

Assessment of the Water Quality of Tajan River (Sari) Using NSFQI and IRWQISC Quality Indices

Niusha Ketabi

Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

Mojtaba Dadkhah

Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

Ali Moridi

* Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. (Corresponding Author) a_moridi@sbu.ac.ir

Reza Khalili

Department of Water, Wastewater and Environmental Engineering, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

Received: 2023/08/19

Accepted: 2023/12/26

Doi: 10.22038/jreh.2024.24339

Abstract

Background and Purpose: Surface water pollution has been recognized as a severe threat to human health and the environment in recent decades, underscoring the importance of investigating water quality conditions.

Materials and Methods: This study aims to assess the water quality of the Tajan River employing the National Sanitation Foundation Water Quality Index (NSFWQI) and the Iranian Surface Water Quality Index (IRWQI-SC). Twelve water quality parameters, including pH, Total Suspended Solids (TSS), Electrical Conductivity (EC), Turbidity (NTU), Nitrate, Phosphate, Ammonia, Chemical Oxygen Demand (COD), Biochemical Oxygen Demand (BOD), Dissolved Oxygen (DO), Water Temperature, and Total Coliforms, were measured at three stations across four distinct seasons.

Results: According to the IRWQI-SC index, the poorest water quality was observed at the downstream station during the winter season, registering a value of 38, while the highest index value occurred at the upstream station during the spring season, reaching 84.6. Additionally, based on the NSFQI index, the upstream station during the spring season displayed the most favorable water quality with an index value of 80.7, whereas the lowest water quality condition was noted at the downstream station in the winter season, with a value of 46.9. Both water quality indices categorized the upstream station as exhibiting good water quality suitable for various purposes. Nevertheless, water quality degradation was evident along the river course owing to the influx of agricultural and sewage effluents, with more pronounced alterations observed during winter.

Conclusion: The water quality of the Tajan River has undergone significant changes due to the influx of agricultural effluents and sewage, posing a threat to human health and environmental well-being. Addressing this issue necessitates effective wastewater management and the preservation of the Tajan River as a vital freshwater resource.

Keywords: Tajan River, Water Quality Index, NSFQI, IRWQISC

Open Access Policy: This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. To view a copy of this licence, visit <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Citation: Ketabi N, Dadkhah M, Moridi A, Khalili R. Assessment of the Water Quality of Tajan River (Sari) Using NSFQI and IRWQISC Quality Indices *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. Spring 2024; 10(1):96-110.

ارزیابی کیفیت آبرودخانه تجن (ساری) با استفاده از شاخص‌های کیفی NSFQI و IRWQISC

چکیده

زمینه و هدف: آلودگی آب‌سطحی در دهه‌های اخیر به‌عنوان یک تهدید جدی برای انسان و محیط‌زیست تلقی می‌شود، به همین دلیل بررسی شرایط کیفیت آب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

مواد و روش‌ها: این پژوهش با هدف ارزیابی کیفیت آبرودخانه تجن با استفاده از شاخص‌های کیفی سازمان بهداشت ملی آمریکا (NSFWQI) و شاخص کیفیت آب سطحی ایران (IRWQISC) انجام گرفته است. در این مطالعه ۱۲ پارامتر کیفی آب شامل pH، مجموع مواد جامد معلق (TSS)، هدایت الکتریکی (EC)، کدورت (NTU)، نیترات، فسفات، آمونیاک، اکسیژن‌خواهی شیمیایی (COD)، اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی (BOD)، اکسیژن محلول (DO)، دمای آب و کلیفرم مدفوعی در چهار فصل مختلف در سه ایستگاه اندازه‌گیری شده است.

یافته‌ها: بر اساس نتایج شاخص IRWQISC، بدترین وضعیت کیفیت آب در ایستگاه پایین‌دست و در فصل زمستان با مقدار ۳۸ و بهترین مقدار شاخص برای ایستگاه بالادست در فصل بهار با مقدار ۸۴/۶ رخ داده است. همچنین بر اساس شاخص NSFQI ایستگاه بالادست در فصل بهار با مقدار شاخص ۸۰/۷ بهترین شرایط کیفی آب را دارد و در مقابل بدترین وضعیت کیفیت آب در ایستگاه پایین‌دست در فصل زمستان با مقدار ۴۶/۹ برآورد شده است. در محاسبه شاخص‌های کیفیت آب در هر دو شاخص کیفیت آب در ایستگاه بالادست خوب تلقی شده و از آن می‌توان در مصارف مختلف استفاده نمود. با پیشروی در طول مسیر رودخانه کیفیت آب با ورود فاضلاب و پساب کشاورزی به رودخانه افت می‌کند. این تغییرات در کیفیت آب در فصل زمستان شدیدتر بوده است.

نتیجه‌گیری: کیفیت آبرودخانه تجن در اثر ورود پساب کشاورزی و فاضلاب به این رودخانه دستخوش تغییرات بسیاری شده است. این موضوع علاوه بر آسیب به سلامت انسان، محیط‌زیست را نیز دچار آسیب می‌کند. حل این مسئله نیازمند مدیریت صحیح فاضلاب و همچنین حفاظت این رودخانه به‌عنوان یک منبع تامین آب شیرین می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: رودخانه تجن، شاخص کیفیت آب، شاخص NSFQI، شاخص IRWQISC

نیوشا کتابی

دانشجوی کارشناسی‌ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشکده عمران و محیط‌زیست، دانشگاه شهیدبهشتی، تهران، ایران.

مجتبی دادخواه تهرانی

دانشجوی کارشناسی‌ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشکده عمران و محیط‌زیست، دانشگاه شهیدبهشتی، تهران، ایران.

علی مریدی

* استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده عمران و محیط‌زیست، دانشگاه شهیدبهشتی، تهران، ایران. (نویسنده مسئول):

a_moridi@sbu.ac.ir

رضا خلیلی

دانشجوی دکترا، گروه مهندسی عمران، دانشکده عمران و محیط‌زیست، دانشگاه شهیدبهشتی، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۰۵

نوع مقاله: پژوهشی

استناد: کتابی ن، دادخواه تهرانی م، مریدی ع، خلیلی ر. ارزیابی کیفیت آبرودخانه تجن (ساری) با استفاده از شاخص‌های کیفی NSFQI و IRWQISC. فصلنامه‌ی پژوهش در بهداشت محیط. بهار ۱۴۰۳؛ ۱(۱):۹۶-۱۱۰.

منابع آب سالم پیش‌نیاز اصلی و ضروری برای حفظ محیط‌زیست و گسترش و پیشرفت اقتصادی، اجتماعی و سیاسی کشور می‌باشد. رودخانه‌ها به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع سطحی تامین و انتقال آب برای مصارف کشاورزی، صنعتی و شهری به‌حساب می‌آیند. حفظ کیفیت منابع آب در راستای تامین آب شرب، ایجاد اکوسیستم ایمن برای آبیان و حیات‌وحش، سلامت خاک و گیاهان ارتباط مستقیم باکیفیت آب رودخانه‌ها دارد، زیرا آب به‌دلیل قدرت حلالیت بالایی که دارد تمام عناصر موجود در مسیر رودخانه‌ها را در خود حل کرده و تا فواصل دور و غیرقابل‌پیش‌بینی منتقل می‌کند. امروزه در راستای مدیریت موارد ذکر شده از شاخص‌های کنترل کیفی آب استفاده می‌شود که از جمله شاخص‌های کیفی پرکاربرد و ساده در حال حاضر در دنیا، شاخص NSFQI است که به دلیل قابل‌فهم بودن نقش بسیار مهمی در بررسی کیفی آب‌ها ایفا می‌کند (۱). مبنای اصلی این شاخص تنها بر پایه‌ی اندازه‌گیری ۹ پارامتر است. شاخص NSFQI نخستین بار در سال ۱۹۷۰ مطرح شد و استفاده از آن همواره دید مناسبی از وضعیت کیفی آب‌های سطحی و رودخانه‌ها به ما می‌دهد.

میرزایی و همکاران در سال ۲۰۱۶ تحقیقی بر روی کیفیت آب‌های سطحی با استفاده از شاخص NSFQI و ارزیابی خط آلودگی با شاخص WRASTIC انجام دادند که نتایج نشان داد کیفیت آب رودخانه مورد بررسی تنها در ایستگاه ۱ (مورکان) در رده‌ی متوسط بوده و در سایر ایستگاه‌ها در تمام فصول دارای کیفیت بد است (۲).

آقاجان‌لو و همکاران در سال ۱۴۰۰ به بررسی کیفیت رودکارون با استفاده از شاخص NSFQI پرداختند. نتایج حاکی از آن بوده است که شاخص رودخانه در تمامی ماه‌های سال متوسط بوده اما در ماه‌های فروردین، اردیبهشت، آبان و دی ۱۳۹۲ به رده‌ی بد نزول کرده است. همچنین نتایج نشان داد به دلیل سیستم‌های بهداشتی نامناسب، تخلیه

فاضلاب‌های تصفیه‌نشده و حضور کنترل‌نشده دام‌ها در حاشیه رودخانه میزان کلیفرم مدفوعی به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای نسبت به استاندارد سازمان جهانی بهداشت^۱ افزایش دارد (۳). در تحقیقی که توسط شکوهی و همکاران به‌منظور بررسی کیفیت آب دریاچه سد آیدغوش و تعیین میزان غلظت نیترات، نیتریت، فسفات و آمونیاک و تعیین بیان انجام شده است، نتایج حاصل از محاسبه بیان مواد مغذی نشان داد که غلظت نیترات، نیتریت، فسفات و آمونیاک در ورودی بیشتر از خروجی سد است. آب دریاچه سد آیدغوش برای مصارف مختلف مناسب دانسته شد (۴).

گودرزی در یک مطالعه بر روی رودخانه‌ی قره‌چای واقع در استان مرکزی و جمع‌آوری داده‌ها بر اساس شاخص‌های کیفیت IRWQI, NSFQI, OWQI و استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، شش ایستگاه پایش آلودگی شناسایی شد که به دلیل انباشته شدن آلودگی‌ها این ایستگاه‌ها در پایین‌دست قرار دارند. نتایج به‌دست‌آمده به مدیران کمک کرده تا با دقت بیشتر و هزینه‌ی کمتری عملیات پایش رودخانه را انجام دهند (۵).

سیلوا و همکاران در مطالعه‌ای بر منابع آب سطحی و زیرزمینی در حوضه رودخانه دوئرو^۲ در اسپانیا به بررسی کیفیت شیمیایی ۹۷ منبع آبی در فصل خشک پرداخت. در این مطالعه شاخص NSFQI برای ۳۵ سایت آب سطحی استفاده شد. بر اساس این شاخص آب تمامی چشمه‌ها به‌جز چشمه‌ی کاراپان^۳ آلوده و غیرقابل آشامیدن شناسایی شد. به دلیل فعالیت‌های کشاورزی ۷۵ درصد از سایت‌ها آلوده و سایر آن‌ها کمی آلوده معرفی شده‌اند. مقایسه غلظت نیترات طی ۲۰ سال گذشته نشان‌دهنده‌ی افزایش چشم‌گیر مواد مغذی در رودخانه است. نتیجه‌ی نهایی حاکی از آن است که علی‌رغم بیان مثبت، بدتر شدن روزافزون کیفیت آب رودخانه منجر به بهره‌برداری بیش از حد از سفره آب زیرزمینی خواهد شد (۶). یدو و همکاران به بررسی سلامت اکولوژیکی رودخانه کامبال^۴ در هند توسط شاخص‌های NSFQI, CTSI, SDI

³ Carapan

⁴ Chambal

¹ World Health Organization (WHO)

² Duero

پرداختند. نتایج نشان داد که سلامت اکولوژیکی در محدوده ۱-۲ و خوب بوده پس می‌توان از آن برای مصارف آبیاری و پرورش آبزیان و غیره به‌جز مصارف شرب استفاده کرد. سلامت اکولوژیکی فعلی رودخانه نیز باعث جذب تعداد زیادی از پرندگان و آبزیان غیربومی شده است (۷).

دهقانی و همکاران به ارزیابی کیفیت آب رودخانه قهرود کاشان با استفاده از شاخص NSFQI در ۵ ایستگاه مختلف از مهر ۱۳۹۳ تا شهریور ۱۳۹۴ و پهنه‌بندی آن توسط GIS پرداختند. نتایج نشان داد که شاخص در هر ایستگاه در تابستان کمتر از سایر فصول است و همچنین با افزایش فاصله بین منبع رودخانه و ایستگاه آلودگی افزایش می‌یابد. قابل ذکر است که این منطقه در بهار یک تفرجگاه محسوب شده و از اطراف رودخانه به‌عنوان مرتع استفاده می‌شود پس بررسی کیفیت آب در این بازه‌ی زمانی موضوع بسیار مهمی است (۸).

آلفایو و همکاران محققانی هستند که برای اولین بار از شاخص NSFQI برای بررسی کیفیت آب رودخانه Ruvu در تانزانیا استفاده کرده‌اند. شاخص کلی به‌دست‌آمده ۵۳/۲ بود که کیفیت آب رودخانه را در محدوده متوسط قرارداد. همچنین مشخص شد به‌دلیل تخلیه‌ی فاضلاب‌های خانگی و صنعتی تصفیه‌نشده پارامترهای DO, BOD, FC بیشتر از سایر پارامترها تحت تأثیر قرار گرفته‌اند، در نتیجه مدیریت منطقه‌ای و تصفیه‌ی پساب‌های صنعتی و خانگی پیشنهاد شد (۹).

درویشی و همکاران در پژوهشی به بررسی کیفی رودخانه تالار در مازندران در سه ایستگاه بالادست میان‌دست و پایین‌دست در دو دوره فصول مرطوب و فصول خشک با استفاده از سه شاخص مختلف OWQI, NSFQI, Wilcox پرداختند. نتایج در این سه شاخص متفاوت بود. شاخص OWQI نشان داد مقادیر در هر ۳ ایستگاه و هر دو دوره در رده کیفیت خیلی بد قرار گرفته و غیرقابل شرب می‌باشد. بر اساس NSFQI بهترین وضعیت مربوط به ایستگاه بالادست در دوره‌ی مرطوب و بدترین وضعیت مربوط به پایین‌دست در دوره‌ی مرطوب بوده است. همچنین نتایج شاخص Wilcox حاکی از آن بود که کیفیت آب در هر دو دوره از ایستگاه بالادست به پایین‌دست بهتر می‌شود و طبق

طبقه‌بندی کیفیت آب پایین‌دست کیفیت خوبی را نشان داده و برای کشاورزی مناسب است (۱۰).

رودخانه تجن از جمله مناطقی است که به دلایل متعددی و در راستای ضرورت حفظ و تکثیر گونه‌های گیاهی و جانوری در لیست مناطق حفاظت‌شده استان مازندران قرار گرفته است. فاضلاب برخی مناطق تفریحی از این شهرستان و برخی مناطق روستایی بالادست و پایین‌دست بدون هیچ‌گونه تصفیه‌ای به درون رودخانه ریخته و به‌صورت مستقیم یا غیرمستقیم کیفیت آب این رودخانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از دیگر عوامل آلاینده حاضر در حومه‌ی رودخانه تجن بزرگراه ۷۰ آسیا بوده که در همسایگی رودخانه قرار گرفته و همچنین جاده‌ی سیاهکل رود مازندران می‌باشد که از روی رودخانه عبور کرده است. عبور و مرور تعداد زیادی از مسافران و وسایل نقلیه‌ی سنگین از این نواحی و بعضاً تخلیه‌ی عمدی یا غیرعمدی زباله‌ها و تولید شیرابه، تهدیدی جدی برای سلامت و کیفیت این منبع آب سطحی می‌باشد. لذا در این تحقیق، کیفیت آب رودخانه تجن با استفاده از شاخص‌های (NSF)WQI و (IR)WQIsc بررسی شده است و منابع آلاینده‌ی احتمالی نیز مشخص گردیده تا در مطالعات آینده یا توسط ارگان‌های اجرایی مورد استفاده قرار گیرد.

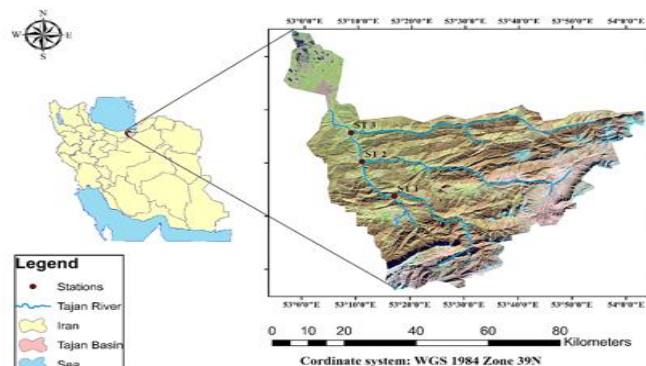
روش کار

موقعیت منطقه مورد مطالعه

این مطالعه در منطقه حفاظت‌شده رودخانه تجن، واقع در استان مازندران انجام شد. این رودخانه که از رودخانه‌های دائمی است، از شمال به دریای خزر، از شرق به حوزه رودخانه دارابکلا و نکاءرود، از جنوب به استان سمنان و از غرب به حوزه سیاه‌رود و رودخانه تالار محدود است. طول شاخه اصلی رودخانه ۱۷۲ کیلومتر است و سه شاخه اصلی آن دودانگه، چهاردانگه و ظالم‌رود نام دارند که سد مخزنی شهید رجایی (سلیمان‌تنگه) و سد خاکی فریم بر روی شاخه دودانگه احداث شده‌اند. این رودخانه در مسیر خود جمعا از ۲۸ روستا و همچنین شهر ساری عبور می‌کند که یکی از روستاها گرماب بوده و به همین دلیل این رودخانه در زبان محلی گرماب نیز نامیده می‌شود. قابل توجه است که بخشی از آب رودخانه به مصرف کشاورزان رسیده و عمدتاً فاضلاب‌های متصل به آن به دریا می‌ریزد. رژیم این رودخانه برفی-بارانی بوده و میزان

میان دست و پایین دست، در یک سال آبی به صورت فصلی انجام شد. نقاط نمونه برداری در شکل ۱ و جدول ۱ نشان داده شده است.

آبدهی سالیانه آن ۴/۲۰۷ میلیون مترمکعب و دبی متوسط آن ۲۰ مترمکعب در ثانیه می باشد. در این مطالعه، پس از تهیه نقشه محدوده مطالعاتی (شکل ۱) با استفاده از نرم افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی^۱ جهت ارزیابی کیفیت آب- رودخانه تجن نمونه برداری از سه ایستگاه ثابت در بالادست،



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه و موقعیت منطقه نمونه برداری

جدول ۱. موقعیت مکانی منطقه نمونه برداری

ایستگاه	طول جغرافیایی (درجه-دقیقه-ثانیه)	عرض جغرافیایی (درجه-دقیقه-ثانیه)	ارتفاع (متر)
۱	۳۶-۱۵-۲۶	۵۳-۱۳-۳۷	۶۴۲
۲	۳۶-۲۷-۳۲	۵۳-۰۷-۳۴	۱۷۴
۳	۳۶-۳۶-۴۶	۵۳-۰۵-۲۵	۱۰

تعیین پارامترهای فیزیکی و شیمیایی

و DO در محل اندازه گیری شده که به ترتیب از ترمومتر، pH متر و DO متر برای این کار استفاده شد. کل مواد جامد^۲ به روش گراویمتریک در دمای ۱۰۵ تا ۱۱۰ درجه سانتی گراد به دست می آید. غلظت نیترات و فسفات کل با اسپکتروفوتومتر تعیین می گردد همچنین کدورت نیز با استفاده از روش نفلومتری با کدورت سنج قابل اندازه گیری می باشد. دبی رودخانه نیز با استفاده از جریان سنج اندازه گیری و مقدار کلیفرم مدفوعی (FC) با استفاده از فیلتر غشایی، برحسب کلنی در ۱۰۰ میلی لیتر در آزمایشگاه محاسبه می گردد. پارامتر هدایت الکتریکی در محل توسط EC متر و در نهایت BOD₅ نیز به وسیله BOD متر در آزمایشگاه

نمونه برداری از آب رودخانه تجن از عمق ۲۰ سانتی متر در سه ایستگاه ذکر شده در چهار فصل مختلف توسط بطری های نانس انجام شد و نمونه ها در مجاورت یخ و دمای زیر ۴ درجه سانتی گراد و در کمتر از ۲۴ ساعت به آزمایشگاه منتقل شدند تا آزمایشات مورد نظر مطابق با روش های کتاب متد استاندارد ۲۰۰۵ صورت بگیرند. در هر فصل از هر ایستگاه یک نمونه به حجم یک لیتر برداشته شد. با استفاده از نمونه های اندازه گیری شده و وزن اختصاص داده شده به هر پارامتر بر اساس روش های NSFQI و IRWQI_{sc} شاخص کیفی محاسبه شد. وزن های پارامترهای مختلف مربوط به هر روش در جداول ۲ و ۳ آورده شده اند. هر کدام از پارامترهای دما، pH

² Total Dissolved Solids (TDS)

¹ Geographic Information Systems (GIS)

اندازه‌گیری شده است. برای برخی پارامترهای مورد اندازه‌گیری در محل از مولتی پارامتر HACH استفاده شد.

جدول ۲. وزن اختصاص داده‌شده به هر یک از پارامترها بر اساس شاخص NSFQI

پارامتر	وزن	واحد اندازه‌گیری برای محاسبه در شاخص NSF
کلیفرم مدفوعی (FC)	۰/۱۶	Colonies/100 ml
جامدات کل (Solids Total)	۰/۰۷۵	ppm
اکسیژن محلول (DO)	۰/۱۷	% sat
pH	۰/۱۱	-
کدورت (Turbidity)	۰/۰۷۵	NTU
BOD ₅	۰/۱۱	ppm
نیترات (Nitrate)	۰/۱	ppm
فسفات کل	۰/۱	ppm
دما	۰/۱	c

جدول ۳. وزن اختصاص داده‌شده به هر یک از پارامترها بر اساس شاخص IRWQISC

پارامتر	وزن	واحد اندازه‌گیری برای محاسبه در شاخص IRWQISC
کلیفرم مدفوعی	۰/۱۴۰	MPN/100 ml
BOD ₅	۰/۱۱۷	میلی گرم بر لیتر
نیترات	۰/۱۰۸	میلی گرم بر لیتر
اکسیژن محلول	۰/۰۹۷	درصد اشباع
هدایت الکتریکی	۰/۰۹۶	میکروزیمنس بر سانتی‌متر
COD	۰/۰۹۳	میلی گرم بر لیتر
آمونیم	۰/۰۹۰	مجموع آمونیم
فسفات	۰/۰۸۷	میلی گرم بر لیتر
کدورت	۰/۰۶۲	NTU
سختی کل	۰/۰۵۹	میلی گرم بر لیتر کربنات کلسیم
pH	۰/۰۵۱	واحد استاندارد

محاسبه شاخص کیفی IRWQISC

شاخص IRWQISC که تلفیقی از شاخص‌های NSFQI و BCEQI می‌باشد، متناسب شرایط طبیعی و مشکلات آب-های سطحی ایران توسط هاشمی و همکاران و نظرات

کارشناسی حفاظت محیط‌زیست ایران در سال ۱۳۹۱ طراحی و استفاده شده که محاسبه مقدار شاخص با استفاده از معادله زیر صورت می‌گیرد:

$$IRWQI_{ISC} = [\prod_{i=1}^n I_i^{W_i}]^{1/\gamma} \quad (1)$$

که در آن:

$$\gamma = \sum_{i=1}^n W_i \quad (2)$$

W_i : وزن پارامتر i ام، n : تعداد پارامترها، I_i : مقدار شاخص برای پارامتر i ام از منحنی رتبه‌بندی

منابع آب حتی اگر تعداد پارامترهای اندازه‌گیری شده کمتر از ۱۱ پارامتر موجود در جدول ۳ باشد این رابطه قابل استفاده است و نیازی به تصحیح نخواهد داشت اما برای دستیابی به نتایج مناسب بهتر است حداقل از ۶ متغیر استفاده شود. نهایتاً بر اساس **جدول ۴** کیفیت آب از عالی تا بد طبقه‌بندی می‌شود که برای تهیه نقشه پهنه‌بندی آلودگی برای هر کیفیت یک‌رنگ معادل نیز تعریف شد.

ابتدا رتبه شاخص هر پارامتر بر اساس مقدار کیفی آن بین ۱ تا ۱۰۰ طبق منحنی‌های مربوط به معادله، رتبه‌بندی می‌شوند (رتبه ۱۰۰ برای کیفیت عالی، رتبه ۱ برای بدترین کیفیت) سپس از میانگین هندسی رتبه پارامترها بر اساس وزنی که به هریک از آن‌ها تعلق می‌گیرد (**جدول ۳**) شاخص کیفیت آب محاسبه می‌شود (۱۱). طبق دستورالعمل محاسبه کیفیت

جدول ۴. طبقه‌بندی کیفیت آب بر اساس شاخص $IRWQI_{ISC}$

معدل توصیفی	محدوده شاخص
خیلی بد	کمتر از ۱۵
بد	۱۵-۹/۲۹
نسبتاً بد	۳۰-۴۴/۹
متوسط	۴۵-۵۵
نسبتاً خوب	۵۵/۱-۷۰
خوب	۷۰/۱-۸۵
بسیار خوب	بیشتر از ۸۵

یک وزن نسبت داده شد. پس از اندازه‌گیری نه پارامتر موردنظر ابتدا باید با استفاده از گراف‌های زیر شاخص هر پارامتر، مقدار زیرشاخه‌ها (q_i) محاسبه شود و نهایتاً با استفاده از رابطه ۲ شاخص کیفیت آب مشخص شود. قابل ذکر است که به‌منظور دقت بیشتر و همچنین سرعت بالاتر انجام محاسبات در این پژوهش از نرم‌افزار آنلاین $NSFWQI$ Calculator استفاده شد.

محاسبه شاخص کیفی $NSFWQI$

در این مطالعه از شاخص $NSFWQI$ نیز برای پهنه‌بندی کیفی رودخانه تچن استفاده شد و برای تهیه نقشه پهنه‌بندی آلودگی به هر معادل توصیفی رنگی تعلق گرفته است (**جدول ۵**). در ایجاد این شاخص هم برای منظورکردن میزان تاثیر هر پارامتر و یا زیر شاخص مربوط به آن، به هریک از پارامترها

$$NSFWQI = \sum_{i=1}^n W_i q_i \quad (2)$$

که در آن: W_i : فاکتور وزنی هر پارامتر (۰-۱)، q_i : زیر شاخص هر پارامتر (۰ تا ۱۰۰)، n : تعداد پارامترها

جدول ۵. طبقه‌بندی کیفیت آب بر اساس میزان شاخص NSFQI

محدوده شاخص	کیفیت آب	کلاس‌بندی نوع استفاده از منبع آبی
۰-۲۵	خیلی بد	برای هیچ‌کدام از استفاده‌های مذکور مناسب نمی‌باشد و تنها توانایی حمایت تعداد محدودی از اشکال آبیان وجود دارد.
۲۵-۵۰	بد	مناسب برای آبیاری اراضی کشاورزی.
۵۰-۷۰	متوسط	در صورت استفاده از آن جهت تأمین آب شرب نیازمند تصفیه پیشرفته است، مناسب برای پرورش شیلات و گونه‌های مقاوم آبی، مناسب به‌عنوان آب شرب حیوانات اهلی.
۷۰-۹۰	خوب	در صورت استفاده از آن جهت تأمین آب شرب نیازمند تصفیه متداول است، مناسب برای پرورش ماهی و گونه‌های حساس آبی، مناسب برای مقاصد تفریحی مثل شنا.
۹۰-۱۰۰	عالی	دارای حالت طبیعی، در صورت استفاده از آن جهت تأمین آب شرب نیاز به تصفیه ندارد. مناسب برای پرورش شیلات و گونه‌های حساس.

تحلیل آماری

شاخص‌ها نمایش داده می‌شود. روش تحلیل آماری استفاده شده در این بخش بررسی میزان همبستگی^۱ بین هر یک از پارامترها و شاخص موردنظر است. میزان همبستگی از طریق رابطه‌ی زیر قابل محاسبه می‌باشد:

در این بخش، به بررسی رابطه‌ی پارامترهای کیفی آب و شاخص‌های IRWQI و NSFQI می‌پردازیم. بر این اساس تاثیر مثبت و منفی هر یک از پارامترها در نتیجه نهایی

$$Cov = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \quad (4)$$

$$std = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (5)$$

$$\text{Correlation Coefficient} = \frac{Cov(x,y)}{std_x \times std_y} \quad (6)$$

پارامتر افزایش یابد، میزان شاخص موردنظر کاهش می‌یابد. مشخصاً هرچه این ضریب به ۱ نزدیک‌تر باشد رابطه مستقیم برقرار است. مدل‌سازی نهایی و نمودارهای خروجی توسط Python به‌دست آمده است.

یافته‌ها

کیفیت رودخانه بر اساس شاخص‌های NSFQI و IRWQI_{SC} مورد بررسی قرار گرفته که هرکدام از آن‌ها بر

در روابط بالا Cov به معنی کوواریانس هر پارامتر و شاخص موردنظر است. همچنین std، انحراف معیار هر یک از پارامترها می‌باشد و در نهایت، ضریب همبستگی از طریق رابطه (۶) محاسبه شد.

این ضریب مقادیر بازه‌ی (۱، -۱) را در برمی‌گیرد، که هرچه این ضریب به -۱ نزدیک‌تر باشد رابطه‌ی بین پارامتر و شاخص‌ها خطی و عکس است. به این معنی که هرچه میزان

¹ Pearson Correlation Coefficient

شاخص‌ها در هر ایستگاه در جدول ۶ آورده شده است و وضعیت کیفی رودخانه توصیف شده است.

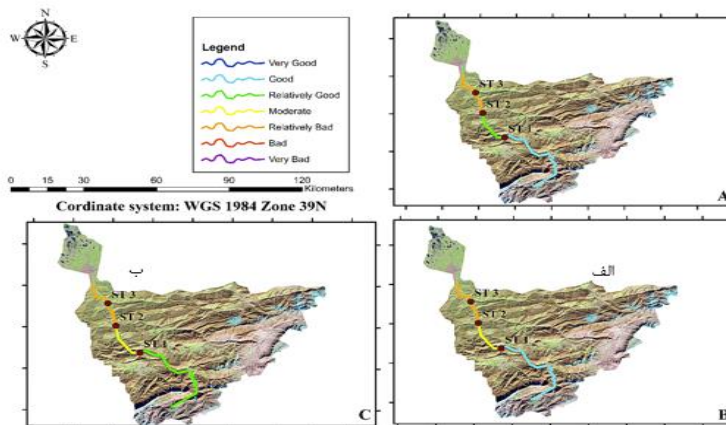
اساس پارامترهای مربوطه و وزن دهی شاخص‌ها، کیفیت آب را تعیین کرده‌اند. در مواردی در صورت نبود پارامتر مقدار آن پارامتر در فرمول شاخص‌ها استفاده نشده است. مقادیر

جدول ۶. شاخص‌های کنترل کیفیت آب و وضعیت کیفیت آب در هر ایستگاه

شاخص	ایستگاه	فصل		
		بهار	تابستان	پاییز
IRWQI _{sc}	۱	۸۴/۶	۷۲/۹	۷۹/۳
	۲	۶۸/۶	۵۵/۴	۵۱/۸
	۳	۴۲/۶	۴۴/۵	۳۵/۵
NSFWQI	۱	۸۰/۷	۷۴/۴	۷۳/۵
	۲	۷۴/۸	۶۵/۳	۶۵/۰
	۳	۶۱/۷	۵۷/۱	۵۶/۴

در مورد ایستگاه میان‌دست کیفیت آب در فصل‌های بهار و تابستان بهتر از دو فصل دیگر است. آب برف ذوب‌شده که در فصل‌های گرم سال وارد رودخانه می‌شود از کیفیت بهتری نسبت به آب حاصل از بارش، برخوردار است. بارش، مواد محلول و معلق زیادی را با خود همراه و وارد رودخانه می‌کند ولی آب برف به‌آرامی وارد رودخانه شده و ناخالصی کمتری دارد. این اتفاق می‌تواند کیفیت بالاتر آب در فصل‌های گرم سال (بهار و تابستان)، در ایستگاه میان‌دست را توجیه کند. بالاترین مقدار شاخص مربوط به ایستگاه بالادست در فصل بهار است که مقدار این شاخص برابر با ۸۴/۶ بود، همچنین پایین‌ترین مقدار این شاخص در ایستگاه پایین‌دست و در فصل پاییز با مقدار ۳۵/۵ برآورد شد. وضعیت کیفی آب رودخانه تجن در شکل ۲ مشخص شده است.

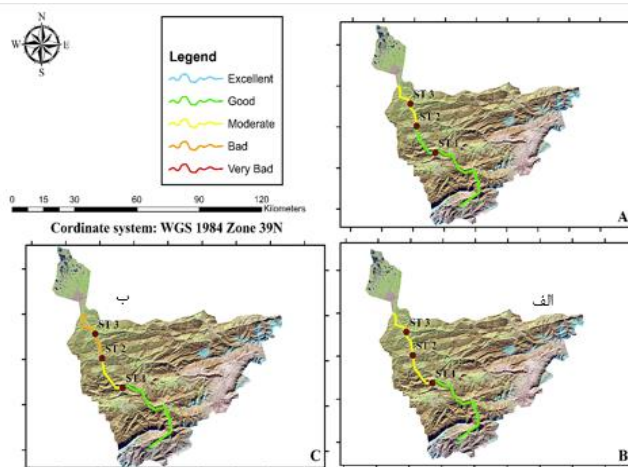
وضعیت کیفی آب رودخانه تجن طبق شاخص IRWQI_{sc} در ایستگاه بالادست، در فصول بهار، تابستان و پاییز نسبت به زمستان بهتر ارزیابی شد. از دلایل اصلی این تفاوت کیفیت می‌توان به بارش‌های بیشتر و طغیان رودخانه در فصل زمستان اشاره کرد. این اتفاق می‌تواند بر پارامترهایی همچون کدورت، ذرات معلق موجود در آب و هدایت الکتریکی آن تاثیر منفی بگذارد و نهایتاً منجر به پایین آمدن کیفیت آب رودخانه شود. از دیگر دلایل کاهش کیفیت آب ایستگاه بالادست در فصل زمستان نسبت دیگر فصول، ورود بارش به زمین‌های کشاورزی و همراه شدن مواد نیترات‌دار و فسفات‌دار با آب و در ادامه ورود این آب به رودخانه است. در ایستگاه پایین‌دست طبق این شاخص وضعیت در تمامی فصول مشابه هم و نسبتاً بد برآورد شده که با توجه به طی نمودن مسافت توسط آب و ورود آلاینده‌های طبیعی و انسانی به آب این امر طبیعی است.



شکل ۲. A. وضعیت کیفی آبرودخانه در فصل‌های بهار و تابستان B. وضعیت کیفی آبرودخانه در فصل پاییز C. وضعیت کیفی آبرودخانه در فصل زمستان بر اساس شاخص IRWQIsc

پایین‌تر آمده و نتیجه‌ی آن بد، به‌دست آمد. بالاترین مقدار شاخص NSFQI برابر با ۸۰/۷ بوده و در ایستگاه بالادست در فصل بهار رخ داده است. بدترین کیفیت آب توسط این شاخص در ایستگاه پایین‌دست و در فصل زمستان شناسایی شد که مقدار آن برابر با ۴۶/۹ است. وضعیت کیفی آبرودخانه تجن بر اساس شاخص NSFQI در شکل ۳ آمده است.

شاخص NSFQI کیفیت آب را در ایستگاه بالادست در همه‌ی سال خوب ارزیابی کرد ولی در ایستگاه میان‌دست کیفیت آب در فصل بهار نسبت به دیگر فصول بهتر بود. این اختلاف کیفیت ممکن است به دلیل فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی یا مخاطرات طبیعی رخ داده باشد. همچنین کیفیت آب طبق این شاخص در ایستگاه پایین‌دست به‌جز زمستان متوسط ارزیابی شد که در زمستان کیفیت آب در این ایستگاه



شکل ۳. A. وضعیت کیفی آب رودخانه در فصل‌های بهار B. وضعیت کیفی آب رودخانه در فصل‌های تابستان و پاییز C. وضعیت کیفی آب رودخانه در فصل زمستان بر اساس شاخص NSFQI

(Station 1)، کم‌ترین مقدار می‌باشد و در ادامه به سمت پایین‌دست دما با توجه به فعالیت‌های کشاورزی و تخلیه پساب‌های مختلف به آب، افزایش می‌یابد. میانگین دما در ایستگاه اول در طول فصل‌های مختلف برابر با ۱۲/۹ درجه

در ابتدا با توجه به پارامترهای اندازه‌گیری در فصول مختلف کیفیت رودخانه تجن مورد بررسی قرار گرفت. همان‌طور که قابل پیش‌بینی می‌باشد دمای آب در ایستگاه بالادست

بحث

سانتی گراد است. در صورتی که این مقدار برای دو ایستگاه دوم و سوم به ترتیب برابر با ۱۷/۵ و ۲۰ درجه سانتی گراد است که به وضوح افزایش دما در طول مسیر را نشان می دهد. از دیگر عوامل تأثیرگذار بر دمای آب، فصول سال است که در اینجا فصل های گرم سال (بهار و تابستان) با میانگین دمای ۲۳/۲ درجه سانتی گراد دمای بیشتری را نسبت به فصل های سرد سال (پاییز و زمستان) با میانگین دمای ۱۰/۴ درجه سانتی گراد به ثبت رسانده است. PH آب به عنوان یکی از مهم ترین پارامترهای کیفیت آب شناخته می شود که به طور مستقیم و غیرمستقیم می تواند بر سلامت انسان ها، آبزیان و گیاهان تأثیر بگذارد. PH مناسب برای سلامت انسان در آب بین ۶ تا ۸ می باشد. آب رودخانه تچن به صورت کلی بازی است و دارای PH با میانگین ۸/۳ می باشد. PH در این رودخانه بر اثر فعالیت های صنعتی و کشاورزی در طول مسیر کاهش می یابد و به خاصیت اسیدی آب اضافه می شود ولی این تغییر بسیار کم بوده و در نهایت PH در هیچ ایستگاهی و در هیچ فصلی به کم تر از ۸ نمی رسد که این موضوع مستلزم کنترل PH در صورت استفاده آب به عنوان شرب، است. پارامتر کدورت آب نشانگر میزان رسوبات معلق موجود در آب هستند. این رسوبات آسیب های زیست محیطی مختلفی مثل انتقال آلاینده های جذب شده و یا تحریک آبشش آبزیان را در پی دارند. یکی دیگر از مشکلات برآمده از کدورت زیاد، شکست نور است که از رسیدن نور به گیاهان آبی جلوگیری کرده و برای فتوسنتز مشکل ایجاد می کند (۱۲). این پارامتر ماهیت دینامیکی دارد و در زمان وقوع طوفان ها و بارش های شدید این پارامتر دچار تغییرات محسوسی خواهد شد (۱۳). کدورت همانند دیگر پارامترها در طول مسیر افزایش پیدا می کند و این امر با توجه به حرکت آب در طول مسیر و همراه شدن رسوبات معلق با آن امری طبیعی به نظر می رسد و تغییرات آن چشمگیر نیست. بیشترین تغییرات این پارامتر بر اساس فصل ها می باشد جایی که در فصل های بارش (پاییز و زمستان) تغییرات بسیار بزرگی نسبت به دیگر فصل ها دارد. میانگین کدورت در پاییز و زمستان به ترتیب ۷۵۰/۳ NTU و ۳۸۹۰/۷ NTU است که نسبت به بهار و تابستان با میانگین

۵۱/۷ NTU و ۴۸ NTU با اختلاف بسیار زیاد بیشتر است. جامدات معلق در آب همانطور که در قبل به آن اشاره شده، باعث انتقال آلاینده های آب گریز خواهند شد. از این مقادیر آن ها بر کیفیت آب تأثیر بسزایی دارد. مواد معلق در آب با کدورت رابطه دارند و با افزایش آن ها کدورت نیز افزایش پیدا خواهد کرد. این پارامتر در طول مسیر با توجه به عبور جریان از مسیر و همراه شدن جامدات نامحلول به آن، افزایش پیدا می کند به طوری که از ایستگاه ۱ تا ۳ مقدار TSS^۱ به طور میانگین از ۴۰۶/۸ میلی گرم به ۱۵۶۱/۵ میلی گرم بر ثانیه رسیده است. در فصل هایی که بارش زیاد و طغیان رودخانه را داریم این مقدار همانند کدورت افزایش چشمگیری دارد و در این جا هم بیشترین مقادیر TSS اندازه گیری شده در زمستان بود که میانگین آن در مقایسه با فصل آرام تر مثل تابستان بسیار بالاتر بوده است. EC یا هدایت الکتریکی یکی از پارامترهای مهم دیگر تعیین کیفیت آب بود که با توجه به مشکلات محاسبه مقدار جامدات محلول در آب از این پارامتر می توان کمک گرفت. از هر دو پارامترها برای محاسبه مقدار شوری آب استفاده می شود (۱۴). هدایت الکتریکی رودخانه از بالادست به سمت پایین دست با انحلال جامدات حل شونده و یون های فلزی افزایش میابد. این پارامتر می تواند با تخلیه ی پساب های شامل یون های فلزی تغییراتی دچار تغییرات محسوسی شود. میانگین این پارامتر از ایستگاه ۱ تا ۳ به ترتیب ۱۵۹/۵، ۵۳۵ و ۹۱۵/۸ میکرو زمینس بر ثانیه است که افزایش آن را در طول مسیر رودخانه نشان می دهد. بیشترین مقدار آن در ایستگاه پایین دست در فصل های بهار و زمستان رخ داده است. DO به عنوان یکی از مهم ترین پارامترهای کیفیت آب مورد بررسی قرار می گیرد. حیات آبزیان و گیاهان دریایی به طور مستقیم با این پارامتر در ارتباط است. همچنین DO به عنوان یکی از پارامترهای تشخیص آلاینده آلی در آب حائز اهمیت می باشد (۱۵). در صورت وجود آلاینده آلی و میکروارگانیزم ها، در اثر مصرف اکسیژن توسط میکروارگانیزم ها مقدار اکسیژن محلول در آب کاهش یافته و حیات موجودات دریایی در معرض خطر قرار می گیرد که در حوضه مورد مطالعه در طول رودخانه کاهش پیدا می کند.

¹ Total Suspended Solid

دلیل اصلی این اتفاق ورود پساب‌های کشاورزی و شهری به آب می‌باشند که حاوی مقدار زیادی مواد آلی هستند، همچنین پسماندهای شهری به دلیل وجود مواد ارگانیک در آن، مقدار زیادی مواد آلی دارند که در صورت ورود آن‌ها یا شیرابه‌ی آن به آب می‌تواند به‌شدت بر روی اکسیژن محلول آب تاثیرگذارد. به‌علاوه این پارامتر به دمای آب وابسته است و در دمای پایین‌تر قابلیت حل شدن بهتری دارد. این موضوع باعث شده است که به‌طور میانگین مقادیر این پارامتر در زمستان بیشتر از بقیه فصل‌ها باشد. بالاترین مقدار اکسیژن محلول در حوضه مورد مطالعه در ایستگاه ۱ در فصل زمستان مشاهده شده است که مقدار آن برابر با ۱/۷ میلی‌گرم بر لیتر است و میزان پایین‌تر آن در ایستگاه ۳ در فصل زمستان با مقدار ۱/۸ میلی‌گرم بر لیتر رخ داده است. BOD یکی از پارامترهایی تعیین مقدار مواد آلی در آب است که با DO هم در ارتباط می‌باشد. BOD میزان اکسیژن‌خواهی میکروارگانیسم‌ها است که در صورت وجود مواد آلی و فعالیت آن‌ها این پارامتر افزایش می‌یابد. BOD به‌عنوان یکی از مهم‌ترین پارامترهای تشخیص کیفیت آب می‌باشد که در منطقه مورد مطالعه BOD در طول مسیر افزایش می‌یابد که دلیل اصلی آن ورود مواد آلی به آب از منابعی همچون فاضلاب، پساب‌کشاورزی، شیرابه پسماند و لاشه جانوران است. بالاترین میزان BOD در رودخانه تجن در فصل پاییز و در ایستگاه پایین‌دست به مقدار ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر برداشت شد و کمترین آن در ایستگاه بالادست در فصل بهار به میزان ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر برداشت شد. نیترات و فسفات از عوامل مهم پدیده بیش پرورش (یوتروفیکاسیون) است که می‌تواند بر بو،

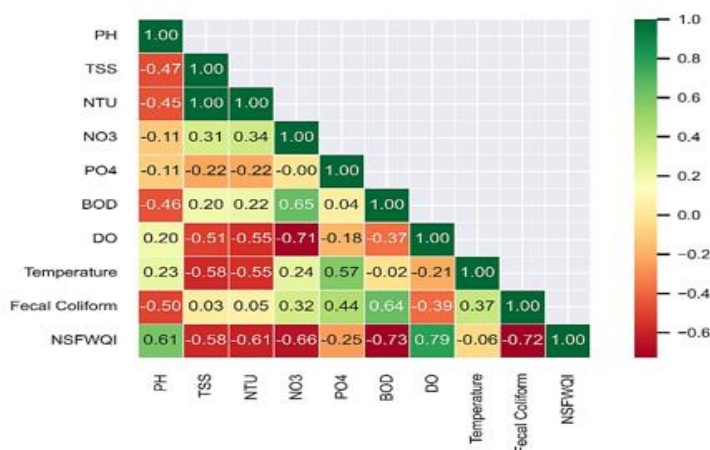
رنگ، مزه و سلامت آب تاثیر مستقیم بگذارد. مهم‌ترین عوامل کنترل‌کننده‌ی این پدیده، فسفر است که به‌صورت فسفات (PO_4) در آب موجود است. دیگر عوامل تأثیرگذار نیتروژن است که غالباً به‌صورت نیترات (NO_3) در آب مشاهده می‌شود. منبع اصلی ورود این آلاینده‌ها به آب از طریق پساب کشاورزی است. کودهای شیمیایی حاوی مقدار زیادی از این موارد هستند که پس از آبیاری مزارع با آب همراه شده و به‌عنوان پساب کشاورزی به رودخانه می‌رسند بنابراین در فصولی که کشاورزان کودزنی انجام می‌دهند همراه با آن آبیاری به‌طور گسترده‌ای در فصل تابستان و بهار انجام می‌گیرد و مقدار این آلاینده نسبت به بقیه سال بیشتر است. بیشترین مقدار فسفات در ایستگاه پایین‌دست در فصل تابستان با مقدار ۱/۲ میلی‌گرم بر لیتر برداشت شد و بیشترین مقدار برای نیترات در پایین‌دست رودخانه در فصل بهار است که مقدار آن برابر با ۶/۸۲ میلی‌گرم بر لیتر برداشت شد.

نتایج حاصل از مدل آماری حاکی از آن است که، طبق **نمودار ۱**، موثرترین پارامترها در محاسبه‌ی شاخص IRWQI به ترتیب BOD، EC، کلیفرم مدفوعی و COD بود که همگی با شاخص مورد نظر رابطه عکس دارند. کمترین تاثیر ناشی از پارامترهای PO_4 و NH_3 بود.

طبق **نمودار ۲**، موثرترین پارامترها در محاسبه‌ی شاخص NSFQI به ترتیب DO، BOD و کلیفرم مدفوعی بود که DO با شاخص مورد نظر رابطه مستقیم داشته و دو پارامتر دیگر با شاخص مورد نظر رابطه عکس دارند. کمترین تاثیر ناشی از پارامترهای دما و PO_4 بود.



نمودار ۱. همبستگی پارامترهای کیفی و شاخص IRWQISC



نمودار ۲. همبستگی پارامترهای کیفی و شاخص NSFQI

نتیجه‌گیری

می‌دهد که BOD و کلی‌فرم مدفوعی در محاسبه هر دو شاخص تاثیر به‌سزایی داشته‌اند، در حالی که میزان PO4 کمترین تاثیر را داشته است. به‌طور کلی، نتایج بدست‌آمده از هر دو شاخص قابل اعتماد بوده و می‌توان به تفاوت‌های بین آن‌ها پی برد. این تحلیل نشان می‌دهد که با توجه به تفاوت در پارامترهای مورد استفاده و وزن‌دهی آن‌ها در هر شاخص، کیفیت آب محاسبه‌شده توسط هر دو شاخص تقریباً یکسان تلقی می‌شود. این نتایج، اعتماد پژوهش را به دو شاخص مورد استفاده تقویت می‌کند و نشان می‌دهد که

بررسی کیفیت آب رودخانه تجن با استفاده از شاخص‌های IRWQI-SC و NSFQI نشان می‌دهد که وضعیت آب در ایستگاه بالادست به‌طور نسبتاً خوبی بوده ولی با پیشروی به سمت پایین‌دست، به‌ویژه در فصول سرد سال، کیفیت آب به شدت کاهش می‌یابد. این تفاوت در وضعیت کیفیت آب بین ایستگاه‌ها به علت تفاوت در پارامترهای استفاده‌شده در هر شاخص می‌باشد. مهم‌ترین پارامترهای موثر بر تفاوت‌ها شامل هدایت الکتریکی، COD، سختی کل، جامدات معلق و دمای آب است. تحلیل آماری نشان

می‌توان از هر دو شاخص برای ارزیابی کیفیت آب رودخانه تجن استفاده کرد.

تشکر و قدردانی: نویسندگان، از دانشگاه شهید بهشتی و وزارت نیرو که امکانات این پژوهش را فراهم نموده‌اند تشکر می‌نمایند.

تعارض منافع: هیچ تعارض منافی در این مقاله اعلام نشده است.

حمایت مالی: این مقاله بدون هیچ گونه حمایت مالی و اعانه‌ای تهیه و تدوین شده است.

ملاحظات اخلاقی: نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر علمی رعایت نموده‌اند. همچنین هرگونه تضاد منافع حقیقی، حقوقی یا مادی که ممکن است بر نتایج یا

تفسیر این تحقیق تأثیر بگذارد را رد می‌کند.

مشارکت نویسندگان: دکتر علی مریدی: به عنوان نویسنده مسئول، ایشان در شکل‌گیری ایده اصلی مقاله نقش بسیار مهمی داشته‌اند و راهنمایی‌های لازم را فراهم کرده‌اند. نیوشا کتابی: مسئول نوشتن متن اصلی مقاله بوده‌اند و به تدوین و تولید محتوای اصلی مقاله کمک کرده‌اند. مجتبی دادخواه تهرانی: مسئول بخش محاسبه شاخص‌ها و تفسیر نتایج مقاله بوده‌اند و به تحلیل داده‌ها و ارائه تفسیرات مربوطه پرداخته‌اند. رضا خلیلی: مسئول بخش اصلاح متن و ویرایشی مقاله بوده‌اند و به بهبود و اصلاح محتوا و اسناد مقاله کمک نموده‌اند. این همکاری‌ها با تلاش‌های مشترک این افراد، به تولید مقاله‌ای با کیفیت کمک کرده‌اند.

References

1. Kazemi P, Sharyati F, Keshavarz Shokri A. Water quality assessment of Langrodrudkhan river using NSFQI quality index 2018. (persian)
2. Mirzaei M, Mahini, Solgi E. Evaluation of Surface Water Quality Using NSFQI Index and Pollution Risk Assessment Using WRASTIC Index in 2015. 2015;264-77.
3. Aghajanlo K, Hajizade E. Evaluation of water quality changes of the Karun River in Ahvaz city using the NSFQI index. The 12th International Seminar on River Engineering. 2021. (persian)
4. Shokoohi A, Bahmani O. Comparative Evaluation of NSFQI and IRWQISC Indicators in River Quality Assessment. 2015.
5. Goudarzi F, Hedayatiaghmashhadi A, Kazemi A, Christine F. Optimal Location of Water Quality Monitoring Stations Using an Artificial Neural Network Modeling in the Qarah-Chay River Basin, Iran. 2022. Water 14:870. doi: 10.3390/w14060870. <https://doi.org/10.3390/w14060870>
6. Silva J.T, Moncayo R, Ochoa R, Estrada F, Cruz-Cárdenas F, Escalera F, Villalpando F, Nava J, Ramos A, López M. Chemical Quality of Groundwater and Surface Water in the Duero River Basin,

Michoacán. 2013. Tecnología y Ciencias Del Agua.

7. Yadav N.S, Sharma M.P, Kumar A. Ecological Health Assessment of Chambal River, India. 2015. Journal of Materials and Environmental Science.

8. Dehghani R, Miranzadeh M.B, Jannat B, Akbari H, Babaei M, Kazemi Moghaddam V, Mazaheri A, Chimehi E, Takhtfiroozeh S.M, Salehi H. Study on Water Quality in the Ghohrood River of Kashan Using National Sanitation Foundation Water Quality Index (NSFWQI) and Its Zoning Using Geographic Information System (GIS). 2018. Journal of Communicable Diseases 50(4). doi: 10.24321/0019.5138.201826.

<https://doi.org/10.24321/0019.5138.201826>

9. Alphayo, Stephano M, Sharma M.P. Water Quality Assessment of Ruvu River in Tanzania Using NSFQI. 2018. Journal of Scientific Research and Reports 20(3). doi: 10.9734/jsrr/2018/44324.

<https://doi.org/10.9734/JSRR/2018/44324>

10. Darvishi G.R, Golbabaei Kootenaei F, Ramezani M, Lotfi E, Asgharnia H.A. Comparative Investigation of River Water Quality by OWQI, NSFQI and Wilcox Indexes (Case Study: The Talar River - Iran). 2016. Archives of Environmental

Protection 42(1). doi: 10.1515/aep-2016-0005.

<https://doi.org/10.1515/aep-2016-0005>

11. Samadi J. Survey of Spatial-Temporal Impact of Quantitative and Qualitative of Land Use Wastewaters on Choghakhor Wetland Pollution Using IRWQI Index and Statistical Methods. 2015.

12. Colley D, R. J., Smith D. G. Turbidity Suspended Sediment, and Water Clarity: A Review 1. 2001. JAWRA Journal of the American Water Resources Association 37(5):1085-1101.

<https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2001.tb03624.x>

13. Lee, Sheng C, Lee Y, Chiang H. Abrupt State Change of River Water Quality (Turbidity): Effect of Extreme Rainfalls and Typhoons. 2016. Science of The Total Environment 557-558:91-101. doi:

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.02.213>.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.02.213>

PMid:26994797

14. Rusydi A. Correlation between Conductivity and Total Dissolved Solid in Various Type of Water: A Review. 2018. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 118(1):12019. doi: 10.1088/1755-1315/118/1/012019.

<https://doi.org/10.1088/1755-1315/118/1/012019>

15. Susilowati, Sutrisno J, Masykuri M, Maridi. Dynamics and Factors That Affects DO-BOD Concentrations of Madiun River. 2018. AIP Conference Proceedings 2049(1):020052. doi: 10.1063/1.5082457.

<https://doi.org/10.1063/1.5082457>