



## The Usage of Quality and Vulnerability Indices in the Assessment and Management of Surface Water Quality (Case Study: Shast Dareh River in Torbat Heydarieh Township)

**Document Type**  
Research Paper

**Received**  
2024/12/23

**Accepted**  
2025/06/02

Neda Mirikaram<sup>\*1</sup>, Farahnaz Sabzevari<sup>2</sup>, Abdolreza Karimi<sup>3</sup>

1. Project Manager of Water Quality Studies- Lar Consulting Engineers, PhD of Environmental Pollutions- Shahid Beheshti University, Tehran, Iran Email: [n\\_mirikarm@sbu.ac.ir](mailto:n_mirikarm@sbu.ac.ir)
2. Head of Environmental Department- Lar Consulting Engineers, MSC Graduate in Natural Resources Engineering-Environment- Faculty of Natural Resources and Marine Sciences- Tarbiat Modares University, Tehran, Iran Email: [fsabzevari22@gmail.com](mailto:fsabzevari22@gmail.com)
3. Associate Professor-Department of Civil Engineering-Faculty of Engineering-Qom University of Technology (QUT), Tehran, Iran Email: [karimi@qut.ac.ir](mailto:karimi@qut.ac.ir)



DOI: <http://doi.org/10.22034/eiap.2025.229977>

### Abstract

The purpose of this study is to evaluate the water quality of Shast dareh River in Torbet Heydarieh using the NSFQI and IRWQISC quality indicators, and to determine the degree of vulnerability using the WRATIC index in line with its quality management. Two monitoring stations were selected along the Shast dareh River, one upstream of Torbat Heydarieh city (S1) and the other downstream of the city and wastewater treatment plant (S2). 12 water quality parameters along the river were measured for one year with seasonal frequency using the standard method. Based on the IRWQISC index, the water quality is in the moderate to relatively good class. In the upstream areas, the river has better quality conditions, so that in the S1 station, the water quality is relatively good and good in the autumn and winter seasons. The Shast dareh River at the S2 station is affected by the pollution load, so that the water quality at this station is in the range of bad and very bad in all four sampling times. The NSFQI index is in the range of 14 to 56 at the monitoring stations. Therefore, based on this index, water quality conditions are moderate to bad at the S1 station and bad and very bad at the S2 station. These numbers indicate the moderate to high sensitivity of the Shast dareh River to pollution and the region's potential to cause pollution in surface water resources. Based on this, it is necessary to control and monitor the quality of the wastewater treatment plant emissions and their compliance with the standard of discharge to receiving waters, and to monitor human activities, agriculture, etc., to improve the ecological conditions and water resources of this area.

**Key Words:** Water Quality Index, Vulnerability index, Assessment, Quality management, Shast Dareh River.

## Introduction

Water pollution from industrial discharges, urban sewage, and agricultural runoff is a significant environmental issue, resulting in degradation of the chemical, physical, and biological quality of freshwater resources. Effective water quality management requires robust assessment tools such as Water Quality Indices (WQIs), which simplify complex data into interpretable metrics for monitoring and decision-making. This study focuses on the Shast Dareh River in Torbat Heydarieh, Iran, a region characterized by semi-arid conditions and increasing agricultural activity. The river flows through urban areas, industrial zones, and farmlands, receiving inputs from wastewater treatment plants, agricultural runoff, and domestic sewage. To evaluate its health, two primary indices were employed:

1. NSFQWI (National Sanitation Foundation Water Quality Index) – A globally recognized index incorporating nine parameters (e.g., dissolved oxygen, turbidity, nitrates, phosphates, fecal coliform).
2. IRWQISC (Iranian Surface Water Quality Index) – A localized index accounting for Iran's environmental conditions.

Additionally, the WRASTIC index was used to assess the river's vulnerability to pollution based on land use and hydrological factors.

## Methodology

**Study Area:** Torbat Heydarieh is one of the cities of Khorasan Razavi Province and the center of Torbat Heydarieh County. The area of this County is approximately 24,000 square kilometers and has a semi-arid climate. The Shast Dareh River is 125 kilometers long, seasonal, and a tributary of Kal Shar Gonabad in the desert plain basin. This river, with an average annual discharge of 23 million cubic meters (measured at the Senobar station in the upstream areas of the river), has an average slope of 1.2 percent, and its overall direction is north-south.

**Monitoring Program Design:** Depending on the location of the polluting sources in the region and the location of the Torbat Heydarieh wastewater treatment plant, two monitoring stations were determined along the Shast Dareh River. The first station (S1) was selected upstream of Torbat Heydarieh city at the location of the Senobar hydrometric station, and the second station (S2) was selected downstream of Torbat Heydarieh city and about 60 meters below the outlet of the treated wastewater of the Torbat Heydarieh wastewater treatment plant. In selecting the monitoring points, criteria such as appropriate distance from pollutant sources (downstream of the polluting unit to investigate the qualitative effects and upstream of the polluting units for comparison), water quality indicators of the basin inlet or outlet, proximity to urban and rural areas, and appropriate and safe access roads were considered. First, based on the national guidelines for the surface water and river monitoring program, a 1:50,000 scale map was used to examine the general location of the river. Then, based on the above criteria and using Google Earth satellite images, monitoring points were identified, and finally, the final location of the points was verified during a regional visit.

At each station, 12 quality parameters (pH, BOD, COD, TDS, EC, DO, temperature, organic phosphate, nitrate, ammonium, turbidity, and fecal coliform) were measured seasonally, and the results were analyzed using the desired indicators.

Considering the number of stations (2 stations), the number of parameters measured (12 parameters), and the seasonality of sampling (4 times per year), the total number of tests performed was 96 tests (Table 1).

To investigate, analyze, and classify the water quality of the Shast Dareh River in Torbat Heydarieh County, the NSFQWI and IRWQISC quality indices were used.

The WRASTIC index is used to assess the potential of a study area to pollute surface water resources in any hydrological environment. In this method, simple characteristics are weighted according to their impact on surface water pollution, and finally, a single value is calculated for the entire area. This index is calculated based on the following formula and seven criteria (wastewater discharge (W), recreational land use (R), agricultural land use (A), catchment area (S), transportation routes (T), industrial land use (I), and vegetation density (C)).

$$\text{WRASTIC INDEX} = W_R W_W + R_R R_W + A_R A_W + S_R S_W + T_R T_W + I_R I_W + C_R C_W$$

**Table (1): Parameters measured according to standard test method**

Parameter	Method	Unit
DO	Membrane Electrode	mg/lit O <sub>2</sub>
Fecal Coliform	Multiple Tube Technique	MPN/100ml
pH	Electrometric	-
BOD	Respirometric	mg/lit O <sub>2</sub>
COD	Closed Reflux-Titrimetric	mg/lit O <sub>2</sub>
Temperature	Laboratory and Field	°C
PO <sub>4</sub>	Stannous Chloride	mg/lit P
NO <sub>3</sub>	Brucine	mg/lit NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Nesslerization	mg/lit NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
Turbidity	Nephelometric	NTU
TDS	Electrical Conductivity	mg/lit
EC	Platinum Electrode	mhos/cmμ

## Results

### - Water Quality Indices (WQIs)

A summary of the results obtained from the tests and their comparison with various standards is presented in Table (2).

**Table (2): Comparing analysis results with different standards**

FAO	WHO (2011)	Aquatic STD (warm-water fish)	Station2				Station1				Parameter
			Summer	Spring	Winter	Autumn	Summer	Spring	Winter	Autumn	
	5	5	3.54	4.12	5.65	6.09	8.75	7	8.6	8.98	(ppm) DO
200<	0	0	1100	93	460	1100	240	150	0	4	Fecal Coliform (MPN/100ml)
6.8-4.5	6.8-5.5	6-9	7.83	7.25	7.66	7.56	7.67	7.38	8.03	7.71	pH
	3.3-32.26	-	30.5	22.3	19.4	13	26.5	20.6	12.3	10.4	(°C) T
50<	5	6<	9	350	115	16	1<	1<	1<	1	(ppm) BOD
8<	10	-	19	726	249	38	1<	1<	1<	2	(ppm) COD
0-2	0.05	0.13<	0.45	2.9	2.9	3	0.01<	0.01<	0.01<	0.01<	(ppm) PO <sub>4</sub>
0-10	50	-	5	8	23	9	8	11	5	5	(ppm) NO <sub>3</sub>
0-5	1.5	1≤	32.5	31.25	11	0.01<	0.3	0.06	0.01<	<0.01	(ppm) NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
	5	5	157	472	22.1	17.6	14.2	8.54	0.14	2.61	Turbidity (NTU)
1500<	1000	500	1230	1350	1500	1440	3700	2730	1190	2210	(mg/l) TDS
<3000	250	-	1810	1960	2330	2120	6455	4550	2000	3750	(μmhos/cm) EC

**Table (3): Classification of Shast Dareh River water quality over time and monitoring stations based on NSFQI and IRWQISC indices**

Station	NSFWQI (Range: 0–100)	IRWQISC (Range: 0–85+)	Quality Status
S1 (Upstream)	46–56	46–70.6	Moderate to Good
S2 (Downstream)	14–29	10–27	Poor to Very Poor

### - Upstream (S1):

Moderate pollution due to natural TDS/EC from geology.  
Fecal coliform occasionally exceeded FAO limits.

### - Downstream (S2):

Severe degradation: High BOD (350 ppm), COD (726 ppm), and fecal coliform (1100 MPN/100ml).

Primary culprits: Treated wastewater effluent + agricultural runoff.

- **WRASTIC Vulnerability Assessment**

S1 (Upstream): Score = 47 (Moderate vulnerability).

S2 (Downstream): Score = 57 (High vulnerability).

- **Comparative Analysis**

Downstream pollution levels were 2–3 times higher than upstream.

Worst season: Spring (high agricultural activity + low river flow).

Fecal coliform consistently violated FAO irrigation standards.

### **Conclusion**

The indicators used in the present study are a tool for converting quantitative data from analysis results into qualitative descriptions of surface waters. As a result, with qualitative classification and simplification of water quality analysis, watershed management is facilitated.

The decrease in water quality indicators at station S2 indicates a worse quality situation than at station S1. The increase in the amount of important parameters measured, such as BOD, COD, fecal coliform, etc., has caused a decrease in the IRWQISC index number to 10.5 and a decrease in the NSFQI index number to 14 at station S2 in the spring. This is due to the entry of human sewage and agricultural effluents into the river. It should be noted that the results of this study on the decline in water quality downstream of the river are consistent with the results of Aminipour et al. (2017), Sadeghi et al. (2017), Alizadeh et al. (2015), and Gholizadeh & Heydari (2020).

In the study area, urban and rural communities adjacent to the river pollute it by dumping garbage and sewage into the river. The water quality varies from good to very bad according to the above indicators. According to the Iranian water quality standard, the permissible limit of fecal coliform for agricultural activities is 500 MNP per 100 ml of sample, which was measured higher than the permissible limit in some samples. Accordingly, the water quality of the Shast Dareh River is not suitable for agricultural use in some seasons. The increase in BOD, COD, and phosphate values at station S2 can also be attributed to the entry of urban and agricultural wastewater into the river, as well as the Torbat Heydariyeh wastewater treatment plant located upstream of this station. While the higher TDS and EC at station S1 can be attributed to the type of river bed.

The vulnerability index also confirms the bad conditions for station S2, in line with the two above-mentioned quality indicators, as the vulnerability index at stations S1 and S2 is 47 and 57 (medium to high sensitivity), respectively, which indicates the greater vulnerability of the river in the downstream areas. This could be due to the effect of the entry of drains and wastewater containing various pollutants into the river, as well as different uses and their effects on the river.

**Recommendations:** Conducting water resources management studies in the study area is necessary. The following are some of the necessary solutions to manage this issue:

- Implementing integrated water resources management at the regional level
- Maintaining river water quality at the quality level recommended in the Iranian Water Quality Standard
- -Prioritizing programs to protect the existence and quality of water resources compared to human, agricultural, and industrial development programs
- Continuous monitoring of the quality of effluent from the Torbat Heydariyeh wastewater treatment plant

### **Acknowledgements**

This study is a small part of the "First and Second Phase Studies of Water Resources Quality and Implementation of a Monitoring Network in Seven Study Areas of Khorasan Razavi Province" conducted by Lar Consulting Engineers Company. Therefore, the company expresses its gratitude to "Khorasan Razavi Regional Water" Company as the project executor and "Arian Fan Azma" Laboratory, which was responsible for conducting sampling and analyzing the samples, for providing the necessary facilities to conduct this study.

## کاربرد شاخص‌های کیفی و آسیب‌پذیری در ارزیابی و مدیریت کیفیت آب‌های سطحی (مطالعه موردی: رودخانه شصت دره در شهرستان تربت حیدریه)

ندا میری کرم\*<sup>۱</sup>، فرحناز سبزواری<sup>۲</sup>، عبدالرضا کریمی<sup>۳</sup>

۱. مدیر پروژه مطالعات کیفی منابع آب - مهندسین مشاور لار، دکتری آلودگی‌های محیط‌زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران  
رایانامه: [n\\_mirikarm@sbu.ac.ir](mailto:n_mirikarm@sbu.ac.ir)
۲. مدیر امور محیط زیست، مهندسین مشاور لار، دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی منابع طبیعی - محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران رایانامه: [fsabzevari22@gmail.com](mailto:fsabzevari22@gmail.com)
۳. دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه صنعتی قم، قم، ایران رایانامه: [karimi@qut.ac.ir](mailto:karimi@qut.ac.ir)

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۴/۰۳/۱۲

تاریخ وصول مقاله: ۱۴۰۳/۱۰/۰۳

### چکیده

شاخص‌های کیفی NSFQI و IRWQI<sub>sc</sub> و شاخص آسیب‌پذیری WRASTIC از شاخص‌های مطرح در ارزیابی کیفی آب‌های سطحی می‌باشند. در تحقیق حاضر، شاخص‌های فوق به منظور بررسی کیفیت آب رودخانه شصت‌دره در شهرستان تربت حیدریه با هدف مدیریت کیفی به کار گرفته شدند. در این راستا، دو ایستگاه پایش در امتداد رودخانه شصت‌دره، یکی در بالادست شهر (S1) و دیگری در پایین‌دست شهر و تصفیه‌خانه فاضلاب (S2) انتخاب شد، و ۱۲ پارامتر کیفی به مدت یک سال با تواتر فصلی مورد سنجش قرار گرفت. براساس شاخص کیفی IRWQI<sub>sc</sub>، کیفیت آب رودخانه در کلاس متوسط تا نسبتاً خوب قرار دارد. در نواحی بالادست، رودخانه از شرایط کیفی بهتری برخوردار است، به طوری که در ایستگاه S1 در فصل‌های پاییز و زمستان کیفیت آب نسبتاً خوب و خوب ارزیابی می‌شود. رودخانه شصت‌دره در ایستگاه S2 تحت تاثیر ورود بار آلودگی قرار دارد، کیفیت آب این ایستگاه در هر چهار نوبت نمونه‌برداری در محدوده بد و خیلی بد قرار می‌گیرد. میزان شاخص NSFQI در ایستگاه‌های پایش در بازه ۵۶-۱۴ است و بر این اساس، کیفیت آب در ایستگاه S1 متوسط تا بد و در ایستگاه S2 بد و خیلی بد می‌باشد. اعداد، حساسیت متوسط تا زیاد رودخانه شصت‌دره به آلودگی‌ها و پتانسیل منطقه در ایجاد آلودگی منابع آب سطحی را نشان می‌دهد. بر این اساس، نظارت بر فعالیت‌های انسانی، کشاورزی و ... به منظور بهسازی شرایط بوم‌شناختی و منابع آبی این ناحیه ضرورت می‌یابد. همچنین، کیفیت پساب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب تربت حیدریه به منظور مطابقت با استاندارد تخلیه به آب‌های پذیرنده باید مورد کنترل و پایش قرار گیرد.

**کلید واژه‌ها:** شاخص کیفیت آب، شاخص آسیب‌پذیری، ارزیابی، مدیریت کیفی، رودخانه شصت‌دره.

## سرآغاز

ورود فاضلاب‌ها، زباله‌ها و دیگر زائدات ناشی از فعالیت‌های صنعتی، شهری و کشاورزی موجب تغییر کیفیت شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی آب‌های طبیعی و آلودگی آن می‌شود. شاخص‌های کیفی آب برای بررسی، پایش و کنترل کیفیت آب‌های سطحی در راستای مدیریت محیط‌زیستی، به کار گرفته می‌شوند. شاخص‌های کیفی با ساده‌سازی و کاهش اطلاعات خام و اولیه علاوه بر بیان کیفیت آب، روند تغییرات کیفی آب را در طول مکان و زمان نشان می‌دهند.

شاخص NSFQI<sup>(۱)</sup> توسط Brown و همکاران با حمایت موسسه ملی بهداشت آمریکا ارائه شده است (Brown et al., 1971). این شاخص پرکاربرد برای طبقه‌بندی کیفیت آب‌های سطحی است که دارای منحنی‌های استاندارد می‌باشد و تاثیر ترکیبی از پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی (شامل اسیدیته، کدورت، دما، فسفات، نترات، کلیفرم مدفوعی، اکسیژن محلول، اکسیژن‌خواهی زیستی و کل جامدات محلول) را نشان می‌دهد. در این شاخص به هر یک از پارامترها، وزنی نسبت داده می‌شود و در نهایت برای محاسبه میزان شاخص از روابط ریاضی استفاده می‌گردد. مقدار این شاخص، نزولی است، بدین‌صورت که با افزایش میزان آلودگی آب، مقدار شاخص کاهش می‌یابد و در نهایت کیفیت آب را به وضعیت‌های بسیار خوب، خوب، متوسط، بد و بسیار بد درجه‌بندی می‌کند (Samantray et al., 2009).

شاخص کیفیت آب‌های سطحی ایران IRWQI<sup>(۲)</sup>، یکی از شاخص‌های متداول کیفیت آب‌های سطحی و با هدف استفاده از روش‌های مناسب با شرایط طبیعی و مشکلات منابع ایران معرفی شده است (Hashemi et al., 2012).

براساس نتایج پژوهش‌های پیشین بر کیفیت آب رودخانه‌ها، مهمترین منابع آلودگی رودخانه‌های ایران عبارتند از: عوامل انسانی از جمله کشاورزی، تخلیه فاضلاب شهری و روستایی و استخراج‌های پرورش ماهی می‌باشد. البته عوامل طبیعی بر اساس تغییرات اقلیمی از جمله: دما، میزان بارش و رواناب نیز در برخی موارد بر کیفیت آب‌های رودخانه‌ها موثر بوده است (Saffarinia et al., 2021; Ketabi et al., 2024 & Bagheri et al., 2024).

در تحقیق حاضر، وضعیت کیفی رودخانه شصت‌دره واقع در شهرستان تربت حیدریه در استان خراسان رضوی مورد بررسی قرار گرفته است. رودخانه شصت‌دره از میان شهر تربت حیدریه

عبور می‌کند و در مسیر آن شهرک صنعتی، اراضی کشاورزی، واحدهای صنعتی، دامداری و آبی‌پروری و نهایتاً تصفیه‌خانه فاضلاب شهری قرار دارد. بر این اساس، ارزیابی کیفی آب رودخانه ضروری به نظر می‌رسد. علاوه بر آن، بررسی کیفیت رودخانه شصت دره به دلیل قرار گرفتن در منطقه کم آب و نیمه‌خشک کشور و همچنین افزایش قابل توجه فعالیت‌های کشاورزی از اهمیت بالایی برخوردار است. هدف از این مطالعه تعیین کیفیت آب رودخانه با استفاده از شاخص‌های کیفی NSFQI و IRWQI<sup>(۳)</sup>، بررسی روند مکانی این شاخص‌ها و مقایسه شرایط کیفی رودخانه در بالادست شهر و پایین دست تصفیه‌خانه فاضلاب تربت حیدریه می‌باشد. بر این اساس می‌توان به تحلیل نسبی از اثرگذاری خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب بر کیفیت آب رودخانه شصت‌دره نیز دست یافت.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

تربت حیدریه یکی از شهرهای استان خراسان رضوی و مرکز شهرستان تربت حیدریه است. وسعت شهرستان تربت حیدریه حدود ۲۴ هزار کیلومتر مربع است و دارای اقلیمی نیمه‌خشک می‌باشد. رودخانه یا کال<sup>(۴)</sup> شصت‌دره به طول ۱۲۵ کیلومتر، فصلی و ریزابه کال شور گناباد حوضه دشت کویر است. این رودخانه با میانگین آبدهی سالانه ۲۳ میلیون متر مکعب (اندازه‌گیری شده در محل ایستگاه صنوبر در نواحی بالادست رودخانه)، دارای شیب متوسط ۱/۲ درصد می‌باشد و امتداد کلی آن شمالی- جنوبی است. رودخانه شصت‌دره از دامنه جنوبی کوه شصت دره، ۳۲ کیلومتری شمال غربی تربت حیدریه سرچشمه می‌گیرد و دره شمالی کوه تیغ پایین را به سوی جنوب شرقی طی می‌کند. کال شصت‌دره و کال‌سالار در انتهای حوضه‌های پایاب شصت دره و پایاب سالار در هم می‌آمیزند و وارد حوضه دشت گناباد می‌شوند و نهایتاً به حوضه دشت کویر منتهی می‌شوند (Lar Consulting Engineers, 1401).

### طراحی برنامه پایش

با توجه به موقعیت منابع آلاینده منطقه (شامل فاضلاب‌های شهری، روستایی و زه‌آب‌های کشاورزی، واحدهای دامپروری، معادن و ...) و مکان تصفیه‌خانه فاضلاب تربت حیدریه، دو

سال)، تعداد کل آزمایش‌های انجام شده برابر با ۹۶ آزمایش بود. روش آزمایش‌ها بر اساس استاندارد متد و دستگاه‌های مورد استفاده مطابق جدول (۱) ارائه می‌گردد.

### شاخص کیفی آب‌های سطحی

به منظور بررسی، تحلیل و طبقه‌بندی کیفیت آب رودخانه شصت‌دره در محدوده شهرستان تربت‌حیدریه از شاخص‌های کیفی NSFQI و IRWQI استفاده شد.

میزان شاخص NSFQI، براساس داده‌های ۹ پارامتر کیفی آب (شامل پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی) با استفاده از معادله زیر و حاصل ضرب دو عامل اصلی وزن پارامتر ( $W_i$ ) و ارزش کیفی هر پارامتر ( $I_i$ ) مطابق نمودارهای استاندارد محاسبه شد.

$$NSFWQI = \sum_{i=1}^n W_i I_i$$

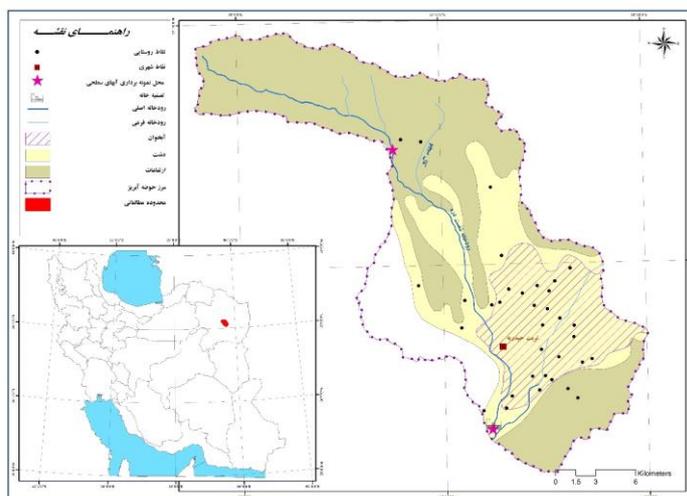
میزان شاخص کیفی IRWQI، براساس داده‌های ۱۱ پارامتر فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی محاسبه می‌شود. میزان این شاخص، با توجه به منحنی‌ها و مقدار هر پارامتر، از معادله‌های زیر به دست آمد:

$$IRWQI_{sc} = \left[ \prod_{i=1}^n I_i^{W_i} \right] \frac{1}{\gamma}$$

$$\gamma = \sum_{i=1}^n W_i$$

ایستگاه پایش در طول رودخانه شصت‌دره تعیین شد. ایستگاه اول (S1) در بالادست شهر تربت‌حیدریه در محل ایستگاه هیدرومتری صنوبر (طول ۶۹۳۱۵۴ و عرض ۳۹۲۰۹۲۲) و ایستگاه دوم (S2) در پایین‌دست شهر تربت‌حیدریه و حدود ۶۰ متر پایین‌تر از محل خروجی پساب تصفیه شده تصفیه‌خانه فاضلاب تربت‌حیدریه (طول ۷۰۰۶۸۵ و عرض ۳۸۹۹۸۵۲) انتخاب شد. در انتخاب نقاط پایش، معیارهایی نظیر فاصله مناسب از منابع آلاینده (پایین‌دست واحد آلاینده جهت بررسی اثرات کیفی و بالادست واحدهای آلاینده جهت مقایسه)، معرف کیفیت آب ورودی و یا خروجی حوضه، نزدیک بودن به نقاط شهری و روستایی و راه دسترسی مناسب و ایمن مدنظر قرار گرفتند. ابتدا بر اساس دستورالعمل ملی برنامه پایش آب‌های سطحی و رودخانه‌ها، به منظور بررسی موقعیت کلی رودخانه از نقشه با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ استفاده شده است، سپس براساس معیارهای فوق و با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Google Earth نقاط پایش مشخص شدند و نهایتاً در بازدید منطقه‌ای موقعیت نهایی نقاط مورد تدقیق قرار گرفتند (Engineers, 1402). (شکل ۱).

در هر ایستگاه ۱۲ پارامتر کیفی (TDS, COD, BOD, pH, DO, EC, درجه حرارت، فسفات آلی، نیترات، آمونیوم، کدورت و کلیفرم مدفوعی) به طور فصلی اندازه‌گیری شد و نتایج حاصله با استفاده از شاخص‌های موردنظر مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. با توجه به تعداد ایستگاه‌ها (۲ ایستگاه)، تعداد پارامترهای مورد سنجش (۱۲ پارامتر)، و فصلی بودن نمونه‌برداری‌ها (۴ نوبت در



شکل (۱): موقعیت نقاط پایش بر رودخانه شصت‌دره

جدول (۱): پارامترهای مورد سنجش بر حسب روش آزمایش استاندارد

ردیف	پارامتر	کد روش	نوع روش	واحد
۱	اکسیژن محلول (DO)	۴۵۰۰	Membrane Electrode	mg/lit O <sub>2</sub>
۲	کلیفرم مدفوعی	۳۷۵۹	Multiple Tube Technique	MPN/100ml
۳	pH	۴۵۰۰	Electrometric	-
۴	اکسیژن مورد نیاز زیستی (BOD)	۵۲۱۰	Respirometric	mg/lit O <sub>2</sub>
۵	اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD)	۵۲۲۰	Closed Reflux-Titrimetric	mg/lit O <sub>2</sub>
۶	درجه حرارت	۲۵۵۰	Laboratory and Field	°C
۷	فسفات (PO <sub>4</sub> )	۴۵۰۰	Stannous Chloride	mg/lit P
۸	نیترات (NO <sub>3</sub> )	EPA ۳۵۲	Brucine	mg/lit NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
۹	آمونیم (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	ASTM۱۴۲۶	Nesslerization	mg/lit NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
۱۰	کدورت (Turbidity)	۲۱۳۰	Nephelometric	NTU
۱۱	کل جامدات محلول (TDS)	-	Electrical Conductivity	mg/lit
۱۲	هدایت الکتریکی (EC)	۲۵۱۰	Platinum Electrode	mhos/cmμ

می‌باشند. معادل توصیفی شاخص‌های کیفی نامبرده و محدوده کیفیت آب در جدول (۲) ارائه می‌گردد.

در معادله فوق:  $W_i$  و  $n$  به ترتیب بیانگر وزن پارامتر  $I_i$ ، تعداد پارامترها و مقدار شاخص برای پارامتر  $I_i$  منحنی رتبه‌بندی

جدول (۲): مقادیر و توصیف شاخص‌های کیفی مورد استفاده

رنگ	توصیف کیفیت آب	محدوده شاخص	شاخص
آبی	عالی	۱۰۰-۹۰	NSFWQI
سبز	خوب	۹۰-۷۰	
زرد	متوسط	۷۰-۵۰	
نارنجی	بد	۵۰-۲۵	
قرمز	خیلی بد	۲۵-۰	
بنفش	خیلی بد	کمتر از ۱۵	IRWQI <sub>sc</sub>
قرمز	بد	۲۹-۱۵/۹	
نارنجی	نسبتاً بد	۴۴-۳۰/۹	
زرد	متوسط	۵۰-۴۵	
سبز	نسبتاً خوب	۵۵/۷۰-۱	
آبی	خوب	۷۰/۸۵-۱	
آبی	بسیار خوب	بیشتر از ۸۵	

۲. خطری که در نتیجه فعالیت‌های انسانی حاصل می‌شود این دو عامل در تعامل با یکدیگر می‌باشند، به طوری که ممکن است آسیب‌پذیری بالا با خطر آلودگی کم و بر عکس آسیب‌پذیری کم با خطر آلودگی بیشتر وجود داشته باشد. به منظور دستیابی به یک روش مناسب و مؤثر برای حفاظت از منابع آب از آلودگی‌هایی که آنها را تهدید می‌کنند، روش‌های مختلف ارزیابی آسیب‌پذیری توسعه یافته‌اند.

شاخص آسیب‌پذیری آب‌های سطحی (WRASTIC) ارزیابی آسیب‌پذیری روشی مناسب و کم‌هزینه در تشخیص نواحی مستعد به آلودگی منابع آب است و یکی از شاخص‌های مهم در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی می‌باشد. حفاظت و نگهداری کیفیت آب در یک حوضه وسیع شامل دو مجموعه مشخصات هیدرولوژیکی می‌باشد:

۱. آسیب‌پذیری محیط فیزیکی و آلودگی‌ها

با استفاده از شاخص WRASTIC قابلیت منطقه مورد مطالعه در ایجاد آلودگی منابع آب سطحی در هر محیط هیدرولوژیکی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در این روش، مشخصه‌های ساده بر اساس تاثیرشان در آلودگی آب سطحی وزن‌دهی می‌شوند و در نهایت یک ارزش منفرد برای کل منطقه محاسبه می‌گردد. این شاخص بر اساس فرمول زیر و هفت معیار (تخلیه فاضلاب (W)، کاربری اراضی با مقاصد تفریحی (R)، کاربری کشاورزی (A)، مساحت حوضه آبریز (S)، مسیرهای حمل‌ونقل (T)، کاربری اراضی صنعتی (I) و تراکم پوشش گیاهی (C)) محاسبه می‌گردد (Gillentine, 2000).

$$\text{WRASTIC INDEX} = W_R W_W + R_R R_W + A_R A_W + S_R S_W + T_R T_W + I_R I_W + C_R C_W$$

### یافته‌ها

بر اساس مقایسه نتایج آنالیزها با استاندارد ملی کیفیت آب‌های سطحی و استانداردهای بین‌المللی سازمان بهداشت جهانی (WHO) (۳) و سازمان خواروبار جهانی (FAO) (۴)، نتایج زیر در سنجش‌های به عمل آمده در نقاط پایش S1 و S2 حاصل شده است:

**ایستگاه S1:**  
TDS و EC تقریباً در تمام نوبت‌های نمونه‌برداری فسفات، نیترات و آمونیوم در چند نوبت نمونه‌برداری از حد مجاز استانداردهای فوق فراتر رفته و کلیفرم مدفوعی در تمام نوبت‌های نمونه‌برداری فراتر از حد مجاز استاندارد FAO اندازه‌گیری شده است.

**ایستگاه S2:**  
طبق استاندارد ملی کیفیت آب‌های سطحی (برای ماهی‌های گرم آبی) و استاندارد WHO، مقدار DO در دو فصل بهار و تابستان در این ایستگاه کمتر از حد مجاز می‌باشد. EC، TDS، BOD، COD، کلیفرم مدفوعی، فسفات و آمونیوم تقریباً در تمام نوبت‌های نمونه‌برداری فراتر از حد مجاز استانداردهای فوق اندازه‌گیری شده‌اند. کلیفرم مدفوعی در تمام نوبت‌های نمونه‌برداری از حد مجاز استاندارد FAO فراتر رفته است.

بر اساس موارد فوق، ایستگاه S2 نسبت به ایستگاه S1، وضعیت کیفی نامناسب‌تری دارد. خلاصه نتایج به‌دست آمده از انجام آزمایش‌ها و مقایسه آنها با استانداردهای مختلف در جدول (۳) ارائه می‌گردد.

جدول (۳): مقایسه نتایج آنالیزها با استانداردهای مختلف

استاندارد کشور FAO	استاندارد WHO (۲۰۱۱)	استاندارد آبریان (ماهیان گرمابی)	ایستگاه S2				ایستگاه S1				پارامتر	ردیف
			تپستان	نهر	زمستان	بهار	تپستان	نهر	زمستان	بهار		
	۵	۵	۳/۵۴	۴/۱۲	۵/۶۵	۶/۰۹	۸/۷۵	۷	۸/۶	۸/۹۸	(ppm) DO	۱
<۲۰۰	۰	۰	۱۱۰۰	۹۳	۴۶۰	۱۱۰۰	۲۴۰	۱۵۰	۰	۴	کلیفرم مدفوعی (MPN/100ml)	۲
۶/۸-۴/۵	۶/۸-۵/۵	۶-۹	۷/۸۳	۷/۲۵	۷/۶۶	۷/۵۶	۷/۶۷	۷/۳۸	۸/۰۳	۷/۷۱	pH	۳
	-۳/۳ ۳۲/۲۶	-	۳۰/۵	۲۲/۳	۱۹/۴	۱۳	۲۶/۵	۲۰/۶	۱۲/۳	۱۰/۴	(°C) T	۴
<۵۰	۵	<۶	۹	۳۵۰	۱۱۵	۱۶	<۱	<۱	<۱	۱	(ppm) BOD	۵
<۸	۱۰	-	۱۹	۷۲۶	۲۴۹	۳۸	<۱	<۱	<۱	۲	(ppm) COD	۶
۲۰۰	۰/۰۵	<۰/۱۳	۰/۴۵	۲/۹	۲/۹	۳	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	(ppm) PO <sub>4</sub>	۷
۱۰۰۰	۵۰	-	۵	۸	۲۳	۹	۸	۱۱	۵	۵	(ppm) NO <sub>3</sub>	۸
۵۰۰	۱/۵	≤۱	۳۲/۵	۳۱/۲۵	۱۱	<۰/۰۱	۰/۳	۰/۰۶	<۰/۰۱	<۰/۰۱	(ppm) NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	۹
	۵	۵	۱۵۷	۴۷۲	۲۲/۱	۱۷/۶	۱۴/۲	۸/۵۴	۰/۱۴	۲/۶۱	کدورت (NTU)	۱۰
<۱۵۰۰	۱۰۰۰	۵۰۰	۱۲۳۰	۱۳۵۰	۱۵۰۰	۱۴۴۰	۳۷۰۰	۲۷۳۰	۱۱۹۰	۲۲۱۰	(mg/l) TDS	۱۱
<۳۰۰۰	۲۵۰	-	۱۸۱۰	۱۹۶۰	۲۳۳۰	۲۱۲۰	۶۴۵۵	۴۵۵۰	۲۰۰۰	۳۷۵۰	EC (μmhos/cm)	۱۲

به‌طوری که کیفیت آب در این ایستگاه در هر چهار نوبت نمونه‌برداری در محدوده بد و خیلی بد می‌باشد که بیانگر وضعیت کیفی آب رودخانه شصت‌دره در کل سال و پایین‌دست تصفیه‌خانه فاضلاب تربت‌حیدریه می‌باشد. البته مقدار کم حجم آب و وضعیت مورفولوژی رودخانه نیز در ایجاد این وضعیت بی‌تاثیر نیستند.

میزان شاخص NSFQI در ایستگاه‌های پایش در بازه ۱۴ الی ۵۶ قرار دارد. شرایط کیفی آب بر اساس این شاخص در ایستگاه S1 متوسط تا بد و در ایستگاه S2 بد و خیلی بد است. در ایستگاه S2 به غیر از فصل تابستان، کیفیت آب در وضعیت خیلی بد قرار دارد. هر دو شاخص نشان می‌دهند که کیفیت آب رودخانه شصت‌دره از وضعیت خوبی برخوردار نمی‌باشد (جدول ۴).

در تحقیق حاضر، به منظور بررسی کیفیت آب رودخانه شصت‌دره در ایستگاه‌های تعیین شده در تمام نوبت‌های برنامه پایش (پاییز ۱۴۰۰ لغایت تابستان ۱۴۰۱) شاخص کیفیت آب IRWQIsc و NSFQI برای هر ایستگاه در هر نوبت نمونه‌برداری محاسبه شده و مورد بررسی قرار گرفته است. براساس شاخص IRWQIsc، در مجموع کیفیت در محدوده مورد بررسی در کلاس متوسط تا نسبتاً خوب قرار دارد، اما نواحی بالادست رودخانه شصت‌دره قبل از عبور از شهر تربت‌حیدریه و نهایتاً ورود به تصفیه‌خانه فاضلاب از شرایط کیفی بهتری برخوردار می‌باشد؛ به‌طوری که در ایستگاه S1 در فصل‌های پاییز و زمستان کیفیت آب نسبتاً خوب و خوب ارزیابی می‌شود. نتایج به‌دست آمده از نمونه‌برداری‌ها حاکی از آن است که رودخانه شصت‌دره در ایستگاه S2 تحت تاثیر ورود بار آلودگی قرار دارد،

جدول (۴): طبقه‌بندی کیفیت آب رودخانه شصت‌دره در زمان و ایستگاه‌های پایش بر اساس شاخص‌های NSFQI و IRWQIsc

تابستان		بهار		زمستان		پاییز		فصل
S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	ایستگاه
۲۷/۶	۴۸/۲	۱۰/۵	۴۶/۳	۱۰	۷۰/۶	۳۰/۲	۶۲/۵	IRWQIsc
بد	متوسط	خیلی بد	متوسط	خیلی بد	خوب	نسبتاً بد	نسبتاً خوب	
۲۹	۴۷	۱۴	۴۶	۱۹	۵۶	۱۹	۵۲	NSFWQI
بد	بد	خیلی بد	بد	خیلی بد	متوسط	خیلی بد	متوسط	

پارامترهای مهم مورد سنجش از قبیل BOD، COD، کلیفرم مدفوعی و ...، موجب کاهش عدد شاخص IRWQIsc تا میزان ۱۰/۵ و کاهش عدد شاخص NSFQI تا میزان ۱۴ در ایستگاه S2 در فصل بهار شده است. این امر ناشی از ورود فاضلاب‌های انسانی و پساب‌های کشاورزی به رودخانه می‌باشد. لازم به ذکر است، نتایج حاصله از این بررسی مبنی بر کاهش کیفیت آب در پایین‌دست رودخانه با نتایج ( Aminipour et al., 2017; Sadeghi et al., 2017; Alizaseh et al., 2015; Heydari, Gholizadeh Das., 2024; Hammoumi et al., &2020; (2024) مطابقت دارد.

در منطقه مورد مطالعه، جوامع شهری و روستایی مجاور رودخانه، با ریختن زباله و فاضلاب به رودخانه موجب آلودگی آن می‌شوند. همان‌گونه که کیفیت آب طبق شاخص‌های فوق از خوب تا خیلی بد متغیر است. بر اساس استاندارد کیفیت آب‌های ایران، حد مجاز کلیفرم مدفوعی برای فعالیتهای کشاورزی، MNP ۵۰۰ در ۱۰۰ میلی‌لیتر نمونه است که در برخی نمونه‌ها بالاتر از

میزان شاخص آسیب‌پذیری، در ایستگاه‌های مورد سنجش (S1 و S2) که به ترتیب در نواحی بالادست و پایین‌دست رودخانه شصت‌دره واقع شده‌اند، به ترتیب ۴۷ و ۵۷ حاصل شده است که نشان‌دهنده حساسیت متوسط تا زیاد به آلودگی‌ها و قابلیت بالای منطقه در ایجاد آلودگی در این حوضه می‌باشد. همچنین نتایج حاصله، آسیب‌پذیری بیشتر رودخانه در نواحی پایین‌دست را تایید می‌کند.

### بحث و نتیجه‌گیری

شاخص‌های مورد استفاده در تحقیق حاضر، در واقع ابزاری برای تبدیل ارقام کمی نتایج آنالیزها به توصیف کیفی آب‌های سطحی به شمار می‌آیند. در نتیجه با طبقه‌بندی کیفی و ساده‌تر شدن تحلیل کیفیت آب، مدیریت پهنه‌های آبی تسهیل می‌گردد. کاهش میزان شاخص‌های کیفیت آب در ایستگاه S2 نشان‌دهنده وضعیت کیفی بدتر نسبت به ایستگاه S1 می‌باشد. افزایش میزان

- حد مجاز اندازه‌گیری شده است. بر این اساس، کیفیت آب رودخانه شصت دره در برخی فصول برای مصرف کشاورزی مناسب نمی‌باشد. افزایش مقادیر BOD، COD و فسفات در ایستگاه S2 را نیز می‌توان به ورود فاضلاب شهری و پساب کشاورزی به رودخانه و همچنین تصفیه‌خانه فاضلاب تربت‌حیدریه که در بالادست این ایستگاه واقع شده است، مرتبط دانست. در صورتی که بیشتر بودن TDS و EC در ایستگاه S1 را می‌توان به جنس بستر رودخانه نسبت داد.

شاخص آسیب‌پذیری نیز در راستای دو شاخص کیفی فوق، شرایط بد برای ایستگاه S2 را تایید می‌کند، به طوری که شاخص آسیب‌پذیری در ایستگاه‌های S1 و S2 به ترتیب ۴۷ و ۵۷ (حساسیت متوسط تا زیاد) است که آسیب‌پذیری بیشتر رودخانه در نواحی پایین‌دست را نشان می‌دهد. این امر می‌تواند ناشی از اثر ورود زه‌آب‌ها و فاضلاب‌های حاوی آلاینده‌های مختلف به رودخانه و همچنین کاربری‌های مختلف و اثرات آنها بر رودخانه باشد.

### پیشنهادات

با توجه اعداد به‌دست آمده از محاسبه شاخص آسیب‌پذیری که حاکی از حساسیت متوسط تا زیاد رودخانه شصت‌دره به آلودگی‌ها و قابلیت‌های منطقه در ایجاد آلودگی منابع آب سطحی می‌باشد، فعالیت‌های انسانی و کشاورزی به منظور بهسازی شرایط بوم‌شناختی و منابع آبی منطقه مورد مطالعه می‌بایست مورد نظارت و کنترل قرار گیرند. در این راستا، انجام مطالعات مدیریت منابع آب در محدوده مطالعاتی ضرورت می‌یابد. از راهکارهای لازم برای مدیریت این موضوع می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- پیاده‌سازی مدیریت یکپارچه منابع آب در سطح محدوده

### منابع

- Alizadeh, M., Mirzaei, R., & Kia., SH. 2017. Determining the spatial trend of water quality indices across Kan and Karaj River Basins. *Journal of Environmental Health Engineering*. 4(3):243-56 (in Persian).
- Aminpour, S., Mohammadi, M., Khaledian, M., & Mir Roshandel, A. 2017. Water quality assessment of the Ghazrodbar River using the NSFQI qualitative index and Liou Pollution Index. *Journal of Wetland Ecobiology*. 22:31-40 (in Persian).
- Brown, RM., McClelland, NI., Deininger, RA., & O'Connor, MF. 26-31 December 1971. A water quality index- Crashing the psychological barrier. *Proceedings of a Symposium Held during the AAAS Meeting; Philadelphia, Pennsylvania*.

### سپاسگزاری

این تحقیق بخش کوچکی از «مطالعات مرحله اول و دوم کیفی منابع آب و اجرای شبکه پایش در سطح هفت محدوده مطالعاتی استان خراسان رضوی» انجام گرفته توسط شرکت «مهندسی مشاور لار» است. لذا از شرکت «آب منطقه‌ای خراسان رضوی» به عنوان مجری طرح و آزمایشگاه «آرین فن آزما» که عهده دار انجام عملیات نمونه‌برداری و آنالیز نمونه‌ها بوده‌اند، به سبب فراهم آوردن امکانات لازم برای انجام این مطالعه، مراتب سپاسگزاری را ابراز می‌نماید.

### یادداشت‌ها

1. NSFQI: National Sanitation Foundation Water Quality Index
2. IRWQI<sub>sc</sub>: Iran Water Quality Index for Surface Water
3. WHO: World Health Organization
4. FAO: Food & Agriculture Organization
۵. کال: در زبان محلی در استان خراسان به معنی زمین شکافته، آب کند و در واقع به معنی کانال یا نهر بزرگی که دستی آن را کنده باشند یا خود آب آن را احداث کرده باشد. در عمل به رودخانه‌هایی گفته می‌شود که معمولاً فصلی و یا سیلابی می‌باشند.

- Bagheri, H., Mazloumi Muchani, Kh., & Moridi. 2015. Seasonal changes in water quality of Sardab Rud River: Dual perspectives of Iran Surface Water Resources Quality Index (IRWQIsc) and National Foundation for Health Quality (NSFWQI), *Water and Irrigation Management*, 14(1), pp.223-234.
- Das, A., 2024. An innovative approach for quality assessment and its contamination on surface water for drinking purpose in Mahanadi River Basin, Odisha of India, with the integration of BA-WQI, AHP-TOPSIS, FL-DWQI, MOORA, and RF methodology. *Applied Water Science*, 14(12), p.263.
- Gholizadeh, M., & Heydari, O. 2020. Evaluation of Gorganrood river water quality based on surface water quality indicators in Gonbad Kavous. *ijhe* 13 (1) :33-48.
- Hashemi, S., Farzampour, T., Ramzani, S., & Khoshroo, G. 2012. Guidelines for calculating Iran Water Quality Index. Tehran: Department of Environment.
- Hammoumi, D., Al-Aizari, H.S., Alaraidh, I.A., Okla, M.K., Assal, M.E., Al-Aizari, A.R., Moshab, M.S., Chakiri, S. & Bejjaji, Z. 2024. Seasonal variations and assessment of surface water quality using water quality index (WQI) and principal component analysis (PCA): a case study. *Sustainability*, 16(13), p.5644.
- Ketabi, N., Tehrani, Moridi D., & Khalili. 2024. Water quality assessment of Tajan River (Sari) using NSFWQI and IRWQISC quality indices, *Journal of Research in Environmental Health*, 10(1), pp.96-109.
- Lar Consulting Engineers, 2021, First and second phase studies of water resources quality and implementation of monitoring network in seven study areas of Khorasan Razavi Province, Report on the identification of the Zaveh-Torbat Heydariyeh study area.
- Lar Consulting Engineers, 2023, Phase 1 and 2 studies of water resources quality and implementation of monitoring network in seven study areas of Khorasan Razavi Province, Monitoring and Analysis Report for Zaveh-Torbat Heydariyeh Study Area.
- NMED/DWB or Gillentine, J. 2000. Watershed vulnerability estimation using WRASTIC. State of New Mexico-Source water assessment and protection program. State of New Mexico, Environment Department, Drinking Water Bureau.
- Sadeghi, M., Bay, A., Bay, N., Soflaie, N., Mehdinejad, MH., & Malla, M. 2015. IRWQISC and WQI-NSF using Province Golestan in quality water River Gol-Zarin of survey the *Journal of Health in the Field*. 3(3):27-33 (in Persian).
- Samantray, P., Mishra, BK., Panda, CR., & Rout, SP. 2009; Assessment of water quality index in mahanadi and atharabanki rivers and Taldanda Canal in Paradip Area, India. *Journal of Human Ecology*. 26(3):153-61.
- Safarina, Sh., Obqari, H., & Erfanian. 2011. Estimating surface water quality in the Mahabad reservoir area using main components and water quality indicators, *Quarterly Journal of Soil and Water Sciences*, 2(3), pp.78-91.