University of Tehran Press

Journal of Water and Irrigation Management **Online ISSN: 2382-9931**

Homepage: https://jwim.ut.ac.ir/

Assessment of Spatio-Temporal Changes in Water Quality of Babolroud River Using IRWQIsc, NSFWQI and CCME Water Quality Index

Alireza Shakerdonyavi[1] | Pourya Cheloyan[2] | Ali Moridi[3]✉ | Reza Khalili[4]

1. Department of Water, Waste Water and Environmental Engineering, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. E–mail: a.shakerdonyavi@mail.sbu.ac.ir
2. Department of Water, Waste Water and Environmental Engineering, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. E–mail: p.cheloyan@mail.sbu.ac.ir
3. Corresponding Author, Department of Water, Waste Water and Environmental Engineering, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. E–mail: a_moridi@sbu.ac.ir
4. Department of Water, Waste Water and Environmental Engineering, 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: 23 February 2023
Received in revised form:
7 April 2023
Accepted: 6 June 2023
Published online: 2 July 2023

Keywords:
Babolroud River,
CCMEWQI,
IRWQISC,
NSFWQI,
Water quality.

ABSTRACT

Water, one of the most important elements in the world, is known to be essential for the survival of living organisms and the health of water resources, especially surface water, is a key factor in determining the health and sustainability of aquatic ecosystems. Rivers are among the most important sources of surface water that have been severely affected by pollution in recent years due to population growth, industrial and agricultural activities, and wastewater discharge. Water Quality Index (WQI) is a widely used tool for assessing the quality of river water and other water resources. In this study, water samples were taken from three stations along Babolroud River during one hydrological year (from September 2019 to August 2020) to evaluate its water quality, and the quality parameters were analyzed using three indices: Iran Surface Water Quality Index (IRWQIsc), National Sanitation Foundation Water Quality Index (NSFWQI), and Canadian Water Quality Index (CCMEWQI). The use of these three indices provides a comprehensive approach to water quality assessment and management, enabling us to better understand the health and sustainability of water resources. According to the results, the IRWQISC index ranges from 50 to 78.9, the NSFWQI index ranges from 57 to 73, and the CCME WQI index ranges from 31 to 38, indicating moderate to poor water quality in the river, especially downstream. The main factors contributing to the low quality of water are the entry of pollutants from residential and agricultural areas, uncontrolled human activities, and land use changes along the river.

Cite this article: Shakerdonyavi, A., Cheloyan, P., Moridi, A., & Khalili, R. (2023). Assessment of Spatio-Temporal Changes in Water Quality of Babolroud River Using IRWQIsc, NSFWQI and CCME Water Quality Index. *Journal of Water and Irrigation Management*, 13 (2), 551-563. DOI: https://doi.org/10.22059/jwim.2023.355688.1056

© The Author(s).
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/jwim.2023.355688.1056

انتشارات دانشگاه تهران

مدیریت آب و آبیاری

شاپا الکترونیکی: ۲۳۸۲-۹۹۳۱

Homepage: https://jwim.ut.ac.ir/

ارزیابی تغییرات مکانی و زمانی کیفیت آب رودخانه بابلرود با استفاده از شاخص‌های کیفیت آب IRWQIsc، NSFWQI و CCME

علیرضا شاکردنیوی[۱] | پوریا چلوییان[۲] | علی مریدی[۳]✉ | رضا خلیلی[۴]

۱. گروه مهندسی آب، فاضلاب و محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: a.shakerdonyavi@mail.sbu.ac.ir

۲. گروه مهندسی آب، فاضلاب و محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: p.cheloyan@mail.sbu.ac.ir

۳. نویسنده مسئول، گروه مهندسی آب، فاضلاب و محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: a_moridi@sbu.ac.ir

۴. گروه مهندسی آب، فاضلاب و محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: re_khalili@sbu.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۰۴

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۱/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۱۶

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۴/۱۱

کلیدواژه‌ها:
رودخانه بابلرود،
کیفیت آب،
$IRWQI_{SC}$،
NSFWQI،
CCMEWQI.

چکیده

آب، یکی از مهم‌ترین عناصر موجود در جهان، جهت ادامه حیات موجودات زنده شناخته می‌شود و سلامت منابع آبی به‌ویژه آب سطحی، عامل کلیدی و تعیین‌کننده سلامت و پایداری اکوسیستم‌های آبی است. رودخانه‌ها از مهم‌ترین منابع آب سطحی هستند که در سال‌های اخیر با توجه به افزایش جمعیت، فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی و تخلیه پساب‌ها به‌شدت تحت تأثیر آلودگی قرار گرفته‌اند. شاخص‌های کیفیت آب (WQI) یک ابزار پرکاربرد برای ارزیابی کیفی آب رودخانه‌ها و سایر منابع آبی می‌باشند. در این پژوهش به‌منظور ارزیابی کیفیت آب رودخانه بابلرود، از سه ایستگاه در طول یک سال آبی (مهرماه ۱۳۹۸ تا شهریورماه ۱۳۹۹) نمونه‌برداری انجام شد و پارامترهای کیفی با استفاده از سه شاخص، کیفیت آب سطحی ایران (IRWQIsc)، کیفیت آب بنیاد ملی بهداشت (NSFWQI) و کیفیت آب کانادا (CCME WQI) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. استفاده از این سه شاخص یک رویکرد جامع برای ارزیابی و مدیریت کیفیت آب فراهم می‌کند تا امکان درک بهتر سلامت و پایداری منابع آب را در اختیار ما قرار دهند. براساس نتایج، مقادیر شاخص $IRWQI_{SC}$ بین ۵۰ تا ۷۸/۹، شاخص NSFWQI بین ۵۷ تا ۷۳ و شاخص CCME WQI بین ۳۱ تا ۳۸ قرار دارد که نشان‌دهنده کیفیت متوسط و ضعیف آب رودخانه، به‌ویژه در پایین‌دست رودخانه است. از عوامل اصلی کیفیت پایین آب، ورود آلاینده‌ها از مناطق مسکونی و کشاورزی، فعالیت‌های کنترل‌نشده انسانی و تغییر کاربری اراضی به این رودخانه است.

استناد: شاکردنیوی، علیرضا؛ چلوییان، پوریا؛ مریدی، علی و خلیلی، رضا (۱۴۰۲). ارزیابی تغییرات مکانی و زمانی کیفیت آب رودخانه بابلرود با استفاده از شاخص‌های کیفیت آب IRWQIsc، NSFWQI و CCME. *نشریه مدیریت آب و آبیاری*، ۱۳ (۲)، ۵۲۱-۵۳۳.

DOI: https://doi.org/10.22059/jwim.2023.355688.1056

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

۱. مقدمه

آب به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عناصر موجود در جهان، جهت ادامه حیات موجودات شناخته می‌شود که سرمنشأ تولید، تلاش، تمدن بشر است که به اشکال مختلف مانند منابع آب سطحی و زیرزمینی مورداستفاده قرار می‌گیرد (Khalili *et al*., 2022). رودخانه‌ها از مهم‌ترین منابع آب سطحی هستند که نقش مهمی در تأمین آب موردنیاز فعالیت‌های مختلف کشاورزی، صنعت، شرب و تولید برق را دارند (Karunanidhi *et al*., 2020) که در سال‌های اخیر کارخانه‌ها از این منبع به‌عنوان تخلیه فاضلاب‌ها و پساب‌های خود مورداستفاده قرار می‌دهند و هم‌چنین به‌دلیل افزایش روزافزون کمبود آب در کشورهای درحال‌توسعه؛ ارزیابی کیفی آب رودخانه‌ها موردتوجه قرارگرفته است (Goutam *et al*., 2020).کشور ایران در بخش نیمه‌خشک قرار دارد و توجه به این نکته که برخلاف نفت و کالاهای دیگر آب را نمی‌توان در حجم زیاد از جایی به‌جای دیگری انتقال داد و همگن‌نبودن توزیع جمعیت در کشور، در مناطق دارای تمرکز جمعیت و صنعت، تنش بیش‌تری به محیط‌زیست به‌ویژه منابع آب (سطحی و زیرزمینی) وارد خواهد شد و باعث کاهش مقادیر کیفی و کمی منابع آب و در شهرهای بزرگ منجر به نقض تعادل زیست‌محیطی می‌شود. مطالعات کیفی و پهنه‌بندی آب براساس شاخص‌های استاندارد کیفی آب نه‌تنها وضعیت کیفی آب رودخانه را در حال حاضر مشخص می‌کند بلکه به توسعه پایدار و افزایش بهره‌وری از این رودخانه کمک می‌کند (Mardani *et al*., 2022). روش‌ها و شاخص‌های متنوعی برای ارزیابی‌های کیفی آب طی سالیان مورداستفاده قرارگرفته شده است که یکی از ساده‌ترین رویکردها به‌منظور ارزیابی کیفیت آب، استفاده از شاخص‌های کیفیت آب (WQIs) است (Wan Abdul Ghani *et al*., 2018). شاخص‌های کیفی با توجه به اهمیت پارامترهای کیفی مشخص در هر کشوری ارائه‌شده است که می‌توان به شاخص $IRWQI_{SC}$ در ایران و شاخص CCMEWQI در کشور کانادا اشاره کرد هم‌چنین یکی دیگر از رایج‌ترین شاخص‌های کیفیت آب در جهان، شاخص بنیاد ملی بهداشت NSFWQI است که در سال‌های اخیر موردتوجه قرار گرفته است. با ارزیابی کیفیت آب با استفاده از این شاخص‌ها، می‌توان منابع بالقوه آلودگی را شناسایی کرد و استراتژی‌های مدیریتی مؤثری برای بهبود کیفیت آب ایجاد کرد. علاوه بر این، نظارت بر تغییرات کیفیت آب در طول زمان با استفاده از این شاخص‌ها می‌تواند به ارزیابی اثربخشی استراتژی‌های مدیریتی و هدایت تصمیم‌گیری‌های آینده کمک کند (Singh and Noori, 2022). در سال‌های اخیر مطالعات زیادی جهت بررسی شرایط کیفی رودخانه‌ها در سراسر جهان با استفاده از شاخص‌های بیان‌شده انجام گرفت که می‌توان به مطالعات زیر اشاره کرد. Khalili *et al*. (2020) پژوهشی متمرکز بر کاربرد شاخص کیفیت آب کانادا (CCME) جهت بررسی کیفیت آب رودخانه بشار برای مصارف آشامیدنی، کشاورزی، آبزی‌پروری، تفریح و سرگرمی، احشام و هم‌چنین کاربرد نمودار شولر جهت بررسی کیفیت آب این رودخانه برای مصارف آشامیدنی انجام داده‌اند. در این پژوهش سه محل نمونه‌برداری در امتداد رودخانه بشار انتخاب و از هر محل چهار نمونه در فصل‌های مختلف سال ۱۳۹۸ برداشته شد و موردبررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که کیفیت آب رودخانه بشار برای مصرف شرب در رتبه خوب و متوسط و ازنظر آبزی‌پروری و تفریح و سرگرمی در رتبه عالی و خوب و ازنظر کشاورزی و مصرف احشام در رتبه عالی قرار دارند. هم‌چنین تحلیل نمودارهای شولر نشان داد که کیفیت آب رودخانه بشار ازنظر شرب در محدوده خوب و متوسط قرار دارد. Fathi *et al*. (2016) پژوهشی در راستای ارزیابی کیفیت آب تالاب چغاخور با استفاده از شاخص کیفیت آب (WQI) انجام دادند. شاخص کیفیت آب (WQI) با استفاده از ۱۱ پارامتر محاسبه شد؛ نیترات، نیتریت، آمونیوم، قلیائیت، سختی، کدورت، رسانایی، اکسیژن محلول، کل جامد محلول، pH و نیاز بیوشیمیایی اکسیژن (BOD5) و نتایج را در دودسته قرار دادند: بسیار ضعیف و نامناسب که برای مصارف انسانی مانند نوشیدن مناسب نیست. مهم‌ترین عامل در ارزیابی کیفیت آب در این مطالعه BOD5 بود که با توجه به نتایج، می‌توان گفت که از این روش

برای ارزیابی کیفیت آب در تالاب‌ها می‌تواند استفاده شود. Khalili *et al*. (2020) پژوهشی به‌منظور بررسی دقیق‌تر از سه شاخصNSFWQI، RPI و WAWQI برای ارزیابی کیفیت کلی رودخانه گرمارود استفاده شد. در این پژوهش جهت محاسبه شاخص‌های NSFWQI و RPI از پارامترهای DO، دما، BOD، کولیفرم مدفوعی، کدورت، TS، pH، نیتروژن، آمونیاک و فسفات و برای محاسبه شاخص WAWQI از پارامترهای TS، نیترات، کلراید، سختی کل، سولفات، منیزیم، کدورت، pH، کلسیم استفاده شد. نتایج حاصل از تجزیه‌وتحلیل پارامترها نشان داد که ارزش شاخص (NSFWQI) در دامنه (۷۵/۶–۵۰/۶۶)، ارزش شاخص آلودگی رودخانه (RPI) در دامنه (۲۵/۲–۵/۵) و ارزش شاخص (WAWQI) در دامنه (۵۵/۹۲–۴۸/۳۳) قرار دارد که نتایج هر سه شاخص بیانگر کیفیت نسبتاً خوب ایستگاه شماره (۱) و کیفیت بد در ایستگاه‌های شماره (۲) و (۳) بوده است.هم‌چنین مطالعات زیادی با استفاده از این شاخص‌ها در رودخانه‌های مناطق آسیایی مانند (Al-Saboonchi *et al*., 2011; Hamadan, 2016; Javid *et al*., 2014; Khan *et al*., 2005; Matta *et al*., 2020; Mirzaei *et al*., 2016) و مناطق دیگر اروپا و افریقا (Alexakis, 2022; de Almeida and de Oliveira, 2018; Ismail *et al*., 2018; Panagopoulos *et al*., 2022; Yulistia *et al*., 2018) انجام شد. در این پژوهش به‌دلیل افزایش دقت در ارزیابی کیفی رودخانه‌ها و به‌دست‌آوردن دید بهتر و جامع‌تری از شرایط کیفی رودخانه بابلرود از شاخص‌های کیفیت منابع آب سطحی ایران (IRWQI)، شاخص کیفیت آب بنیاد ملی بهداشت (NSFWQI) و شاخص کیفیت آب کانادا (CCME) جهت تجزیه و تحلیل پارامترهای کیفی استفاده شد و عوامل تأثیرگذار بر کاهش کیفیت موردبررسی قرار گرفت.

۲. مواد و روش‌ها

۲–۱. منطقه موردمطالعه

بابلرود، یکی از بزرگ‌ترین رودخانه‌های شمال ایران است که در استان مازندران قرار دارد. این رود از ترکیب سه رودخانه آذررود، کارسنگ‌رود و اسکلیم‌رود در سد البرز تشکیل‌شده است. بابلرود با احتساب سرشاخه‌های اصلی آن یعنی رودخانه‌های سجرو یا بابلک حدود ۱۰۹ کیلومتر طول دارد و پس از عبور از جنگل‌های سوادکوه شمالی و شالیزارهای بابل، در بابلسر به دریای خزر می‌ریزد. لازم به ذکر است که مصب این رود محل خوبی برای تفریحات آبی است.

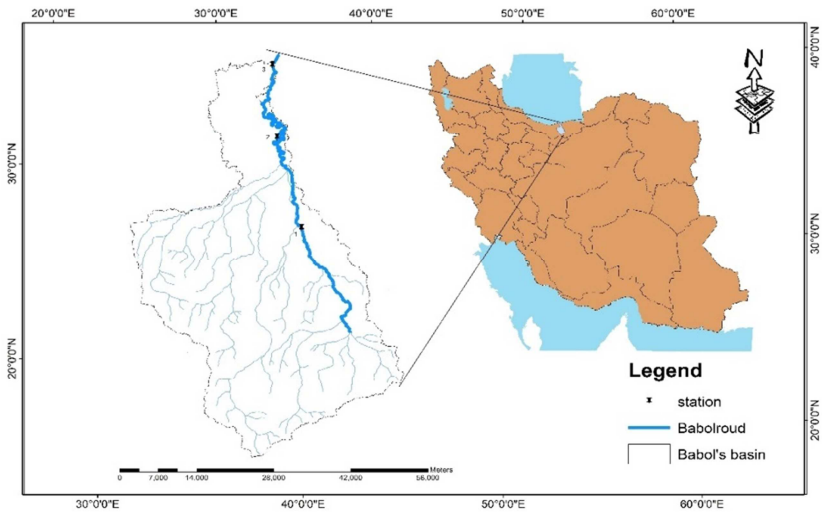


Figure1. Study area and sampling points

۲-۲. انتخاب ایستگاه‌های نمونه‌برداری

نمونه‌برداری‌ها از سه ایستگاه در طول رودخانه در سال آبی (مهرماه ۱۳۹۸ تا شهریورماه ۱۳۹۹) در چهار فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان انجام‌شده است. ایستگاه اول (S1 در بالادست رودخانه به‌دلیل ورود کم‌ترین مقدار آلودگی در نظر گرفته شد. ایستگاه دوم (S2) در اواسط مسیر رودخانه بعد از شهر بابل در نظر گرفته شد که بیش‌ترین احتمال ورود آلاینده‌ها از مناطق مسکونی، زراعی و فعالیت‌های انسانی به داخل رودخانه وجود دارد و ایستگاه سوم (S3) نیز در پایین‌دست رودخانه در خروجی رودخانه در نظر گرفته‌شده که اطلاعات جامع از مقدار آلاینده‌های قبل از واردشدن به دریای خزر در اختیار ما قرار دهد.

Table1. Locations of sampling points

Station	Longitude (Degree-Minute-Second)	Latitude (Degree-Minute-Second)
St1	78-42-27	36-24-35
St2	52-39-20	36-34-5
St3	52-38-39	36-41-46

۲-۳. تعیین پارامترهای فیزیکی و شیمیایی

نمونه‌برداری‌ها در این مقاله از بخش میانی مقطع رودخانه از عمق ۲۰ سانتی‌متر، در ساعات ابتدایی روز و با بطری‌های شیشه‌ای استریل برداشت و به آزمایشگاه منتقل‌شده است. پارامترهای بررسی‌شده در این مقاله شامل pH، اکسیژن محلول (DO)، رسانایی الکتریکی (EC)، کدورت، NH_3^-، NO_3^-، اکسیژن بیوشیمیایی BOD_5، مواد جامد معلق (TSS)، COD، کلیفرم مدفوعی، دمای آب (WT) و PO_4^{-3} می‌باشد. WT، DO، EC و کدورت با استفاده از ابزار الکترونیکی قابل‌حمل در محل نمونه‌برداری اندازه‌گیری شد و با استفاده از طیف DR 2800 TM اسپکتروفتومتری، NO_3^-، NH_3^- و PO_4^{-3} اندازه‌گیری شد. BOD_5 به روش ستون جیوه‌ای با دستگاه هوربیا، TSS به روش وزن‌سنجی در دمای ۱۰۵-۱۰۷ درجه سانتی‌گراد مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

۲-۴. شاخص $IRWQI_{SC}$

شاخص کیفیت آب‌های سطحی ایران (IRWQIsc) یک شاخص تلفیقی از NSFWQI و BCEQI است. شاخص $IRWQI_{SC}$ برای مطالعه کیفی آب‌های سطحی توسط مدیریت منابع آب ایران باهدف استفاده از روش مناسب با شرایط طبیعی و مسائل و مشکلات آب ایران تهیه شده است و وضعیت کیفیت آب را به‌صورت کمی ارائه می‌کند. این شاخص، به‌عنوان یک ابزاری کارآمد جهت تعیین طبقه‌بندی کیفیت منابع آب طراحی‌شده است. به‌طوری‌که هرچه مقدار این شاخص بیش‌تر باشد کیفیت آب بهتر است. برای محاسبه این شاخص، مقدار پارامترهای اندازه‌گیری شده به‌عنوان ورودی شاخص استفاده می‌شود. IRWQIsc براساس رابطه (۱) و رابطه (۲) محاسبه می‌شود که در زیر ارائه‌شده است (Aghaee *et al*., 2020):

$$IRWQISC_{sc}=[\ \Pi_{i=1}^{n}\ I_i^{W_i}]^{\frac{1}{\gamma}} \quad \text{رابطه ۱)}$$

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

در رابطه (۲)، I_i نشان‌دهنده مقادیر کمی هر یک از پارامترها و W_i وزن هرکدام از پارامترها است. وزن مربوط به هر پارامتر در جدول (۲) ارائه شده است.

Table 2. Parameters weighting table for IRWQIsc index

Parameter	Weight
Fecal coliforms	0.140
BOD_5	0.117
Nitrate	0.108
DO	0.097
Electrical conductivity	0.096
COD	0.093
Phosphate	0.087
pH	0.059

مقادیر به‌دست‌آمده شاخص IRWQIsc براساس جدول (۳) طبقه‌بندی می‌شود.

Table 3. Descriptive classification for IRWQIsc index

Descriptive class	Index value
Very bad	15>
Bad	15-29.9
Relatively bad	30-44.9
Medium	45-55
Relatively good	55.1-70
Good	70.1-85
Very good	85<

۲-۵. شاخص NSFWQI

شاخص کیفیت آب بنیاد ملی بهداشت NSFWQI جهت تعیین شرایط کیفیت آب سطحی مورداستفاده قرار می‌گیرد که این فرایند براساس نُه پارامتر محاسبه می‌شود که این پارامترها شامل DO، BOD، TDS، کدورت، نیترات، فسفات، دما، PH و کلیفرم مدفوعی است (Yulistia *et al*., 2018). شاخص NSFWQI با استفاده از رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

$$NSFWQI = \sum W_i I_i$$ رابطه ۳)

در رابطه بالا، W_i نشان‌دهنده وزن هرکدام از این پارامترها ارائه‌شده در جدول (۴) و I_i مقادیر کمی هر یک از پارامترها می‌باشد. در این مطالعه برای محاسبه این شاخص از نرم‌افزار آنلاین WQI Calculator استفاده‌شده است.

Table 4. Parameters weighting table for NSFWQI index

Parameter	Weight
Turbidity	0.08
BOD_5	0.11
DO	0.17
Fecal coliforms	0.16
Nitrate	0.10
pH	0.11
Temperature	0.10
TDS	0.07
Phosphate	0.10

مقدار نهایی شاخص NSFWQI بین صفر تا ۱۰۰ متغیر می‌باشد و شرایط کیفی رودخانه براساس جدول (۵) طبقه‌بندی می‌شود.

۲-۶. شاخص CCMEWQI

مدل CCME شامل سه اندازه‌گیری واریانس باهدف بررسی کیفیت آب است. این سه روش واریانس برای تولید مقداری بین صفر تا ۱۰۰ می‌باشد که نشان‌دهنده کیفیت کلی آب است. در جدول (۶)، پنج گروه این شاخص ارائه شده است.

Table 5. Descriptive classification for NSFWQI index

Descriptive class	Index value
Excellent	90.1-100
Good	70.1-90
Medium	50.1-70
Bad	25.1-50
Very bad	0-25

Table 6. Classification of CCMEWQI

Descriptive class	Index value	Interpretation of water quality conditions
Excellent	95-100	The water quality has been preserved to a high degree from threats and disturbances. The conditions are very close to natural and pristine levels.
Good	80-94	The water quality has been maintained at the limit of threat and disturbance. The conditions rarely deviate from the natural and pristine levels.
Fair	65-79	The quality of water is usually maintained, but sometimes it is threatened and disturbed. The conditions are often out of the natural and pristine condition.
Marginal	45-64	The quality of water is frequently threatened and disrupted. The conditions are often out of the natural and pristine state.
Poor	0-44	The water body is almost always under threat or disturbance. The conditions are usually out of the normal and optimal level.

رابطه حاکم بر مدل CCME:

$$CWQI = 100 - \frac{\sqrt{(F_1^2+F_2^2+F_3^2)}}{1.732}$$ رابطه ۴)

فاکتور F1 درصد متغیرهایی را نشان می‌دهد که حداقل یک‌بار در طول دوره زمانی با مشاهدات تطابق داشته باشند و با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$F_1 = \left(\frac{Number\ of\ failed\ variables}{Total\ number\ of\ variables}\right) \times 100$$ رابطه ۵)

فاکتور F2 نشان‌دهنده آزمایش‌های منفردی است که با مشاهدات تطابق ندارند و با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$F_2 = \left(\frac{Number\ of\ failed\ test}{Total\ number\ of\ variables}\right) \times 100$$ رابطه ۶)

فاکتور F3 تعداد آزمایش‌های رد شده‌ای را که با مشاهدات تطابق ندارند را نشان می‌دهد. این فاکتور در سه مرحله محاسبه می‌شود:

مرحله اول: محاسبه میزان انحراف مقادیر رد شده با استاندار در مواقعی که مقادیر آزمون نباید از مقادیر استاندارد تجاوز کند.

$$Excursion\ i = \left(\frac{Failed\ test\ value\ i}{Objective\ j}\right) - 1$$ رابطه ۷)

درصورتی‌که مقادیر آزمون نباید از مقادیر استاندارد کم‌تر باشد.

$$Excursion\ i = \left(\frac{Objective\ j}{Failed\ test\ value\ i}\right) - 1$$ رابطه ۸)

مرحله دوم: مقدار تجمعی آزمایش‌ها که دارای تابع نمی‌باشند، از جمع‌کردن انحرافات تعداد آزمایش‌های مجزای مشاهدات بر تعداد کل آزمایش‌ها محاسبه می‌شوند. این متغیرها که به مجموع انحرافات نرمال‌شده معروف هستند، با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شوند:

$$nse = \frac{\sum excursion}{total\ number\ of\ test}$$ رابطه ۹)

مرحله سوم: فاکتور F3 پس از انجام مراحل فوق با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود (Farhan *et al*., 2020):

$$F_3 = \frac{nse}{0.01nse+0.01}$$ رابطه ۱۰)

۳. نتایج و بحث

فعالیت انسانی یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر روی هیدرولوژی رودخانه و کیفیت آب است. ترکیبات شیمیایی آب رودخانه می‌تواند تغییرات در حوضه‌های آبریز را منعکس کند و به همین علت کیفیت آب رودخانه‌ها را به‌عنوان شاخصی جهت استفاده از اراضی زمین‌های اطراف مطرح سازد. تغییرات شیمیایی با فعالیت‌های انسانی مانند توسعه شهرها، افزایش کشاورزی و به‌ویژه تخلیه فاضلاب‌های تصفیه‌نشده مرتبط است. از این‌رو، فعالیت‌های انسانی ناشی از توسعه اقتصادی، رشد جمعیت و شهرنشینی همگی منجر به تغییرات کیفیت آب رودخانه می‌شوند در این پژوهش به‌منظور مشخص‌کردن کیفیت آب رودخانه بابلرود، ۱۲ مرحله نمونه از سه ایستگاه در طی یک سال آبی انجام شد و نتیجه نمونه‌برداری‌ها در جدول (۸) و نتایج مقادیر نهایی شاخص‌ها در جدول‌های (۸) تا (۱۰) آمده است.

pH آب نشان‌دهنده ماهیت اسیدی یا بازی‌بودن آب و یکی از پارامترهای مهم که مصارف شرب، آبیاری و حیات آبزیان به آن وابسته می‌باشد و هم‌چنین تأثیرات عمیقی بر کیفیت آب، حلالیت فلزات، قلیاییت و سختی آب نیز می‌گذارد. میزان pH در فصول خشک بین ۷/۹ تا ۸/۴۵ و در فصول تر بین ۷/۷ تا ۸/۱۸ و به‌صورت میانگین در کل سال در حدود ۸/۱ قرار دارد که نشان‌دهنده خواص قلیایی در رودخانه می‌باشد. pHهای بالا نشان‌دهنده در تماس‌بودن رودخانه با سنگ‌های کربناته می‌باشد (Şener *et al*., 2017) و با توجه به این‌که بیش‌ترین مقدار pH ثبت‌شده در ایستگاه شماره (۳) بوده است که می‌تواند به‌علت ازدیاد گاز دی‌اکسیدکربن در پی عبور از شهر و فعالیت‌های انسانی و تشکیل کربنیک اسید در پی حل‌شدن آن در آب رودخانه و حل‌کردن رسوبات در انتهای رودخانه را عنوان نمود.

Table 7. Statistical summary of physical and chemical parameters in the study area

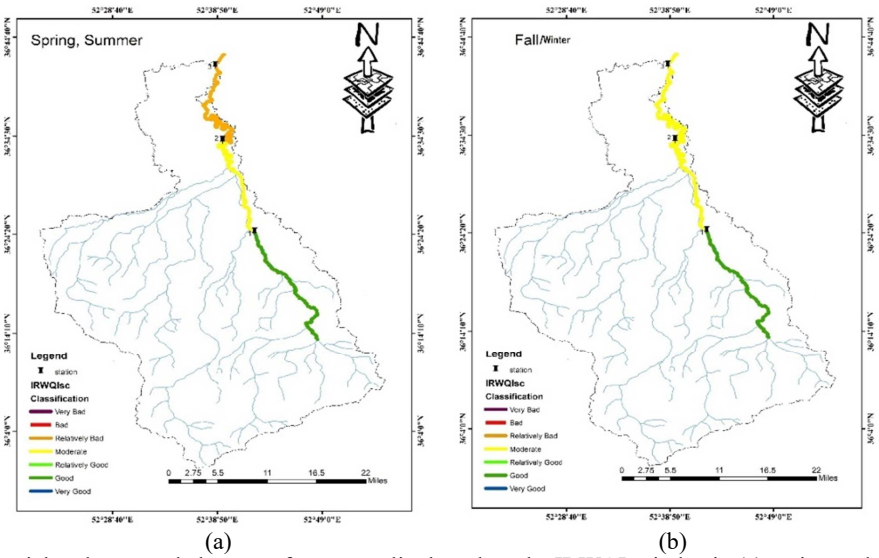
Parameter	Unit	Statistical characteristics	Station 1	Station 2	Station 3	Values
pH	-	Domain	7.19 - 8.36	7.82 - 8.38	7.7 - 8.45	7.19 - 8.45
		Average	8.135	8.075	8.1275	8.1125
EC	(µs/cm)	Domain	193 - 336	790 - 958	910 - 11720	193 - 11720
		Average	273.5	845.5	4351.25	1823.4
Turbidity	(NTU)	Domain	2.0 - 9.0	11.0 - 55.0	14.0 - 35.0	2.0 - 55.0
		Average	5.5	26.75	25.25	19.17
BOD5	(Mg/L)	Domain	1.0 - 5.0	2.0 - 10.0	3.0 - 12.0	1.0 - 12.0
		Average	2.75	4.625	8	5.125
NO3	(Mg/L)	Domain	0.01 - 6.26	0.08 - 8.88	0.50 - 6.01	0.01 - 8.88
		Average	2.81	3.6825	3.205	3.2325
PO4	(Mg/L)	Domain	0.05 - 0.63	0.27 - 0.59	0.03 - 0.43	0.03 - 0.63
		Average	0.275	0.3725	0.2675	0.305
COD	(Mg/L)	Domain	1.0 - 12.0	4.0 - 20.0	2.0 - 24.0	1.0 - 24.0
		Average	5.5	9.75	15	10.08
DO	(Mg/L)	Domain	6.2 - 7.9	5.0 - 7.2	6.7 - 7.7	5.0 - 7.9
		Average	6.825	5.875	7.075	6.6
Temp	C	Domain	13.0 - 25.0	14.0 - 26.0	14.0 - 26.0	13.0 - 26.0
		Average	19.25	20.25	20.5	19.833
NH4	(Mg/L)	Domain	0.03 - 0.49	0 - 0.35	0 - 0.67	0 - 0.67
		Average	0.23	0.1525	0.3325	0.23833
Fecal Coliforms	No/100ML	Domain	20 - 46	1100	460 - 1100	20 - 1100
		Average	34	1100	940	691.33

دمای آب رودخانه در بازه ۱۳ تا ۲۶ درجه سانتی‌گراد در طول سال، سردترین در ایستگاه یک و فصل زمستان و گرم‌ترین در ایستگاه‌های شماره (۲) و (۳) در فصل تابستان ثبت گردید. هدایت الکتریکی (EC) آب با غلظت مواد جامد در آب ارتباط مستقیم دارد. هم‌چنین ورود آلاینده‌ها می‌توانند موجب ایجاد مقادیر بالای EC در آب‌های سطحی شوند (Şener *et al*., 2017). کم‌ترین میزان EC در ایستگاه یک و بیش‌ترین میزان آن در فصل تابستان و ایستگاه شماره (۳) می‌باشد که می‌تواند ناشی از افزایش مسافرها به مناطق شمالی و استفاده از رودخانه و دریا باشد. هم‌چنین به‌طورکلی این میزان بالا می‌تواند ناشی از افزایش یون‌های موجود در آب به‌دلیل پسماندها و فاضلاب کارخانه‌ها و یا زمین‌های زراعی باشد. میزان اکسیژن حل‌شده در

آب رودخانه (DO) تعیین‌کننده نوع فعالیت‌های بیولوژیکی میکرو ارگانیزم‌ها، هوازی و یا غیر هوازی‌بودن و هم‌چنین بر روی عملیات تصفیه فاضلاب‌های صنعتی و شهری و تخلیه پساب آن‌ها، شناسایی مناطق مرده، تأسیسات آبزی‌پروری و یا حیات آبزیانی که به‌طور طبیعی در اکوسیستم رودخانه هستند، تأثیرگذار می‌باشد. میزان بهینه اکسیژن محلول برای قرارگیری کیفیت آب در شرایط خوب ۴ تا ۶ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد که زندگی سالم آبزیان را در رودخانه تضمین می‌کند. میزان DO اندازه‌گیری‌شده در کل در بازه مناسب قرار دارد و افت نسبی مشاهده‌شده در ایستگاه دو را می‌توان ناشی از آلودگی‌های متفاوت در اثر عبور رود از حاشیه شهر دانست. کدورت نمونه‌ها در حدود دو تا ۵۵ (NTU) می‌باشد و با توجه به این‌که حد مجاز کدورت ۲۵ (NTU) می‌باشد، می‌تواند مشاهده کرد که در فصول خشک میزان کدورت در پایین‌دست به‌شدت بالا رفته که اثرگذاری بارش را می‌رساند. میزان بالای COD در فصول تر گویای جاری‌شدن بیش‌تر رواناب‌های کشاورزی ناشی از بارش‌های متعدد به داخل رودخانه می‌باشد. مقادیر بیش‌ازحد COD مشاهده‌شده می‌تواند ناشی از استفاده از کودها و آفت‌کش‌ها در اثر فعالیت‌های کشاورزی و یا تخلیه فاضلاب‌ها باشد. میزان COD اندازه‌گیری‌شده بین یک تا ۲۴ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد که در بازه بزرگی قرار دارد و وخامت در ایستگاه سه به بیش‌ترین حالت می‌رسد. تغییرات میزان COD با توجه به عبور از مناطق کشاورزی و شهری و اثر میزان بارش در منطقه کاملاً مشهود می‌باشد در جدول‌های (۸) و (۹) و شکل‌های (۲) و (۳) به‌ترتیب تغییرات مکانی و زمانی کیفیت آب محاسبه‌شده براساس شاخص‌های IRWQIsc و NSFWQI نشان می‌دهد.

Table 8. IRWQIsc values and station's classification

Season	Station	IRWQISCsc	IRWQISCsc's standards	Descriptive class
Spring	St1	73.4	70.1-85	Good
	St2	50.7	45-55	Medium
	St3	44.8	30-44.9	Relatively bad
Summer	St1	78.9	70.1-85	Good
	St2	50	45-55	Medium
	St3	43.3	30-44.9	Relatively bad
Autumn	St1	70.4	70.1-85	Good
	St2	49.2	45-55	Medium
	St3	51.8	45-55	Medium
Winter	St1	81.3	55-70.1	Relatively good
	St2	45.3	45-55	Medium
	St3	47.2	45-55	Medium

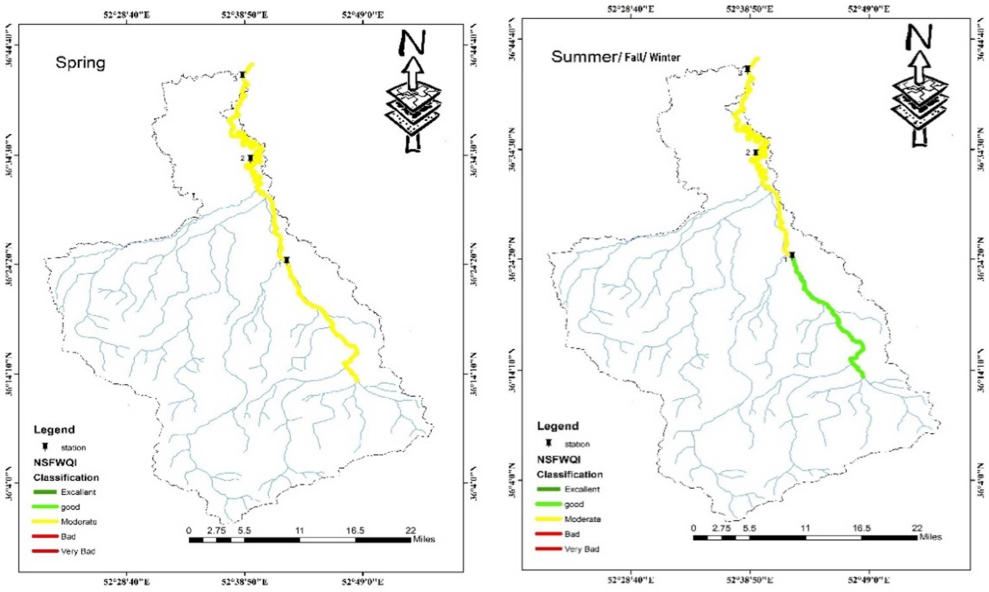


(a) (b)

Figure 2. Spatial and temporal changes of water quality based on the IRWQIsc index in (a) spring and summer and (b) in autumn and winter

Table 9. NSFWQI values and station's classification

Season	Station	NSFWQI	NSFWQI's standards	Descriptive class
Spring	St1	69	50-70	Medium
	St2	59	50-70	Medium
	St3	62	50-70	Medium
Summer	St1	73	70-90	Good
	St2	64	50-70	Medium
	St3	61	50-70	Medium
Autumn	St1	74	70-90	Good
	St2	57	50-70	Medium
	St3	63	50-70	Medium
Winter	St1	74	70-90	Good
	St2	65	50-70	Medium
	St3	64	50-70	Medium



(a) (b)

Figure 3. Spatial and temporal changes of water quality based on the NSFWQI index in (a) Spring (b) in summer, autumn, winter

نتایج حاصل از بررسی شاخص CCME برای هر ایستگاه در طول رودخانه در جدول‌های (۱۰)، (۱۱) و (۱۲) ارائه شده است.

Table 10. Yearly CCME index for Station 1

Data Summary	Overall	Drinking	Aquatic	Recreation	Livestock
CWQI	38	33	51	100	66
Categorization	Poor	Poor	Marginal	Excellent	Fair
F1 (Scope)	60	67	50	0	50
F2 (Frequency)	45	50	38	0	25
F3 (Amplitude)	76	82	57	0	19

Table 11. Yearly CCME index for Station 2

Data Summary	Overall	Drinking	Aquatic	Recreation	Livestock
CWQI	31	29	57	100	70
Categorization	Poor	Poor	Marginal	Excellent	Fair
F1 (Scope)	60	67	50	0	50
F2 (Frequency)	45	42	50	0	12
F3 (Amplitude)	93	96	25	0	5

Table 12. Yearly CCME index for Station 3

Data Summary	Overall	Drinking	Aquatic	Recreation	Livestock
CWQI	31	29	58	100	70
Categorization	Poor	Poor	Marginal	Excellent	Fair
F1 (Scope)	60	67	50	0	50
F2 (Frequency)	45	42	50	0	12
F3 (Amplitude)	93	95	15	0	2

۴. نتیجه‌گیری

بررسی وضعیت کیفی و دلایل آلودگی رودخانه بابلرود، با توجه به عبور از مراتع کشاورزی، شهرک صنعتی، مناطق شهری و روستایی و مراکز تفریحی از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. در این پژوهش با استفاده از سه شاخص IRWQISC، NAFWQI و CCME ارزیابی تغییرات مکانی و زمانی کیفیت آب رودخانه بابلرود انجام شد. استفاده از این سه شاخص یک رویکرد جامع برای ارزیابی و مدیریت کیفیت آب فراهم می‌کنند تا امکان درک بهتر سلامت و پایداری منابع آب را در اختیار ما قرار دهند. با توجه به نتایج شاخص کیفیت آب کانادا نسبت به دو شاخص دیگر سخت‌گیرانه‌تر عمل می‌کند، کیفیت آب رودخانه براساس شاخص کیفیت آب کانادا از ایستگاه شماره (۱) تا ایستگاه شماره (۳) رو به کاهش است و که علت آن تعدد مراتع کشاورزی و ورود پساب‌های آن به‌ویژه در فصول تر به‌ویژه در مناطق پایین‌دست می‌باشد. منطقه موردمطالعه دارای ماهیت تفریحی در شمال کشور است. بنابراین با توجه به شکل‌های ۲ و ۳ می‌توان بیان کرد که در فصل تابستان و با افزایش مسافرت‌های فصلی، افزایش تنش بر آب سطحی با افزایش بار آلاینده‌ها و مدیریت نامناسب پسماندهای سرریزشده در بستر رودخانه، کیفیت آب رودخانه کاهش محسوسی را تجربه می‌کند. از دیگر عواملی که بسیار در ایران و به‌ویژه مناطق شمالی کشور دیده می‌شود، تغییرات کاربری زمین، جنگل‌زدایی و ساخت‌وساز، می‌باشد که منجر به فرسایش خاک و افزایش رسوب در رودخانه‌ها می‌شود و بر کیفیت آب و اکوسیستم‌های آبی تأثیر می‌گذارند. به‌طورکلی، نتایج حاصل از سه شاخص محاسبه‌شده نشان داد کیفیت آب رودخانه در شرایط متوسط قرار دارد که این رده کیفی چالش‌های زیادی در سال‌های اخیر به‌وجود آورده است که برای مقابله با چالش‌های مدیریت کیفیت آب، نیاز به کنترل و کاهش آلودگی در منابع آبی، مدیریت پساب‌ها، اصلاح الگوی مصرف آب و بهره‌برداری از آن، ترویج فرهنگ استفاده بهینه از منابع آبی و ایجاد زیرساخت‌های لازم را می‌توان نام برد. دولت باید سیاست‌ها و قوانین مربوط به حفاظت از منابع آبی و کنترل آلودگی را تدوین و اجرا کند، هم‌چنین باید منابع مالی لازم را برای انجام این اقدامات فراهم کند. از طرف دیگر، صنعت (کشاورزی) باید در تولید و استفاده از مواد و محصولات خود از استانداردهای محیط‌زیستی پیروی کند و با کاهش آلاینده‌های خود در راستای اصول توسعه پایدار حرکت کند.

۵. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافعی بین نویسندگان وجود ندارد.

۶. منابع

Aghaee, M. A., Heshmatpour, M., Mahmoodlu, G., & Seyedian, S. M. (2020). Investigation of Water Quality of Chehelchay River Using IRWQIsc Index. *Journal of Environmental Science and Technology*, 22(5), 153-66.

Al-Saboonchi, A., Mohamed, A. R. M., Alobaidy, A. H. M. J., Abid, H. S., & Maulood, B. K. (2011). On the current and restoration conditions of the southern Iraqi marshes: Application of the CCME WQI on East Hammar Marsh. *Journal of Environmental Protection*, *2*(03), 316.

Alexakis, D. E. (2022). Applying Factor Analysis and the CCME Water Quality Index for Assessing Groundwater Quality of an Aegean Island (Rhodes, Greece). *Geosciences*, *12*(10), 384.

de Almeida, G. S., & de Oliveira, I. B. (2018). Application of the index WQI-CCME with data aggregation per monitoring campaign and per section of the river: case study—Joanes River, Brazil. *Environmental monitoring and assessment*, *190*(4), 195.

Farhan, A. F., Al-Ahmady, K. K., & Al-Masry, N. A. A. (2020, February). Assessment of Tigris River water quality in Mosul for drinking and domestic use by applying CCME water quality index. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 737, No. 1, p. 012204). IOP Publishing.

Fathi, P., Ebrahimi, E., Mirghafari, N., & Esmaeili, A. (2016). The study spatial and temporal changes of water quality in Choghakhor wetland using water quality index (WQI). *Journal of Aquatic Ecology*, *5*(3), 41-50.

Goutam, S. P., Saxena, G., Roy, D., Yadav, A. K., & Bharagava, R. N. (2020). Green synthesis of nanoparticles and their applications in water and wastewater treatment. *Bioremediation of Industrial Waste for Environmental Safety: Volume I: Industrial Waste and Its Management*, 349-379.

Hamadan, IRAN. (2016). Water Quality of Aghlaghan River Based on NSFWQI Index and Zoning It by Geographic Information System (GIS). *Journal of Occupational and Environmental Health*, 1(1), 68-78.

Ismail, A. H., Robescu, D., & Hameed, M. A. (2018). Application of CCME WQI in the assessment of the water quality of Danube River, Romania. *Engineering and Technology Journal*, *36*(2 Part C), 142-146.

Javid, A., Yaghmaeian, K., Abbasi, E., & Roudbari, A. (2014). An evaluation of water quality from Mojen River, by NSFWQI index. *Journal of ecological engineering*, *15*(4), 1-6.

Karunanidhi, D., Aravinthasamy, P., Subramani, T., & Muthusankar, G. (2021). Revealing drinking water quality issues and possible health risks based on water quality index (WQI) method in the Shanmuganadhi River basin of South India. *Environmental Geochemistry and Health*, *43*, 931-948.

Khalili, R., Parvinnia, M., & Motaghi, H. (2020). Evaluation of Bashar River water quality using CCME water quality index. *Journal of Environmental Science Studies*, *5*(3), 2807-2814.

Kkhalili, R., Parvinnia, M., & Zali, A. (2020). Water quality assessment of Garmarood River using the national sanitation foundation water quality index (NSFWQI), river pollution index (RPI) and weighted arithmetic water quality index (WAWQI). *Environment and Water Engineering*, *6*(3), 274-284.

Khalili, R., Sabzehmeidani, M. M., Parvinnia, M., & Ghaedi, M. (2022). Removal of hexavalent chromium ions and mixture dyes by electrospun PAN/graphene oxide nanofiber decorated with bimetallic nickel–iron LDH. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, *18*, 100750.

Khan, A. A., Tobin, A., Paterson, R., Khan, H., & Warren, R. (2005). Application of CCME procedures for deriving site-specific water quality guidelines for the CCME Water Quality Index. *Water Quality Research Journal*, *40*(4), 448-456.

Mardani, R., Montaseri, H., Fazeli, M., & Khalili, R. (2022). Spatio-temporal variation of meteorological drought and its relation with temperature and vegetation condition indices using remote sensing and satellite imagery in Marvdasht city. *Water and Soil Management and Modelling*. (In Persian).

Matta, G., Nayak, A., Kumar, A., & Kumar, P. (2020). Water quality assessment using NSFWQI, OIP and multivariate techniques of Ganga River system, Uttarakhand, India. *Applied Water Science*, *10*, 1-12.

Mirzaei, M., Solgi, E., & Salman-Mahiny, A. (2016). Evaluation of surface water quality by NSFWQI index and pollution risk assessment, using WRASTIC index in 2015. *Archives of Hygiene Sciences*, *5*(4), 264-277.

Panagopoulos, Y., Alexakis, D. E., Skoulikidis, N. T., Laschou, S., Papadopoulos, A., & Dimitriou, E. (2022). Implementing the CCME Water Quality Index for the Evaluation of the Physicochemical Quality of Greek Rivers. *Water*, *14*(17), 2738.

Şener, Ş., Şener, E., & Davraz, A. (2017). Evaluation of water quality using water quality index (WQI) method and GIS in Aksu River (SW-Turkey). *Science of the Total Environment*, *584*, 131-144.

Singh, S. K., & Noori, A. R. (2022). Groundwater quality assessment and modeling utilizing water quality index and GIS in Kabul Basin, Afghanistan. *Environmental Monitoring and Assessment*, *194*(10), 673.

Wan Abdul Ghani, W. M. H., Abas Kutty, A., Mahazar, M. A., Al-Shami, S. A., & Ab Hamid, S. (2018). Performance of biotic indices in comparison to chemical-based Water Quality Index (WQI) in evaluating the water quality of urban river. *Environmental monitoring and assessment*, *190*, 1-14.

Yulistia, E., Fauziyah, F., & Hermansyah, H. (2018). Assessment of Ogan River Water Quality Kabupaten OKU South Sumatera by NSFWQI Method. *IJFAC (Indonesian Journal of Fundamental and Applied Chemistry)*, *3*(2), 54-58.