



Environmental Impact Assessment of the Agarak Mine on the Water Quality of the Aras River: Validation of Physicochemical Results Using Biological Indices

Nadia Hassanloo¹ | Pardis Alipour² | Ali Moridi³ | Reza Khalili⁴

1. Department of Civil Engineering, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. E-mail: hasanloonadia@gmail.com
2. Department of Civil Engineering, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. E-mail: pardissalipour2@gmail.com
3. Department of Water, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. E-mail: a_moridi@sbu.ac.ir
4. Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. E-mail: re_khalili@sbu.ac.ir

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Aug. 9, 2024

Revised: Nov. 25, 2024

Accepted: Dec. 21, 2024

Published online: April. 2025

Keywords:

Constitutive Model,
Unsaturated Soil,
Numerical Simulation,
Plasticity.

ABSTRACT

Understanding river water quality is essential for the planning and protection of water resources. Benthic organisms, especially macroinvertebrates, serve as accurate indicators of water quality conditions. In this study, six stations along the Aras River—three upstream and three downstream of the city of Agarak—were selected to assess water quality using the IRWQI_{SC} and NSFQI indices, as well as biological indices including BMWP, ASPT, FBI, and Shannon-Wiener. Sampling was conducted in the autumn of 2022, and various parameters such as turbidity, water temperature, dissolved oxygen, nitrate, total phosphate, fecal coliform, BOD₅, EC, and pH were measured. A total of 21 macroinvertebrate taxa were identified, with Station 2 showing the highest diversity (17 taxa) and Station 4 the lowest (7 taxa). According to the NSFQI, water quality at Station 1 was rated as good, while the remaining stations showed moderate quality. The IRWQI_{SC} index classified Stations 1 and 3 as having moderate quality and the others as relatively poor. The BMWP index rated the first three stations as moderate and the last three as poor. The ASPT index indicated probable moderate pollution at Stations 1, 2, 5, and 6, and probable severe pollution at Stations 3 and 4. The HFBI rated water quality as good at Stations 1, 3, 4, and 5, poor at Station 2, and fair at Station 6. The Shannon-Wiener index revealed a decline in water quality from Station 1 to 3, followed by an improvement downstream. Correlation analysis showed positive relationships between turbidity, BOD, nitrate, and phosphate. These results indicate pollution downstream of Agarak and a decrease in water quality likely caused by a local environmental pollution source, which has altered the macroinvertebrate community and ecological conditions of the area.

Cite this article: Hassanloo, N., Alipour, P., Moridi, A., & Khalili, R. (2025) Environmental Impact Assessment of the Agarak Mine on the Water Quality of the Aras River: Validation of Physicochemical Results Using Biological Indices, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 56 (2), 309-330. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.380551.669775>

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.380551.669775>





EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Rivers play a crucial role in supplying water for various activities, including agriculture, industry, drinking water, and electricity generation. Awareness of water quality is a critical need in water resource planning and development. Given the diversity of water pollutants, it is not feasible to provide a single standard for assessing water quality, and therefore, various indices have been developed to evaluate water quality. One of the most widely used and simple water quality indices worldwide is the NSFQI (National Sanitation Foundation Water Quality Index), which was first introduced in the 1970s with the support of the U.S. National Sanitation Foundation. This index evaluates nine parameters—pH, DO (Dissolved Oxygen), TDS (Total Dissolved Solids), nitrate, temperature, phosphorus, BOD (Biochemical Oxygen Demand), turbidity, and fecal coliform—using a weighting factor. In Iran, considering the climatic conditions and water resource challenges, the Iran Surface Water Quality Index (IRWQI_{SC}) has been developed, which is an integrated index derived from NSFQI and BCEWQI (British Columbia Water Quality Index) that provides a quantitative assessment of water quality. Another important method for estimating water quality is the assessment of biological indices. These methods are diverse and involve the direct study of plants and animals that inhabit the natural environment to estimate water quality. Benthic organisms, particularly macroinvertebrates, accurately and sensitively reflect the water quality conditions in any given area within aquatic ecosystems. They can be used in the assessment of aquatic ecosystems and to determine trends in water quality changes.

Methodology

In this study, parameters including EC, pH, turbidity, water temperature, dissolved oxygen, nitrate, total phosphate, fecal coliform, and BOD₅ were measured at six stations using a portable Hack multi-parameter device. The selected stations were located along the Aras River within East Azerbaijan Province. Sampling was conducted in the autumn of 2022. After collecting the samples, they were placed in ice-containing containers and transported to the laboratory. For macroinvertebrate sampling, a Surber sampler with an area of 0.09 square meters was used. At each station, three separate macroinvertebrate samples were sieved using a 0.5 mm mesh sieve, and the contents of the sieves were separately preserved in containers with 96% alcohol and Rose Bengal (at a concentration of 1:1000). The samples were then transferred to the laboratory for sorting and identification. In the laboratory, each sample was again sieved using a 0.5 mm mesh sieve, and the macroinvertebrates were separated. The coordinates of each station and its elevation above sea level were recorded using a GPS device. Subsequently, the water quality indices IRWQI_{SC} and NSFQI, along with the biological indices BMWP, ASPT, FBI, and Shannon-Wiener, were measured.

Results and Discussion

In this study, to assess the water quality and biological status of the Aras River, water quality parameters were collected during the autumn from six stations along the river. These were evaluated using Pearson's correlation coefficient and the water quality indices IRWQI_{SC} and NSFQI, as well as the biological indices BMWP, ASPT, FBI, and Shannon-Wiener. The results from the IRWQI_{SC} index indicated relatively poor water quality across all stations, while the NSFQI index suggested moderate quality for the river. Moreover, the biological indices BMWP, ASPT, FBI, and Shannon-Wiener pointed to pollution at the station downstream of Agarak and a decrease in water quality at this station compared to others. The findings from the biological assessments revealed the presence of an environmental pollutant source in the Agarak area, which has led to changes in the macroinvertebrate community and ecological conditions in the area downstream of Agarak.

Author Contributions

Ali Moridi and Reza Khalili conceived of the presented idea, developed the theory and performed the computations and carried out the experiment. Nadia Hassanloo verified analytical methods and performed the computations. Pardis Alipour investigated and supervised the findings of this work. All authors discussed the results and contributed to the final manuscript, but Ali Moridi wrote the final version of manuscript. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript. All authors contributed according their name place to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Data Availability Statement

Data is available on reasonable request from the authors.

Acknowledgements

The authors would like to thank all participants of the present study.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

ارزیابی اثرات زیست‌محیطی معدن آگاراک بر کیفیت آب رودخانه ارس: اعتبار سنجی نتایج

فیزیکوشیمیایی با استفاده از شاخص‌های بیولوژیکی

نادیا حسنلو^۱ | پردیس علی پور^۲ | علی مریدی^۳ | رضا خلیلی^۴۱. گروه مهندسی عمران، دانشکده عمران و محیط‌زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: hasanloonadia@gmail.com۲. گروه مهندسی عمران، دانشکده عمران و محیط‌زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: pardissalipour2@gmail.com۳. گروه آب، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: a_moridi@sbu.ac.ir۴. دانشکده مهندسی عمران، آب و مهندسی محیط‌زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: re_khalili@sbu.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

آگاهی از کیفیت آب رودخانه‌ها برای برنامه‌ریزی و حفاظت منابع آبی ضروری است. کفزیان، به‌ویژه درشت بی‌مهرگان کفزی، به‌طور دقیق برای شرایط کیفی آب را نشان می‌دهند. در این پژوهش برای محاسبه شاخص‌های کیفی IRWQISC و NSFQI و زیستی ASPT، BMWP، FBI، و شانون وینر، ۶ ایستگاه در مسیر رودخانه ارس انتخاب شد (۳ ایستگاه قبل و ۳ ایستگاه بعد از شهر آگاراک). نمونه‌برداری‌ها در پاییز ۱۴۰۱ انجام شد و پارامترهای مختلف مانند کدورت، دمای آب، اکسیژن محلول، نیترات، فسفات کل، کلیرم مدفوعی، BOD₅، EC، و PH اندازه‌گیری شد. در مجموع ۲۱ گروه از کفزیان شناسایی شد و ایستگاه ۲ با ۱۷ گروه زیستی بیشترین تنوع و ایستگاه ۴ با ۷ گروه کمترین تنوع را داشت. نتایج NSFQI نشان داد که آب ایستگاه ۱ دارای کیفیت خوب و بقیه ایستگاه‌ها دارای کیفیت متوسط است. بر اساس IRWQISC، ایستگاه‌های ۱ و ۳ دارای کیفیت متوسط و بقیه ایستگاه‌ها کیفیت نسبتاً بد دارند. شاخص BMWP کیفیت ایستگاه‌های اول تا سوم را متوسط و ایستگاه‌های چهارم تا ششم را بد ارزیابی کرد. شاخص ASPT نشان داد که ایستگاه‌های اول، دوم، پنجم و ششم دارای آلودگی متوسط احتمالی و ایستگاه‌های سوم و چهارم دارای آلودگی شدید احتمالی هستند. شاخص HFBI کیفیت آب را در ایستگاه‌های اول، سوم، چهارم و پنجم خوب، ایستگاه دوم ضعیف و ایستگاه ششم متوسط ارزیابی کرد. شاخص شانون - وینر نیز کاهش کیفیت آب از ایستگاه اول به سوم و افزایش آن از ایستگاه سوم به بعد را نشان داد. تحلیل ضرایب همبستگی نشان‌دهنده همبستگی مثبت بین کدورت، BOD، نیترات و فسفات بود. این نتایج نشان‌دهنده آلودگی ایستگاه‌های بعد از آگاراک و کاهش کیفیت آب در این ناحیه به دلیل وجود یک کانون آلاینده محیطی در آگاراک است که باعث تغییر جامعه زیست‌مندان کفزی و شرایط اکولوژیکی منطقه شده است.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۵/۱۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۹/۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱

تاریخ انتشار: اردیبهشت ۱۴۰۴

واژه‌های کلیدی:

رودخانه ارس،

معدن آگاراک،

شاخص زیستی،

IRWQISC،

NSFWQI

استناد: حسنلو؛ نادیا، علی پور؛ پردیس، مریدی؛ علی، خلیلی؛ رضا، (۱۴۰۴) ارزیابی اثرات زیست‌محیطی معدن آگاراک بر کیفیت آب رودخانه ارس: اعتبار سنجی نتایج فیزیکوشیمیایی با استفاده از شاخص‌های بیولوژیکی، *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۶ (۲)، ۳۰۹-۳۳۰.

<https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.380551.669775>

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.380551.669775>

مقدمه

رودخانه‌ها با وجود تشکیل کمتر از یک دهه‌زارم از کل آب‌های زمین، نقش حیاتی در شکل‌گیری تمدن‌ها و مدیریت منابع آب دارند و از مهم‌ترین منابع آب سطحی برای کشاورزی، صنعت، شرب و تولید برق هستند (نژاد افضلی و بیاتانی، ۱۴۰۳). شناخت وضعیت کیفی و منابع آلاینده‌ها برای حفاظت از این منابع ضروری است (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۶). رشد جمعیت، صنعتی شدن و استفاده بی‌رویه از مواد شیمیایی در کشاورزی فشار زیادی بر اکوسیستم‌های رودخانه‌ای وارد می‌کند (Wu et al., 2018). از آنجایی که عوامل آلوده‌کننده آب بسیار گوناگون می‌باشند، ارائه یک استاندارد واحد برای ارزیابی کیفیت آب ممکن نیست و شاخص‌های متعددی برای بررسی کیفیت آب ارائه شده‌اند. یکی از شاخص‌های کیفی پرکاربرد و ساده در سطح دنیا، شاخص NSFQI است که نخستین بار در دهه ۱۹۷۰ با حمایت سازمان بهداشت ملی آمریکا معرفی شد. در این شاخص با استفاده از فاکتور وزن‌دهی، ۹ پارامتر pH، DO، TDS، نیترات، دما، فسفر، BOD، کدورت و کلیفرم گوارشی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد (Cristable et al., 2020). در کشور ایران نیز با توجه به شرایط اقلیمی و مشکلات منابع آب شاخص کیفیت آب‌های سطحی ایران (IRWQISC) ۲ تهیه شده است که یک شاخص تلفیقی از NSFQI و BCEWQI می‌باشد که وضعیت کیفیت آب را به صورت کمی ارائه می‌کند.

شاخص‌های زیستی؛ مانند کفزیان درشت (ماکروبنوتوزها) به‌دقت کیفیت آب را نشان می‌دهند و به‌عنوان ابزاری کارآمد برای ارزیابی اکوسیستم‌های آبی استفاده می‌شوند. این شاخص‌ها با مطالعه مستقیم موجودات زنده، تأثیرات زیست‌محیطی پنهان را آشکار کرده و تغییرات کیفیت آب را مشخص می‌کنند (Czerniawska-Kusza, 2005). شاخص‌های معرفی شده برای نواحی جغرافیایی خاص، مثل سیستم ۳BMWP که برای ارزیابی آلودگی رودخانه‌ها در انگلستان تهیه شد، در برخی دیگر از کشورها نیز پذیرفته شده است (Hawkes, 1997). عمدتاً تعداد تاکسونها در هر نمونه از طریق اندازه نمونه، نمونه‌گیری و راندمان آنالیز نمونه در سیستم امتیازی BMWP اثر می‌گذارد. جهت رفع این اشکال برخی از زیست‌شناسان سیستم مفهوم میانگین امتیاز به ازای هر تاکسون ASPT^۴ را مناسب تشخیص دادند (Armtage et al., 1983). شاخص ۵FBI نیز در سال ۱۹۸۸ توسط Hilsenhoff جهت تعیین میزان تحمل ماکروبنوتوزهای ساکن در بستر آب‌های شیرین معرفی گردید. در این شاخص میزان تحمل (Tolerance Values) موجودات ماکروبنوتوز بین اعداد ۰-۱۰ متفاوت بوده که با کاهش کیفیت آب میزان آن افزایش می‌یابد (Hilsenhoff, 1988). در این روش آب‌ها از نظر آلودگی در ۶ طبقه قرار می‌گیرند. شاخص Shannon-Wiener Index به‌عنوان یک شاخص تنوع زیستی بیانگر سطح مواد مغذی و آلودگی آب است (Giao et al., 2024). مطالعه لاریجانی و همکاران (لاریجانی و همکاران، ۱۴۰۲) باهدف ارزیابی و مقایسه حساسیت دو شاخص کیفیت آب NSFQI و IRWQISC بر روی رودخانه هراز با نمونه‌برداری ماهانه در سال ۱۴۰۰ در ۷ ایستگاه منتخب در بازه پنجاب تا بالادست سد مخزنی هراز در استان مازندران انجام شد. نتایج نشان داد که کیفیت آب در ایستگاه‌های S1 و S2 در بهترین حالت نسبتاً خوب و در بدترین حالت دارای کیفیت بد می‌باشند. کیفیت آب در ایستگاه‌های S2، S3، S4 و S5 در بهترین حالت متوسط و در بدترین حالت در شهرومره دارای کیفیت بد می‌باشند. در پژوهش مظلومی و همکاران (مظلومی و همکاران، ۱۴۰۲) روند تغییرات کیفیت آب رودخانه نکارود از سرچشمه تا محل اتصال به دریای خزر مورد بررسی قرار گرفت و مقادیر با استانداردهای IRWQISC و NSFQI مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد بر اساس شاخص IRWQISC رودخانه در رده کیفی نسبتاً خوب و بر اساس شاخص NSFQI در رده کیفی متوسط قرار دارد. دادخواه و همکاران (دادخواه و همکاران، ۱۴۰۲) در بررسی کیفیت آب رودخانه چالوس و سلیمانی بآبادی و سبزعلی پور (۱۳۹۹) در بررسی کیفیت آب تالاب ناصری در بخش شمال غرب شهر خرمشهر از دو شاخص کیفیت آب NSFQI و IRWQISC استفاده کردند.

ارزیابی زیستی رودخانه زاینده‌رود با استفاده از بزرگ بی‌مهرگان کفزی و شاخص‌های زیستی BMWP، ASPT و هیلسنهوف در قبل و بعد از دوره خشک‌سالی نشان داد که به علت وقوع خشک‌سالی‌های متوالی، کیفیت آب رودخانه زاینده‌رود در طبقه کیفی بد تا خیلی بد قرار دارد (پیرعلی زفره‌ئی و ابراهیمی، ۱۳۹۴). با کاربرد شاخص‌های زیستی در ارزیابی اکولوژیکی رودخانه شاهرود با استفاده از جمعیت بزرگ بی‌مهرگان کفزی مشخص شد که حداقل و حداکثر میانگین فراوانی کفزیان به ترتیب در فصول تابستان و بهار مشاهده شده‌اند. این بررسی نشان داد با استفاده از شاخص‌های زیستی و جمعیتی می‌توان ارزیابی مناسبی از وضعیت سلامت اکوسیستم آب‌های جاری به عمل

1. National Sanitation Foundation Water Quality Index
 2. Iran Water Quality Index For Surface Water Resources-conventional
 3. The Biological Monitoring Working Party
 4. Average Score Per Taxon
 5. Family Biological Index

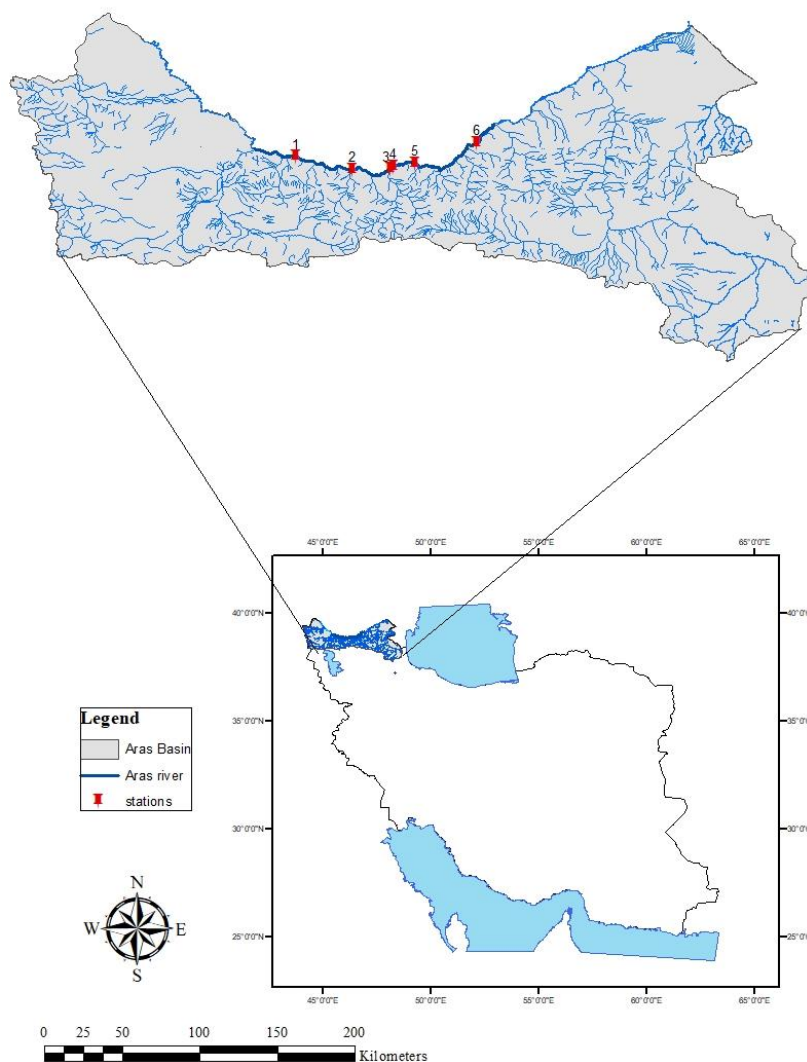
آورد (محمودی فرد و همکاران، ۱۳۹۳). در پژوهش ملوندی و همکاران (ملوندی و همکاران، ۱۳۹۷)، تعیین درجه آلودگی رودخانه دهبار (خراسان رضوی) با استفاده از شاخص‌های HFBI، BMWP و ASPT انجام گرفت. نمونه‌برداری در ۶ ایستگاه طی یک فصل انجام شد. نتایج حاصل از شاخص‌های زیستی نشان داد که ایستگاه‌های شماره ۱ و ۲ و ۳ در طبقه متوسط تا بد و ایستگاه‌های ۴ و ۵ و ۶ در طبقه متوسط تا خوب طبقه‌بندی می‌شوند. همچنین نتایج نشان داد که ایستگاه‌های پایین‌دست تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی بوده، درحالی‌که ایستگاه‌های باکیفیت در بالادست رودخانه قرار داشته و تحت اختلالات کمتر انسانی بودند. به‌منظور بررسی کیفیت آب رودخانه تجن با استفاده از شاخص‌های ASPT، BMWP و هیلسنهوف، تعداد ۴ ایستگاه نمونه‌برداری در امتداد مسیر رودخانه انتخاب و شاخص‌های فوق بر اساس داده‌های حاصل محاسبه گردید. شاخص BMWP کیفیت رودخانه را در دوطبقه متوسط (ایستگاه‌های ۱ و ۲ و ۳) و فقیر (ایستگاه ۴)، شاخص ASPT کیفیت آب رودخانه را در دوطبقه مشکوک به آلودگی و آلودگی متوسط و شاخص هیلسنهوف کیفیت آب رودخانه را در دوطبقه کیفی نسبتاً ضعیف و ضعیف قرارداد. بر اساس نتایج حاصل از این مطالعه، کیفیت آب رودخانه تجن در طبقه کیفی متوسط تا خیلی بد قرار گرفت (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۶). در مطالعه درویشی و همکاران (درویشی و همکاران، ۱۴۰۲) که باهدف ارزیابی کیفی آب رودخانه خرم رود انجام شد، نتایج تغییرات شاخص‌های کیفی ASPT، BMWP و شانون - وینر نشان داد آب رودخانه خرم رود در طبقه آب‌های با آلودگی متوسط قرار دارد. در مطالعه‌ای دیگر رودخانه Mahisagar در منطقه گجرات هند توسط فاکتورهای فیزیکوشیمیایی و شاخص زیستی BMWP مورد ارزیابی زیستی قرار گرفت. در مجموع ۳۷ خانواده شناسایی شدند و نتایج شاخص زیستی BMWP و فاکتورهای فیزیکوشیمیایی آلودگی آب رودخانه را نشان داد (Bhadrecha et al., 2016).

رودخانه ارس به‌عنوان یکی از رودخانه‌های مرزی ایران در طول تاریخ همواره از نظر هیدروپلیتیکی ۱ از اهمیت خاصی برخوردار بوده و هست (پاک نژادتمکی و فرجی راد، ۱۳۸۹). باتوجه به اهمیت رودخانه ارس از نظر کشاورزی و شیلاتی و تولید برق و نیز کاربرد این شاخص‌ها در تعیین سلامت کیفیت آب، هدف از این مطالعه تعیین کیفیت آب رودخانه ارس و آگاهی از وضعیت سلامت آن با استفاده از شاخص‌های کیفی و زیستی آب است.

روش‌شناسی پژوهش

منطقه مورد مطالعه

رودخانه ارس به‌عنوان یک رودخانه مرزی مهم در شمال ایران واقع شده است. این رودخانه بزرگ‌ترین شاخه از رودخانه کور و یکی از مهم‌ترین و پرآب‌ترین رودخانه‌های شمالی ایران است که از حومه کوه بینگول در ترکیه سرچشمه می‌گیرد. رودخانه ارس در مصب دارای ارتفاع کم و شیب ملایم است، در میانه مسیر دارای شیب تند و در انتهای مسیر در حوضه ایران دارای شیب تند می‌باشد. غالب مسیر رودخانه کشاورزی و مرتع است و در کیلومتر ۱۵۰ الی ۲۰۰ به محدوده جنگلی نزدیک‌تر می‌شود. به‌طور کلی مسیر رودخانه ارس کوهستانی و دارای شیب‌های متنوع می‌باشد. طول این رودخانه، ۱۰۷۲ کیلومتر است که ۴۵۰ کیلومتر آن به نوار مرزی بین‌المللی اختصاص دارد. حوضه آبریز ارس در تقسیم‌بندی کلی هیدرولوژی ایران، بخشی از حوضه آبریز دریای خزر محسوب می‌شود. این حوضه در منتهی‌الیه شمال غرب کشور واقع شده است به‌طوری‌که از ناحیه شمال با کشورهای ارمنستان، آذربایجان و از غرب با کشور ترکیه و از سمت جنوب و شرق با حوضه‌های ارومیه و تالش - انزلی هم‌مرز می‌باشد. وسعت حوضه آبریز ارس ۱۰۳۲۰ کیلومتر مربع بوده و حدود ۳۹ درصد (۳۹۰۰۰ کیلومتر مربع) آن را اراضی ایران تشکیل می‌دهد. حدود ۱۲ درصد آب این رودخانه از خاک ایران، ۳۴ درصد از خاک ترکیه و بقیه از جمهوری آذربایجان و ارمنستان تأمین می‌شود؛ از این رو کیفیت آب رودخانه ارس به‌شدت تابع کشورهای همسایه ایران یعنی ترکیه، ارمنستان و آذربایجان است که بایستی در بررسی‌های کیفی و زیستی مورد توجه قرار گیرد.



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری

ایستگاه‌های منتخب بر رودخانه ارس در محدوده استانی آذربایجان شرقی قرار دارد. نمونه‌برداری‌ها در پاییز سال ۱۴۰۱ انجام گرفت. محوریت انتخاب ایستگاه‌ها بر اساس تأثیر احتمالی پساب‌های معادن مس آگاراک بر کیفیت آب رودخانه ارس بوده است. نمونه‌برداری در ۶ ایستگاه انجام شد. ایستگاه‌های نهایی منتخب بر رودخانه ارس جهت نمونه‌برداری از موجودات کفزی درشت شامل ۳ ایستگاه قبل از شهر آگاراک و ۳ ایستگاه بعد از این شهر می‌باشد. در محل ایستگاه‌های نمونه‌برداری پارامترهای EC، PH، کدورت، دمای آب و اکسیژن محلول، نیترات، فسفات کل، کلیفرم مدفوعی، BOD5 توسط دستگاه مولتی‌پارامتر Hack پرتابل اندازه‌گیری شد (در هر ایستگاه ۳ تکرار). پس از قرار دادن نمونه‌ها در ظروف حاوی یخ به آزمایشگاه منتقل گردید. جهت نمونه‌گیری از موجودات کفزی درشت از سوربر (Surber) به مساحت ۰/۰۹ مترمربع استفاده شد. در هر ایستگاه سه نمونه ماکروبتوز به‌طور جداگانه به‌وسیله الک با مش ۰/۵ میلی‌متر سرنده و محتویات الک‌ها نیز به‌طور جداگانه درون ظروف حاوی الکل ۹۶ درصد و رزبنگال (غلظت ۱/۱۰۰۰) نگهداری و جهت تفکیک و شناسایی به آزمایشگاه منتقل گردید. در آزمایشگاه هر نمونه به‌طور جداگانه مجدداً به‌وسیله الک با مش ۰/۵ میلی‌متر سرنده گردید و موجودات کفزی درشت جداسازی گردید. مختصات ایستگاه و ارتفاع آن از سطح دریا با استفاده از دستگاه GPS ثبت گردید و مختصات جغرافیایی ایستگاه‌ها در جدول شماره ۱ و موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری بر روی شکل شماره ۱ آورده شده است.

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه بر رودخانه ارس

شماره ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	فاصله از ایستگاه قبلی (کیلومتر)	توضیحات
۱	۳۸.۵۶،۴۹/۱	۴۵.۴۴،۳۴/۱	-	در فاصله ۴/۶ کیلومتری بعد از شهر جلقا
۲	۳۸.۵۲،۴۲/۹	۴۶.۰۷،۵۶/۱	۲۷/۴۰	بعد از شهر سیاه‌رود
۳	۳۸.۵۲،۲۱/۳	۴۶.۱۴،۳۳/۴	۱۶/۹۰	قبل از شهر آگاراک
۴	۳۸.۵۳،۰۴/۵	۴۶.۱۵،۵۸/۵	۵/۲۵	بلافاصله بعد از آگاراک و محل تخلیه پساب
۵	۳۸.۵۴،۰۸/۳	۴۶.۲۳،۱۷/۲	۲/۵۵	در فاصله ۲/۵ کیلومتری از آگاراک
۶	۳۹.۰۱،۳۸/۵	۴۶.۴۴،۲۱/۸	۱۰/۸۱	قبل از دهکده قولان

شاخص‌های کیفی و زیستی

شاخص پارامترهای متداول کیفیت منابع آب سطحی ایران (IRWQI_{sc})

این شاخص با وزن دهی به ۱۱ فاکتور اصلی کیفی آب (جدول ۲) و با استفاده از نمودارهای استاندارد، در دفتر آب‌و خاک معاونت محیط‌زیست انسانی سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران برای منابع آب سطحی کشور بهینه‌سازی شده و وضعیت کیفیت آب را در اکوسیستم‌های منابع آبی به صورت کمی ارائه می‌کند و عدد کمی به دست آمده در دامنه عددی ۱۰۰-۰ می‌باشد (دلبری و همکاران، ۱۴۰۱).

 جدول ۲. پارامترهای مورد استفاده و وزن آن‌ها در شاخص IRWQI_{sc}

پارامتر	وزن	واحد
کلیفرم مدفوعی	۰/۱۴۰	MPN/100 ml
BOD ₅	۰/۱۱۷	mg/L
نیترات	۰/۱۰۸	mg/L
اکسیژن محلول	۰/۰۹۷	%
هدایت الکتریکی	۰/۰۹۶	μs/cm
COD	۰/۰۹۳	mg/L
آمونیم	۰/۰۹۰	mg/L
فسفات	۰/۰۸۷	mg/L
کدورت	۰/۰۶۲	NTU
سختی کل	۰/۰۵۹	mg CaCO ₃ /L
pH	۰/۰۵۱	-

مقدار شاخص کیفیت منابع آب سطحی ایران با استفاده از فرمول‌های (۱ و ۲) محاسبه شد (خلیلی و همکاران، ۱۴۰۰).

$$IRWQI_{sc} = \left[\prod_{i=1}^n I_i^{W_i} \right]^{\frac{1}{V}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن:

$$V = \sum_{i=1}^n W_i \quad \text{رابطه (۲)}$$

W_i = وزن پارامتر i ، n = تعداد پارامترها، I_i = مقدار شاخص برای پارامتر i ام از منحنی رتبه‌بندی، می‌باشد (خلیلی و همکاران، ۱۴۰۰). پس از محاسبه شاخص، از جدول ۴ معادل توصیفی آن تعیین شد.

 جدول ۳. تعیین معادل توصیفی شاخص IRWQI_{sc} محاسبه شده

مقدار شاخص	معادل توصیفی
کمتر از ۱۵	خیلی بد
۱۵-۲۹/۹	بد

نسبتاً بد	۳۰-۴۴/۹
متوسط	۵۵-۴۵
نسبتاً خوب	۵۵/۱-۷۰
خوب	۷۰/۱-۸۵
بسیار خوب	بیشتر از ۸۵

در صورتی که تعداد پارامترهای اندازه گیری شده کمتر از ۱۱ باشد، رابطه بالا قابل استفاده است و نیازی به هیچ گونه تصحیح نمی باشد.

شاخص پارامترهای کیفی آب بنیاد ملی بهداشت (NSFWQI)

این شاخص توسط بنیاد ملی بهداشت (NSFWQI)، ابتدا با معرفی حدود ۳۵ عامل آلودگی ارائه شد. سپس ۹ عامل به عنوان پارامترهای مؤثر برای ایجاد شاخص اصلی انتخاب شدند که این پارامترها به همراه وزن آن ها در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴. پارامترهای مورد استفاده و وزن آن ها در شاخص NSFWQI

واحد	وزن	پارامتر
MPN/100 ml	۰/۱۶۰	کلیفرم مدفوعی
mg/L	۰/۱۱۰	BOD ₅
mg/L	۰/۱۰۰	نیترات
% Saturation	۰/۱۷۰	اکسیژن محلول
C	۰/۱۰۰	دما
mg/L	۰/۱۰۰	فسفات
NTU	۰/۰۷۵	کدورت
mg CaCO ₃ /L	۰/۰۷۵	TS
-	۰/۱۱۰	pH

داده های کیفیت آب ثبت شده و برای به دست آوردن مقدار عددی، به نمودار منحنی وزنی منتقل می شود. برای محاسبه شاخص

NSFWQI از فرمول (۳) استفاده شد.

$$NSFWQI = \sum_{i=1}^n W_i Q_i \quad \text{رابطه (۳)}$$

در این رابطه W_i و Q_i هر کدام به ترتیب نشان دهنده درصد وزنی و زیر شاخص مربوط به پارامتر i ام است. n تعداد پارامترهای

مورد بررسی است. با ضرب ارزش عددی هر پارامتر و وزن آن، مقدار شاخص آن به دست می آید که با استفاده از جدول (۵) معادل توصیفی

این شاخص تعیین شد (Uddin et al., 2021).

جدول ۵. تعیین معادل توصیفی شاخص NSFWQI محاسبه شده

مقدار شاخص	معادل توصیفی
۱۰۰-۹۰	عالی
۸۹-۷۰	خوب
۶۹-۵۰	متوسط
۴۹-۲۵	بد
۲۴-۰	خیلی بد

شاخص های ASPT و BMWP

برای محاسبه شاخص زیستی BMWP، بی مهرگان از ایستگاه های مختلف جمع آوری می شود و تا سطح خانواده مورد شناسایی قرار گرفتند. بر اساس امتیازات در نظر گرفته شده برای هر خانواده در سیستم امتیازی BMWP اصلاح شده ۱۹۹۶ و ۱۹۹۷ به هر خانواده یک امتیاز عددی نسبت داده شد (Hawkes, 1997). در نهایت نمرات خانواده های موجود در نمونه با هم جمع شد تا امتیاز BMWP آن ایستگاه به دست آید. محاسبه شاخص ASPT از رابطه (۴) و طبقه کیفی آب با استفاده از جداول ۶ و ۷ مشخص گردید.

تعداد تاکسون موجود در نمونه $ASPT = BMWP /$ (رابطه ۴)



جدول ۶. طبقه‌بندی کیفیت آب بر اساس شاخص BMWP (قربان زاده زعفرانی و همکاران، ۱۴۰۱)

کیفیت آب	طبقه‌بندی کیفی	امتیاز کلی شاخص
آلودگی شدید	خیلی بد	۱۰-۰
آلوده یا تحت تأثیر قرار گرفته	بد	۴۰-۱۱
به صورت متوسط تحت تأثیر قرار گرفته	متوسط	۷۰-۴۱
تمیز ولی کمی تحت تأثیر قرار گرفته	خوب	۱۰۰-۷۱

جدول ۷. طبقه‌بندی کیفیت آب بر اساس شاخص ASPT (قربان زاده زعفرانی و همکاران، ۱۴۰۱)

کیفیت آب	ارزش عددی شاخص زیستی
آب تمیز	۶ <
کیفیت مشکوک	۶-۵
آلودگی متوسط احتمالی	۵-۴
آلودگی شدید احتمالی	۴ >

شاخص هلسینهوف (FBI)

این شاخص توسط هلسینهوف در سال ۱۹۸۲ در آمریکا، به منظور ارزیابی اکولوژی نهرها با استفاده از متوسط میزان مقاومت تمام گونه‌های ماکروبتوزها مطرح شد (Hilsenhoff, 1988). شاخص مذکور، میزان مقاومت خانواده‌ها نسبت به آلودگی محیط زیست را از صفر (بسیار حساس) تا ده (بسیار مقاوم) طبقه‌بندی می‌کند و از رابطه (۵) که در آن، X_i : تعداد افراد هر خانواده؛ t_i : ارزش مقاومت همان خانواده و n : تعداد کل افراد موجود در ایستگاه است و طبق جدول ۸ تفسیر شد.

$$FBI = \sum_{i=1}^n \frac{X_i \times t_i}{n}$$

(رابطه ۵)

جدول ۸. طبقه‌بندی کیفی آب بر اساس شاخص هلسینهوف (Priyono et al., 2021)

HFBI	کیفیت آب	درجه آلودگی به مواد آلی
۳,۷۵-۰,۰۰	عالی	بدون آلودگی
۴,۲۵-۳,۷۶	خیلی خوب	آلودگی بسیار ناچیز
۵,۰۰-۴,۲۶	خوب	آلودگی کم
۵,۷۵-۵,۱۰	متوسط	آلودگی متوسط
۶,۵۰-۵,۷۶	ضعیف	آلودگی زیاد
۷,۲۵-۶,۵۱	بد	آلودگی خیلی زیاد
۱۰,۰۰-۷,۲۶	خیلی بد	آلودگی آلی بسیار شدید

شاخص تنوع شانون - وینر

این شاخص در سال ۱۹۴۹ به صورت جداگانه توسط شانون و وینر ارائه شده است و معمولاً برای محاسبه تنوع زیستی در محیط‌های خشکی و آبی به کار می‌رود و سطح آلودگی را به ۵ دسته طبقه‌بندی می‌کند، به طوری که هرگاه مقادیر این شاخص بیش از عدد ۴ قرار گیرد نشانگر شرایط عاری از آلودگی بوده و هرگاه مقادیر آن بین ۳ تا ۴ تعیین شود نشانگر محیط تمیز و هرگاه مقادیر این شاخص بین ۲ تا ۳ باشد نشانگر شرایط آلودگی اندک محیطی و مقادیر بین ۱ تا ۲ نشانگر آلودگی متوسط و اگر مقادیر بین ۰ تا ۱ باشند محیط دارای آلودگی و استرس‌های شدید است. با افزایش تعداد و توزیع یکنواخت تاکسون (یکنواختی) در بین جامعه، میزان شاخص شانون-وینر افزایش می‌یابد. طبقه‌بندی کیفیت آب در جدول ۹ آمده است (Giao et al., 2024).

$$H = - \sum_{i=1}^s (P_i) (\ln P_i)$$

(رابطه ۶)

P_i : فراوانی نسبی i امین تاکسون در جامعه؛ s : تعداد کل تاکسون در جامعه

جدول ۹. طبقه‌بندی کیفیت آب بر اساس شاخص شانون-وینر (Giao et al., 2024)

طبقه کیفی آب	شاخص شانون - وینر
خیلی تمیز	۴ <

۴-۳	تمیز
۳-۲	آلودگی اندک
۲-۱	آلودگی متوسط
۱-۰	آلودگی شدید

آنالیز آماری

ضریب همبستگی پیرسون درجه ارتباط خطی بین هر دو پارامتر را نشان می‌دهد و با درجه همبستگی به عنوان یک ضریب (R) اندازه‌گیری می‌شود. مقدار این همبستگی بین ۱- تا ۱+ تغییر می‌کند که اگر مقدار نزدیک به ۱ باشد، آنگاه گفته می‌شود که یک همبستگی کامل است: با افزایش یک متغیر، متغیر دیگر نیز تمایل به افزایش (در صورت مثبت) یا کاهش (اگر منفی) دارد (Shyu et al., 2011). ضریب همبستگی پیرسون بین دو متغیر تصادفی برابر با کوواریانس آن‌ها تقسیم بر انحراف معیار آن‌ها تعریف می‌شود. ضریب همبستگی پیرسون برای یک نمونه آماری با n زوج داده (X_i, Y_i) به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad \text{رابطه ۷}$$

تعریف زیر نیز معادل تعریف بالاست:

$$r = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i - \bar{X}}{s_X} \right) \left(\frac{Y_i - \bar{Y}}{s_Y} \right) \quad \text{رابطه ۸}$$

که در آن کمیت به صورت زیر تعریف شده‌اند:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad \text{رابطه ۹}$$

$$s_X = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad \text{رابطه ۱۰}$$

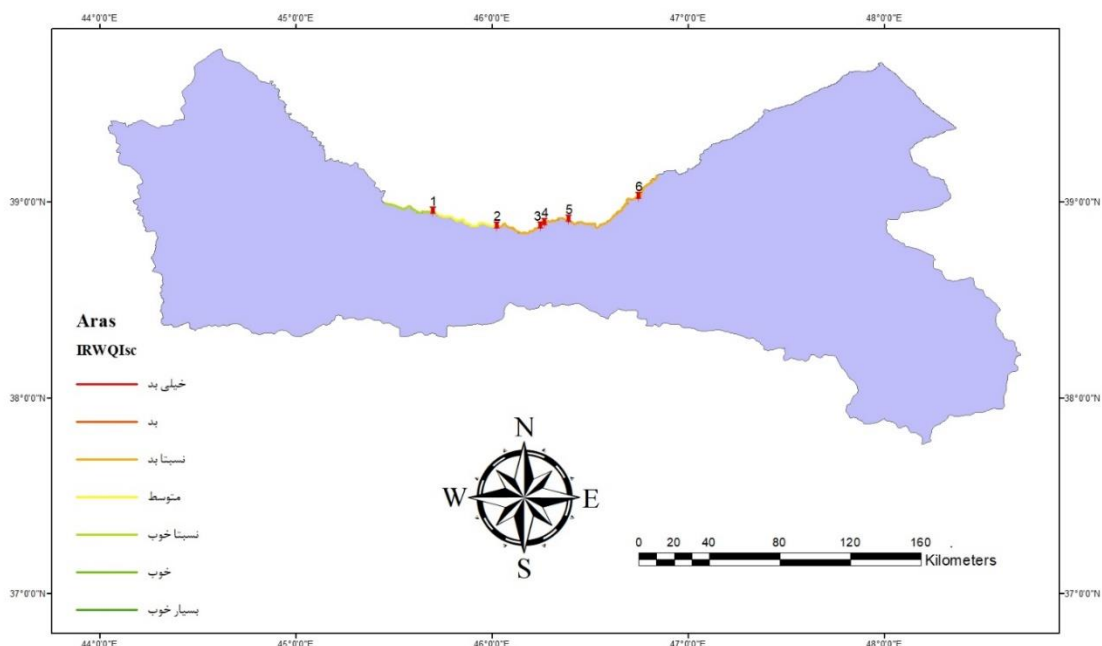
نرم‌افزار تحلیل آماری

در این مطالعه، برای تحلیل آماری داده‌های کیفی و زیستی رودخانه ارس، از زبان برنامه‌نویسی پایتون استفاده شده است. پایتون به دلیل داشتن کتابخانه‌های قدرتمندی نظیر NumPy و Pandas برای مدیریت و پردازش داده‌ها، Matplotlib و Seaborn برای تجسم داده‌ها و SciPy برای تحلیل‌های آماری پیچیده، ابزاری بسیار مناسب برای پژوهش‌های علمی است. در این پژوهش، از پایتون برای محاسبه ضرایب همبستگی، تحلیل خوشه‌ای و نمایش گرافیکی روابط بین پارامترها استفاده شده است. استفاده از این زبان برنامه‌نویسی باعث دقت بیشتر و کارایی بالاتر در پردازش داده‌ها و ارائه نتایج شده است.

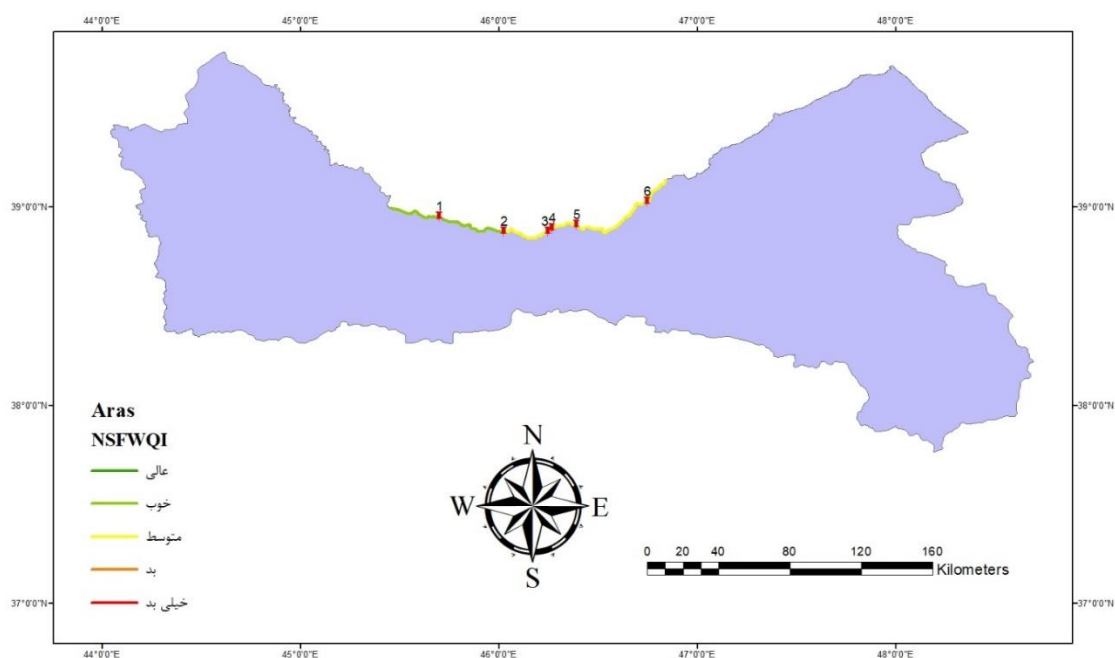
نتایج و بحث

ارزیابی کیفیت آب با استفاده از پارامترهای فیزیکی - شیمیایی

طبقه‌بندی کیفی رودخانه بر اساس شاخص‌های IRWQISC و NSFQI در شکل ۲ آورده شده است.



(الف)



(ب)

شکل ۲. الف) نتایج شاخص IRWQIsc (ب) نتایج شاخص NSFQI در ایستگاه‌های مورد مطالعه

در بین پارامترهای مختلف مقادیر کدورت آب دارای تغییرات شدیدی در ایستگاه چهارم است. به طوری که مقدار کدورت آب از ۲۶ در ایستگاه اول به ۱۲۰ NTU در ایستگاه چهارم می‌رسد. مقدار این پارامتر در ایستگاه‌های بعدی کاهش یافته و به ۲۹ NTU می‌رسد. مقادیر اکسیژن محلول نیز در ایستگاه‌های مختلف در دامنه ۷/۱ تا ۷/۹۶ میلی‌گرم در لیتر و میزان اکسیژن اشباع نیز در دامنه حدود ۷۱ تا ۸۰ درصد می‌رسد که نشان از کیفیت خوب آب و ظرفیت خود پالایی مناسب رودخانه است. لازم به ذکر است که اکسیژن محلول متغیر

وابسته به تغییرات دمای آب بوده که این امر در تغییرات اکسیژن محلول در ایستگاه‌های مختلف قابل مشاهده می‌باشد. میانگین مقادیر EC در ایستگاه‌های مختلف نشان از تغییر این پارامتر در طول ناحیه مورد مطالعه رودخانه ارس می‌باشد به طوری که مقادیر متوسط آن از حدود ۱۳۳۱ $\mu\text{mos/cm}$ در ایستگاه اول به میزان بیش از ۱۳۸۶ $\mu\text{mos/cm}$ در ایستگاه چهارم می‌رسد. از طرفی مقدار EC با اندکی کاهش از ایستگاه چهارم به بعد به حدود ۱۳۲۹ $\mu\text{mos/cm}$ در ایستگاه ششم می‌رسد (نمودار ۳). مقادیر مواد محلول (TDS) در ایستگاه‌های مورد بررسی در دامنه ۹۲۳ تا ۱۰۰۴ میلی‌گرم در لیتر قرار دارد که نشان از تغییرات جزئی این پارامتر در طول مسیر مورد بررسی است. مقادیر نیترات در آب رودخانه ارس در ایستگاه‌های مورد بررسی در دامنه ۲/۰۲ تا ۰/۵۳ میلی‌گرم در لیتر فسفات کل در دامنه ۰/۰۹ تا ۰/۲۹ میلی‌گرم در لیتر قرار دارد. روند کلی تغییرات این دو پارامتر در ایستگاه‌های مورد بررسی نشان از کاهش آن تا ایستگاه ۳ (قبل از آگاراک) و افزایش آن از ایستگاه ۴ (بعد از آگاراک) دارد. مقادیر مواد محلول کلیفرم مدفوعی در ایستگاه‌های مورد بررسی در دامنه ۱۳۲ تا ۱۲۰۰ MPN/100 ml قرار دارد. روند کلی تغییرات این پارامتر در ایستگاه‌های مورد بررسی نشان از افزایش آن تا ایستگاه ۴ (بعد از آگاراک) و کاهش آن در ایستگاه‌های بعدی است. مقادیر عددی اکسیژن خواهی زیستی (BOD5) در ایستگاه‌های مورد بررسی در دامنه ۳ تا ۸ میلی‌گرم در لیتر قرار دارد. روند کلی تغییرات این پارامتر در ایستگاه‌های مورد بررسی نشان از افزایش آن تا ایستگاه ۴ و سپس کاهش آن تا ایستگاه ۶ دارد به طوری که مقدار این پارامتر در ایستگاه ۱ برابر ۳ میلی‌گرم در لیتر بوده که به ۸ میلی‌گرم در لیتر در ایستگاه ۴ افزایش می‌یابد. نتایج حاصل از بررسی کیفی آب ایستگاه‌های مورد مطالعه بر اساس شاخص IRWQISC نشان داد که این شاخص در دامنه ۳۳ تا ۵۰/۵ بوده است. همچنین بر اساس شاخص NSFQI شاخص کیفیت آب در دامنه ۵۵/۹ تا ۶۹/۶ بوده و مطابق نتایج حاصل از بررسی شاخص IRWQISC و مقایسه‌ی آن با مقادیر استاندارد مشخص می‌گردد که آب ایستگاه‌های ۱ و ۳ دارای کیفیت متوسط و ایستگاه‌های دیگر در مناطق مختلف نمونه برداری شده در رودخانه ارس دارای کیفیت نسبتاً بد می‌باشد. همچنین روند کیفیت آب از ایستگاه اول به دوم در جهت کاهش کیفیت آب و از ایستگاه دوم به سوم در جهت افزایش کیفیت و مجدداً از ایستگاه سوم تا ایستگاه چهارم (ایستگاه بعد از آگاراک) در جهت کاهش کیفیت آن می‌باشد. از ایستگاه چهارم به بعد با افزایش این شاخص مواجه هستیم که مهم‌ترین علت این امر دبی بالای رودخانه و در نتیجه قدرت خودپالایی مناسب آن می‌باشد. همچنین بر اساس شاخص NSFQI آب ایستگاه ۱ دارای کیفیت خوب و بقیه ایستگاه‌ها در مناطق مختلف نمونه برداری شده دارای کیفیت متوسط است و روند کیفیت آب از ایستگاه اول تا ایستگاه ششم در جهت کاهش کیفیت آب است. لازم به ذکر است که شاخص IRWQISC به طور خاص برای شرایط آب‌های سطحی در ایران طراحی شده است و پارامترهایی را که برای شرایط محلی ایران مهم هستند بیشتر در نظر می‌گیرد و این شاخص ممکن است دقیق‌تر باشد زیرا برای شرایط محلی ایران بهینه‌سازی شده است. در حالی که شاخص NSFQI برای استفاده در سطح جهانی طراحی شده است و به طور کلی‌تر می‌باشد (خداوردی وطن و همکاران، ۱۴۰۲).

تعیین کیفیت آب رودخانه ارس بر اساس شاخص‌های زیستی

طی بررسی‌های انجام شده در ایستگاه‌های مورد مطالعه تعداد ۲۱ گروه از انواع موجودات کفزی مورد شناسایی قرار گرفت که حشرات آبی، موجودات غالب کفزیان در رودخانه ارس می‌باشد که با نتایج برخی تحقیقات مشابه می‌باشد. از این بین بیشترین فراوانی مربوط به *Pisidium caseratanum*، *Theodoxus danubialis*، *T. pallasi*، *Hydropsyche inistsbillis*، *Stylaria sp.* می‌باشد. بیشترین فراوانی کفزیان در ایستگاه شماره ۲ با ۴۵۴۹ عدد و کمترین فراوانی در ایستگاه شماره ۶ با ۷۰ عدد در مترمربع ثبت شد. مقایسه تعداد گروه‌های کفزیان درشت نیز به عنوان یکی از معیارهای تعیین شرایط زیستی در نواحی مختلف یک رودخانه مورد توجه قرار می‌گیرد. از این منظر ایستگاه ۲ با دارا بودن ۱۷ گروه زیستی دارای بیشترین تنوع و ایستگاه ۴ (ناحیه‌ی بعد از آگاراک) با ۷ گروه زیستی دارای کمترین تنوع زیستی در این نمونه برداری مشخص شده است.

باتوجه به جدول بالا در ایستگاه ۳ مقادیر تنوع و یکنواختی به دست آمده برای موجودات کفزی در ایستگاه‌های مورد بررسی نشان داد که اکثر ایستگاه‌ها از سطوح مشابهی از تنوع و یکنواختی برخوردارند و با توجه به افزایش سطوح آلودگی مواد آلی و کاهش بار اکسیژنی آب موجب افزایش بعضی از گونه‌ها و در مواردی باعث کاهش فراوانی و حذف گونه‌های نظیر *Chironomidae*، *DECAPODA*، *LARVAE*، *S. corneum*، *Gammarus lacustri* و *Lymnaea stagnalis* شده است.

جدول ۱۲. میانگین تعداد انواع کفزیان در ایستگاه‌های مختلف (تعداد در مترمربع)

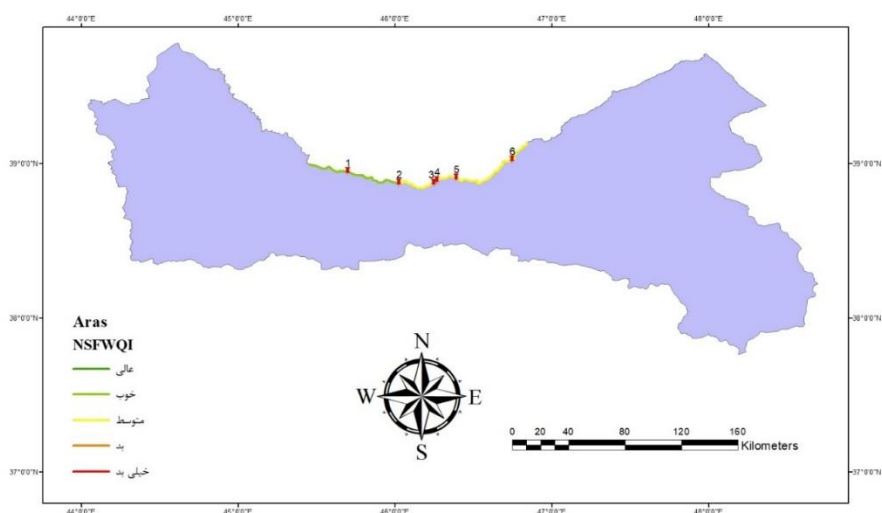
ایستگاه ۶	ایستگاه ۵	ایستگاه ۴	ایستگاه ۳	ایستگاه ۲	ایستگاه ۱	Taxa
۰	۰	۰	۰	۱۵	۰	Hydrobia sp
۰	۰	۰	۰	۳۰	۰	Lymnaea stagnalis
۰	۰	۰	۵	۴۰	۰	Aulodrilus sp
۱۱	۱۸	۳۷	۷	۰	۱۸	Limnephilus sp
۰	۰	۰	۰	۱۵	۰	Gammarus lacustris
۴	۴	۰	۵	۶۳	۰	Gammarus sp
۱۵	۴	۱۹	۹۳	۱۸۷۴	۷۴	Pisidium casertanum
۰	۴	۰	۵	۶۲۲	۰	Simulidae
۰	۰	۰	۰	۴	۳۷	Heptagena
۰	۴	۰	۰	۰	۷	Hydroptila sparsa
۰	۰	۰	۹۶	۳۳	۰	Branchiura sowerbyi
۰	۰	۰	۳۵	۳۶۵	۰	Sphaerium lacustris
۰	۰	۰	۰	۰	۷	S. corneum
۱۵	۴	۷	۳۰	۴۸	۴۱	Baetis rhodani
۰	۰	۰	۷	۰	۳۷	Chironomidae
۰	۰	۰	۰	۲۲	۱۵	DECAPODA LARVAE
۷	۱۱	۷	۹۱	۵۱۸	۳۳	Theodoxus danubialis
۱۸	۲۲	۷	۷	۷۸	۳۷	T. pallasi
۸	۱۵	۰	۴۹	۲۶۳	۱۳۳	Hydropsyche inistsbillis
۸	۰	۴	۹۳۳	۶۰۰	۲۹	Stylaria sp
۸	۴	۴	۰	۴	۴	Eylais hamata
۷۰	۹۰	۸۵	۱۳۶۳	۴۵۴۹	۴۷۲	مجموع
۹	۱۰	۷	۱۳	۱۷	۱۳	تعداد گروه‌ها

مقادیر محاسبه‌شده شاخص‌های FBI، ASPT، BMWP، و Shannon-wiener index در ایستگاه‌های مختلف در فصل پاییز در جدول ۱۲ و شکل ۳ آورده شده است.

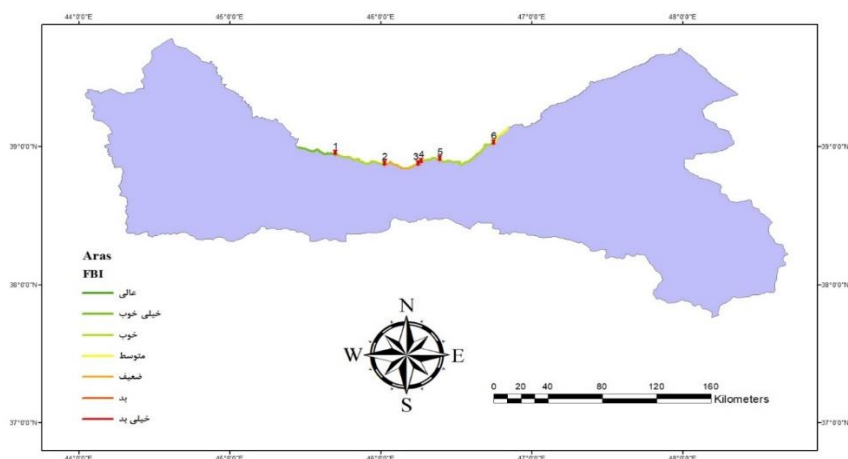
جدول ۱۲. مقادیر محاسبه‌شده شاخص‌های زیستی در ایستگاه‌های مختلف مورد مطالعه

ایستگاه	Shannon-wiener index	BMWP index	ASPT index	FBI index
اول	۲/۲۱۵	۴۲	۴/۲۰	۴/۹۶
دوم	۱/۸۴۴	۵۸	۴/۴۶	۶/۱
سوم	۱/۲۵۱	۴۲	۳/۸۹	۴/۶۵
چهارم	۱/۶۰۱	۱۹	۳/۱۷	۴/۵۳
پنجم	۲/۰۵۲	۴۰	۴/۴۴	۴/۸
ششم	۱/۶۹۴	۱۹	۳/۸۰	۵/۱

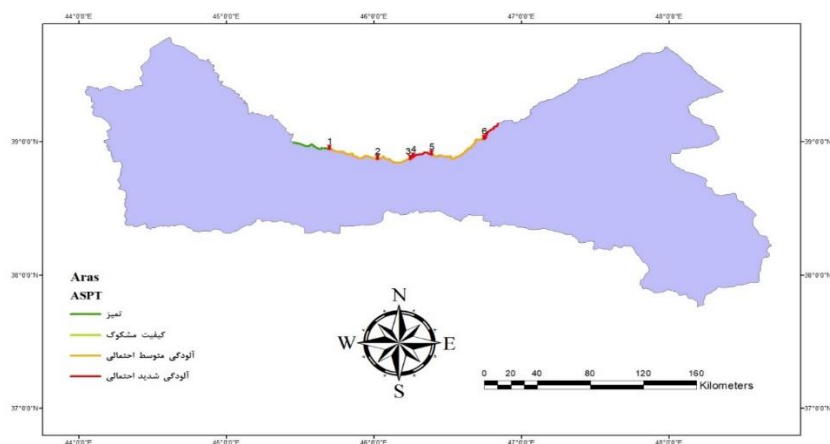
مطابق با شاخص FBI شرایط کیفی آب در ایستگاه اول، سوم، چهارم و پنجم خوب (مقدار کمی آلودگی وجود دارد) و در ایستگاه دوم ضعیف و در ایستگاه ششم متوسط می‌باشد که نشانگر کاهش کیفیت آب در این دو ایستگاه است و همچنین روند کیفیت آب از ایستگاه اول به دوم در جهت کاهش کیفیت آب و از ایستگاه دوم به سوم و چهارم در جهت افزایش کیفیت و مجدداً از ایستگاه چهارم (ایستگاه بعد از آگاراک) در جهت کاهش کیفیت آن است.



(الف)

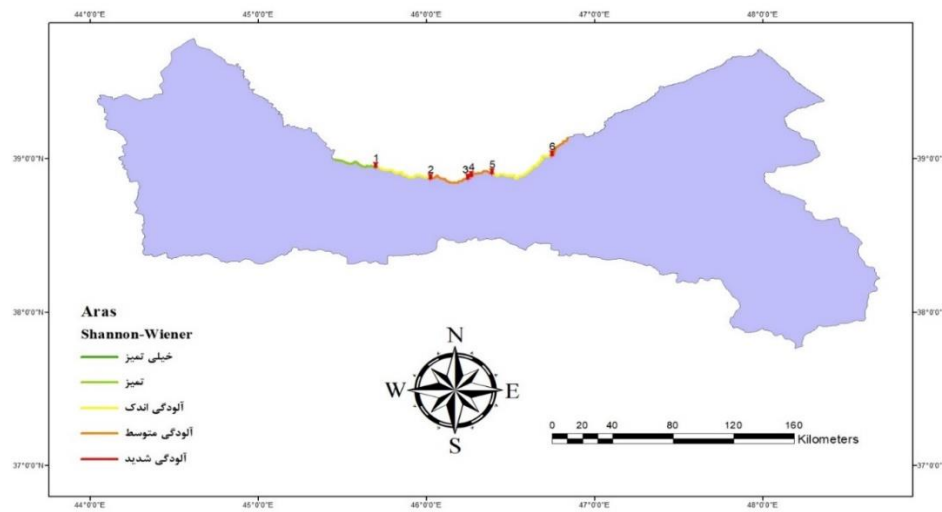


(ب)



(ج)

شکل ۳. الف) نتایج شاخص BMWP، ب) نتایج شاخص ASPT، ج) نتایج شاخص FBI، د) نتایج شاخص Shannon-wiener در ایستگاه‌های مورد مطالعه



(د)

ادامه شکل ۳. الف) نتایج شاخص BMWP، ب) نتایج شاخص ASPT، ج) نتایج شاخص FBI، د) نتایج شاخص Shannon-wiener در ایستگاه‌های مورد مطالعه

مطابق با شاخص BMWP شرایط کیفی آب از ایستگاه اول تا سوم متوسط (به صورت متوسط تحت تأثیر آلودگی قرار گرفته) و از ایستگاه چهارم (ناحیه بعد از آگاراک) تا ایستگاه ششم، بد (آلوده یا تحت تأثیر قرار گرفته) است که نشانگر کاهش کیفیت آب در ناحیه آگاراک (به ویژه ناحیه بعد از آگاراک) است. همچنین روند کیفیت آب از ایستگاه اول به چهارم در جهت کاهش کیفیت آب و از ایستگاه چهارم به پنجم در جهت افزایش نسبی کیفیت آب و از ایستگاه پنجم به ششم مجدداً با کاهش کیفیت آب روبه‌رو هستیم.

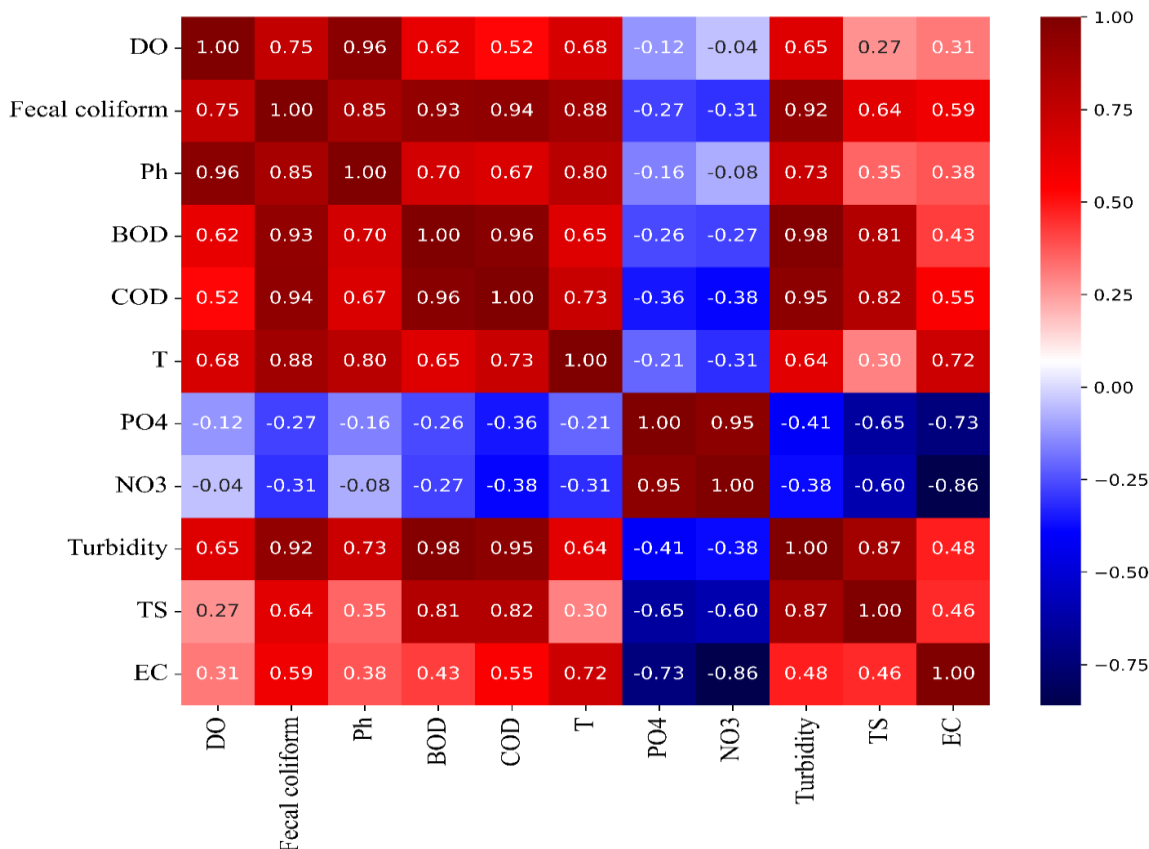
مطابق با شاخص ASPT شرایط کیفی آب در ایستگاه‌های اول، دوم و پنجم و ششم آلودگی متوسط احتمالی و در ایستگاه‌های سوم و چهارم دارای آلودگی شدید احتمالی است که نشانگر کاهش شدید کیفیت آب در ناحیه قبل و بعد از آگاراک است به طوری که نمره شاخص ASPT در ناحیه بعد از آگاراک به ۳/۱۷ می‌رسد که نشان از آلودگی بیشتر این ناحیه نسبت به ایستگاه‌های مورد بررسی است. همچنین روند کیفیت آب از ایستگاه اول به چهارم (بعد از آگاراک) در جهت کاهش کیفیت آب و از ایستگاه چهارم تا ششم در جهت افزایش نسبی کیفیت آب می‌باشد که نشانگر شرایط خود پالایی رودخانه در بعد از ایستگاه چهارم است. مطابق با شاخص شانون - وینر شرایط روند کیفیت آب از ایستگاه اول به سوم در جهت کاهش کیفیت آب و از ایستگاه سوم یعنی ناحیه قبل از آگاراک در جهت افزایش کیفیت آب است.

برای شناسایی مهم‌ترین پارامتر کیفیت آب و همبستگی آن با سایر پارامترها، مطالعات ماتریس همبستگی انجام شد. در این مطالعه، ماتریس همبستگی ۱۱ متغیر کیفی و ۲۱ متغیر زیستی از نمونه آب رودخانه محاسبه شده و در شکل ۴ ارائه شده است.

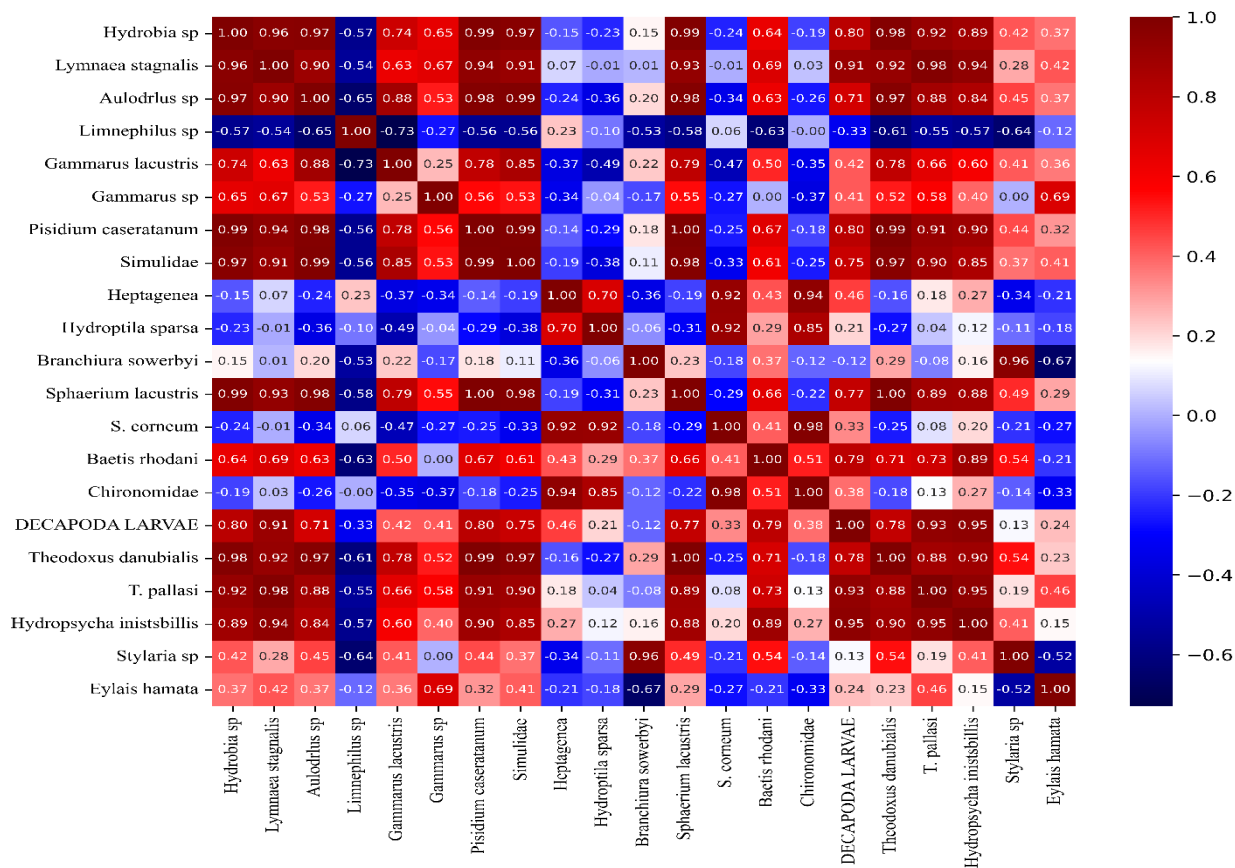
نتایج تحلیل آماری

باتوجه به شکل ۴ الف) تجزیه و تحلیل همبستگی پارامترهای کیفی آب، تعداد همبستگی آماری معنادار بین چندین پارامتر را نشان می‌دهد. قوی‌ترین همبستگی مثبت، $r=0.98$ بین کدورت و BOD که نشان‌دهنده وجود مواد معلق آلی در آب رودخانه، $r=0.96$ بین DO و pH که نشان‌دهنده کاهش حلالیت اکسیژن در آب با افزایش فعالیت میکروبی و $r=0.95$ بین نیترات و فسفات و COD کدورت مشاهده شده است که نشان‌دهنده تأثیر پساب روی رشد جلبک‌ها و کیفیت آب رودخانه است. همچنین ضعیف‌ترین همبستگی بین نیترات و EC با $r=-0.86$ است.

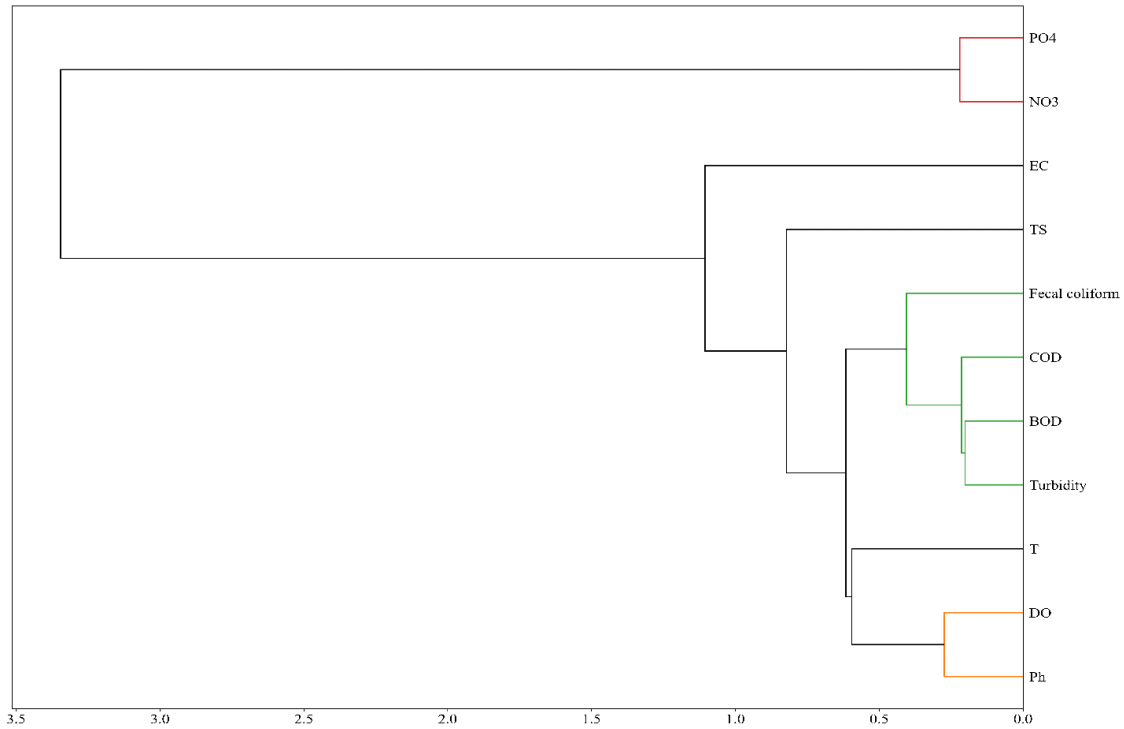
تجزیه و تحلیل شکل ۴ ب) نشان می‌دهد که اکثریت گونه‌ها دارای همبستگی قوی مثبت هستند که نشان‌دهنده تغییرات در ساختار جامعه زیستی کفزی به دلیل عوامل محیطی مانند دما و میزان مواد آلی موجود در آب رودخانه است.



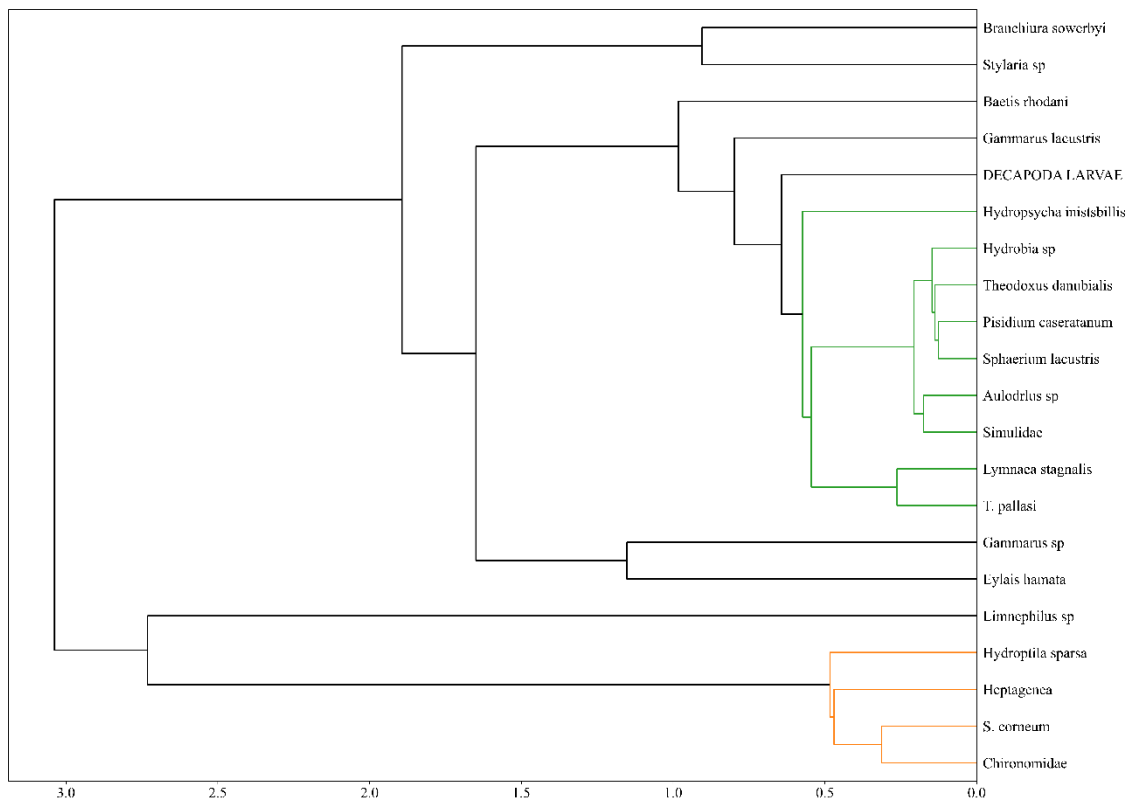
شکل ۴(الف). ضرایب همبستگی پارامترهای کیفی



شکل ۴(ب). ضرایب همبستگی پارامترهای زیستی



شکل ۵. الف) نمودار خوشه‌ای پارامترهای کیفی



شکل ۵. ب) نمودار خوشه‌ای پارامترهای زیستی

تحلیل خوشه‌ای با استفاده از خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی، شباهت و همگنی ویژگی‌های پارامترها را تعیین کرده و نتایج آن به صورت نمودار درختی برای نمایش ارتباطات و کاهش ابعاد داده‌ها ارائه می‌شود (نصرتی و همکاران، ۱۳۹۰). در خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی، دندروگرام ترتیب خوشه‌های تولیدشده توسط تحلیل‌های مربوطه را (شکل ۵) نشان می‌دهد. لذا در این پژوهش با توجه به نتایج داده‌های زیستی در ۷ خوشه دسته‌بندی شدند. داده‌های زیستی نشان داد که اغلب جانوران کفزی تأثیرپذیری مشابهی از کیفیت آب رودخانه دارند.

البته این اثر با توجه رفتار جانور برای جستجوی غذا، ویژگی‌های ذاتی و مقاومت‌پذیری گونه با آلودگی تعدیل شده است (Rocha et al., 2015). برای مثال گونه‌هایی مانند *Stylaria sp.*، *Branchiura sowerbyi* و *Sphaerium lacustris* بیشترین تأثیرپذیری را داشته و در خوشه‌بندی مستقل عمل کرده است و گونه‌های *Hydroptila sparsa*، *Theodoxus danubialis*، *Pisidium caseratanum*، *S. corneum* و *Chironomidae* کمترین تأثیرپذیری را داشتند و در نهایت گونه‌هایی مانند *Eylais hamata* و *Gammarus sp.* مستقل از آلودگی عمل کردند.

داده‌های کیفی موردبررسی در این پژوهش نیز در ۴ خوشه قرار گرفتند. خوشه اول شامل pH و DO بود و نشان‌دهنده‌ی متأثر بودن این دو متغیر از یکدیگر است این امر در پژوهش‌های دیگر نیز مورد اشاره قرار گرفته است و دلیل آن می‌تواند اثر ورود فاضلاب یا پساب و متعاقباً کاهش میزان فعالیت یون هیدروژن و کاهش اکسیژن آب به دلیل فعالیت میکروارگانیسم‌ها عمده‌تاً غیربومی آب و با استراتژی رشدی r باشد (Nasiyev et al., 2021). کلیفرم مدفوعی، کدورت، BOD و COD در خوشه دوم قرار گرفتند که علت این امر می‌تواند به همزاد بودن این شاخص در آب این رودخانه باشد که افزایش هم‌زمان این شاخص‌ها در ایستگاه ۴ به دلیل وجود مواد معلق آلی ناشی از فعالیت‌های معدنی و ورود فاضلاب انسانی در آب دارد (Gupta et al., 2017). نتیجه مشابهی در بررسی آلودگی رودخانه به فاضلاب شهری توسط Hara و همکاران (2019) حاصل شده است. EC و TS در خوشه سوم دسته‌بندی شدند که همزاد بودن این دو متغیر در آب این رودخانه را نشان می‌دهد. به زبان ساده‌تر کل جامدات آب با شوری آب رابطه نزدیکی دارد یعنی عامل مشترکی مثل ورود پساب صنعتی، زهاب کشاورزی و یا به احتمال قوی‌تر سیلاب فصلی عامل مؤثر در شوری و میزان جامدات آب این رودخانه است (نصرتی و همکاران، ۱۳۹۰). هوشمند و اگدرنژاد (۱۴۰۰) در بررسی اثر سیلاب بر کیفیت رودخانه کارون نتیجه مشابهی را گزارش کرد. نیترات و فسفات در خوشه چهارم قرار گرفتند و دور بدون این خوشه از خوشه دوم نشان‌دهنده تفاوت منبع احتمالی این شاخص‌ها با یکدیگر است. همچنین با توجه به همبستگی مواد آلی آب با کلیفرم مدفوعی (احتمال قوی منبع فاضلاب انسانی برای مواد آلی) به نظر می‌رسد نیترات و فسفات باید تحت عاملی مثل ورود زهاب کشاورزی یا پساب صنعتی/معدنی باشد (Salem, 2021).

نتایج این پژوهش نشان داد که می‌تواند از تحلیل خوشه‌ای شاخص‌های کیفی فیزیکی-شیمیایی و شاخص‌های زیستی آب برای بررسی و تخمین دلایل آلودگی آب و البته عامل احتمالی آلوده‌کننده آب رودخانه بهره گرفت. همچنین می‌تواند به‌عنوان ابزاری کاربردی برای مدیریت کیفیت آب رودخانه‌های مرزی و کنترل منابع آلاینده استفاده شود. یافته‌ها در توسعه سیاست‌های حفاظتی برای اکوسیستم‌های آبی و کاهش تأثیرات زیست‌محیطی فعالیت‌های معدنی مؤثر است.

نتیجه‌گیری

باتوجه به افزایش تقاضا برای منابع آب و اهمیت رودخانه‌ها در تأمین آن، مدیریت صحیح و کیفی رودخانه‌ها ضروری است. در طول سالیان اخیر، آلودگی رودخانه ارس (به‌خصوص از جانب کشورهای همسایه و به‌طور مشخص ارمنستان در مرز نوردوز) به دلیل تخلیه پساب‌های معدنی از سد‌های باطله و ایجاد زهاب‌های اسیدی به‌عنوان یکی از دغدغه‌های زیست‌محیطی در ایران و منطقه آذربایجان باعث ایجاد نگرانی‌هایی شده است. موضوع آلودگی زمانی پیچیده‌تر می‌شود که جریان ذخیره‌شده در پشت سد‌های باطله به دلیل کمبود حجم سد و پر شدن آن، عملاً به داخل رودخانه تخلیه شود که در این صورت آلودگی رودخانه به‌شدت رخ می‌دهد؛ چراکه حجم عظیمی از رسوبات همراه با آلودگی‌های معدنی وارد اکوسیستم رودخانه شده و به‌شدت می‌تواند تعادل موجود را در بخش آب و رسوبات و کفزیان برهم زده و باعث افت کیفیت آب رودخانه و مسمومیت آن برای اهداف شرب و کشاورزی گردد. علاوه بر آن منابع آلاینده دیگری از جمله آلاینده‌های ناشی از جوامع شهری و روستایی (خانگی)، پساب صنایع (واحدهای صنعتی منفرد و شهرک‌های صنعتی)، زباله‌ها و مراکز دفن آن‌ها، کشتارگاه‌ها، کاربری اراضی کشاورزی آبی و دیم، کود و سموم و سازندها کیفیت آب رودخانه را تحت تأثیر قرار می‌دهند. جهت بررسی وضعیت کیفی و زیستی رودخانه ارس پارامترهای کیفیت آب در فصل پاییز از ۶ ایستگاه در طول رودخانه برداشته شده و با روش آماری ضریب همبستگی پیرسون و شاخص‌های کیفی IRWQISC و NSFQI و زیستی BMWP، ASPT، FBI و شانون - وینر مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از سنجش شاخص IRWQISC نشان از کیفیت نسبتاً بد آب در تمامی ایستگاه‌ها دارد و بر اساس شاخص NSFQI رودخانه دارای کیفیت متوسط است و همچنین شاخص‌های زیستی BMWP، ASPT، FBI و شانون - وینر نشان‌دهنده شرایط آلودگی ایستگاه بعد از آگاراک و کاهش کیفیت آب آن نسبت به دیگر ایستگاه‌ها است. نتایج حاصل از بررسی‌های زیستی نشان‌دهنده وجود یک کانون آلاینده محیطی در ناحیه آگاراک است که باعث تغییر جامعه زیست‌مندان کفزی درشت و طبیعتاً شرایط اکولوژیکی ناحیه



بعد از آگاراک شده است. لازم به ذکر است که این مطالعه، اولین تحقیق صورت گرفته با این هدف در اکوسیستم رودخانه مذکور می‌باشد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

منابع

- ابراهیمی، عیسی، فتحی، پژمان، قدرتی، فاطمه، نادری جلودار، مهدی، و پیرعلی زفره ئی، احمدرضا. (۱۳۹۶). ارزیابی کیفیت آب رودخانه تجن با استفاده از شاخص‌های کیفی و زیستی. *مجله علمی شیلات ایران*. ۲۶(۵): ۱۳۹-۱۵۱. (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۶).
- پاک نژادمتکی، حمیدرضا، و فرجی راد، عبدالرضا. (۱۳۸۹). هیدروپلیتیک رودخانه مرزی ارس و تاثیر آن بر امنیت استان اردبیل. *جغرافیایی سرزمین*. ۷(۲۸): ۷۹-۹۵. (پاک نژادمتکی و فرجی راد، ۱۳۸۹).
- پیرعلی زفره ئی، احمدرضا، و ابراهیمی، عیسی. (۱۳۹۴). ارزیابی کیفی آب رودخانه زاینده رود متأثر از دوره خشکسالی با استفاده از شاخص‌های زیستی ASPT, BMWP و هلسینهوف. *مجله بهره برداری و پرورش آبزیان*. ۴(۴): ۷۱-۸۵. (پیرعلی زفره ئی و ابراهیمی، ۱۳۹۴)
- خدامرادی وطن، نسرين، مظاهری، مهدی، محمدولی سامانی، جمال، و رضوی طوسی، سیده لیلا. (۱۴۰۲). ارزیابی و مقایسه تطبیقی شبکه پایش کیفی رودخانه‌های ایران با کشورهای منتخب. *تحقیقات آب و خاک ایران*. ۵۴(۵): ۷۳۷-۷۵۱. (خدامرادی وطن و همکاران، ۱۴۰۲).
- خلیلی، رضا، منتصری، حسین، و متقی، حامد. (۱۴۰۰). ارزیابی کیفیت آب رودخانه چالوس با استفاده از تجزیه و تحلیل آماری و شاخص کیفیت آب (WQI). *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*. ۱(۳): ۳۸-۵۲. (خلیلی و همکاران، ۱۴۰۰).
- درویشی، پریا، جوانشیر، آرش، ایگدردی، سهیل، نصری، منوچهر. (۱۴۰۲). ارزیابی کیفی آب رودخانه خرم رود با استفاده از ساختار جمعیتی ماکروبتوزها به عنوان شاخص زیستی. *مجله بوم‌شناسی آبزیان*. ۱۳(۱): ۷۸-۹۳. (درویشی و همکاران، ۱۴۰۲).
- دلبری، فائزه، رضایی توابع، کامران، میر واقفی، علیرضا، لاهیجان زاده، احمدرضا، باقرزاده کریمی، مسعود، و سلمردی، عرفان. (۱۴۰۱). ارزیابی کیفیت آب رودخانه تجن با استفاده از شاخص IRWQIsc. *مجله علوم آبی‌زی پروری*. ۱۰(۲): ۸۳-۹۸. (دلبری و همکاران، ۱۴۰۱).
- دادخواه تهرانی، مجتبی، کریمی درمیان، سهیل، مریدی، علی، و خلیلی، رضا. (۱۴۰۲). ارزیابی کیفیت آب رودخانه چالوس بر اساس شاخص‌های کیفی IRWQIsc و NSFQI. *مطالعات علوم محیط زیست*. ۸(۳): ۷۰۶۴-۷۰۷۲. (دادخواه و همکاران، ۱۴۰۲).
- سلیمانی بابادی، فاطمه، و سبزی پور، سیما. (۱۳۹۹). بررسی کیفیت آب تالاب ناصری با استفاده از شاخص‌های IRWQI و NSFQI. *اکوبیولوژی تالاب (تالاب)*. ۱۲(۴۵): ۷۱-۸۶. (سلیمانی بابادی و سبزی پور، ۱۳۹۹).
- قربان زاده زعفرانی، سید قاسم، حسینی طایفه، فرهاد، و ایزدیان، منا. (۱۴۰۱). طبقه‌بندی کیفی رودخانه کرج با استفاده از شاخص‌های زیستی ماکروبتیک. *پژوهش‌های محیط زیست*. ۱۳(۲۵): ۱۹-۳۲. (قربان زاده زعفرانی و همکاران، ۱۴۰۱).
- لاریجانی، شمیم، بانژاد، حسین، کاویان، عطالله، و ضیایی، علی نقی. (۱۴۰۲). ارزیابی کیفیت آب رودخانه هراز با استفاده از شاخص‌های بهداشتی، آلودگی، وزنی و حسابداری-اجتماعی. (مطالعه موردی: بازه پنجاب تا بالادست سد هراز). *نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران*. ۱۳(ویژه نامه تابستان ۱۴۰۲): ۳۶۹-۳۸۷. (لاریجانی و همکاران، ۱۴۰۲).
- مظلومی موچانی، محمد، حاتمی، علی، مریدی، علی، و خلیلی، رضا. (۱۴۰۲). ارزیابی حساسیت شاخص‌های کیفیت آب بنیاد ملی بهداشت NSFQI و شاخص کیفیت آب سطحی ایران (IRWQIsc) بر کیفیت آب رودخانه نکارود. *مدیریت آب و آبیاری*. ۱۳(۳): ۵۸۱-۵۹۲. (مظلومی و همکاران، ۱۴۰۲).
- نصرتی، کاظم، درفشی، خه بات، قره چاهی، سعیده، و قره چاهی، خلیل. (۱۳۹۰). ارزیابی کیفیت آب سطحی حوزه آبریز هراز- قره‌سو با استفاده از تکنیک‌های آماری چند متغیره. *پژوهش‌های دانش زمین*. ۲(۱): ۱-۱۳. (نصرتی و همکاران، ۱۳۹۰).
- نژادافضلی، کرامت، و بیاتانی، فاطمه. (۱۴۰۳). پهنه‌بندی کیفی آب رودخانه کارون بر مبنای شاخص کیفی NSFQI و بهره‌گیری از سامانه اطلاعات جغرافیایی. *مطالعات علوم محیط زیست*. ۹(۲): ۸۲۵۱-۸۲۶۴. (نژادافضلی و بیاتانی، ۱۴۰۳).
- هوشمند، سارا، و اگدرنژاد، اصلان. (۱۴۰۰). ارزیابی کیفیت آب رودخانه کارون بر اساس شاخص‌های NSFQI و IRWQIsc و تعیین وزن پارامترهای مؤثر در این دو شاخص با آنالیز خوشه‌ای و تحلیل سلسله مراتبی. *اکوبیولوژی تالاب (تالاب)*. ۱۳(۴۹): ۴۷-۶۰. (هوشمند و اگدرنژاد، ۱۴۰۰).
- محمودی فرد، عباس، ایمانپورنمین، جاوید، علاف نویریان، حمید، شریفی نیا، مسلم، و غلامی دشتکی، کامیاب. (۱۳۹۳). استفاده از ترکیب جمعیت و الگوی پراکنش بی مهرگان کفزی، به منظور ارزیابی زیستی و پایش کیفیت آب رودخانه شاهرود (استان قزوین). *مجله*

بهره برداری و پرورش آبزیان. ۳(۴): ۹۱-۱۰۸. (محمودی فرد و همکاران، ۱۳۹۳).
ملوندی، حسن،، مغنی زاده، ریحانه،، عبدلی، اصغر. (۱۳۹۷). ارزیابی کیفیت آب رودخانه دهبار با استفاده از شاخص‌های زیستی. فصلنامه محیط زیست جانوری. ۱۰(۱): ۳۸۱-۳۹۰. (ملوندی و همکاران، ۱۳۹۷).

REFERENCES

- Armitage, P. D., Moss, D., Wright, J. F., & Furse, M. T. (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(3), 333–347.
- Bhadrecha, M. H., Khatri, N., & Tyagi, S. (2016). Rapid integrated water quality evaluation of Mahisagar river using benthic macroinvertebrates. *Environmental monitoring and assessment*, 188(4), 254.
- Cristable, R. M., Nurdin, E., & Wardhana, W. (2020, March). Water quality analysis of Saluran Tarum Barat, West Java, based on National Sanitation Foundation-Water Quality Index (NSF-WQI). In IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science* (Vol. 481, No. 1, p. 012068). IOP Publishing.
- Czerniawska-Kusza, I. (2005). Comparing modified biological monitoring working party score system and several biological indices based on macroinvertebrates for water-quality assessment. *Limnologia*, 35(3), 169- 176.
- Dadhkhah Tehrani, M., Karimi Darmian, S., Moridi, A., & khalili, R. (2023). Evaluation of water quality of Chalus River based on IRWQIsc and NSFQI water quality index. *Journal of Environmental Science Studies*, 8(3),7064-7072. (In Persian).
- Delbari, F., Rezaei Tavabe, K., Mirvaghefi, A., Lahijanzadeh, A., Bagherzadeh Karimi, M., & Salamroodi, E. (2022). Evaluation of water quality of Tajan River using IRWQIsc index. *Aquaculture Sciences*, 10(2), 83-98. (In Persian).
- Darvishi, P., javanshir, A., Eagderi, S., nasri, M. (2023) Pollution monitoring of Khorram-Rud River - Lorestan Province using macroinvertebrates as biological indicators. *J. Aqua. Eco* 13 (1) :78- 93. (In Persian).
- Ebrahimi, I., Fathi, P., Ghodrati, F., Naderi Jelodar, M., & Pirali, A. R. (2018). Assessment of Tajan River water quality with the use of biological and quality indicators. *Iranian Scientific Fisheries Journal*, 26(5), 139 151. (In Persian).
- Ghorbanzadeh Zafarani, S. G., Hossaini Tayefeh, F., & Izadian, M. (2022). Quality Classification of Karaj River Using Macrobenthic Biotic Indices. *Environmental Researches*, 13(25), 19-32. (In Persian).
- Giao, N. T., Dien, N. T. C., Nguyen, H. T., Nhu, T. N., Mi, L. T. D., & Nhien, H. T. H. (2024). Evaluating relationship between surface water quality and zooplankton diversity in coastal areas of Tien Giang Province, Vietnam. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 28(3), 841–851.
- Gupta, N., Pandey, P., & Hussain, J. (2017). Effect of physicochemical and biological parameters on the quality of river water of Narmada, Madhya Pradesh, India. *Water Science*, 31(1), 11–23.
- Hara, J., Mamun, M., & An, K. G. (2019). Ecological river health assessments using chemical parameter model and the index of biological integrity model. *Water*, 11(8), 1729.
- Hawkes, H. A. (1997). Origin and development of the biological monitoring working party score system. *Water Research*, 32(3), 964–968.
- 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.
- Houshmand, S., & Agdarnajad, A. (2021). Evaluation of Karun River water quality based on NSFQI and IRWQIsc indices and determination of effective parameter weights using cluster analysis and hierarchical analysis. *Eco-Wetland Biology*, 13(3), 47–60. (In Persian).
- Khalili, R., Montaseri, H., & Motaghi, H. (2021). Evaluation of water quality in the Chalus River using the statistical analysis and water quality index (WQI). *Water and Soil Management and Modelling*, 1(3), 38- 52. (In Persian).
- Khodamoradi Vatan, N., Mazaheri, M., Mohammad vali samani, J., & Razavi Toosi, S. L. (2023). Comparative evaluation and comparison of quality monitoring network of Iran's rivers with selected countries. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 54(5), 737-751. (In Persian).
- Larijani, S., Kavian, A., & Ziaei, A. N. (2023). Water Quality of HARAZ River by Using the Sanitation, Pollution, weight and Social Accounting Water Quality index (Case study: Panjab to upstream of Haraz dam). *Irrigation and Water Engineering*, 13(13), 369-387. (In Persian).



- Mahmoudifard, A., Imanpoor Namin, J., Sharifinia, M., Allaf Noverian, H., Gholami Dashtaki, K., (2015). Use of Benthic invertebrates population structure and distribution pattern for biological monitoring and water quality assessment in Sharhrud River (Qazvin province). *Journal of Utilization and Cultivation of Aquatics*, 3(4), 91-108. (In Persian).
- Malvandi, H., Moghanizade, R., & Abdoli, A. (2018). Assessment of water quality in the Dehbar River using biological indicators. *Journal of Animal Environment*, 10(1), 381-390. (In Persian).
- Mazlomi, M., Hatami, A. A., Moridi, A. A., & Khalili, R. (2023). Sensitivity assessment of the National Sanitation Foundation Water Quality Index (NSFWQI) and IRan Water Quality Index for Surface Water Resources (IRWQIsc) on the water quality of the Neka River. *Journal of Water and Irrigation Management*, 13(3), 581-592. (In Persian).
- Nasiyev, B., Vassilina, T., Zhylykybay, A., Shibaikin, V., & Salykova, A. (2021). Physicochemical and biological indicators of soils in an organic farming system. *The Scientific World Journal*, 2021(1), 9970957.
- Nezhadafzali, K., & Bayatani, F. (2024). Water quality areas of the Karun River based on NSFWQI quality index and using geographic information system. *Journal of Environmental Science Studies*, 9(2), 8251-8264. (In Persian).
- Nosrati, K., Derafshi Khab, H., Gharehchahi, S., & Gharehchahi, K. (2011). Evaluation of surface water quality in the Haraz-Gharesu watershed using multivariate statistical techniques. *Earth Science Research Journal*, 2(1). (In Persian).
- Paknejad Motaki, H., Faraji Rad, A., (2010). The hydropolitic of Aras river border and its effect on the security of Ardabil province., *Territory*, 7(28), 79-96. (In Persian).
- Priyono, A., Badriyah Rushayati, S., & Bagus Sujati, A. (2021). Water quality characteristics of Ciliwung River at Bogor Botanical Garden Segment, Bogor. *International Journal of Energy and Environmental Science*, 6(5), 122.
- Rocha, F. C., Andrade, E. M., & Lopes, F. B. (2015). Water quality index calculated from biological, physical, and chemical attributes. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(4), 1-15.
- Salem, T. A. (2021). Changes in the physicochemical and biological characteristics in the lentic and lotic waters of the Nile River. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 47(1), 21-27.
- Shyu, G. S., Cheng, B. Y., Chiang, C. T., Yao, P. H., & Chang, T. K. (2011). Applying factor analysis combined with kriging and information entropy theory for mapping and evaluating the stability of groundwater quality variation in Taiwan. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 8(4), 1084-1097.
- Soleimani Babadi, Fatemeh, & Sabz Alipour, Sima. (2020). The study of water quality in naseri watland by using of IRWQI and NSFWQI indexes. *JOURNAL OF WETLAND ECOBIOLOGY*, 12(45), 71-86. (In Persian).
- Uddin, M. G., Nash, S., & Olbert, A. I. (2021). A review of water quality index models and their use for assessing surface water quality. *Ecological Indicators*, 122, 107218.
- Wu, Z., Wang, X., Chen, Y., Cai, Y., & Deng, J. (2018). Assessing river water quality using water quality index in Lake Taihu Basin, China. *Science of the Total Environment*, 612, 914-922.
- Zefrehei, A. P., & Ebrahimi, E. (2016). Assessing the water quality of Zayandeh Rud River affected by drought period using BMWP, ASPT, and Hilsenhoff biological indices. *Journal of Utilization and Cultivation of Aquatics*, 4(4), 71-85. (In Persian).
- Zhou, Q., Guo, H., & Chen, G. (2021). Ecological evaluation of river water quality using a hierarchical biotic index. *Water Quality Research Journal*, 35(4), 12-25.