



University of Hormozgan



Assessment of Water Quality of Karaj River Using Benthic Macroinvertebrates

Eisa. Solgi^{1✉*}, Fatemeh Mansourghanaei¹, Davoud Mohammadrezaei², Nafiseh Hasani³

1. Department of Environmental Sciences and Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran.
2. Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran.
3. Department of Environmental Protection of Alborz Province, Tehran, Iran.

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received: 21 April 2024
Accepted: 12 November 2024
Published online: 13 December 2024

✉ Corresponding Author:
e.solgi@malayeru.ac.ir;
e.solgi@yahoo.com

Keywords:

Karaj River,
Bioindicators,
Benthic macroinvertebrates,
Water quality index.

ABSTRACT

One effective method for assessing the health of rivers and the impact of human activities on water quality is the use of macrobenthos populations as indicators of pollution. This study investigated the diversity and abundance of macrobenthos in the Karaj River over four months—August, September, October, and November—at six different stations in 2022. Sampling was conducted using a Surber sampler (30 × 35 cm) with three replicates per station, and the samples were transferred to the laboratory for analysis. We calculated several diversity indices, including Simpson and Shannon-Wiener, as well as bioindicators such as the Hilsenhoff Index, BMWP, EPT, dominant family percentage, and species richness for all stations. A total of 14 families of large benthic invertebrates were identified, representing 7 orders and 4 classes, with the Baetidae family from the Ephemeroptera order being dominant across all stations. The highest biodiversity was observed in August. Overall, upstream stations showed higher diversity indices than downstream stations. The dominant family percentage index revealed that the Baetidae family was the most frequent, and approximately 72% of the EPT index was associated with the three upstream stations near the dam. According to the BMWP index, all stations were classified as "very bad" or "severely polluted." The Hilsenhoff Index assessed the Pol-e-Khawab station as "very good" (indicating very low pollution risk), the Asara, Sierra, Vine, and Purkan stations as "good" (indicating moderate organic pollution), and the Adran station as "suitable" (indicating significant organic pollution). The Shannon Index identified all stations as relatively polluted. In conclusion, the Hilsenhoff biological index is a reliable tool for evaluating the water quality of the Karaj River, which, based on this index, is considered to be in an average state of quality.



Publisher: University of Hormozgan.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Rivers are vital freshwater ecosystems that support a range of life-sustaining functions. However, industrialization and urbanization have led to significant water consumption and pollution, making water quality monitoring essential, especially in areas where water serves as a drinking source. While traditional water quality assessments are useful, biomonitoring provides a more comprehensive indication of pollution levels. Among the various bioindicators used for monitoring river ecosystems, benthic invertebrates are the most effective. Bioindicators based on benthic macroinvertebrates are widely employed for the ecological assessment of ecosystems. Aquatic organisms are typically classified into four groups based on their pollution tolerance: sensitive, semi-sensitive, semi-resistant, and resistant to pollution. Historically, indices focused primarily on diversity and density, such as abundance, diversity, and dominance indices. Today, however, a variety of indices are used to assess the resistance of macrobenthos to pollution, including EPT, ASPT, Hilsenhoff, and BMWP. The objective of this study was to use organisms that are present year-round in aquatic ecosystems and are sensitive to environmental conditions, as they can provide valuable insights for water quality classification. Given the critical role of benthic organisms in biomonitoring, this study used macroinvertebrates as bioindicators to evaluate the pollution levels in the Karaj River.

Materials and Methods

This study focused on a section of the Karaj River, spanning approximately 32 kilometers between Pourkan and Asara. Six sampling stations were selected: Pourkan, Vineh, Adoran, Pol Khab, Sira, and Asara. The stations at Pourkan, Vineh, and Adoran are located downstream of the Karaj Dam, while Pol Khab, Sira, and Asara are situated upstream, allowing for a comparison of water quality between the downstream and upstream areas. Sampling took place during the summer (August and September) and autumn (October and November). At each station, water temperature was measured and recorded. Macroinvertebrates were collected using a Surber sampler (35 × 30 cm), with three replicate samples taken at each station. The samples were placed in plastic containers labeled with station details, location, and sampling date, then transported to the laboratory for analysis. To assess the water quality, several indicators were used, including taxon richness, Shannon-Wiener diversity index, EPT, BMWP, and Hilsenhoff indices.

Results

In this study, approximately 10,088 benthic organisms were isolated and identified. The lowest number of invertebrate samples was recorded at Station 3 (Adoran) in September, with 92 samples across three replicates, while the highest was found at Station 4 (Pol-Khab) in August, with 1,078 samples across three replicates. The analysis of benthic invertebrate samples collected from the Karaj River over a four-month period at six stations revealed 14 families, 7 orders, 4 classes, and 3 phyla. Among the seven identified orders, Ephemeroptera exhibited the highest abundance, followed by Diptera and Trichoptera. The Ephemeroptera order had the highest frequency across all benthic groups, with its abundance significantly higher at upstream stations compared to downstream ones. Three families from this order were identified, with the Baetidae family showing the highest abundance and distribution across all stations. The Baetidae family was present at every station and throughout all seasons, and it accounted for the highest percentage of abundance among all benthic families. The Diptera order had the second highest abundance at all stations, after Ephemeroptera. Four families from this order were identified, with the Chironomidae family being the most prevalent, found at all stations and in all seasons. The third most abundant order in terms of density was Trichoptera, with two

identified families, the Hydropsychidae family showing the highest abundance. The highest BMWP index value was recorded at Station 4 (Pol-Khab) in August (5.6), while the lowest was at Station 3 (Adoran) in November (2.9). According to the Hilsenhoff index, water quality at the upstream stations (Pol-Khab, Sira, and Asara) was classified as good, whereas at the downstream stations (Pourkan, Vineh, and Adoran), water quality ranged from good to acceptable and poor. The EPT index was higher at the upstream stations, indicating better water quality compared to the downstream stations. The Shannon-Wiener index indicated that the water quality at the upstream stations ranged from relatively polluted to heavily polluted.

Conclusions

In this study, the BMWP index indicated that all stations in the Karaj River had very poor water quality. According to the Hilsenhoff biological index, the water quality at the upstream stations of the Karaj Dam (Pol Khob, Sira, and Asara) was classified as good, while the water quality at the downstream stations (Pourkan, Vineh, and Adran) ranged from good to suitable and poor. The use of different biological indices revealed that the Hilsenhoff biological index is particularly effective for assessing the water quality of the Karaj River, and based on this index, the river is in an overall average quality state. The downstream stations, influenced by the leakage and infiltration of residential sewage and nearby recreational and tourism centers, showed unfavorable water quality. In contrast, the upstream stations, which are located at higher altitudes with faster water flow, experience lower pollutant retention, leading to less accumulation of pollutants in these areas.



بررسی کیفیت آب رودخانه کرج بر اساس مطالعه بزرگ بی‌مهرگان کفزی

عیسی سلگی^۱✉، فاطمه منصورقنای^۱، داود محمدرضایی^۲، نفیسه حسینی^۳

۱. گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

۲. گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

۳. کارشناس حیات وحش، اداره کل حفاظت محیط زیست استان البرز، کرج، ایران

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۲

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۹/۲۳

✉ نویسنده مسئول:

e.solgi@malayeru.ac.ir;

e.solgi@yahoo.com

کلیدواژه‌ها:

رودخانه کرج،

شاخص زیستی،

درشت بی‌مهرگان کفزی،

شاخص کیفیت آب

یکی از روش‌های مناسب جهت تعیین سلامت و تاثیر فعالیتهای انسانی بر کاهش کیفیت رودخانه‌ها، ارزیابی آن‌ها با استفاده از جمعیت ماکروبتنوزها به عنوان شاخص آلودگی آب می‌باشد. در این مطالعه تنوع و فراوانی ماکروبتنوزهای رودخانه کرج مورد بررسی قرار گرفت. این مطالعه در ۴ ماه مرداد، شهریور، مهر و آبان و در ۶ ایستگاه در سال ۱۴۰۱ انجام شد. نمونه‌برداری با استفاده از دستگاه سوربر با سطح نمونه‌برداری ۳۵×۳۰ سانتی متر و سه تکرار در هر ایستگاه انجام و به آزمایشگاه منتقل شد. همچنین شاخص‌های تنوع شانون-وینر و شاخص‌های زیستی هیلسنهوف، BMWP، EPT، درصد خانواده غالب و غنای گونه‌ای در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه محاسبه گردید. در مجموع ۱۴ خانواده از بزرگ بی‌مهرگان کفزی، متعلق به ۷ راسته و ۴ رده شدند. در تمامی ایستگاه‌ها خانواده Baetidae از راسته Ephemeroptera غالب بود. بیشترین تنوع در ماه مرداد مشاهده شد. در کل شاخص‌های تنوع در ایستگاه‌های بالادست رودخانه بیشتر از پایین‌دست بود. شاخص درصد خانواده غالب بیشترین فراوانی مربوط به خانواده Baetidae و حدود ۷۲ درصد شاخص EPT در تمامی ایستگاه‌ها مربوط به سه ایستگاه بالادست سد بود. شاخص BMWP تمام ایستگاه‌ها را در طبقه خیلی بد و آلودگی شدید قرار داد. شاخص هیلسنهوف ایستگاه پل خواب را در رتبه‌ی خیلی خوب (امکان آلودگی بسیار اندک)، ایستگاه‌های آسارا، سیرا، وینه و پورکان را در طبقه بندی کیفیت خوب (احتمال مقدار آلودگی آلی) و ایستگاه آدران را نیز در رتبه‌ی مناسب (آلودگی آلی نسبتاً قابل ملاحظه) ارزیابی کرد. شاخص شانون تمامی ایستگاه‌ها را در وضعیت نسبتاً آلوده تشخیص داد. در مجموع شاخص زیستی هیلسنهوف شاخص مناسبی برای ارزیابی کیفیت رودخانه کرج می‌باشد و طبق این شاخص، رودخانه کرج در وضعیت کیفی متوسط قرار دارد.



ناشر: دانشگاه هرمزگان.

مقدمه

رودخانه‌ها از منابع حیاتی طبیعی و کانون توسعه هر کشور محسوب می‌شوند (Ghalandarzadeh et al., 2020). توسعه صنعت و تراکم شهری در قرن نوزدهم باعث مصرف مقادیر عظیمی از آب و آلودگی آب شده است (Szarek- and Kownacki, 2022). افزایش فعالیت‌های انسانی مانند کشاورزی، صنایع و فعالیت‌های شهری در اطراف رودخانه‌ها، پارامترهای کیفی و کمی آب را به طور معنی‌داری تحت‌تاثیر قرار می‌دهد (Sudarso et al., 2021). استفاده از حشره‌کش‌ها و علف‌کش‌ها در مزارع نزدیک به رودخانه و شستن ظروف شیمیایی کشاورزی (ظروف آفت‌کش‌ها و کیسه‌های کود شیمیایی) در رودخانه دیگر منابع آلودگی هستند. این منابع آلودگی، همراه با روش‌های ماهی‌گیری غیر قانونی که از مواد شیمیایی برای مسموم کردن ماهی‌ها استفاده می‌کنند، تهدیدی جدی برای تنوع زیستی آبریان رودخانه هستند (Agblonon Houelome et al., 2022). همچنین وجود سد، سرعت جریان آب را در رودخانه از حالت طبیعی به صورت مصنوعی و تنظیمی تغییر می‌دهد که سبب کاهش شدت جریان رودخانه، افزایش غلظت مواد آلاینده و کاهش خودپالایی، افزایش شوری، کاهش توانایی رودخانه در انتقال سیلاب، ایجاد کانون‌های گرد و غبار، کاهش جمعیت و نابودی گونه‌های مختلف آبریان و از بین رفتن پوشش گیاهی و فرسایش خاک می‌گردد (Nowruzpour and Shafiei Dashtabi, 2019). بسیاری از کشورها با اشرافی که به اهمیت آب‌های جاری دارند، تحت برنامه‌های مدون و منظم به پایش منابع سطحی پرداخته و در مطالعات خود پایش زیستی و استفاده از بزرگ بی‌مهرگان کفزی را به عنوان موثرترین نشانگرهای محیطی به کار گرفته‌اند. طیف وسیعی از جانداران به منظور پایش زیستی آب‌های شیرین مورد استفاده قرار می‌گیرند که جلبک‌ها، ماهی‌ها و بی‌مهرگان کفزی از متداول‌ترین آن‌ها می‌باشند. البته بی‌مهرگان کفزی در این بین از موثرترین گروه‌ها بوده به طوری که امروزه از اساسی‌ترین اجزای زیستی رودخانه‌ها به شمار می‌روند (Taghinezhad et al., 2015). اولین قدم در پژوهش‌های زیستی، یافتن یک شاخص زیستی مناسب می‌باشد که حضور و عدم حضور، فراوانی و رفتار آن نشان‌دهنده استرس‌های محیطی بر آن‌ها باشند. ماکروبتوزها به عنوان شاخص زیستی بخش مهمی از فون بستر منابع آبی را تشکیل می‌دهند که نقش مهمی در ساختار، تولید، دینامیک و سلامت محیط زیست منابع آبی بر عهده دارند (Darvishi et al., 2019). انواع مختلفی از شاخص‌های زیستی برای ارزیابی زیستی اکوسیستم‌های آبی استفاده می‌شوند اما بی‌مهرگان کفزی محبوب‌ترین آن‌ها برای نظارت بر کیفیت آب هستند، زیرا نمونه‌برداری آسان است، به تجهیزات نمونه‌برداری ارزان نیاز دارند، متحرک نیستند و آلودگی موضعی را نشان می‌دهند، درجه تحمل زیادی دارند و برای شناسایی سطح خانواده آسان هستند (Mezgebu, 2022). چندین ویژگی باعث شده که این موجودات بیشتر مورد توجه متخصصان پایش بوم سازگان آبی باشند: حضور در اکوسیستم‌های آبی، تنوع گونه‌ای بالا، اغلب حساس به آلودگی‌ها، ساکن در بستر، طولانی بودن چرخه زندگی و امکان بررسی و تعیین حدود و وسعت مکانی و زمانی آشفستگی را فراهم می‌کنند (Damanik-Ambarita et al., 2016). شاخص‌های زیستی بر اساس بزرگ بی‌مهرگان کفزی از پرکاربردترین شاخص‌های ارزیابی اکولوژیکی بوم سازگان‌ها هستند که بر اساس حساسیت‌های اکولوژیکی هر تاکسون، مقادیر کمی را ارائه می‌کنند که با استفاده از آن می‌توان کیفیت اکوسیستم را برآورد کرد. بر این اساس موجودات کفزی در چهار گروه حساس به آلودگی، نیمه حساس به آلودگی، نیمه مقاوم و مقاوم به آلودگی طبقه بندی می‌شوند. در گذشته این شاخص‌ها تنها شامل شاخص‌های تنوع و تراکم مانند شاخص‌های غنا، تنوع و غالبیت بود. اما در حال حاضر شاخص‌های متنوعی بر اساس میزان مقاومت ماکروبتوزها به آلودگی مانند EPT، ASPT، Hilsenhoff و BMWP استفاده شده‌اند (Niknam et al., 2020).

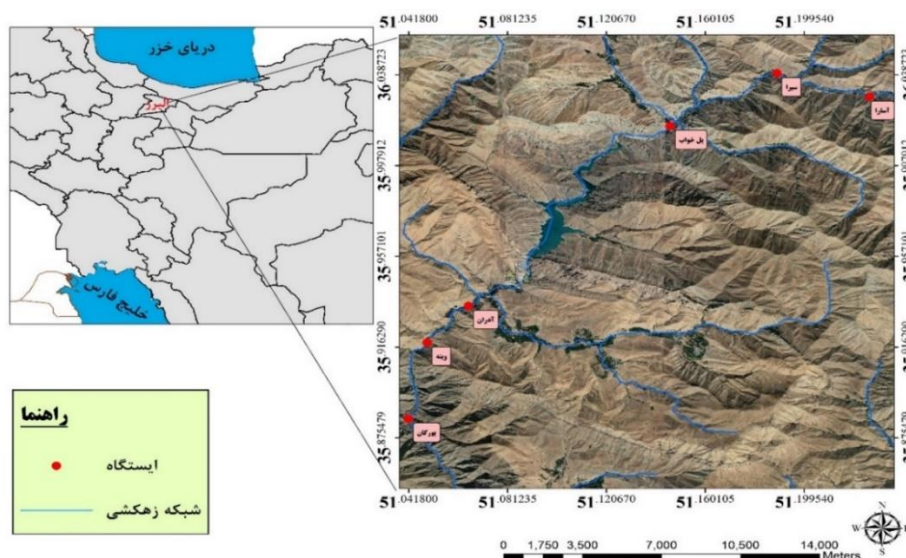
شاخص‌های بیولوژیکی در مدیریت و حفاظت آب‌های شیرین از اهمیت بالایی برخوردار هستند و این دانش را می‌توان برای ارزیابی وضعیت رودخانه‌ها و نهرها به کار برد (Sripany et al., 2022). مطالعات مختلفی در مورد بزرگ بی‌مهرگان کفزی در دنیا و ایران در اکوسیستم‌های مختلف از جمله رودخانه کرج انجام شده است. Khatami و همکاران (۲۰۰۷) در مطالعه‌ای به بررسی کیفیت رودخانه کرج بر اساس تنوع خانواده‌های درشت بی‌مهرگان کفزی پرداختند. در این پژوهش نمونه‌های بی‌مهرگان تا سطح خانواده شناسایی شدند و کیفیت آب این رودخانه در منطقه‌های مورد نظر و در زمان انجام پژوهش وضعیت مناسبی داشت و برای

کاربری‌های کشاورزی و شرب و صنعتی با وضعیت مطلوب تشخیص داده شد. Shokripour و Ashjaardalan (۲۰۱۴) در پژوهشی به شناسایی و بررسی تنوع ماکروبتوزهای رودخانه کرج پرداختند. در نتایج به دست آمده نشان داده شد که بیش‌ترین فراوانی در فصل زمستان و کمترین فراوانی در فصل بهار می‌باشد. از ماکروبتوزهای شناسایی شده، رده Insecta بیش‌ترین فراوانی و رده Malacostraca کمترین فراوانی را به خود اختصاص دادند. در نهایت جمعیت غالب جانداران کفزی در رودخانه کرج را حشرات آبزی تشکیل دادند. Soufi و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی تأثیر برخی متغیرهای محیطی بر فراوانی و تنوع زیستی ماکروبتوزهای رودخانه کرج پرداختند. نتایج نشان داد که بیشترین فراوانی در پاییز متعلق به Baetidae و در بهار مربوط به Chironomidae است که نوسانات ارتفاع در هر دو فصل، نوسانات دمایی در پاییز و نوسانات عمق در بهار، در شکل‌گیری الگوی فراوانی و ترکیب گونه‌ای بیشترین نقش را داشتند.

هدف از این مطالعه استفاده از جاندارانی است که تقریباً به طور دائم و در طول سال در اکوسیستم‌های آبی حضور دارند و به دلیل رابطه و حساسیت این موجودات نسبت به شرایط زیستی خود، می‌توانند در طبقه‌بندی کیفی آب نقش بسیار مهمی داشته باشند. اهمیت این مطالعه آن است که بتوان ارزیابی زیستی دقیقی را با هزینه‌ی کمتر نسبت به فاکتورهای دیگر توسط درشت بی‌مهرگان کفزی انجام داد. با توجه به اهمیت موجودات کفزی و نقش آن‌ها در پایش زیستی، در این مطالعه‌ای از ماکروبتوزها به عنوان شاخص زیستی برای ارزیابی سطوح آلودگی رودخانه کرج پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

رودخانه کرج رودخانه‌ای در البرز مرکزی و شمال باختری تهران است. رودخانه کرج از کوه‌های جنوبی البرز سرچشمه می‌گیرد. این رود از کوهی بنام کلون‌بستک در بلندی‌های خرسنگ سرچشمه می‌گیرد و پس از طی مسیری رودخانه ولایت رود نیز به رود کرج پیوسته و پس از گذر کردن از حاشیه شرقی شهر کرج و سیراب نمودن دشت‌های کرج و شهریار به جاجرود می‌پیوندد. در پایین دست رودخانه، رستوران‌ها و مراکز تفریحی زیادی وجود دارد که فاضلاب آن‌ها به رودخانه می‌ریزد. در این مطالعه بخشی از رودخانه کرج، حد فاصل پورکان و آسارا به مسافت حدود ۳۲ کیلومتر مورد مطالعه قرار گرفت. ۶ ایستگاه در مناطق پورکان، وینه، آدران، پل خواب، سیرا و آسارا انتخاب گردید که ایستگاه پورکان، وینه و آدران در پایین‌دست سد کرج و ایستگاه پل خواب، سیرا و آسارا در بالادست سد کرج انتخاب شدند تا امکان مقایسه‌ی تأثیر موقعیت ایستگاه‌ها در پایین‌دست و بالادست فراهم شود (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت ایستگاه‌های مختلف در رودخانه کرج

نمونه‌برداری در فصل تابستان (مرداد و شهریور) و پاییز (مهر و آبان) انجام شد. درجه حرارت آب رودخانه در هر ایستگاه اندازه‌گیری و ثبت گردید. در این پژوهش برای نمونه‌برداری از درشت بی‌مهرگان کفزی از سوربر (ابعاد ۳۵×۳۰) استفاده شد. دهانه سوربر در خلاف جهت جریان آب قرار داده شد و برای هر جمع‌آوری زمانی مشخصی معین شد و در هر ایستگاه ۳ تکرار انجام شد. همه نمونه‌ها از حاشیه رودخانه برداشته شد. نمونه‌های جمع‌آوری شده در ظروفی پلاستیکی که مشخصات ایستگاه، محل و تاریخ نمونه‌برداری ثبت شده تخلیه شد و برای تثبیت نمونه‌ها از فرمالین ۴ درصد استفاده گردید (Shokripour and Ashja ardan., 2017). نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل شد و با دستگاه لوپ و کلید شناسایی معتبر شناسایی و شمارش شدند (Rahimibashar et al., 2016).

شاخص‌های زیستی مختلفی برای مشخص نمودن کیفیت آب وجود دارد اما غالباً هیچ کدام از شاخص‌ها به تنهایی توانایی ارزیابی صحیحی از کیفیت آب نداشته و باید از ترکیب شاخص‌های زیستی برای این منظور استفاده نمود. غنای تاکسون‌ها یکی از ساده‌ترین و قدیمی‌ترین شاخص‌های تنوع ساختار جمعیتی می‌باشد و می‌تواند انعکاس دهنده سلامت یک جامعه باشد. به عبارتی غنای تاکسون‌ها سلامت جامعه در میان تنوع آن را نشان می‌دهد که با افزایش تنوع، پایداری و کیفیت آب زیستگاه افزایش می‌یابد. این شاخص معادل کل تعداد تاکسون‌های موجود در نمونه است. هرچه سلامت جامعه بیشتر، تعداد تاکسون‌های موجود در جامعه بیشتر است.

در شاخص تنوع گونه‌ای شانون-وینر اطلاعات مربوط به تعداد گونه‌های متعلق به یک جمعیت (Richness) و فراوانی نسبی آنها (Evenness) در محاسبه تنوع لحاظ می‌شود و در حقیقت تخمینی از ترکیب جمعیت کفزیان است. این شاخص برای محاسبه تنوع زیستی در اکوسیستم‌های خشکی و آبی به طور گسترده استفاده می‌شود. برای برآورد مقدار شاخص شانون از فرمول زیر استفاده شد:

$$H = - \sum_{i=1}^S (p_i \ln p_i) \quad \text{رابطه (۱)}$$

H': شاخص شانون

S: تعداد خانواده

Pi: فراوانی نسبی خانواده i ام

جدول ۱. طبقه‌بندی کیفیت آب بر اساس شاخص شانون وینر

H' > ۳	H' = ۱-۳	H' < ۱	(H') شاخص تنوع شانون وینر
غیر آلوده	نسبتاً آلوده	شدیداً آلوده	وضعیت آلودگی

درصد خانواده غالب یا درصد غالبیت معادل فراوانی عددی خانواده غالب نسبت به کل موجودات حاضر در نمونه است. برای مثال چنانچه در جامعه به طور نسبی غالبیت با تعداد کمی خانواده باشد مقدار آن زیاد است، بنابراین جامعه تحت تاثیر استرس‌های محیطی است.

شاخص EPT معادل تعداد کل خانواده‌های ۳ راسته Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera در نمونه است. این شاخص غنای تاکسون‌ها در میان گروه حشراتی را نشان می‌دهد که به عنوان راسته‌های حساس به آلودگی مورد ملاحظه‌اند، بنابراین با افزایش کیفیت آب تعداد آن‌ها افزایش می‌یابد. یا به عبارتی دیگر هر چقدر تعداد سه راسته مذکور کاهش یابد از کیفیت منبع آبی کاسته می‌شود. برای محاسبه غنای EPT، تعداد خانواده‌های متعلق به این سه راسته در هر واحد نمونه‌گیری مورد استفاده قرار می‌گیرند. سپس با استفاده از جدول ۲ کیفیت منبع آبی تعیین شد.

جدول ۲. شاخص عددی EPT و معادل کیفیت آب منابع

دسته بندی	عالی	خوب	متوسط	ضعیف	فقیر
EPT	>۲۷	۲۷-۲۱	۲۰-۱۴	۱۳-۷	۶-۰

برای ارزیابی کیفیت آب در هر ایستگاه یکی از رایج‌ترین شاخص‌های زیستی HFBI می‌باشد. این شاخص از فرمول ۲ محاسبه می‌شود:

$$HBI = \sum \frac{X_i t_i}{n} \quad \text{رابطه ۲}$$

که در آن:

X_i : تعداد افراد هر تاکسون

t_i : ارزش مقاومت هر تاکسون

n : کل تعداد ارگانیس‌ها در یک نمونه

جدول ۳. ارزیابی کیفیت آب نهرها و رودخانه‌ها با استفاده از شاخص زیستی هیلسنهوف (Hilsenhoff, 1988) در سطح خانواده

درجه آلودگی (الی)	کیفیت آب	شاخص زیستی در سطح خانواده
آلودگی آلی وجود ندارد	عالی	۳-۰/۷۵
امکان آلودگی آلی بسیار اندک	خیلی خوب	۳/۴-۷۶/۲۵
احتمال مقدار آلودگی آلی	خوب	۴/۵-۲۶/۰
آلودگی آلی نسبتاً قابل ملاحظه	مناسب	۵/۵-۱/۷۵
آلودگی آلی قابل ملاحظه	نسبتاً ضعیف	۵/۶-۷۶/۵۰
آلودگی آلی بسیار قابل ملاحظه	ضعیف	۶/۷-۵۱/۲۵
آلودگی آلی شدید	بسیار ضعیف	۷/۱۰-۲۶

متداول‌ترین شاخص زیستی، شاخص BMWP است. در این روش همه گونه‌های جمع‌آوری شده در سطح خانواده (کمتران در سطح رده) مورد ارزیابی قرار می‌گیرند تا بتوان آن‌ها را برای استفاده در گستره بیشتری منطبق کرده و مشکلات ناشی از شناسایی گونه‌های نادرست را بر طرف نمود. سپس به هر خانواده امتیازی نسبت داده می‌شود. مقاومت هر خانواده از ماکروبتیک‌ها به آلودگی آلی در سرعت جریان‌های مختلف، مبنای امتیازدهی می‌باشد؛ به طوری که خانواده‌ای که کم‌ترین مقاومت را در برابر آلودگی دارد بیش‌ترین امتیاز را به خود اختصاص می‌دهد. لازم به ذکر است که امتیازهای اصلی اختصاص داده شده به هر خانواده بر اساس مقاوم‌ترین عضو خانواده که در منطقه غالب بوده صورت گرفته و به عبارت دیگر حد پایین امتیاز هر خانواده را بیان می‌کند. در نهایت نمرات هر خانواده موجود در نمونه با هم جمع می‌شود تا امتیاز BMWP بدست آید. در جدول ۴ طبقه‌بندی کیفیت آب براساس شاخص BMWP ارائه شده است.

$$\frac{BMWP}{ASPT} = \sum Bn/N \quad \text{رابطه ۳}$$

B: امتیاز BMWP در سطح خانواده

n: فراوانی هر خانواده

N: کل تعداد افراد خانواده در هر ایستگاه

جدول ۴. طبقه بندی کیفیت آب بر اساس شاخص BMWP

توضیح	طبقه کیفی	امتیاز کلی شاخص
آلودگی شدید	خیلی بد	۰-۱۰
آلوده یا تحت تأثیر قرار گرفته	بد	۱۱-۴۰
به صورت متوسط تحت تأثیر قرار گرفته	متوسط	۴۱-۷۰
تمیز ولی کمی تحت تأثیر قرار گرفته	خوب	۷۱-۱۰۰
غیر آلوده، تحت تأثیر قرار نگرفته	خیلی خوب	۱۰۰<

به منظور تجزیه و تحلیل آماری داده ها از نرم افزار SPSS و برای رسم نمودارها از نرم افزار Excel استفاده شد. در بررسی های صورت گرفته، ابتدا از نرمال یا غیرنرمال بودن داده ها اطمینان حاصل شد، در صورت غیرنرمال بودن داده ها از Kruskal-Wallis Test و در ادامه و در صورت معنی دار بودن آنها از Mann-Whitney Test استفاده شد و چنانچه داده ها نرمال بودند از آزمون One Way ANOVA استفاده گردید. پس از بررسی همگنی و ناهمگنی (توسط آزمون لون) از آزمون Dunnett و Duncan و T3 برای مقایسه میانگین ها استفاده شد.

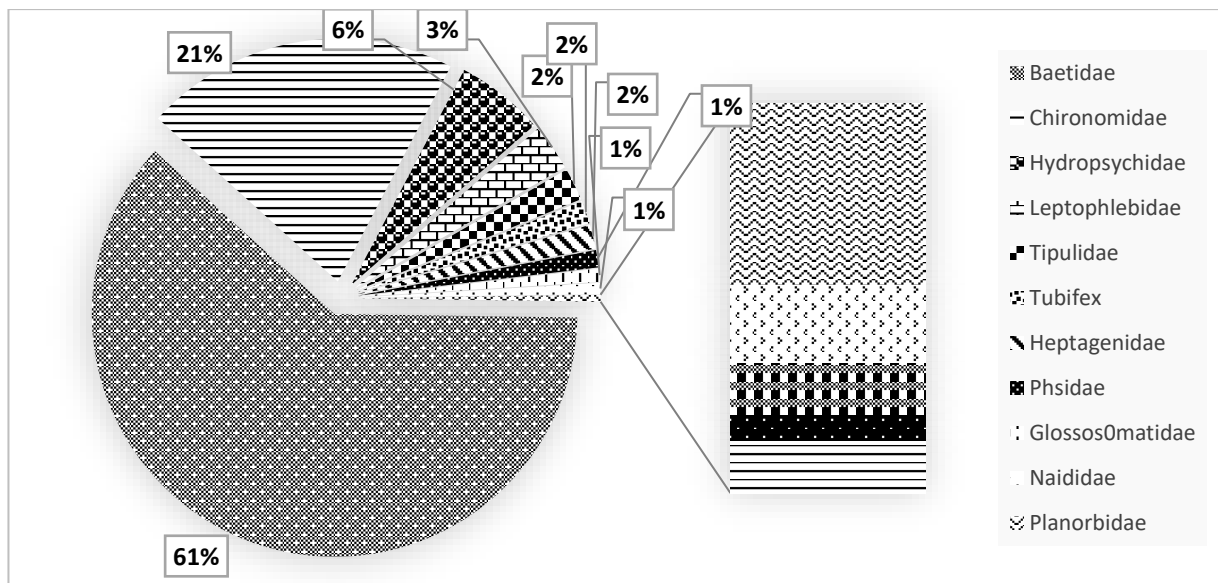
نتایج

در این مطالعه، تنوع و تراکم ماکروبتنوزها در ۶ ایستگاه رودخانه کرج طی دو فصل تابستان و پاییز مورد مطالعه قرار گرفت که نتایج آن در این قسمت مورد بررسی قرار می گیرد. حدود ۱۰۰۸۸ نمونه جاندار کفزی جداسازی و شناسایی شدند. حداقل نمونه بی مهرگان کفزی مربوط به ایستگاه ۳ (آدران) و در ماه شهریور (۹۲ عدد در سه تکرار) و حداکثر آن هم در ایستگاه ۴ (پل خواب) و مربوط به ماه مرداد (۱۰۷۸ عدد در سه تکرار) مشاهده شدند. نتایج بررسی نمونه های جامعه بی مهرگان کفزی شناسایی شده رودخانه کرج طی دوره ی نمونه برداری ۴ ماهه در ۶ ایستگاه، نشان دهنده حضور ۱۴ خانواده، ۷ راسته، ۴ رده و ۳ شاخه بود (جدول ۵).

جدول ۵. طبقه‌بندی ماکروبتنوزهای شناسایی شده در رودخانه کرج

جنس	خانواده	راسته	رده	شاخه
Baetis	Baetidae	Ephemeroptera	Insects	Arthropoda
Glossosoma	Glossosomatidae	Trichoptera	Insects	Arthropoda
	Hydropsychidae	Trichoptera	Insects	Arthropoda
	Chironomidae	Diptera	Insects	Arthropoda
	Leptophlebiae	Ephemeroptera	Insects	Arthropoda
	Tubifex	Tubificida	Clitellata	Annelida
	Blephariceridae	Diptera	Insects	Arthropoda
Gyalus	Planorbidae	Pulmonata	Gastropoda	Mollusca
Physella	Phsidae	Pulmonata	Gastropoda	Mollusca
	Heptageniidae	Ephemeroptera	Insects	Arthropoda
	Athericidae	Diptera	Insects	Arthropoda
	Elmidae	Coleoptera	Insects	Arthropoda
	Naididae	Tubificida	Clitellata	Annelida
	Tipulidae	Diptera	Insects	Arthropoda
Caecidotea	Asellidae	Isopoda	Malacostraca	Arthropoda

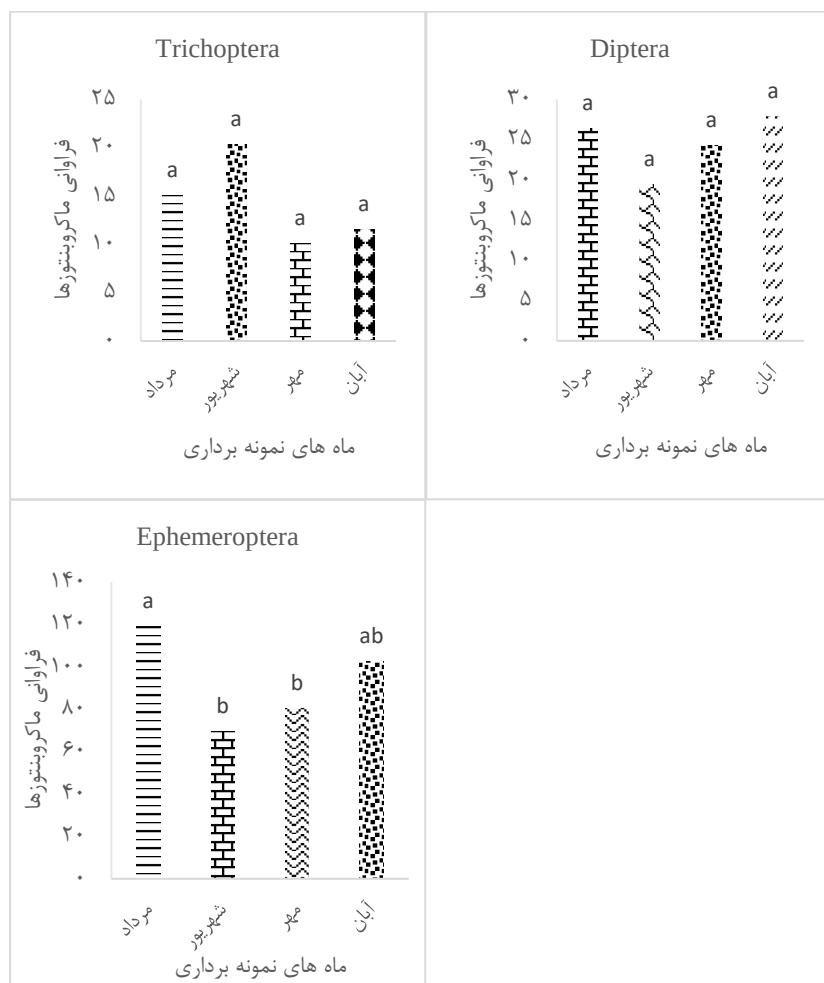
از بین ۷ راسته شناسایی شده بیشترین فراوانی به ترتیب متعلق به راسته Ephemeroptera (یکروزه‌ها)، Diptera (دوبالان) و Trichoptera (بال موی‌داران) بود (شکل ۲). راسته یکروزه‌ها دارای بالاترین فراوانی در میان گروه‌های کفزیان بود. فراوانی آن در ایستگاه‌های بالادست به مراتب بیشتر از ایستگاه‌های پایین‌دست بود. ۳ خانواده از این راسته شناسایی شد که خانواده Baetidae بیشترین فراوانی و پراکنش را در تمامی ایستگاه‌ها دارا بود. خانواده Baetidae در تمامی ایستگاه‌ها و فصول مختلف سال مشاهده شد. این خانواده بالاترین درصد فراوانی را در میان تمامی خانواده‌های کفزیان دارا بود. راسته‌ی دوبالان بعد از راسته یکروزه‌ها بیشترین فراوانی را در مجموع ایستگاه‌ها دارا بود. از این راسته ۴ خانواده شناسایی شد که خانواده Chironomidae دارای بالاترین میزان فراوانی بوده و در تمام ایستگاه‌ها و فصول مشاهده شده است. سومین راسته شناسایی شده از نظر تراکم راسته بال موی‌داران می باشد. از این راسته ۲ خانواده شناسایی شد که خانواده Hydropsychidae دارای بالاترین میزان فراوانی بود.



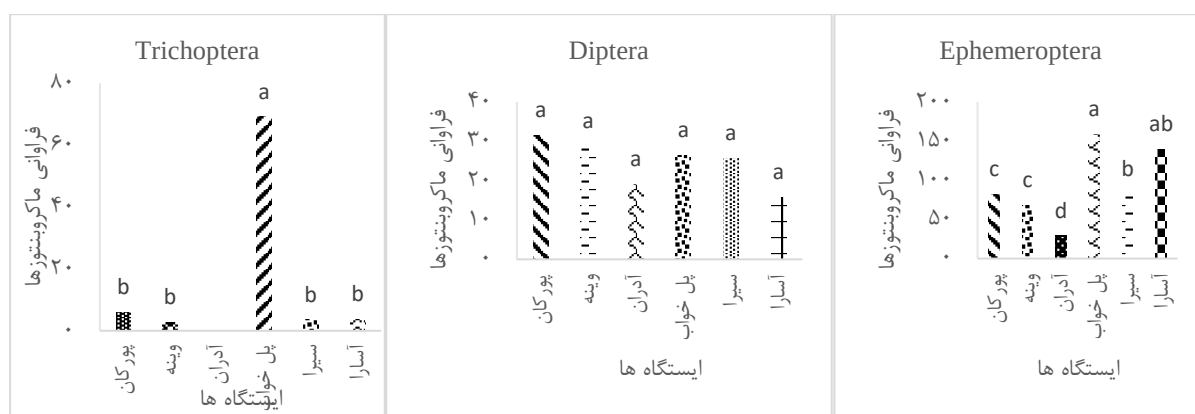
شکل ۲. درصد فراوانی ماکروبتوزها طی دوره بررسی در ایستگاه‌های مختلف

Baetidae از راسته یکروزه‌ها، در این مطالعه بیشترین درصد فراوانی را به خود اختصاص داد. بیشترین درصد فراوانی این خانواده در ایستگاه آسارا و ماه مرداد (۸۷٪) و کمترین درصد فراوانی آن در ایستگاه آدران و ماه آبان (۴۳٪) مشاهده شد. نتایج به دست آمده برای راسته Ephemeroptera نشان داد که حداکثر میانگین فراوانی بی‌مهرگان کفزی در ماه مرداد و ایستگاه ۴ (پل خواب) و حداقل آن در ماه شهریور و ایستگاه ۳ (آدران) است. آزمون Mann-Whitney test در بررسی فراوانی بی‌مهرگان کفزی از این راسته در طی ماه‌های مورد بررسی و ایستگاه‌های مختلف نشان داد که اختلاف معنی‌داری وجود دارد ($p \leq 0.05$). نتایج به دست آمده برای راسته Trichoptera نشان داد که حداکثر میانگین فراوانی بی‌مهرگان کفزی در ماه شهریور و ایستگاه ۴ (پل خواب) و حداقل آن در ماه مهر و ایستگاه ۳ (آدران) است. در بررسی فراوانی بی‌مهرگان کفزی از این راسته طبق آزمون Kruskal-Wallis test در ماه‌های مورد بررسی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، اما در ایستگاه‌های مختلف مقایسه کلی بین ایستگاه‌ها با آزمون کروسکال والیس و مقایسه دو به دو با آزمون Mann-Whitney test نشان داد که اختلاف معنی‌داری وجود دارد ($p \leq 0.05$).

نتایج به دست آمده برای راسته Diptera نشان داد که حداکثر میانگین فراوانی بی‌مهرگان کفزی در ماه مرداد و ایستگاه ۱ (پورکان) و حداقل آن در ماه شهریور و ایستگاه ۶ (آسارا) است. در بررسی فراوانی بی‌مهرگان کفزی از این راسته طبق آزمون Kruskal-Wallis test در ماه‌های مختلف و ایستگاه‌های مورد بررسی، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ($p \leq 0.05$). (شکل ۳ و ۴).



شکل ۳. فراوانی راسته های Ephemeroptera (یکروزه‌ها)، Diptera (دوبالان) و Trichoptera (بال موی‌داران) در ماه‌های مختلف



شکل ۴. تغییرات راسته های Ephemeroptera، Trichoptera و Diptera در ایستگاه‌های مختلف

بیشترین مقدار شاخص BMWP در ایستگاه ۴ (پل خواب) در ماه مرداد (۵/۶) و کمترین مقدار آن در ایستگاه ۳ (آدران) و در ماه آبان (۲/۹) مشاهده شد (جدول ۶).

جدول ۶. شاخص BMWP (انحراف معیار $\pm$ میانگین) در ایستگاه‌های مطالعاتی رودخانه کرج

ایستگاه	پورکان	وینه	آدران	پل خواب	سیرا	آسارا	ماه
مرداد	۳/۲۲±۰/۵۸	۳/۱۲±۰/۵۹	۳/۶۱±۰/۴۹	۵/۶۲±۰/۷۶	۳/۳۹±۰/۵۲	۴/۰۸±۰/۸۹	
شهریور	۳/۴۲±۰/۶۲	۳/۶۳±۰/۷۲	۳/۶۲±۰/۷۵	۴/۰۰±۰/۶۷	۳/۳±۰/۶۵	۳/۷۵±۰/۶۳	
مهر	۳/۵۷±۰/۷	۳/۱۵±۰/۵۷	۲/۹۱±۰/۵۱	۴/۲۸±۰/۶۱	۳/۸۱±۰/۷۷	۳/۶۵±۰/۸۶	
آبان	۳/۵±۰/۶۸	۳/۱۸±۰/۶	۲/۹±۰/۵	۴/۵۲±۰/۶۳	۴/۵۷±۰/۷۳	۴/۲۵±۰/۸۲	

بیشترین مقدار شاخص هیلسنهوف در ایستگاه ۳ (آدران) و ماه مرداد (۷/۰۷) و کمترین مقدار آن در ایستگاه ۴ (پل خواب) و ماه مرداد (۳/۵۳) مشاهده شد. طبق جدول ۷ وضعیت کیفیت آب در ایستگاه‌های مورد مطالعه بالادست سد کرج (پل خواب، سیرا و آسارا) خوب و در ایستگاه‌های مطالعاتی پایین دست سد کرج (پورکان، وینه و آدران)، خوب، مناسب و ضعیف نشان داده شد.

جدول ۷. شاخص هیلسنهوف (انحراف معیار $\pm$ میانگین) در ایستگاه‌های مختلف رودخانه کرج

ایستگاه	پورکان	وینه	آدران	پل خواب	سیرا	آسارا	ماه
مرداد	۴/۶۶±۰/۷۹	۵/۱۳±۰/۶۷	۷/۰۷±۰/۷۴	۳/۵۳±۰/۵۲	۴/۷۸±۰/۸۱	۴/۰۵±۰/۹	
شهریور	۴/۷±۱/۳۳	۴/۸۴±۱/۳۴	۴/۹±۱/۳۸	۴/۳۱±۱/۱۸	۴/۷۵±۱/۳۳	۴/۳۱±۱/۱۷	
مهر	۴/۴۹±۰/۸	۴/۹۵±۰/۷۹	۵/۲۴±۰/۸۵	۴/۲۶±۰/۶	۴/۳۴±۰/۷۸	۴/۴۴±۰/۸۶	
آبان	۴/۵۸±۰/۸	۴/۹±۰/۷۹	۵/۱۸±۰/۹	۴/۲۷±۰/۵۹	۴/۱۵±۰/۷۱	۴/۲۸±۰/۸	

ایستگاه ۴ (پل خواب) در ماه مرداد بیشترین مقدار (۹۱۹) و ایستگاه ۳ (آدران) در ماه آبان کمترین مقدار (۴۷) شاخص EPT را نشان دادند. طبق جدول ۸ هر چقدر مقدار شاخص EPT راسته‌های مذکور بیشتر باشد کیفیت منبع آبی بالاتر است، بنابراین جدول ۸ نشان می‌دهد مقدار این شاخص در ایستگاه‌های مطالعاتی بالادست سد کرج (پل خواب، سیرا و آسارا)، بیشتر از ایستگاه‌های پایین‌دست می‌باشد پس کیفیت آب در ایستگاه‌های بالادست سد بهتر است.

جدول ۸. شاخص EPT (انحراف معیار $\pm$ میانگین) در ایستگاه‌های مختلف رودخانه کرج

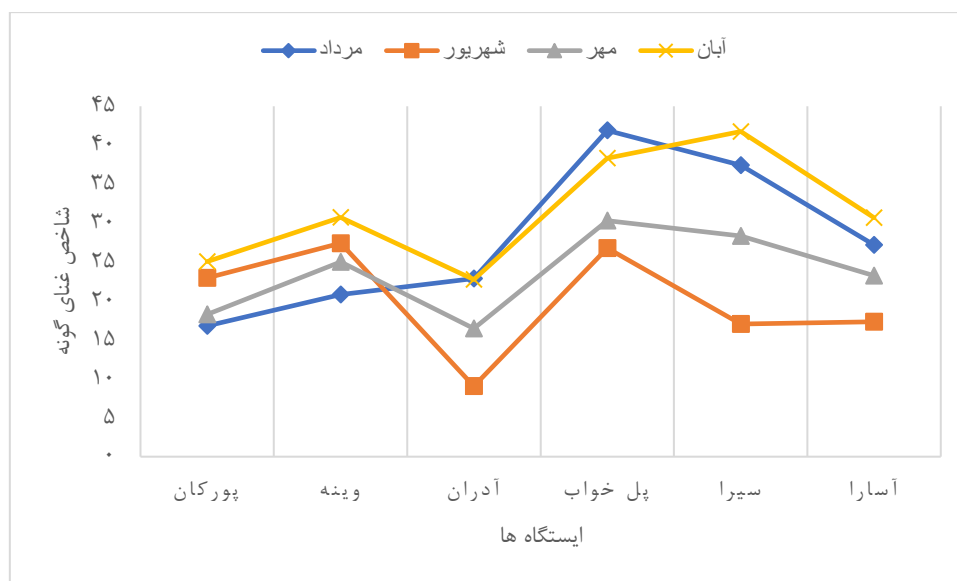
ایستگاه	پورکان	وینه	آدران	پل خواب	سیرا	آسارا	ماه
مرداد	۱۵۸/۳ $\pm$ ۳۷/۶	۱۰۵ $\pm$ ۲۷/۱	۴۷ $\pm$ ۱۱/۳	۹۱۹/۷ $\pm$ ۱۴۴/۸	۲۶۶/۳ $\pm$ ۶۲/۹	۲۰۰ $\pm$ ۸۲۹/۹	
شهریور	۱۹۹/۳ $\pm$ ۴۷/۳	۱۷۱/۳ $\pm$ ۴۳/۴	۶۶/۷ $\pm$ ۱۷/۲	۶۸۸/۷ $\pm$ ۱۲۸	۱۸۴ $\pm$ ۴۷/۵	۱۸۴ $\pm$ ۴۷/۵	
مهر	۳۱۴/۷ $\pm$ ۷۶/۹	۲۹۲ $\pm$ ۷۲	۱۰۸ $\pm$ ۲۷/۹	۳۴۹/۷ $\pm$ ۶۴/۴	۲۲۵ $\pm$ ۵۶/۴	۲۷۹/۳ $\pm$ ۷۲/۱	
آبان	۱۵۸/۳ $\pm$ ۳۷/۶	۱۰۵ $\pm$ ۲۷/۱	۴۷/۳ $\pm$ ۱۱/۴	۴۹۲ $\pm$ ۸۸/۵	۳۲۹/۷ $\pm$ ۷۰/۲	۴۰۳/۳ $\pm$ ۹۳/۳	

طبق جدول ۹ ایستگاه ۳ (آدران) در ماه مرداد بیشترین مقدار (۱/۶) و ایستگاه ۶ (آسارا) در ماه مرداد کمترین مقدار (۰/۵۳) شاخص شانون را نشان دادند. کیفیت آب در این ایستگاه‌ها بین نسبتاً آلوده و شدیداً آلوده قرار داشت.

جدول ۹. شاخص شانون وینر (انحراف معیار $\pm$ میانگین) در ایستگاه‌های مختلف رودخانه کرج

ایستگاه	پورکان	وینه	آدران	پل خواب	سیرا	آسارا	ماه
مرداد	۰/۸۷ $\pm$ ۰/۱۲	۱/۱۵ $\pm$ ۰/۱۲	۱/۶۴ $\pm$ ۰/۱۵	۱/۴ $\pm$ ۰/۱۳	۱/۰۲ $\pm$ ۰/۱۲	۰/۵۳ $\pm$ ۰/۰۶	
شهریور	۰/۹ $\pm$ ۰/۱۲	۰/۹۷ $\pm$ ۰/۱	۰/۷۸ $\pm$ ۰/۱۱	۱/۰۳ $\pm$ ۰/۱۳	۰/۹۲ $\pm$ ۰/۱۲	۱/۱۱ $\pm$ ۰/۱۳	
مهر	۰/۷۷ $\pm$ ۰/۱۱	۰/۹۴ $\pm$ ۰/۱۲	۰/۹۳ $\pm$ ۰/۱۳	۱/۲۸ $\pm$ ۰/۱۲	۰/۹۱ $\pm$ ۰/۰۹	۰/۶۵ $\pm$ ۰/۰۷	
آبان	۰/۸ $\pm$ ۰/۱۱	۰/۹۲ $\pm$ ۰/۱۲	۰/۸۷ $\pm$ ۰/۱۲	۱/۳۲ $\pm$ ۰/۱۲	۱/۱۴ $\pm$ ۰/۰۹	۰/۸۲ $\pm$ ۰/۰۸	

تغییرات شاخص غنای گونه‌ای نشان داد که ایستگاه ۵ (سیرا) در ماه آبان بیشترین مقدار (۴۱/۹) و ایستگاه ۳ (آدران) در ماه شهریور کمترین مقدار (۹/۱) شاخص غنا را دارند (شکل ۵).



شکل ۵. تغییرات شاخص غنای گونه‌ای طی دوره بررسی در ایستگاه‌های مختلف

بحث

بررسی‌ها نشان داد رودخانه کرج دارای بستر قله سنگی می‌باشد. ایستگاه پل خواب بیشترین فراوانی را داشت که این نتیجه در مطالعه‌ی Shokripour و Ashja ardalani (۲۰۱۷) نیز وجود داشت همچنین طبق نتایج این مطالعه کیفیت آب ایستگاه پل خواب به دلیل وجود راسه‌های حساس، خیلی خوب ارزیابی گردید. همچنین در ایستگاه وینه شاهد درجه کیفی خوب بودند که احتمال مقداری آلودگی آلی وجود دارد ولی با این حال تاکسون‌های حساس در این ایستگاه مشاهده شدند.

در پاییز ممکن است سیلاب‌ها باعث شسته شدن کفزیان در بستر شود و در تابستان نیز دمای مناسب و ورود مواد مغذی می‌تواند باعث فراوانی گردد این نتیجه با نتایج مطالعه Shariati و Omidi (۲۰۲۰) روی رودخانه پسیخان مطابقت داشت. همچنین در این مطالعه بیشترین فراوانی در فصل تابستان و کمترین آن در فصل پاییز مشاهده شد که نتایج ما نیز به همین صورت بود. همچنین در مطالعه‌ی Shariati و Omidi (۲۰۲۰) بیان شد که در فصل تابستان تولیدات فیتوپلانکتونی به دلیل افزایش دما زیاد می‌شود و با ریزش تولیدات، مواد غذایی بهتری در اختیار ماکروبتوزها قرار می‌گیرد. از دلایل افزایش فراوانی می‌تواند افزایش عرض رودخانه و کاهش سرعت جریان آب در ایستگاه‌ها باشد (Mahdavi et al., 2010).

دما یکی از مهمترین متغیرهای فیزیکی است که روی جوامع کفزی اثرگذار می‌باشد که نتایج مطالعه Vosooghi و همکاران (۲۰۱۴) بر رودخانه کلارود این را تایید می‌کند. خنک بودن دما زیستگاه مناسبی را برای گروه‌های سرمادوست از قبیل راسه یکروزه‌ها و راسه بال موی داران فراهم می‌کند (McCafferty, 1983). تاثیر دما در رشد و تولید مثل کفزیان در نتیجه تغییر تنوع زیستی توسط محققین زیادی گزارش شده است (Mugwanya et al., 2022). در رودخانه کرج دمای آب در ایستگاه‌های پایین‌دست و در ماه‌های مورد بررسی، بیشتر از ایستگاه‌های بالادست بود. دمای بالای آب در ماه‌های مرداد و شهریور باعث کاهش فراوانی در ایستگاه‌های پایین‌دست شد ولی در ایستگاه‌های بالادست دما متعادل‌تر بود به همین دلیل شاهد فراوانی بالاتری بودیم. همچنین در ماه‌های مهر و آبان با کاهش دمای آب، فراوانی ماکروبتوزها در پایین‌دست رودخانه بیشتر مشاهده شد و این می‌تواند به دلیل متعادل بودن شرایط دمایی باشد چون در ایستگاه‌های بالادست دمای آب به حد ۱۰ درجه رسیده بود. دمای آب در ایستگاه‌های پورکان، وینه و آدران بیشتر از دمای آب در ایستگاه‌های پل خواب، زشمسیرا و آسارا در ماه‌های مورد بررسی بود و این را می‌توان به دلیل دور شدن از محل سرچشمه دانست. در دماهای بالا فعالیت‌های بیولوژیکی افزایش یافته و به طبع آن مصرف اکسیژن محلول آب افزایش می‌یابد که این امر سبب کاهش تنوع زیستی می‌شود (Alizadeh et al., 2019). طبق

مطالعه‌ی Vatandoost و همکاران (۲۰۱۶) دما یکی از مهم‌ترین متغیرهای فیزیکی است که روی ساختار جمعیتی بی‌مهرگان کفزی تأثیر می‌گذارد. در فصل پاییز کاهش دما موجب افزایش اکسیژن شده و افزایش حضور خانواده‌های حساس ب‌آلودگی را به دنبال خواهد داشت. کلیه‌ی شاخص‌های مورد مطالعه در این مقاله کاهش را از بالادست به پایین‌دست رودخانه کرج نشان داد. مطالعه‌ی توسط Rahimibashar و همکاران (۲۰۱۶) بیان شد که تغییرات فصلی و خصوصیات اکولوژیک رودخانه روی فراوانی و تنوع ماکروبتوزها اثر داشته و در پاییز به دلیل سیلابی شدن رودخانه‌ها، کاهش فراوانی را شاهد هستیم.

تراکم راسته Ephemeroptera در بالادست رودخانه بیشتر بود که به دلیل مساعد شدن شرایط جهت رشد ماکروبتوزها می‌باشد این موضوع در مطالعه‌ی نهر مادرسو در پارک ملی گلستان توسط Jorjani و همکاران (۲۰۰۸) و مطالعه‌ی Pazira و همکاران (۲۰۰۸) در رودخانه‌های دالکی و حله بوشهر و مطالعه‌ی Hertika و همکاران (۲۰۲۴) در رودخانه برانتاس اندونزی به اثبات رسید. در پایین دست رودخانه تراکم Diptera از دیگر راسته‌ها بیشتر بود این موضوع نیز با مطالعه‌ی Pazira و همکاران (۲۰۰۸) در رودخانه دالکی و حله بوشهر مطابقت داشت.

راسته‌ی Diptera و مشخصاً خانواده‌ی Chironomidae از گروه‌های مقاوم به آلودگی می‌باشند به نظر می‌رسد به نوع تغذیه این گروه که فیلترکننده‌ی مواد آلی ریز معلق در آب می‌باشند مرتبط باشد (Ghane et al., 2006). همچنین به طور میانگین، ۶۰ درصد از فراوانی Chironomidae در کل ایستگاه‌ها مربوط به سه ایستگاه پایین‌دست رودخانه (پورکان، وینه و آدران) و ۴۰ درصد مابقی به ایستگاه‌های بالادست تعلق داشت. مطالعه Zemo و همکاران (۲۰۲۳) در کامرون نشان داد که در آن آثار شهرنشینی و تخلیه پسماند در محیط آبی بر مشخصات محیط زیستی به طور فزاینده‌ای اثرگذار است و Chironomidae در قسمت‌های آلوده مشاهده شد. این مورد با مطالعه Shakoori و همکاران (۲۰۲۳) در رودخانه‌های قشلاق و گاوهرود مطابقت داشت چرا که در این مطالعه راسته Diptera در مناطقی که فعالیت‌های انسانی چشمگیر بود، بیشترین فراوانی را داشتند. همچنین این موضوع می‌تواند به دلیل تغییرات آب رودخانه پس از عبور از سد امیرکبیر و تلاقی با رودخانه هفت چشمه و منطقه شهری، وجود رستوران‌ها و ورود فاضلاب و پساب خانگی و شهری در مسیر رودخانه باشد. بنابراین می‌توان گفت افزایش نسبی گروه‌های مقاوم به آلودگی نشان دهنده‌ی اثر فشارهای محیطی به اکوسیستم رودخانه و در نتیجه تغییر در ترکیب و پراکنش جمعیت کفزیان در جهت مصرف و جبران آشفستگی می‌باشد. در این رابطه مطالعه‌ی توسط Shokripour و Ashjaardalan (۲۰۱۴) در رودخانه کرج انجام شد که بیان شد هر چه به ایستگاه‌های پایین‌دست سد نزدیک می‌شویم از میزان موجودات حساس کاسته می‌شود و به مقدار گروه‌های مقاوم افزوده می‌شود. بیشترین غنای گونه‌ای به طور متوسط در ایستگاه ۴ (پل‌خواب) و کمترین مقدار آن در ایستگاه ۳ (آدران) بود. هرگاه کیفیت آب زیستگاه در محل مورد مطالعه بیشتر باشد مقدار این شاخص افزایش می‌یابد (Ghane et al., 2006)، این نشان می‌دهد که شرایط و کیفیت آب در ایستگاه ۴ که در بالادست سد است مناسب‌تر از ایستگاه ۳ که در پایین‌دست قرار دارد، می‌باشد. همچنین ۵۸ درصد میانگین غنای کل در ایستگاه‌های بالادست و ۴۲ درصد مربوط به ایستگاه‌های پایین‌دست مشاهده شد در نتیجه هر چه به سمت پایین دست رودخانه می‌رویم غنای کل کاهش می‌یابد، این مورد نیز با مطالعه Shrestha و همکاران (۲۰۲۳) در نپال مطابقت داشت.

شاخص EPT سنج‌ای دیگر می‌باشد که بر خلاف غنای کل، همه گروه‌های مقاوم و غیرمقاوم را شامل نمی‌شود و فقط تنوع گروه‌های حساس به آلودگی را در برمی‌گیرد (Ghane et al., 2006). ایستگاه‌های ۱، ۲ و ۳ (پورکان، وینه و آدران) دارای کمترین مقدار شاخص EPT می‌باشند و ایستگاه‌های دیگر مقدار بیشتری را به خود اختصاص دادند. در اصل حدود ۷۲ درصد شاخص EPT در تمامی ایستگاه‌ها مربوط به سه ایستگاه بالادست سد می‌باشد. نسبت EPT مطالعات در رودخانه کرج به Chironomidae در ایستگاه‌های بالادست بالاتر از ایستگاه‌های پایین دست می‌باشد و این می‌تواند نشانه‌ای از استرس محیطی باشد، نتایج مطالعاتی که توسط Ghane و همکاران (۲۰۰۶) انجام شد این موضوع را تأیید می‌کنند.

در آب‌های جاری که شرایط زیستی مناسب و محیط غیرآشفته دارند، شاهد فراوانی متوازن و متناسبی از گروه‌های مهم حشرات آبری Ephemeroptera، Plecoptera، Diptera و Trichoptera می‌باشند. بنابراین افزایش غیر متعارف تعداد Chironomidae نسبت به گروه‌های حساس (EPT) که کاهش مقدار نسبت EPT/CHIR را در پی دارد. نشانگر استرس و آشفستگی محیطی

می‌باشد. در این میان گروه‌های متعلق به سه راسته مهم حشرات آبی EPT که به طور متوسط قسمت اعظمی از بزرگ بی‌مهرگان کفزی را در بستر رودخانه تشکیل دادند و از آنجایی که افراد متعلق به این سه راسته عمدتاً از گروه‌های حساس به تغییرات شرایط محیطی به حساب می‌آیند چنین نتیجه‌ای می‌تواند نشان‌دهنده کیفیت مناسب این رودخانه باشد. با افزایش جمعیت مردم و گردشگران در پایین دست رودخانه کرج و همچنین به دنبال آن افزایش فاضلاب خانگی جمعیت خانواده Chironomidae گسترش می‌یابد (Mahdavi et al., 2010).

طبق شاخص درصد خانواده غالب بیشترین فراوانی مربوط به خانواده Baetidae می‌باشد. قابل ذکر است طبق مطالعاتی که توسط Mirdar و همکاران (۲۰۱۸) انجام شد این راسته به عنوان شاخص آب‌های تمیز، زلال و پراکسیژن مطرح می‌باشد. به طور متوسط ۶۶ درصد از فراوانی کل این خانواده در ایستگاه‌ها، مربوط به سه ایستگاه بالادست و فقط ۳۴ درصد آن به ایستگاه‌های پایین دست تعلق داشت. این درصد در ایستگاه‌های بالادست نشان‌دهنده وجود شرایط محیطی مناسب‌تر می‌باشد و همین موضوع کیفیت مناسب‌تر آب را در بالادست رودخانه مشخص می‌کند. مطالعه Shakoobi و همکاران (۲۰۲۳) در رودخانه‌های قشلاق و گاوهرود نیز نشان داد که در ایستگاه‌هایی با شرایط مناسب، این خانواده فراوانی بالایی را دارد و این نشان‌دهنده سلامت و کیفیت خوب آن ایستگاه است.

در ایستگاه‌های بالادست بیشترین تاکسون‌ها مشاهده شدند. این مورد شاید به این دلیل باشد که این سه ایستگاه در سرچشمه رود آسار، سیرا و سرچشمه پل خواب واقع شدند و این باعث افزایش فراوانی بی‌مهرگان کفزی در این سه ایستگاه شده است. در این سه ایستگاه پوشش گیاهی مناسب‌تری نسبت به ایستگاه‌های پایین دست وجود دارد و به دلیل اهمیت گیاهان در مراحل چرخه زندگی ماکروبتوزها، پوشش گیاهی نیز می‌تواند به عنوان عامل کلیدی در حضور بی‌مهرگان باشند. نتایج بررسی این موضوع با مطالعه Molazadeh (۲۰۱۴) که در رودخانه ماربر و مطالعه Sany و همکاران (۲۰۲۳) در اندونزی انجام شد مطابقت دارد. بیشترین مقدار شاخص BMWP در ایستگاه پل خواب و در مرداد ماه و کمترین آن در ایستگاه آدران مشاهده شد. طبق این شاخص، تمام ایستگاه‌ها در طبقه خیلی بد و آلودگی شدید قرار می‌گیرند که با مشاهدات ما با دیگر شاخص‌ها مطابقت ندارد. بررسی این شاخص در مطالعات Tabatabaei و همکاران (۲۰۱۰) کیفیت آب رودخانه حله را در سطح ضعیف ارزیابی کرد. در مطالعه Shapouri و همکاران (۲۰۱۰) نیز ارزیابی کیفی آب رودخانه گرگانرود بر اساس این شاخص در سه طبقه متوسط، ضعیف و خیلی ضعیف ثبت شد. همچنین در مطالعه Mohammadi Rouzbahani و همکاران (۲۰۱۴) کیفیت آب رودخانه دز با استفاده از این شاخص، در دو طبقه بسیار ضعیف و ضعیف ارزیابی شد. نتایج حاصل از میانگین شاخص BMWP در مطالعه Medupin (۲۰۲۰) نشان داد که رده کیفی بد با توجه به غالبیت گروه‌های مقاوم به آلودگی در ایستگاه‌ها توجیه پذیر بود. شاخص EPT/CHIR در ایستگاه‌ها بررسی گردید و مشخص شد که گونه‌های حساس نسبت به گونه‌های مقاوم در ایستگاه‌های بالادست از میزان بالاتری برخوردار است اما نتایج شاخص BMWP تمام ایستگاه‌ها را در وضعیت آلودگی شدید قرار داد که این دو شاخص اصلاً با یکدیگر مطابقت ندارند. اگر شاخص EPT/CHIR، نسبت گونه مقاوم را بصورت بیشتری نشان می‌داد یا گونه‌ی غالب در تمام ایستگاه‌ها گونه‌های مقاوم بودند، در آن صورت نتایج شاخص BMWP برای ما قابل توجیه بود.

از متداولترین شاخص‌های زیستی که در ایالات متحده استفاده می‌گردد شاخص هیلسنهوف می‌باشد و تغییرات به گونه‌ای است که افزایش میزان آلودگی در منابع آبی با افزایش در مقدار آن همراه است. بیشترین مقدار این شاخص در ایستگاه ۳ (آدران) در ماه مرداد و کمترین آن در ایستگاه ۴ (پل خواب) و در ماه مرداد مشاهده شد. به طور کل ایستگاه پل خواب در رتبه‌ی خیلی خوب (امکان آلودگی بسیار اندک)، ایستگاه‌های آسار، سیرا، وینه و پورکان در طبقه بندی کیفیت خوب (احتمال مقدار آلودگی آلی) و ایستگاه آدران در رتبه‌ی مناسب (آلودگی آلی نسبتاً قابل ملاحظه) ارزیابی شد. مطالعه‌ای توسط Shokripour and Ashja (۲۰۱۷) در رودخانه کرج انجام شد و در ایستگاه‌هایی که نتایج شاخص هیلسنهوف مناسب بود گروه‌های حساس بیشتری در آنجا حضور داشتند و نتیجه گرفتند آب رودخانه کرج از توان خودپالایی برخوردار است. مطالعه‌ای توسط Saeb و همکاران (۲۰۱۶) در رودخانه هزار به این نتیجه رسیدند که روند تغییرات شاخص هیلسنهوف به سمت ایستگاه‌های پایین دست در حال افزایش است. با دور شدن از محل سرچشمه این اتفاق می‌افتد. در مطالعه‌ی Shariati و Omid (۲۰۲۰) و در رودخانه پسیخان

، شاخص هیلسنهوف این رودخانه در طبقه‌بندی کیفی خوب، متوسط و نسبتاً ضعیف قرار داده شد. همچنین Mirzajani و همکاران (۲۰۲۰) با مطالعه بر رودخانه‌های منتهی به تالاب انزلی، طبقه‌بندی شاخص هیلسنهوف را در وضعیت ضعیف تا بسیار ضعیف بیان کردند.

بر اساس شاخص شانون، هر چه مقدار آن کمتر و نزدیک به صفر باشد محیط آلوده‌تر می‌باشد. همچنین افزایش میزان شاخص به بیش از ۳ نشانگر عدم آلودگی منبع آبی است. طبق این شاخص ایستگاه ۱ (پورکان) در تمام ماه‌ها، ایستگاه ۲ و ۳ (وینه و آدران) در ماه‌های شهریور، مهر و آبان، ایستگاه ۵ (سیرا) در ماه‌های شهریور و مهر، ایستگاه ۶ (آسارا) در ماه‌های مرداد، مهر و آبان در رده‌ی بسیار آلوده قرار می‌گیرند. همچنین ایستگاه ۴ (پل خواب) در تمامی ماه‌ها، ایستگاه وینه در ماه مرداد، ایستگاه ۳ (آدران) در ماه مرداد، ایستگاه ۵ (سیرا) در ماه مرداد و آبان و ایستگاه ۶ (آسارا) در ماه شهریور در رده‌ی نسبتاً آلوده قرار می‌گیرند. بهترین شاخص شانون مربوط به ایستگاه آدران و بدترین آن مربوط به ایستگاه آسارا مشاهده شد. Shokripour and Ashja ardan (۲۰۱۷) در شناسایی و بررسی تنوع ماکروبتوزهای رودخانه کرج تقریباً نتایجی مشابه با نتایج ما داشتند. چرا که آن‌ها هم در تمامی ایستگاه‌ها طبق این شاخص کیفیت آب رودخانه را در وضعیت نسبتاً آلوده تشخیص دادند. Mooraki و همکاران (۲۰۲۲) جهت پایش کیفی آب در رودخانه کرج مبتنی بر ارزیابی زیستی کفزیان، از شاخص شانون- وینر استفاده نمودند. بر اساس شاخص تنوع شانون- وینر روند تغییرات تنوع کفزیان در چهار ایستگاه مورد مطالعه بسیار جزئی و اندک بود. همچنین Alizadeh و همکاران (۲۰۱۹) در رودخانه آجی سو کمترین میزان شاخص شانون را در فصل تابستان و بیشترین آن را در فصل پاییز مشاهده کردند و نتیجه گرفتند که این رودخانه طبق شاخص شانون در رده کیفی آلودگی متوسط قرار دارد. Shahradian و همکاران (۲۰۲۰) مطالعه‌ای روی رودخانه قره آغاج انجام دادند، نتیجه‌ی شاخص شانون، این رودخانه را در تمام ماه‌ها و ایستگاه‌های مورد بررسی در درجه کیفی آلودگی آلی متوسط تا زیاد قرار داد. طبق مطالعه‌ای که توسط Lydy و همکاران (۲۰۰۰) انجام شد نشان داد که شاخص‌های تنوع به نسبت دیگر شاخص‌ها دارای کمترین فایده در بررسی‌های کیفی می‌باشد و هیچگاه به تنهایی قادر به تعیین کیفیت آب نیستند. که این نتیجه با نتایج مطالعه ما مطابقت داشت.

طبق نتایج مطالعات دیگر مانند Khosravani و همکاران (۲۰۱۴) تنوع گونه‌ای رابطه متقابل با شاخص شانون دارد، در ایستگاه‌هایی با شاخص شانون مناسب، تنوع گونه‌ای بیشتری وجود دارد. ولی این نتایج با نتیجه‌ی مطالعات مطابقت نداشت چون در ایستگاه آدران کمترین تنوع را داشتیم. فقط در ایستگاه پل خواب شاخص شانون نسبتاً آلوده مشاهده شد که تنوع گونه‌ای بالایی را در این مطالعه به خود اختصاص داده است. در مطالعه‌ی انجام شده شاخص شانون به تنهایی، نتایج مربوط به کیفیت رودخانه را نشان نمی‌دهد با توجه به متفاوت بودن شاخص‌ها، نتایج به دست آمده از شاخص‌های متنوع، همیشه مطابق با هم نخواهند بود. در مطالعات متنوع، شاخص‌هایی که تقریباً مطابق با یکدیگر هستند و نتایج مشابهی را نشان می‌دهند دارای ارزش بیشتر و قابل اطمینان‌تر هستند و تمرکز روی شاخص‌هایی است که نتایج هم سو با هم را نشان می‌دهند به همین دلیل است که در مطالعات دیگر نیز از چند شاخص استفاده می‌کنند تا نتایج دقیق‌تری را رقم بزنند.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، تنوع و تراکم ماکروبتوزها در ۶ ایستگاه رودخانه کرج طی دو فصل تابستان و پاییز مورد مطالعه قرار گرفت. در این پژوهش رودخانه کرج طبق شاخص BMWP همه ایستگاه‌ها در طبقه کیفی خیلی ضعیف مشاهده شد. طبق شاخص زیستی هیلسنهوف وضعیت کیفیت آب در ایستگاه‌های مورد مطالعه بالادست سد کرج (پل خواب، سیر و آسارا) خوب و در ایستگاه‌های مطالعاتی پایین دست سد کرج (پورکان، وینه و آدران)، خوب، مناسب و ضعیف نشان داده شد. به نظر می‌رسد. کاربرد شاخص‌های زیستی مختلف در این مطالعه نشان داد شاخص زیستی هیلسنهوف شاخص مناسبی برای ارزیابی کیفیت رودخانه کرج می‌باشد و طبق این شاخص، رودخانه کرج در وضعیت کیفی متوسط قرار دارد. در ایستگاه‌های پایین دست رودخانه کرج که متاثر از نشت و نفوذ فاضلاب‌های مسکونی و مراکز تفریحی و گردشگری اطراف هستند، وضعیت نامطلوبی دارند در ایستگاه‌های بالادست رودخانه

کرج به دلیل ارتفاع بیشتر و سرعت بیشتر جریان آب، آلاینده‌ها ماندگاری کمتری دارند و این مورد نیز دلیل دیگری بر کمتر بودن تجمع آلاینده‌ها در بالادست رودخانه کرج می‌باشد. مطالعه و بررسی بیشتر کیفیت آب رودخانه کرج و پایش آن و نیز نظارت و ممانعت از ورود فاضلابهای مختلف به آن جهت کاهش بار آلودگی به رودخانه امری ضروری است

References:

- Agblonon Houelome, T. M., Agbohessi, T. P., Adandedjan, D., Nechifor, R., Chikou, A., Lazar, I. M., and Laleye, P. 2022. Ecological quality of the Alibori River, northern Benin, using macroinvertebrate indicators. *African Journal of Aquatic Science*. 47(2),173-184. DOI:10.2989/16085914.2022.2044749
- Alizadeh, M., Hosseini, S.A., Jafaryan, H., Ghorbani, R, and Gholizadeh, M. 2019. Evaluation seasonal distribution patterns and biodiversity of macroinvertebrates communities in Aji-Su River (Golestan province). *Journal of Animal Environment*.11(2),361-370. (in Persian).
- Bagheri, S., Imanpour Namin, J., Bojková, J and Esmaili, R.2023. Temporal and spatial variation in population structure of Ephemeroptera in relation to physicochemical properties of Tajan River- Mazandaran province). *Animal Research Journal (Iranian Biology Journal)*. 36(1),77-89 (In Persian).
- Damanik-Ambarita, M. N., Lock, K., Boets, P., Everaert, G., Nguyen, T. H. T., Forio, M. A. E., ... & Goethals, P. L. (2016). Ecological water quality analysis of the Guayas River basin (Ecuador) based on macroinvertebrates indices. *Limnologica*, 57, 27-59. DOI:10.1016/j.limno.2016.01.001
- Darvishi, P., Javanshir, A., Igdari, S., Mansari, M. 2019. Water quality assessment of Khorram Rood River using population structure of macrobenthos as a biological index. The 8th Iranian National Fisheries Conference. (In Persian).
- Ghalandarzadeh, F., Rezaei Tavabe, K., Haji Seyed Mohammad Shirazi, R., and Samadi Kuchaksaraei, B. (2020). An investigation on heavy metal (cadmium, chromium, zinc) concentration changes in water and sediment, and assessing the biological value index (Z) in Karaj River. *Journal of Fisheries*, 73(2), 199-212.
- Ghane, A., Ahmadi, M., Esmaili, A and Mirzajani, A. 2006. Biological assessment of Chafrood River (Gilan Province) using macrobenthic population structure. *Agricultural sciences and techniques and natural resources, water and soil sciences*.10(1),247-252. (In Persian).
- Hertika, A. M. S., Sudaryanti, S., Musa, M., Amron, K., Putra, R. B. D. S., Alfarisi, M. A., and Halimah, M. F. (2024). Benthic macroinvertebrates as bioindicators to detect the level of water pollution in the upstream segment of Brantas River Watershed in Malang, East Java, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*. 25(2). DOI:10.13057/biodiv/d250222
- Hilsenhoff, W.L. 1988. Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index. *Journal of the North American Benthological Society*. 7(1), 65-68. DOI:10.2307/1467832
- Imanpour, J. 2021. Guide to identification of running water invertebrates. Gilan University. (in Persian).
- Jorjani, S., Ghalichi, A., Akrami, R and Kheirabadi, V. 2008. Assessment of the biological index of pollution and aquatic fauna of Maderso Creek, Golestan National Park. *Journal of New Technologies in Aquaculture Development*. 2(1),49-61. (In Persian).
- Khatami. S.E., Riazi. B, and Modiri Asari. S.A. 2007. Investigating the quality of the Karaj River based on the diversity of macroinvertebrate families. *Environmental Science and Technology*, 9(1), 71-78.
- Khosravani S, Mohammadi Zadeh F, and Yahyavi M. 2014. Biological assessment of river Haji Abad (Hormuzgan province) Using Macrobenthic Community Structure . *Journal of Aquatic Ecology*; 4 (1) :43-35. (in Persian).
- Kownacki, A. and Szarek-Gwiazda, E., 2022. The Impact of Pollution on Diversity and Density of Benthic Macroinvertebrates in Mountain and Upland Rivers. *Water*, 14(9),1349. DOI:10.3390/w14091349

- Lydy, M. J., Crawford, C. G., & Frey, J. W. 2000. A comparison of selected diversity, similarity, and biotic indices for detecting changes in benthic-invertebrate community structure and stream quality. *Archives of environmental Contamination and Toxicology*, 39, 469-479.
- Mahdavi, M., Bazrafshan, O., Javanshir, A., Mousavi Nodoushani, R. and Babapour, M. 2010. Study of the Effect of Benthic Community Structure of Taleghan River on the Determination of Water Quality. *Journal of Natural Environment* .63(1),75-91. (in Persian).
- McCafferty, W. P. (1983). Aquatic entomology: the fishermen's and ecologists' illustrated guide to insects and their relatives. Jones & Bartlett Learning.
- Medupin, C. (2020). Spatial and temporal variation of benthic macroinvertebrate communities along an urban river in Greater Manchester, UK. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(2), 84.
- Mezgebu, A. 2022. A review on freshwater biomonitoring with benthic invertebrates in Ethiopia. *Environmental and Sustainability Indicators*. 14,100174. DOI:10.1016/j.indic.2022.100174
- Mirdar, C., Zakipour, A., Alizadeh, A, and Mousavi, S.M. 2018. The use of indicator benthic organisms to investigate the water quality of Berghan River, Tehran Province. The third specialized conference on environmental engineering. (in Persian).
- Mirzajani, A.R., Daghiq Roohi, J & Mohammadi Doost, R. 2020. Investigating the distribution and density of dominant aquatic plants in the western part of Anzali Wetland. *Journal of Plant Research (Journal of Iranian Biology)* (Scientific), 33(4), 1014-1024. (In Persian).
- Mohammadi Rouzbahani, M., Roghanizadegan, N., and Dehghan Mediseh, S. 2014. Investigating the water quality of the Dez river using the BMWP index. *Journal of Wetland Ecology*. 5(18), 55-66. (In Persian).
- Molazadeh N. 2014. Bioassessment of Marbor Stream quality via biological index of macro-benthos fauna. *Wetland Ecobiology*. *Wetland Ecobiology*, 6(19), 47-56. (in Persian).
- Mooraki, N., Shapoori, M, and Nahavandi, R. 2022. Water quality monitoring in Karaj River based on benthic bioassay using Hilsenhoff Biological Index (HFB). *Journal of Fisheries*. 75(1), 111-122. (in Persian).
- Mugwanya, M., Dawood, M. A., Kimera, F., and Sewilam, H. 2022. Anthropogenic temperature fluctuations and their effect on aquaculture: A comprehensive review. *Aquaculture and Fisheries*, 7(3), 223-243.
- Niknam, E., Chamani, A., Nourouzi Mobarake, M. 2020. The water quality of Zayandeh-rood river with Macrobehthos biodiversity indexes in fall 2017 to Spring 2018. *Journal of Applied Biology*. 32(4):164-175. DOI:10.22051/jab.2019.22108.1259.
- Nowruzpour, M., and Shafiei Dashtabi, A. 2019. Investigating the effects of dam construction on the river ecosystems. 4th International Conference on Applied Research in Agriculture, Natural Resources and Environment. Hamedan.
- Pazira, A.R., Emami, S.M., Koohgerdi, E., Vatandoust, S and Akrami, R. 2008. The effect of some environmental factors on the biodiversity of macrobenthos of Dalki and Helle Bushehr rivers. *Journal of New Technologies in the Development of Aquaculture (Fisheries)*. 2(4),65-70. (in Persian).
- Rahimibashar. M.R., Seyfereyhani, M.R., Tarabijafroodi, H., Rasta, M., Khodadoust, A and Taghipour, Sh. 2016. Investigating the water quality and production capacity of Ahrchai River (East Azerbaijan) based on large communities of benthic invertebrates. *Journal of Animal Environment*. 8(2),151-158. (in Persian).
- Saeb, K., Taghavi, L., and Kazemian, H. (2016). Estimation of biological index of pollution and water quality of Haraz River using macrobenthic communities. *Ecohydrology*, 3(1), 45-53. (in Persian).
- Sany, Z. M., Arisoelaningsih, E., and Retnaningdyah, C. 2023. Evaluation of Menala River Water Quality Based on Benthic Macroinvertebrate as Bioindicator to Support Tourism in Sumbawa Island, Indonesia. *Journal of Indonesian Tourism & Development Studies*. 11(1).
- Shahradnia, H., Chamani, A and Zamanpour, M. (2020). Water quality assessment of the Qara Aghaj River in Fars Province based on major benthic invertebrate indices. *Quarterly Scientific Research Journal of Al-Zahra University*.33(3), 99-110. (in Persian).

- Shakoori, M., Afraie Bandpei, M.A., Naderi, M and Karimian, E. 2023. Investigation of benthic macroinvertebrate in Gheshlagh and Gaveh River (Kurdistan Province) based on the Hilsenhoff Biological Index (HFBI). *Journal of Utilization and Cultivation of Aquatics*. 12(1),61-73. (in Persian). DOI:10.22069/japu.2022.20297.1674.
- Shariati, F and Omid, A. 2020. Investigating temporal and spatial changes of large communities of benthic invertebrates and water quality of Pasikhan River. *Scientific Journal of Iranian Fisheries*. 29(6), 85-97. (in Persian).
- Shokripour, Z and Ashjaardalan. A. 2014. Identification and investigation of the diversity of macrobenthos of the Karaj River. Conference: National conference of biological technological achievements of Iran. (in Persian).
- Shokripour, Z., and Ashja ardan, A. 2017. Identify and evaluate the diversity of Macrobenthos in Karaj River. *Journal of Animal Research (Iranian Journal of Biology)*. 29(4) ,442-453. (in Persian).
- Shrestha, P., Rai, A., Wagle, P. C., & Ghimire, S. (2023). Evaluation of Disturbance Zonation of Bagmati River System using Benthic Macroinvertebrates in the Kathmandu Valley, Nepal. *Journal of Institute of Science and Technology*. 28(1), 79-89. DOI:10.3126/jist.v28i1.49979.
- Soufi H, Ramezani J, Rahmani M R, Nezami Balouchi B, and Davoudi S.2021. Investigation on the effects of some environmental factors on abundance and biodiversity of macrobenthos community in Karaj River. *Journal of Aquatic Ecology*. 10 (4),1-14. (In Persian).
- Sripanya, J., Rattanawilai, K., Vongsombath, C., Vannachak, V., Hanjavanit, C. and Sangpradub, N., 2022. Benthic Macroinvertebrates and Trichoptera Adults for Bioassessment Approach in Streams and Wadeable Rivers in Lao People's Democratic Republic. *Tropical Natural History*. 22,12-24. DOI:10.3390/w15040625.
- Sudarso, J., Suryono, T., Yoga, G. P., Samir, O., & Ibrahim, A. 2021. The Impact of Anthropogenic Activities on Benthic Macroinvertebrates Community in the Ranggeh River. *Journal of Ecological Engineering*. 22(5), 179-190.
- Tabatabaei, T., Amiri, F., Pazira A.R., and Mambini, SH.2010. Study the structure and diversity of macrobenthic communities in the Helle River. *Journal of Marine Biology*, 2(1), 37-46. (in Persian).
- Taghinezhad, E., Ahmadi, M.R., Kamali, A.G.H and Haghbayan, S. 2015. Ecological response of large invertebrates of Jajroud River to pollution caused by human wastes. *Renewable Natural Resources Research Journal*. 6(1), 11-23(in Persian).
- Vatandoost, S., Vosooghi, A., Qolizadeh, M, and Babazadeh, M. 2016. Study of population ecology Macrobenthos River Babol (Mazandaran). *Journal of New Technologies in Aquaculture Development*. 10(2), 42-33. (in Persian).
- Vosooghi, A., Babazadeh, M., and Vatandoust, S. 2014. Study the Quality of Kellaroud River (Mazandaran Prvince) with Using Macroinvertebrates. *Journal of Breeding and Aquaculture Science*. 5(2), 59-72.
- Zemo, M. A. T., Menbohan, S. F., Atchrimi, B. T., Betsi, W. C. N., Nwaha, M., Dzavi, J., and Lactio, N. 2023. Effect of Anthropogenic Pressure on the Biodiversity of Benthic Macroinvertebrates in Some Urban Rivers (Yaoundé). *Water*. 15(13), 2383. DOI:10.3390/w15132383.
- Shapouri, M., Zooriasatein, N., Azarbad, H. 2010. Quick assessment of Gorganrood River water quality on the basis of bioindicators. *Natural Resource Science and Technology*. 5(3): 115 -129. (in Persian).