



Temporal and Spatial Zoning of Qualitative and Toxic Pollution Along the Protected Mazandaran River

Navid Taleghani¹ | Ali Moridi² | Reza Khalili³

1. Department of Water, Wastewater and Environmental Engineering, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. E-mail: navidtaleghani.ce@gmail.com
2. Corresponding Author, Department of Water, Wastewater and Environmental Engineering, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. E-mail: a_moridi@sbu.ac.ir
3. Department of Water, Wastewater 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 12 October 2024
Received in revised form
23 December 2024
Accepted 11 February 2025
Published online 17 May 2025

Keywords:

Haraz River
NSFWQI Index
Toxic Water Pollution
Water Quality Index

ABSTRACT

This research investigates the water quality of the Haraz River, focusing on the impact of human activities and agriculture on water quality parameters. The main objective of this study is to assess the changes in water quality parameters and identify the factors influencing these changes using the NSFWQI index and toxicity, along with statistical analyses. This assessment is conducted to provide strategies for better management of water resources and reduction of pollution. In this study, sampling was conducted from 12 stations along the Haraz River at four different time periods. Parameters such as BOD, nitrate, phosphate, turbidity, and fecal coliform were measured. Data analysis was performed using ArcGIS software and the NSFWQI index. Additionally, agricultural pesticides were tested during two sampling periods. The results indicated that human and agricultural activities lead to increased BOD and fecal coliform. The most significant changes were observed at the downstream stations, where population density and the influx of industrial and agricultural effluents are higher. The concentration of agricultural pesticides was within the range of global standards. The high correlation of nitrate and phosphate parameters with BOD and turbidity indicates a direct impact of these parameters on each other. Human activities have a significant impact on the water quality of the Haraz River, and proper management of resources and reduction of pollution are essential for maintaining water quality. This study shows that the best water quality was observed in autumn, while the lowest quality was noted in spring. According to studies conducted in other protected rivers of Mazandaran province, it is generally clear that water quality decreases from upstream to downstream, and the reason for this is mainly human activity, including urban and industrial wastewater, and agriculture and animal husbandry in downstream areas.

Cite this article: Taleghani, N., Moridi, A., & Khalili, R. (2025). Temporal and Spatial Zoning of Qualitative and Toxic Pollution Along the Protected Mazandaran River. *Journal of Water and Irrigation Management*, 15 (1), 109-130. DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2025.382749.1183>



© The Author(s).

DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2025.382749.1183>

Publisher: University of Tehran Press.



پهنه‌بندی زمانی و مکانی آلودگی‌های کیفی و سمی در طول رودخانه حفاظت‌شده مازندران

نوید طالقانی^۱ | علی مریدی^۲ | رضا خلیلی^۳

۱. گروه مهندسی آب، فاضلاب و محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: navidtaleghani.ce@gmail.com
۲. 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
۳. 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

چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۲۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۰/۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۲۳
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۲/۲۷

این پژوهش به بررسی کیفیت آب رودخانه هراز با تمرکز بر تأثیر فعالیت‌های انسانی و کشاورزی بر پارامترهای کیفیت آب و مقایسه با دیگر رودخانه‌های حفاظت‌شده استان مازندران می‌پردازد. هدف اصلی این مطالعه، ارزیابی تغییرات پارامترهای کیفیت آب و شناسایی عوامل مؤثر بر این تغییرات با استفاده از شاخص NSFQI و سمیت و تحلیل‌های آماری است. این ارزیابی به منظور ارائه راه‌کارهایی برای مدیریت بهتر منابع آبی و کاهش آلودگی‌ها انجام می‌شود. در این پژوهش، نمونه‌برداری از ۱۲ ایستگاه در طول رودخانه هراز در چهار دوره زمانی مختلف انجام شد. پارامترهایی مانند BOD، نیترات، فسفات، کدورت و فیکال کلیفرم اندازه‌گیری شدند. تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS و شاخص NSFQI صورت گرفت. همچنین، سموم کشاورزی در دو دوره نمونه‌برداری آزمایش شدند. نتایج نشان داد که فعالیت‌های انسانی و کشاورزی باعث افزایش BOD و فیکال کلیفرم می‌شود. بیش‌ترین تغییرات در ایستگاه‌های پایین‌دست مشاهده شد، جایی که تراکم جمعیت و ورود پساب‌های صنعتی و کشاورزی بیش‌تر است. غلظت سموم کشاورزی در محدوده استانداردهای جهانی قرار داشت. همبستگی بالایی پارامترهای نیترات و فسفات با BOD و کدورت نشان‌دهنده تأثیر مستقیم این پارامترها بر یکدیگر است. فعالیت‌های انسانی تأثیر قابل‌توجهی بر کیفیت آب رودخانه هراز دارند و مدیریت صحیح منابع و کاهش آلودگی‌ها برای حفظ کیفیت آب ضروری است. این مطالعه نشان می‌دهد که بهترین کیفیت آب در فصل پاییز و پایین‌ترین کیفیت در فصل بهار مشاهده شده است. با توجه به مطالعات انجام‌شده در دیگر رودخانه‌های حفاظت‌شده استان مازندران به‌صورت کلی مشخص است که کیفیت آب از بالادست به سمت پایین‌دست کاهش می‌یابد و علت این امر هم به‌طور عمده فعالیت انسانی شامل فاضلاب‌های شهری و صنعتی و کشاورزی و دام‌پروری در مناطق پایین‌دست می‌باشد.

کلیدواژه‌ها:

آلودگی‌های سمی آب
رودخانه هراز
شاخص کیفیت آب
NSFQI شاخص

استناد: طالقانی، نوید؛ مریدی، علی و خلیلی، رضا (۱۴۰۴). پهنه‌بندی زمانی و مکانی آلودگی‌های کیفی و سمی در طول رودخانه حفاظت‌شده مازندران. نشریه مدیریت آب و آبیاری، ۱۵ (۱)، ۱۰۹-۱۳۰. DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2025.382749.1183>



۱. مقدمه

آب یکی از حیاتی‌ترین عناصر موجود روی کره زمین است، بدون آب موجودات قادر به ادامه حیات نیستند، تمامی تمدن‌های جهان در طول تاریخ در اطراف منابع آب شیرین شکل گرفته است. آب‌های شیرین یکی از مهم‌ترین منبع طبیعی بر روی زمین است که برای همه موجودات ضروری می‌باشد (Qin et al., 2025). یکی از منابع تأمین‌کننده آب شیرین مصرفی ما رودخانه‌ها می‌باشند، از این رو، تعیین کیفیت آب رودخانه برای ما از اهمیت خاصی برخوردار است چراکه آب خروجی از این رودخانه می‌تواند به‌عنوان آب شرب، آب مصرفی در کشاورزی و صنایع استفاده گردد (Wu et al., 2020). در سال‌های اخیر تخلیه بی‌رویه فاضلاب‌های شهری، صنعتی، شیرابه‌ها و زباله‌ها به محیط‌زیست، کاربرد وسیع کودهای کشاورزی و استفاده از آفت‌کش‌ها و حشره‌کش‌ها موجب آلودگی و کاهش کیفیت منابع آبی شده است (Abbasnia et al., 2019). برای بررسی کیفیت آب می‌توان از شاخص‌های کیفیت آب WQI^۱ که یکی از پرکاربردترین روش‌ها برای نمایش جامع و صریح کیفیت آب سطحی و زیرزمینی می‌باشد استفاده کرد (Berry et al., 2020). مدل‌های WQI با ارائه یک عدد منفرد وضعیت کیفیت آب را از طریق ادغام چندین پارامتر میکروبیولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی بیان می‌کند (Mukate et al., 2019). از شاخص‌های کیفیت آب WQI به‌طور معمول دانشمندان آب، سیاست‌گذاران و عموم مردم برای تصمیم‌گیری، ترسیم روندهای مکانی و زمانی، ردیابی منابع آلودگی، ارزیابی دستورالعمل‌های نظارتی و سیاست‌های زیست‌محیطی و از همه مهم‌تر برای پیشنهادهای توسعه آینده استفاده می‌کنند. رویکردهای مختلفی برای ارزیابی منابع آب و وضعیت کیفیت آب با استفاده از شاخص کیفیت آب در رودخانه ارائه شده است (Wu et al., 2018). یکی از رایج‌ترین و ساده‌ترین شاخص‌های کیفیت آب در جهان، شاخص کیفیت آب ملی بنیاد ملی بهداشت (NSFWQI)^۲ است که به‌دلیل توضیح ساده و قابل‌فهم از نتایج، در پژوهش‌های کیفیت آب نقش مهمی ایفا می‌کند. پس از اندازه‌گیری پارامترهای PH، اکسیژن موردنیاز تجزیه زیست‌شیمیایی (BOD)^۳، کل مواد جامدات معلق (TSS)^۴، اکسیژن محلول در آب^۵، کدورت، دما، میزان فسفات، نیترات و کلیرم مدفوعی، یک وزن یا یک مقدار عددی به هر یک از پارامترها اختصاص داده می‌شود و سرانجام از روابط ریاضی برای محاسبه شاخص نهایی استفاده می‌شود (Aazami et al., 2020). شاخص NSFWQI یک شاخص با روند کاهشی است، به‌عبارت دیگر، ارزش شاخص با افزایش میزان آلودگی آب نسبت عکس دارد. با توجه به توسعه صنایع و کشاورزی در اطراف رودخانه هراز و استفاده آن‌ها از ترکیبات مختلف شیمیایی و سموم باعث شده تا بخشی از این آلودگی سموم وارد رودخانه شود، برای بررسی این موضوع نه سم دیازینون (Diazinon)، فنیتراتیون (Fenitrothion)، دی‌کلرووس (Dichlorovous)، متیل پاراتیون (Methyl Parathion)، ایتون (Ethion)، دیمیتوات (Demethoat)، پروفنفس (Profenofos)، مالاتیون (Malathion) و آزینفوس متیل (Azinphos) را در آب رودخانه اندازه‌گیری کردیم تا میزان آلودگی را موردبررسی قرار دهیم و سپس این مقدار را با استاندارد سازمان بهداشت جهانی^۶ موردبررسی قرار می‌دهیم.

Rad (2022) به بررسی کیفیت آب رودخانه هراز با استفاده از شاخص‌ها IRWQIsc و NSFWQI پرداختند. نتیجه این بررسی نشان داد که عوامل بسیاری در کاهش کیفیت آب این رودخانه مؤثرند که از میان تمامی این عوامل فعالیت‌های انسانی در مسیر رودخانه است که بیش‌ترین تأثیر را دارد. Khalili et al. (2020) ارزیابی کیفیت آب رودخانه گرمارود با استفاده از شاخص کیفیت آب بنیاد ملی بهداشت (NSFWQI)، شاخص آلودگی رودخانه (RPI) و شاخص کیفیت وزنی حسابی آب (WAWQI) انجام دادند و این بررسی‌ها نشان داد که کیفیت آب رودخانه گرمارود در شرایط مطلوبی قرار ندارد و عوامل اصلی آلوده‌کننده شامل زباله‌های حیوانی مربوط به دامداری و فاضلاب و دفع زباله شهری و همچنین پساب کشاورزی می‌باشد. Yousefi et al. (2019) به تعیین کیفیت آب سد باباحیدر در استان

چهارمحال و بختیاری با استفاده از شاخص NSFQWI پرداختند. آن‌ها هفت ایستگاه برای نمونه‌گیری انتخاب و طی سال‌های ۲۰۱۲-۲۰۱۳ موردبررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که آب سد به‌طور کلی با کسب امتیاز در محدوده ۹۰-۷۱ در طبقه‌بندی متوسط قرار دارد و در بین کلیه ایستگاه‌ها، ایستگاه شماره شش بهترین شرایط را داشته زیرا در این ایستگاه فقط کلیفرم مدفوعی صفر یافت شده است. Dewata (2019) به بررسی کیفیت آب چهار رودخانه اصلی در پادانگ کشور اندونزی، یعنی رودخانه کندیس، رودخانه هو دینگین، رودخانه کورنجی و رودخانه آرا با استفاده از شاخص RPI و شاخص NSFQWI پرداختند. آن‌ها داده‌های مورد استفاده در پژوهش را از شش ایستگاه نمونه‌برداری برای هر رودخانه از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۸ جمع‌آوری و موردبررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که وضعیت کیفیت آب چهار رودخانه اصلی در شهر پادانگ از سال ۲۰۱۵ تاکنون در وضعیت متوسط بوده است و شاخص آلودگی کلیه رودخانه‌ها در دامنه ۱۱/۶ تا ۶/۶ قرار دارد و همچنین محاسبه شاخص NSFQWI نشان داد که کیفیت آب رودخانه در محدوده ۴۸/۷۵-۲۹/۲۷ قرار دارد. همچنین به‌منظور ارزیابی کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌توان از شاخص WAWQI استفاده کرد. در این شاخص جهت ارزیابی دقیق‌تر کیفیت آب علاوه بر پارامترهای بیان‌شده از سختی کل، منیزیم، کلراید، کلسیم و سولفات جهت ارزیابی دقیق‌تر کیفیت آب استفاده می‌شود. Ebrahimi et al. (2023) نیز به مطالعه به بررسی بقایای دیازینون، کلرپیرفوس و دیکلرووس در منابع تأمین آب شرب شهری و تعیین شاخص کیفیت آب در شهرستان تیران و کرون استان اصفهان کشور ایران در سال ۲۰۲۰ انجام‌شده و نتایج نشان داد که بقایای سموم مورد مطالعه در تمامی نمونه‌ها بسیار کمتر از حداکثر مجاز سازمان بهداشت جهانی است. رودخانه هراز یک رودخانه حفاظت‌شده است و آب آن در مصارف مختلف مثل کشاورزی و صنعتی و شرب استفاده می‌شود و همچنین در طول مسیر ۱۰ تا ۱۲ تا ایستگاه پرورش ماهی وجود دارد و بخشی از آب رودخانه نیز در مخزن سد ذخیره می‌شود. به همین دلیل بررسی کیفیت فیزیکی و شیمیایی آب رودخانه هراز بسیار اهمیت دارد. باوجود کشاورزی زیاد در حوضه این آبریز و استفاده آن‌ها از سموم مختلف آلودگی آب به این سموم وجود دارد و اگر این آب به این سموم آلوده باشد باعث به‌خطرافتادن حیات انسان‌ها و حیواناتی که از این حوضه استفاده می‌کنند می‌گردد. از این رو، علاوه بر کیفیت فیزیکی و شیمیایی آب، وجود این سموم هم موردبررسی قرار دادیم. برای این که آلودگی آب رودخانه هراز را در ابعاد وسیع‌تر موردبررسی قرار دهیم مقدار بی‌فیل پلی‌کلرین (PCB)^۷ و مقدار کل هیدروکربن‌های نفتی (TPH)^۸ را نیز اندازه‌گیری و مقدار آن را بررسی کردیم.

۲. مواد و روش‌ها

۲.۱. منطقه مورد مطالعه

رودخانه هراز، در حوضه هراز استان مازندران شکل (۱) واقع شده است. حوضه رودخانه هراز به‌عنوان یکی از شاخص‌ترین حوضه‌های جنوبی دریای خزر، از دره‌های البرز شمالی تا سواحل جنوبی دریای خزر در استان مازندران ایران امتداد دارد. طول کلی جریان اصلی و مساحت زهکشی حوضه به‌ترتیب ۱۸۵ کیلومتر و ۵۱۰۰ کیلومترمربع برآورد شده است. نمارستاق، شیرکلا، رزن و چلاو رود از سرشاخه‌های اصلی تغذیه‌کننده این رودخانه هستند. در طول تابستان، بارندگی کم‌تری وجود دارد و سطح آب رودخانه کاهش می‌یابد. در طول زمستان، به‌دلیل بارندگی و برف شدید، سطح آب رودخانه افزایش می‌یابد. همچنین، کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه که شامل کاربری‌های مختلف کشاورزی، مسکونی است، در شکل (۲) نمایش داده شده است. این نقشه اطلاعات ارزشمندی درباره نحوه توزیع و نوع فعالیت‌های انسانی در منطقه ارائه می‌دهد که می‌تواند تأثیرات آن‌ها بر کیفیت آب رودخانه را روشن‌تر کند.

۲.۲. انتخاب ایستگاه‌های نمونه‌برداری

نمونه‌برداری از ۱۲ ایستگاه در یک سال آبی (تابستان ۱۴۰۲ تا بهار ۱۴۰۳) به‌صورت فصلی انجام‌شده است. مشخصات جغرافیایی ۱۲ ایستگاه نمونه‌برداری تعیین‌شده در طول این رودخانه در شکل (۱) قرار دارد. معیارهای متعددی برای انتخاب این ۱۲ ایستگاه به‌عنوان نقاط نمونه‌برداری در نظر گرفته‌شده است. این معیارها شامل موقعیت‌هایی در ابتدای مسیرهای اصلی جریان آب، مناطق بالادست و پایین‌دست پروژه‌های صنعتی، محل‌های مرتبط با استخراج منابع، نقاط تخلیه فاضلاب شهری و اطراف مراکز جمعیتی و همچنین مکان‌هایی که به‌عنوان منابع اصلی تأمین آب برای مصارف گوناگون شناخته می‌شوند، بوده است.

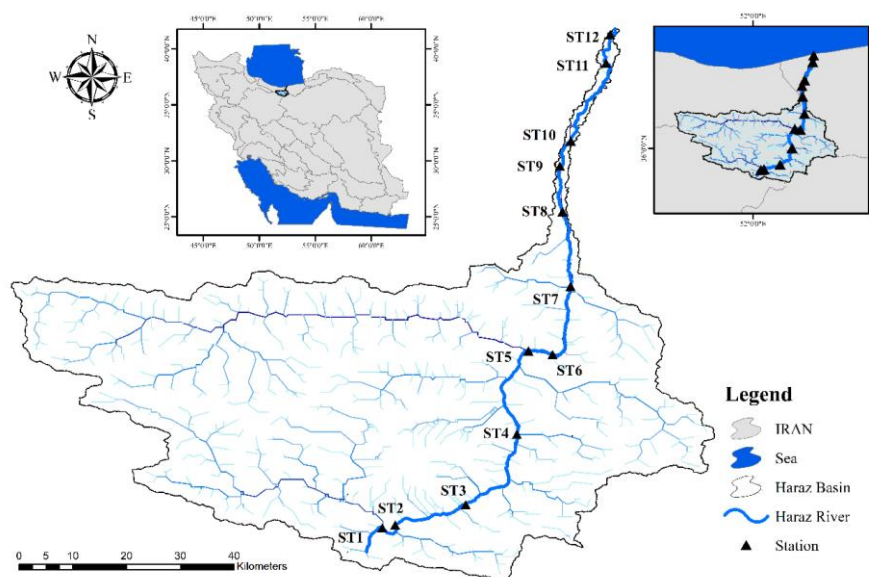


Figure 1. The Haraz River Basin and the course of the Haraz River (Sampling Stations)

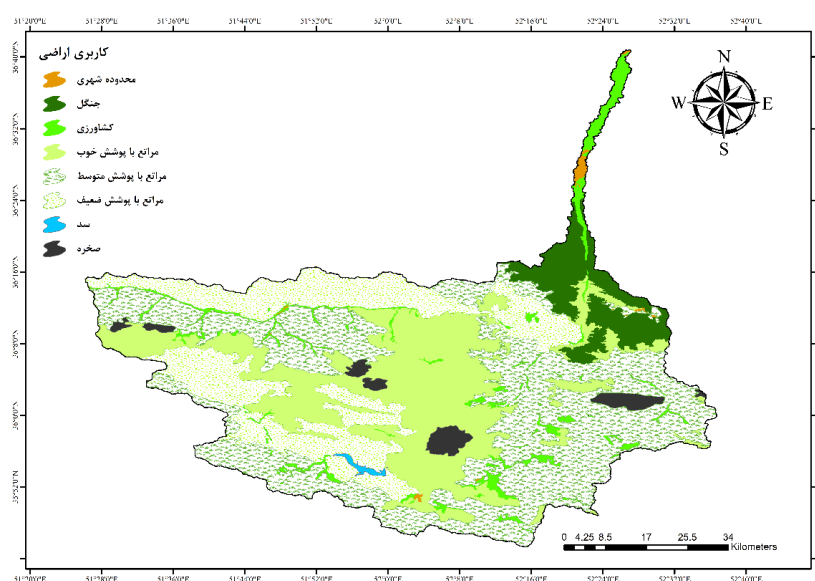


Figure 2. Land use map of the study area

۳.۲. شاخص کیفیت آب NSFQI

در سال ۱۹۷۰ میلادی سازمان بهداشت جهانی طرحی را به مرحله اجرا درآورد که بر اساس این طرح ۱۴۲ نفر از پژوهش‌گران در سراسر دنیا و از ملیت‌های مختلف انتخاب‌شده و بر روی ۳۵ پارامتر برای تعیین شاخص کیفیت آب آزمایش‌های متعددی انجام دادند و در نهایت نه پارامتر را به‌عنوان پارامترهای اساسی برای تعیین شاخص کیفیت آب معرفی کردند. این نه پارامتر عبارتند از اکسیژن محلول (DO)، pH، تغییرات دما، BOD، فیکال کلیفرم (FC)، کدورت، فسفات کل، نیترات، کل مواد جامد معلق (TSS). پس از اندازه‌گیری پارامترهای تأثیرگذار از نرم‌افزار آنلاین WQI Calculator جهت محاسبه این شاخص استفاده شد. همچنین جهت محاسبه شاخص NSFQI می‌توان از رابطه (۱) استفاده کرد.

$$NSFWQI = \sum_{i=1}^n W_i Q_i \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در رابطه (۱)، W_i پارامتر وزن واحد با مقدار صفر-یک موجود در جدول (۱)، Q_i پارامترهای کیفیت باارزش صفر-۱۰۰، n تعداد پارامترهای محاسبه NSFQI می‌باشد. در ابتدا پارامتر Q_i با استفاده از نمودارهای مربوطه محاسبه می‌گردد و سپس با حاصل ضرب این پارامتر در مقدار وزنی W_i برای تمامی پارامترها شاخص NSFQI به‌صورت یک عدد مجزا برای هر ایستگاه محاسبه می‌شود. این شاخص بین اعداد صفر تا ۱۰۰ بوده و طبق جدول (۲) طبقه‌بندی می‌شود (Radwan et al., 2019). برای بررسی کیفیت آب رودخانه هراز و مقایسه آن با شرایط گذشته، از نتایج برنامه پیشگیری، کنترل و کاهش آلودگی رودخانه هراز که در سال ۱۳۸۶ توسط سازمان حفاظت محیط‌زیست تدوین و بررسی‌شده بود، بهره‌برداری شد. همچنین، داده‌های به‌روز و معتبر ارائه‌شده توسط دفتر پایش فراگیر این سازمان برای تحلیل نه پارامتر کلیدی مرتبط با شاخص NSFQI به‌عنوان منبع اصلی مورد استفاده قرار گرفت.

Table 1. Parameters used and their weights in the NSFQI index

Parameter	Weight	Unit
Fecal Coliform	0.16	MPN/100 ml
BOD ₅	0.11	mg/L
Nitrate	0.1	mg/L
Dissolved Oxygen	0.17	% Saturation
Temperature	0.1	C
Phosphate	0.1	mg/L
Turbidity	0.08	NTU
TSS	0.07	mg CaCO ₃ /L
pH	0.11	-

Table 2. Determination of the descriptive equivalent of the calculated NSFQI index

Descriptive Equivalent	Index Value
Excellent	100-90
Good	89-70
Moderate	69-50
Bad	49-25
Very Bad	24-0

۴.۲. بررسی سمیت آب

بعد از انتخاب ایستگاه‌های نمونه‌برداری در اواسط هر فصل از آب ایستگاه‌ها نمونه‌برداری آب ستونی صورت می‌گرفت. بدین‌صورت که با سه تکرار در مجموع دو لیتر آب در شیشه‌های تاریک ریخته می‌شدند. سپس نمونه‌ها در داخل یونولیت‌های محتوی یخ به آزمایشگاه مرکز تحقیقات سم‌شناسی منتقل شد. در آزمایشگاه سموم کشاورزی به‌وسیله دستگاه GC اندازه‌گیری

می‌شدند. جهت آنالیز سموم موردنظر ستون CB-24 و محفظه ۱۰۷۹ و آشکارساز (TSD)^۹ استفاده شد. از گاز حامل هلیوم در سرعت جریان دو میلی‌لیتر بر دقیقه استفاده شد و برای آشکارساز از گاز make up نیتروژن در سرعت جریان ۲۵ میلی‌لیتر بر دقیقه استفاده شد (Zhang et al., 2023). سموم زیر موردبررسی قرار گرفت؛ تمام سموم حشره‌کش و کنه‌کش هستند.

Table 3. Characteristics of the examined toxins in the study

Name	Chemical Formula	re-Harvest Interval (Days)	Usage	Acute Oral for Rat (mg/kg)	Acute Dermal for Rat (mg/kg)
Dichlorovous	C ₄ H ₇ CL ₂ O ₄ P	2-5	Against vegetable and summer crop pests	56-108	75-210
MethylParathion	C ₈ H ₁₀ NO ₅ PS	2-7	Against various pests	14	67
Diazinon	C ₁₂ H ₂₁ N ₂ O ₃ PS	7-15	Against various pests	300-400	–
Fenitrothion	C ₉ H ₁₂ NO ₅ PS	10-15	Against wheat bug	800	1200
Malathion	C ₁₀ H ₁₉ O ₇ PS ₂	10-15	Against sucking insects	1300-2800	4000
Azinphos-Methyl	C ₁₀ H ₁₂ N ₃ O ₃ PS ₂	Age-Long	Against rodent pests and larvae	150-200	16.4
Ethion	C ₈ H ₂₂ O ₄ P ₄ S ₄	Average	Against scale insects	40-45	208
Demethoat	C ₅ H ₁₂ NO ₃ PS ₂	–	Against sucking insects and mites	250	600-1200
Profenofos	C ₁₁ H ₁₅ BrClO ₃ PS	–	Against cotton bollworm	358	–

۵.۲. تحلیل داده‌ها

۵.۲.۱. ضریب همبستگی پیرسون

در مباحث آماری، ضریب همبستگی پیرسون یا ضریب همبستگی حاصل ضرب گشتاور پیرسون میزان همبستگی خطی بین دو متغیر تصادفی را می‌سنجد، مقدار این ضریب بین منفی یک تا یک تغییر می‌کند که یک به معنای همبستگی مثبت کامل، صفر به معنی نبودن همبستگی و منفی یک به معنی همبستگی منفی کامل است (Šverko et al., 2022). ضریب تعیین میزان اشتراک تغییرات، درصد پراکندگی یا واریانس مشترک بین دو متغیر را تعیین می‌کند. با محاسبه این ضریب می‌توان تعیین کرد که چند درصد از کل واریانس X ناشی از واریانس Y است؛ هرچه این درصد بالاتر باشد، به‌طورقطع رابطه قوی‌تر خواهد بود. ضریب همبستگی پیرسون بین دو متغیر تصادفی برابر با کوواریانس آن‌ها تقسیم‌بر انحراف معیار آن‌ها تعریف می‌شود (Deng et al., 2021).

$$\text{corr}(X, Y) = \frac{E[(X - \mu_X)(Y - \mu_Y)]}{\sigma_X \sigma_Y} \quad \text{رابطه ۲}$$

ضریب همبستگی پیرسون برای یک نمونه آماری با n زوج داده، به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad \text{رابطه ۳}$$

$$r = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i - \bar{X}}{s_X} \right) \left(\frac{Y_i - \bar{Y}}{s_Y} \right) \quad \text{رابطه ۴}$$

که در آن کمیت‌ها به‌صورت زیر تعریف شده‌اند:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad \text{رابطه ۵}$$

$$s_X = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad \text{رابطه ۶}$$

۲.۵.۲. نمودار دندروگرام

دندروگرام یک نمودار ساختاری است که برای نمایش سلسله‌مراتبی و شاخص‌های توصیفی در داده‌ها استفاده می‌شود. نمودار دندروگرام یک نمودار درختی است. این نوع نمودار برای نشان‌دادن سلسله‌مراتبی یک متغیر یا مجموعه داده استفاده می‌شود. در دندروگرام، هر گره از درخت می‌تواند یک متغیر یا یک ویژگی از داده را نمایان کند و ارتباطات و روابط سلسله‌مراتبی بین آن‌ها را نشان می‌دهد (Yotova et al., 2021).

۳. نتایج و بحث

۳.۱. نتایج اندازه‌گیری پارامترهای NSFQI در آب رودخانه هراز

در ایستگاه‌های نمونه‌برداری برای یک سال آبی در هر چهار فصل (بهار و تابستان و پاییز و زمستان) داده‌ها دریافت شد و نتایج پارامتر مربوط به شاخص NSFQI در جدول (۴) قرار دارد.

Table 4. Results of parameter measurements for determining the water quality of the Haraz River using the NSFQI index

Station	Season	DO (mg/l)	Fecal coliform	PH	BOD (mg/l)	PO ₄ ⁻³ (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	Turbidity NTU	TSS (mg/l)
1	Spring	6.8	7	8.3	8	0.03	0.06	8	109
2		6.3	9	8.3	9	0.03	0.04	7	87
3		6.2	5	8.1	3	0.04	0.09	16	99
4		6.1	6	8	5	0.05	0.09	15	170
5		6.2	4	8.2	6	0.05	0.07	14	215
6		6.2	8	8.2	11	0.05	0.08	50	145
7		5.3	15	8.1	19	0.05	1.39	77	258
8		5.1	75	8.2	31	0.08	3.22	153	348
9		4.9	110	8.3	41	0.09	3.77	152	654
10		4.8	125	8.3	48	0.09	3.84	163	724
11		3.9	175	8.3	59	0.13	4.29	185	798
12		4.2	150	8.3	68	0.12	4.15	169	754
1	Summer	5.2	3	8.6	2	0.01	1.6	5	120
2		5.2	3	8.5	3	0.01	1.76	8	128
3		5.1	5	8.4	4	0.03	1.95	11	135
4		5.1	6	8.4	4	0.04	2.08	12	149
5		4.9	6	8.3	5	0.04	2.49	15	179
6		4.7	4	8.3	7	0.02	2.01	12	136
7		4.6	5	8.2	7	0.23	3.4	97	268
8		4.6	7	8.3	24	0.26	3.1	114	298
9		4.3	10	8.2	19	0.15	2.64	136	374
10		4.1	9	8.2	21	0.19	3.17	120	385
11		4.1	15	8.3	29	0.23	3.59	149	420
12		3.6	18	8.3	34	0.22	3.68	165	468
1	Autumn	7.6	1	8	1	0.01	0.09	4	62
2		7.5	2	8.1	1	0.01	0.09	6	85
3		7.3	2	8.1	2	0.01	0.11	9	160
4		7.1	2	8.1	2	0.01	0.15	13	270
5		6.6	3	8.2	3	0.01	1.2	15	320
6		6.3	6	8.4	3	0.01	1.9	16	370
7		6.1	8	8.4	4	0.08	1.8	175	410
8		6.1	25	8.4	4	0.12	1.9	220	1800
9		5.9	17	8.5	7	0.1	2	260	520
10		5.7	12	8.5	11	0.07	3.5	350	875
11		5.6	48	8.5	29	0.1	3.2	300	523
12		5.7	45	8.5	23	0.13	3.1	276	480
1	Winter	8.6	1	8.1	1	0.01	0.06	5	65
2		8.7	2	8.1	1	0.03	0.11	7	93
3		8.6	2	8.2	2	0.08	0.17	8	154
4		8.2	5	8.3	2	0.07	0.78	8	214
5		7.8	7	8.3	3	0.1	0.91	11	298
6		7.5	7	8.2	2	0.09	0.96	121	360
7		7.1	11	8.3	8	0.08	1.9	184	590
8		6.9	48	8.3	24	0.06	1.8	200	462
9		6.5	62	8.4	34	0.18	2.8	205	536
10		6.1	98	8.4	48	0.21	3.2	291	711
11		5.4	114	8.4	98	0.24	3.5	196	540
12		5.9	94	8.4	73	0.22	3.1	120	513

بررسی وضعیت پارامترهای NSFQI در فصل بهار نشان داد که محاسبات انجام‌شده حاکی از نتایج مشخصی است؛ در جدول (۴)، تغییرات فیکال کلیفرم برحسب colonies/100ml نمایش داده شده است. با توجه به تأثیر تراکم جمعیت انسانی در مجاورت رودخانه بر این پارامتر، جدول نشان می‌دهد که از ایستگاه هشتم به بعد، تغییرات قابل‌توجهی نسبت به ایستگاه‌های پیشین مشاهده می‌شود. این موضوع بیانگر آن است که در پنج ایستگاه پایانی، تراکم جمعیت انسانی در نزدیکی رودخانه به‌طور چشمگیری افزایش یافته است. Zhang et al. (2021) نیز به بررسی این موضوع پرداخته و به این نتیجه رسیدند که با افزایش تراکم جمعیت انسانی و حیوانی میزان فیکال کلیفرم افزایش می‌یابد. براساس جدول (۴)، تغییرات پارامتر BOD نشان می‌دهد که کم‌ترین مقدار این شاخص در ایستگاه سوم با ۳ میلی‌گرم بر لیتر ثبت شده است. از ایستگاه هشتم به بعد، مقدار BOD افزایش قابل‌توجهی پیدا کرده و در ایستگاه دوازدهم به اوج خود یعنی ۶۸ میلی‌گرم بر لیتر رسیده است. این افزایش به‌طور عمده ناشی از ورود حجم بالای پساب‌های ناشی از کارگاه‌های پرورش ماهی و فعالیت‌های کشاورزی در اطراف ایستگاه‌های هشتم به بعد بوده است. Susilowati et al. (2018) نیز به بررسی عوامل تأثیرگذار بر غلظت BOD در رودخانه مادوین واقع در اندونزی پرداخته و به این نتیجه رسیدند که جمعیت کل، تعداد شالیزارها، تعداد دام و بارندگی عوامل تأثیرگذار بر غلظت BOD هستند. جدول (۴) مقادیر فسفات کل را نمایش می‌دهد که دامنه آن بین ۰/۰۳ تا ۰/۱۳ میلی‌گرم بر لیتر متغیر است. بیش‌ترین مقدار فسفات، برابر با ۰/۱۳ میلی‌گرم بر لیتر، در ایستگاه یازدهم ثبت شده است. این افزایش احتمالاً به‌دلیل ورود فاضلاب و پساب‌های ناشی از مزارع مجاور این ایستگاه رخ داده است. Simonyan (2021) نیز مطالعات خود را در زمینه تأثیر فاضلاب شهری دلیجان بر رودخانه آگستف در کشور ارمنستان انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که ورود فاضلاب به رودخانه باعث افزایش قابل‌توجه آلودگی مختلف از جمله فسفات کل می‌شود. جدول (۴) نشان‌دهنده تغییرات کدورت آب برحسب NTU است که مقدار آن از ۸۸۵ تا ۱۸۵ NTU در محدوده مصب متغیر بوده است. این تغییرات به‌طور عمده به فعالیت‌هایی نظیر برداشت شن و ماسه و همچنین عواملی که موجب افزایش فسفات می‌شود، می‌توانند عامل اصلی افزایش کدورت آب باشند.

بررسی پارامترها در فصل تابستان نشان می‌دهد که تغییرات اکسیژن محلول (DO) در ۱۲ ایستگاه رودخانه هراز، براساس جدول (۴) مشخص شده است. بیش‌ترین مقدار DO، برابر با ۵/۲ میلی‌گرم بر لیتر، در ایستگاه‌های اول و دوم اندازه‌گیری شده است. در مقابل، کم‌ترین مقدار این پارامتر در ایستگاه دوازدهم ثبت شده است که احتمالاً ناشی از وجود کارگاه‌های پرورش ماهی و زمین‌های کشاورزی متعدد در این منطقه است. Chaturvedi et al. (2019) نیز به بررسی آلودگی آب از طریق تجزیه و تحلیل کیفیت رودخانه‌های مختلف در هند پرداختند و به نتیجه رسیدند که ورود فاضلاب اط منابع و مناطق مختلف به آب رودخانه بر غلظت DO تأثیرگذار است. جدول (۴) تغییرات فیکال کلیفرم را نمایش می‌دهد. با توجه به ارتباط مستقیم این پارامتر با تراکم جمعیت انسانی در نزدیکی رودخانه، می‌توان نتیجه گرفت که در ایستگاه‌های یازدهم و دوازدهم، مقادیر بالای فیکال کلیفرم به‌طور واضح نشان‌دهنده تراکم بالای جمعیت انسانی در این مناطق است. Zhang et al. (2023) نیز به بررسی این موضوع پرداخته و به این نتیجه رسیدند که با افزایش تراکم جمعیت انسانی و حیوانی میزان فیکال کلیفرم افزایش می‌یابد. براساس داده‌های جدول (۴)، تغییرات پارامتر BOD از ایستگاه اول تا هفتم روندی افزایشی اما با اختلاف کم را نشان می‌دهد. با این حال، از ایستگاه هفتم به هشتم جهشی قابل‌توجه رخ داده و حداکثر مقدار BOD در ایستگاه دوازدهم، برابر با ۳۴ میلی‌گرم بر لیتر، ثبت شده است. این افزایش به‌طور عمده به‌دلیل ورود حجم بالای پساب‌های ناشی از کارگاه‌های پرورش ماهی و فعالیت‌های کشاورزی در نزدیکی ایستگاه هشتم رخ داده است. Sharma et al. (2022) نیز با تحلیل کیفیت آب رودخانه‌های گوناگون در هند، آلودگی منابع آبی را بررسی کردند و دریافتند که ورود فاضلاب از نواحی و منابع مختلف به رودخانه‌ها موجب تغییر در غلظت

BOD می‌شود. جدول (۴) تغییرات فسفات کل را با نوسانات قابل توجهی نشان می‌دهد که دامنه آن بین ۰/۰۱ تا ۰/۲۶ میلی گرم بر لیتر متغیر است. بیشترین مقدار فسفات، برابر با ۰/۲۶ میلی گرم بر لیتر، در ایستگاه هشتم ثبت شده است. این افزایش احتمالاً به دلیل ورود فاضلاب و پساب‌های ناشی از فعالیت‌های کشاورزی در مجاورت این ایستگاه رخ داده است. Simonyan (2021) نیز مطالعات خود را در زمینه تأثیر فاضلاب شهری دلیجان بر رودخانه آگستف در کشور ارمنستان انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که ورود فاضلاب به رودخانه باعث افزایش قابل توجه آلودگی مختلف از جمله فسفات کل می‌شود. جدول (۴) تغییرات نیتрат را نمایش می‌دهد که حداکثر مقدار آن در ایستگاه دوازدهم معادل ۳/۶۸ میلی گرم بر لیتر اندازه‌گیری شده است. با توجه به این که غلظت نیترات در اغلب آب‌های طبیعی بین یک تا ۱۰ میلی گرم بر لیتر متغیر است، مقدار نیترات اندازه‌گیری شده برای رودخانه هراز در بازه‌ای مناسب و قابل قبول قرار دارد. همچنین، تغییرات کدورت در جدول (۴) نشان می‌دهد که این پارامتر از ۵NTU در ایستگاه اول تا ۱۶۵NTU در ایستگاه آخر متغیر است. به نظر می‌رسد همان عواملی که موجب افزایش فسفات می‌شوند، در افزایش کدورت آب نیز تأثیرگذار هستند. تغییرات غلظت کل جامدات نیز در جدول (۴) ارائه شده است که رفتار آن شباهت زیادی به تغییرات کدورت دارد. این تشابه به دلیل وابستگی مستقیم این دو پارامتر است، زیرا عواملی که موجب نوسان در کدورت می‌شوند، به همان اندازه بر تغییرات غلظت کل جامدات نیز تأثیر می‌گذارند. بیشترین مقدار جامدات کل در ایستگاه دوازدهم و کمترین مقدار آن، مشابه پارامتر کدورت، در ایستگاه اول ثبت شده است.

در فصل پاییز با توجه به محاسبه پارامترها مشخص است، تغییرات اکسیژن محلول (DO) برحسب میلی گرم بر لیتر برای ۱۲ ایستگاه رودخانه هراز ارائه شده است. بیشترین مقدار DO در ایستگاه اول با ۶/۷ میلی گرم بر لیتر ثبت شده و کمترین مقدار آن در ایستگاه یازدهم به ۶/۵ میلی گرم بر لیتر کاهش یافته است. همچنین، تغییرات پارامتر BOD مطابق جدول (۴) نشان‌دهنده جهش قابل توجهی از ایستگاه دهم به یازدهم است، به طوری که مقدار BOD در ایستگاه یازدهم به ۲۹ میلی گرم بر لیتر رسیده است. اگرچه روند صعودی این پارامتر در سایر ایستگاه‌ها به طور کلی بدون تغییرات چشمگیر بوده، ورود حجم بالای پساب‌های ناشی از کارگاه‌های پرورش ماهی و مزارع کشاورزی در نزدیکی ایستگاه یازدهم و به بعد، عامل اصلی افزایش BOD در این محدوده از رودخانه محسوب می‌شود. در جدول (۴)، تغییرات فیکال کلیفرم برحسب colonies/100ml نمایش داده شده است. این تغییرات با میزان تراکم جمعیت انسانی در مجاورت رودخانه ارتباط مستقیمی دارد. با توجه به جدول، مشخص است که از ایستگاه هشتم به بعد، افزایش چشمگیری در مقایسه با ایستگاه‌های پیشین مشاهده می‌شود. این امر نشان‌دهنده این واقعیت است که در پنج ایستگاه پایانی، تراکم جمعیت انسانی در نزدیکی رودخانه به وضوح قابل مشاهده است. Zhang et al. (2023) نیز به بررسی این موضوع پرداخته و به این نتیجه رسیدند که با افزایش تراکم جمعیت انسانی و حیوانی میزان فیکال کلیفرم افزایش می‌یابد. جدول (۴) نشان‌دهنده نوسانات قابل توجه فسفات کل از ایستگاه هفتم به بعد است. دامنه این تغییرات بین ۰/۰۱ تا ۰/۱۳ میلی گرم بر لیتر گزارش شده است. بیشترین مقدار فسفات در ایستگاه دوازدهم با میزان ۰/۱۳ میلی گرم بر لیتر ثبت شده که می‌توان آن را به ورود فاضلاب و پساب‌های کشاورزی در نزدیکی این ایستگاه نسبت داد. Simonyan (2021) نیز مطالعات خود را در زمینه تأثیر فاضلاب شهری دلیجان بر رودخانه آگستف در کشور ارمنستان انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که ورود فاضلاب به رودخانه باعث افزایش قابل توجه آلودگی مختلف از جمله فسفات کل می‌شود. بر اساس اطلاعات جدول شماره (۴)، تغییرات نیترات بررسی شده است و حداکثر مقدار آن در ایستگاه دهم برابر با ۳/۵ میلی گرم بر لیتر اندازه‌گیری شده است. از آنجاکه غلظت نیترات در بیش تر آب‌های طبیعی بین یک تا ۱۰ میلی گرم بر لیتر است، میزان نیترات اندازه‌گیری شده در رودخانه هراز در محدوده قابل قبول و مطلوبی قرار دارد. همچنین، جدول (۴) تغییرات کدورت آب برحسب NTU را نشان می‌دهد که این مقدار در ایستگاه‌ها بین چهار تا ۳۵۰ NTU متغیر بوده است. می‌توان نتیجه گرفت که

عواملی همچون ورود پساب‌های کشاورزی و کارگاه‌های پرورش ماهی که موجب افزایش فسفات می‌شوند، در افزایش کدورت آب نیز نقش دارند.

در فصل زمستان و براساس محاسبات پارامترها، جدول (۴) تغییرات فیکال کلیفرم را نشان می‌دهد. این تغییرات به‌طور مستقیم با تراکم جمعیت انسانی در مجاورت رودخانه ارتباط دارد. مطابق داده‌های جدول، از ایستگاه هشتم به بعد افزایش چشمگیری نسبت به ایستگاه‌های قبلی مشاهده می‌شود. این روند حاکی از آن است که در پنج ایستگاه پایانی، تراکم جمعیت انسانی در نزدیکی رودخانه به‌وضوح قابل شناسایی است. Zhang et al. (2021) نیز به بررسی این موضوع پرداخته و به این نتیجه رسیدند که با افزایش تراکم جمعیت انسانی و حیوانی میزان فیکال کلیفرم افزایش می‌یابد. مطابق جدول (۴)، تغییرات پارامتر BOD نشان می‌دهد که از ایستگاه هفتم به هشتم افزایش قابل‌توجهی رخ داده است و مقدار این پارامتر در ایستگاه یازدهم به ۹۸ میلی‌گرم بر لیتر رسیده است. به‌نظر می‌رسد ورود حجم بالای پساب‌های ناشی از کارگاه‌های پرورش ماهی و مزارع کشاورزی در محدوده ایستگاه‌های هشتم به بعد، عامل اصلی افزایش BOD در رودخانه باشد. Susilowati et al. (2018) نیز به بررسی عوامل تأثیرگذار بر غلظت BOD در رودخانه مادوین واقع در اندونزی پرداخته و به این نتیجه رسیدند که جمعیت کل، تعداد شالیزارها، تعداد دام و بارندگی عوامل تأثیرگذار بر غلظت BOD هستند. براساس جدول (۴)، تغییرات نیتрат بررسی‌شده و حداکثر مقدار آن در ایستگاه یازدهم برابر با ۳/۵ میلی‌گرم بر لیتر اندازه‌گیری شده است. با توجه به این که غلظت نیترات در بیش‌تر آب‌های طبیعی بین ۱ تا ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر است، مقدار اندازه‌گیری‌شده برای رودخانه هراز در محدوده مناسبی قرار نگرفته است. هم‌چنین، جدول (۴) نشان‌دهنده تغییرات کدورت آب برحسب NTU است که در ایستگاه دهم از ۵ تا ۲۹۱ NTU متغیر بوده است. می‌توان گفت عواملی که باعث افزایش فسفات، نظیر ورود پساب‌های کشاورزی و کارگاه‌های پرورش ماهی می‌شوند، نقش مهمی در افزایش کدورت آب نیز ایفا می‌کنند.

وضعیت کیفیت آب با شاخص کیفیت NSFQI برای هر فصل در ایستگاه‌های نمونه‌برداری محاسبه‌شده و در شکل‌های (۳) تا (۶) قرار دارد. برای مشاهده وضعیت این شاخص بر روی نقشه نیز از نرم‌افزار ArcGis استفاده شده است.

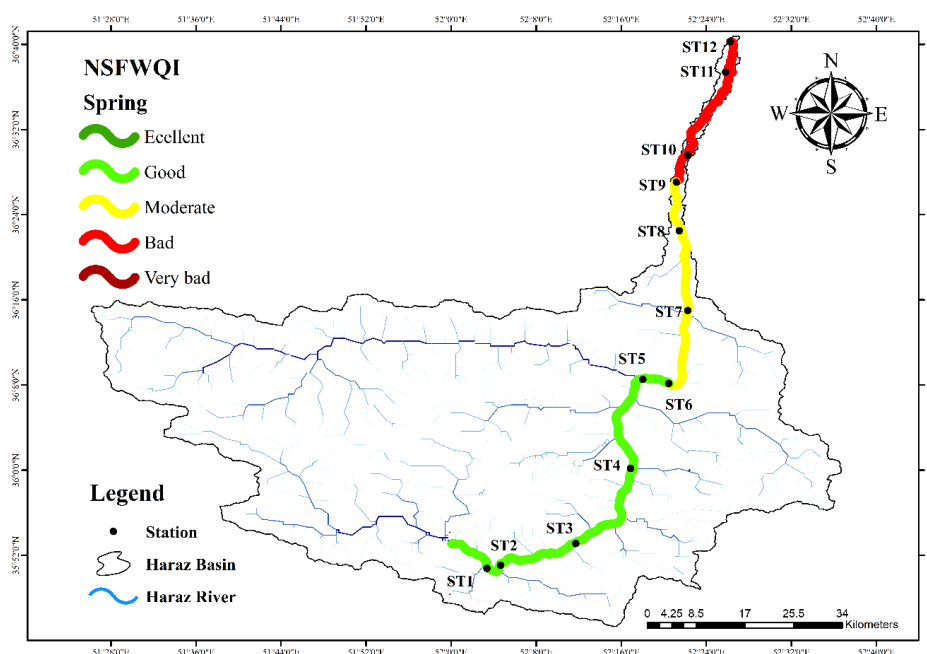


Figure 3. Water quality status using the NSFQI index in the spring season

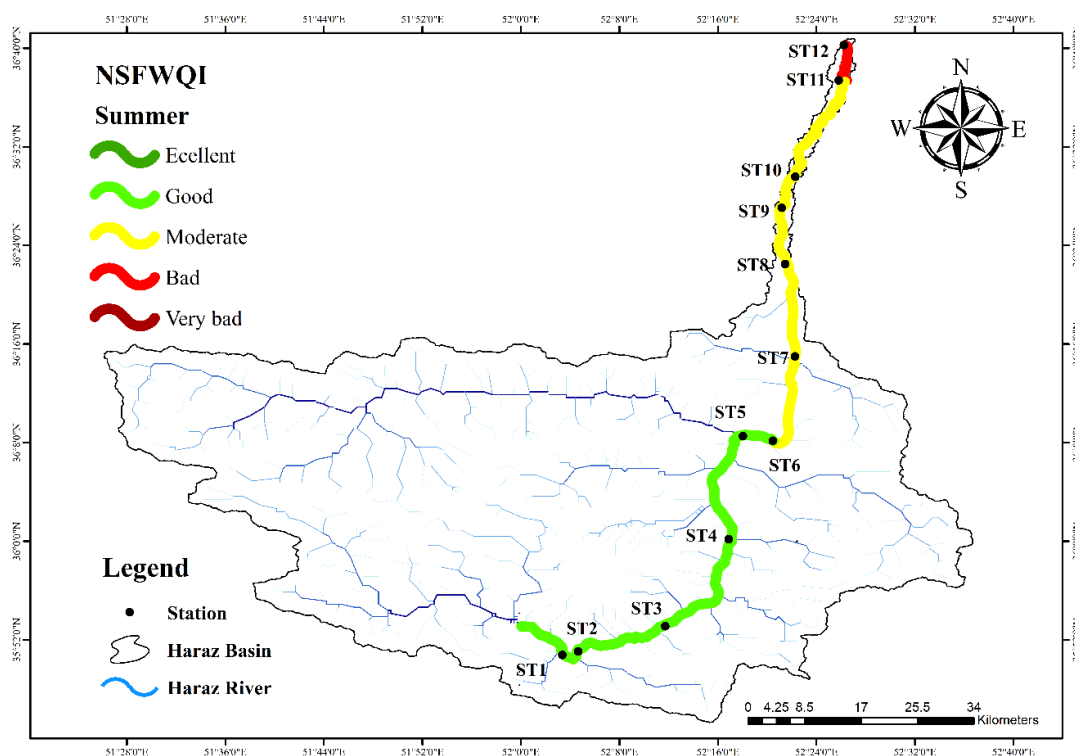


Figure 4. Water quality status using the NSFQI index in the summer season

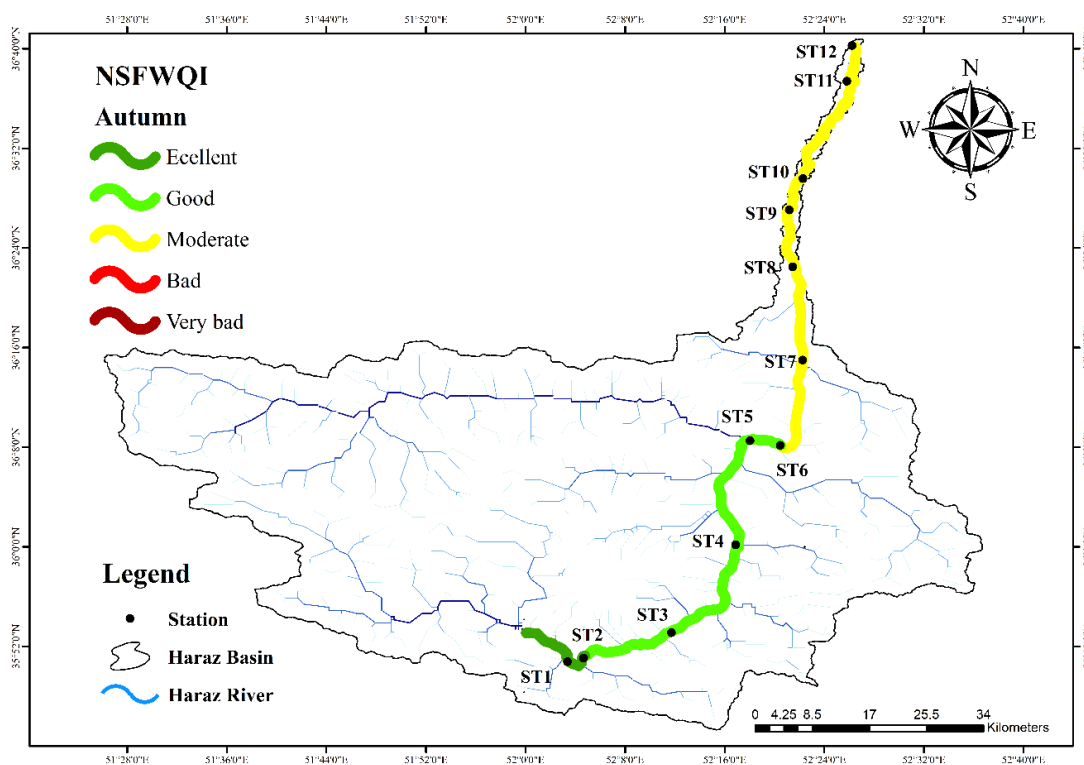


Figure 5. Water quality status using the NSFQI index in the autumn season

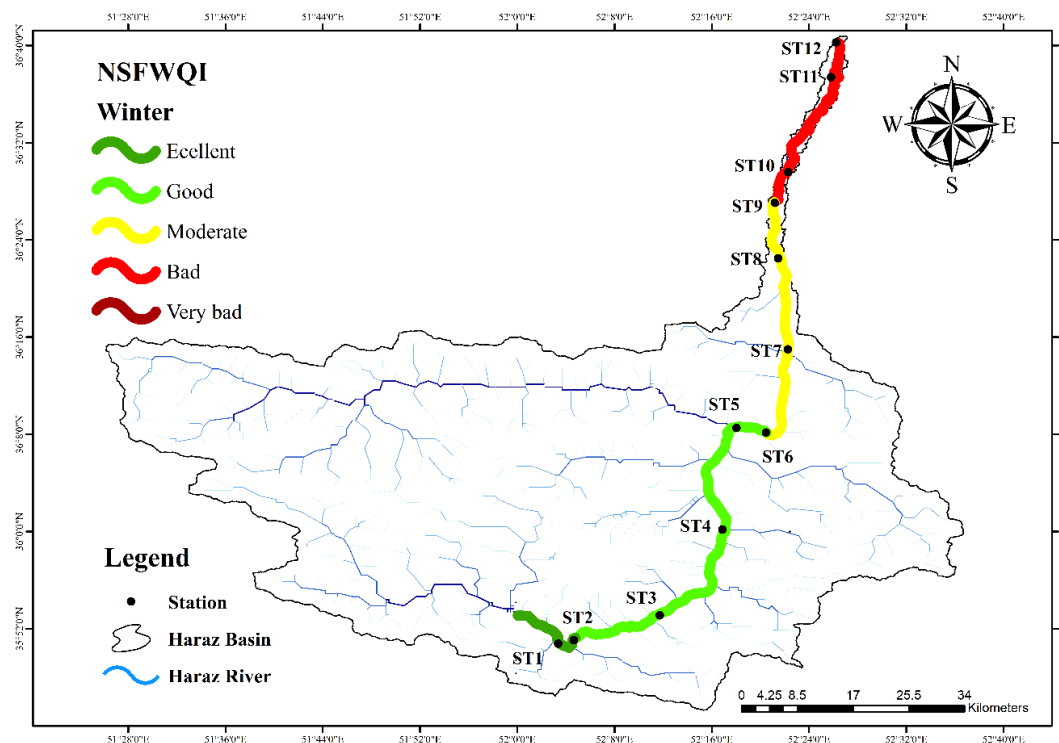


Figure 6. Water quality status using the NSFQI index in the winter season

۳.۲. نتایج اندازه‌گیری نه سم در آب رودخانه هراز

نتایج اندازه‌گیری نه سم در آب در فصل بهار و تابستان از هشت ایستگاه نمونه‌برداری رودخانه هراز برحسب pbb در جدول (۵) نشان داده شده است. سموم موردبررسی سمومی است که در کشاورزی استفاده می‌شود، در فصل پاییز و زمستان در این مناطق کشاورزی به‌صورت خیلی محدود انجام می‌شود، ازاین‌رو سموم فقط در فصولی که کشاورزی انجام می‌شود بررسی شده است.

Table 5. Amount of toxins present in the water of the Haraz River (in pbb) at 8 sampling stations

Station	Season	Diazinon	Fenitrothion	Dichlorovous	Methyl Parathion	Ethion	Demethoat	Profenofos	Malathion	Azinphos methyl
2	Spring	0.22	0.12	0.32	0	0.1	0	0.11	0.19	0.23
5		0.56	0.32	0.45	0.12	0.15	0	0.13	0.18	0.38
7		0.47	0.33	0.63	0.15	0.15	0.02	0.14	0.39	0.35
8		0.68	0.44	0.68	0.16	0.15	0.03	0.16	0.48	0.87
9		2.12	0.45	1.25	0.7	0.32	0.02	0.18	0.37	0.98
10		1.96	0.48	1.16	0.23	0.39	0.02	0.21	0.67	1.23
11		2.23	0.53	1.76	0.32	0.33	0.04	0.3	0.91	1.98
12		2.12	0.78	1.93	0.48	0.39	0.06	0.39	1.23	2.4
2	Summer	0.37	0.33	0.67	0.39	0.15	0.03	0.2	0.25	0.45
5		0.68	0.39	0.78	0.39	0.15	0.03	0.3	0.45	1
7		0.876	0.438	0.736	0.334	0.5	0.034	0.34	0.73	2.186
8		0.6	0.34	0.35	0.07	0.68	0.01	0.32	0.45	0.9
9		0.79	0.35	0.35	0.07	0.67	0.01	0.32	0.54	2.15
10		0.895	0.448	0.758	0.348	0.51	0.035	0.348	0.75	2.253
11		0.863	0.432	0.722	0.325	0.493	0.033	0.335	0.717	2.142
12		1.18	0.68	1.42	0.5	0.51	0.07	0.5	1.45	2.05

در فصل بهار، تغییرات غلظت سم دیازینون با فرمول شیمیایی $C_{12}H_{21}N_2O_3PS$ در هشت ایستگاه نمونه‌برداری مورد بررسی قرار گرفته است. بیش‌ترین غلظت این سم در ایستگاه یازدهم با مقدار $2/23$ pbb و کم‌ترین غلظت در ایستگاه دوم با مقدار $0/22$ pbb ثبت شده است. دامنه تغییرات غلظت دیازینون بین $0/22$ pbb تا $2/23$ pbb متغیر بوده و میانگین غلظت آن در آب رودخانه هراز برابر با $1/295$ pbb محاسبه شده است. حداکثر مقدار استاندارد سازمان بهداشت جهانی برای سم دیازینون در آب شرب 20 میکروگرم بر لیتر می‌باشد که مقادیر به‌دست‌آمده در محدوده این استاندارد قرار دارند. Ebrahimipoor et al. (2019) نیز به مطالعه و بررسی بقایای دیازینون، کلرپیریفوس و دیکلرووس در منابع تأمین آب شرب شهری پرداخته و به این نتیجه رسیدند که الگوی مصرف سم دیازینون در منطقه (بیش‌تر در باغات و درختان میوه) منجر به این پدیده شده است. سم باقیمانده روی شاخ و برگ درختان در اثر عوامل فیزیکی مانند نور خورشید و باد تجزیه می‌شود و زمان کافی برای رسیدن به سطح خاک را ندارد و وارد منابع آب نمی‌شود. تغییرات سم فیتراتیون با فرمول شیمیایی $C_9H_{12}NO_3PS$ نشان می‌دهد که بیش‌ترین غلظت این سم در ایستگاه آخر و کم‌ترین مقدار آن در ایستگاه اول مشاهده شده است. میانگین غلظت این سم در آب رودخانه هراز برابر با $0/431$ pbb است. تغییرات غلظت سم دی‌کلرووس با فرمول شیمیایی $C_4H_7Cl_2O_4P$ نیز نشان می‌دهد که حداکثر مقدار این سم، مشابه دو سم دیگر، در ایستگاه آخر مشاهده شده، درحالی‌که کم‌ترین غلظت آن در ایستگاه دوم به میزان $0/35$ pbb بوده و میانگین آن برابر با $0/32$ pbb است. تغییرات غلظت سم متیل پاراتیون با فرمول شیمیایی $C_8H_{10}NO_5PS$ نشان می‌دهد که بیش‌ترین مقدار آن در ایستگاه آخر ثبت شده و میانگین غلظت این سم در رودخانه $0/27$ pbb برآورد شده است. رفتار تغییرات غلظت سم اتیون با فرمول شیمیایی $C_9H_{22}O_4P_4S_4$ نشان می‌دهد که حداکثر مقدار این سم در ایستگاه دهم و مصب به میزان $0/39$ pbb اندازه‌گیری شده، درحالی‌که کم‌ترین مقدار در ایستگاه دوم و برابر با $0/1$ pbb بوده است. میانگین غلظت این سم نیز $0/247$ pbb گزارش شده است. تغییرات غلظت سم دیمیتوات با فرمول شیمیایی $C_5H_{12}NO_3PS_2$ نشان می‌دهد که این سم نسبت به سایر سموم اندازه‌گیری شده غلظت کم‌تری دارد. دامنه غلظت آن از صفر تا $0/06$ pbb متغیر بوده و بیش‌ترین مقدار در ایستگاه آخر ثبت شده است. در ایستگاه‌های اول و دوم، غلظت این سم صفر گزارش شده است. تغییرات غلظت سم پروفنفس با فرمول شیمیایی $C_{11}H_{15}BrClO_3PS$ نشان می‌دهد که حداکثر غلظت آن در ایستگاه آخر برابر با $0/39$ pbb و حداقل مقدار آن در ایستگاه دوم برابر با $0/11$ pbb بوده است. میانگین غلظت این سم $0/2025$ pbb برآورد شده است. تغییرات سم مالاتیون با فرمول شیمیایی $C_{10}H_{19}O_7PS_2$ نشان می‌دهد که دامنه غلظت این سم بین $0/18$ pbb تا $1/23$ pbb متغیر بوده است. بیش‌ترین مقدار آن در ایستگاه آخر و کم‌ترین مقدار در ایستگاه پنجم ثبت شده است. میانگین غلظت این سم $0/5525$ pbb است. تغییرات غلظت سم آزینفوس متیل با فرمول شیمیایی $C_{10}H_{12}O_4P_4S_4$ نشان می‌دهد که دامنه غلظت آن بین $0/23$ pbb تا $2/4$ pbb بوده است. بیش‌ترین غلظت این سم در ایستگاه دوازدهم با مقدار $2/4$ pbb ثبت شده و کم‌ترین مقدار آن در ایستگاه دوم برابر با $0/23$ pbb گزارش شده است. میانگین غلظت این سم $1/052$ pbb محاسبه شده است.

در فصل تابستان، تغییرات غلظت سم دیازینون با فرمول شیمیایی $C_{12}H_{21}N_2O_3PS$ در هشت ایستگاه نمونه‌برداری بررسی شده است. بیش‌ترین مقدار این سم در ایستگاه آخر (مصب) با غلظت $1/18$ pbb و کم‌ترین مقدار آن در ایستگاه دوم با $0/37$ pbb اندازه‌گیری شده است. دامنه تغییرات از $0/37$ pbb تا $1/18$ pbb متغیر بوده و میانگین غلظت $0/78175$ pbb برآورد شده است که در محدوده استانداردهای تعیین شده توسط سازمان بهداشت جهانی قرار دارد. تغییرات سم فیتراتیون با فرمول شیمیایی $C_9H_{12}NO_3PS$ نیز نشان می‌دهد که بیش‌ترین غلظت در ایستگاه آخر و کم‌ترین مقدار در ایستگاه اول ثبت شده است. میانگین غلظت این سم برابر با $0/426$ pbb است و تغییرات آن شباهت زیادی به دیازینون دارد. برای

سم دی‌کلرووس با فرمول شیمیایی $C_4H_7Cl_2O_4P$ ، بیش‌ترین غلظت در ایستگاه آخر (مصب) و کم‌ترین مقدار در ایستگاه‌های هشتم و نهم با $pbb\ 0/35$ گزارش شده است. میانگین غلظت این سم در آب رودخانه $pbb\ 0/723$ تخمین زده شده است. تغییرات سم متیل پاراتیون با فرمول شیمیایی $C_8H_{10}NO_5PS$ نشان می‌دهد که مشابه دی‌کلرووس، بیش‌ترین غلظت در ایستگاه آخر و کم‌ترین غلظت در ایستگاه‌های هشتم و نهم بوده است. میانگین غلظت این سم $pbb\ 0/333$ برآورد شده است. برای سم اتیون با فرمول شیمیایی $C_9H_{22}O_4P_4S_4$ ، رفتار تغییرات متفاوت است. بیش‌ترین مقدار غلظت در ایستگاه هشتم با $pbb\ 0/68$ و کم‌ترین مقدار در ایستگاه‌های دوم و پنجم با $pbb\ 0/15$ ثبت شده است. میانگین غلظت این سم $pbb\ 0/457$ محاسبه شده است. سم دیمیتوات با فرمول شیمیایی $C_5H_{12}NO_3PS_2$ ، نسبت به سایر سموم اندازه‌گیری‌شده در این رودخانه غلظت پایین‌تری داشته است. دامنه تغییرات غلظت آن از $pbb\ 0/01$ تا $pbb\ 0/07$ متغیر است و بیش‌ترین مقدار آن در ایستگاه آخر و کم‌ترین مقدار در ایستگاه‌های هشتم و نهم مشاهده شده است. برای سم پروفنوس با فرمول شیمیایی $C_{11}H_{15}BrClO_3PS$ ، بیش‌ترین مقدار در ایستگاه آخر با غلظت $pbb\ 0/05$ و کم‌ترین مقدار در ایستگاه دوم با $pbb\ 0/2$ گزارش شده است. میانگین غلظت این سم $pbb\ 0/332$ برآورد شده است. تغییرات سم مالاتیون با فرمول شیمیایی $C_{10}H_{19}O_7PS_2$ نشان می‌دهد که دامنه غلظت این سم بین $pbb\ 0/25$ و $pbb\ 1/45$ متغیر بوده است. بیش‌ترین مقدار در ایستگاه آخر و کم‌ترین مقدار در ایستگاه دوم ثبت شده است. میانگین غلظت این سم $pbb\ 0/667$ گزارش شده است. برای سم آزینفوس متیل با فرمول شیمیایی $C_{10}H_{12}O_4P_4S_4$ ، دامنه تغییرات غلظت بین $pbb\ 0/45$ و $pbb\ 2/25$ متغیر بوده است. بیش‌ترین مقدار آن در ایستگاه دهم با غلظت $pbb\ 2/253$ و کم‌ترین مقدار در ایستگاه دوم با $pbb\ 0/45$ گزارش شده است. میانگین غلظت این سم $pbb\ 1/64$ محاسبه شده است.

۳.۳. نتایج اندازه‌گیری PCB و TPH در آب رودخانه هراز در فصل بهار

نتایج اندازه‌گیری PCB و TPH برحسب میکروگرم بر لیتر در آب بیانگر عدم وجود PCBها در پنج ایستگاه نمونه‌برداری و عدم وجود TPH در ایستگاه‌های دو، پنج و نه می‌باشد. در ایستگاه‌های دهم و دوازدهم غلظت TPH به‌ترتیب برابر $0/09$ و $0/12$ میکروگرم بر لیتر اندازه‌گیری شده است.

Table 6. Amount of PCB and TPH present in the water of the Haraz River (in $\mu g/l$) at 5 sampling stations

Station	PCB ($\mu g/L$)	TPH ($\mu g/L$)
2	0	0
5	0	0
9	0	0
10	0	0.09
12	0	0.12

۴.۳. آنالیز آماری پارامترهای NSFQI

برای تحلیل و نتیجه‌گیری ارتباطات میان نه پارامتر مربوط به شاخص NSFQI، از دو ابزار اصلی استفاده شده است؛ نمودار دندروگرام که در شکل (۷) ارائه شده و ضرایب همبستگی که در شکل (۸) نشان داده شده‌اند. در فصل بهار، آنالیز خوشه‌ای به دوشاخه A و B تفکیک شده است. در شاخه B، دو پارامتر اکسیژن محلول و pH با ضریب تشابه بسیار پایین به هم متصل شده‌اند، اما این ارتباط قابل تفسیر نیست؛ به این معنا که این دو پارامتر باوجود قرارگیری در یک گروه تأثیری بر یکدیگر ندارند.

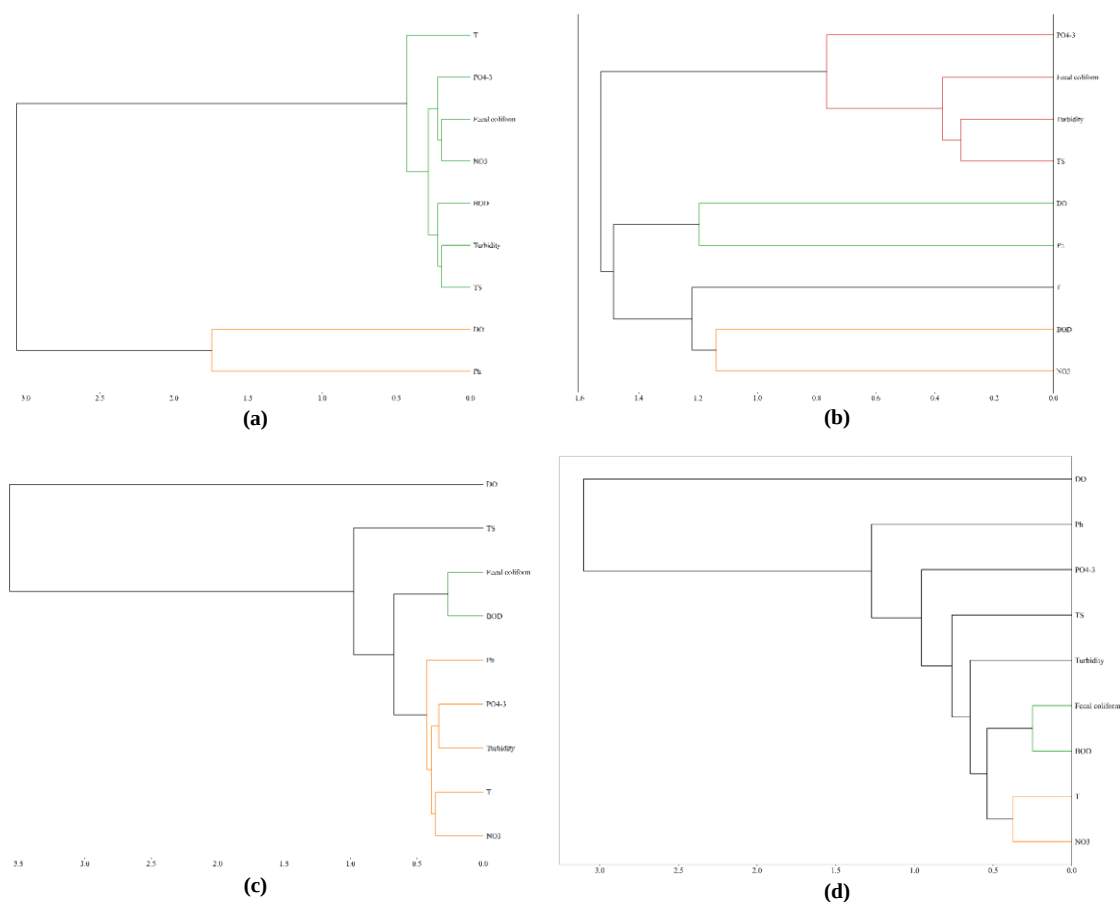


Figure 7. Dendrogram of NSFQI parameters. a) Spring, b) Summer, c) Autumn, d) Winter

در شاخه A، پارامترهایی شامل کلیفرم مدفوعی، نیترات، فسفات، BOD، کدورت، کل مواد جامد و دما قرار دارند. ارتباط قوی بین کلیفرم مدفوعی، نیترات و فسفات نشان‌دهنده این است که فاضلاب‌های خانگی اصلی‌ترین منبع نیترات و فسفات آب رودخانه هراز هستند. علاوه بر این، ورود فضولات دامی نیز می‌تواند نقش مهمی در افزایش این مواد داشته باشد. ارتباط قوی بین کدورت و کل مواد جامد نشان می‌دهد که با افزایش کل مواد جامد، میزان کدورت نیز به‌طور طبیعی افزایش می‌یابد. همچنین، وابستگی BOD به این دو پارامتر نشان‌دهنده این است که مواد جامد همراه با BOD وارد آب رودخانه می‌شوند. احتمالاً ترکیب فضولات دامی با خاک و شسته‌شدن آن‌ها توسط آب باران از عوامل اصلی افزایش BOD محسوب می‌شود. ارتباط نزدیک میان کلیفرم مدفوعی، نیترات و فسفات با BOD، کدورت و کل مواد جامد نشان‌دهنده تأثیر مستقیم این پارامترها بر یکدیگر است. در نهایت، قرارگیری دما با ضریب تشابه ۰/۴ در این شاخه بیانگر این است که دما می‌تواند به‌عنوان یک عامل کنترلی و تأثیرگذار در نظر گرفته شود.

در فصل تابستان آنالیز خوشه‌ای پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب در چهار شاخه A، B، C و D با یکدیگر ارتباط برقرار نموده‌اند. در شاخه A فسفات، کلیفرم مدفوعی، کدورت و کل مواد جامد قرار دارند. این شاخه صحت آنالیزها را تأیید می‌کند، چراکه کدورت با TS ارتباط قوی و مثبت برقرار کرده است و در شرایط طبیعی نیز عامل کنترل‌کننده کدورت، TS است. لذا این شاخه نه تنها از جنبه فوق‌الذکر دارای اهمیت است بلکه نشان‌دهنده برقراربودن حالت طبیعی در رودخانه هراز است و این نوعی ارتباط سلسله‌مراتبی را نشان می‌دهد که در آن کدورت و کل مواد جامد با هم ارتباط

دارند و هردو این‌ها به کلیفرم مدفوعی و درنهایت هر سه به فسفات مرتبط هستند. در شاخه B مانند فصل بهار دو پارامتر اکسیژن محلول و pH تحت ضریب تشابه بسیار پایین به یکدیگر متصل شده‌اند که قابل تفسیر نیست. به عبارت دیگر، این دو پارامتر با وجود این که در یک شاخه قرار گرفته‌اند اما اثری بر روی یکدیگر ندارند. در شاخه C دما را به تنهایی داریم با ضریب تشابه بسیار کم به شاخه D متصل است و درنهایت BOD و نیترات را در شاخه D داریم که ضریب تشابه بسیار کمی را باهم دارند و این ساختار نشان می‌دهد که شاخه‌های A، B، C و D تأثیری روی یکدیگر ندارند.

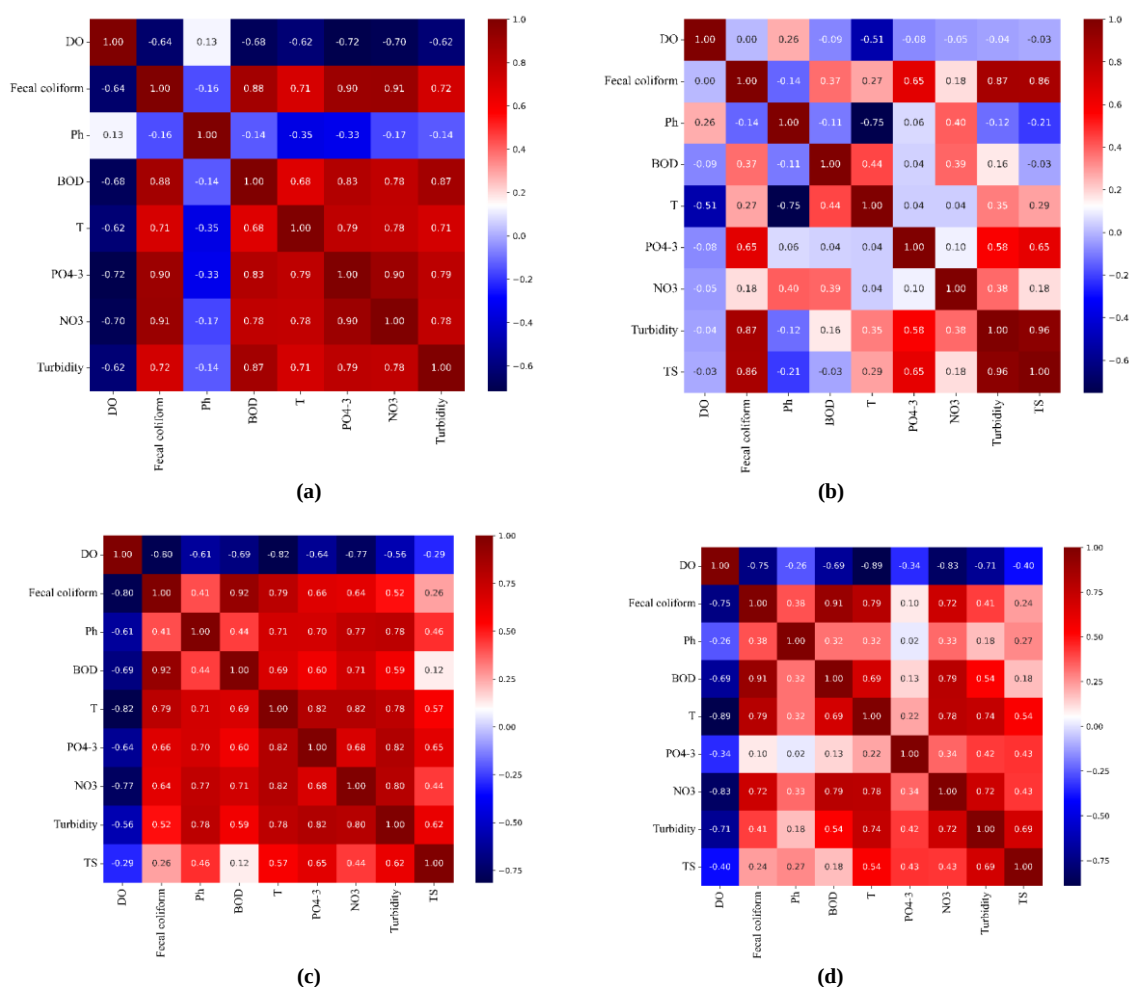


Figure 8. Correlation coefficient matrix of NSFQWI parameters. a) Spring, b) Summer, c) Autumn, d) Winter

نتایج آنالیز خوشه‌ای در فصل پاییز نشان می‌دهد که دندوگرام از چهار شاخه A، B، C و D تشکیل شده است. در شاخه A اکسیژن محلول به تنهایی دیده می‌شود. اتصال شاخه A به سایر پارامترهای موجود در شاخه C و D نشان می‌دهد اکسیژن محلول هیچ اثری بر سایر پارامترهای موجود ندارد. البته انتظار می‌رفت تا حداقل ارتباط مناسب‌تری (منفی معنی‌دار) بین اکسیژن محلول و BOD حاصل می‌شد. سایر شاخص‌های NSFQWI در شاخه C و D قرار گرفته‌اند. ارتباط تنگاتنگ کلیفرم مدفوعی و BOD به درستی حاکی از آن است که BOD موجود در رودخانه از محل فاضلاب‌های شهری تأمین شده است، چراکه کلیفرم خود یک شاخص مناسب برای شناخت فاضلاب‌های شهری است.

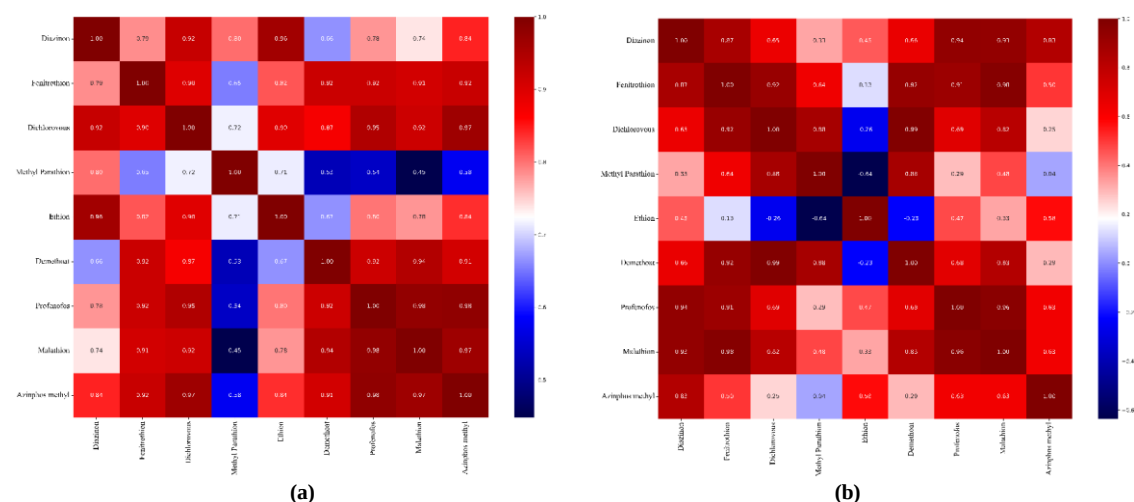


Figure 10. Correlation coefficient matrix of water toxicity parameters. a) Spring, b) Summer

در آنالیز دندروگرام فصل بهار شکل (۹-ا) مشخصات سموم در سه شاخه A، B و C قرار می‌گیرند که در شاخه A سم متیل پاراتیون به تنهای قرار گرفته و ارتباط بسیار ضعیفی با دوشاخه دیگر دارد. در شاخه B نیز سموم دیازینون و اتیون در یک گروه قرار دارند و به یکدیگر وابستگی داشته و ضریب همبستگی این دو نیز در شکل (۱۰-ا) ۰/۹۶ است و نشان از همبستگی مثبت بسیار بالا این دو سم با یکدیگر دارد و به عبارتی با افزایش یا کاهش هر یک این دو، دیگری نیز افزایش یا کاهش پیدا می‌کند. در شاخه C نیز باقی‌مانده سموم را مشاهده می‌کنید که به صورت مرتبه‌ای با یکدیگر ارتباط دارند و بیش‌ترین ارتباط مربوط می‌شود به سموم پروفنوفوس و آزینفوس متیل که در شکل (۱۰-ا) نیز ضریب همبستگی این دو برابر ۰/۹۸ است که نشان از همبستگی بسیار بالای این دو سم باهم دارند و به همین ترتیب ارتباط این دو با سموم مالاتیون و فینتروتیون و دی‌کلرووس و دیمیتوات رو به کاهش می‌باشد. در شکل (۱۰-ا) نیز کم‌ترین ضریب همبستگی بین سموم مالاتیون و متیل پاراتیون است. نکته‌ای که وجود دارد در شکل (۱۰-ا) هیچ همبستگی منفی بین سموم دیده نمی‌شود.

در آنالیز دندروگرام فصل تابستان شکل (۹-ب) در پنج شاخه A، B، C، D و E تقسیم‌بندی شده‌اند. شاخه A سم اتیون که به تنهای در یک شاخه قرار دارد و ارتباط بسیار کمی با شاخه‌های دیگر دارد. شاخه B سم آزینفوس متیل هم به تنهایی با ارتباط ضعیف با دیگر سموم قرار دارد. شاخه C نیز سم متیل پاراتیون نیز تنها قرار گرفته و ارتباط کمی با البقای سموم دارد اما در شاخه D سموم دی‌کلرووس و دیمیتوات در یک شاخه قرار دارند و ارتباط بسیار نزدیکی با یکدیگر دارند و در شکل (۱۰-ب) نیز مشخص است این دو با ضریب همبستگی ۰/۹۹ هستند که نشان از وابستگی مثبت بسیار زیاد این دو با یکدیگر است و به‌نحوی که با افزایش یا کاهش مقدار هر یک از سموم دیگری نیز افزایش و یا کاهش می‌یابد. در شاخه E نیز سموم دیازینون و پروفنوفوس و مالاتیون و فینتروتیون قرار دارند که باهم سموم دیازینون و پروفنوفوس ارتباط بیش‌تری دارند و ضریب همبستگی آن‌ها در شکل (۱۰-ب) ۰/۹۴ می‌باشد و بعد میزان ارتباط این دو با سموم مالاتیون و فینتروتیون به ترتیب کاهش می‌یابد. کم‌ترین ضریب همبستگی هم مربوط به سموم اتیون و فینتروتیون و برابر ۰/۱۳ است.

۴. نتیجه‌گیری

حوضه آبریز و رودخانه هراز با توجه به افزایش فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی و دامپروری و همچنین توسعه مناطق مسکونی در آن با این چالش روبه‌رو است و برای بررسی این موضوع لازم است تا کیفیت آب در نقاط مختلف بررسی

شود تا در صورت آلودگی و غیرقابل مصرف بودن تمهیدات لازم جهت مدیریت ورود آلودگی‌ها و کاهش آن‌ها و همچنین تصفیه مناسب قبل از مصرف انجام گردد.

در این پژوهش کیفیت آب با شاخص NSFQI در چهار دوره نمونه‌برداری شده محاسبه شد و سموم کشاورزی نیز در دو دوره نمونه‌برداری آزمایش شد. بررسی نتایج دو دوره نمونه‌برداری سموم کشاورزی نشان داد که میزان سموم موجود در آب در محدوده‌ای استاندارد سازمان بهداشت جهانی قرار دارد و بررسی نتایج چهار دوره نمونه‌برداری‌های انجام‌شده شاخص NSFQI نشان می‌دهد پارامترهایی که مقادیر بالایی داشته و جزو پارامترهای شاخص محسوب می‌شوند، اکسیژن محلول، BOD، کل جامدات، کلیفرم و کدورت می‌باشد. بررسی همبستگی آماری و نتایج خوشه‌بندی داده‌ها در بخش‌های قبلی مشخص می‌نماید که ارتباط نزدیک پارامترهای کلیفرم، نیترات و فسفات با BOD، کدورت و کل مواد جامد نشان‌دهنده تأثیر مستقیم این پارامترها بر روی یکدیگر می‌باشد. همبستگی بالای پارامتر BOD و کلیفرم مدفوعی با نیترات و فسفات نشان می‌دهد که فاضلاب‌های خانگی عمده‌ترین منابع تأمین نیترات و فسفات آب رودخانه هراز می‌باشد. در فصل بهار از ایستگاه‌های ۱۲ تا ۱۲ و در فصل تابستان ایستگاه‌های ۱۱ و ۱۲ و در فصل زمستان از ایستگاه‌های ۱۲ تا ۱۲ وضعیت کیفیت آب براساس شاخص NSFQI بد مشاهده شد و پایین‌ترین کیفیت آب در فصل بهار مشاهده شد و بهترین کیفیت هم در فصل پاییز بوده است. در ایستگاه‌های یک تا شش وضعیت کیفیت به‌صورت خیلی آهسته کاهش پیدا می‌کند، اما از ایستگاه هفت به بعد کاهش کیفیت شدت پیدا می‌کند و علت این موضوع هم این است که در شش ایستگاه اول عوامل آلوده‌کننده مثل تراکم جمعیت انسانی و حیوانی و ورود بیش‌ازحد پساب‌های و فاضلاب‌های کارگاه‌های پرورش ماهی و یا مزارع کشاورزی یا وجود ندارد یا بسیار اندک هستند و این عوامل آلوده‌کننده در ایستگاه‌های هفت به بعد افزایش پیدا می‌کند، به‌طوری که در ایستگاه‌های ۱۰ و ۱۱ بیش‌ترین عوامل وجود دارد. نتایج این پژوهش با مطالعات مشابه در رودخانه‌های حفاظت‌شده مازندران مقایسه شد. بررسی‌های مختلف نشان داده‌اند که کیفیت آب رودخانه‌های تالار، چالوس، تجن و هراز از بالادست به پایین‌دست کاهش می‌یابد. این کاهش به‌طور عمده به‌دلیل ورود پساب‌های کشاورزی، فاضلاب‌های شهری و صنعتی، توسعه جاده‌سازی و افزایش فعالیت‌های انسانی است. همچنین، در برخی رودخانه‌ها، پایین‌ترین کیفیت آب در فصل‌هایی با فعالیت‌های انسانی بیش‌تر، مانند تابستان، مشاهده شده است (Dadkhah Tehrani et al., 2023; Ketabi et al., 2024; Khalili et al., 2021; Khalili et al., 2021; Kkhalili et al., 2020; Mazlomi et al., 2023).

۵. تشکر و قدردانی

با سپاس فراوان، از دفتر پایش فراگیر سازمان حفاظت محیط‌زیست که با تلاش و همکاری ارزشمند خود داده‌های به‌روز و دقیق را در اختیار ما قرار دادند، صمیمانه قدردانی می‌نماییم. این حمایت نقش مهمی در پیشبرد پژوهش و تحلیل‌های این مقاله ایفا کرده است.

۶. پی‌نوشت‌ها

1. Water Quality Index
2. National Sanitation Foundation Water Quality Index
3. Biological Oxygen Demand
4. Total Suspended Solids
5. Dissolved Oxygen (DO)
6. World Health Organization (WHO)
7. Polychlorinated Biphenyls
8. Total Petroleum Hydrocarbons
9. Thermionic Specific Detector

۷. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۸. منابع

- Aazami, J., Maghsodlo, H., Mira, S. S., & Valikhani, H. (2020). Health evaluation of riverine ecosystems using aquatic macroinvertebrates: a case study of the Mohammad-Abad River, Iran. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 17, 2637-2644.
- Abbasnia, A., Yousefi, N., Mahvi, A. H., Nabizadeh, R., Radfard, M., Yousefi, M., & Alimohammadi, M. (2019). Evaluation of groundwater quality using water quality index and its suitability for assessing water for drinking and irrigation purposes: Case study of Sistan and Baluchistan province (Iran). *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 25(4), 988-1005.
- Berry, J. L., Steffy, L. Y., & Shank, M. K. (2020). *Development of a Water Quality Index (WQI) for the Susquehanna River Basin*.
- Chaturvedi, A., Bhattacharjee, S., Mondal, G. C., Kumar, V., Singh, P. K., & Singh, A. K. (2019). Exploring new correlation between hazard index and heavy metal pollution index in groundwater. *Ecological Indicators*, 97, 239-246.
- Dadkhah Tehrani, M., Karimi Darmian, S., Moridi, A., & Khalili, R. (2023). Evaluation of water quality of Chalus River based on IRWQIsc and NSFQI water quality index. *Journal of Environmental Science Studies*, 8(3), 7064-7072.
- Deng, J., Deng, Y., & Cheong, K. H. (2021). Combining conflicting evidence based on Pearson correlation coefficient and weighted graph. *International Journal of Intelligent Systems*, 36(12), 7443-7460.
- Dewata, I. (2019). Water Quality Assessment of Rivers in Padang Using Water Pollution Index and NSF-WQI Method. *International Journal of GEOMATE*, 17, 192-200.
- Ebrahimi, A., & Mahmoudi Baram, M. (2023). Investigating the Residue of Diazinon, Chlorpyrifos, and Dichlorvos in Urban Drinking Water Supply Sources and Determining the Water Quality Index in Tiran-Karvan in 2020. *Journal of Environmental Health and Sustainable Development*, 8(4), 2149-2158.
- Ebrahimpour, S., Kiarostami, V., Khosravi, M., Davallo, M., & Ghaedi, A. (2019). Bees metaheuristic algorithm with the aid of artificial neural networks for optimization of acid red 27 dye adsorption onto novel polypyrrole/SrFe₁₂O₁₉/graphene oxide nanocomposite. *Polymer Bulletin*, 76(12), 6529-6553.
- Ketabi, N., Dadkhah Tehrani, M., Moridi, A., & Khalili, R. (2024). Assessment of the Water Quality of Tajan River (Sari) Using NSFQI and IRWQISC Quality Indices. *Journal of Research in Environmental Health*, 10(1), 96-109.
- 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*. doi: 10.22098/mmws.2021.9300.1031
- Khalili, R., Montaseri, H., Motaghi, H., & Jalili, M. B. (2021). Water quality assessment of the Talar River in Mazandaran Province based on a combination of water quality indicators and multivariate modeling. *Water and Soil Management and Modelling*, 1(4), 30-47. Retrieved from http://mmws.uma.ac.ir/article_1326.html
- Khalili, 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. doi: 10.22034/jewe.2020.238090.1381
- Khalili, R., Zali, A., & Motaghi, H. (2021). Evaluating the Heavy Metals in the Water and Sediments of Haraz River, Using Pollution Load Index (PLI) and Geo accumulation Index (Igeo). *Iranian Journal of Soil and Water Research*. doi: 10.22059/ijswr.2021.316080.668850
- 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.
- Mazlomi, 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*.

- Mukate, S., Wagh, V., Panaskar, D., Jacobs, J. A., & Sawant, A. (2019). Development of new integrated water quality index (IWQI) model to evaluate the drinking suitability of water. *Ecological Indicators*, 101, 348-354.
- Qin, C., He, J., Yu, C., Sun, A., Li, K., Hu, H., Hu, T., Ye, Y., Yu, Y., & Wang, H. (2025). Evaluating the water quality of the rice–fish co-culture pattern based on the modified NSF water quality index model. *Aquaculture*, 597, 741931.
- Rad, A. (2022). The effect of Magnesium Aminoclay (MgAC) nanomaterials on *Chlorella sorokiniana* pa. 91 native microalgae growth in Sari culture medium. *Modares Civil Engineering Journal*, 22(4), 143-156.
- Sharma, R., Kumar, R., Sharma, D. K., Sarkar, M., Mishra, B. K., Puri, V., Priyadarshini, I., Thong, P. H., Ngo, P. T. T., & Nhu, V.-H. (2022). Water pollution examination through quality analysis of different rivers: a case study in India. *Environment, Development and Sustainability*, 24(6), 7471-7492.
- Simonyan, G. (2021). Impact of Municipal Wastewater of the Dilijan City on the Hydrochemical Indicators of Water of the Agstev River. *Current Research in Wastewater Management*, 1(1), 30-32.
- Susilowati, S., Sutrisno, J., Masykuri, M., & Maridi, M. (2018). Dynamics and factors that affects DO-BOD concentrations of Madiun River. *AIP Conference Proceedings*, 2049(1).
- Šverko, Z., Vrankić, M., Vlahinić, S., & Rogelj, P. (2022). Complex Pearson correlation coefficient for EEG connectivity analysis. *Sensors*, 22(4), 1477.
- Wu, H., Yang, W., Yao, R., Zhao, Y., Zhao, Y., Zhang, Y., Yuan, Q., & Lin, A. (2020). Evaluating surface water quality using water quality index in Beiyun River, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(28), 35449-35458.
- Wu, Z., Wang, X., Chen, Y., Cai, Y., & Deng, J. (2018). Assessing river water quality using water quality index in Lake Taihu Basin, China. *Science of the Total Environment*, 612, 914-922.
- Yotova, G., Varbanov, M., Tcherkezova, E., & Tsakovski, S. (2021). Water quality assessment of a river catchment by the composite water quality index and self-organizing maps. *Ecological Indicators*, 120, 106872.
- Yousefi, H., Mohammadi, A., & Noorollahi, Y. (2019). Analyzing the Water Quality of Babaheydar Dam in Farsan using NSFQI Analytical Method. *Journal of Watershed Management Research*, 9(18), 1-11.
- Zhang, L., Zhang, Y., Zhu, M., Chen, L., & Wu, B. (2023). A critical review on quantitative evaluation of aqueous toxicity in water quality assessment. *Chemosphere*, 140159.
- Zhang, X., Chen, L., & Shen, Z. (2021). Impacts of rapid urbanization on characteristics, sources and variation of fecal coliform at watershed scale. *Journal of Environmental Management*, 286, 112195.