یک طرفه ANOVA این تغییرات معنادار بودند ( $P \leq 0/05$ ).

در ایستگاه‌های اول کاهش میزان این تغییرات نسبت به ایستگاه‌های میان دست و پایین دست مشاهده شد (شکل



شکل ۲- تغییرات میانگین (میانگین  $\pm$  sd) میزان تغییرات ارزش زیستی Z در ایستگاه‌های نمونه برداری در الف) تیرماه؛ ب) دی ماه.

#### ۴. بحث و نتیجه گیری

پژوهش حاضر، با هدف ارزیابی کیفیت آب رودخانه کرج به عنوان یکی از پرآب ترین و پرکاربردترین رودخانه‌های دامنه جنوبی البرز با استفاده از مطالعه تغییرات غلظت فلزات سنگین کادمیوم، کروم و روی در آب و رسوب و محاسبه شاخص ارزش زیستی Z بر اساس اجتماعات بزرگ بی مهرگان کفزی رودخانه انجام شد. غلظت عناصر سنگین کادمیوم، کروم و روی در نمونه آب و رسوب رودخانه کرج در تمامی ایستگاه‌ها از بالادست رودخانه به پایین دست رودخانه روند افزایشی را نشان داد و اختلاف معناداری در ایستگاه‌های نمونه برداری مشاهده شد. این میزان افزایش آلودگی، در شاخص زیستی نیز مشاهده شده است.

با توجه به صنعتی شدن سریع و توسعه اقتصادی، فلزات سنگین از منابع مختلف به آب و رسوب نفوذ می کنند (Banata et al., 2005). بررسی آلودگی آب و رسوبات رودخانه‌ای به فلزات سنگین، از طرف پژوهشگران مورد توجه قرار گرفته است (Corbi et al., 2011). دلایل آلودگی به فلزات سنگین، شامل انتقال آب از سرشاخه‌های

#### ۳.۶. نتایج کیفی رودخانه بر اساس ارزش زیستی (Z)

میزان میانگین شاخص زیستی در نمونه برداری از ایستگاه بالادست به پایین دست در فصل پر باران سال به ترتیب (۹/۲۳-۱/۳) و در فصل کم باران و خشک سال (۲/۳-۱۶/۳) به دست آمد. بررسی ایستگاه‌های نمونه برداری نشان داد بیشترین مقادیر شاخص، هم در دی ماه و هم در تیرماه مربوط به ایستگاه‌های پایین دست بود. این روند در بیشترین مقدار شاخص در تیرماه از بالادست به پایین دست (۳/۳-۲/۱۶) بود و در دی ماه این میزان از بالادست به پایین دست (۹/۲۳-۱/۳)، با اختلاف جزئی از یکدیگر به دست آمدند. بر اساس جدول بوئر (جدول ۲) می توان نتیجه گرفت که آب در تیر ماه و دی ماه در ایستگاه ۱ دارای شاخص ۲/۵-۱/۵، و در طبقه کیفی ناحیه بتامزو ساپروب با آلودگی متوسط قرار دارد و طبقه کیفی آب در ایستگاه ۷ دارای شاخص بین ۵/۵-۲/۳، و در ناحیه آلفامزوساپروب با آلودگی شدید قرار دارد. از نظر زیستی طبق جدول ۲، آب رودخانه کرج را می توان جزو طبقه کیفی II و III قرار داد.

رودخانه به فلزات سنگین روی و کروم توجه ویژه شود. نتایج این تحقیق نشان داد که بر اساس شاخص ارزش زیستی (Z)، می‌توان آب رودخانه کرج را جزو طبقه کیفی II و III طبقه‌بندی کرد. استفاده از شاخص‌های زیستی برای ارزیابی رسوبات رودخانه‌ای همواره نقش مهمی در برآورد کیفیت رودخانه داشته است (Fereidouni Velashjerdi, 2009; Malaj *et al.*, 2012; Wang *et al.*, 2013; Mousavi Rineh & Pourebrahim, 2019). از آنجا که مطابق مطالعات پیشین، بسیاری از کفزیان بزرگ، مواد غذایی را از رسوبات به‌دست آورده سبب انتقال آلاینده‌ها در زنجیره غذایی می‌شوند (Takarina *et al.*, 2008; Takarina & Adiwibowo, 2011) و همچنین، میزان فلزات سنگین با الگوی تراکم و پراکنش کفزیان در مناطق رودخانه‌ای مشابهت و هماهنگی دارد (Takarina & Adiwibowo, 2011) و در نهایت بنا بر نتایج پژوهش‌های مختلف، موجودات ماکروبتیک به‌دلیل تحرک کم، بیومارکرهای مناسبی برای مطالعه تأثیر آلاینده‌ها هستند (Shapoori *et al.*, 2015)، می‌توان حساسیت بیولوژیک را یک خصیصه امیدبخش به‌عنوان مبنای ارزیابی ریسک تعیین کرد که قادر است برای شناخت اثرات آلودگی فلزات سنگین در اکوسیستم‌های آبی به‌کار رود (Malaj *et al.*, 2012). نتایج پژوهش حاضر نیز مؤید این مطالب است. همچنین پیش از این نیز پژوهشگرانی جهت ارزیابی کیفی رودخانه، از جمعیت ماکروبتوز و شاخص ارزش زیستی Z با روش بوئر استفاده کرده و آن‌را روشی مناسب و مطمئن جهت شناخت وضعیت رودخانه برای اهداف مختلف ذکر کرده‌اند (Khosravani *et al.*, 2014; Salarzadeh & Rahimibashar *et al.*, 2015; Khosravani, 2015) که بر نتایج این مطالعه صحت می‌گذارند.

در تحقیقات Mousave Rineh و Pourebrahim (۲۰۱۷)، Shokripour و Ashja Ardalan (۲۰۱۷)، به کیفیت مناسب آب رودخانه کرج اشاره شده است و طبقه‌بندی آن بر اساس شاخص زیستی انجام شده است. در این تحقیقات، ارزیابی بر اساس شاخص‌هایی همچون

رودخانه و برگشت زهاب‌های کشاورزی، صنعتی و مصارف شهری است (Babapour Mofrad *et al.*, 2013; Pandey *et al.*, 2015; Shapoori *et al.*, 2015; Nambatingar *et al.*, 2017). همچنین تخلیه‌های ناگهانی در طول سال از سوی صنایع بالادستی و افزایش میزان استفاده از کودهای شیمیایی و مزارع پرورش ماهی غیر مجاز، از عوامل آلودگی مقطعی هستند (Babapour Mofrad *et al.*, 2013).

در رودخانه کرج، ایستگاه‌های پایین‌دست که متأثر از نشت و نفوذ فاضلاب‌های مسکونی و مراکز تفریحی اطراف هستند، وضعیت نامطلوبی دارند. از طرف دیگر در این تحقیق، همه فلزات مورد مطالعه، در همه ایستگاه‌ها هم در نمونه آب و هم در نمونه رسوب در تیرماه غلظت بیشتری نسبت به دی‌ماه داشتند (جدول‌های ۳ و ۴). کاهش غلظت فلزات سنگین در فصل سرد در تحقیقات پیشین نیز تأیید شده است، که از آن جمله می‌توان به کاهش غلظت کروم در پاییز (Eghbali Shamsabad *et al.*, 2010) و افزایش غلظت کادمیوم در تابستان در رودخانه کارون و دز (Babapour Mofrad *et al.*, 2013) اشاره کرد. فعالیت کم‌تر واحدهای خدماتی و خالی از سکنه شدن روستاها در فصول سرد سال، از دلایل مناسب‌تر بودن کیفیت آب رودخانه کرج در این مقطع زمانی است. همچنین در این پژوهش، کمترین و بیشترین غلظت فلزات سنگین، به ترتیب مربوط به کادمیوم و روی بود. اما در مطالعاتی، غلظت کادمیوم در آب و رسوب رودخانه بیش از سایر فلزات سنگین محاسبه شده است (Manoj *et al.*, 2012; Paslarzadeh & Alipour, 2013; Mirzaei & Solgi, 2016). غلظت بالای کادمیوم به‌دلیل صنایع آبکاری و فعالیت‌های کشاورزی در ایستگاه‌های بالادست و وجود برخی مناطق صنعتی است (Mirzaei & Solgi, 2016). بنابراین با توجه به نتایج این تحقیق، این صنایع نقش چندانی در آلودگی رودخانه کرج به فلز کادمیوم ندارند. Takarina و Adiwibowo (۲۰۱۱) نیز نشان دادند که میزان فلزات سنگین روی و کروم در خلیج جاکارتا متأثر از صنایع آلوده‌کننده در بالادست بوده است، در رودخانه کرج نیز لازم است به صنایع آلوده‌کننده

فلزات سنگین در بالادست رودخانه کرج است. این رودخانه، در مسیر خود شاخه‌های متعددی دارد که شاخه‌های اصلی آن شامل ولایت‌رود، شهرستانک، نشنارود، مورود و سیرا است. همچنین مشخص شد که بار اصلی آلودگی ورودی به رودخانه، عمدتاً ناشی از مراکز جمعیتی واقع در حوضه آبریز و مربوط به نشت از طریق چاه‌های جاذب است؛ برخی از رستوران‌های حاشیه به‌صورت شبانه اقدام به تخلیه فاضلاب خود به رودخانه می‌نمایند. همچنین این آلودگی می‌تواند ناشی از منابع غیر کانون‌دار (نظیر اراضی کشاورزی) نیز باشد. با توجه به روند رو به رشد احداث مراکز تفریحی - خدماتی و اماکن مسکونی و ویلایی، و حضور روزافزون گردشگران در این محدوده، احتمال مواجهه با خطر جدی کاهش کیفیت آب وجود داشته و پیشگیری از این امر، مستلزم مدیریت صحیح و معقول از طریق نظارت بر ساخت و ساز و حضور گردشگران در منطقه است. با توجه به حساسیت رودخانه کرج، وجود سیستم پایش لحظه‌ای آنلاین می‌تواند در کنترل آلاینده‌ها و پایش وضعیت رودخانه بسیار مفید باشد.

از آنجا که تغییرات غلظت عناصر در رسوبات به تنهایی نمی‌تواند وجود یا عدم وجود آلودگی را نشان دهد و شاخص‌هایی برای برآورد آلودگی مورد نیاز است، در این پژوهش از شاخص‌های زیستی برای تعیین میزان آلودگی آب و رسوبات رودخانه استفاده شد. مطالعات ژئوشیمیایی رسوبات می‌تواند گام موثری برای یافتن منشأ رسوبات، الگوی پراکنش عناصر و ارزشیابی زیست‌محیطی وضعیت موجود در یک منطقه باشد. در صورت نبود دسترسی به امکانات لازم، می‌توان از مطالعات آماری و ضریب همبستگی برای منشأیابی عناصر سنگین در رسوبات استفاده کرد.

شاخص تنوع زیستی شانون‌وینر، شاخص EPT و شاخص زیستی هیلسنهوف انجام شده و شرایط ساپروبی آب از متوسط تا عالی طبقه‌بندی شد. علیرغم اینکه ارزیابی روش‌های فوق عمدتاً بر پایه تحمل زیستی ماکروبتوزها به آلاینده‌ها و تغییرات فیزیکوشیمیایی آب می‌باشد، اما این روش‌ها دارای تفاوت‌هایی هستند. روش EPT نسبت سه راسته Ephemeroptera، Plecoptera و Trichoptera با سایر راسته‌های کفزیان بوده و روش هیلسنهوف امتیاز دهی و کلاسه بندی ماکروبتوزها و سپس میانگین گیری آنها و روش شانون‌وینر مجموع قراوانی نسبی یک خانواده مشخص از ماکروبتوزها را نسبت به سایر ماکروبتوزها مورد ارزیابی قرار می‌دهد. در این تحقیق، شاخص ارزش زیستی Z در این رودخانه مورد استفاده قرار گرفت. علیرغم شباهت این روش به روش هیلسنهوف، تکیه این شاخص بر گروه خاصی از موجودات زنده (بزرگ‌بی‌مهرگان کفزی)، سبب تخصصی‌تر شدن آن نسبت به سایر شاخص‌های زیستی شده و درجه اطمینان بخشی نتایج حاصله را بیشتر خواهد کرد.

درباره مناسب بودن کیفیت آب رودخانه کرج بر اساس تحقیق حاضر، قابل ذکر است که آلاینده‌ها وابستگی بالایی به ذرات ریز، آلی و معدنی تحت فرایندهای مختلف بیوگرافی و شیمیایی دارند. این مواد تمایل دارند در مناطقی از انرژی کم هیدرودینامیک که در آن مواد به‌طور خاص در جریان‌اند، انباشته شوند. در مناطق با انرژی بیشتر، آلاینده‌ها با رسوبات سنگین‌تر رقیق شده و غلظت کاهش می‌یابد (Venkatramanan et al., 2014). بنابراین جریان تند آب رودخانه در کیفیت آن تأثیرگذار است. بنابراین در ایستگاه‌های بالادست، به دلیل ارتفاع بیشتر و سرعت بیشتر جریان آب، آلاینده‌ها ماندگاری کمتری دارند و این نکته نیز دلیل دیگری بر کمتر بودن تجمع

## References

## ۵. منابع

- Agah, H., Leermakers, M., Elskens, M., Fatemi, S. M. and Baevens, W., 2009. Accumulation of trace metals in the muscle and liver tissues of five fish species from the Persian Gulf. *Environmental Monitoring Assessment* 157 (1-4), 499-514.
- Agbozu, I. E., Ekweozor, I. K. E. and Opuene, K., 2007. Survey of heavy metals in the catfish *Synodontis clarias*. *International Journal of Environmental Science and Technology* 4 (1), 93-98.
- Ahmadi, M. R. and Nafissi Bahabadi, M., 2001. Identification of bioindicator invertebrates of running waters. Kheibar Publications, Tehran, Iran, 244 pages (In Persian).
- Ali, M. H. H. and Fishar, M. R., 2005. Accumulation of trace metals in some benthic invertebrate and fish species relevant to their concentration in water and sediment of Lake Qarun, Egypt. *Egyptian Journal of Aquatic Research* 31 (1), 289-300.
- Babapour Mofrad, A., Rostami, S., Alanezhad, M., Forozanfar, M., Khaksar, E. and Ramezani, Z., 2013. Determination of the amount of some heavy metals in the waters of Karoun and Dez rivers. *Jentashapir*, Special volume: 78-100 (In Persian).
- Bahmani, S., Javadian, R., Bagherpour, H. R. and Bavandi, S., 2010. The effect of human factors on the ecosystem of Siahrood in Ghaemshahr city. National conference on human, environment and sustainable development, Yong Journalists Club, Islamic Azad University, Hamedan Branch, March 1<sup>th</sup> and 11<sup>th</sup>. Hamedan, Iran (In Persian).
- Banata, K. M., Howari, F. M. and Al-Hamada, A. A. 2005. Heavy metals in urban soils of Central Jordan: Should we worry about their environmental risks? *Environmental Research* 97, 258-273.
- Bauer, W., 1980. *Gewaesserguetebestimmen und beurteilen*, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin. 540 p.
- Choon, K., Hyun, J. P., 2012. Distribution of heavy metals in tidal flat sediments and their bioaccumulation in the crab *Macrophthalmus japonicas* in the coastal areas of Korea, *Geosciences journal* 16, 153-164.
- Cogun, H., Yuzeroglu, T. A., Firat, O., Gok, G. and Kargin, F., 2006. Metal concentrations in fish species from the Northeast Mediterranean sea. *Journal of Environmental Monitoring and Assessment* 6, 8-17.
- Corbi, J. J., dos Santos, F. A., Zerlin, R., dos Santos, A., Froehlich, C. G., Trivinho-Strixino, S., 2011. Assessment of chromium contamination in the Monte Alegre Study. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 54, 613-620.
- Czerniawska-Kusza, J., 2005. Comparing modified biological monitoring working party score system and several biological indices based on macro invertebrates for water-quality assessment. *Limnological-ecology and Management of Inland waters* 35 (3), 169-176.
- Eghbali shamsabad, P., Memariani, M. and Moattar, F., 2010. Study on the heavy metals (Cr, Cd, Pb) and organic materials of Sefid-Rood river with respect to their geological origin. *Wetland Scientific Journal* 2 (3), 39-55 (In Persian).
- EPA, 2006. Environmental Protection Agency, Method for chemical analysis of water and waste. EPA, Ohio, USA.
- Eslamian, S., 2010. Assessment of water quality Indices and concentration of some heavy metals in Zayandeh-rood river sediments. [M s.c thesis]. Iran. Agriculture Faculty, Isfahan University of technology.
- Fereidouni Velashjerdi, F., 2009. Limnological and demographic structure study of macrobenthos of Marbourne River (Doroud region) as indicators of bio-ecology and water pollution. M.Sc thesis of Marine Biology, Faculty of National Resources and Marine Science, Tarbiat Modares University (In Persian).
- Golestaninasab, M., Malek, M., Roohi, A., Karbassi, A. R., Amoozadeh, E., Rashidinejad, R., Ghayoumi, R. and Sures, B., 2014. A survey on bioconcentration capacities of some marine parasitic and free-living organisms in the Gulf of Oman. *Ecological Indicators* 37, 99-104.
- Hamed, M. A. and Emara A. M., 2006. Marine molluscs as biomonitors for heavy metal levels in the gulf of Suez, Red sea. *Journal of Marine System* 60, 220-34.
- Heinrich, A. B.; Metzger, J. W.; Fischer, K. M.; Mathias, A. L., 2015. Gerenciamento de sedimentos do desassoreamento do rio Belém na área urbana de Curitiba: um estudo de caso. R. Bras. Ci. Solo, p. 626-636.
- Khaleghzadeh, H., Malek, M. and Mckenzie, K., 2011. The parasitic nematodes *Hysterothylacium* sp. type MB larvae as bioindicators of lead and cadmium: a comparative study of parasite and host tissues. *Parasitology* 138 (11), 1400-1405.

- Khosravani, S., Mohammadi Zadeh, F., Yahyavi, M., 2014. Biological assessment of river Haji Abad (Hormuzgan province) Using Macro-benthic Community Structure. *Journal of Aquatic Ecology* 4 (1), 43-35 (In Persian).
- Loayza-Muro, R. A., Elías-Letts, R. and Marticorena Ruiz, J., 2010. Metal-induced shifts in benthic macroinvertebrate community composition in Andean high altitude streams. *Environmental Toxicology and Chemistry* 29 (12), 2761-8.
- Maccafferty, P. and Provonsha, A., 1981. Aquatic Entomology. The fishes and ecologists illustrated guide to insect and their relatives. Jones and Bartlett publishers. London.
- Malaj, E. G. M., Schäfer, R. B., Brack, W., Van der ohe, P. C., 2012. Physiological sensitivity of freshwater macroinvertebrates to heavy metals. *Environmental Toxicology and Chemistry* 31(8), 1754-1764.
- Malek, M., 2001. Investigation of parasitic infection of Guppy in southwestern Wales and the use of parasites as bioindicators. The first conference on aquatic health. 21th and 22th January 2001, Ahwaz, Iran (In Persian).
- Malek, M., Amoozadeh, e., Rashidinejad, R., Bagheri Nabavi, S. M., Karbasi, A., Ghayoumi, R., Ghorbanzadeh Zafarani, G., Salehi, H. and Sures, B., 2014. Marine organisms as heavy metal bioindicators in the Persian gulf and the gulf of Oman. *Environmental Science and Pollution Research* 21 (3), 2386-2395.
- Manoj, K., Kumar, B. and Kumar padhy, P., 2012. Characterisation of Metals in Water and Sediments of Subarnarekha River along the Projects' Sites in Lower Basin, India. *Universal Journal of Environmental Research and Technology* 2 (5), 1-9.
- Mirzaei, M., Solgi, E., 2016. Evaluation of heavy metals concentration (cadmium, copper, manganese, nickel, lead and zinc) in sediments of Zayandehrood River. *Journal of Research in Environmental Health* 1 (4), 251-265 (In Persian).
- Mollazadeh, N., 2014. Bioassessment of Marbor Stream quality via biological index of macro-benthos fauna. *Wetland Ecobiology* 6 (1), 47-56 (In Persian).
- Mousavi Rineh, S. M. and Pourebrahim, S., 2019. Evaluation of water quality in Karaj river (Alborz Province) using macrobenthic biological indices. *Journal of Animal Environment* 3, 335-344 (In Persian).
- Nambatingar, N., Clementm, Y., Merle, A., New Mahama, T. and Lanteri, P., 2017. Heavy Metal Pollution of Chari River Water during the Crossing of N'Djamena (Chad). *Toxics*. 5 (4), 26. 10.3390/toxics5040026
- Pandey, J. and Singh, R., 2017. Heavy metals in sediments of Ganga River: up- and downstream urban influences. *Applied Water Sciences* 7, 1669–1678.
- Parmorad, M. and Ghaderi, R., 2014. Introducing the types of water resources pollutants and their effects, the first national conference on the environment, Dehaghan, Iran. [https://www.civilica.com/Paper-ISFPNU01-ISFPNU01\\_219.html](https://www.civilica.com/Paper-ISFPNU01-ISFPNU01_219.html) (In Persian).
- Paslarzadeh, R. and Alipour, V., 2017. Investigation of the concentration of heavy metals (lead and cadmium) in the sediments of Minab Dam Lake. Fourth Scientific Research Congress for the Development and Promotion of Agricultural, Natural Resources and Environmental Sciences of Iran.
- Pennak, R. W., 1978. Freshwater invertebrates of United States. Second edition. John Wiley & Sons. USA.
- Pirsaheb, M., Khosravi, T., Sharafi, K. Rezaei, M., 2013. Measurement of heavy metals concentration in drinking water from source to consumption site in Kermanshah – Iran. *World Applied Sciences Journal* 21(3), 416-423.
- Pote, J., Haller, L., Loizeau, J., Bravo, A. G., Sastre, V., Wildi, W., 2008. Effects of a sewage treatment plant outlet pipe extension on the distribution of contaminants in the sediments of the Bay of Vidy, Lake Geneva, Switzerland. *Bio-resource Technology* 99, 7122-7131.
- Rahimibashar, M., Seaferihani, M., Torabi Jefroudi, H., Rasta, M., khodadoust, A., Tagheipour, S., 2016. Water quality and macrozoobenthos communities production potential in the Aharchai River (Eastern Azerbaijan). *Journal of Animal Environment* 8(2), 151-158 (In Persian).
- Rezaei Tavabe, K. and Samadi Kuchaksaraei, B., 2019. Polychaetes. University of Tehran Press, Iran, 308 pages In Persian).
- Rezaei Tavabe, K., Azad, L.T., Esmaeilpour, Y., Fazlolahi A., 2008. Biological evaluation of Darjazin River at Semnan province of Iran. *ICCBT Journal* 11, 115-120.
- Rezaei Tavabe, K., Malekian, A., Afzali, A. and Taya, A., 2016. Biological index and pollution assessment of Damghanroud River in the Semnan province. *Desert* 22 (1), 69-75. DOI: 10.22059/jdesert.2017.62172

- Salarzadeh, A. and Khosravani, S., 2015. Evaluation of bio-indicators of river Haji Abad using aquatic insects fauna. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences* 7 (2), 223-232.
- Shaddel, M., Mortazavi, S., Tayebi, L., Raheli Namin, B., 2019. Monitoring of Heavy Metals Contamination (Pb, Zn, Cr and Cu) in Sediments of Balkhlo River of Ardebil by Implication of Sediment pollution Indices. *Journal of Environmental Health Engineering* 6 (2), 213-226 (In Persian).
- Shapoori, M., Rezaei, M. and Kamali, A., 2015. Investigation and measurement of heavy metals (copper and zinc) in sediments and benthos of Namrud River in Tehran province. *Journal of Marine Science and Technology Research* 10 (3), 79-86 (In Persian).
- Shokripour, Z. and Ashja Ardalan, A., 2017. Identify and evaluate the diversity of Macrobenthos in Karaj River. *Journal of Animal Research* 29 (4), 442-453 (In Persian).
- Smith, W. S., Da Silva, F. L. and Biagioni, R. C., 2019. River Dredging: When The Public Power Ignores The Causes, *Biodiversity And Science. Ambient. soc.* 22.
- Takarina, N. and Adiwibowo, A. 2011. Impact of heavy metals contamination on the biodiversity of marine benthic organisms in Jakarta bay. *Journal of Coastal Development*, 14:168-171.
- Takarina, N.D., Sunardi, Y. & Reza, A. 2008. Spesiasi logam berat di sedimen muara dan perairan Teluk Jakarta. *Journal Kimia Lingkungan* 9 (2), 153-160.
- Talbot, C. J., Bennett, E. M., Cassell, K., Hanes, D. M., Minor, E. C., Paerl, H., Raymond, P. A., Vargas, R., Vidon, P. G., Wollheim, W. and Xenopoulos, M. A., 2018. The impact of flooding on aquatic ecosystem services. *Biogeochemistry* 141, 439-461.
- Tekin-Ozan, S., Kir, I., 2007. comparative Study on the Accumulation of Heavy Metals in Different Organs of Tench (*Tinca tinca* L.) and plerocercoids of its Endoparasite *Ligula intestinalis*. *Journal of Parasitol Research* 9, 4-16.
- USEPA, 2004. Characteristics Introduction and Regulatory Definitions, Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods (SW 846). USEnvironmental Protection Agency.
- Veerasingam, S., R., Venkatachalapathy, S., Sudhakar, P., Raja, V., Rajeswari, 2011. Petroleum hydrocarbon concentrations in eight mollusk species along Tamilnadu coast, Bay of Bengal, India. *Journal of Environmental Sciences* 23 (7), 1129-1134.
- Venkatramanan, S., Chung, S. Y. and Kim, T. H., 2014. Assessment and Distribution of Metals Contamination in Groundwater: A Case Study of Busan City, Korea. *Water Quality Exposure and Health* 7 (2), 219-225.
- Vosough, A., Saeedi, M. and Lak, R., 2016. River granulated sediments contamination by heavy metals, case study, Sefidrood River. *Journal of Environmental Studies* 41 (4), 887-908 (In Persian).
- Wang, Y., Xu, L., Chen, Y., Shen, H., Gong, Y., Limera, C., 2013. Transcriptome profiling of radish (*Raphanus sativus* L.) root and identification of genes involved in response to lead (Pb) stress with next generation sequencing. *PLoS ONE* 8, E66539.
- Yarimoghadam, N., Cheraghi, M., Hasani, A. and Javid, A., 2014. The Amount of Heavy Metals (Zn, Cu, Pb and Cd) in Abshineh River, Hamadan, Iran. *Health Develop Journal* 2 (4), 296-304 (In Persian).
- Yazdanpanah Goharrizi, L., 2013. Identification of Nesa River macrobenthose for aquaculture in Kerman province. The 2th Iranian National Fisheries and Aquaculture Conference, Islamic Azad University, Bandar Abbas Branch. [https://www.civilica.com/Paper-CFAAI02-CFAAI02\\_061.html](https://www.civilica.com/Paper-CFAAI02-CFAAI02_061.html) (In Persian).