

Qualitative assessment of Darband River water resources under climate change conditions using the TODIM multi-criteria decision-making method

Manizheh Pourali Dougaheh¹ , Seyyed Mohammad Shoaee² 

1. Corresponding Author, Ph.D. Student, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Zanjan University, Iran. E-mail: m.pouralidougaheh@znu.ac.ir
2. Department of Water and Hydraulic Structure Engineering, Faculty of Engineering, Zanjan University, Iran. E-mail: sm.shoaee@znu.ac.ir

(Received 21 Apr 2025, Revised 24 May 2025, Accepted 2 Jun 2025, Published online 26 Jun 2025) - Research Article

Extended Abstract

Background and Objective

Rivers, as vital sources of water supply, play a fundamental and undeniable role in human life. These water resources are not only essential for agricultural purposes, such as the irrigation of farmlands and providing food for human populations, but also for drinking and industrial uses. In recent years, many rivers have gradually turned into places for discharging urban wastewater, industrial pollutants, and agricultural runoff. This shift in perspective regarding the use of water resources has led to serious problems in river water quality and has significantly impacted aquatic ecosystems. This study aims to assess the water quality of the Darband River using a water quality index. Subsequently, the weights of four factors will be examined and ranked in the water quality index using the TODIM multi-criteria decision-making method.

Methodology

In this section, the research process is described. Initially, after collecting baseline data and information for the study area, the performance of climate models is evaluated based on the Fifth Assessment Report of the IPCC. Subsequently, the relevant climatic variables for future periods will be simulated. Following this, the water quality status in both present and future conditions will be examined using the Water Quality Index, and finally, the influential qualitative parameters impacting water quality will be ranked, and their weights will be adjusted.

In this study, the relevant climatic variables were simulated by using the GFDL-ESM2G model for precipitation and the MIROC ESM-CHEM model for temperature in the baseline period (1988–2005) and near future (2030–2047) under three scenarios: RCP2.6, RCP4.5, and RCP8.5. Then, water quality in the baseline and future periods was assessed using the Iran Water Quality Index (WQI_{IR}), the World Health Organization Water Quality Index (WQI_{WHO}), and the Schuler classification. Finally, using the TODIM multi-criteria decision-making method, effective parameters were ranked based on water quality indices.

The entropy-Shannon weighting method was employed for weighting the criteria in this study. The entropy-Shannon method represents the dispersion of values in decision-making; the greater the

degree of dispersion, the higher the level of deviation. The study area for this research is the Darband River Basin.

Findings

This section presents the results of changes in water quality during the baseline and future periods, as well as weighting methods and the ranking of options, which represent water quality indices for the study area.

The relationships between water quality parameters and climatic factors such as temperature and precipitation were examined during the baseline period. The findings indicate an inverse relationship between rainfall and EC, TDS, and SO_4 . This suggests that an increase in precipitation leads to a reduction in EC and dissolved solids in surface waters. By substituting the projected values of minimum and maximum temperatures and precipitation into the derived relationships, the future values of each water quality parameter can be estimated.

Based on the regression relationships obtained for each parameter, their values were calculated under baseline conditions and different scenarios to assess the water quality of the Darband River using the WQI_{IR} , WQI_{WHO} , and Schuler classification indices. The results indicate that the water quality under baseline conditions is in a good state, and forecasts suggest that, for all three climate change scenarios, the water quality will remain in good condition in both indices. Since the coefficients and relative weights differ between the two indices, the magnitude of the indices also differs, with WQI_{WHO} having higher values.

A decision matrix was formulated based on two criteria: minimizing WQI_{WHO} and maximizing WQI_{IR} , along with four options—TDS, EC, pH, and SO_4 —that each represent the relative weight of water quality parameters. To determine the weight of the criteria, the entropy of each criterion, its degree of deviation, and finally, its weight were calculated. The findings indicate that changes in options have a greater impact on maximizing WQI_{IR} compared to minimizing WQI_{WHO} .

The results also show that reducing EC has a greater impact on the criteria due to its higher relative weight compared to other parameters, and its reduction has a more significant effect on improving water quality.

Conclusion

The findings regarding climate change in the Darband River Basin indicate that maximum temperature under future scenarios will experience a significant increase compared to baseline conditions. Similarly, precipitation levels are also projected to show an upward trend in the future relative to the baseline period. Consequently, water quality parameters will also change. The results reveal that the river's water quality was in a favorable condition during the baseline period, and it is expected to maintain good quality in the future.

In the final stage, using the TODIM multi-criteria decision-making method, four selected alternatives were ranked under climate change conditions. The results indicate that water quality indices vary across different alternatives, and these findings can be used to determine the impact of each quality parameter on improving water quality. However, it is recommended that, for a more comprehensive assessment, the impact of other pollutants on this river should also be studied to develop a specific index for it.

Keywords: River Water Quality Index, TODIM Multi-Criteria Decision-Making Method, Entropy Weighting Method, Climate Change

Cite this article: Pourali Dougaheh Manizheh, Shoaie Seyyed Mohammad. Qualitative Assessment of Darband River Water Resources under Climate Change Conditions Using the TODIM Multi-Criteria Decision-Making Method. *Water Resources and Climate Change*. (2025); 1(2): 43-54. <https://doi.org/10.22091/wrcc.2025.12792.1012>

ارزیابی کیفی منابع آب رودخانه دربند در شرایط تغییر اقلیم با روش تصمیم‌گیری چندمعیاره TODIM

منیژه پورعلی دوگاهه^۱، سید محمد شعاعی^۲

۱. نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. رایانامه: m.pouralidougah@znu.ac.ir
 ۲. گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. رایانامه: sm.shoei@znu.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۰۱، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۳/۰۳، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۱۲، تاریخ انتشار برخط: ۱۴۰۴/۰۴/۰۵) - مقاله پژوهشی

چکیده

رودخانه‌ها به عنوان منابع حیاتی تأمین آب، نقش اساسی و غیرقابل انکاری در زندگی انسان‌ها ایفا می‌کنند. در سال‌های اخیر، بسیاری از رودخانه‌ها به تدریج به مکانی برای تخلیه فاضلاب‌های شهری، آلاینده‌های صنعتی و پساب‌های کشاورزی تبدیل شده‌اند. این تغییر نگرش در استفاده از منابع آبی، موجب بروز مشکلات جدی در کیفیت آب رودخانه‌ها شده است و به شدت بر زیست بوم‌های آبی تأثیر گذاشته است. هدف از انجام پژوهش حاضر، ارزیابی کیفیت آب رودخانه دربند با استفاده از شاخص کیفیت آب می‌باشد و در مرحله بعد، وزن چهار عامل بررسی شده و در شاخص کیفیت آب با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره TODIM در این زمینه رتبه‌بندی می‌شود. بدین منظور، ابتدا داده‌های ماهانه بارش، دما، TDS، EC، PH، SO₄ طی دوره آماری ۱۹۸۸-۲۰۰۵ با استفاده از شاخص کیفیت آب، تحلیل می‌شوند. به منظور بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی بر کیفیت آب رودخانه، ابتدا متغیرهای اقلیمی مربوطه برای دوره‌های آینده با کمک مدل GFDL-ESM2G برای شبیه‌سازی بارش و از مدل MIROC ESM-CHEM برای شبیه‌سازی دما تحت سناریوهای انتشار RCP 2.6، RCP 4.5 و RCP 8.5 شبیه‌سازی خواهند شد و سپس بین پارامترهای مؤثر بر دبی و پارامترهای کیفیت آب روابط رگرسیونی برقرار می‌شود و با توجه به پیش‌بینی انجام شده برای دبی در دوره ۲۰۳۰-۲۰۴۷، شرایط کیفیت آب رودخانه تحت سه سناریو محاسبه می‌شود و در نهایت با استفاده از TODIM پارامترها رتبه‌بندی می‌شوند. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهند که شاخص‌های کیفی آب در گزینه‌های مختلف، تفاوت‌هایی را نشان می‌دهند و می‌توان با بهره‌گیری از این نتایج، تأثیر پارامترهای کیفی را بر بهبود کیفیت آب مورد ارزیابی قرار داد.

کلیدواژه‌ها: شاخص کیفیت آب رودخانه، روش تصمیم‌گیری چندمعیاره TODIM، روش وزن‌دهی آنترویی، تغییر اقلیم

استناد: پورعلی دوگاهه منیژه، شعاعی سید محمد. ارزیابی کیفی منابع آب رودخانه دربند در شرایط تغییر اقلیم با روش تصمیم‌گیری چندمعیاره TODIM. *منابع آب و تغییر اقلیم*. ۱۴۰۴؛ (۲): ۴۳-۵۴. <https://doi.org/10.22091/wrcc.2025.12792.1012>

۱- مقدمه

منابع آب سطحی، به دلیل ماهیت خاص خود، بیش‌تر از سایر منابع تأمین آب در معرض آلودگی قرار دارند [۱ و ۲]. این مسئله به‌ویژه پس از بارش‌ها، به‌خصوص بارش‌های شدید، بسیار مشهود است. در این شرایط، ذرات مختلف شامل مواد گیاهی، حیوانی و حتی مواد شیمیایی و سمی ناشی از فعالیت‌های صنعتی به‌همراه آب باران به داخل منابع آبی وارد می‌شوند و این منابع حیاتی را آلوده می‌سازند [۳ و ۴]. این روند به‌وضوح نشان می‌دهد که چگونه تعاملات میان فرآیندهای طبیعی و فعالیت‌های انسانی می‌تواند به آلودگی شدید آب منجر شود.

علاوه‌بر این، انسان‌ها با ریختن آب‌های آلوده ناشی از فعالیت‌های روزمره صنعتی خود به جریان‌ات آبی، به روند آلودگی آب‌ها دامن می‌زنند. این آلودگی‌ها به‌طور معمول ناشی از عوامل انسانی، از جمله آلودگی‌های صنعتی، هستند که موجب افزایش غلظت آلاینده‌ها در آب رودخانه‌ها می‌شوند [۵]. در این راستا، انتظار می‌رود که سازوکارهای طبیعی، نظیر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب و فرآیندهای خودپالایی طبیعی رودخانه‌ها، نقش مهمی در کنترل یا تشدید غلظت این آلاینده‌ها ایفا کنند.

بنابراین، اولین قدم در تعیین کیفیت آب رودخانه‌ها، کسب آگاهی از تغییرات کیفی آب در ابعاد زمان و مکان است. این بدان معناست که باید به دقت در مورد نحوه تغییرات کیفیت آب در طول زمان و نیز تفاوت‌های مکانی آن مطالعه شود. علاوه‌بر این، شناسایی منابع اصلی و انواع آلاینده‌های آب به‌عنوان یک اصل اساسی در این فرآیند مشخص می‌شود [۶ و ۷].

به‌همین دلیل، امروزه نیاز به نگرش جامع و رویکرد سامانه‌ای در مدیریت کمی و کیفی منابع آب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این ضرورت نه‌تنها به‌دلیل افزایش

مؤلفه‌های سامانه‌های آب و پیچیدگی ارتباطات آنها، بلکه به‌منظور درک بهتر اثرات متقابل میان عوامل مختلف و پیشگیری از بحران‌های آبی است. بنابراین می‌توان به بهبود مدیریت منابع آب و کاهش اثرات منفی آلودگی دست یافت و از این طریق، ضمن حفظ این منابع حیاتی برای نسل‌های آینده، به توسعه پایدار جوامع نیز کمک کرد.

افندی^۱ و واردیان‌تو^۲ بر روی کیفیت آب رودخانه‌ای در اندونزی مطالعه نمودند. نتایج نشان‌دهنده کارایی و قابلیت اطمینان شاخص‌های کیفیت آب بود. علاوه‌بر این شاخص‌ها، به‌کارگیری روش‌های آماری و مدل‌های آب‌شناسی را به‌عنوان ابزارهای کاربردی برای پیش‌بینی تغییرات کیفیت آب در شرایط مختلف و در دوره‌های آینده معرفی نمودند [۸]. نوربخش و همکاران مهم‌ترین پارامترهای ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی در دشت تجن در شمال ایران را با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی^۳ (AHP) انتخاب و رتبه‌بندی نمودند. پنج معیار، آنیون‌ها، کاتیون‌ها، عوامل فیزیکی و عوامل میکروبی رتبه‌بندی شدند. بررسی‌ها نشان دادند که شش پارامتر با بالاترین اولویت (سولفات، آهن، نیتрат، EC، کلسیم، TDS) به‌عنوان شاخص‌های کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت تجن انتخاب شدند [۹]. احمدیان‌فر و همکاران یک مدل جدید ترکیبی رگرسیون خطی وزنی محلی موجک^۴ (W-LWLR) را برای پیش‌بینی EC در آب‌های سطحی، معرفی نمودند. مدل W-LWLR با روش‌های رگرسیون بردار پشتیبانی موجک^۵ (W-SVR)، میانگین متحرک خودهمبسته یک‌پارچه موجک^۶ (W-ARIMA)، LWLR، SVR و ARIMA، مقایسه شدند. بررسی‌ها نشان دادند که روش LWLR همراه با تبدیل موجک گسسته^۷ (DWT) برای پیش‌بینی پارامتر کیفی آب EC از دقت قابل توجه، برخوردار بود [۱۰]. خلیلی و همکاران به بررسی اثر فعالیت‌های انسانی بر کیفیت آب رودخانه چالوس پرداختند. نمونه‌برداری در

^۵- Wavelet Support Vector Regression

^۶- Wavelet Autoregressive Integrated Moving Average

^۷- Discrete Wavelet Transform

^۱- Effendi

^۲- Wardianto

^۳- Analytic Hierarchy Process

^۴- Wavelet-Locally Weighted Linear Regression

دو دوره (مهر ۱۳۹۸ تا شهریور ۱۳۹۹) انجام شد و پارامترهای کیفی آب نظیر دما، pH، هدایت الکتریکی، مواد جامد محلول، کدورت، اکسیژن محلول و مواد مغذی تحلیل شدند. نتایج نشان دادند که کیفیت آب از ایستگاه S1 به سمت پایین دست به دلیل افزایش فعالیت‌های انسانی و ورود پساب‌ها کاهش یافت. آب ایستگاه S1 مناسب برای آشامیدن بود و هیچ خطر جدی برای سلامت نداشت، اما آب ایستگاه‌های S2 و S3 برای نوشیدن مناسب نبود و خطراتی برای سلامت به همراه داشت [۱۱]. میسرا^۸ و همکاران ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و میکروب‌شناختی رودخانه‌ای در هند را بررسی نمودند. نمونه‌های آب از هفت نقطه در بازه زمانی اکتبر ۲۰۱۸ تا مارچ ۲۰۱۹ جمع‌آوری شد و ۱۴ پارامتر کیفیت آب مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج حاکی از افزایش آلودگی از ایستگاه اول به سمت ایستگاه‌های بعدی و کاهش کیفیت آب است. نتایج نشان دادند که آلودگی شدید در ایستگاه سه بود که به‌طور عمده ناشی از فعالیت‌های انسانی گسترده بود [۱۲]. آلدريس^۹ و همکاران کیفیت آب حوضه رودخانه سند^{۱۰} را با استفاده از روش‌های یادگیری ماشین^{۱۱} (ML) ارزیابی نمودند. ایشان از این روش‌ها برای پیش‌بینی EC و TDS استفاده نمودند. نتایج نشان دادند که مدل‌های جنگل تصادفی^{۱۲} (RF) به نسبت بهتر بودند. هم‌چنین بررسی‌ها نشان دادند که بی‌کربنات‌ها و کلر بر عملکرد مدل‌های پیش‌بینی تاثیر گذاشتند [۱۳]. پاتل^{۱۳} و همکاران به ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی در منطقه جنوبی گجرات با استفاده از شاخص کیفی آب پرداختند. ایشان داده‌های مربوط به سال‌های ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۲ را بررسی نموده و از روش شاخص وزنی میانگین برای ارزیابی این داده‌ها استفاده نمودند. نتایج نشان دادند که کیفیت آب برخی از چاه‌ها بیش‌تر از مقدار مجاز تعیین‌شده بوده و هم‌چنین چهار چاه در سال

۲۰۱۸ برای مصرف شرب نامناسب بود [۱۴]. داس^{۱۴} برای خلاصه‌سازی وضعیت کلی کیفیت آب، روش‌هایی مانند شاخص کیفیت آب^{۱۵} (WQI) و سامانه اطلاعات جغرافیایی^{۱۶} (GIS) را با هم ترکیب نمود. برای این منظور ۱۹ مکان مورد بررسی در بازه زمانی ۳ ساله (۲۰۲۳-۲۰۲۰)، برای آزمایش ۲۰ پارامتر فیزیکوشیمیایی در حوضه رودخانه ماهانادی، اودیشا جمع‌آوری و بررسی شدند. ایشان با استفاده از معیار کاهش تاثیر^{۱۷} (CILOS)، GIS، شبکه عصبی مصنوعی^{۱۸} (ANN) و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره^{۱۹} (MCDM) به ارزیابی آلودگی آب و کیفیت آب آشامیدنی آب‌های سطحی پرداختند. بررسی‌ها نشان دادند که رویکرد به‌کاررفته در تحقیق ایشان موفقیت‌آمیز بود [۱۵]. در تحقیق دیگری با استفاده از شاخص‌های کیفیت آب و مدل‌سازی چندمتغیره در حوضه رودخانه بایترانی، اودیشا، کیفیت آب سطحی ارزیابی و تخصیص منابع آلودگی بررسی شد. برای ارزیابی کیفیت آب مدل‌های CCME WQI، WA-WQI و IWQI، پیشنهاد شدند. بررسی‌ها نشان دادند که پارامترهای کلیدی موثر بر کیفیت آب عبارت بودند از کدورت، TDS و EC [۱۶].

مرور پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهند که ارزیابی کیفیت منابع آب سطحی با شاخص‌های متفاوتی انجام شده است، اما به بررسی پارامترهای کیفی تحت اثر تغییر اقلیم و رتبه‌بندی هر پارامتر و مقایسه شاخص‌ها با استفاده از روش TODIM پرداخته نشده است. بنابراین در این پژوهش متغیرهای اقلیمی مربوطه برای دوره‌های آینده با کمک مدل GFDL-ESM2G برای شبیه‌سازی بارش و از مدل MIROC ESM-CHEM برای شبیه‌سازی دما تحت سناریوهای انتشار RCP 2.6، RCP 4.5 و RCP 8.5 استفاده خواهند شد و پارامترهای کیفی تحت اثر تغییر اقلیم ارزیابی و پارامترها با کمک روش TODIM رتبه‌بندی می‌شوند.

14- Das

15- Water Quality Index

16- Geographic Information System

17- Criterion Impact Loss

18- Artificial Neural Network

19- Multi-Criteria Decision Making

8- Mishra

9- Aldrees

10- Indus

11- Machine Learning

12- Random Forest

13- Patel

۲- مواد و روش‌ها

در این بخش، روند انجام پژوهش حاضر شرح داده می‌شود. در ابتدا، پس از جمع‌آوری اطلاعات و داده‌های پایه برای منطقه مورد مطالعه، عملکرد مدل‌های اقلیمی براساس گزارش پنجم IPCC ارزیابی می‌شود. سپس متغیرهای اقلیمی مربوطه برای دوره‌های آینده با کمک مدل GFDL-ESM2G برای شبیه‌سازی بارش و از مدل MIROC ESM-2.6 برای شبیه‌سازی دما تحت سناریوهای انتشار RCP 2.6، RCP 4.5 و RCP 8.5 شبیه‌سازی خواهند شد. در ادامه، وضعیت کیفیت آب در دو شرایط حال و آینده با استفاده از شاخص کیفیت آب مورد بررسی قرار می‌گیرد و در نهایت، پارامترهای کیفی تأثیرگذار بر کیفیت آب رتبه‌بندی شده و وزن هر کدام از پارامترها اصلاح می‌شود.

۲-۱- شبیه‌سازی پارامترهای کیفی در شرایط تغییر اقلیم

در این تحقیق متغیرهای کیفی اقلیمی مربوطه در دوره‌های زمانی پایه (۱۹۸۸-۲۰۰۵)، آینده نزدیک (۲۰۳۰-۲۰۴۷) تحت سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 شبیه‌سازی شده است. سپس با استفاده از شاخص کیفیت آب ایران^{۲۰} (WQI_{IR})، شاخص کیفیت آب سازمان بهداشت جهانی^{۲۱} (WQI_{WHO}) و طبقه‌بندی شولر، کیفیت آب در دوره پایه و آینده سنجیده شده است. در نهایت با بهره‌گیری از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره TODIM پارامترهای موثر با استفاده از شاخص‌های کیفیت آب رتبه‌بندی می‌شوند.

۲-۲- بررسی تغییرات کیفیت آب برای دوره پایه و آتی با

استفاده از شاخص WQI_{IR}

شاخص کیفیت آب (WQI_{IR}) یکی از ابزارهای مهم برای ارزیابی کیفیت آب است و شامل تعدادی از پارامترهای فیزیکی و شیمیایی است که به‌نوعی بر سلامت محیط زیست و سلامت انسان تأثیر دارند. برای بررسی تغییرات

کیفیت آب با استفاده از WQI_{IR}، در ابتدا باید پارامترهای مرتبط با آن را سنجید و سپس با استفاده از یک فرمول ریاضی که به‌طور معمول شامل وزن‌دهی به هر پارامتر است، WQI_{IR} محاسبه شود.

محاسبه WQI_{IR} پس از جمع‌آوری داده‌ها که شامل پارامترهایی مانند DO، BOD، کدورت، کل جامدات معلق، نیترات، فسفات، pH، دما و کالیفرم مدفوعی با استفاده از یک رابطه ریاضی به فرمول محاسبه کیفیت آب پرداخته می‌شود. این فرمول در رابطه (۱) نشان داده شده است:

$$WQI = \sum_{i=1}^n W_i S_i \quad (1)$$

که در آن، W_i = وزن پارامتر i ام، n = تعداد پارامترها، و S_i = مقدار شاخص i ام از منحنی رتبه‌بندی، هستند.

جدول ۱- پارامترهای کیفیت آب، وزن پارامترها و طبقه‌بندی

آب براساس شاخص WQI_{IR}

Table 1. Water quality parameters, parameter weights, and water classification based on the WQI_{IR} index

Parameter	Unit	Weight	Index range	Water classification
DO	Percentage	0.17	0-25	Very bad
Fecal Coliform	Count per 100 mL	0.16	26-50	Bad
pH	Standard unit	0.11	51-70	Medium
BOD	mg/L	0.11		
Temperature	Degrees Celsius	0.10		
Phosphate	mg/L	0.10	71-90	Good
Total Nitrate	mg/L	0.10		
Turbidity	NTU	0.08	91-100	Excellent
Total solids	mg/L	0.07		

۲-۳- بررسی تغییرات کیفیت آب برای دوره پایه و آتی با

استفاده از شاخص WQI_{WHO}

کیفیت آب برای مصارف شرب می‌تواند با استفاده از یک شاخص کیفیت مشخص گردد که حدود مجاز پارامترهای کیفیت آب براساس این شاخص و وزن نسبی هر پارامتر که با استفاده از نسبت وزن مطلق هر پارامتر

²¹- World Health Organization Water Quality Index

²⁰- Iran Water Quality Index

۲-۴- بررسی تغییرات کیفیت آب برای دوره پایه و آتی با استفاده از طبقه‌بندی شولر

نمودار شولر به‌عنوان یک ابزار گرافیکی برای طبقه‌بندی کیفیت آب عمل می‌کند و آب‌های مورد بررسی را به شش گروه شامل خوب، قابل قبول، نامناسب، بد، به‌طور موقتی قابل شرب و غیرقابل شرب تقسیم می‌کند.

مهم‌ترین پارامترهای کیفی برای این دسته‌بندی عبارتند از: کلر، کل جامدات محلول، سدیم، سولفات و سختی کل است. کل جامدات محلول تأثیر چشم‌گیری بر طعم آب آشامیدنی دارد و نقش مهمی در جابه‌جایی و تغییر شیمیایی و یونیزه شدن مواد ایفا می‌کند. سختی کل آب که براساس کربنات کلسیم اندازه‌گیری می‌شود، نیز یکی دیگر از پارامترهای مهم در نمودار شولر به‌شمار می‌رود. این سختی ناشی از وجود یون‌های کلسیم و منیزیم در آب است. در مورد سدیم، این کاتیون محلول به‌طور طبیعی در آب‌های طبیعی به مقدار کم یا زیاد یافت می‌شود. کلر به‌عنوان یکی از آنیون‌ها هم در تمامی آب‌های طبیعی حضور دارد و در صورتی که غلظت آن بالا باشد، ممکن است باعث مسمومیت شود. آنیون سولفات نیز به‌وفور در آب‌های طبیعی دیده می‌شود و سولفات‌های سدیم، منیزیم و پتاسیم به‌راحتی در آب حل می‌شوند، در حالی که سولفات‌های کلسیم و گچ قابلیت حل کم‌تری دارند.

۲-۵- روش وزن‌دهی آنتروپی-شانون

در پژوهش حاضر از روش وزن‌دهی آنتروپی-شانون برای وزن‌دهی معیارها استفاده شد [۱۷]. روش آنتروپی-شانون، معیاری از عدم قطعیت در داده‌ها با توجه به ویژگی‌های نظریه احتمال^{۲۲} است. مفهوم آنتروپی مقدار اطلاعات در یک متغیر است و در صورتی که پدیده‌ای عدم قطعیت زیادی داشته باشد، آنتروپی آن افزایش خواهد یافت. روش آنتروپی-شانون پراکندگی ارزش در تصمیم‌گیری را نشان می‌دهد. هر اندازه درجه پراکندگی

تقسیم بر وزن کل پارامترها به‌دست می‌آید، در جدول ۲ ارائه شده است. بیشینه وزن پارامترها با توجه به تأثیر آن‌ها بر کیفیت آب به پارامترهای TDS، Cl، SO₄ و NO₃ اختصاص دارد و کمینه وزن را پارامتر HCO₃ دارا می‌باشد. با استفاده از رابطه (۱) و مقادیر وزن نسبی ارائه‌شده در جدول ۳، کیفیت آب براساس شاخص WQI_{WHO} طبقه‌بندی می‌شود.

جدول ۲- حدود مجاز و وزن نسبی پارامترهای کیفیت آب

براساس شاخص WHO

Table 2. Permissible limits and relative weight of water quality parameters based on the WHO index

N.	Parameter	Unit	Permissible limit	Relative weight (Wi)
1	TDS	mg/L	1000	0.139
2	EC	Microsiemens per cm	-	-
3	TH	mg/L	300	0.115
4	pH	mg/L	6.5-8.5	0.083
5	Cl ⁻	mg/L	250	0.139
6	SO ₄	mg/L	500	0.139
7	CO ₃	mg/L	-	-
8	HCO ₃	mg/L	120	0.028
9	Mg	mg/L	30	0.083
10	Na	mg/L	200	0.111
11	Ca	mg/L	300	0.083
12	K	mg/L	12	0.056

جدول ۳- طبقه‌بندی کیفیت آب براساس شاخص WQI_{WHO}

Table 3. Water quality classification based on the WQI_{WHO} Index

Quality class	Quality index range
Excellent	<50
Good	50-100
Poor	100-200
Very poor	200-300
Not drinkable	>300

²²- Probability Theory

$$d_j = 1 - E_j \quad (4)$$

که در آن، d_j = درجه انحراف معیار j است.

۲-۵-۵- تعیین وزن معیارها

وزن هریک از معیارها با استفاده از رابطه (۵) تعیین

می‌گردد:

$$W_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} \quad (5)$$

که در آن، W_j = وزن معیار j است.

۲-۶- روش تصمیم‌گیری چندمعیاره TODIM

گومز^{۲۷} و لیما^{۲۸} [۱۸] روش تصمیم‌گیری TODIM،

مبتنی بر تئوری چشم‌انداز^{۲۹} در فضای گسسته [۱۹] را ارائه کردند. TODIM واژه‌ای پرتغالی^{۳۰} به معنای تصمیم‌گیری با ویژگی‌های تعاملی و چندشاخصه^{۳۱} است. نظریه چشم‌انداز مبتنی بر انتخاب یک گزینه از میان چند گزینه با چشم‌اندازهای متفاوت و خطرپذیری هریک از آنها است. در این روش، درجه تسلط هر گزینه بر دیگر گزینه‌ها با بهره‌گیری از ارزش کلی براساس سود و زیان، محاسبه و در نهایت، گزینه‌ها رتبه‌بندی می‌شوند. در ادامه، گام‌های روش TODIM شرح داده خواهد شد.

۲-۶-۱- تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری

ماتریس تصمیم متشکل از n معیار و m گزینه طبق

رابطه (۶) تعیین می‌شود.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (6)$$

($i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n$)

که در آن، x_{ij} = عملکرد گزینه i براساس معیار j است.

بیش‌تر باشد، درجه انحراف بیش‌تر خواهد بود. گام‌های روش آنتروپی-شانون به‌صورت زیر است:

۲-۵-۱- تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری^{۲۳}

در گام نخست، با فرض وجود n معیار و m گزینه،

ماتریس تصمیم‌گیری براساس رابطه (۱) تشکیل می‌شود:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

($i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n$)

که در آن، x_{ij} = عملکرد گزینه i براساس معیار j است.

۲-۵-۲- نرمالیزه نمودن^{۲۴} ماتریس تصمیم‌گیری

در این گام، ماتریس تصمیم‌گیری براساس رابطه (۲)

نرمالیزه می‌گردد:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}, i=1, \dots, m, j=1, \dots, n \quad (2)$$

که در آن، r_{ij} = درایه‌های ماتریس تصمیم‌گیری نرمالیزه شده است.

۲-۵-۳- محاسبه درجه آنتروپی^{۲۵} هر معیار

میزان آنتروپی هر معیار، مطابق رابطه (۳) محاسبه

می‌شود:

(۳)

$$E_j = -\frac{1}{\ln(m)} \left(\sum_{i=1}^m r_{ij} \ln(r_{ij}) \right), i=1, \dots, m, j=1, \dots, n$$

که در آن، E_j = درجه آنتروپی معیار j است.

۲-۵-۴- تعیین میزان انحراف هر معیار^{۲۶}

در این گام درجه انحراف هر معیار طبق رابطه (۴)

تعیین می‌گردد:

²⁹- Prospect Theory

³⁰- Portuguese

³¹- Interactive and Multiple-Attribute Decision-Making

²³- Decision-Making Matrix

²⁴- Normalization

²⁵- Entropy Degree

²⁶- Deviation Rate of Degree

²⁷- Gomes

²⁸- Lima

۲-۶-۲- نرمالیزه نمودن ماتریس تصمیم‌گیری

در این گام، درایه‌های ماتریس تصمیم‌گیری برای معیارهای مثبت^{۳۲} از رابطه (۷) و برای معیارهای منفی^{۳۳} از رابطه (۸) نرمالیزه می‌شود:

$$R_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}} \quad (7)$$

$$R_{ij} = \frac{1/x_{ij}}{\sum_{i=1}^n 1/x_{ij}} \quad (8)$$

که در آن، R_{ij} = درایه‌های ماتریس تصمیم‌گیری نرمالیزه‌شده، است.

۲-۶-۳- تعیین وزن نسبی^{۳۴} معیارها

در این گام، به‌منظور محاسبه وزن نسبی معیارها، وزن‌های حاصل از روش آنتروپی-شانون بر بیشینه وزن معیارها تقسیم می‌شود تا اوزان نسبی حاصل شود.

۲-۶-۴- تعیین درجه تسلط^{۳۵} گزینه i نسبت به گزینه j براساس یک معیار

در این گام، به‌منظور محاسبه درجه تسلط هر گزینه نسبت به گزینه دیگر براساس یک معیار، از رابطه (۹) استفاده خواهد شد:

$$\varphi_c(A_i - A_j) = \begin{cases} \sqrt{\frac{w_{cr}(T_{ij} - T_{kj})}{\sum_{j=1}^m w_{cr}}} & \text{if } (T_{ij} - T_{kj}) > 0 \\ 0 & \text{if } (T_{ij} - T_{kj}) = 0 \\ -\frac{1}{\theta} \sqrt{\frac{(\sum_{j=1}^m w_{cr})(T_{ij} - T_{kj})}{w_{cr}}} & \text{if } (T_{ij} - T_{kj}) < 0 \end{cases} \quad (9)$$

که در آن، اگر $(T_{ij} - T_{kj}) < 0$ باشد، نشان‌دهنده سود گزینه i نسبت به معیار j است. اگر $(T_{ij} - T_{kj}) = 0$ و $(T_{ij} - T_{kj}) > 0$ باشد، نشان‌دهنده زیان گزینه i نسبت به معیار j است. در رابطه (۹)، θ = ضریب کمبود^{۳۶} است (که در این پژوهش برابر با ۱ در نظر گرفته شده است).

۲-۶-۵- تعیین درجه تسلط نهایی^{۳۷} گزینه i نسبت به گزینه j

در این مرحله، پس از تعیین مقادیر درجه تسلط هر گزینه نسبت به گزینه دیگر ماتریس درجه تسلط جزئی^{۳۸} تشکیل شد. پس از این که هر سطر در این ماتریس را با هم جمع نموده و در نهایت با داشتن ماتریسی که دارای یک ستون و هفت سطر بود به کمک رابطه (۱۰)، رتبه‌بندی گزینه‌ها انجام خواهد شد:

$$\delta(A_i, A_j) = \sum_{j=1}^m \varphi_j(A_i, A_j) \quad (10)$$

که در آن، $\phi_c(A_i, A_j)$ = سهم معیار c از تابع $\delta(A_i, A_k)$ است، وقتی که گزینه i با گزینه j مقایسه می‌شود.

۲-۶-۶- تعیین ارزش کلی هر گزینه^{۳۹}

با استفاده از رابطه (۱۱) می‌توان ارزش کلی هر گزینه را تعیین نمود.

$$\Psi_i = \frac{\sum_{j=1}^n \delta(A_i, A_j) - \min \sum_{j=1}^n \delta(A_i, A_j)}{\max \sum_{j=1}^n \delta(A_i, A_j) - \min \sum_{j=1}^n \delta(A_i, A_j)} \quad (11)$$

که در آن، Ψ_i = ارزش کلی هر گزینه است. ارزش کلی هر گزینه عددی بین صفر و ۱ است، هرچه مقدار ارزش کلی هر گزینه به ۱ نزدیک‌تر باشد، رتبه بالاتر به خود اختصاص می‌دهد. گزینه‌ای که ارزش کلی آن برابر با ۱ است، در رتبه اول و گزینه‌ای که ارزش کلی آن صفر باشد، در رتبه آخر قرار می‌گیرد.

۳- منطقه مطالعاتی

حوضه رودخانه دربند، شامل دو رودخانه دربند و گلابدره، یکی از حوضه‌های بزرگ آبریز تهران-کرج است که آب آن از کوه‌های توجال تأمین می‌شود. این محدوده در طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۴ تا ۵۱ درجه و ۲۸ دقیقه

36- Attenuation Factor of Losses

37- Overall Dominance Degree

38- Partial Dominance Degree matrix

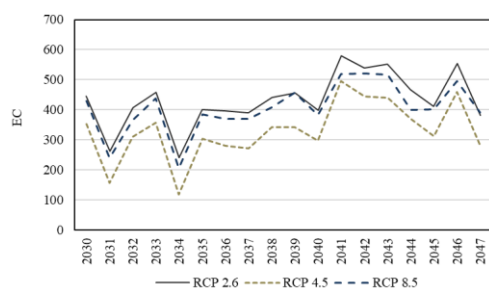
39- Overall Value of each Alternative

32- Positive Criteria

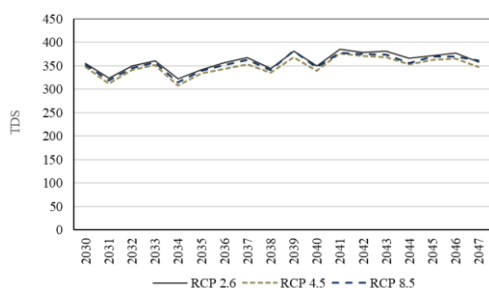
33- Negative Criteria

34- Relative Weight

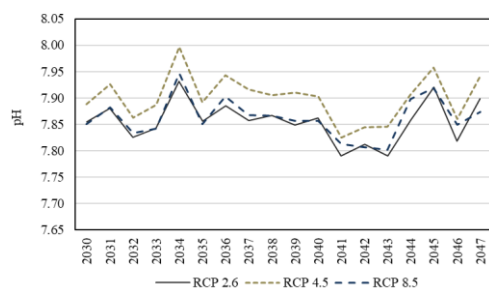
35- Dominance Degree



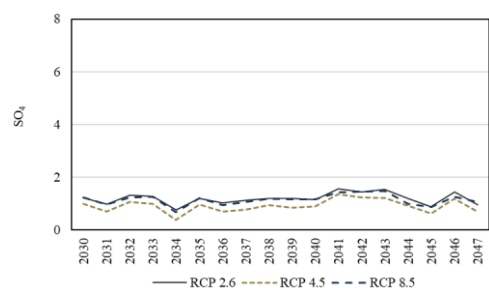
(الف)



(ب)



(پ)



(ت)

Figure 1. Variation of parameters (a) EC, (b) TDS, (c) pH, and (d) SO_4 during the period 2030-2047

شکل ۱- تغییر پارامتر (الف) EC، (ب) TDS، (پ) pH و (ت) SO_4 در بازه ۲۰۳۰-۲۰۴۷

با توجه به روابط رگرسیونی به‌دست‌آمده برای هر پارامتر، مقادیر آن‌ها در شرایط پایه و سناریوهای مختلف محاسبه شد تا کیفیت رودخانه دربند از نظر شاخص WQI_{WHO} ، WQI_{IR} و طبقه‌بندی شولر مورد ارزیابی قرار گیرد. برای تعیین شاخص معادل هر پارامتر، از منحنی‌های رتبه‌بندی و وزن‌دهی براساس اطلاعات موجود در جدول ۱

و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۷ تا ۳۵ درجه و ۵۳ دقیقه واقع شده و دارای طول ۴۷۲۳ متر و عرض متوسط ۷ متر است. مساحت حوضه ۳۹ کیلومتر مربع بوده و به دو بخش کوهستانی و دشتی کم‌شیب تقسیم می‌شود. این ناحیه به‌دلیل تغییرات کاربری زمین، دچار تحولات زیادی شده است.

۴- نتایج

در این بخش، نتایج حاصل از تغییرات کیفیت آب در دوره پایه و آتی، روش‌های وزن‌دهی و رتبه‌بندی گزینه‌ها که همان شاخص‌های کیفیت آب می‌باشند برای منطقه مورد مطالعه شرح داده خواهد شد.

۴-۱- تغییرات کیفیت آب در دوره پایه و آتی تحت شاخص‌ها

در این تحقیق، بارندگی و دما منطقه با استفاده از مدل‌های AOGCM برای پیش‌بینی این پارامترها برای دوره آینده (۲۰۳۰-۲۰۴۷) شبیه‌سازی شده است. روابط میان پارامترهای کیفی آب و عوامل اقلیمی مانند دما و بارش در دوره پایه مورد بررسی قرار گرفته‌اند. نتایج بیانگر رابطه معکوس بین بارندگی و EC، TDS و SO_4 وجود دارد. این موضوع نشان‌دهنده این است که افزایش بارش، منجر به کاهش مقادیر EC و املاح در آب‌های سطحی می‌شود. دلیل این امر، افزایش جریان رودخانه و ظرفیت رقیق‌سازی آنها است. با جایگزین نمودن مقادیر پیش‌بینی‌شده دماهای کمینه و بیشینه و بارش در روابط به‌دست‌آمده، مقدار هر پارامتر کیفیت آب در آینده را تخمین زد. نتایج این برآورد برای پارامترهای کیفی آب در دوره آینده، در شکل ۱ نمایش داده شده است.

از دلایل آن افزایش بارش و خودپالایی رودخانه در سال‌های آتی می‌باشد. از آنجا که ضرایب و وزن نسبی در دو شاخص متفاوت بوده مقدار در دو شاخص متفاوت بوده و در شاخص WQI_{WHO} این مقدار بیش‌تر است.

۴-۲- نتایج روش وزن‌دهی آنتروپی-شانون

ماتریس تصمیم‌گیری براساس دو معیار کمینه نمودن WQI_{WHO} و بیشینه نمودن WQI_{IR} و چهار گزینه TDS، EC، PH و SO_4 که هریک بیان‌گر وزن نسبی پارامترهای کیفی آب هستند، تشکیل شد. ماتریس تصمیم‌گیری در جدول ۵ ارائه شده است. ماتریس تصمیم‌گیری نرمالیزه‌شده در جدول ۶ نشان داده شده است.

جدول ۵- ماتریس تصمیم‌گیری

Table 5. Decision-making matrix

Alternatives	Criteria	
	C_1	C_2
A_1	0.139	0.070
A_2	0.083	0.110
A_3	0.139	0.100
A_4	0.115	0.160

C_1 = Minimizing WQI_{WHO} , C_2 = Maximizing WQI_{IR}

جدول ۶- ماتریس تصمیم‌گیری نرمالیزه‌شده

Table 6. Normalized decision matrix

Alternatives	Criteria	
	C_1	C_2
A_1	0.292	0.159
A_2	0.174	0.250
A_3	0.292	0.227
A_4	0.242	0.364

به‌منظور تعیین وزن معیارها، ابتدا درجه آنتروپی هر معیار، سپس درجه انحراف آن و در نهایت وزن هر معیار محاسبه شد که نتایج در جدول ۷ ارائه شده است.

و ۲ استفاده شد و در نهایت، مقدار شاخص مطابق با جدول ۴ و شکل ۲ برای شرایط پایه و هریک از سناریوها مشخص شد.

جدول ۴- شرایط کیفی رودخانه دربند نظر شاخص WQI_{IR} و WQI_{WHO} در دوره پایه و آینده

Table 4. Quality conditions of Darband River based on the WQI_{IR} and WQI_{WHO} indexes in the baseline and future periods

Time period	Type of water quality index			
	WQI_{IR}		WQI_{WHO}	
	Index value	Water quality classification	Index value	Water quality classification
Baseline	77.7	Good	79.4	Good
RCP 2.6	81.2	Good	83.2	Good
RCP 4.5	87.1	Good	84.4	Good
RCP 8.5	81.3	Good	82.5	Good

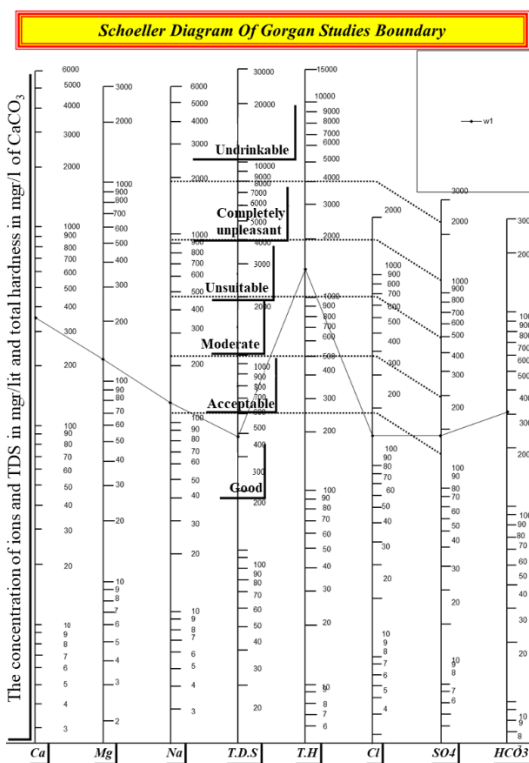


Figure 2. Water quality changes using Schuller classification

شکل ۲- تغییرات کیفیت آب با استفاده از طبقه‌بندی شولر

نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که کیفیت آب در شرایط پایه در وضعیت خوب قرار دارد و پیش‌بینی‌ها نیز حاکی از این است که برای هر سه سناریو، کیفیت آب در هر دو شاخص در وضعیت خوب قرار خواهد داشت که یکی

۵- نتیجه‌گیری

با توجه به نقش مهم رودخانه دربند به‌عنوان دومین رودخانه پرآب تهران و همچنین وجود آلاینده‌های متعدد در اطراف آن، ارزیابی کیفیت آب این رودخانه به‌طور قطع ضروری است. بررسی وضعیت کنونی و پیش‌بینی شرایط آینده رودخانه با استفاده از شاخص‌های کیفیت آب می‌تواند به اتخاذ تصمیمات مدیریتی آگاهانه‌تری در خصوص منابع آبی سطحی کشور کمک کند و اثرات زیست‌محیطی ناشی از آنها را به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم کاهش دهد.

نتایج بررسی‌های مربوط به تغییرات اقلیمی در حوضه رودخانه دربند نشان می‌دهند که دمای بیشینه در سناریوهای آینده افزایش قابل توجهی نسبت به شرایط پایه خواهد داشت. همچنین، میزان بارش نیز در آینده نسبت به دوره پایه روند افزایشی نشان می‌دهد که با توجه به پژوهش‌های پیشین این روند منطقی است. در نتیجه، پارامترهای کیفی آب نیز دچار تغییراتی خواهند شد. نتایج نشان می‌دهند که کیفیت آب رودخانه در دوره پایه در وضعیت مناسبی قرار داشته و انتظار می‌رود که در آینده نیز کیفیت مناسبی حفظ شود.

در گام پایانی، با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره TODIM، چهار گزینه انتخابی تحت شرایط تغییر اقلیم رتبه‌بندی شدند. نتایج حاکی از آن است که شاخص‌های کیفی آب تحت گزینه‌های مختلف متفاوت است و می‌توان با استفاده از این نتایج میزان تأثیر هریک از پارامترهای کیفی را بر بهبود کیفیت آب مشخص کرد. با این حال، پیشنهاد می‌شود که برای بررسی جامع‌تر، تأثیر سایر آلاینده‌ها نیز در این رودخانه مورد مطالعه قرار گیرد تا شاخصی ویژه برای آن تدوین شود. از محدودیت‌های موجود می‌توان عدم وجود داده‌های دوره پایه با دوره زمانی طولانی‌تر و همچنین نبود داده‌های مربوط به دیگر پارامترهای کیفی اشاره نمود. از این‌رو با این که در این پژوهش پارامترهای با تأثیر بالاتر مورد بررسی قرار گرفته است، پیشنهاد می‌گردد پارامترهای کیفی بیش‌تری در این

جدول ۷- درجه آنتروپی، انحراف از معیار و وزن معیارها

Table 7. Entropy degree, standard deviation, and criteria weights

Determining the weight of the criterion	Criteria	
	C ₁	C ₂
E_j	0.986	0.969
d_j	0.014	0.031
W_j	0.315	0.685

نتایج جدول ۷ نشان می‌دهد که اثر تغییرات گزینه‌ها بر بیشینه نمودن WQI_{IR} نسبت به معیار کمینه نمودن WQI_{WHO} اهمیت بیش‌تری دارد.

۳-۴- نتایج روش رتبه‌بندی TODIM

در این بخش، نتایج روش رتبه‌بندی گزینه‌ها ارائه خواهد شد.

ارزش کلی هر گزینه و نتایج رتبه‌بندی گزینه‌ها در جدول ۸ ارائه شده است.

جدول ۸- ارزش کلی هر گزینه و رتبه‌بندی گزینه‌ها

Table 8. Overall value of each alternative and ranking of the alternatives

Alternatives	The overall value of each alternative	Rank of each alternative
A ₁	0.808	3
A ₂	0.719	4
A ₃	0.926	2
A ₄	1	1

در جدول ۸، هرچه ارزش کلی هر گزینه به ۱ نزدیک‌تر باشد، رتبه بهتری دارد و گزینه با ارزش صفر در آخرین اولویت قرار دارد. بنابراین تحت هریک از گزینه‌ها، مقدار شاخص کیفی آب متفاوت است. با توجه به متفاوت بودن گزینه‌ها میزان اثر هریک از گزینه‌ها بر روی شاخص‌ها متفاوت است. با توجه به نتایج، تأثیر کاهش EC به دلیل بالاتر بودن وزن نسبی این پارامتر نسبت به دیگر پارامترها بر روی معیارها بیش‌تر بوده و کاهش آن اثرگذاری بیش‌تری بر روی افزایش کیفیت آب داشت.

منطقه استخراج شود و مورد آزمایش قرار گیرد تا شاخص ارائه شده تمامی پارامترها را پوشش دهد.

Declarations

- **Ethical Approval**

■ The paper is not currently being considered for publication elsewhere. All authors have been personally and actively involved in substantial work leading to the paper, and will take public responsibility for its content.

- **Competing interests**

■ Conflict of Interest - None

- **Availability of data and materials**

■ Data will be made available on request.

- **Authors Contributions**

Manizheh Pourali Dougaheh's conceived the original idea. She developed the theory and performed the calculations. Seyyed Mohammad Shoaie confirmed the analytical methods and supervised the findings of this work. All authors discussed the results.

References

- [1] Tiyasha T, Tung TM, Yaseen ZM. A survey on river water quality modelling using artificial intelligence models: 2000-2020. *Journal of Hydrology*. 2020 Jun; 585: 124670. doi: 10.1016/j.jhydrol.2020.124670.
- [2] Perveen Sh, Ul-Haque A. Drinking water quality monitoring, assessment and management in Pakistan: A review. *Heliyon*. 2023 Mar; 9(3): e13872. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e13872.
- [3] Jinturkar AM, Deshmukh SS, Agarkar SV, Chavhan GR. Determination of water quality index by fuzzy logic approach: A case of groundwater in an Indian town. *Water Science & Technology*. 2010; 61(8): 1987-1994. doi: 10.2166/wst.2010.095.
- [4] Park SS, Lee YS. A water quality modeling study of the Nakdong River, Korea. *Ecological Modelling*. 2002 Jun; 152(1): 65-75. doi: 10.1016/S0304-3800(01)00489-6.
- [5] Singh AP, Dhadse K, Ahalawat J. Managing water quality of a river using an integrated geographically weighted regression technique with fuzzy decision-making model. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2019 May; 191 (378). doi: 10.1007/s10661-019-7487-z.
- [6] Chapman D. Water quality assessments: A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring. Published by UNESCO/WHO/UNEP; 1996.
- [7] Ouyang T, Zhu Z, Kuang Y. River water quality and pollution sources in the Pearl River Delta, China. *Journal of Environmental Monitoring*. 2005 Jun; 7: 664-669. doi: 10.1039/B504475H.
- [8] Effendi H, Wardianto Y. Water quality status of Ciambulawung River, Banten Province, based on pollution index and NSF-WQI. *Procedia Environmental Sciences*. 2015; 24: 228-237. doi: 10.1016/j.proenv.2015.03.30.
- [9] Nourbakhsh Z, Mehrdadi N, Moharamnejad N, Hassani AH, Yousefi H. Evaluating the suitability of different parameters for qualitative analysis of groundwater based on analytical hierarchy process. *Desalination and Water Treatment*. 2016 Jun; 57 (28): 13175-13182. doi: 10.1080/19443994.2015.1056837.
- [10] Ahmadianfar I, Jamei M, Chu X. A novel hybrid wavelet-locally weighted linear regression (W-LWLR) model for electrical conductivity (EC) prediction in surface water. *Journal of Contaminant Hydrology*. 2020 Jun; 232: 103641. doi: 10.1016/j.jconhyd.2020.103641.
- [11] Khalili R, Montaseri H, Mottaghi H, Jalili M. Evaluation of water quality in the Chalus River using the statistical analysis and water quality index (WQI). *Water and Soil Management and Modeling*. 2021 Aug; 1(3): 38-52. doi: 10.22098/MMWS.2021.9300.1031 [In Persian].
- [12] Mishra AP, Singh S, Jani M, Singh KA, Pande ChB, Varade AM. Assessment of water quality index using Analytic Hierarchy Process (AHP) and GIS: a case study of a struggling Asan River. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. 2022 Jan; 104(5): 1159-1171. doi: 10.1080/03067319.2022.2032015.
- [13] Aldrees A, Javed MF, Taha ATB, Mohamed AM, Jasiński M, Gono M. Evolutionary and ensemble machine learning predictive models for evaluation of water quality. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 2023 Apr; 46: 101331. doi: 10.1016/j.ejrh.2023.101331.

- [14] Patel DD, Mehta DJ, Azamathulla HM, Shaikh MM, Jha Sh, and Rathnayake U. Application of the weighted arithmetic water quality index in assessing groundwater quality: A case study of the South Gujarat region. *Water*. 2023 Oct; 15(19): 3512. **doi: 10.3390/w15193512.**
- [15] Das A. Water pollution and water quality assessment and application of criterion impact loss (CILOS), geographical information system (GIS), artificial neural network (ANN) and decision-learning technique in river water quality management: An experiment on the Mahanadi catchment, Odisha, India. *Desalination and Water Treatment*. 2025 Jan; 321: 100969. **doi: 10.1016/j.dwt.2024.100969.**
- [16] Das A. Surface water quality evaluation, apportionment of pollution sources and aptness testing for drinking using water quality indices and multivariate modelling in Baitarani River basin, Odisha. *HydroResearch*. 2025 Jan; 8: 244-264. **doi: 10.1016/j.hydres.2024.12.002.**
- [17] Shannon CE. A Mathematical Theory of Communication. *The Bell System Technical Journal*. 1948 Jul; 27 (3), 379-423. **doi: 10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x.**
- [18] Gomes LFAM, Lima MMPP. TODIM: Basics and application to multicriteria ranking of projects with environmental impacts. *Foundations of Computing and Decision Sciences*. 1992 Jan; 16, 113-127.
- [19] Kahneman D, Tversky A. Prospect theory: An analysis of decision under risk. *Econometrica*. 1979 Mar; 47 (2): 263-291. **doi: 10.2307/1914185.**