Research Paper

Water Quality Assessment of HARAZ River by Using the Sanitation, Pollution, weight and Social Accounting Water Quality index (Case study: Panjab to upstream of Haraz dam)

SHamim. Larijani[1], Hossien. Banejad[2*], Ataollah. Kavian[3], Ali Naqi. Ziaei[4]

[1] PhD Student in Water Science and Engineering - Irrigation and Drainage, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
[2] Associate Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
[3] Professor, Department of Watershed Management Science and Engineering, Faculty of Natural Resources, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran
[4] Associate Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

10.22125/IWE.2022.345003.1638

Received:
May 30, 2022
Accepted:
August 25, 2022
Available online:
August 23, 2023

Keywords:
Haraz, Water Quality, NSFWQI, RPI, WAWQI, Dinius

Abstract

Rivers are one of the most important sources of water supply and transmission in many countries of the world, which has made the study of river water quality for various health and social uses very sensitive and important. In the present study, in order to study the water quality of Haraz River in Mazandaran province, the water quality index of the National Health Foundation, pollution index, weight quality index and social accounting index have been used. These indicators were evaluated for different samples from 7 stations along the Haraz River in the Panjab to upstream of the Haraz Dam and in the seasonal period in 2021. The results of the analysis show that the seasonal average of NSFWQI index (47.9 to 52.6) indicates moderate to poor quality conditions, RPI (3.88 to 6.00), medium to high pollution quality, WAWQI (44.40 to 52.15) good to bad quality and DINIUS index (49.26 to 53.59) has emphasized the need for water purification for public and industrial use. The results show that in spatial study of pollution changes in Haraz River from upstream to downstream, water quality is significantly reduced. The reason was the dumping of garbage and sewage in restaurants around the river, upstream villages, agricultural drains, animal waste, the existence of mines and sand extraction workshops. As a result, in order to properly manage the water of Haraz River, measures should be considered and the water quality monitoring program should be continued.

1. Introduction

In recent years, human interventions such as the discharge of urban, industrial, and agricultural sewage, the washing of waste disposal sites, as well as natural processes, have destroyed the quality of surface waters and hindered their use for drinking, industry, agriculture, etc. (Khalili et al., 2020). For this reason, it is necessary to plan for the monitoring and control of surface water in order to recognize and protect the quality of surface water for consumers (Wang et al., 2020). Checking river water quality is considered as the first and most important step in surface water quality management. The quality of

* **Corresponding Author:** Hossein Banejad
Address: Department of Water Science and Engineering, Ferdowsi University of Mashhad
Email: banejad@um.ac.ir
Tel: +00989181118227

surface and underground water is determined by physical, chemical and biological parameters. The water quality index is a measure for the classification of surface water based on the use of standard parameters and is actually a mathematical tool that converts a large number of data used to describe the characteristics of water into one number and obtains the water quality level (Berry et al., 2020). Several studies regarding the use of quality classification indicators of surface water have been conducted in the last decade by domestic and foreign researchers. For example, Ebrahimpour and Mohammadzadeh investigated the water quality of Zarivar lagoon lake using NSFWQI, OWQI and CWQI indicators. According to the results of this study, Zarivar Lake was in the medium quality range in terms of NSFWQI index and in the very poor range in terms of OWQI index. Meanwhile, according to the CWQI index, the lake water was in the bad category in terms of quality, good for drinking, bad for aquatic animals, and in the excellent category for irrigation, recreation and cattle use. He considered the use of CWQI and NSFWQI indicators to know the quality of the country's water resources, especially lakes and rivers, as appropriate and promising. In research, Wahidunisha and Shukla investigated the water quality of Rob Sigar lagoon in India using the NSFWQI index on a monthly basis during one year (August 2011 to July 2012). According to the results of this study, the water quality of Rub Sigar wetland is in the medium quality range during the entire study period. The highest level of NSFWQI index (66.75) was observed in November and the lowest level of this index (55.25) was observed in July.

2. Materials and Methods

The investigated area in this study is 30 kilometers long, from the boundary of Nemarstaq village (Punjab station) to the upstream of the Haraz reservoir dam (Chelaw station) with 7 quality monitoring stations on the Haraz River. In this area, there are a large number of polluting sources, such as fish breeding workshops, sand harvesting workshops, restaurants, local livestock farms, and a slaughterhouse, whose wastewater is directly and indirectly discharged into the river. Also, there are many agricultural fields and fruit orchards around Haraz River, which after irrigation of agricultural drains along with the remaining fertilizers and poisons or chemical fertilizers and poisons in addition to the actual consumption enters the Haraz River. In the present study, the NSFWQI water quality index, the RPI pollution index, the WAWQI weighted water quality index, and the Dinius social accounting index were used to investigate the water quality of the important Haraz River in Mazandaran province.

RPI index

The Taiwan Environmental Protection Agency used the RPI index using water quality data to classify stations for water quality monitoring. The results obtained from this index can be a valuable reference for river water pollution management. In order to determine river pollution, four water quality parameters including DO, BOD, TSS and NH3-N have been presented.

NSFWQI index

In order to calculate the NSFWQI water quality index, 9 parameters were used as basic parameters to determine the water quality index. These parameters are dissolved oxygen (DO), temperature (T), fecal coliform (CF), turbidity (TUR), total phosphate (P), nitrate (N), total solids (TDS), pH and biological oxygen demand (BOD). Based on the importance of the parameters, weight has been given to each one.

WAWQI weighted water quality index

Arithmetic weighted water quality index or WAWQI classifies water quality according to the degree of purity using the investigated water quality parameters.

Dinius social accounting system index

Dinius proposed a water quality index to be used as a preliminary social audit system to measure the cost effects of pollution control activities. His purpose of this action was a: providing a method to provide informative reports to the public and the government about the level of pollution and the location of pollution in a simple way and b: estimating the necessary cost to control pollution in natural resources. In order to develop this index, many similar studies have been used and using them, 11 sub-

index functions are used to calculate 11 sub-index parameters of dissolved oxygen pollution, BOD5, total coliform, fecal coliform, specific conductivity, chloride, hardness, alkalinity, pH. temperature and colour were introduced.

3. Results

According to the RPI pollution index, the results of the river pollution index range from 3.88 to 6.13. According to this index, water quality in stations S1, S2-1 and S3 is classified as moderate pollution. In the meantime, a high pollution index has been obtained in the S2-1 station in the summer, which can be the reason for the tourism of the upstream villages and agricultural activities in the upstream villages of this station and the entry of sewage into the Haraz River.

According to the WAWQI index, the water quality of Haraz River is in the range of 40.44 to 43.53. The results have shown that the S1, S2-1, S2 and S3 stations are in good quality condition, but the obtained water quality index numbers tend to be in relatively bad condition as you move downstream (separately for each season). However, the water quality of Haraz River in stations S4 and S5 is relatively bad. According to the obtained analysis, the amount of turbidity in the upstream stations is much lower than the downstream stations.

According to LINIUS social accounting system index, the water quality of Haraz River for public use requires primary treatment for consumption. So that for recreational use in stations S1, S2-1, S2, S3 and S4, it is in the area of the beginning of pollution and in stations S5-1 and S5 in the area of suspected pollution. The reason for this is the presence of floating materials caused by the waste of passengers in the river area, the oil layer caused by the presence of motor pumps that collect water from the river, especially in the first half of the year (spring and summer), which is also the tourist season and the season for planting rice fields.

4. Discussion and Conclusion

In recent years, human interventions such as the discharge of urban, industrial, and agricultural sewage, the washing of waste disposal sites, as well as natural processes, have destroyed the quality of surface waters and hindered their use for drinking, industry, agriculture, etc. For this reason, it is necessary to plan for the monitoring and control of surface water in order to know and protect the quality of surface water for consumers. In the present study, the NSFWQI water quality index, the RPI pollution index, the WAWQI weighted water quality index, and the Dinius social accounting index were used to investigate the water quality of the important Haraz River in Mazandaran province.

In the spatial investigation of Haraz River pollution changes from the upstream stations to the downstream, the water quality decreases significantly. The reason for that is the discharge of waste and sewage from restaurants around the river, upstream villages, agricultural water drains, animal excrement, the existence of mines and sand harvesting workshops. As a result, measures should be taken for the basic water management of Haraz River and the water quality monitoring program should be continued in it. The results of this study are consistent with the results of Aminpour et al. (2015) regarding the increase in the level of pollution and decrease in the water quality of Gaz Rudbar River, from the upstream stations to the downstream due to the entry of household, rural, urban and agricultural pollutants.

5. Six important references

1) Berry L., Steffy Y. and Shank K. (2020). Development of a water quality index (WQI) for the Susquehanna River basin.S.R.B.C., New York. U.S.A.

2) Khalili R., Parvinnia M. and Motaghi H. (2020). Evaluation of Bashar River water quality using CCME water quality index.J. Environ. Sci. Studies, 5(3), 2807–2814.

3) Tien C. J., Wang Z. X. and Chen C. S. (2020). Microplastics in water, sediment and fish from the Fengshan River system: relationship to aquatic factors and accumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons by fish. J. Environ. Pollut., 265(B), 114962.

4) Wang J., Sui Q., Lyu S., Huang Y., Huang S., Wang B. and Hou S. (2020). Source apportionment of phenolic compounds based on a simultaneous monitoring of surface water and emission sources: a case study in a typical region adjacent to Taihu Lake watershed. J. Sci. Total Environ., 722, 137946.

5) Xiao J., Wang L., Deng L. and Jin Z. (2019). Characteristics, sources, water quality and health risk assessment of trace elements in river water and well water in the Chinese loess plateau. J. Sci. Total Environ., 650, 2004–2012.

6) Zooalnoon M. O. and Musa A. (2019). Evaluation of produced water quality by using water quality indices in Heglig Area, Sudan. J. Water Supply: Res. Technol. AQUA., 68(7), 607–615.

ارزیابی کیفیت آب رودخانه هراز با استفاده از شاخص‌های بهداشتی، آلودگی، وزنی و حسابداری - اجتماعی (مطالعه موردی: بازه پنجاب تا بالادست سد هراز)

شمیم لاریجانی[۱]، حسین بانژاد[۲]، عطاالله کاویان[۳]، علی نقی ضیایی[۴]

تاریخ ارسال:۱۴۰۱/۰۳/۰۹
تاریخ پذیرش:۱۴۰۱/۰۶/۰۳
مقاله پژوهشی

چکیده

رودخانه‌ها یکی از مهم‌ترین منابع تأمین و انتقال آب در بسیاری از کشورهای دنیا هستند که این امر باعث شده است که بررسی کیفیت آب رودخانه‌ها برای مصارف مختلف، بهداشتی و اجتماعی بسیار حساس و مهم باشد. در پژوهش حاضر جهت بررسی کیفیت آب رودخانه مهم هراز در استان مازندران از شاخص کیفیت آب بنیاد ملی بهداشت، شاخص آلودگی، شاخص کیفیت وزنی حسابی آب و شاخص حسابداری - اجتماعی بهره برده شده است. این شاخص‌ها برای نمونه‌های مختلف از ۷ ایستگاه در طی رودخانه هراز در بازه پنجاب تا بالادست سد هراز و در بازه زمانی فصلی در سال ۱۴۰۰ مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج حاصل از تجزیه‌وتحلیل نشان داده است که میانگین فصلی شاخص NSFWQI (۴۷/۹ تا ۵۲/۶) نشان از شرایط کیفی متوسط تا بد، RPI (۳/۸۸ تا ۶/۰۰) کیفیت آلودگی متوسط تا زیاد، WAWQI (۴۴/۴۰ تا ۵۲/۱۵) کیفیت خوب تا بد و شاخص DINIUS (۴۹/۲۶ تا ۵۳/۵۹) نیاز به تصفیه آب را جهت مصارف عمومی و صنعتی مورد تأکید قرار داده است. نتایج نشان داده است که در بررسی مکانی تغییرات آلودگی رودخانه هراز از ایستگاه بالادست به‌طرف پایین‌دست از کیفیت آب به نحو چشمگیری کاسته می‌شود. دلیل آن تخلیه زباله و فاضلاب‌های رستوران‌های اطراف رودخانه، روستاهای بالادست، زه آب‌های کشاورزی، فضولات حیوانی، وجود معادن و کارگاه‌های برداشت شن و ماسه نام برد. در نتیجه جهت مدیریت اصولی آب رودخانه هراز باید تمهیداتی اندیشیده شود و برنامه پایش کیفی آب در آن استمرار یابد.

واژه های کلیدی : هراز، کیفیت آب، NSFWQI، RPI، WAWQI، Dinius

---

[۱] دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی آب-آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
[۲] دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
[۳] استاد گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران.
[۴] دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

مقدمه

در سال‌های اخیر مداخلات انسانی ازجمله تخلیه فاضلاب‌های شهری، صنعتی، کشاورزی، آبشویی محل‌های دفع زباله و همچنین فرایندهای طبیعی، کیفیت آب‌های سطحی را تخریب کرده و استفاده از آنها را برای مصارف آشامیدنی، صنعت، کشاورزی و غیره مختل کرده است (خلیلی و همکاران، ۲۰۲۰). به همین دلیل برنامه‌ریزی برای نظارت و کنترل آب‌های سطحی جهت شناخت و حفاظت کیفیت آب سطحی برای مصرف‌کنندگان ضروری است (وانگ و همکاران، ۲۰۲۰). بررسی کیفیت آب رودخانه‌ها به‌عنوان اولین و مهم‌ترین مرحله در مدیریت کیفیت آب سطحی محسوب می‌شود (ژیائو و همکاران، ۲۰۱۹). کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی بر حسب پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی تعیین می‌شود. شاخص کیفی آب معیاری برای طبقه‌بندی آب سطحی بر مبنای استفاده از پارامترهای استاندارد و در واقع ابزاری ریاضی است که تعداد زیادی از داده‌های مورداستفاده برای توصیف ویژگی‌های آب را به یک عدد تبدیل کرده و سطح کیفی آب را بدست می‌دهد (بری و همکاران، ۲۰۲۰). مطالعات متعددی در خصوص استفاده از شاخص‌های طبقه‌بندی کیفی آب سطحی در دهه گذشته توسط پژوهشگران داخلی و خارجی انجام شده است. مفتاح هلقی (۱۳۹۰) با تعیین شش ایستگاه، کیفیت آب رودخانه اترک را با استفاده از شاخص‌های NSFWQI، CWQI و شاخص مدیریتی Said موردمطالعه و بررسی قراردادند. بررسی نتایج سه شاخص کیفی نشان داد که شاخص NSFWQI به نسبت مناسب و شاخص Said به طور عمده با تغییر جزئی سیاست‌های مدیریتی اثربخش بود، بنابراین نتایج این دو روش در این منطقه یکسان به نظر رسید ولی شاخص CWQI که شرایط را مناسب تا ضعیف نشان داد، کمی محافظه‌کارانه‌تر از دو روش دیگر بود. روسلی و همکاران (۲۰۱۲) کیفیت آب رودخانه سبک واقع در مالزی را با استفاده از شاخص WQI مورد بررسی قراردادند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که رودخانه سطح پایینی از اکسیژن محلول و سطح بالایی از اکسیژن موردنیاز شیمیایی و سرب داشت و کیفیت آب این رودخانه ازنظر شاخص WQI در محدوده اندکی آلوده (کلاس VI) قرار گرفت. ابراهیم‌پور و محمدزاده (۱۳۹۲) با استفاده از شاخص‌های NSFWQI، OWQI و CWQI کیفیت آب دریاچه تالابی زریوار را بررسی نمودند. طبق نتایج این مطالعه دریاچه زریوار ازنظر شاخص NSFWQI در محدوده کیفی متوسط و از نظر شاخص OWQI در محدوده بسیار بد قرار داشت. این در حالی است که آب دریاچه ازنظر شاخص CWQI به‌طورکلی ازنظر کیفی در رده بد، برای آشامیدن خوب، برای آبزیان بد و ازنظر آبیاری، تفریح و استفاده احشام در رده عالی قرار گرفت. ایشان استفاده از شاخص‌های CWQI و NSFWQI را برای شناخت کیفیت منابع آبی کشور به‌خصوص دریاچه‌ها و رودخانه‌ها مناسب و راهگشا دانستند. واحیدونیشا و شوکلا (۲۰۱۳) در پژوهشی کیفیت آب تالاب روب سیگار هند را با استفاده از شاخص NSFWQI به‌صورت ماهیانه طی یک‌ساله (اوت ۲۰۱۱ تا جولای ۲۰۱۲) بررسی نمودند. طبق نتایج حاصل از این مطالعه کیفیت آب تالاب روب سیگار در کل دوره مطالعه در محدوده کیفی متوسط قرار گرفته است. بیشترین میزان شاخص NSFWQI (۶۶/۷۵) در ماه نوامبر و کمترین میزان این شاخص (۵۵/۲۵) در ماه جولای مشاهده گردید. امین‌پور شیانی و همکاران (۱۳۹۵) در مطالعه‌ای باهدف ارزیابی کیفیت آب رودخانه گاز رودبار با استفاده از شاخص کیفی NSFWQI و شاخص آلودگی Liou به این نتیجه رسیدند که میزان میانگین ماهیانه شاخص NSFWQI در محدوده ۶۰ – ۵۰/۴ و میزان میانگین ماهیانه شاخص Liou در محدوده ۳/۸۵- ۱/۱ قرار می‌گیرد. بر اساس این شاخص NSFWQI آب رودخانه گاز رودبار در رده کیفی متوسط و بر اساس شاخص Liou در رده کیفی اندکی آلوده قرار گرفته است. افندی و واردیاتنو (۲۰۱۵) وضعیت کیفی آب رودخانه چیمبیلاوینگ واقع در استان بن تن (اندونزی) را با استفاده از شاخص NSFWQI و شاخص آلودگی (PI) بررسی نمودند. نمونه‌برداری از سه ایستگاه و در سه نوبت مطابق با فصل بارانی صورت گرفت. طبق نتایج حاصل از این مطالعه میزان شاخص NSFWQI در محدوده ۸۸-۸۷ و میزان شاخص آلودگی در محدوده ۰/۷۸-۰/۵۶ ۶ قرار میگیرد. بر اساس این شاخص‌ها کیفیت آب رودخانه چیمبیلاوینگ در محدوده خوب قرار گرفته است. علیزاده

و همکاران (۱۳۹۶) در مطالعه‌ای به بررسی روند مکانی کیفیت آب رودخانه‌های کن و کرج با استفاده از سه شاخص NSFWQI، IRWQISC و WQI پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داده است که کیفیت آب رودخانه‌های کن و کرج طبق شاخص NSFWQI به ترتیب در محدوده آب‌های با کیفیت بد و متوسط، طبق شاخص $IRWQI_{SC}$ به ترتیب در محدوده آب‌های باکیفیت بسیار بد و نسبتاً خوب و طبق شاخص WQI در محدوده آب‌های باکیفیت خوب قرار داشت. همچنین آب رودخانه‌ها در بالادست حوضه از نظر کیفیت باتوجه‌به شرایط متوسط NSFWQI و خوب $IRWQI_{SC}$، برای شرب و کشاورزی مناسب بود. به‌هرحال، آب پایین‌دست دو رودخانه آلوده بود. نتایج گروه‌بندی نیز نشان داد که با حرکت از بالادست به پایین‌دست رودخانه‌ها، کیفیت آب کاهش می‌یابد. شکوهی و مدبری (۱۳۹۷) در پژوهشی باهدف ارزیابی و مقایسه حساسیت دو مدل کیفیت آب NSFWQI و $IRWQI_{SC}$ نسبت به پارامترهای کیفی با استفاده از روش‌های مبتنی بر واریانس، روی رودخانه پسیخان با نمونه برداری ماهانه در سال ۹۴ که در ۱۳ ایستگاه انجام شد، به این نتیجه رسیدند که حساسیت فصلی پارامتر BOD بیشترین حساسیت را در هر دو مدل نشان داد. بر اساس نتایج در ارزیابی کیفی با شاخص $IRWQI_{SC}$ تعداد دفعات و اندازه‌گیری دقیق دو پارامتر DO و BOD دارای اهمیت زیادی در مقابل ۹ پارامتر دیگر قلمداد گردید. توکاتلی در سال ۲۰۱۹ به بررسی کیفیت آب رودخانه ارژن در ترکیه با استفاده از شاخص کیفیت آب WAWQI پرداخت. او نمونه‌های آب را از ۳۰ ایستگاه در فصل خشک (تابستان) سال ۲۰۱۸ جمع‌آوری کرد و مورد ارزیابی قرارداد. نتایج نشان داد باوجوداینکه غلظت برخی از عناصر در بعضی از مناطق از حد مجاز بالاتر رفت، اما بیشتر غلظت عناصر مورد بررسی در آب آشامیدنی حوضه در محدوده استانداردهای مصرف انسانی قرار دارد. در پژوهش حاضر جهت بررسی کیفیت آب رودخانه مهم هراز در استان مازندران از شاخص کیفیت آب بنیاد ملی بهداشت NSFWQI ، شاخص آلودگی RPI ، شاخص کیفیت وزنی حسابی آب WAWQI و شاخص حسابداری - اجتماعی Dinius بهره‌برده شده است.

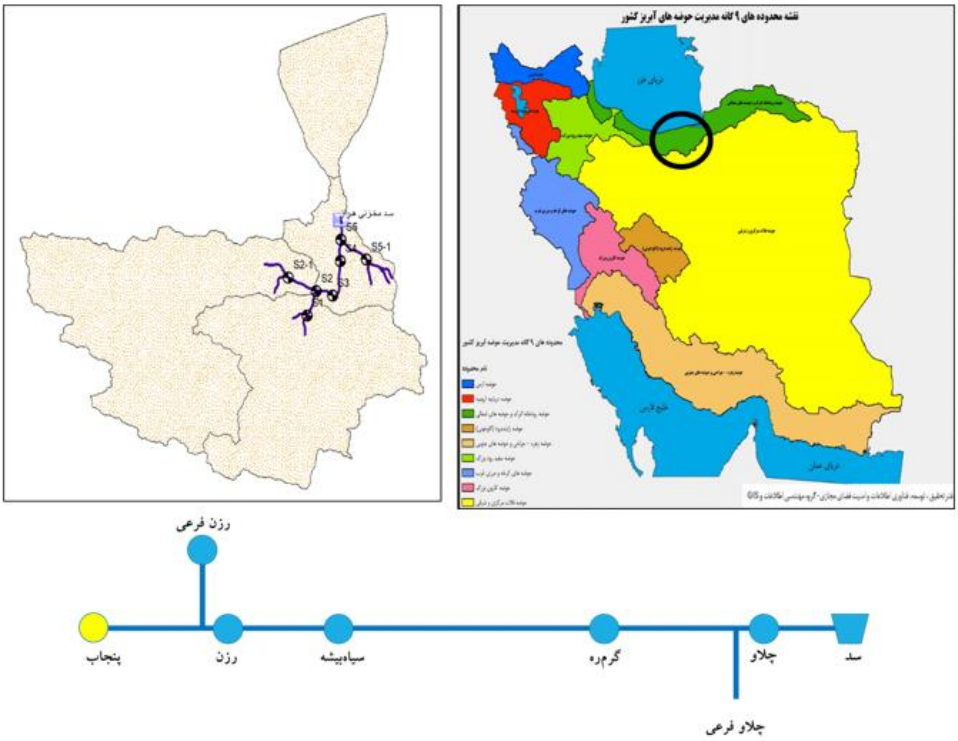
مواد و روش

منطقه مورد بررسی

منطقه مورد بررسی در این مطالعه به طول ۳۰ کیلومتر حدفاصل محدوده روستای نمارستاق (ایستگاه پنجاب) تا بالادست سد مخزنی هراز (ایستگاه چلاو) به تعداد ۷ ایستگاه پایش کیفی بر رودخانه هراز بوده است (جدول ۱). در این بازه تعداد زیادی منابع آلاینده نظیر کارگاه پرورش ماهی، کارگاه‌های برداشت شن و ماسه، رستوران، دامداری محلی و نیز یک کشتارگاه قرار دارد که فاضلاب آن‌ها به طور مستقیم و غیرمستقیم به رودخانه تخلیه می‌شود. همچنین مزارع کشاورزی و باغات میوه زیادی در اطراف رودخلنه هراز قرار دارد که پس از آبیاری زهاب‌های کشاورزی همراه با باقیملنده کود و سم و یا کودهای شیمیایی و سموم اضافه بر مصرف واقعی وارد رودخانه هراز می‌شود.

در پژوهش حاضر نمونه‌برداری‌ها در سال ۱۴۰۰ به‌صورت ماهانه (هفته سوم هر ماه) انجام شده است. برداشت و نگهداری پارامترهای موردنظر روش استاندارد SMEWW[5] (APHA, 2005) و سنجش پارامترهای مورد بررسی در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری (آزمایشگاه معتمد) صورت پذیرفت. جدول ۲ پارامترهای لندازه‌گیری شده در این مطالعه و روش اندازه‌گیری که برای انجام پژوهش به‌کاررفته است را نشان می‌دهد. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد بررسی در حوضه شمالی در زیر حوضه هراز تا قره‌سو در محدوده جغرافیایی $51^{\circ}25'$ تا $52^{\circ}35'$ طول شرقی $35^{\circ}45'$ تا $36^{\circ}45'$ عرض شمالی و ایستگاه‌های مورد بررسی را نشان می دهد.

[5] Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater



شکل ۱(۱): موقعیت منطقه موردمطالعه و ایستگاه‌های منتخب مورد بررسی بر رودخانه هراز

جدول (۱): موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های منتخب مورد بررسی بر رودخانه هراز

ایستگاه	پنجاب (سراب)	رزن فرعی	رزن	سیاه‌بیشه	گرم ره	چلاو فرعی	چلاو (پایاب)
نماد	S_1	S_{2-1}	S_2	S_3	S_4	S_{5-1}	S_5
X	۶۱۴۶۵۶	۶۱۳۳۵۰	۶۱۶۹۶۸	۶۲۲۶۶۴	۶۲۲۹۶۰	۶۲۸۷۲۲	۶۲۳۲۰۸
Y	۳۹۹۵۵۰۶	۴۰۰۱۸۲۷	۴۰۰۰۵۹۳	۴۰۰۲۹۹۹	۴۰۰۸۳۵۳	۴۰۰۸۴۲۲	۴۰۱۲۰۶۴

جدول (۲): پارامترها و روش اندازه‌گیری انجام پژوهش

پارامتر	روش اندازه‌گیری	پارامتر	روش اندازه‌گیری
اکسیژن محلول	وین کلر- DO متر	نیتروژن آمونیاکی	نسلر- اسپکتروفتومتر
اکسیژن‌خواهی بیولوژیکی	نانومتریک- انکوباتور	کل ذرات معلق	وزن سنجی- دستگاه پمپ خلأ و ترازو
خاصیت اسیدی - pH	دستگاهی- pH متر	کل ذرات محلول	دستگاهی
نیترات	بروسین-فتومتری	هدایت الکتریکی	دستگاهی – EC متر
دما	دستگاهی- ترمومتر	منیزیم	تیتراسیون
فسفات کل	اسکوربیک اسید – فتومتری- اسپکتروفتومتر	کلسیم	تیتراسیون
FC	ستون جیوه‌ای- هوربیا	سختی	کمپلکسومتری
کدورت	دستگاهی- کدورت سنج	کلراید	آرژانتومتری

شاخص‌های مورد بررسی

شاخص RPI

اداره حفاظت از محیط‌زیست تایوان از شاخص RPI با استفاده از داده‌های کیفیت آب برای طبقه‌بندی ایستگاه‌ها جهت نظارت بر کیفیت آب در استفاده کرد. نتایج بدست آمده از این شاخص می‌تواند مرجع ارزشمندی برای مدیریت آلودگی آب رودخانه باشد (تین و همکاران، ۲۰۲۰). جهت تعیین آلودگی رودخانه چهار پارامتر کیفیت آب از جمله DO، BOD، TSS و NH3-N ارائه شده و در جدول ۳ استفاده می‌شود. جهت محاسبه RPI از رابطه ذیل استفاده می‌شود:

$$RPI = \frac{1}{4}\sum_{i=4}^{4} S_i \qquad (۱)$$

که در این معادله S_i نمره شاخص جهت طبقه بندی آلودگی می‌باشد و با میانگین مقدار S_i برای هر ۴ پارامتر ارزش شاخص RPI طبق جدول ۳ مشخص می‌شود (چن و همکاران، ۲۰۱۹).

جدول (۳): پارامترها و طبقه‌بندی شاخص آلودگی رودخانه RPI

پارامتر	بدون آلودگی	آلودگی غیرقابل‌چشم‌پوشی	آلودگی به میزان متوسط	آلودگی زیاد
DO	بیشتر از ۶.۵	۶.۵-۴.۶	۴.۵-۲	کمتر از ۲
BOD	کمتر از ۳	۴.۹-۳	۱۵-۵	بیشتر از ۱۵
NH_3-N	کمتر از ۰.۵	۰.۹۹-۰.۵	۳-۱	بیشتر از ۳
TSS	کمتر از ۲۰	۴۹-۲۰	۱۰۰-۵۰	بیشتر از ۱۰۰
S_i	۱	۳	۶	۱۰
RPI	کمتر از ۲	۳-۲	۶-۳.۱	بیشتر از ۶

شاخص NSFWQI

جهت محاسبه شاخص کیفیت آب بنیاد ملی بهداشت NSFWQI ، از ۹ پارامتر به‌عنوان پارامترهای اساسی جهت تعیین شاخص کیفیت آب استفاده شد. این پارامترها عبارت‌اند از اکسیژن محلول (DO)، دما (T)، کلی‌فرم مدفوعی (CF)، کدورت (TUR)، فسفات کل (P)، نیترات (N)، کل مواد جامد (TDS)، pH و میزان اکسیژن‌خواهی بیولوژیکی (BOD) است. بر اساس اهمیت پارامترها مطابق جدول ۴ به هرکدام وزن داده شده است. شاخص کیفیت آب با استفاده از رابطه ذیل بدست می‌آید (برون و همکاران، ۱۹۷۰)؛

$$NSFWQI = \sum_{i=1}^{n} I_i W_i \qquad (۲)$$

در رابطه ۱، I_i مقدار مربوط به پارامتر کیفی و W_i ضریب وزنی مربوط به آن پارامتر است. در نهایت با داشتن مقدار شاخص و با استفاده از جدول ۵ کیفیت رودخانه به صورت محدوده عالی، خوب، متوسط، بد و خیلی بد طبقه بندی می شود.

جدول (۴): وزن بکار رفته در شاخص NSFWQI

پارامتر	DO	T	CF	TUR	P	N	TDS	PH	BOD
وزن	۰/۱۷	۰/۱۰	۰/۱۶	۰/۰۸	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۰۷	۰/۱۱	۰/۱۱
واحد	درصد اشباع	سانتی‌گراد	MPN/100ml	NTU	mg/lit	mg/lit	mg/lit	استاندارد	mg/lit

جدول (۵): تفسیر آلودگی بر اساس مقدار عددی شاخص NSFWQI

مقدار عددی	کلاس	رنگ
۲۵-۰	خیلی بد	قرمز
۵۰-۲۵	بد	نارنجی
۷۰-۵۰	متوسط	زرد
۹۰-۷۰	خوب	سبز
۱۰۰-۹۰	عالی (خیلی خوب)	آبی

شاخص کیفیت وزنی حسابی آب WAWQI

شاخص کیفیت وزنی حسابی آب یا WAWQI با استفاده از پارامترهای کیفیت آب مورد بررسی و کیفیت آب را باتوجه‌به درجه خلوص طبقه‌بندی می‌کند. محاسبه WAWQI با استفاده از رابطه ذیل انجام می‌پذیرد:

$$WAWQI = \sum Q_i W_i / \sum W_i \quad (۳)$$

مقیاس رتبه‌بندی کیفیت (Q_i) برای هر پارامتر با استفاده از رابطه ذیل محاسبه می‌شود:

$$Q_i = 100 \times [v_i - v_0]/[s_i - v_0] \quad (۴)$$

که در آن، v_i غلظت برآورد شده از پارامتر در آب مورد تجزیه و تحلیل، v_0 مقدار ایده آل این پارامتر در آب طبق استاندارد کیفیت آب‌های ایران به استناد ماده ۵ آئین نامه جلوگیری از آلودگی آب سازمان حفاظت محیط زیست و s_i مقدار استاندارد پارامتر می‌باشد. وزن واحد W_i برای هر پارامتر کیفیت آب با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$W_i = k/s_i \quad (۵)$$

که در آن k نسبت متناسب است و می‌تواند با استفاده از رابطه ذیل محاسبه شود:

$$k = 1/\sum 1/s_i \quad (۶)$$

درجه‌بندی کیفیت آب مطابق WAWQI در جدول ۶ آورده شده است (زوالنون و موسی، ۲۰۱۹).

جدول (۶): فهرست شاخص کیفیت وزنی حسابی آب WAWQI

دامنه شاخص	طبقه‌بندی	رنگ
۲۰-۰	عالی	آبی
۵۰-۲۶	خوب	سبز
۷۵-۵۱	بد	نارنجی
۱۰۰-۷۶	خیلی بد	زرد
بیشتر از ۱۰۰	غیر قابل شرب	قرمز

شاخص سیستم حسابداری اجتماعی Dinius

Dinius یک شاخص کیفی آب ارائه نمود تا به‌عنوان یک سیستم حسابرسی اجتماعی مقدماتی برای اندازه‌گیری هزینه اثرات فعالیت‌های کنترلی آلودگی استفاده شود. هدف او از این عمل الف: ارائه یک روش برای ارائه گزارش‌های آگاهی‌دهنده به عموم و دولت از میزان آلودگی و موقعیت آلودگی به‌صورت ساده و ب: برآورد هزینه لازم برای کنترل آلودگی در منابع طبیعی بوده است (دینیوس، ۱۹۷۲). جهت توسعه این شاخص از بسیاری از مطالعات انجام شده مشابه سود برده شده و با استفاده از آنها ۱۱ تابع زیرشاخص برای محاسبه زیر شاخص ۱۱ پارامتر آلودگی اکسیژن محلول، BOD_5، کل کلی‌فرم، فیکال کلی‌فرم، هدایت ویژه، کلراید، سختی، قلیائیت، pH، درجه حرارت و رنگ معرفی شد (جدول ۷).

جدول (۷): توابع زیر شاخص‌ها و فاکتور وزنی برای شاخص کیفی آب Dinius

شاخص	نماد	واحد	توابع	وزن W	توضیحات
اکسیژن محلول	DO	mg/l	$I = X$	۵	
اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی	BOD_5	mg/l	$I = 107X^{-0.642}$	۲	
کل کلی‌فرم	TC	MPN/100ml	$I = 100X^{-0.3}$	۳	
فیکال کلیفرم	FC	MPN/100ml	$I = 100(5X)^{-0.3}$	۴	
هدایت ویژه	SC	µmho/cm	$I = 535X^{-0.3565}$	۱	
کلراید	CL	mg/l	$I = 125.8X^{-0.207}$	۰.۵	
سختی	H	ppm	$I = 10^{1.974-0.00132X}$	۱	
قلیایت	A	ppm	$I = 108X^{-0.178}$	۰.۵	
pH		استاندارد	$I = 10^{0.2335x+0.440}$ $I = 100$ $I = 10^{4.22-0.293x}$	۱	کمتر از ۶.۷ ۶.۷-۷.۵۸ بیشتر از ۷.۵۸
درجه حرارت	T	C	$I = -4(X_a - X_s) + 112$	۲	X_a : واقعی X_s : استاندارد
رنگ	C		$I = 128X^{-0.288}$	۱	

شـــاخص کلی به‌وســـیله یک جمع وزنی خطی از زیر شـاخص‌ها به دسـت می‌آید و به‌صـورت شـاخص با مقیاس کاهشی می‌باشد:

$$RPI = \frac{1}{21}\sum_{i=1}^{N} W_i I_i \qquad (۷)$$

که در آن، I_i زیر شـــاخص پارامتر i ام و W_i فاکتور وزنی پارامتر i ام (طبق جدول ۷) می‌باشـــد. از مقادیر بدســـت آمده از شـــاخص برای هر نوع مصـــرف (عمومی، تفریحی، زیســـت آبی و حیات وحش، مصـــارف صـــنعتی و کشاورزی، کشـتی رانی و انتقال فاضلاب تصفیه شده) یک توصیف مطابق شکل ۲ ارائه می دهد.

شکل (۲): توصیف شاخص Dinius برای استفاده از شاخص کیفی آب در مصارف مختلف آب

نتایج و بحث

جدول ۸ نتایج آنالیز پارامترهای اندازه‌گیری شده را برای ۷ ایستگاه مورد بررسی بر رودخانه هراز در فصل‌های مختلف بر اساس شاخص سازمان بهداشت جهانی NSFWQI نشان می‌دهد. لازم به یادآوری است که پس از نمونه‌برداری، نمونه‌ها با استفاده از بطری‌های اتوکلاو شده جمع‌آوری و سپس از نظر خصوصیات شیمیایی و فیزیکی مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت.

جدول (۸): نتایج اندازه‌گیری پارامترها در ایستگاه‌های مورد بررسی برای شاخص NSFWQI

نماد	بهار		تابستان		پاییز		زمستان		سالانه	
	شاخص	وضعیت	شاخص	وضعیت	شاخص	وضعیت	شاخص	وضعیت	شاخص	وضعیت
S_1	۴۷/۹	بد	۵۱/۱	متوسط	۵۶/۱	متوسط	۵۸/۰	متوسط	۵۱/۹	متوسط
$S_{2\text{-}1}$	۵۱/۱	متوسط	۵۰/۳	متوسط	۵۱/۰	متوسط	۵۳/۴	متوسط	۵۱/۲	متوسط
S_2	۵۲/۵	متوسط	۵۰/۹	متوسط	۵۱/۶	متوسط	۵۴/۰	متوسط	۵۲/۰	متوسط
S_3	۵۴/۲	متوسط	۴۹/۶	بد	۵۲/۶	متوسط	۵۳/۲	متوسط	۵۱/۰	متوسط
S_4	۵۳/۲	متوسط	۵۰/۹	متوسط	۵۵/۴	متوسط	۵۷/۶	متوسط	۵۲/۶	متوسط
$S_{5\text{-}1}$	۴۹	بد	۴۹/۵	بد	۵۱/۷	متوسط	۵۲/۳	متوسط	۵۰/۱	متوسط
S_5	۵۱/۱	متوسط	۴۹/۹	بد	۵۳/۰	متوسط	۵۵/۰	متوسط	۵۱/۸	متوسط

بررسی بارش‌های سال ۱۴۰۰ در ایستگاه تبخیر سنجی کره سنگ نشان داد که رودخانه هراز در ماه بهار، به علت باران‌های فراوان و درنتیجه وجود دبی زیاد، در وضعیت کیفی متوسط تا بد قرار دارد که دلیل آن مقادیر

زیاد کلی‌فرم و فسفات (به‌خصوص در اردیبهشت‌ماه) موجود در رودخانه در این فصل سال از کیفیت آب رودخانه کاسته است. مقادیر افزایش BOD و فسفات در ایستگاه‌های پایین‌دست سبب شده است تا کیفیت آب رودخانه از متوسط تا حد نسبتاً بد تغییر یابد. در فصل تابستان به علت دمای بالا و کاهش دبی رودخانه، مقادیر DO کاهش و BOD افزایش‌یافته است. از طرفی افزایش غلظت کلی‌فرم مدفوعی و مقادیر جامدات معلق در آب کیفیت آب رودخانه را کاهش داده است. میزان فسفات و نیترات بر روی شاخص NSFWQI تأثیر چندانی نداشت. نتایج بررسی شاخص NSFWQI نشان داده است در فصل تابستان ایستگاه‌های بالادست نظیر S_1، S_2، S_{2-1} دارای وضعیت کیفی متوسط و ایستگاه‌های پایین‌دست مانند S_5 و S_1 ، دارای وضعیت کیفی بد می‌باشد. با استفاده از شاخص NSFWQI رودخانه هراز در فصل پاییز و زمستان از ایستگاه سراب یعنی پنجاب تا ایستگاه پایاب یعنی چلاو دارای تفسیر کیفی متوسط بود که این گستردگی میتواند یک نقطه ضعف برای این شاخص باشد. شکل ۴ شماتیک وضعیت کیفی آب رودخانه هراز بر اساس شاخص NSFWQI را نشان می‌دهد.

جدول ۹ نتایج آنالیز پارامترهای اندازه‌گیری شده را برای ۷ ایستگاه مورد بررسی بر رودخانه هراز در فصل‌های مختلف بر اساس شاخص آلودگی RPI نشان می‌دهد. باتوجه‌به نتایج به‌دست‌آمده در جدول ۹ شاخص آلودگی رودخانه از ۳/۸۸ تا ۶/۱۳ متغیر است. باتوجه‌به این جدول، کیفیت آب در ایستگاه‌های S_1، S_{2-1} و S_3 در طبقه‌بندی آلودگی به میزان متوسط قرار دارد. دراین‌بین در تابستان در ایستگاه S_{2-1} شاخص آلودگی زیاد به‌دست‌آمده است که دلیل آن می‌تواند توریستی بودن روستاهای بالادست و فعالیت‌های کشاورزی در روستاهای بالادست این ایستگاه و ورود فاضلاب به رودخانه هراز باشد. ایستگاه‌های S_4، S_{5-1} و S_5 در طبقه آب‌های با آلودگی زیاد می‌باشند. نکته قابل‌توجه در این سه ایستگاهی که در تمام طول سال وضعیت آلودگی زیاد هستند این است که در نیمه اول سال (بهار و تابستان) شدت آلودگی بیشتر است که با توجه قرارگیری زمین‌های کشاورزی و نیز روستاهای موجود در منطقه و فاضلاب آن به رودخانه می‌تواند دلیل افزایش آلودگی آب رودخانه باشد. شکل ۴ شماتیک وضعیت کیفی آب رودخانه هراز بر اساس شاخص RPI را نشان می‌دهد. ابراهیم‌پور و محمدزاده (۱۳۹۲) با استفاده از شاخص‌های NSFWQI، OWQI و CWQI کیفیت آب دریاچه تالابی زریوار را بررسی نمودند. طبق نتایج این مطالعه دریاچه زریوار ازنظر شاخص NSFWQI در محدوده کیفی متوسط قرار داشت. این در حالی است که آب دریاچه ازنظر شاخص CWQI به‌طورکلی ازنظر کیفی در رده بد، برای آشامیدن خوب، برای آبزیان بد و ازنظر آبیاری، تفریح و استفاده احشام در رده عالی قرار گرفت.

جدول (۹): نتایج اندازه‌گیری پارامترها در ایستگاه‌های مورد بررسی برای شاخص WAWQI

ایستگاه	فصل	RPI فصلی	وضعیت	RPI متوسط	وضعیت
S_1	بهار	۴/۰۰	آلودگی به میزان متوسط	۳.۸۸	آلودگی به میزان متوسط
	تابستان	۳/۷۵	آلودگی به میزان متوسط		
	پاییز	۴/۰۰	آلودگی به میزان متوسط		
	زمستان	۳/۷۵	آلودگی به میزان متوسط		
S_{2-1}	بهار	۴/۰۰	آلودگی به میزان متوسط	۴.۸۱	آلودگی به میزان متوسط
	تابستان	۶/۲۵	آلودگی زیاد		
	پاییز	۴/۵۰	آلودگی به میزان متوسط		
	زمستان	۴/۵۰	آلودگی به میزان		

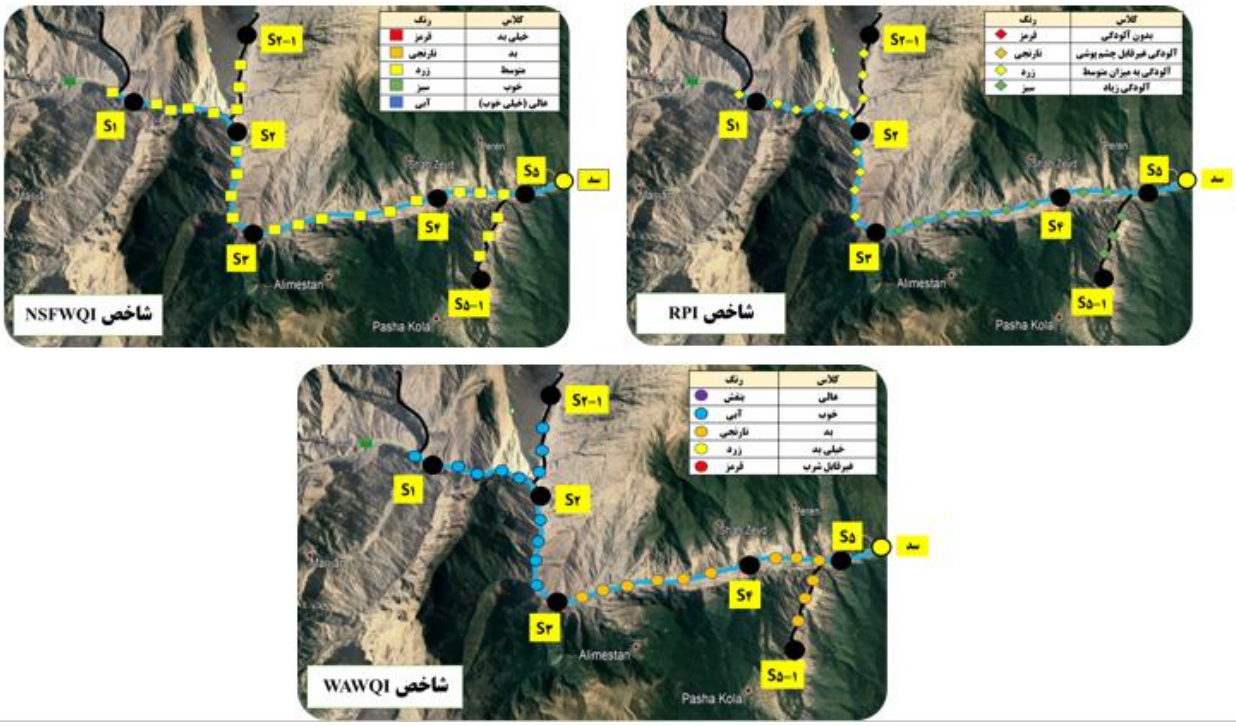
			متوسط		
S_2	بهار	۴/۰۰	آلودگی به میزان متوسط	۴.۲۵	آلودگی به میزان متوسط
	تابستان	۵/۰۰	آلودگی به میزان متوسط		
	پاییز	۴/۰۰	آلودگی به میزان متوسط		
	زمستان	۴/۰۰	آلودگی به میزان متوسط		
S_3	بهار	۴/۰۰	آلودگی به میزان متوسط	۴.۳۸	آلودگی به میزان متوسط
	تابستان	۴/۵۰	آلودگی به میزان متوسط		
	پاییز	۴/۵۰	آلودگی به میزان متوسط		
	زمستان	۴/۵۰	آلودگی به میزان متوسط		
S_4	بهار	۶/۲۵	آلودگی زیاد	۶.۰۰	آلودگی زیاد
	تابستان	۶/۲۵	آلودگی زیاد		
	پاییز	۶/۰۰	آلودگی زیاد		
	زمستان	۵/۵۰	آلودگی به میزان متوسط		
S_{5-1}	بهار	۶/۲۵	آلودگی زیاد	۶.۰۰	آلودگی زیاد
	تابستان	۶/۵۰	آلودگی زیاد		
	پاییز	۵/۷۵	آلودگی به میزان متوسط		
	زمستان	۵/۵۰	آلودگی به میزان متوسط		
S_5	بهار	۶/۲۵	آلودگی زیاد	۶.۱۳	آلودگی زیاد
	تابستان	۶/۵۰	آلودگی زیاد		
	پاییز	۶/۲۵	آلودگی زیاد		
	زمستان	۵/۵۰	آلودگی به میزان متوسط		

جدول ۱۰ نتایج آنالیز پارامترهای اندازه‌گیری شده را برای ۷ ایستگاه مورد بررسی بر رودخانه هراز در فصل‌های مختلف بر اساس شاخص کیفیت وزنی حسابی آب WAWQI نشان می‌دهد. شکل ۴ شماتیک وضعیت کیفی آب رودخانه هراز بر اساس شاخص WAWQI را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این جدول مشخص است شاخص آلودگی رودخانه هراز در دامنه ۴۴/۴۰ تا ۵۳/۴۳ قرار دارد. نتایج نشان داده است که ایستگاه‌های S_1، S_{2-1}، S_2 و S_3 علی‌رغم اینکه در وضعیت کیفی خوب هستند اما اعداد شاخص به‌دست‌آمده کیفیت آب هرچه به سمت پایین‌دست حرکت می‌شود (به تفکیک هر فصل) به شرایط نسبتاً بد گرایش دارد. اما کیفیت آب رودخانه هراز در ایستگاه‌های S_4 و S_5 در رده کیفیتی نسبتاً بد و بد قرار گرفته است. باتوجه‌به آنالیز یدست آمده میزان کدورت در ایستگاه‌های بالادست به‌مراتب کمتر از ایستگاه‌های پایین‌دست می‌باشد. مقادیر پارامتر نیترات در طول رودخانه هراز بخصوص در فصل بهار و تابستان افزایش‌یافته است که نشان می‌دهد فضولات انسانی و حیوانی در کنار رودخلنه‌ها باعث افزایش میزان نیترات در آب می‌شود و نتایج بیانگر وجود کلی‌فرم مدفوعی و افزایش آن در طی رودخانه می‌باشد. دلیل این امر را می‌توان وجود فعالیت‌های کشاورزی و دامپروری در کنار رودخانه‌ها

دانســت. باکتری‌های کلی‌فرم مدفوعی در صــورت ورود به بدن انســان خطرناک اســت، زیرا باعث بیماری‌هایی مانند اسهال، سرطان، اسپاسم معده و تورم روده می‌شوند.

جدول (۱۰): نتایج اندازه‌گیری پارامترها در ایستگاه‌های مورد بررسی برای شاخص WAWQI

ایستگاه	فصل	WAWQI فصلی	وضعیت	WAWQI متوسط	وضعیت
S_1	بهار	۴۸/۷۳	خوب	۴۴/۴۰	خوب
	تابستان	۴۹/۹۶	نسبتاً خوب		
	پاییز	۴۸/۷۰	خوب		
	زمستان	۳۰/۱۹	خوب		
S_{2-1}	بهار	۴۷/۰۲	خوب	۴۵/۱۴	خوب
	تابستان	۴۷/۰۲	خوب		
	پاییز	۴۸/۵۱	خوب		
	زمستان	۳۸/۰۲	خوب		
S_2	بهار	۴۸/۲۶	خوب	۴۶/۶۴	خوب
	تابستان	۴۸/۸۳	خوب		
	پاییز	۴۹/۹۵	نسبتاً خوب		
	زمستان	۳۹/۵۲	خوب		
S_3	بهار	۵۲/۲۱	بد	۴۶/۵۱	خوب
	تابستان	۵۰/۶۳	نسبتاً بد		
	پاییز	۴۲/۱۵	خوب		
	زمستان	۴۱/۰۳	خوب		
S_4	بهار	۵۳/۶۲	بد	۵۰/۱۴	نسبتاً بد
	تابستان	۵۴/۷۴	بد		
	پاییز	۴۵/۰۵	خوب		
	زمستان	۴۷/۱۳	خوب		
S_{5-1}	بهار	۵۲/۲۴	بد	۴۹/۹۰	نسبتاً خوب
	تابستان	۵۳/۲۳	بد		
	پاییز	۴۹/۱۱	نسبتاً خوب		
	زمستان	۴۵/۰۱	خوب		
S_5	بهار	۵۳/۳۱	بد	۵۲/۱۵	بد
	تابستان	۵۳/۸۶	بد		
	پاییز	۵۱/۳۲	بد		
	زمستان	۵۰/۱۲	نسبتاً بد		



شکل (۴): شماتیک وضعیت کیفی آب رودخانه هراز بر اساس شاخص‌های مورد بررسی

جدول ۱۱ نتایج آنالیز پارامترهای اندازه‌گیری شده را برای ۷ ایستگاه مورد بررسی بر رودخانه هراز در فصل‌های مختلف بر اساس شاخص سیستم حسابداری اجتماعی LINIUS نشان می‌دهد. مطابق این جدول کیفیت آب رودخانه هراز برای مصارف عمومی نیازمند تصفیه اولیه جهت مصرف است. به‌طوری که جهت مصارف تفریحی در ایستگاه‌های S_1، $S_{2\text{-}1}$، S_2، S_3 و S_4 در محدوده شروع آلودگی و در ایستگاه‌های $S_{5\text{-}1}$ و S_5 در محدوده مشکوک به آلودگی است. دلیل این موضوع وجود مواد شناور ناشی از زباله مسافرین محدوده رودخانه، لایه روغن ناشی از وجود موتورپمپ‌های برداشت آب از رودخانه به‌خصوص در نیمه اول سال (بهار و تابستان) که فصل مسافرپذیر و فصل کشت مزارع شالیزاری نیز می‌باشد. در کاربری اکوسیستم آبی یا زیست آبی از ایستگاه S_1 تا S_4 وضعیت رودخانه، برای ماهیان حساس مشکوک و در دو ایستگاه پایاب تنها برای ماهیان جان‌سخت (Hard Water Fish) مناسب است. دلیل این امر می‌تواند تخلیه غیرمجاز آلاینده‌ها، افزایش BOD و افزایش غلظت کلی‌فرم مدفوعی و مقادیر جامدات معلق در آب از سراب به پایاب در حضور آلاینده‌های مختلف باشد. همچنین آلودگی آب رودخانه هراز توسط فسفات نیز نیاز به کنترل و مدیریت دارد. در فرایندهای صنعتی با کمترین حساسیت به آب، بدون تصفیه یا با حداقل تصفیه قابل‌استفاده می‌باشند. ولی برای فرایندهای صنعتی نسبتاً حساس به آب، انجام فرایندهای تصفیه فیزیکی و شیمیایی باتوجه‌به نوع استفاده لازم است. باتوجه‌به وضعیت کیفی رودخانه هراز نیاز به تصفیه آب طبق جدول ۱۱ در اکثر ایستگاه‌ها نیاز است و توصیه می‌شود بیشتر برای مصارف آب خنک‌کننده (Cooling) که نیازمند تصفیه بالایی نمی‌باشند به کار رود.

جدول (۱۱): نتایج اندازه‌گیری پارامترها در ایستگاه‌های مورد بررسی برای شاخص LINIUS

ایستگاه	فصل	LINIUS فصلی	LINIUS متوسط	عمومی	تفریحی	زیست آبی	صنعتی کشاورزی
S_1	بهار	۵۲/۷۹	۵۳/۵۹	نیاز به تصفیه	شروع آلودگی	مشکوک برای ماهی حساس	عدم نیاز به تصفیه صنعتی
	تابستان	۵۵/۲۷					
	پاییز	۵۰/۳۸					
	زمستان	۵۵/۹۰					
S_{2-1}	بهار	۵۳/۷۱	۵۰/۲۶	نیاز به تصفیه	شروع آلودگی	مشکوک برای ماهی حساس	عدم نیاز به تصفیه صنعتی
	تابستان	۴۲/۸۰					
	پاییز	۵۲/۱۵					
	زمستان	۵۲/۳۹					
S_2	بهار	۵۵/۱۱	۵۳/۴۵	نیاز به تصفیه	شروع آلودگی	مشکوک برای ماهی حساس	عدم نیاز به تصفیه صنعتی
	تابستان	۵۲/۵۷					
	پاییز	۵۲/۹۹					
	زمستان	۵۳/۱۳					
S_3	بهار	۵۲/۲۳	۵۲/۲۴	نیاز به تصفیه	شروع آلودگی	مشکوک برای ماهی حساس	عدم نیاز به تصفیه صنعتی
	تابستان	۵۲/۴۶					
	پاییز	۵۱/۲۲					
	زمستان	۵۳/۰۶					
S_4	بهار	۴۹/۸۹	۵۱/۵۹	نیاز به تصفیه	شروع آلودگی	مشکوک برای ماهی حساس	عدم نیاز به تصفیه صنعتی
	تابستان	۴۷/۱۴					
	پاییز	۵۲/۱۳					
	زمستان	۵۷/۱۸					
S_{5-1}	بهار	۵۰/۷۲	۴۹/۲۸	غیرقابل‌قبول	مشکوک	فقط ماهی سخت	نیاز به تصفیه صنعتی
	تابستان	۴۳/۳۹					
	پاییز	۴۹/۹۶					
	زمستان	۵۳/۰۳					
S_5	بهار	۴۸/۴۰	۴۹/۲۶	غیرقابل‌قبول	مشکوک	فقط ماهی سخت	نیاز به تصفیه صنعتی
	تابستان	۴۴/۲۴					
	پاییز	۵۰/۵۰					
	زمستان	۵۳/۹۲					

نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر مداخلات انسانی ازجمله تخلیه فاضلاب‌های شهری، صنعتی، کشاورزی، آبشویی محل‌های دفع زباله و همچنین فرایندهای طبیعی، کیفیت آب‌های سطحی را تخریب کرده و استفاده از آنها را برای مصارف آشامیدنی، صنعت، کشاورزی و غیره مختل کرده است (خلیلی و همکاران، ۲۰۲۰). به همین دلیل برنامه‌ریزی برای نظارت و کنترل آب‌های سطحی جهت شناخت و حفاظت کیفیت آب سطحی برای مصرف‌کنندگان ضروری است. در پژوهش حاضر جهت بررسی کیفیت آب رودخانه مهم هراز در استان مازندران از شاخص کیفیت آب بنیاد ملی بهداشت NSFWQI ، شاخص آلودگی RPI ، شاخص کیفیت وزنی حسابی آب WAWQI و شاخص حسابداری - اجتماعی Dinius بهره برده شده است.

نتایج بررسی شاخص NSFWQI نشان داده است در فصل تابستان ایستگاه‌های بالادست S_1، S_2، S_{2-1} دارای وضعیت کیفی متوسط و ایستگاه‌های پایین‌دست مانند S_{5-1} و S_5 ، دارای وضعیت کیفی بد می‌باشد. در فصل تابستان به علت دمای بالا و کاهش دبی رودخانه، مقادیر DO کاهش و BOD افزایش‌یافته است. از طرفی افزایش غلظت کلی‌فرم مدفوعی و مقادیر جامدات معلق در آب کیفیت آب رودخانه را کاهش داده است. رودخانه هراز در فصل پاییز و زمستان از ایستگاه سراب (پنجاب) تا ایستگاه

پایاب (چلاو) دارای تفسیر کیفی متوسط بود که این گستردگی می‌تواند یک نقطه‌ضعف برای این شاخص باشد. نتایج بررسی شاخص RPI نشان داده است کیفیت آب در ایستگاه‌های بالادست S_1، $S_{2\text{-}1}$ و S_3 در طبقه‌بندی آلودگی به میزان متوسط و ایستگاه‌های پایین‌دست S_4، $S_{5\text{-}1}$ و S_5 در طبقه آب‌های با آلودگی زیاد می‌باشند. دلیل آن توریستی بودن روستاهای بالادست و فعالیت‌های کشاورزی در روستاهای بالادست این ایستگاه‌ها و ورود فاضلاب و پساب به رودخانه هراز می‌باشد.

نتایج بررسی شاخص WAWQI نشان داده است که ایستگاه‌های S_1، $S_{2\text{-}1}$، S_2 و S_3 علی‌رغم اینکه در وضعیت کیفی خوب هستند اما اعداد شاخص بدست آمده کیفیت آب هرچه به سمت پایین‌دست حرکت می‌شود (به تفکیک هر فصل) به شرایط نسبتاً بد گرایش دارد. به طوریکه کیفیت آب رودخانه هراز در ایستگاه‌های S_4 و S_5 در رده کیفیتی نسبتاً بد و بد، قرارگرفته است. مقادیر پارامتر نیترات در طول رودخانه هراز افزایش یافته است که نشان می‌دهد فضولات انسانی و حیوانی در کنار رودخانه‌ها باعث افزایش میزان نیترات در آب می‌شود و نیز نتایج بیانگر وجود کلی‌فرم مدفوعی و افزایش آن در طی رودخانه می‌باشد که دلیل این امر را می‌توان وجود فعالیت‌های کشاورزی و دامپروری در کنار رودخانه دانست.

نتایج بررسی شاخص LINIUS نشان داده است که کیفیت آب رودخانه هراز برای مصارف عمومی نیازمند تصفیه اولیه، جهت مصارف تفریحی در محدوده شروع آلودگی و در پایین‌دست در محدوده مشکوک به آلودگی، در کاربری اکوسیستم آبی یا زیست آبی برای ماهیان حساس، مشکوک بوده و تنها برای ماهیان جان‌سخت مناسب است و جهت مصرف در بخش صنعتی، تصفیه آب در اکثر ایستگاه‌ها نیاز است و توصیه می‌شود بیشتر برای مصارف آب خنک‌کننده (Cooling) که نیازمند تصفیه بالایی نمی‌باشند به کار رود.

در کل در بررسی مکانی تغییرات آلودگی رودخانه هراز از ایستگاه‌های بالادست به‌طرف پایین‌دست از کیفیت آب به نحو چشمگیری کاسته می‌شود. دلیل آن تخلیه زباله و فاضلاب‌های رستوران‌های اطراف رودخانه، روستاهای بالادست، زه آب‌های کشاورزی، فضولات حیوانی، وجود معادن و کارگاه‌های برداشت شن و ماسه نام برد. در نتیجه جهت مدیریت اصولی آب رودخانه هراز باید تمهیداتی اندیشیده شود و برنامه پایش کیفی آب در آن استمرار یابد. نتایج حاصل از این مطالعه با نتایج امین‌پور و همکاران (۱۳۹۵) مبنی بر افزایش میزان آلودگی و کاهش کیفیت آب رودخانه گاز رودبار، از ایستگاه‌های بالادست به سمت پایین‌دست به علت ورود انواع آلاینده‌های خانگی، روستایی، شهری و کشاورزی، مطابقت دارد.

منابع

ابراهیم‌پور، ص. و محمدزاده، ح.، ۱۳۹۲. ارزیابی و پهنه‌بندی کیفیت آب دریاچه زریوار با استفاده از شاخص‌های کیفیت NSFWQI، OWQI و CWQI. مجله پژوهش‌های محیط‌زیست، سال ۱، شماره ۲، ص ۱۳۷-۱۴۲.

امین پورشیانی، س. محمدی، م. خالدیان، م. میرروشندل، الف. ۱۳۹۵. ارزیابی کیفیت آب رودخانه گاز رودبار با استفاده از شاخص کیفی NSFWQI و شاخص آلودگی Liou اکو بیولوژی تالاب (تالاب). دوره ۸، شماره ۲۷، ص ۶۵ - ۷۷.

شکوهی، ع. مدبری، ه. ۱۳۹۷. ارزیابی و مقایسه حساسیت مدل‌های NSFWQI و IRWQISC نسبت به پارامترهای کیفیت آب. تحقیقات منابع آب ایران. ۱۴(۵)، ص ۱۱۸-۱۳۲.

علیزاده، م. میرزایی، ر. کیا، ح. ۱۳۹۶. بررسی روند مکانی شاخص‌های کیفی آب در حوضه رودخانه‌های کن و کرج. مهندسی بهداشت محیط. دوره ۴، شماره ۳، ص ۲۴۳-۲۵۶ .

مفتاح هلقی، م.، ۱۳۹۰. پهنه‌بندی کیفی آب با استفاده از شاخص‌های متفاوت کیفی مطالعه موردی: رودخانه اترک. مجله پژوهش‌های حفاظت آب‌وخاک. دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، جلد ۹۸، شماره ۷، ص ۲۱۰-۲۲۰.

Berry L., Steffy Y. and Shank K. (2020). Development of a water quality index (WQI) for the Susquehanna River basin.S.R.B.C., New York. U.S.A.

Brown RM, McLelland NJ, Deininger RA, Tozer RG .1970. A water quality index do we dare? Water and Sewage Works. 339-343.

Chen K., Jang S. and Chou Y. (2019). Assessment of spatiotemporal variations in river water quality for sustainable environmental and recreational management in the highly urbanized Danshui River basin. Environ Monit Assess 25;191(2):100.

Dinius, S. H. 1972. Social Accounting System for Evaluating Water Resources. Water research. 8(5): 1159-1177.

Effendi, H. and Wardiatno, R. Y., 2015. Water Quality Status of Ciambulawung River, Banten Province, Based on Pollution Index and NSF-WQI. Procedia Environmental Sciences, 24: 228-237.

Khalili R., Parvinnia M. and Motaghi H. (2020). Evaluation of Bashar River water quality using CCME water quality index.J. Environ. Sci. Studies, 5(3), 2807–2814.

Rosli, N. A., Zawawi, M. H. and Bustami, R. A., 2012. Salak River Water Quality Identification and Classification According to Physico-Chemical Characteristics. Procedia Engineering, 50: 69-77.

Sohrabi N, Alizade A, Hasoonizade H, Hosseinzade S. 2015. Qualitative zoning of the Surgical River based on the NSFWQI index and using the GIS. Journal of Wetland Ecobiology 22:31-40.

Song X, Zhang J, Zhan C, Xuan Y, Ye M, Xu C. 2015. Global sensitivity analysis in hydrological modeling: Review of concepts, methods, theoretical framework, and applications. Journal of hydrology. ۵۲۳:۷۳۹-۷۵۷.

Tien C. J., Wang Z. X. and Chen C. S. (2020). Microplastics in water, sediment and fish from the Fengshan River system: relationship to aquatic factors and accumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons by fish. J. Environ. Pollut., 265(B), 114962.

Tokatli C. (2019). Drinking water quality assessment of Ergene River basin (Turkey) by water quality index: essential and toxic elements. J. Sains Malaysiana, 48(10), 2071–2081.

Vaheedunnisha, S. and Sandeep, K., 2013. Water Quality Assessment of RoopSagar Pond of Satna Using NSF-WQI. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, 2(5): 1386-1388.

Wang J., Sui Q., Lyu S., Huang Y., Huang S., Wang B. and Hou S. (2020). Source apportionment of phenolic compounds based on a simultaneous monitoring of surface water and emission sources: a case study in a typical region adjacent to Taihu Lake watershed. J. Sci. Total Environ., 722, 137946.

Xiao J., Wang L., Deng L. and Jin Z. (2019). Characteristics, sources, water quality and health risk assessment of trace elements in river water and well water in the Chinese loess plateau. J. Sci. Total Environ., 650, 2004–2012.

Zooalnoon M. O. and Musa A. (2019). Evaluation of produced water quality by using water quality indices in Heglig Area, Sudan. J. Water Supply: Res. Technol. AQUA., 68(7) , 607–615.