Journal of Environmental Research
Vol. 13, No. 25, Spring &Summer 2022

Journal Homepage: www.iraneiap.ir
Print ISSN: 2008-9597 Online ISSN 2008-9590

Quality Classification of Karaj River Using Macrobenthic Biotic Indices

Document Type
Research Paper

Received
2021/06/07

Accepted
2022/07/11

Seyed Ghasem Ghorbanzadeh Zaferani[1*], Farhad Hoseani Tayefe[1], Mona Izadian[1]

1 Assessment Professor, Research Center for Environment and Sustainable Development (RCESD), Department Of Environment, Tehran, Iran

DOI: 10.22034/eiap.2022.158573

Abstract
The ASPT index is one of the most valid bio-indices for assessing river water quality. In this study, sampling which was done in the period of autumn 2017 to summer 2018, was done seasonally from nine stations along the Karaj River. Macrobenthos were sampled with sorbents and after fixation with 5% formalin and staining, the samples were identified and isolated. In the obtained results, the total number of people collected and the average annual density (SD ±) in the study area of Karaj River were 38454 units and (147 ±) 2907 units / m2, respectively, the highest number of which is equal to 15313 units in autumn. And the lowest in the summer is equal to 3806 numbers. The results showed that Arthropods as the main group of macrobenthos made up 83% of the samples. Also, ringed worms were included in 14%, flatworms in 1% and mollusks in 2% of the samples. The average of total ASPT indices in Karaj River is 3.95. The range of changes of ASPT index based on station is (0.8-0.1), respectively. The highest annual average value of ASPT index (4.64) was observed in Varangeh_ Rood station and the lowest value (3.08) was observed in Bilaqan station. The trend of ASPT index changes from upstream to downstream be decreasing. Therefore, the downstream part of the river has a worse quality than the upstream. Also the ASPT seems to be more appropriate for assessing rivers than the BMWP index.

Keywords: ASPT, BMWP, Macrobenthos, Karaj River, Water Quality

* Corresponding author Email: Ghorbanzadeh110@yahoo.com

Extended abstract

Introduction

Karaj River as one of the water supply sources of Tehran metropolis, is important due to recreational activities on its outskirts; therefore, it is necessary to have the desired quality and the process of changing the quality of this water source should be considered. In order to understand these changes and ecological health assessment of river, it is necessary to use biological study methods on water quality characteristics by examining the distribution of macrobenthos and the use of biotic indices (Czerniawska-Kusza, 2005).

The aim of this study was to assessment of the water quality of Karaj River and classify it using ASPT index and compare its results with BMWP index. So the important question of this research is which of the ASPT and BMWP indices is more appropriate for assessing the water quality of the Karaj River? Previous studies have been performed using ASPT and BMWP biomarkers in Iran and the world. In one of these studies, to measure the water quality of the Dez River, it sampled five stations in both winter and summer. In this study, according to the ASPT index, except for Paul Rankin station, all other stations were in the qualitative category of severe contamination. While the results of the BMWP index classified water quality into two categories: poor quality and very poor quality (Mohammadi Roozbahani et al., 2014). In another study, the water quality of Heshilan wetland was evaluated using BMWP and ASPT (Norouzi & Rezaeimanesh, 2021). In this study, based on the BMWP index in the warm season, the stations were classified into two groups: very good, average and in the cold season into three groups: good, poor and average. The results of the study using ASPT and BMWP indices in the water of Küçük Menderes River showed that it is not of high quality due to human activities such as agriculture, recreation, tourism, municipal sewage and seasonal settlements (Arsalan et al ., 2016).

Methodology / Experimental Design

Sampling of macrobenthos was performed according to Mandaville (2012) method. Sampling was carried out from 9 stations of Karaj River (from Bilghan; ST1 to Velayat Rood; ST8 and Varangeh Rood; ST9) for one year during four seasons (autumn and winter 2017 and spring and summer 2018) (Fig. 1). Macrobenthos samples were collected in each station by sorber sampler.To determine the differences between the groups, one-way analysis of variance was performed using SPSS23. The ASPT index was calculated based on the following equation (Czerniawska-Kusza, 2005)

$$ASPT = BMWP/ \text{Number of taxa in the sample}$$

In order to calculate the BMWP values, a score was awarded to each family of collected species.

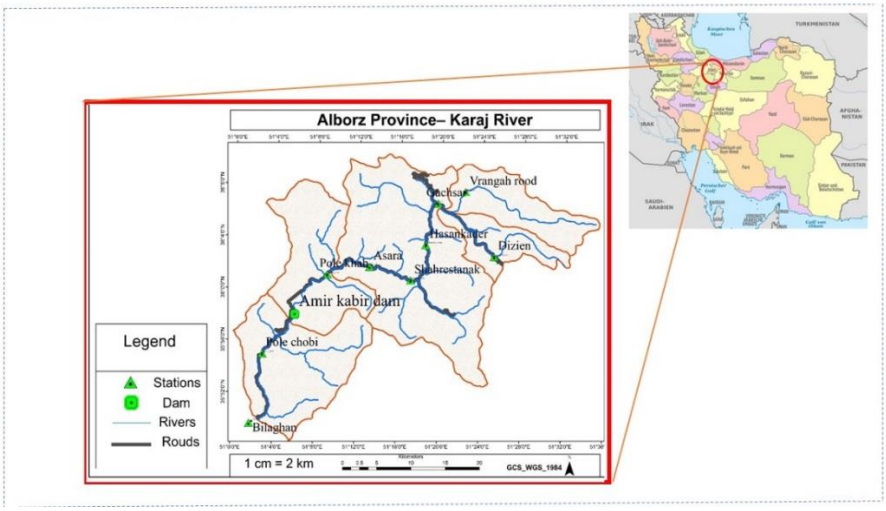


Figure (1): Map of the studied stations along the Karaj River (2017-2018)

To classify the ecological status of Karaj River stations based on BMWP and ASPT, the ecological status of each station was determined according to table 1.

Table (1): Ecological Status Threshold (ECoQ) Based on Indices

	Biological Index Threshold(BI)		ECoQ
	BMWP	**ASPT**	
	100<	Higher than 6	Great and very good(H)
	71 – 100	5 – 6	Good(G)
	41 – 70	4 – 5	Medium(M)
	11 – 40	3 – 4	Weak(P)
	0 – 10	Less than 3	Bad (very bad) (B)
Reference	Wally and Hawkes,1997	Armitage *et al*.,1983	

Results and Discussion

The results of this study showed that Arthropods as the major group of macrobenthos accounted for 83% of the samples. Also, Annelida were included in 14%, Platyhelminthes in 1% and Mollusca in 2% of the samples. The mean of BMWP and ASPT in Karaj River were observed in table 2.

Table (2): Annual Average(SD±) Of Indices Calculated in Karaj River Based on Station - (2017-2018)

BI	ST1	ST2	ST3	ST4	ST5	Total average (SD±min and max)
BMWP	28.8±16.3	47.1±17.0	35.3±19.2	28.6±15.4	26.5±10.7	
ASPT	3.1±0.8	4.0±0.7	3.7±1.0	3.6±1.0	4.0±1.8	
BI	ST6	ST7	ST8	ST9		
BMWP	51.9±15.7	62.5±24.7	48.3±18.3	73.8±22.0		48.8±23.4 (4 – 109)
ASPT	4.3±0.7	4.1±0.6	4.1±0.8	4.6±0.6		3.9±1.0 (1 – 8)

According to Table 3, ASPT have unacceptable ecological status. In accordance with the results of BMWP, 89% of stations had unacceptable ecological status and only 11% had acceptable quality.

Table (3): Ecological Status Classification of Karaj River Stations, 2017-2018

	(upstream)					station			(downstream)	Ecological status (%)	
B.I	ST9	ST8	ST7	ST6	ST5	ST4	ST3	ST2	ST1	Unacceptable (B, P, M)	Acceptable (G,H)
BMWP	(G)	(M)	(M)	(M)	(P)	(P)	(P)	(M)	(P)	89	11
ASPT	(M)	(M)	(M)	(M)	(P)	(P)	(P)	(M)	(P)	100	0

The results obtained in this study to evaluate the ecological quality of the river based on ASPT are similar to the evaluation of Shannon and EPT indices (Ghorbanzadeh, et al., 2020). In other words, although the quality of the river is generally unacceptable based on the results of this index, similar to the result of index BMWP, the upstream of the river was better than the downstream. The results showed that the ASPT is a suitable index for river assessment and the BMWP index, unlike other common indicators such as Shannon-Wiener, is not significantly affected by environmental variables (Morais et al., 2004).According to the results of the published study, which was conducted simultaneously with the present study, EF of some heavy metals, especially arsenic, in all stations along the Karaj River, which is the same as the stations in the present study, has shown moderate to severe and in terms of PLI has introduced polluted (Ghorbanzadeh, et al., 2021).

Conclusion

Therefore, it can be said that in this study, ASPT results are more sensitive than the BMWP index and all stations are classified as medium and poor quality. In order to evaluate the agreement between the ecological indices, it is necessary to consider more stations upstream of the Karaj River.

References

Armitage, P.D.; Moss, D.; Wright, J.F. & Furse, M. 1983. The performance of a new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running-water sites. Water Research, 17, 333–347.

Arsalan, N.; Salur, A.; Kalyoncu, H.; Mercan, D.; Barişik, B. & Odabaşi, D. A. 2016. The use of BMWP and ASPT indices for evaluation of water quality according to macroinvertebrates in Küçük Menderes River (Turkey), Biologia, 71, 49–57.

Czeniawska-Kusza, I. 2005. Comparing modified biological monitoring working party score system and several biological indices based on macroinvertebrates for water quality assessment, Limnologica, 35, 169-176.

Ghorbanzadeh Zaferani, S. Gh., Hosseini Tayefe, F., Azimi, S. B., Gandomkar, M., Gholamali fard, M. and Badamfiroz, J., 2021. Environmental Quality Assessment of Karaj River Sediments (Alborz Province), Iranian Fisheries Journal, 30(1): 37-52. (in Persian)

Ghorbanzadeh Zaferani, S.Gh; Hasani, N.; Hosseini Tayefe, F. & Izadian, M. 2020. Classification of Karaj river water quality based on EPT index, 1st National Conference on Biodiversity, Tehran, Iran (in Persian)

Mandaville, S. 2012. Benthic macroinvertebrates in freshwaters: Taxa tolerance values, metrics, and protocols, Citeseer.

Mohammadi Roozbahani, M.; Roghanizadehgan, N. & DehghanMedise, S. 2014. Assessment of Dez River water quality by BMWP index. Wetland Ecobiology. 5 (4):55-66. (in Persian)

Morais, M.; Pinto, P.; Guilherme, P.; Rosado, J. & Antunes, I. 2004. Assessment of temporary streams: the robustness of metric and multimetric indices under different hydrological conditions. Hydrobiologia, 516, 229-249.

Norouzi, H. & Rezaeimanesh M. 2021. The use of BMWP and ASPT indices to assessment the water quality of Hashilan wetland (Kermanshah, Iran). Wetland Ecobiology.12 (1): 47-64 (in Persian)

Wally, W.J. & Hawkes, H.A. 1997. A computer-based development of the biological monitoring working party score system incorporating abundance rating, site type and indicatore value. Water Research 31:201-210.

پژوهش‌های محیط‌زیست، سال ۱۳، شماره ۲۵، بهار و تابستان ۱۴۰۱، از صفحه ۱۹ تا ۳۲

طبقه بندی کیفی رودخانه کرج با استفاده از شاخص‌های زیستی ماکروبنتیک

سید قاسم قربان زاده زعفرانی*[1]، فرهاد حسینی طایفه[1]، منا ایزدیان[1]

۱ استادیار پژوهشکده محیط‌زیست و توسعه پایدار، سازمان حفاظت محیط‌زیست، تهران، ایران

تاریخ وصول مقاله: ۱۴۰۰/۰۳/۱۷ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۴/۲۰

چکیده

شاخص میانگین امتیاز به ازای هر تاکسون(ASPT)، یکی از شاخص‌های زیستی معتبر جهت ارزیابی کیفیت آب رودخانه‌ها است. نمونه‌برداری در این پژوهش که در بازه زمانی پاییز ۱۳۹۶ تا تابستان ۱۳۹۷ انجام گرفت، از نه ایستگاه در طول رودخانه کرج به صورت فصلی انجام شد. نمونه‌برداری ماکروبنتوزها با سوربرسمپلر انجام و پس از تثبیت با فرمالین پنج درصد و رنگ‌آمیزی، نمونه‌ها شناسایی و جداسازی شدند. نتایج نشان داد که تعداد کل نمونه جمع‌آوری شده و میانگین سالانه تراکم (±SD) در محدوده مورد مطالعه رودخانه کرج به ترتیب برابر با ۳۸۴۵۴ عدد و (±۱۴۷)۲۹۰۷ عدد/ مترمربع بود که بیشترین تعداد آن معادل ۱۵۳۱۳ عدد در پاییز و کمترین آن در فصل تابستان برابر با ۳۸۰۶ عدد شمارش شده است. بر اساس نتایج حاصله، بندپایان عمده‌ترین گروه ماکروبنتوزها ٪۸۳ از نمونه‌ها را تشکیل دادند. هم‌چنین کرم‌های حلقوی ٪۱۴، کرم‌های پهن در ٪۱ و نرم‌تنان در ٪۲ از نمونه‌ها را شامل شدند. میانگین کل شاخص‌های ASPT در رودخانه کرج، ۳/۹۵ می‌باشد. دامنه تغییرات شاخص ASPT براساس ایستگاه به ترتیب (۸/۰–۱/۰) می‌باشد. بیشترین مقدار میانگین سالانه شاخص ASPT (۴/۶۴) در ایستگاه وارنگه‌رود و کمترین مقدار آن (۳/۰۸) در ایستگاه بیلقان مشاهده شد. روند تغییرات شاخص ASPT از بالادست به پایین دست رودخانه، کاهشی است. بنابراین بخش پایین‌دست رودخانه، دارای کیفیت بدتری نسبت به ایستگاه‌های بالادست است. همچنین به نظر می‌رسد شاخص ASPT نسبت به شاخص BMWP، برای ارزیابی رودخانه‌ها مناسب‌تر است.

کلید واژه‌ها: ASPT،BMWP، ماکروبنتوز، رودخانه کرج،کیفیت آب

* نویسندهٔ مسئول: Email: Ghorbanzadeh110@yahoo.com
DOI: 10.22034/eiap.2022.158573
DOR: 20.1001.1.20089597.1401.13.25.2.3

سرآغاز

کیفیت آب‌های جاری از طریق غلظت مواد، عناصر مختلف موجود در آن و تاثیر آن‌ها بر عملکرد بوم‌سازگان‌های آبی و سلامت انسان به طور مداوم بررسی می‌شوند (Arifi et al., 2018). رودخانه کرج به عنوان یکی از منابع تأمین کننده آب کلان شهر تهران و به علت فعالیت‌های تفرجی در حاشیه آن حایز اهمیت می‌باشد؛ بنابراین، لازم است از کیفیت مطلوبی برخوردار بوده و روند تغییر کیفیت این منبع آبی مورد توجه قرار گیرد. مطالعه آب‌ها و شناسایی آلودگی رودخانه‌ها با روش‌های رایج سنجش متغیرهای فیزیکوشیمیایی آب کافی نیست و تنها اطلاعاتی را در زمان نمونه‌برداری به‌دست داده و به‌طور کامل قادر به بیان کیفیت و وضعیت محیط آبی نمی‌باشد (Esmaili Sari, 2003). به منظور پی بردن به این تغییرات و ارزیابی سلامت اکولوژیک آب رودخانه، استفاده از روش‌های مطالعه زیستی بر روی خصوصیات کیفی آب با بررسی پراکنش بی‌مهرگان کفزی درشت (ماکروبنتوزها) و استفاده از شاخص‌های زیستی ضروری می‌باشد. شاخص‌های زیستی عبارات عددی هستند که مقادیر کمی تنوع گونه‌ای را با اطلاعات کیفی در مورد حساسیت‌های بوم‌شناختی هر تاکسون تلفیق می‌کنند (Czerniawska-Kusza, 2005).

شاخص ASPT[1] یکی از شاخص‌های زیستی معتبر جهت ارزیابی کیفیت آب رودخانه‌ها می‌باشد که ارتباط مستقیمی با نتایج سیستم امتیازی BMWP[2] دارد. شاخص BMWP تحت تاثیر تعداد تاکسون در هر نمونه از طریق اندازه نمونه، نمونه‌گیری و بازده عمل‌آوری نمونه‌ها می‌باشد (Wally and Hawkes, 1997). مفهوم میانگین امتیاز به ازای هر تاکسون (ASPT) توسط برخی زیست‌شناسان، نسبت به BMWP مناسب‌تر تشخیص داده شده و آن را شاخص قابل اعتمادتری برای ارزیابی کیفیت آب رودخانه‌ها دانستند (Armitage et al., 1983). محاسبه و کاربری ساده و قیمت ارزان از مزایای این شاخص است و معایبی در ارزیابی توسط این شاخص گزارش نشده است. داده‌های مورد نیاز برای محاسبه آن تعداد تاکسون‌ها و مقادیر BMWP می‌باشد (Czerniawska-Kusza, Pirali Zefrehei, et al., 2005; 2017).

پیش از این مطالعاتی با استفاده از شاخص‌های زیستی ASPT و BMWP در ایران و جهان انجام شده است. در یکی از این مطالعات، برای بررسی کیفیت آب رودخانه دز از پنج ایستگاه در دو فصل زمستان و تابستان نمونه‌برداری کرده و جمعا ۱۸ گونه از پنج رده جانوری ماکروبنتوز را شناسایی و شمارش کردند (MohammadiRoozbahani et al., 2014). بر اساس شاخص ASPT به جز ایستگاه پل رانکین سایر ایستگاه‌ها در طبقه کیفی احتمال آلودگی شدید قرار گرفتند. در ایستگاه پل رانکین هیچ گروه جانوری مشاهده نشد و به عنوان ایستگاه Azoic معرفی شد. درحالی‌که نتایج شاخص BMWP کیفیت آب در محدوده مورد نظر را در دو طبقه کیفی ضعیف و بسیار ضعیف طبقه‌بندی کرد.

همچنین طبقه‌بندی کیفی آب رودخانه زامرود با استفاده از شاخص‌های زیستی هلسینهوف و BMWP/ASPT در منطقه مازندران انجام گرفت (Azimi et al., 2015). نمونه‌برداری در دو فصل سرد و گرم در شش ایستگاه صورت گرفت و ۲۷ خانواده متعلق به ۱۲ راسته شناسایی شدند. نتایج نشان داد که ایستگاه ۱ که در بالادست رودخانه واقع شده بود دارای کیفیت آب بهتر و ایستگاه ۴ که در محدوده خروجی فاضلاب کارگاه پرورش ماهی قرار داشت، دارای کیفیت آب پایین‌تری می‌باشد. میانگین شاخص زیستی رودخانه مزبور، (SD) ۰/۸۷ ± ۵/۷۷ به دست آمد که نشان‌دهنده کیفیت به نسبت ضعیف آب رودخانه زارمرود است.

در مطالعه دیگری، کیفیت آب تالاب هشیلان با استفاده از شاخص‌های زیستی BMWP و ASPT بررسی شد (Norouzi & Rezaeimanesh, 2021). در این مطالعه از ۴ ایستگاه با ۳ تکرار در دو فصل سرد و گرم نمونه‌برداری انجام شد. نتایج نشان داد که میانگین شاخص BMWP در ایستگاه‌ها و فصول مختلف نمونه‌برداری دارای تفاوت معنی‌دار بود. بر مبنای شاخص BMWP در فصل گرم ایستگاه‌های مطالعاتی از لحاظ کیفیت آب در دو گروه خیلی خوب، متوسط و در فصل سرد در سه گروه خوب، ضعیف و متوسط طبقه‌بندی شدند.

اخیراً طبقه‌بندی وضعیت کیفی آب رودخانه کرج با استفاده از شاخص EPT با نمونه‌برداری در چهار فصل انجام شد (Ghorbanzadeh et al., 2020). در این پژوهش که بر اساس فراوانی و پراکنش سه راسته Ephemeroptera، Trichoptera و Placoptera در طول ۹ ایستگاه در رودخانه‌کرج انجام گرفت، ۱۸ تاکسون در حد جنس شناسایی شدند. Baetis، Micrasema و Pontoperla به ترتیب جنس غالب این سه راسته بوده و میانگین تراکم سالانه جمعیت سه راسته (±۶۵۱) ۱۱۹۳ عدد/

مترمربع به‌دست آمد. براساس تعداد خانواده‌های این سه راسته، میانگین‌کل شاخص EPT در رودخانه کرج ۵/۶ محاسبه گردید. بیشینه مقدار میانگین سالانه این شاخص (۷/۹) و کمینه مقدار آن (۳/۵) تعیین شد. براساس این شاخص، صددرصد ایستگاه‌ها، ضعیف یا متوسط ارزیابی شده و کیفیت اکولوژیک منطقه را غیرقابل قبول و نیازمند به پایش و مدیریت محیط‌زیستی نشان داده است. نتایج مطالعه با استفاده از شاخص‌های ASPT و BMWP در آب رودخانه Küçük Menderes نشان داد که به‌دلیل فعالیت‌های انسانی مانند کشاورزی، تفرجی، گردشگری، فاضلاب‌های شهری و سکونتگاه‌های فصلی از کیفیت بالایی برخوردار نیست (Arsalan et al., 2016). همچنین نتایج مطالعه نشان داد که کیفیت آب در زه‌کشی کلیبوکور ضعیف و به شدت آلوده است (Ariella & Moesriati, 2017). این نتیجه از یک نقطه نمونه‌برداری خاص به‌دست آمد. درصورتی‌که در سایر نقاط نمونه‌برداری، سطح متوسطی از کیفیت آب آلوده ارزیابی شده است. این یافته همچنین نشان داد که این شاخص‌ها باید براساس ویژگی‌های ژئومورفولوژی و محیطی منطقه سورابایا مطابقت داده شوند.

با توجه به اهمیت رودخانه کرج به لحاظ اکولوژیک و مصارف مختلف انسانی، ارزیابی کیفیت آن با بررسی منسجم، گسترده و طولانی مدت ضروری به نظر می‌رسد. این مطالعه با هدف ارزیابی کیفی آب رودخانه کرج و طبقه‌بندی آن با استفاده از شاخص زیستی ASPT و مقایسه نتایج آن با شاخص BMWP انجام شده است. نتایج این مطالعه در حفظ و بهره‌وری پایدار از منابع رودخانه کرج کاربرد داشته و راهکارهای پیشگیرانه برای حفاظت در اختیار متولیان و ذی‌نفعان قرار می‌دهد.

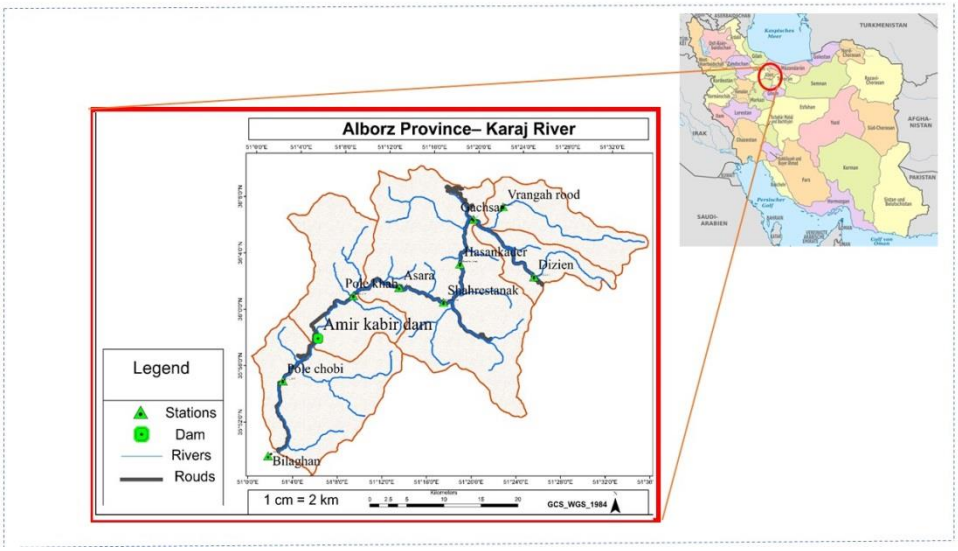
مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری فصلی در آبان و بهمن‌ماه ۱۳۹۶ و اردیبهشت و مردادماه ۱۳۹۷ از نه ایستگاه واقع در شاخه اصلی رودخانه کرج انجام شد (شکل ۱). ایستگاه‌های نمونه‌برداری، براساس ورودی‌ها و تمرکز فعالیت‌های انسانی انتخاب و با (GPSMAP76CS) GPS ثبت گردید. نمونه‌برداری ماکروبنتوزها براساس روش Mandaville (2012) انجام شد. بدین‌ترتیب که نمونه‌های ماکروبنتیک در هر ایستگاه (با سه تکرار) به‌وسیله نموبردار سوربر جمع‌آوری و نمونه‌ها با فرمالین ۵ درصد تثبت شدند. نمونه‌های بنتیک در آزمایشگاه در زیر استریومیکروسکوب جداسازی و تا حد جنس شناسایی و شمارش شدند. برای تعیین اختلاف بین گروه‌ها، آنالیز واریانس یک‌طرفه با استفاده از نرم‌افزار SPSS23 انجام است.

یکی از مشکلات اصلی برای بررسی الگوی توزیع مکانی در ارزیابی وضعیت منطقه، عدم امکان نمونه‌برداری جامع از تمامی نقاط به دلیل هزینه‌های بالا و عدم دسترسی به منطقه می‌باشد. بنابراین باید یک راه‌کار مناسب برای تعمیم نتایج حاصل از نقاط اندازه‌گیری شده به سایر نقاطی که اندازه‌گیری در آنها صورت نگرفته اتخاذ گردد. یکی از راه‌کارهای تحلیل مکانی داده‌های محیطی، استفاده از روش‌های درون‌یابی[۳] برای بررسی الگوی توزیع مکانی این داده‌ها و تهیه نقشه‌های موردنظر می‌باشد. بدین‌ترتیب برای توصیف و نمایش تغییرات مکانی متغیرهای موردنظر می‌توان مقادیر آنها را در نقاطی که نمونه‌برداری نشده‌اند، با در نظر گرفتن اطلاعات موجود از محل‌های نمونه‌برداری شده برآورد نمود. پهنه‌بندی و تهیه‌ی نقشه‌ی وضعیت منطقه کمک می‌نماید تا با یک نگاه، وضعیت منطقه جهت اعمال مدیریت و یکپارچگی داده‌ها صورت پذیرد (Yay et al, 2008; Nadiri et al.,2015). ارزیابی فضایی برای درک بهتری از تهدیداتی که منابع مختلف می‌توانند داشته باشند، مهم است (Bień et al, 2005) به همین دلیل استفاده از تکنیک‌های GIS در مطالعات مربوط به توزیع آلاینده‌ها و مطالعات ارزیابی سلامت اکوسیستم در محیط‌زیست توصیه می‌شود (Song et al, 2017; Zhou et al, 2007; Matějíček et al, 2006). در این مطالعه نیز نقشه‌های شاخص‌های زیستی با روش IDW و با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS10.3 و Terrset17.3 تهیه گردید.

دو ایستگاه وارنگه‌رود و دیزین در بالادست رودخانه کرج، به‌دلیل شرایط بهتر از نظر بار آلودگی به‌عنوان ایستگاه‌های شاهد انتخاب شدند. ایستگاه‌های بیلقان و پل چوبی در پایین دست سد امیرکبیر و ایستگاه‌های پل خواب، آسارا، شهرستانک و حسنکدر در بالادست سد واقع شده که در مجاورت کاربری‌های انسانی به‌ویژه ساخت آزاد راه تهران- شمال و مراکز تفرجی و مسکونی قرار دارند. ایستگاه گچسر نیز محل تلاقی دو سرشاخه وارنگه‌رود و دیزین (ولایت‌رود) می‌باشد.

در این مطالعه برای محاسبه شاخص‌های زیستی مورد نظر از فرمول‌های زیر استفاده گردید.



شکل (۱): نقشه ایستگاه‌های مورد مطالعه در مسیر رودخانه کرج (۹۷-۱۳۹۶) شامل ایستگاه‌های بیلقان (۱)، پل چوبی (۲)، پل خواب (۳)، آسارا (۴)، شهرستانک (۵)، حسنکدر (۶)، گچسر (۷)، دیزین (۸) و وارنگه‌رود (۹)

شاخص ASPT براساس رابطه زیر محاسبه گردید (Czerniawska-Kusza, 2005):

تعداد تاکسون موجود در نمونه /ASPT=BMWP

به منظور محاسبه مقادیر BMWPبه هر خانواده از گونه‌های جمع‌آوری شده (کم‌تاران در سطح رده) امتیازی تعلق گرفت. در این امتیازدهی بیشترین امتیاز به خانواده‌هایی که کمترین مقاومت را در برابر آلودگی دارند داده شد. درنهایت نمرات هر خانواده موجود در نمونه با هم جمع گردید تا امتیاز BMWP به دست آید (Wally and Hawkes, 1997). سپس مقادیر به‌دست آمده جهت محاسبه شاخص ASPT در رابطه فوق قرار گرفت.

طبقه‌بندی کیفیت آب براساس شاخص ASPT و BMWP طبق جدول (۱) محاسبه شد.

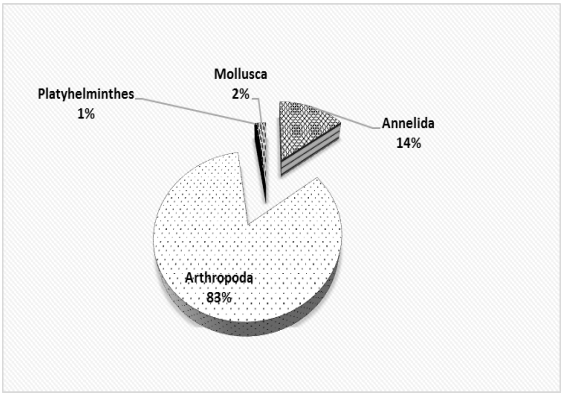
جدول (۱): طبقه بندی کیفیت آب براساس شاخص ASPT (Armitage et al., 1983) و BMWP (Wally and Hawkes, 1997)

کیفیت آب	مقادیر	شاخص
آب‌های تمیز	بیشتر از ۶	ASPT
آب‌های مشکوک به آلودگی	۶ –۵	
آب‌های با احتمال آلودگی متوسط	۵ –۴	
آب‌های با آلودگی شدید	کمتر از ۴	
آلودگی شدید	۱۰ –۰	BMWP
آلوده یا تحت تاثیر قرار گرفته	۴۰–۱۱	
به صورت متوسط تحت تاثیر قرار گرفته	۷۰–۴۱	
تمیز ولی کمی تحت تاثیر قرار گرفته	۱۰۰–۷۱	
غیرآلوده، تحت تاثیر قرار نگرفته	>۱۰۰	

نتایج

در این مطالعه تعداد کل نمونه جمع‌آوری شده و میانگین سالانه تراکم (±SD) در محدوده مورد مطالعه رودخانه کرج به ترتیب برابر با ۳۸۴۵۴ عدد و (±۱۴۷)۲۹۰۷ عدد/مترمربع بود که بیشترین تعداد آن معادل ۱۵۳۱۳ عدد در پاییز و کمترین آن در فصل تابستان برابر با ۳۸۰۶ عدد شمارش شده است. نتایج نشان داد که بندپایان به‌عنوان عمده‌ترین گروه ماکروبنتوزها ٪۸۳ از نمونه‌ها را تشکیل دادند. هم‌چنین کرم‌های حلقوی ٪۱۴، کرم‌های پهن در

۱٪ و نرم‌تنان در ۲٪ از نمونه‌ها را شامل شدند (شکل ۲).



شکل (۲): درصد ترکیب گروه‌های عمده گونه‌های ماکروبنتوزها در رودخانه کرج (۹۷- ۱۳۹۶)

مطابق با جدول (۲) میانگین کل شاخص‌های ASPT در رودخانه کرج، ۳/۹۵ می‌باشد. دامنه تغییرات شاخص ASPT براساس ایستگاه به ترتیب (۸/۰-۱/۰) می‌باشد. بیشینه مقدار میانگین سالانه شاخص ASPT (۴/۶۴) در ایستگاه ۹ و کمینه مقدار آن (۳/۰۸) در ایستگاه ۱ مشاهده شد. روند تغییرات شاخص ASPT از بالادست به پایین دست رودخانه، کاهشی می‌باشد (شکل ۳). آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه، اختلاف معنی‌داری بین میانگین شاخص ASPT در ایستگاه‌های مختلف نشان می‌دهد (۰/۰۰۹ =p). بر اساس آزمون (Games- Howell) ، ایستگاه ۱ با ایستگاه‌های۶، ۷ و ۹ و ایستگاه ۶ با ایستگاه ۷ اختلاف معنی‌دار داشته است (p<۰/۰۵).

جدول (۲): میانگین سالانه (±SD) مقادیر شاخص‌های ISPT و BMWP رودخانه کرج بر اساس ایستگاه (۹۷-۱۳۹۶)

	St ۵	St ۴	St ۳	St ۲	St ۱	BI
میانگین کل (±SD، حداقل و حداکثر)	۲۶/۵۰±۱۰/۷۳	۲۸/۶۷±۱۵/۴۲	۳۵/۳۳±۱۹/۲۴	۴۷/۱۷±۱۷/۰۴	۲۸/۸۳±۱۶/۳۹	BMWP
	۳/۹۵±۱/۸۳	۳/۵۵±۱/۰	۳/۷۳±۱/۰	۴/۰۱±۰/۷۴	۳/۰۸±۰/۷۶	ASPT
	St۹	**St ۸**	**St ۷**	**St ۶**		**BI**
۴۸/۸±۲۳/۴ (۴-۱۰۹)	۷۳/۸۳±۲۲/۰۲	۴۸/۳۳±۱۸/۳۲	۶۲/۵۰±۲۴/۷۱	۵۱/۹۲±۱۵/۷۶		BMWP
۳/۹±۱/۰ (۱-۸)	۴/۶۴±۰/۵۷	۴/۰۶±۰/۷۹	۴/۱۸±۰/۵۷	۴/۳۴±۰/۷۳		ASPT

جدول (۳): طبقه‌بندی وضعیت اکولوژیک ایستگاه‌های رودخانه کرج-(۹۷-۱۳۹۶)

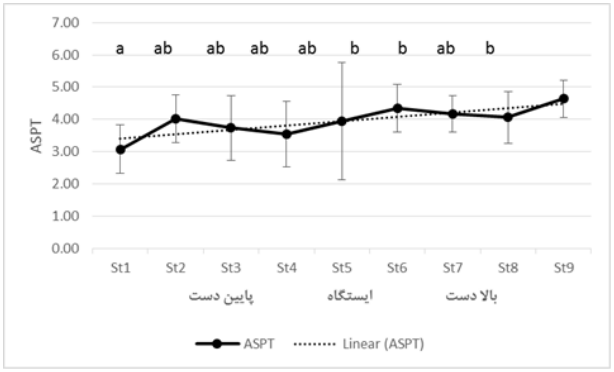
مرجع	وضعیت اکولوژیک منطقه (٪)		ایستگاه (پایین دست) (بالادست)									شاخص
	قابل قبول (G, H)	غیر قابل قبول (B,P,M)	St ۱	St ۲	St ۳	St ۴	St ۵	St ۶	St ۷	St ۸	St ۹	
مطالعه حاضر	۱۱	۸۹	P	M	P	P	P	M	M	M	G	BMWP
	۰	۱۰۰	P	M	P	P	P	M	M	M	M	ASPT

(H ؛ عالی، G ؛ خوب، M؛ متوسط، P ؛ ضعیف، B ؛ بد، رنگ خاکستری؛ وضعیت اکولوژیک غیر قابل قبول، رنگ سفید؛ وضعیت اکولوژیک قابل قبول)

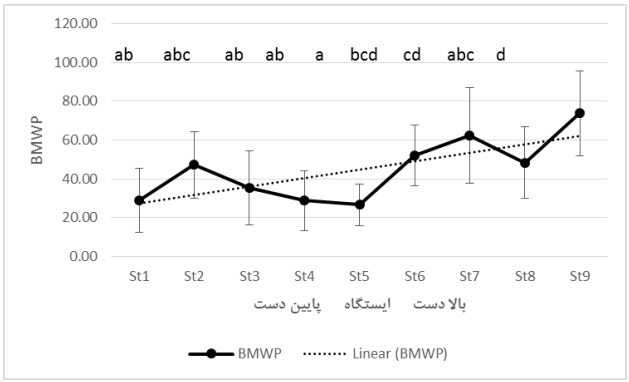
بر اساس نتایج شاخص‌های مورد نظر و مطابق با دستورالعمل WFD، وضعیت پنج‌گانه اکولوژیک بستر (عالی؛ H، خوب؛ G، متوسط؛M، ضعیف؛P، بد؛ B) در هر ایستگاه مشخص و طبقه‌بندی گردید (جدول ۳). بر اساس نقشه‌های تهیه شده در سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) با روش درون‌یابی (IDW)، وضعیت بستر و محدوده‌های متمایز مشخص شدند. در اکثر آن‌ها ایستگاه‌های با کیفیت بالاتر در بخش بالادست پراکنده شده‌اند (شکل ۳ و ۴).

همان‌طور که در جدول (۲) نشان داده شده، براساس میزان شاخص ASPT (۳۳٪ ضعیف و ۶۷٪ درصد متوسط)، ۱۰۰٪ ایستگاه‌ها

دارای وضعیت اکولوژیک غیرقابل قبول هستند. در صورتی‌که مطابق با نتایج حاصل از شاخص BMWP (۴۴/۵٪ ضعیف، ۴۴/۵٪ متوسط و ۱۱٪ خوب) ۸۹٪ ایستگاه دارای وضعیت اکولوژیک غیرقابل قبول و فقط ۱۱٪ دارای کیفیت قابل قبول بوده است.



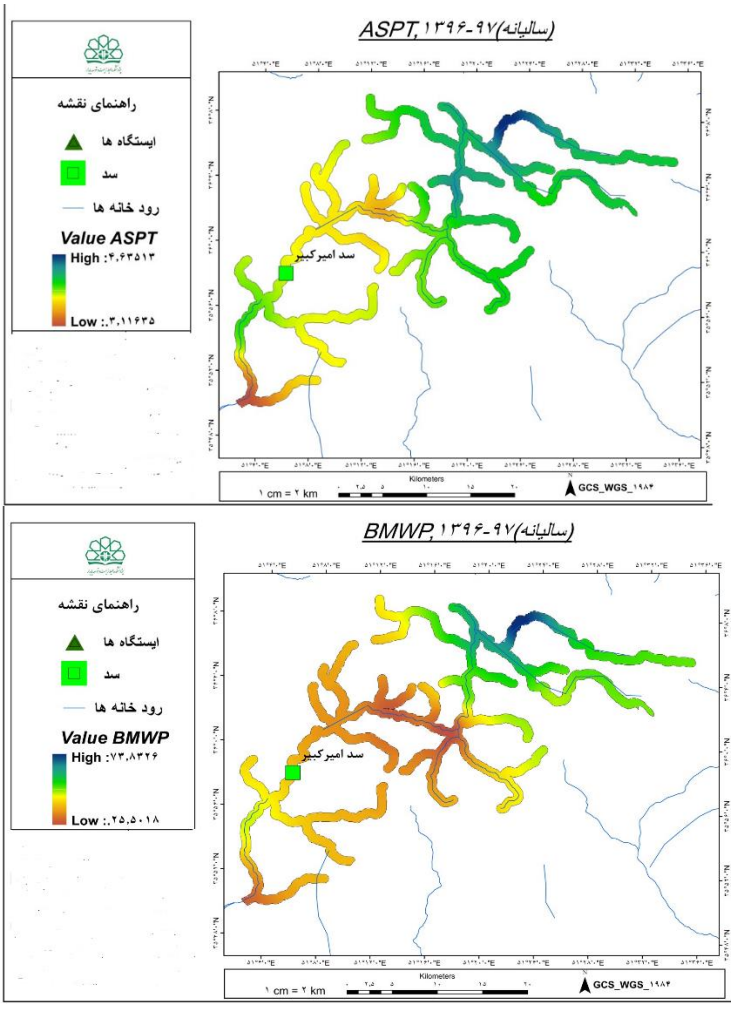
(الف)



(ب)

شکل (۳): روند تغییرات ASPT (الف) و BMWP (ب) در رودخانه کرج بر اساس ایستگاه (۹۷ -۱۳۹۶)

(نقطه چین نشانه شیب تغییرات و حروف متفاوت نشانه اختلاف معنی دار می باشد. آنالیز واریانس یکطرفه، Games- Howell برای ASPT و توکی تست برای BMWP؛ $p\leq ۰/۰۵$)



شکل (۴): نقشه درون‌یابی (IDW) شاخص‌های ASPT و BMWP در ایستگاه‌های رودخانه کرج (۹۷- ۹۶)

همان‌طورکه قبلاً اشاره شد، براساس شکل‌های (۳ و ۴) کیفیت آب ایستگاه‌های سرشاخه ولایت‌رود و گچسر در بالادست سد امیرکبیر بهتر بوده و به سمت ایستگاه‌های میانی محدوده مطالعاتی کیفیت کمتر شده‌است. پایین آمدن کیفیت در ایستگاه‌های قبل از سد در بالادست؛ ایستگاه‌های میانی با رنگ گرم‌تر، زرد و قهوه‌ای، (شکل ۴ الف و ۴ ب)؛ می‌تواند به دلیل تمرکز فعالیت‌های انسانی (به‌ویژه جاده‌سازی) در این محدوده باشد که با بالا بردن کدورت و سایر آلاینده‌ها، سبب افزایش استرس محیطی می‌شود ولی در سرشاخه یا ایستگاه‌های بالادست‌تر، به‌نظر می‌رسد تحت تاثیر تراکم کمتر مراکز آلودگی باشد. از طرفی ایستگاه بعد از سازه سد در پایین‌دست رودخانه مجدداً کمی کیفیت بهتر شده و در ایستگاه آخر (بیلقان) کیفیت نزولی شده‌است. این موضوع نیز می‌تواند تحت تاثیر سازه سد و تراکم بیشتر مراکز استرس‌زا در مسیر ایستگاه آخر باشد.

بحث و نتیجه‌گیری

برنامه‌های کنترل و پایش کیفی آب در ایران بیشتر بر اساس تعیین متغیرهای فیزیکی و شیمیایی آب صورت می‌گیرد و در مقابل، ارزیابی متغیرهای زیستی رودخانه‌ها به صورت محدود انجام می‌شود (Nemati et al., 2010). استفاده از شاخص زیستی BMWP و به دنبال آن ASPT به دلیل نبود کلیدهای شناسایی بزرگ بی‌مهرگان کفزی ایران به‌خصوص در سطح گونه می‌تواند بسیار مفید باشد. این روش به دلیل نیازمندی به شناسایی ماکروبنتوزها در سطح خانواده بسیار آسان و کم هزینه بوده و در زمان نیز صرفه‌جویی قابل توجهی خواهد شد (Czerniawska-Kusz, 2005). با این‌که شاخص زیستی BMWP از متداول‌ترین شاخص‌های ارزیابی کیفیت آب رودخانه‌ها می‌باشد (Wright et al., 1989)، برخی زیست‌شناسان سیستم مفهوم میانگین امتیاز به ازای هر تاکسون (ASPT) را مناسب تشخیص داده و عنوان کردند که این سیستم، شاخص قابل اعتمادتری در ارزیابی کیفیت آب نسبت به مجموع امتیاز BMWP محسوب می‌شود. از مزایای شاخص امتیاز متوسط هر طبقه (ASPT) نسبت به BMWP آن است که به اندازه نمونه، فصل سال و روش نمونه‌گیری وابسته نیست (Armitage et al., 1983; Hawkes, 1998). درجه تحمل شرایط محیط‌زیستی مختلف در سطح خانواده به تنوع گونه و هم‌چنین محدوده تحمل گونه‌های فردی در درون خانواده وابسته است؛ بنابراین امتیازهای اختصاص داده شده به ماکروبنتوزها به‌عنوان شاخص‌زیستی در سطح خانواده معمولا مقادیر متوسط تحمل گونه‌ای است (Armitage et al., 1983).

نتایج به دست آمده در این مطالعه جهت ارزیابی کیفیت اکولوژیک رودخانه براساس شاخص‌زیستی ASPT با ارزیابی شاخص شانون و EPT (Ghorbanzadeh, et al., 2020) مشابهت دارد. این مطالعه نشان داد که همه ایستگاه‌ها دارای کیفیت غیرقابل قبول (ضعیف تا متوسط) بودند. بیشترین مقدار میانگین سالانه شاخص ASPT (۴/۶۴) در ایستگاه ۹ و کمترین مقدار آن (۳/۰۸) در ایستگاه ۱ مشاهده شد. روند تغییرات معنی‌دار شاخص ASPT از بالادست به پایین دست رودخانه کاهشی بود (شکل ۴). به‌عبارتی گرچه به‌طور کلی کیفیت رودخانه براساس نتایج این شاخص در وضعیت غیرقابل قبول است، با این حال بالادست رودخانه نسبت به پایین‌دست از کیفیت بهتری برخودار بوده‌است.

از طرفی بیشترین مقدار میانگین سالانه شاخص BMWP در ایستگاه ۹ و کمترین مقدار آن (۲۶/۵۰) در ایستگاه ۵ مشاهده شد. روند معنی‌دار کاهشی از بالادست به سمت پایین‌دست مشهود بوده و کیفیت آب براساس این شاخص در ۸۹ درصد ایستگاه‌ها غیرقابل قبول (متوسط، M یا ضعیف،P) و تنها در ایستگاه ۹ با کیفیت خوب (G) ارزیابی شده‌است (جدول ۳). هم‌چنین نقشه‌های تهیه‌شده در سامانه جغرافیایی (GIS) نشان‌دهنده آن است که ایستگاه‌های با کیفیت بالاتر در بخش بالادست پراکنده شده‌اند. در مقابل، طبقه‌بندی اکولوژیک ایستگاه‌ها به تفکیک شاخص‌های زیستی براساس میزان شاخص ASPT (جدول ۳) در همه ایستگاه‌ها دارای وضعیت اکولوژیک غیرقابل قبول بوده است (۳۳٪ ضعیف و ۶۷٪ درصد متوسط).

نتایج این پژوهش با تعدادی از مطالعات انجام شده در دنیا و ایران همخوانی داشته و در مواردی مغایرت‌هایی مشاهده شده است. نتایج بررسی‌ها نشان داد که شاخص زیستی ASPT شاخصی مناسب برای ارزیابی رودخانه‌ها بوده و شاخص BMWP برخلاف دیگر شاخص‌های معمول نظیر شانون- وینر و همگنی به طور مشخصی تحت تاثیر متغیرهای محیطی نمی‌باشد (Morais et al., 2004). هم‌چنین بنابر گزارشات موجود، شاخص‌های مبتنی بر نمره‌دهی نظیر MBWP و ASPT قوی‌تر از شاخص‌های مبتنی بر ساختار جامعه هستند (Johnson et al., 2006). نتایج مطالعات انجام شده در دو تالاب مصنوعی تصفیه آب معدنی

Quaking Houses و Whittle از طریق بررسی اولیه جوامع ماکروبنتوز نشان داد که دو شاخص ASPT و BMWP در مطالعه آن‌ها به‌طور دقیق هم‌خوانی نداشته و نتایج یکدیگر را تایید نکردند (Galbrand et al., 2007) در حالی که در برخی مطالعات نتایج شاخص‌های مذکور مطابقت کاملی با یکدیگر داشتند (Nemati et al., 2010).

در ایران، نتایج مطالعات Shirchi (2012) نشان داد شاخص‌های زیستی هیلسنهوف و BMWP/ASPT شاخص‌های زیستی مناسبی برای ارزیابی کیفیت آب رودخانه جاجرود می‌باشند. در مطالعه‌ای مشابه بر روی تالاب چغاخور، کیفیت آب تالاب را براساس شاخص BMWP طبقه ضعیف و براساس نتایج شاخص ASPT در دو طبقه آلودگی متوسط و شدید گزارش نمودند (Fathi et al., 2013). همچنین بر اساس نتایج مطالعه‌ای بر روی رودخانه تجن، شاخص ASPT نسبت به شاخص BMWP از حساسیت بیشتری برخوردار بوده و تغییرات کیفی رودخانه را بهتر نشان می‌دهد (Ebrahimi et al., 2018). نتایج مطالعه بر روی رودخانه گرگر، کیفیت آب این رودخانه براساس شاخص BMWP را در سه طبقه کیفی متوسط، ضعیف و خیلی ضعیف نشان داد؛ در حالی‌که نتایج شاخص ASPT بیانگر آلودگی بسیار شدید در این رودخانه بوده است (Mosavi et al., 2018). هم‌چنین نتایج دو شاخص ASPT و BMWP بر روی تالاب هشیلان کاملا با هم منطبق و مشابه نبود (Norouzi & Rezaeimanesh, 2021).

براساس نتایج پژوهش منتشر شده که به‌طور همزمان با مطالعه حاضر انجام شده، غنی‌شدگی (EF) برخی فلزات سنگین به‌ویژه آرسنیک را در کلیه ایستگاه‌های مورد نظر در مسیر رودخانه کرج که با ایستگاه‌های مطالعه حاضر یکی است، متوسط تا شدید نشان داده و از نظر میزان بار آلودگی (PLI) دارای آلودگی معرفی نموده است (Ghorbanzadeh, et al., 2021). بنابراین می‌توان گفت در این مطالعه نیز نتایج ASPT نسبت به شاخص BMWP از حساسیت بیشتری برخوردار بوده و کلیه ایستگاه‌ها را دارای کیفیت متوسط و ضعیف طبقه‌بندی نموده است.

عدم توانایی در ایجاد تمایز بین مکان‌ها و یا زمان‌های مختلف می‌تواند ناشی از اندازه‌گیری در سطح خانواده در برخی از شاخص‌های زیستی مانند BMWP و ASPT باشد (Nemati et al., 2010). بنابراین، پیشنهاد می‌شود جهت بررسی‌های دقیق‌تر در کنار برآورد شاخص‌های زیستی و متغیرهای فیزیکوشیمیایی موثر بر ترکیب جوامع ماکروبنتوز، از شاخص‌های تنوع و یا سایر روش‌های تلفیقی و به مدت طولانی‌تر متناسب با طول دوره حضور درشت بی‌مهرگان کف‌زی در بستر حداقل یک و نیم تا دو سال استفاده شود (Ariella & Moesriati, 2017). با این‌حال در شرایط کنونی و ضرورت توجه ویژه به منابع آبی کشور، استفاده از روش‌هایی که در کمترین زمان ممکن امکان رسیدگی و اعمال مدیریت کارآمد را فراهم آورد قابل‌توجه است. بنابراین، سازگار کردن شاخص‌های زیستی مانند شاخص‌های مورد استفاده در این پژوهش با شرایط ایران می‌تواند نقش مهمی در ارتقای سطح کیفی پایش منابع آبی و بهبود روند نظارت بر آن‌ها داشته باشد. به این منظور لازم است ایستگاه‌های بیشتری در سرشاخه‌های رودخانه کرج مدنظر قرار گیرد. جهت بررسی عوامل استرس‌زا و منابع آلاینده در ایستگاه‌های دیزین، حسنکدر، شهرستانک آسارا، پل خواب و پل چوبی پیشنهاد می‌گردد مطالعه تکمیلی شناسایی منابع تهدیدکننده در زیرحوضه‌های مربوطه انجام و نسبت به مدیریت محیط‌زیستی آن اهتمام بیشری نمود.

یادداشت‌ها

1. Average Score Per Taxon
2. Biological Monitoring Working Party
3. Interpolation

فهرست منابع

Ariella, K. & Moesriati, A. 2017. The Implementation of Biological Monitoring Working Party Average Score Per Taxon (BMWP-ASPT) in a Water Quality Analysis at Kalibokor Drainage in Surabaya Region, 8th International Conference on Global Resource Conservation (ICGRC 2017), AIP Conference Proceedings 1908, 030007 (2017); https://doi.org/10.1063/1.5012707.

Arifi, K.; Elblidi, S.; Serghini, A.; Tahri, L.; Yahyaoui, A. & Fekhaoui, M. 2018. Taxonomic diversity of benthic macroinvertebrates and bio-evaluation of water quality of Grou River (Morocco) through the use of the standardized global biological index (IBGN). Journal of Materials and Environmental Science, 9 (4):1343-1356

Armitage, P.D.; Moss, D.; Wright, J.F. & Furse, M. 1983. The performance of a new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running-water sites.Water Research, 17, 333–347

Arslan, N.; Salur, A.; Kalyoncu, H.; Mercan, D.; Barişik, B. & Odabaşi, D. A. 2016. The use of BMWP and ASPT indices for evaluation of water quality according to macroinvertebrates in Küçük Menderes River (Turkey), Biologia, 71, 49–57

Azimi, A.; Amirnezhad, R.; Nasrollahzadeh Saravi, H. & Soleymanirudi A. 2015. Quality Classification of Zaremrud River (Sari-Mazandaran) Using Hilsenhoff Family Biotic Index. Wetland Ecobiology. 7 (1):39-48 (in Persian)

Bień, J. D.; Ter Meer, J.; Rulkens, W. H. & Rijnaarts, H. H. M. 2005. A GIS-based approach for the long-term prediction of human health risks at contaminated sites. Environmental Modeling & Assessment, 9(4), 221-226

Czeniawska-Kusza, I. 2005. Comparing modified biological monitoring working party score system and several biological indices based on macroinvertebrates for water quality assessment, Limnologica, 35, 169-176

Ebrahimi, E.; Fathi, P.; Ghodrati, F.; Naderi, M. & Pirali A. 2018. Assessment of Tajan River water quality with the use of biological and quality indicators. isfj. 2018; 26 (5):139-151(in Persian)

Esmaili Sari, A. 2003. Pollution health and environmental standards, Naghsh Mehr Pub.767p. (In Persian)

Fathi, P.; Ebrahimi, E.; Mirghafari, N. & Esmaeili, A. 2013. The Assessment of Water Quality in Choghakhor Wetland Using BMWP and ASPT Indices. Journal of Fisheries, 66(1), 81-93. doi: 10.22059/jfisheries.2013.35466 (in Persian)

Galbrand, C.; Lemieux, I.G.; Ghaly, A.E.; Côté, R. & Verma, M. 2007. Assessment of constructed wetland biological integrity using aquatic macroinvertebrates. OnLine Journal of Biological Sciences, 7, 52-65

Ghorbanzadeh Zaferani, S. Gh.; Hosseini Tayefe, F.; Azimi, S. B.; Gandomkar, M.; Gholamali fard, M. & Badamfiroz, J. 2021. Environmental Quality Assessment of Karaj River Sediments (Alborz Province), Iranian Fisheries Journal, 30(1): 37-52 (in Persian)

Ghorbanzadeh Zaferani, S.Gh; Hasani, N.; Hosseini Tayefe, F. & Izadian, M. 2020. Classification of Karaj river water quality based on EPT index, 1st National Conference on Biodiversity, Tehran, Iran (in Persian)

Hawkes, H. 1998. Origin and development of the biological monitoring working party score system. Water Research, 32(3): 964-968

Johnson, R.K.; Hering, D.; Furse, M.T. & Clarke, R.T. 2006. Detection of ecological change using multiple organism groups: metrics and uncertainty. Hydrobiologia, 566, 115-137

Mandaville, S. 2012. Benthic macroinvertebrates in freshwaters: Taxa tolerance values, metrics, and protocols, Citeseer.

Matějíček, L.; Engst, P. & Jaňour, Z. 2006. A GIS-based approach to spatio-temporal analysis of environmental pollution in urban areas: A case study of Prague's environment extended by LIDAR data. Ecological Modelling, 199(3), 261-277

Mohammadi Roozbahani, M.; Roghanizadehgan, N. & DehghanMedise, S. 2014. Assessment of Dez River water quality by BMWP index. Wetland Ecobiology. 5 (4):55-66 (in Persian)

Morais, M.; Pinto, P.; Guilherme, P.; Rosado, J. & Antunes, I. 2004. Assessment of temporary streams: the robustness of metric and multimetric indices under different hydrological conditions. Hydrobiologia, 516, 229-249

Mosavi dehmordi, S.; Shoukat, P.; Dehghan Madise, S. & Mosavi dehmordi, L. 2018. Assessment of Gar Gar River Water Quality by Macrobenthic Community and BMWP Index. Journal of Animal Environment, 10(3), 357-368 (In Persian).

Nadiri, A.; Shakor, S.; Asghari Moghaddam, A. & Vadiati, M. 2015. Investigation of Groundwater Nitrate Pollution with Different Interpolation Methods (Case Study: East Azarbayjan, Bilverdy Plain). Hydrogeomorphology, 1(1), 75-92 (in Persian)

Nemati, M.; Ebrahimi, E.; Mirghaffary, N. & Safyanian, A. 2010. Biological assessment of the Zayandeh Rud River, Iran, using benthic macroinvertebrates. Limnologica-Ecology and Management of Inland Waters, 40, 226-232.

Norouzi, H. & Rezaeimanesh, M. 2021. The use of BMWP and ASPT indices to assessment the water quality of Hashilan wetland (Kermanshah, Iran). Wetland Ecobiology.12 (1): 47-64 (in Persian)

Pirali Zefrehei, A. & Ebrahimi, E. 2017. Introduction of Several Biological indices for the Assessment of River Quality Water, Journal of Water and Sustainable Development, 3(2): 35-42 (In Persian)

Shirchi Sassi, Z. 2012. Application of Macrobenthos Bio-Index for Water Quality Assessment: A Case Study of JajroodRiver, MSc Thesis, Institute for Environmental Sciences, Shahid Beheshti University.

Song, D.; Gao, Z.; Zhang, H.; Xu, F; Zheng, X.; Ai, J.; Hu, X.; Huang, G. & Zhang, H. 2017.GIS-based health assessment of the marine ecosystem in Laizhou Bay, China, Marine Pollution Bulletin 125: 242–249, DOI: 10.1016/j.marpolbul.2017.08.027

Wally, W.J. & Hawkes, H.A. 1997. A computer-based development of the biological monitoring working party score system incorporating abundance rating, site type and indicatore value. Water Research 31:201-210

Wright, J.F.; Armitage, P.D.; Furse, M.T. & Moss, D. 1989. Prediction of invertebrate communities using stream measurements. Regulated Rivers: Research and Management, 4:147-155.

Yay, O. D.; Alagha, O. & Tuncel, G. 2008. Multivariate statistics to investigate metal contamination in surface soil. Journal of Environmental Management, 86(4), 581-594

Zhou, P.; Ang, B. W. & Poh, K. L. 2007. A mathematical programming approach to constructing composite indicators. Ecological economics, 62(2), 291-297