Vol 14, No. 1, Spring 2024

University of Tehran Press

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

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

Seasonal changes in the water quality of Sardab river: dual perspectives of the Iran Water Quality Index for Surface Water Resources – Conventional Parameters (IRWQIsc) and the National Sanitation Foundation Water Quality Index (NSFWQI)

Helia Bagheri[1] | Mohammad Mazlomi Mochani[2] | Reza Khalili[3] | Ali Moridi[4]✉

1. Department of Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering and Environment, University of Shahid Beheshti, Tehran, Iran. E-mail: hel.bagheri@mail.sbu.ac.ir
2. Department of Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering and Environment, University of Shahid Beheshti, Tehran, Iran. E-mail: m.mazloumimouchani@mail.sbu.ac.ir
3. Department of Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering and Environment, University of Shahid Beheshti, Tehran, Iran. E-mail: re_khalili@sbu.ac.ir
4. Corresponding Author, Department of Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering and Environment, University of Shahid Beheshti, Tehran, Iran. E-mail: a_moridi@sbu.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 25 October 2023
Received in revised form
4 February 2024
Accepted 11 February 2024
Published online 14 March 2024

Keywords:
Climate change
Water quality
Water resources
Sardabrud river

ABSTRACT

The quality of river water is of great importance due to the limited availability of freshwater resources and the increased demand for water in the drinking water, agriculture, and other sectors. Rivers are one of the sources of this water supply, which are exposed to indiscriminate discharge of industrial, agricultural and human wastewater without proper environmental considerations.The study area in this research is the Sardabrud River located in Mazandaran province. The required data for conducting the research were collected from three stations along the river throughout a hydrological year and analyzed. In this study, the Iranian River Water Quality Index for surface waters (IRWQIsc) and the National Sanitation Foundation Water Quality Index (NSFWQI) were used to evaluate the river water quality. Based on the results, the values of the IRWQIsc index varied between 92.12-30.42 and the NSFWQI index between 92.35-48.075, indicating very good quality in spring and bad quality in winter for IRWQIsc, and excellent quality in spring and bad quality in summer for the NSFWQI, respectively.. Among the most important factors polluting the water of this river along its course are the discharge of agricultural and human sewage into the middle and downstream reaches, land use changes, and climate changes - which have caused a decrease in water quality along the river's path.Using the obtained results and current understanding, measures can be taken to prevent these polluting sources from entering the river to improve its water quality.

Cite this article: Bagheri, H., Mazlomi Mochani, M., Khalili, R., & Moridi, A. (2024). Seasonal changes in the water quality of Sardab river: dual perspectives of the Iran Water Quality Index for Surface Water Resources – Conventional Parameters (IRWQIsc) and the National Sanitation Foundation Water Quality Index (NSFWQI). *Journal of Water and Irrigation Management*, 14 (1), 223-234. DOI: https://doi.org/10.22059/jwim.2024.367167.1114

© The Author(s).
Publisher: The University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/jwim.2024.367167.1114

دوره چهاردهم، شماره اول، بهار ۱۴۰۳

انتشارات دانشگاه تهران

مدیریت آب و آبیاری

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

شاپا الکترونیکی: ۹۹۳۱-۲۳۸۲

تغییرات فصلی کیفیت آب رودخانه سرداب رود: دیدگاه‌های دوگانه شاخص کیفیت منابع آب سطحی ایران ($IRWQI_{sc}$) و بنیاد ملی بهداشت (NSFWQI)

هلیا باقری[۱] | محمد مظلومی موچانی[۲] | رضا خلیلی[۳] | علی مریدی[۴]✉

۱. گروه مهندسی عمران، دانشکده عمران و محیطزیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: hel.bagheri@mail.sbu.ac.ir

۲. گروه مهندسی عمران، دانشکده عمران و محیطزیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: m.mazloumimouchani@mail.sbu.ac.ir

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

۴. نویسنده مسئول، گروه مهندسی عمران، دانشکده عمران و محیطزیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: a_moridi@sbu.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۰۳

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۱/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۲۲

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۲/۲۴

کلیدواژه‌ها:

تغییرات آب‌وهوایی

رودخانه سرداب رود

کیفیت آب

منابع آب

چکیده

کیفیت آب رودخانه‌ها با توجه به محدودیت منابع آب شیرین و افزایش تقاضا برای آب در بخش شرب، کشاورزی و بخش‌های دیگر از اهمیت بالایی برخوردار است. رودخانه‌ها یکی از منابع تأمین آب شیرین هستند که در معرض تخلیه بی‌رویه پساب‌های صنعتی، کشاورزی و انسانی بدون درنظرگرفتن ملاحظات محیطزیستی قرار گرفته‌اند. حوضه مطالعاتی در این پژوهش رودخانه سرداب رود واقع در استان مازندران است، داده‌های موردنیاز جهت انجام پژوهش از سه ایستگاه در طول رودخانه در طی یک سال آبی و به‌صورت فصلی جمع‌آوری شدند و مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفتند. در این مطالعه به‌منظور ارزیابی کیفیت آب رودخانه از شاخص کیفیت منابع آب سطحی ایران ($IRWQI_{sc}$) و بنیاد ملی بهداشت (NSFWQI) استفاده شده است. براساس نتایج، مقادیر شاخص IRWQIsc بین ۹۲/۱۲–۳۰/۴۲ و شاخص NSFWQI بین ۹۲/۳۵–۴۸/۰۷۵ متغیر بود که نشان‌دهنده وضعیت بسیار خوب در بهار و بد در زمستان برای شاخص IRWQIsc و وضعیت عالی در بهار و بد در تابستان برای شاخص NSFWQI است. از مهم‌ترین عوامل آلوده‌کننده آب این رودخانه در طی مسیر می‌توان به تخلیه پساب‌های کشاورزی و انسانی به میان‌دست و پایین‌دست این رودخانه و تغییر کاربری اراضی زمین و تغییرات آب‌وهوایی اشاره کرد که باعث کاهش کیفیت آب در طول مسیر حرکت آب شده است. با استفاده از نتایج به‌دست‌آمده و اطلاع از وضعیت موجود باید تدابیری را برای جلوگیری از ورود این منابع آلاینده به رودخانه اندیشید.

استناد: باقری، هلیا؛ مظلومی موچانی، محمد؛ خلیلی، رضا و مریدی، علی (۱۴۰۳). تغییرات فصلی کیفیت آب رودخانه سرداب رود: دیدگاه‌های دوگانه شاخص کیفیت منابع آب سطحی ایران (IRWQIsc) و بنیاد ملی بهداشت (NSFWQI). *نشریه مدیریت آب و آبیاری*، ۱۴ (۱)، ۲۲۳–۲۳۴.

DOI: https://doi.org/10.22059/jwim.2024.367167.1114

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

۱. مقدمه

با توجه به فراوانی آن در کره زمین تنها منابع محدودی از آب شیرین قابل‌دسترس برای مصارف کشاورزی، صنعت و شرب وجود دارد (Chowdhary *et al*., 2020). رودخانه‌ها نقش مهمی در تأمین منابع و انتقال آب در بسیاری از کشورهای دنیا دارند که این موضوع باعث می‌شود بررسی کیفیت آب رودخانه‌ها برای استفاده‌های مختلف و بهداشت عمومی بسیار حساس و مهم باشد (Tiyasha *et al*., 2020). رودخانه‌ها به‌عنوان یکی از منابع اصلی آب برای مصارف خانگی، صنعتی و آبیاری می‌باشد که پساب کارخانه‌های صنعتی و فعالیت‌های کشاورزی بدون درنظرگرفتن ملاحظات زیست‌محیطی در آن تخلیه می‌شوند (Ebraheim *et al*., 2020).

پایش و کنترل آب‌های سطحی برای تضمین کیفیت بالای آن برای کاربردهای مختلف امری حیاتی است (Rezaeiarshad *et al*., 2022). به‌طورکلی، رودخانه‌ها ظرفیت پذیرش آلودگی را تا مقدار مشخص دارا می‌باشند که این مقدار بستگی به عوامل و فاکتورهای محیطی هم‌چون دبی، شرایط اولیه، عمق رودخانه و غلظت فاضلاب‌های تخلیه‌شده به رودخانه و غیره دارد. روند افزایشی تراکم جمعیتی در استان‌های شمالی به‌ویژه استان مازندران و آلودگی‌های بی‌رویه‌ای که در نتیجه آن افزایش می‌یابند، منابع آب‌های سطحی استان را درخطر آسیب شدیدی قرار داده است. رودخانه سرد آب رود چالوس از رودخانه‌های بسیار مهم و حفاظت‌شده حوضه جنوبی دریای خزر هستند و به لحاظ این‌که محل مهاجرت تولیدمثلی ماهیان باارزش شیلاتی دریای خزر از قبیل ماهی آزاد دریای خزر (*Salmo caspius*)، ماهی سفید (*Rutilus kutum*) و بسیاری از ماهیان استخوانی دیگر می‌باشد، به همین دلیل برنامه‌ریزی برای نظارت و کنترل آب‌های سطحی جهت شناخت و حفاظت کیفیت آب سطحی برای آن امری ضروری است.

شاخص کیفیت آب (WQI)[۱] می‌تواند وضعیت کیفیت آب را در یک عبارت واحد بیان کند. استفاده از WQI باعث می‌شود که عموم مردم بیش‌تر از وضعیت آب‌های سطحی اطراف خودآگاه شوند. هدف این رویکرد ادغام بسیاری از پارامترهای کیفی آب و تبدیل آن به یک مقدار واحد است که وضعیت کیفیت آب رودخانه را بیان می‌کند (Khalili *et al*., 2021). بسیاری از روش‌های ارزیابی WQI را می‌تواند برای تعیین وضعیت کیفی آب‌های سطحی استفاده کرد. با توجه به شرایط اقلیمی کشور و مشکلات منابع آبی در ایران، شاخصی تحت عنوان IRWQIsc[۲] برای ارزیابی کیفیت آب‌های سطحی در این کشور ارائه شده است. ازآنجایی‌که این شاخص می‌تواند درک بهتری از شرایط آب‌های سطحی در ایران نشان دهد، می‌توان ازآن‌جهت بررسی و مدیریت بهتر منابع آبی در ایران استفاده کرد.

این شاخص دارای منحنی‌های استاندارد بوده و از ترکیب کلی‌فرم مدفوعی، BOD[۳]، نیترات، اکسیژن محلول، هدایت الکتریکی، COD[۴]، آمونیوم، فسفات، کدورت، سختی کل و pH می‌باشد که مطابق با آن، به هر یک از پارامترها یک ارزش عددی اختصاص‌یافته و درنهایت شاخص نهایی از طریق محاسبات ریاضی مشخص می‌گردد. شاخص کیفیت آب بنیاد ملی بهداشت (NSFWQI) یکی از جامع‌ترین و متداول‌ترین شاخص کیفیت آب در جهان است که توسط بنیاد ملی بهداشت آمریکا ارائه شده است. این شاخص با درنظرگرفتن نُه پارامتر اکسیژن محلول، کلی‌فرم، کلی‌فرم مدفوعی، pH، اکسیژن موردنیاز تجزیه بیولوژیکی، دما، مقدار فسفات، مقدار نیترات، کدورت، مواد جامد معلق کیفیت آب را ارزیابی می‌کند.

مظلومی و همکاران (۲۰۲۳) به بررسی کیفیت آب رودخانه نکارود با شاخص‌های $IRWQI_{SC}$ و NSFWQI پرداختند و نتایج نشان داد که کیفیت کلی آب از سرچشمه به سمت خروجی روندی کاهشی را دنبال می‌کند و کاهش آن در فصول گرم‌تر نسبت به فصول سردتر است، بیش‌ترین کاهش کیفیت در فصل بهار اتفاق می‌افتد که به‌دلیل افزایش فعالیت‌های کشاورزی در حوزه رودخانه است و نیز کم‌ترین میزان در فصول سرد به‌خصوص زمستان شکل می‌گیرد (Mazlomi Mochani *et al*., 2023).

صمدی (۲۰۱۶) با استفاده از شاخص $IRWQI_{sc}$ به بررسی آلودگی تالاب چغاخور در استان چهارمحال‌وبختیاری با تحلیل تأثیرات کمی و کیفی پساب‌های اراضی از دو بعد مکانی و زمانی بر کیفیت آب این تالاب پرداخت. در این پژوهش میانگین سالانه شاخص نسبتاً خوبی به‌دست آمد درحالی‌که این وضعیت در ابتدای بهار در وضعیت متوسط، در انتهای بهار و ابتدای تابستان در وضعیت خوب و در انتهای تابستان و انتهای پاییز در وضعیت خوب قرار می‌گیرد. در همین زمان در بخش جنوب‌شرقی تالاب، به‌علت اضافه‌شدن رواناب مناطق مسکونی در اثر افزایش بارندگی و عدم تجزیه نیترات به‌علت کاهش دما، کیفت آب تالاب متوسط ارزیابی گردید (Samadi, 2016).

لاریجانی و همکاران (۲۰۲۲) باهدف ارزیابی و مقایسه حساسیت دو شاخص NSFWQI و IRWQIsc به بررسی پارامترهای کیفی رودخانه هراز در سال ۱۴۰۰ در هفت ایستگاه پرداخت. نتایج پژوهش نشان داد که کیفیت آب براساس مقادیر شاخص IRWQIsc در ایستگاه‌های S1 تا S4 (پنجاب تا گرم‌دره) کیفیت آب رودخانه متوسط و در ایستگاه‌های S5 و S5-1 (چلاو) نسبتاً بد بوده است که علت آن می‌تواند فاضلاب روستا، معادن شن و ماسه، کارگاه پرورش ماهی، زمین‌های کشاورزی و رستوران‌های حاشیه رودخانه در بالادست ایستگاه باشد (Larijani *et al*., 2022).

آقائی و همکاران در سال (۲۰۲۰) طبق پژوهشی که در راستای ارزیابی کیفی رودخانه چهل چای انجام دادند، نتایج نشان داد که وضع کیفیت آب این رودخانه براساس شاخص $IRWQI_{sc}$ در وضعیت نسبتاً مطلوبی قرار دارد. متوسط میزان شاخص $IRWQI_{sc}$ در فصل بهار (با میزان ۷۰/۳۰) بهتر از فصل تابستان (با میزان ۶۶/۱۲) بوده است. هم‌چنین میزان عددی شاخص کیفیت آب از بالادست جریان به سمت پایین‌دست در حال کم‌شدن است (Aghaee *et al*., 2020).

میرزایی و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی کیفیت آب رودخانه زاینده‌رود در سال ۲۰۱۵ پرداختند. آن‌ها هفت ایستگاه را که در چهارفصل مختلف نمونه‌برداری شده بودند را موردبررسی قراردادند. شاخص NSFWQI نشان داد که کیفیت آب این رودخانه در ایستگاه اول (مورکان) در وضعیت متوسطی قرار دارد و بقیه ایستگاه‌ها در همه فصول در وضعیت بدی هستند. بدترین وضعیت مربوط به پل چوم و پل ورزنه در فصل پاییز با شاخص ۲۹ و بهترین وضعیت برای ایستگاه موکان در فصل تابستان با عدد شاخص ۵۹ بوده است (Mirzaei & Solgi, 2016).

با توجه به بالارفتن روزافزون جمعیت و اهمیت کیفیت آب مصرفی در جوامع بشری، هم‌چنین با توجه به اثر تغییرات آب‌وهوایی که باعث کاهش منابع آب شیرین در سراسر جهان شده است، اطلاع از کیفیت آب از اهمیتی مضاعف برخوردار می‌گردد. جهت ارزیابی بهتر و جامع‌تر از شرایط کیفی رودخانه سرداب رود، در این پژوهش از دو شاخص IRWQIsc و NSFWQI استفاده شده است که این ارزیابی می‌تواند وضعیت کیفیت آب رودخانه را برای ما شفاف کند. با استفاده از نتایج این پژوهش می‌توان تدابیری اندیشید تا شناخت بهتری از منابع آلاینده رودخانه پیدا نموده تا بتوان آن‌ها را کنترل نمود که این خود باعث حفاظت از محیط‌زیست، جلوگیری از اثرات نامطلوب بر انسان و موجودات زنده موجود، مدیریت صحیح منابع آب و هم‌چنین بالابردن اطلاعات افراد بومی آن منطقه از این منبع آب سطحی کمک‌کننده باشد.

۲. مواد و روش‌ها

۲. ۱. منطقه موردبررسی و نقاط نمونه‌برداری

حوضه آبخیز سرد آب رود در شمال ایران و در غرب استان مازندران واقع‌شده است، این حوضه بین مختصات جغرافیایی طول شرقی ۵۱ درجه و ۱۲ دقیقه و ۵۱ درجه و ۱۵ دقیقه مختصات عرض شمالی ۳۶ درجه و ۳۷ دقیقه و و ۳۶ درجه و ۴۰ دقیقه واقع‌شده، مساحت این حوزه ۴۶۱/۶ کیلومترمربع معادل ۴۶۱۶۰ هکتار است. حداقل ارتفاع از سطح دریا در این حوضه آبخیز در مناطق شمالی (محدوده شهر چالوس) ۲۱ متر است و حداکثر ارتفاع در مناطق جنوبی حوزه ۱۷۵۰ متر از

سطح دریا است، این منطقه از لحاظ تقسیمات کشوری در محدوده شهر چالوس قرار دارد (Khoshravesh *et al*., 2015). سرشاخه‌های سرد آب رود از یخچال‌های شمالی و حصار چال با وسعت تقریبی هشت کیلومترمربع تغذیه می‌شوند. طول این رودخانه ۶۷ کیلومتر و وسعت حوضه آبریز آن حدود ۴۳۰ کیلومترمربع است (Valadan Zouj *et al*., 2009). در شکل‌های زیر، حوضه آبریز رودخانه، موقعیت شهرهای کلاردشت و چالوس نشان داده‌شده‌اند. از مهرماه ۱۴۰۰ تا شهریورماه سال ۱۴۰۱ (September 2021 to September 2022) در هر فصل، از سه ایستگاه از این رودخانه نمونه‌برداری شده است. موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری در شکل (۱) مشخص شده‌اند.

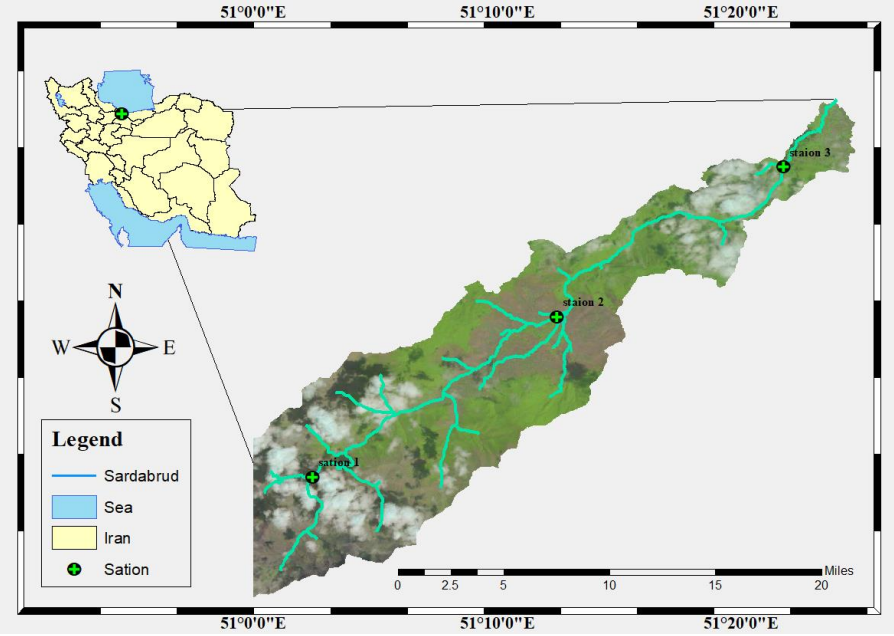


Figure 1. Study area and sampling

ابزارهای گسترده‌ای برای بررسی داده‌های کیفیت آب توسعه‌یافته‌اند که مدل شاخص کیفی آب (WQI) یکی از این ابزارهاست. این مدل بر پایه روابط ریاضی است که امکان آنالیز مجموعه داده‌های بزرگ زمانی و مکانی متغیر را در قالب یک شاخص فراهم می‌سازد. یک شاخص کیفی آب به‌طور معمول از چهار رکن یا پردازنده تشکیل می‌شود. ابتدا، پارامترهای موردنظر کیفیت آب انتخاب می‌شوند. سپس، داده‌های کیفیت آب برداشت‌شده و برای هر پارامتر کیفی آب غلظت‌ها به یک عدد زیرشاخه بدون بُعد تبدیل می‌شوند. در مرحله سوم، درصد وزنی هر پارامتر کیفی آب مشخص و درنهایت، یک شاخص کیفی آب به کمک زیر شاخص‌ها و درصد وزنی‌ها برای تمامی پارامترها محاسبه می‌شود (Al-Sudani *et al*., 2022). میزان سلامتی آب با یک مقیاس کیفی نسبی از عالی تا بسیار بد تعیین می‌شود.

۲. ۲. شاخص پارامترهای متداول کیفیت منابع آب سطحی ایران ($IRWQI_{SC}$)

این شاخص که راهنمای محاسبه آن توسط سازمان حفاظت محیطزیست ارائه شده است، با درنظرگرفتن وضعیت جغرافیایی و اکولوژیکی ایران، با هدف بیان کیفیت آب‌های سطحی داخل کشور معرفی شد. عملکرد این شاخص به‌گونه‌ای است که هرچه مقدار عددی آن بالاتر باشد، پهنه آبی دارای آلودگی کم‌تری است. یازده پارامتر فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی در این شاخص دخیل است که مطابق با راهنمای سازمان حفاظت محیطزیست در جدول (۱) مشخص شده‌اند.

Table 1. The parameters used and their weights in the IRWQIsc index

Parameters	Weight	Unit
Faecal coliform	0.14	MPN/100 ml
BOD_5	0.117	mg/L
Nitrate	0.108	mg/L
Dissolved oxygen saturation	0.097	%
Electrical conductivity	0.096	µs/cm
COD	0.093	mg/L
Ammonium	0.090	mg/L
Phosphate	0.087	mg/L
Turbidity	0.062	NTU
Total hardness	0.059	mg $CaCO_3$/L
pH	0.051	-

مقدار شاخص با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

رابطه ۱) $$IRWQI_{sc} = [\prod_{i=1}^{n} I_i^{Wi}]^{\frac{1}{\gamma}}$$

که در آن:

رابطه ۲) $$\gamma = \sum_{i=1}^{n} w_i$$

در رابطه بالا، Wi: وزن پارامتر i ام، n: تعداد پارامترها، Ii: مقدار شاخص برای پارامتر i ام از منحنی رتبه‌بندی است. پس از محاسبه شاخص، از جدول (۲) معادل توصیفی آن تعیین می‌شود.

Table 2. Determining the descriptive equivalent of the calculated IRWQIsc index

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

درصورتی‌که تعداد پارامترهای اندازه‌گیری‌شده کم‌تر از ۱۱ باشد، رابطه بالا قابل‌استفاده است و نیازی به هیچ‌گونه تصحیح نمی‌باشد.

۲. ۴. شاخص پارامترهای کیفی آب بنیاد ملی بهداشت (NSFWQI)[5]

یک روش معمول محاسبه شاخص کیفیت آب بادقت زیاد در انتخاب پارامترها، به‌کمک ایجاد یک مقیاس مشترک و تعیین وزن هر یک توسعه داده شد. این تلاش توسط بنیاد ملی بهداشت (NSF) پشتیبانی شد که درنهایت به‌عنوان NSFWQI برای محاسبه شاخص کیفیت آب در بدنه‌های آبی که به‌شدت آلوده هستند مورداستفاده قرار گرفت. در جدول (۳) پارامترهای مؤثر و وزن آن‌ها نشان داده‌شده است.

Table 3. The parameters used and their weight in the NSFWQI index

Parameters	Weight	Unit
Faecal coliform	0.16	MPN/100 ml
BOD5	0.11	mg/L
Nitrate	0.10	mg/L
Dissolved oxygen saturation	0.17	% Saturation
Temperature	0.10	C
Phosphate	0.10	mg/L
Turbidity	0.075	NTU
TDS	0.075	mg $CaCO_3$/L
pH	0.11	-

داده‌های کیفیت آب ثبت‌شده و برای به‌دست‌آوردن مقدار عددی، به نمودار منحنی وزنی منتقل می‌شود. برای محاسبه شاخص NSFWQI از استفاده می‌شود:

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

در این رابطه، Wi و Qi هرکدام به‌ترتیب نشان‌دهنده درصد وزنی و زیر شاخص مربوط به پارامتر i ام‌است. n تعداد پارامترهای موردبررسی است. با ضرب ارزش عددی هر پارامتر و وزن آن، مقدار شاخص آن به‌دست می‌آید که با استفاده از جدول (۴) معادل توصیفی این شاخص تعیین می‌شود (Aghajanloo *et al*., 2022).

Table 4. Determining the descriptive equivalent of the calculated NSFWQI index

Classification	Index value
Excellent	90-100
Good	70-89
Modrate	50-69
Bad	25-49
Very bad	0-24

۴. بحث

۴. ۱. تغییرات پارامترها در طی نمونه‌برداری

در جدول (۵) اطلاعات پارامترهای کیفی آب را در چهار فصل سال از محل‌های نمونه‌برداری بیان و مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفته‌اند.

pH شاخصی برای بیان میزان قلیایی یا اسیدی‌بودن آب است. pH در پایین‌دست رودخانه در فصل بهار یعنی ایستگاه سه بیش‌ترین میزان خود و متقابلاً در ایستگاه یک در تابستان کم‌ترین مقدار خود را تجربه کرده است. pH اثر مستقیم بر روی حیات آبزیان دارد و کیفیت آب شرب را نیز مشخص می‌کند. طبق استاندارد ۱۰۵۳ ایران، میزان اسیدی یا بازی‌بودن این رودخانه از نظر قابل‌شرب‌بودن در محدوده مطلوب قرار دارد. جامدات معلق در آب و کدورت با یکدیگر رابطه مستقیم دارند. این دو ویژگی تغییرات مشابهی را در طی سال داشته‌اند؛ میزان جامدات معلق و کدورت در ایستگاه سه در بهار بیش‌ترین مقدار خود (به‌ترتیب ۹۵ میلی‌گرم بر لیتر و ۲۰۶ NTU) و ایستگاه یک در پاییز کم‌ترین مقدار خود (به‌ترتیب پنج میلی‌گرم بر لیتر و سه NTU) را داشته‌اند. حد مطلوب کدورت آب طبق استاندارد ۱۰۵۳ کم‌تر یا برابر با یک است و برای حفظ محیط‌زیست آبزیان و مصارف شرب، آب این رودخانه باید منابع آلوده‌کننده آن شناسایی شوند. میزان بارندگی یا فرسایش زمین در اثر فعالیت‌های انسانی، کشاورزی و دامپروری می‌توانند عواملی برای کدورت بیش‌ازحد مجاز این رودخانه باشند. جامدات محلول در آب و هدایت الکتریکی نیز از پارامترهایی هستند که اثر مستقیم بر یکدیگر دارند. به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین مقادیر TDS و EC را در فصل زمستان در ایستگاه سوم و در بهار در ایستگاه اول رودخانه مشاهده شده است. با توجه به آن‌که میزان هدایت الکتریکی از بالادست رودخانه به میان‌دست و پایین‌دست افزایش می‌یابد، می‌توان پیش‌بینی کرد در این فواصل پساب‌های کشاورزی به این رودخانه تخلیه می‌شود، چراکه هدایت الکتریکی بالا از ویژگی‌های بارز پساب‌های کشاورزی است. میزان اکسیژن محلول در آب پارامتری تعیین‌کننده در فعالیت‌های بیولوژیکی آب است.

DO یکی از مهم‌ترین پارامترهای کیفیت آب برای رودخانه‌های می‌باشد که تابعی از تغییرات دما بوده و با افزایش دما، میزان DO در آب کاهش پیدا می‌کند که براساس استاندارد کیفیت آب ایران مقدار DO باید حداقل در ۵۰ درصد

مواقع ۹ میلی‌گرم بر لیتر یا ۹۰ درصد اشباع و بیش‌تر و در ۱۰۰ درصد مواقع ۷ میلی‌گرم بر لیتر یا ۷۰ درصد اشباع و بیش‌تر باشد.

Table 5. Information on water quality parameters

Station number / Season	Standard	S1	S2	S3	S1	S2	S3
		Spring			Summer		
		Up stream	Between stream	Down stream	Up stream	Between stream	Down stream
pH	6 - 9	7.69	7.88	8.32	7.62	7.63	7.8
TSS	< 25	76	82	102	38	54	88
TDS	-	137	149	200	210	271	280
EC	-	211	230	321	323	417	456
Tur	-	172	188	206	52	75	137
BOD	3- 6	1	2	8	1	3	10
COD	-	2	3	18	3	6	21
DO	*	9.84	7.7	7.65	8.98	7.9	7.71
T	1.5-3**	18	21	23	11	15	17
Saltiness	-	0.053	0.057	0.073	0.05	0.057	0.063
Cl	-	12.78	14.2	24.14	11.36	14.2	18.46
Coliform	***<1000	43	93	460	23	150	1100
N - NO_3	≤ 0.3	0.509	0.644	0.81	0.384	0.513	1.594
N - NH_3	≤ 0.025	0.02	0.03	0.16	0.01	0.02	0.22
Po_4	0.065-0.13	0.02	0.03	0.22	0.02	0.02	0.9
Unit	EC×10^{-6}: (µs/cm)		Cl: (mg/lit)		T: (c°)		
	N - NH_3: (mg/lit)		DO: (mg/lit)		Tur: (NTU)		

* At least 50% of the time, 9 mg/liter or 90% saturation and more, and 100% of the time 7 mg/liter or 70% saturation and mor.
** The temperature difference downstream of the thermal pollution discharge point and upstream should not exceed the stated values.
*** For use in agriculture

Continued table 5. Information on water quality parameters

Station number / Season	Standard	S1	S2	S3	S1	S2	S3
		Autumn			Winter		
		Up stream	Between stream	Down stream	Up stream	Between stream	Down stream
pH	6 - 9	7.74	7.78	8.18	7.76	7.81	8.2
TSS	< 25	5	29	38	8	9	35
TDS	-	143	229	302	147	268	352
EC	-	218	234	372	223	407	425
Tur	-	3	20	42	7	12	35
BOD	3- 6	1	5	11	1	5	13
COD	-	2	9	25	2	14	29
DO	*	8.81	7.8	7.73	8.93	7.85	7.84
T	1.5-3**	12	12	15	2	3	5
Saltiness	-	0.05	0.058	0.063	0.052	0.061	0.065
Cl	-	11.36	15.62	18.4	12.7	17.04	19.8
Coliform	***<1000	75	≥2400	≥2400	43	460	1100
N - NO_3	≤ 0.3	0.72	0.755	0.388	0.985	1.95	2.44
N - NH_3	≤ 0.025	0.13	0.16	0.1	0.03	0.05	0.6
Po_4	0.065-0.13	0.04	0.1	0.2	0.05	0.04	0.22
Unit	EC×10^{-6}: (µs/cm)		Cl: (mg/lit)		T: (c°)		
	N - NH_3: (mg/lit)		DO: (mg/lit)		Tur: (NTU)		

* At least 50% of the time, 9 mg/liter or 90% saturation and more, and 100% of the time 7 mg/liter or 70% saturation and mor.
** The temperature difference downstream of the thermal pollution discharge point and upstream should not exceed the stated values.
*** For use in agriculture

اکسیژن محلول در ایستگاه سه در بهار به کم‌ترین مقدار خود یعنی ۷/۶۵ میلی‌گرم بر لیتر و در تابستان در ایستگاه یک به بیش‌ترین مقدار خود یعنی ۷/۹۸ میلی‌گرم بر لیتر رسیده است و بیش‌ترین مقدار DO برای فصل بهار در ایستگاه ۱ با مقدار ۹/۸۴ مشاهده شد. با مقایسه نتایج برداشت‌شده از نمونه‌برداری‌ها با استاندارد ذکرشده می‌توان نتیجه گرفت در ایستگاه‌های بالاست مقادیر DO در شرایط استاندارد وجود دارد، اما در ایستگاه‌های پایین‌دست این مقدار در کم‌ترین حالت خود قرار دارد که با توجه به شرایط، این رودخانه برای رشد ماهیان گرم آبی مناسب نمی‌باشد. با افزایش دما در زمان نمونه‌گیری و تغییر فصل، شاهد افزایش میزان BOD هستیم. دما از دو تا ۲۱ درجه سانتی‌گراد در طول چهارفصل تغییر کرده است و میزان

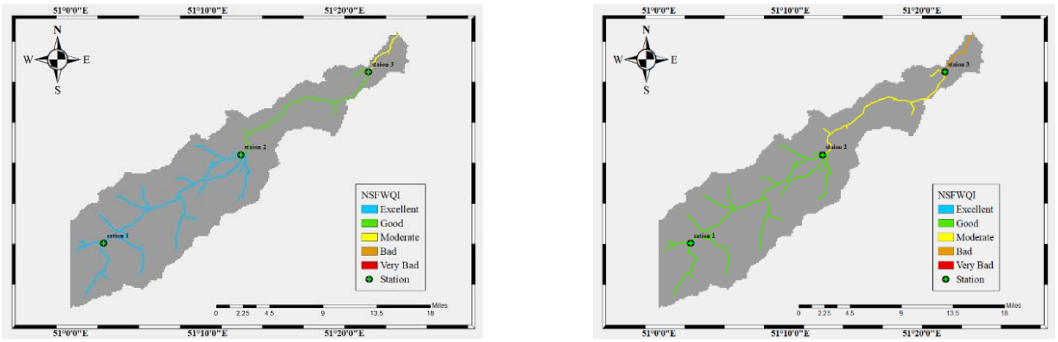
اکسیژن‌خواهی بیولوژیکی رودخانه در ۷۰ درصد نمونه‌ها کم‌تر از متوسط میزان آن (۳/۱ میلی‌گرم بر لیتر) بوده است. میزان اکسیژن‌خواهی شیمیایی آب در بیش از نصف نمونه‌ها از متوسط میزان آن در تمامی نمونه‌ها (۶/۲۵ میلی‌گرم بر لیتر) بیش‌تر است. بازه تغییرات کلی فرم مدفوعی بسیار چشم‌گیر است، به‌نحوی‌که اختلاف کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار آن‌که به‌ترتیب در فصول تابستان در بالادست رودخانه و در پاییز در پایین و میان‌دست رودخانه اتفاق افتاده است، بیش از ۲۰۰۰ واحد در هر ۱۰۰ میلی‌لیتر نمونه است. نیترات موجود در آب نیز به‌ترتیب بیشینه و کمینه مقادیر خود را در فصول پاییز در پایین‌دست و در زمستان در میان‌دست رودخانه تجربه کرده است. تغییرات آمونیاک و فسفات رودخانه در تابستان در بالادست (برای فسفات بالادست و میان‌دست) رودخانه یعنی در کم‌ترین مقادیر خود مشابه هم بوده است، اما بیش‌ترین میزان آمونیاک در پاییز در میان‌دست رودخانه اتفاق افتاده و فسفات نیز در پایین‌دست رودخانه در تابستان به بیش‌ترین مقدار خود رسیده است. افزایش میزان نیترات، آمونیاک و فسفات پس از بالادست رودخانه رخ می‌دهد که حاکی از تخلیه زه‌آب‌های کشاورزی، صنعتی و انسانی منطقه در رودخانه است. تغییرات شاخص کیفی آب در شکل‌های (۲) و (۳) در طی فصول نمونه‌برداری نشان داده شده است.

۴. ۲. ارزیابی کیفیت آب رودخانه براساس شاخص‌های کیفیت آب

نتایج بررسی نمونه‌برداری‌ها نشان داد که شاخص‌ها تغییرات زیادی در فصول مختلف سال داشتند. ارزیابی شاخص IRWQI گستردگی در نتایج را در برداشت، به‌طوری‌که حدود ۷۵ درصد نمونه‌ها در محدوده "نسبتاً خوب" تا "بسیار خوب"، ۱۵ درصد آن‌ها در محدوده "متوسط" تا " بد" قرار داشتند. هم‌چنین، کیفیت آب در فصل تابستان در بهترین وضعیت خود و در زمستان در بدترین وضعیت خود قرار داشت. ارزیابی براساس شاخص NSFWQI نشان می‌دهد که از بین ۱۲ نمونه، پنج نمونه از آن‌ها در دسته آب با کیفیت "متوسط" و چهار نمونه‌ها در دسته آب با کیفیت "خوب" طبقه‌بندی دو نمونه در دسته‌بندی "بد"و تنها یک نمونه در دسته‌بندی "عالی" قرار دارد. به‌طورکلی، با استدلال بر نتایج حاصله می‌توان اظهار کرد که طبق شاخص IRWQIsc کیفیت آب رودخانه در محدوده "بسیار خوب" تا "نسبتاً خوب" و طبق NSFWQI در محدوده "متوسط" تا "خوب" دسته‌بندی می‌شود. معادل توصیفی شاخص‌ها در جدول (۶) آمده است.

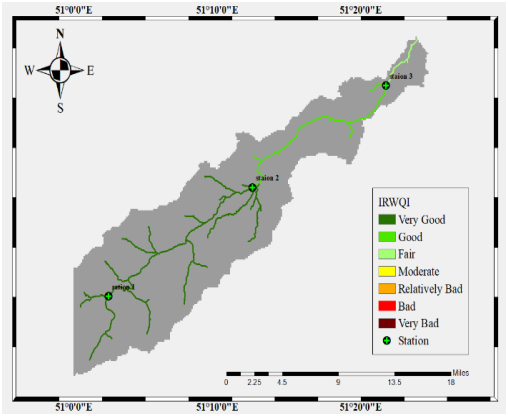
Table 6. Descriptive equivalent of IRWQI and NSFWQI indices in three sampling stations a) spring, b) summer

Spring					Summer				
Number	Index IRWQI		Index NSFWQI		Number	Index IRWQI		Index NSFWQI	
	value	Classification	value	Classification		value	Classification	value	Classification
1	92.12	Very good	91.35	Excellent	1	89.692	Very good	73.215	Good
2	87.065	Very good	70.805	Good	2	72.023	Good	61.605	Modrate
3	67.8	Relatively good	63.465	Modrate	3	68.3	Relatively good	48.075	Bad

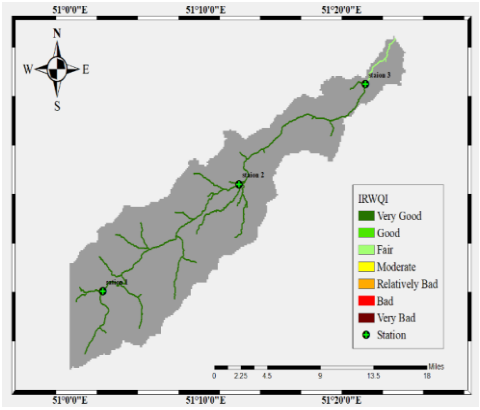


(a) (b)

Figure 2. River water quality changes based on NSFWQI index in a) spring and b) summer



(c)

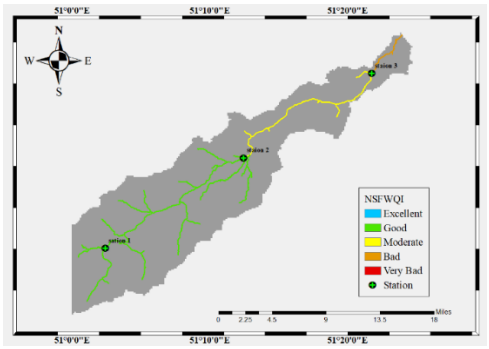


(d)

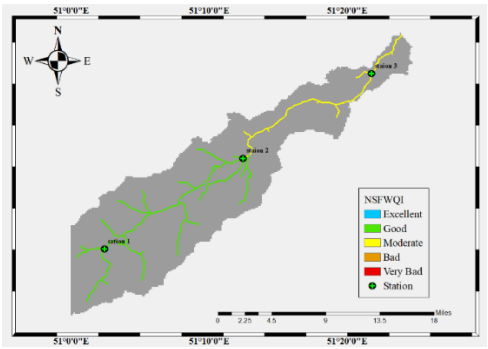
Figure 3. River water quality changes based on the IRWQIsc index in c) spring and d) summer

Table 7. Descriptive equivalent of IRWQI and NSFWQI indices in three sampling stations a) autumn, b) winter

Autumn					Winter				
Number	Index IRWQI		Index NSFWQI		Number	Index IRWQI		Index NSFWQI	
	value	Classification	value	Classification		value	Classification	value	Classification
1	85.2	Very good	76.455	Good	1	84.4	Good	81.015	Good
2	63.25	Modrate	57.675	Modrate	2	66.9	Relatively good	69.9	Modrate
3	35.6	Relatively bad	48.185	Bad	3	30.42	Bad	66.1	Modrate

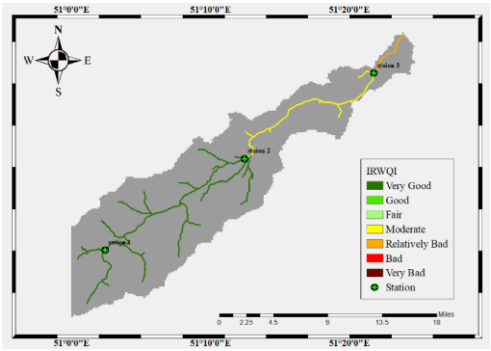


(a)

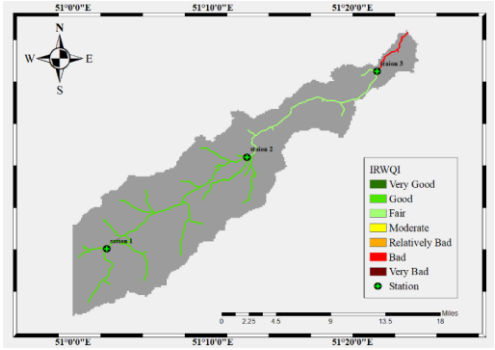


(b)

Figure 4. River water quality changes based on NSFWQI index in a) autumn and b) winter



(c)



(d)

Figure 5. River water quality changes based on the IRWQI index in a) autumn and b) winter

۴. نتیجه‌گیری

در این مطالعه تغییرات شاخص کیفی آب براساس IRWQI و NSFWQI طی چهار فصل، در سه بخش بالادست، میان‌دست و پایین‌دست رودخانه سرداب رود بررسی و مطالعه شد. تطابق نتایج حاصله از پیاده‌سازی دو شاخص در این مطالعه می‌تواند نشان‌دهنده سازگاری و کاربری بالای این روش در تعیین کیفیت آب حوضه‌های آبریز باشد. براساس نتایج، در تمامی فصول میزان هر دو شاخص در بالادست رودخانه در بیش‌ترین حالت خود قرار دارد که امری منطقی است که نشان‌دهنده کیفیت بهتر آب در سرچشمه است. بیش‌ترین و کم‌ترین مقادیر مربوط به شاخص IRWQIsc به‌ترتیب معادل ۹۲/۱۲ در فصل بهار در ایستگاه بالادست و ۳۰/۴۲ در فصل پاییز در ایستگاه پایین‌دست و برای شاخص NSFWQI معادل ۹۱/۳۵ در فصل بهار در ایستگاه بالادست و ۴۸/۰۷۵ در فصل تابستان در ایستگاه پایین‌دست به‌دست آمد. کاهش شاخص کیفیت آب از ایستگاه یک به سه، نشان‌دهنده وجود مناطق مسکونی و استفاده از اراضی زمین برای مصارف دامپروری و کشاورزی باشد. پساب‌های شهری و کشاورزی وارد این آب این رودخانه می‌شوند و دلایلی برای افزایش میزان مواد مغذی، کاهش اکسیژن محلول، COD و BOD هستند.

هم‌چنین افزایش مهاجرت به شهرهای شمالی کشور ایران و سفرهای تفریحی، افزایش ساخت‌وساز به‌دنبال از بین‌بردن جنگل‌ها و مراتع همگی از منابع آلوده‌کننده رودخانه‌های شمال کشور می‌باشد که این عوامل بر کیفیت رودخانه سردابرود هم تأثیر گذاشته است. چالش‌های به‌وجودآمده در پی تخریب محیط‌زیست و در معرض خطر قرارگرفتن آبزیان این حوضه آبریز نیازمند مدیریت سریع، بهینه و کارآمد مصارف آب، آب‌های برگشتی و پساب‌هاست. فرهنگ‌سازی عمومی و اصلاح الگوهای پیشین همگی نیازمند تخصیص منابع مالی و انسانی از سمت دولت است. دولت وظیفه دارد تا علاوه بر تخصیص‌دادن منابع مالی، بر تنظیم و تدوین، اجرا و نظارت بر قوانین حاکم بر مدیریت و حفظ محیط‌زیست و توسعه پایدار اعمال قدرت نماید.

۵. پی‌نوشت‌ها

1. Water Quality Index
2. Iran Water Quality Index for Surface Water Resources-Conventional Parameters
3. Biochemical oxygen demand (BOD)
4. Chemical Oxygen Demand (COD)
5. Narional Sanitation Foundation water quality index

۶. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافعی توسط نویسندگان وجود ندارد.

۷. منابع

Aghaee, M., Heshmatpour, A., G. Mahmoodlu, M., & Seyedian, S. M. (2020). Investigation of Water Quality of Chehelchay River Using IRWQIsc Index. *Journal of Environmental Science and Technology*, 22(5), 153-166. (in Persian)

Aghajanloo, K., Hajizadeh, E., & Ariaeezadeh, S. (2022). Evaluation of Karun River Water Quality Based on IRWQI and WAWQI Indicators in Molasani and Ahvaz Stations. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 53(2), 367-380. (in Persian)

Chowdhary, P., Bharagava, R. N., Mishra, S., & Khan, N. (2020). Role of Industries in Water Scarcity and Its Adverse Effects on Environment and Human Health. In Environmental Concerns and Sustainable Development. *Air, Water and Energy Resources,*1, 235-256.

Ebraheim, G., Zonoozi, M. H., & Saeedi, M. (2020). A comparative study on the performance of NSFWQIm and IRWQIsc in water quality assessment of Sefidroud River in northern Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(11).

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)

Khoshravesh, M., Sarjaz, M. R., Tehrani, E. N., & Koulaian, A. (2015). The Impacts of Urbanization and Impervious Surfaces on Runoff of Sardaabrud Basin, Kalardasht, using HEC-HMS Rainfall-Runoff Model. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 9(1), 209-220. (in Persian)

Larijani, S., Hossein, B., Kavian, A., & Ziaei, A. N. (2022). Sensitivity assessment of two water quality models NSFWQI and IRWQISC in Haraz River. *Iranian Journal of Irrigation &amp*; *Drainage*, 16(4), 816-830. (in Persian)

Mazlomi Mochani, M., Hatami, A., Moridi, 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. *Water and Irrigation Management*, 13(3), 581-592. (in Persian)

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

Rezaeiarshad, N., Rafiee, M., Sayyadi, M., & Eslami, A. (2022). Spatiotemporal Analysis and Health Risk Assessment of Nitrate in Kan River Basin, Tehran: Application of IRWQI and Monte Carlo Simulation. *Journal of Environmental Health and Sustainable Development*, 7(4), 1797-1815.

Samadi, J. (2016). Survey of Spatial-Temporal Impact of Quantitative and Qualitative of Land Use Wastewaters on Choghakhor Wetland Pollution Using IRWQI Index and Statistical Methods View project. *Iran-Water Resources Research*, 159-171 (in Persian)

Tiyasha, Tung, T. M., & Yaseen, Z. M. (2020). A survey on river water quality modelling using artificial intelligence models: 2000-2020, *Journal of Hydrology*, 585, 124670

Al-Sudani, I.M., Al-Razzaq, H.T.A., Khraibet, A.C., & Mohammed, H.J. (2022). Impacts of untreated sewage effluent on Tigris river water quality using (NSF-WQI) index. *Journal of Genetic and Environmental Resources Conservation*, 10(1), 7-13.

Valadan Zouj, M. J., Rezaei, Y., Vaziri, F., & Mobasheri, M. R. (2009). Investigation on Alam Chal Glacier Using Satellite Images. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 18(70), 2-13. https://doi.org/10.22071/gsj.2009.57363 (in Persian)