



<https://gep.ui.ac.ir/?lang=fa>

Geography and Environmental Planning

E-ISSN: 2252- 0910

Document Type: Research Paper

Vol. 35, Issue 4, No.96, Winter 2024, pp. 165- 192

Received: 02/04/2024

Accepted: 04/03/2025

Monitoring the Water Quality of the Karun Bozorg River Based on the IRWQIsc Index in the Spring of 2022

Mehrdad Alranaei¹, Saeed Pourmanafi ^{ID}*², Mohammad Nemati ³, Ali Lotfi ⁴

1- Ph.D. student of Environmental Science and Engineering, Department of Environment, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

m.alranaie@na.iut.ac.ir

2- Associate professor, Department of Environment, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

spourmanafi@iut.ac.ir

3- Assistant professor, Department of Environment, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

nemati@cc.iut.ac.ir

4- Assistant professor, Department of Environment, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

lotfi@iut.ac.ir

Abstract

This study assessed the water quality of the Karun Bozorg (greater) River, from the junction of the Dez River to the junction with the Arvand River, using the IRWQIsc index. Twelve sampling stations were established at relatively equal distances (between 25 and 35 km) based on the main access points to the river. To analyze the relationships between water quality parameters and their distribution, we employed Spearman's correlation coefficient, hierarchical cluster analysis, and land use regression using the support vector machine method. The calculated IRWQIsc values ranged from 30.65 to 48.98 within the study area. The results indicated that, with the exception of two stations (1: Dehkhoda Sugarcane Cultivation and Industry and 4: Ahvaz City Entrance) that exhibited average conditions (48.98 and 46.32, respectively), the remaining stations were in relatively poor conditions. Furthermore, BOD and electrical conductivity levels at all stations exceeded Iran's drinking water quality standards. Phosphate concentrations ranged from 0.006 to 0.021 mg/L, while ammonium levels varied from 0.4 to 2.08 mg/L, with significant increases observed at downstream stations. Spearman's correlation analysis revealed a strong relationship between electrical conductivity and total hardness (0.81). The hierarchical clustering of the stations indicated that Stations 9 to 12 experienced the highest pollution levels, primarily due to

*Corresponding Author

Alranaie, M. , Pourmanafi, S. , Nemati Varnosfaderany, M. and Lotfi, A. (2025). Monitoring the water quality of the Karun Bozorg River based on the IRWQIsc index in the spring of 2022. *Geography and Environmental Planning*, 35 (4), 165 - 192 .



2252-0910 © University of Isfahan

This is an open access article under the CC BY-NC 4.0 License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



10.22108/gep.2025.140054.1622

the influx of agricultural, industrial, and urban pollutants. The land use regression analysis demonstrated an R^2 value of 0.78, suggesting that spatial patterns of water quality could be effectively predicted. These findings underscored the necessity for improved pollutant management and continuous monitoring to enhance the river's water quality.

Keywords: Water Resource, Water Quality Classification, Cluster Analysis, Physicochemical Parameters, Land Use Regression.

Introduction

Water bodies, particularly rivers, are vital for the sustainability and development of human societies. Therefore, maintaining water quality within permissible limits is essential, depending on the characteristics of surface water and its intended use. Previous studies on the water quality of the Karun River have typically been limited in scope, focusing on a small number of sampling stations primarily located around major cities like Ahvaz and Khorramshahr. As a result, they fail to capture the changes occurring along the entire length of the Karun Bozorg (greater) River. This river, which extends from the junction of the Dez and Karun Rivers to the junction with the Arvand River, is crucial for supplying water to cities, villages, large industries, fisheries, and agricultural activities. Given the fluctuations in water volume over the past few years, this study aimed to achieve the following objectives: (1) to map and display the current status and spatial variations of water quality parameters along the Karun Bozorg River, (2) to investigate the relationships between these water quality parameters, and (3) to cluster sampling stations based on their water quality.

Materials & Methods

In this study, the water quality index of the Karun Bozorg River was calculated by establishing 12 sampling stations at relatively equal distances from one another based on the main access points to the river—from the Dez River inlet to the outlet at the Arvand River. Sampling was conducted on May 13, 2022, during which 11 parameters were measured: BOD₅, COD, Electrical Conductivity (EC), Dissolved Oxygen Percentage (DO%), turbidity, Total Water Hardness (TWH), phosphate, nitrate, ammonium, temperature, and pH. To analyze the relationships among the measured parameters, Spearman's correlation coefficient was employed to group them based on their degree of similarity. Hierarchical cluster analysis was then utilized to categorize the sampling stations. Additionally, to visualize the spatial distribution of water quality in the Karun River, land use regression was conducted using the support vector machine method in R software. For this analysis, Bands 1 to 7 of Sentinel 2 satellite images, which were captured from the study area at 2-day intervals, were utilized. Given the limited number of sampling stations, the data collected from all stations were used for modeling and validation. The accuracy of the constructed model was assessed using R^2 and RMSE statistics.

Research Findings

The assessment of water quality in the Karun Bozorg River revealed significant insights based on the IRWQIsc index, with calculated values ranging from 30.65 to 48.98 across 12 sampling stations. Notably, only two stations (1: Dehkhoda Sugarcane Cultivation and Industry and 4: Ahvaz City Entrance) demonstrated an average status (48.98 and 46.32, respectively), while the remaining stations were classified as being in relatively poor conditions. Key findings included:

- **BOD and EC:** All sampling stations exhibited BOD and EC levels that exceeded Iran's drinking water quality standards, indicating serious concerns regarding water safety.
- **Nutrient Levels:** Phosphate concentrations ranged from 0.006 to 0.021 mg/L and ammonium levels ranged from 0.4 to 2.08 mg/L with significant increases observed at downstream stations.
- **Correlation Analysis:** Spearman's correlation coefficient revealed a strong positive relationship between EC and TWH (0.81), as well as between ammonium and EC (0.87). This suggested that as conductivity increased, so did hardness and ammonium levels.
- **Cluster Analysis:** Hierarchical clustering categorized the sampling stations, revealing that Stations 9 to 12

had the highest pollution levels primarily attributed to urban, agricultural, and industrial runoff.

- **Land Use Regression:** The land use regression analysis, with an R^2 value of 0.78, showed that the spatial patterns of water quality could be effectively predicted, highlighting the influence of land use on water quality dynamics.

The results underscored the urgent need for improved pollutant management and continuous monitoring to enhance the water quality of the Karun Bozorg River. The integration of spatial distribution maps aids decision-makers in visualizing and addressing the deteriorating conditions of the river's water quality, emphasizing the necessity for critical conservation measures and better agricultural practices.

Discussion of Results & Conclusion

The calculated Water Quality Index (WQI) results indicated a decreasing trend from Station 1 to Station 12, with WQI values ranging from 30.65 at Station 12 to 48.98 at Station 1. The findings revealed that all stations were in relatively poor conditions with the exception of two stations (1 and 4), which exhibited mediocre water quality. Notably, fecal coliform and phosphate parameters had the highest average effective weights compared to other factors. This situation was primarily attributed to the inflow of urban, rural, and hospital sewage, along with the discharge from extensive industrial activities along the river. Correlation matrix analysis showed a significant positive correlation between ammonium and EC (0.87), as well as between TWH and EC (0.81). Cluster analysis further revealed that Stations 1 (Dehkhoda Sugarcane Cultivation and Industry) and 12 (Khoramshahr) differed significantly from the other sampled stations. Additionally, mapping the river's water quality status using the support vector machine method demonstrated an accuracy of 78%, highlighting the efficacy of this approach even with a limited number of training points.

The correlation results indicated that EC, ammonium, TWH, and phosphate levels increased from Station 1 (upstream of the Dez River junction) to Station 12 (Khoramshahr). While phosphate concentrations remained below the standard at all stations, other parameters exceeded acceptable limits at several locations. The tidal phenomenon might also exacerbate sudden spikes in EC, particularly at Station 12.

Due to the adverse effects of human pollutants, the water quality of the Karun Bozorg River was deteriorating. Consequently, it is imperative for responsible managers and decision-makers to implement critical conservation measures, such as improved agricultural practices, in conjunction with planned river usage. Spatial distribution maps can enhance the effectiveness of this information, enabling decision-makers to visualize the river's water quality conditions more clearly in the study area.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



پروہشگاہ علوم انسانی و مطالعات فرہنگی
پرتال جامع علوم انسانی

مقاله پژوهشی

پایش کیفیت آب رودخانه کارون بزرگ براساس شاخص IRWQIsc در بهار ۱۴۰۱

مهرداد الرعناهی، دانشجوی دکتری علوم و مهندسی محیط زیست، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

m.alranaie@na.iut.ac.ir

سعید پورمنافی* , دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

spourmanafi@iut.ac.ir

محمد نعمتی، استادیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

nemati@cc.iut.ac.ir

علی لطفی، استادیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

lotfi@iut.ac.ir

چکیده

در پژوهش حاضر کیفیت آب رودخانه کارون بزرگ از ابتدای ورودی رودخانه دز تا محل اتصال به رودخانه ارون با استفاده از شاخص IRWQIsc ارزیابی شد. در این مطالعه برای محاسبه این شاخص ۱۲ ایستگاه نمونه‌برداری با فاصله‌های به نسبت مساوی از یکدیگر (بین ۲۵ تا ۳۵ کیلومتر) و نیز بر مبنای ورودی‌های اصلی به رودخانه تعیین شد. در ادامه، از ضریب همبستگی اسپیرمن و تحلیل خوشه‌ای سلسله‌مراتبی و رگرسیون کاربری زمین با روش ماشین‌بردار پشتیبان برای درک بیشتر روابط میان پارامترهای کیفیت آب و توزیع آنها در رودخانه استفاده شد. مقدارهای IRWQIsc محاسبه‌شده بین ۳۰/۶۵ و ۴۸/۹۸ در منطقه مطالعه‌شده متغیر بود. نتایج نشان داد که به جزء دو ایستگاه ۱ (کشت و صنعت نیشکر دهنخدا) و ۴ (ورودی شهر اهواز) با وضعیت متوسط (به ترتیب ۴۸/۹۸ و ۴۶/۳۲) سایر ایستگاه‌ها در وضعیت به نسبت بد قرار دارد. همچنین، نتایج نشان داد که مقدارهای BOD و هدایت الکتریکی در تمامی ایستگاه‌ها از استانداردهای کیفیت آب شرب ایران فراتر رفته است. مقدارهای فسفات (۰/۰۰۶ تا ۰/۰۲۱ mg/L) و آمونیوم (۰/۴ تا ۲/۰۸ mg/L) نیز در ایستگاه‌های پایین دست افزایش چشمگیری داشته است. تحلیل همبستگی اسپیرمن نشان‌دهنده رابطه قوی میان هدایت الکتریکی و سختی کل (۰/۸۱) بود. خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی ایستگاه‌ها نشان داد که ایستگاه‌های ۱۰، ۹ و ۱۲ بیشترین آلودگی را دارد که ناشی از ورود آلاینده‌های کشاورزی، صنعتی و شهری است. تحلیل رگرسیون کاربری زمین ($R^2 = ۰/۷۸$) نشان داد که الگوهای فضایی کیفیت آب را می‌توان پیش‌بینی کرد. این نتایج بر لزوم مدیریت آلاینده‌ها و پایش مستمر برای بهبود کیفیت آب رودخانه تأکید دارد.

واژه‌های کلیدی: منابع آب، طبقه‌بندی کیفی آب، تحلیل خوشه‌ای، پارامترهای فیزیکوشیمیایی، رگرسیون کاربری اراضی

*نویسنده مسئول

الرعناهی، مهرداد، پورمنافی، سعید، نعمتی ورنوسفادرانی، محمد و لطفی، علی. (۱۴۰۳). پایش کیفیت آب رودخانه کارون بزرگ بر اساس شاخص IRWQIsc در بهار

۱۴۰۱، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۳۵ (۴)، ۱۹۲-۱۶۵.



مقدمه

آب باکیفیت و به مقدار کافی یکی از مهم‌ترین الزامات توسعه سالم و پایدار جامعه انسانی و بوم‌سازگان‌های طبیعی است (Vörösmarty et al., 2010). پهنه‌های آبی به‌خصوص رودخانه‌ها عنصر مهمی برای پایداری و توسعه جوامع انسانی است. با رشد چشمگیر جمعیت جهان و توسعه سریع شهرنشینی در کشورهای در حال توسعه بسیاری از طرح‌های مرتبط با هیدرولوژی برای پاسخگویی به نیازهای مصرف خانگی، تولیدهای صنعتی و آبیاری کشاورزی ساخته شده است (Niu et al., 2019). طرح‌هایی مانند سدها، مخازن و کانال‌های آبرسانی محیط حوضه رودخانه را تغییر می‌دهد و بر کاربری اراضی، ساختار گیاهان و تراکم جمعیت تأثیر می‌گذارد. این طرح‌ها از عواملی هستند که می‌توانند وضعیت کیفیت آب را پیچیده‌تر کنند (Todd et al., 2012; Putro et al., 2016). به‌علاوه، بسیاری از صنایع نیز وابسته به آب بوده است؛ در نتیجه در نزدیکی رودخانه‌ها احداث می‌شود. این واقعیت انکارناپذیر است که پساب تولیدشده با صنایع (فرآیندهای شیمیایی) و نواحی شهری یکی از مهم‌ترین عوامل مخرب کیفیت آب است؛ از این‌رو باید براساس ویژگی‌های آب‌های سطحی و نحوه مصرف در حد مجاز باشد (Bostanmaneshrad et al., 2014; 2018). بنابراین اتخاذ مدیریت مؤثر برای جلوگیری و کنترل افت کیفیت آب ناشی از تمامی موارد گفته‌شده اهمیت بسیار زیادی دارد. مدیریت کیفیت آب مستلزم جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل مجموعه داده‌های بسیار زیاد در این زمینه است که ارزیابی و در نتیجه سنتر آن‌ها را دشوار می‌کند. در همین راستا، طیف وسیعی از ابزارها برای ارزیابی داده‌های کیفیت آب توسعه یافته است. مدل شاخص کیفیت آب (WQI) (Water Quality Index) یکی از این ابزارهاست که مبتنی بر توابع تجمعی و به تجزیه و تحلیل مجموعه داده‌های کیفیت آب پرداخته است تا یک مقدار واحد تولید کند. WQI به‌طور کلی با فرآیندی تعریف می‌شود که به دلیل استفاده از تعداد زیادی از پارامترهای کیفیت آب (WQPs) (Water Quality Parameters) (Dissolved Oxygen) DO، COD، (Chemical Oxygen Demand) BOD، (Biological Oxygen Demand)، کلیفرم مدفوع، pH، دما، فسفات‌ها، نیتрат، کدورت، هدایت الکتریکی و سختی کل درجه زیادی از پیچیدگی را دارد. طی پنج دهه گذشته طیف وسیعی از روابط تجربی و نمودارها برای تخمین WQI در مقیاس ملی توسعه یافته است (Khan & Abbasi, 1997; Sargaonkar et al., 2008, P. 1262; Wang et al., 2019). با وجود این، تأیید کیفیت آب با استفاده از این روابط نشان‌دهنده مناسب بودن آب برای آشامیدن نیست؛ از این‌رو محققان یک شاخص کیفیت آب را برای ارزیابی کیفیت آب به‌منظور هدف‌های آشامیدنی بسیار کارآمد و مؤثر فرموله کردند. WQI غلظت اندازه‌گیری‌شده پارامترهای کیفیت آب را به‌صورت تکریمی جمع می‌کند که به راحتی قابل درک است. این شاخص به‌علت استفاده آسان و تبدیل مجموعه داده‌های پیچیده کیفیت آب به یک ارزش واحد که به راحتی برای مسئولان و مدیران قابل درک باشد، جذابیت زیادی دارد. این موضوع درباره رودخانه‌های بزرگ که کارکردهای مختلفی برای جوامع انسانی دارند، اهمیت ویژه‌ای می‌یابد. در این زمینه مطالعات بسیار زیادی در کشورهای مختلف انجام گرفته است (Barakat et al., 2016; Haldar et al., 2020; Roy et al., 2018). رودخانه کارون بزرگ (حاصل از اتصال دو رودخانه کارون و دز) یکی از مهم‌ترین و بزرگ‌ترین رودخانه‌های ایران است. الحاق رودخانه‌های شور واقع در این محدوده به‌همراه

فاضلاب صنایع و زهاب‌های کشاورزی که بدون تصفیه به‌طور مستقیم وارد رودخانه می‌شوند، موجب افت کیفیت آب رودخانه کارون به‌ویژه در ماه‌های کم‌آب تابستان شده و در سال‌های اخیر نگرانی‌هایی را از نظر تخریب کیفی این منبع حیاتی ایجاد کرده است.

با توجه به اهمیت کارون بزرگ مطالعات فراوانی به‌ویژه در سال‌های اخیر بر این رودخانه صورت پذیرفته است که همه دال بر آلودگی این رودخانه و افزایش بحران در آن است. با توجه به تعداد بسیار زیاد مطالعات انجام‌شده بر کیفیت آب رودخانه کارون منابع بررسی‌شده در **جدول ۱** ارائه می‌شود.

پیشینه پژوهش

جدول ۱: خلاصه منابع بررسی‌شده

Table1: Abstract of reviewed articles

ردیف	نویسندگان	هدف مقاله	مواد و روش‌ها	نتایج
۱	دادالهی و ارجمند (۱۳۸۹)	بررسی اثرهای پساب کارخانه صابون‌سازی خرمشهر بر کیفیت آب رودخانه کارون	نمونه‌برداری از ۳ ایستگاه در ۵۰ متری بالادست، ۵۰ متری و ۵۰۰ متری پایین‌دست در ۱۰ ماه	پارامترهای COD, BOD و کلرید پساب به‌ترتیب با میانگین ۱۳۰۰، ۱۹۶/۸ و ۴۰۴۲/۹ ppm از حداکثر مجاز استاندارد بیشتر است. شاخص کیفیت آب در ۳ ایستگاه به‌ترتیب ۵۴/۶۳، ۴۰/۲۹ و ۴۵/۷۱ به‌ترتیب در رده‌های متوسط و بد قرار می‌گیرد.
۲	سالاری و همکاران (۱۳۹۱)	ارزیابی کمی و کیفی منابع آب رودخانه کارون	استفاده از شاخص NSFQI و وزن‌دهی پارامترهای استفاده‌شده براساس روش AHP در ۴ ایستگاه اهواز، دارخوین، کوت‌امیر و زرگان	ایستگاه‌ها به‌ترتیب با ۴۷/۱۵، ۴۷/۴۴، ۴۵/۰۵ و ۴۶/۵ در وضعیت بد تا متوسط قرار دارد. بیشترین ارزش وزنی را پارامترهای اکسیژن محلول، کلیرم و COD دارد. فاضلاب یکی از پارامترهای اصلی در آلودگی رودخانه است.
۳	مددی‌نیا و همکاران (۱۳۹۳)	بررسی کیفیت آب رودخانه کارون در بازه اهواز در طول سال ۱۳۸۶	استفاده از شاخص NSFQI و داده‌های ماهانه در ۴ ایستگاه کیان‌آباد، مللی‌راه، پل‌سیاه و کوت‌عبداله	کیفیت ماهانه آب در گستره ۵۷ تا ۷۰ متغیر بوده است؛ بنابراین در وضعیت متوسط قرار می‌گیرد. بدترین وضعیت در ایستگاه کوت‌عبداله (پایین‌دست) با شاخص سالانه ۶۲/۵ و بهترین وضعیت در ایستگاه کیان‌آباد (بالادست) با شاخص سالانه ۶۵/۲۵ مشاهده شد.
۴	حسینی‌زارع و همکاران (۱۳۹۵)	شناسایی و بررسی وضعیت کمی، کیفی و تعیین بار آلودگی زهکش‌های کشاورزی در دز و کارون	نمونه‌برداری میدانی در ۴ فصل از ۲۴ نقطه ورودی زهاب در سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۳ (درمجموع ۹۶ نمونه)	آلاینده‌های کشاورزی با حجمی معادل ۲۳۷۴ میلیون مترمکعب در سال باعث ایجاد بار آلودگی از نوع TDS و NO3 به‌ترتیب با حجم ۱۱۸۶۲ و ۶۵/۵۱ تن در روز شده است. بازه رودخانه‌دز بیشترین سهم را از نظر حجم زهاب و بار آلودگی دارد.

ردیف	نویسندگان	هدف مقاله	مواد و روش‌ها	نتایج
۵	نوری و همکاران (۱۳۹۵)	بررسی مهم‌ترین پارامترهای کیفی در تغییرات فصلی کیفیت آب رودخانه کارون	استفاده از دو روش PCA و PFA و بررسی داده‌های ۹ پارامتر فیزیکی-شیمیایی در ۵ ایستگاه پایش کیفی طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۲	مهم‌ترین پارامترها در فصل بهار شامل EC و کدورت، در فصل تابستان شامل COD، EC و TDS در فصل پاییز شامل COD، NO_3^- ، pH و TDS و در فصل زمستان شامل EC، NO_3^- ، pH، دما و TDS بوده است.
۶	مروج و همکاران (۱۳۹۶)	ارزیابی کیفیت آب رودخانه کارون و مدل‌سازی سری زمانی کیفیت آب	استفاده از شاخص NSFQI و روش میان‌یابی کریجینگ برای نقشه‌سازی داده‌های ماهانه در طی سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۱ برای ۴ ایستگاه گنوند، ملاثانی، اهواز و دارخوین	مقدارهای متوسط شاخص در ایستگاه‌ها به ترتیب برابر با ۶۰/۷۸، ۵۶/۴، ۵۶/۲۷ و ۵۷/۳ است. ایستگاه‌های گنوند و دارخوین در زمستان بهترین کیفیت را دارد؛ در حالی که ایستگاه‌های ملاثانی و اهواز در همین فصل در پایین‌ترین سطح کیفی قرار دارد.
۷	حسین‌نژاد و همکاران (۱۳۹۷)	بررسی روند تغییرات کمی و کیفی در حوضه کارون بزرگ از بالادست تا پایین‌دست	داده‌ها در ۱۶ ایستگاه در دوره زمانی ۳۷ ساله (۱۳۵۳ تا ۱۳۹۷) بررسی شد.	کیفیت آب شرب در ایستگاه‌ها از بالادست به سمت خروجی حوضه کارون بزرگ کاهش یافته و بدترین کیفیت مربوط به ایستگاه‌های اهواز، گنوند و شوشتر است.
۸	شطی و آخوند علی (۱۳۹۸)	ارزیابی روند تغییرات هدایت الکتریکی آب رودخانه کارون برای بررسی تأثیرات آبیگری سد گنوند علیا بر کیفیت آب در بازه زمانی ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵	استفاده از آزمون من-کندال و تپت به ترتیب برای بررسی روند و تعیین نقطه شکست استفاده از شاخص SDI برای محاسبه خشکسالی هیدرولوژیک سری‌های زمانی	علت اصلی افزایش چشمگیر هدایت الکتریکی کاهش شدید جریان رودخانه از سال آبی ۱۳۸۶-۱۳۸۷ و تداوم آن بوده است. کیفیت آب در محل سد تنظیمی گنوند تغییر ملموسی نسبت به شرایط قبل از آبیگری نداشته است.
۹	هوشمند و اگدرنژاد (۱۴۰۰)	ارزیابی کیفی رودخانه کارون براساس داده‌های ۱۰ ساله (۱۳۸۸ تا ۱۳۹۷)	استفاده از شاخص NSFQI و IRWQIsc در ۳ ایستگاه ملاثانی، اهواز و فارسیات	کیفیت رودخانه براساس شاخص IRWQIsc بین ۳۹ تا ۴۸ و براساس شاخص NSFQI بین ۵۵ تا ۶۲ قرار داشته است که به ترتیب در گروه به نسبت بد-متوسط و متوسط جای می‌گیرد.
۱۰	آقاجانلو و همکاران (۱۴۰۱)	ارزیابی کیفیت آب رودخانه کارون در طول سال ۱۳۹۷	بررسی کیفیت آب رودخانه کارون با استفاده از دو شاخص IRWQI و WAWQI در ۲ ایستگاه ملاثانی و اهواز	بدترین و بهترین وضعیت برای شاخص IRWQI ۳۲/۷۵ (آذرماه اهواز) و ۴۲/۵۱ (تیرماه ملاثانی) و بدترین و بهترین وضعیت برای شاخص WAWQI ۸۵/۸۹ (اردیبهشت ماه اهواز) و ۴۹/۰۴ (تیرماه ملاثانی) بوده است. وضعیت رودخانه به سمت پایین‌دست به دلیل ورود فاضلاب‌های صنعتی به ویژه واحدهای کشت و صنعت، کارخانه‌های نیشکر و نیروگاه‌های حرارتی حاشیه افت می‌کند.

ردیف	نویسندگان	هدف مقاله	مواد و روش‌ها	نتایج
				به دلیل مقدارهای بیشتر از حد مجاز پارامترهای کلیفرم مدفوعی، کدورت و TDS در هر ۲ ایستگاه آب رودخانه برای هیچ یک از کاربری‌های شرب، کشاورزی و حفظ اکوسیستم مناسب نیست.
۱۱	ایلدرمی و همکاران (۱۴۰۲)	ارزیابی تناسب کیفیت آب رودخانه کارون و دز برای مصرف های شرب و کشاورزی	در ۱۲ ایستگاه (۸ ایستگاه در کارون و ۴ ایستگاه در دز) از ۱۲ پارامتر کیفیت آب در بازه زمانی ۱۷ ساله (۱۳۸۲-۱۳۹۸) استفاده شد.	- کیفیت آب رودخانه کارون و دز از سال ۱۳۸۲ تا ۱۳۸۶ به ترتیب در طبقه بسیار ضعیف و ضعیف (۷۵-۱۰۰) از سال ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۷ در طبقه نامناسب و بسیار ضعیف (بیشتر از ۱۰۰) است. - منشأ اصلی کیفیت نامناسب آب فعالیت‌های انسانی مانند تخلیه زباله و فاضلاب خانگی، پساب صنایع و استفاده بیش از حد از کود و سموم دفع آفات در کشاورزی است.
۱۲	انصاری و یوسفی (۱۴۰۳)	تحلیل روند تغییرات کیفیت آب رودخانه کارون در بازه زمانی ۲۰ ساله (۱۳۷۷ تا ۱۳۹۶) در دو فصل مرطوب و خشک	۵ پارامتر در ۴ ایستگاه گتوند، شوشتر، ملاثانی و اهواز بررسی شد. از آزمون من-کندال و GIS به ترتیب برای بررسی روند کیفیت آب رودخانه و ترسیم نقشه های آن استفاده شد.	پارامترهای EC، Na، Cl و TDS روندی افزایشی داشته که نشان دهنده ورود فاضلاب و پساب های صنعتی و کشاورزی است. کمترین مقدار شوری در فصل مرطوب مربوط به ایستگاه گتوند با ۷۰۱ میکرو زیمنس بر سانتی متر در سال ۸۱-۸۲ و بیشترین مقدار مربوط به ایستگاه اهواز با ۲۸۰۶ میکرو زیمنس بر سانتی متر در سال ۸۸-۸۷ در فصل خشک است. خشکسالی های اخیر که سبب کاهش دبی شده نیز در افزایش میزان املاح مؤثر بوده است.
۱۳	خدابخشی و مازندرانی (۱۴۰۳)	بررسی تأثیر طرح جامع فاضلاب شهر اهواز بر کیفیت آب رودخانه کارون	استفاده از مدل QUAL2Kw برای شبیه سازی تغییرات کیفی آب در ۲۸ کیلومتر از مسیر رودخانه کارون (حد فاصل زرگان و کوت عبدالله)	اجرای کامل طرح جامع فاضلاب شهر اهواز می تواند باعث کاهش BOD، نیتروژن آلی و فسفر آلی به ترتیب به مقدار ۳/۵ میلی گرم بر لیتر، ۱۹۱ و ۱۰۰ میکروگرم بر لیتر شود.
۱۴	نژاد افضلی و بیاتانی (۱۴۰۳)	پهنه بندی پارامترهای کیفیت رودخانه کارون در حیطه کلانشهر اهواز و ارائه نقشه های توزیع مکانی-زمانی هریک	استفاده از شاخص NSFQI بررسی داده های سالانه در سال های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۴ در ۶ ایستگاه عرب اسد، ولی آباد، بامدژ، ملاثانی، اهواز و فارسیات	مقدارهای شاخص NSFQI در رودخانه کارون برای سال ۱۳۹۲ بین ۴۵ تا ۵۳ (وضعیت متوسط تا بد)، برای سال ۱۳۹۳ بین ۴۵ تا ۵۰ (وضعیت متوسط تا بد) و برای سال ۱۳۹۴ بین ۴۵ تا ۴۷ (وضعیت بد) است.

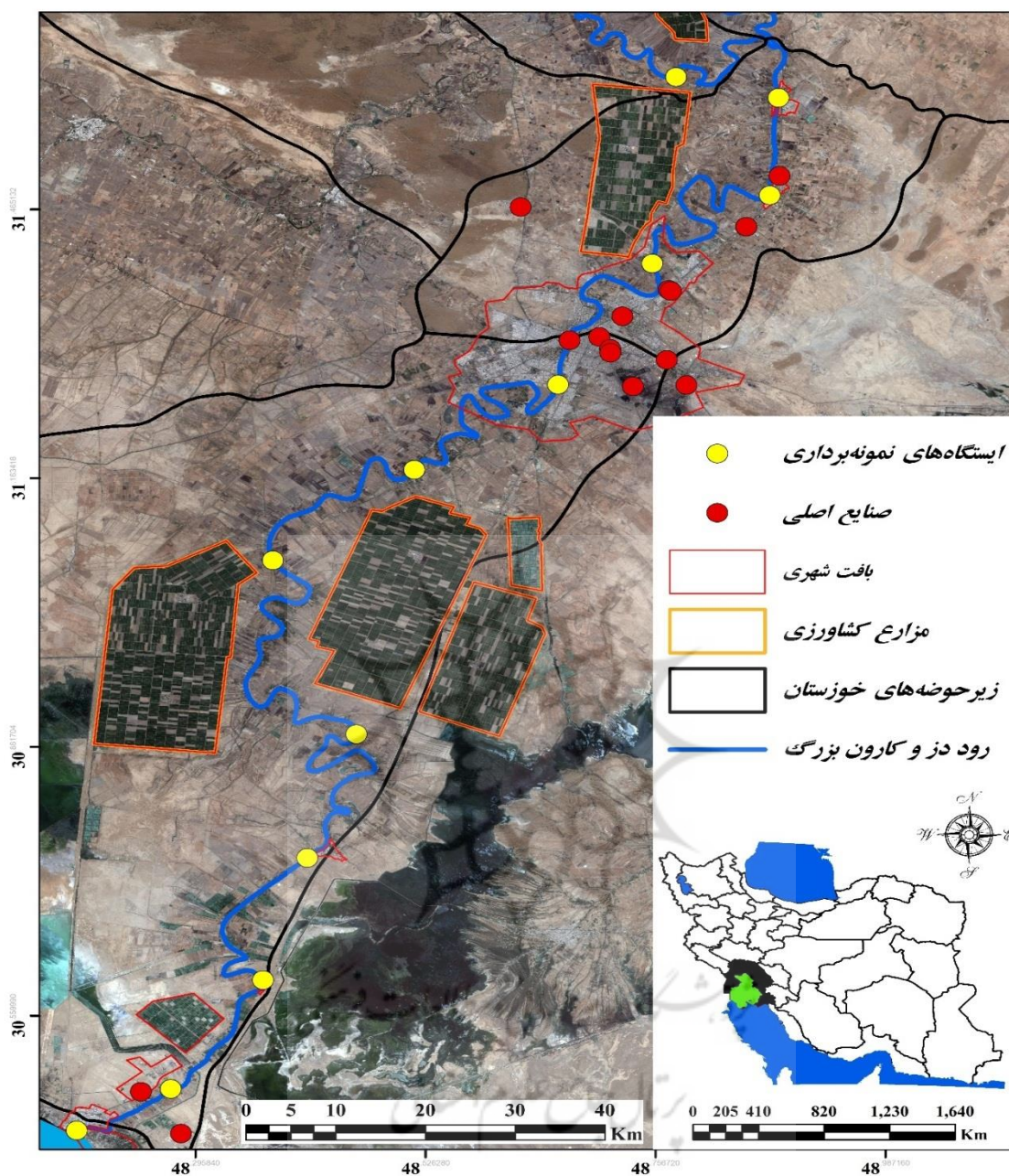
منبع: نگارنده

بررسی‌های صورت گرفته نشان می‌دهد که مطالعات درباره کیفیت آب رودخانه کارون با تعداد ایستگاه‌های کم و محدود و بیشتر پیرامون شهرهای بزرگی همچون اهواز و خرمشهر انجام گرفته است و تغییرات رخ داده تمامی طول رودخانه کارون بزرگ را پوشش نمی‌دهد. به علاوه در بیشتر مطالعات انجام شده وضعیت کیفیت آب تنها در محل ایستگاه‌های نمونه برداری بررسی و از ارائه نمایی برای بررسی کلی وضعیت رودخانه صرف نظر شده است.

با توجه به نقش مهم رودخانه کارون بزرگ (از محل اتصال دو رودخانه دز و کارون تا اتصال به اروندرود) در تأمین آب شهرها، روستاها، صنایع بزرگ، شیلات و کشاورزی و نیز با توجه به تغییرات حجم آب در طی چند سال گذشته محققان در این مطالعه به بررسی و پهنه‌بندی کیفیت آب رودخانه کارون بزرگ پرداخته‌اند. در این زمینه، ۱۱ پارامتر استفاده شده در شاخص کیفیت آب IRWQIs در ۱۲ نقطه نمونه برداری در طول منطقه مطالعه شده پایش شد. هدف‌های این مطالعه شامل پهنه‌بندی و نمایش وضعیت موجود و تغییرات مکانی پارامترهای کیفیت آب در طول رودخانه کارون بزرگ با استفاده از روش رگرسیون کاربری زمین، بررسی میزان رابطه میان پارامترهای کیفیت آب و گروه‌بندی ایستگاه‌های نمونه برداری براساس میزان کیفیت است.

معرفی منطقه مطالعه شده

منطقه بررسی شده در این مطالعه رودخانه کارون بزرگ بوده که حاصل اتصال دو سرشاخه از رودخانه کارون به رودخانه دز است (شکل ۱). کاربری‌های صنعتی، شهری و کشاورزی بزرگ و چشمگیری در مسیر این رودخانه قرار گرفته است و موجب آلودگی آن می‌شود. حوضه رودخانه کارون وسعتی قریب ۴۵۲۲۱ کیلومتر مربع دارد (اداره کل حفاظت محیط زیست استان خوزستان، ۱۳۸۳). قسمتی از این حوضه که در استان خوزستان واقع شده است آب و هوای گرم و خشک همراه با سازندهای تبخیری و شورکننده در دامنه‌های جنوبی زاگرس دارد. حوضه آبریز کارون و دز در مجموع، بیش از ۷۰ درصد از جمعیت و ۸۰ درصد از صنایع استان خوزستان را در خود جای داده که برخی از آن‌ها مانند قند دزفول، کاغذسازی پارس، کشت و صنعت نیشکر و غیره از جمله طرح‌های عظیم در این قسمت است. در حال حاضر، حجم بسیار زیادی از زهاب اراضی کشاورزی و فاضلاب‌های صنعتی، بیمارستانی و انسانی به این رودخانه تخلیه می‌شود که باعث ایجاد مشکلات جدی در کیفیت آب مصرفی برای شرب و حتی مصرف‌های کشاورزی و صنعتی می‌شود.



شکل ۱: محدوده مطالعه شده و ایستگاه‌های نمونه‌برداری (منبع: نگارنده)

Figure 1: Study area and sampling stations

نمونه‌برداری و محاسبه شاخص کیفیت آب

به‌طور کلی، هدف پژوهش حاضر شناخت وضعیت موجود کیفیت آب رودخانه کارون بوده است. بر این اساس، ۱۱ نقطه نمونه‌برداری از رودخانه کارون بزرگ و ۱ نقطه در ابتدای ورودی رودخانه دز به کارون در نظر گرفته شد و در ۲۳ اردیبهشت ماه سال ۱۴۰۱ از آنها نمونه‌برداری شد. به‌طور کلی، مکان نقاط نمونه‌برداری به‌گونه‌ای تعیین شد که

علاوه بر پراکندگی مناسب در طول رودخانه مطالعه شده با محل ورود آلاینده‌ها به رودخانه نیز مرتبط باشد. از جمله مهم‌ترین منابع آلاینده محدود مطالعه شده می‌توان به شهرهای اهواز، ملاتانی، کشت و صنعت‌های وسیع نیشکر و شهرک‌های صنعتی پیرامون شهرهایی همچون آبادان و خرمشهر اشاره کرد. برای هریک از نمونه‌ها پارامترهای اکسیژن‌خواهی زیستی (BOD_5)، اکسیژن‌خواهی شیمیایی (COD)، هدایت الکتریکی (EC) (Electrical Conductivity)، اکسیژن محلول (DO)، کدورت ($TURB$) ($Turbidity$)، کلیفرم مدفوعی (FC) (Fecal Coliform)، سختی کل ($THAR$) ($Total\ Hardness$)، فسفات (PO_4^{3-})، نیترات (NO_3^-)، آمونیوم (NH_4^+)، دما ($Temp$) (Temperature) و pH اندازه‌گیری شد. دما، هدایت الکتریکی، اکسیژن محلول و pH به‌طور مستقیم در محل نمونه‌برداری تعیین شد. نمونه‌های آب به‌صورت دستی از قسمت‌هایی که جریان آب زیاد بود، جمع‌آوری شد تا نمونه‌های همگن و معرف وضعیت منطقه به دست آید (Rakotondrabe et al., 2018). نمونه‌ها پس از جمع‌آوری در دمای کمتر از ۴ درجه سانتی‌گراد به آزمایشگاه (اطمینان آزما گستران جنوب) منتقل شد. پیش تیمار و تعیین سایر پارامترها در آزمایشگاه با استفاده از تجهیزات مختلف مانند هدایت‌سنج، اسپکتروفتومتر (نیترات، آمونیوم، فسفات)، انکوباتور (کلیفرم مدفوعی، نیاز بیولوژیکی اکسیژن)، COD سنج و کدورت‌سنج انجام گرفت.

کیفیت آب به ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آب گفته می‌شود که نشان‌دهنده وضعیت آب در ارتباط با نیازهای یک یا چندگونه زیستی یا انسانی یا هر هدف دیگری است. در این مطالعه از شاخص کیفیت آب IRWQIsc که به‌عنوان یک شاخص مبنای کیفیت برای آب‌های سطحی ایران است، استفاده شد. برای محاسبه شاخص کیفیت آب براساس ۱۱ متغیر و وزن‌های جدول ۲ ابتدا مقدار هر زیرشاخص با استفاده از منحنی‌های رتبه‌بندی مربوط به دست آمد و در نهایت، شاخص کیفیت آب براساس رابطه زیر محاسبه شد.

جدول ۲: متغیرهای استفاده شده در شاخص کیفیت آب IRWQIsc و وزن هریک

Table 2: The variables used in the IRWQIsc water quality index and their weighting

وزن	متغیر	وزن	متغیر
۰/۰۵۹	سختی کل	۰/۱۴۰	کلیفرم مدفوعی
۰/۰۹۶	هدایت الکتریکی	۰/۱۰۸	نیترات
۰/۱۱۷	BOD_5	۰/۹۷	اکسیژن محلول
۰/۰۹۳	COD	۰/۰۹۰	آمونیم
۰/۰۵۱	pH	۰/۰۸۷	فسفات
		۰/۶۲	کدورت

منبع: سازمان حفاظت محیط زیست، ۱۳۹۲

$$IRWQI = \left[\prod_{i=1}^n I_i^{w_i} \right]^{\frac{1}{y}}$$

$$y = \sum_i^n w_i = 0$$

در اینجا w_i وزن متغیر i ام، n تعداد متغیرها، I_i مقدار شاخص برای متغیرهای i ام از منحنی رتبه‌بندی و y جمع وزن متغیرهاست.

تجزیه و تحلیل‌های آماری

ضریب همبستگی

ضریب همبستگی یک ابزار آماری مهم برای ارائه درجه وابستگی یک متغیر به متغیرهای دیگر است (Belkhiri et al., 2011). مقدار ضریب همبستگی از -1 تا $+1$ بسته به رابطه خطی مستقیم یا معکوس دو پارامتر متغیر است. در این مطالعه برای گروه‌بندی پارامترهای بررسی‌شده براساس میزان شباهت و با توجه به عدم پیروی داده‌ها از توزیع نرمال از ضریب همبستگی اسپیرمن در نرم‌افزار R استفاده شد.

خوشه‌بندی

خوشه‌بندی در زیرمجموعه یادگیری بدون نظارت قرار دارد و فرآیند خودکاری است که طی آن نمونه‌ها به دسته (خوشه)‌هایی که اعضای آن مشابه یکدیگر است، تقسیم می‌شود. در تحلیل خوشه‌ای مشاهده‌های هر خوشه بیشترین شباهت و مشاهده‌های خوشه‌های مختلف کمترین شباهت را به یکدیگر دارند. در تحلیل خوشه‌ای از روش‌های مختلفی برای تعیین فاصله اعضا از یکدیگر استفاده می‌شود. یکی از این روش‌ها میانگین است. این روش نسبت به داده‌های پرت نیز حساسیت کمتری و به پیوستن خوشه‌ها با واریانس‌های کوچک نیز گرایش دارد. در این مطالعه برای گروه‌بندی ایستگاه‌های مطالعه‌شده از الگوریتم خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی با روش تعیین فاصله میانگین در نرم‌افزار R و نیز پارامترهای بررسی‌شده استفاده شد.

نقشه‌های توزیع فضایی

ادغام سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (Geographic Information System) با شاخص‌های کیفیت آب یکی از محبوب‌ترین و پیشرفته‌ترین تکنیک‌ها برای کمک به نمایش بهتر کیفیت آب در طول پهنه‌های آبی است. نقشه‌های توزیع فضایی به پژوهشگران این امکان را می‌دهد که یافته‌ها و اطلاعاتی را منتقل کنند که بیان شفاهی آنها دشوار بوده یا اطلاعاتی را که توصیف آنها در کلمات طولانی‌تر است، فشرده‌تر کنند. در همین راستا و برای نمایش توزیع مکانی کیفیت آب رودخانه کارون بزرگ از رگرسیون کاربری زمین (LUR) (Land Use Regression) با روش ماشین‌بردار پشتیبان (SVM) (Support Vector Machine) در نرم‌افزار R استفاده شد. رگرسیون کاربری زمین یک روش آماری است که از داده‌های مکانی برای توسعه مدل‌های پیش‌بینی در علوم محیطی و بهداشتی استفاده می‌کند. اصل اساسی

LUR این است که یک کمیت اندازه‌گیری‌شده (غلظت آلاینده، سطح آلودگی آب) در یک مکان معین را می‌توان با حضور، شدت و تأثیر منابع توضیح داد که به‌ترتیب کمیت اندازه‌گیری‌شده را افزایش و کاهش می‌دهد. رویکرد LUR قابلیت استفاده از طیف وسیعی از روش‌های رگرسیون خطی و غیرخطی را داراست.

مدل‌های LUR با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری‌شده در تعداد محدودی ایستگاه که از متغیر مدنظر نمونه‌برداری می‌کنند، توسعه می‌یابند. متغیر مورد علاقه به‌عنوان متغیر وابسته عمل می‌کند و داده‌های محیط اطراف به‌عنوان متغیرهای مستقل تعریف می‌شود.

ماشین‌های بردار پشتیبان روش‌های ناپارامتریک آماری است که در سال‌های اخیر کاربرد زیادی در مباحث سنجش از دوری پیدا کرده است. به‌طور کلی، هدف ماشین بردار پشتیبان یک طبقه‌بندی دوتایی (Binary) با تعریف یک ابر صفحه است؛ به‌گونه‌ای که بیشترین حاشیه را از دو کلاس به وجود بیاورد (Vapnik, 1995).

SVMها براساس اصلی به نام کاهش ریسک ساختاری (SRM) (Structural Risk Minimization) پایه‌گذاری شده است که حاشیه میان ابر صفحه جداکننده و داده‌های نقطه‌ای نزدیک‌تر به ابر صفحه را به حداکثر می‌رساند.

در این مطالعه از باندهای ۱ تا ۷ تصویر ماهواره سنتینل ۲ که با فاصله زمانی ۲ روز از نمونه‌برداری از منطقه مطالعه‌شده برداشت شده است، برای انجام دادن رگرسیون کاربری زمین استفاده شد (Peterson et al., 2020).

با توجه به تعداد کم ایستگاه‌های نمونه‌برداری از داده‌های برداشت‌شده در تمامی ایستگاه‌ها برای مدل‌سازی و صحت‌سنجی استفاده شد. در این راستا، از آماره‌های R^2 (R Square) و RMSE (Root Mean Square Error) برای بررسی صحت مدل ساخته‌شده استفاده شد.

تجزیه و تحلیل و یافته‌های پژوهش

در این پژوهش پارامترهای لازم شاخص کیفیت آب IRWQIsc در محدوده رودخانه کارون بزرگ برای ۱۲ ایستگاه نمونه‌برداری در اردیبهشت ماه سال ۱۴۰۱ اندازه‌گیری شد. نتایج اندازه‌گیری در **جدول ۳** آورده شده است. روند تغییرات پارامترهای کیفیت آب سطحی نسبت به استاندارد آب‌های سطحی برای شرب در **شکل ۱** ارائه شده است. نتایج نشان داد که مقدارهای کلیفرم مدفوعی در ایستگاه‌های نمونه‌برداری رودخانه کارون بزرگ در زمان نمونه‌برداری از ۲۰ تا ۱۲۰۰ در ۱۰۰ میلی‌لیتر متغیر است. در این رابطه و براساس استاندارد کیفیت آب‌های ایران (**سازمان حفاظت محیط زیست، ۱۳۹۲ الف**) برای شرب تنها ایستگاه ۳ در استاندارد گروه اول قرار داشته است و سایر ایستگاه‌ها در گروه دوم جای می‌گیرد.

جدول ۳: نتایج اندازه‌گیری پارامترهای شاخص IRWQI

Table 3: Measurement results of IRWQI index parameters

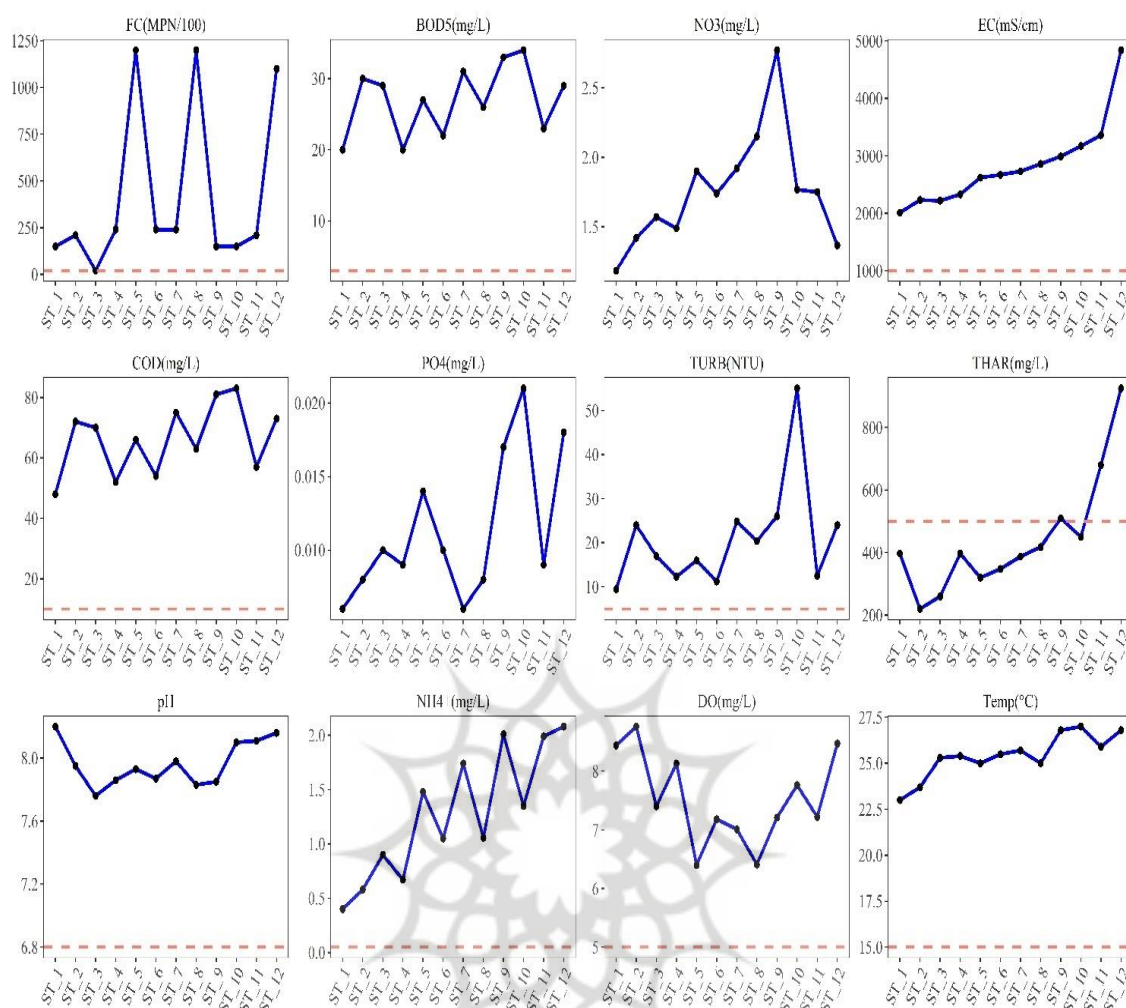
اسم ایستگاه / پارامتر	ایستگاه ۱	ایستگاه ۲	ایستگاه ۳	ایستگاه ۴	ایستگاه ۵	ایستگاه ۶	ایستگاه ۷	ایستگاه ۸	ایستگاه ۹	ایستگاه ۱۰	ایستگاه ۱۱	ایستگاه ۱۲
FC (MPN/100)	150	210	20	240	1200	240	240	1200	150	150	210	1100
BOD ₅ (mg/L)	20	30	29	20	27	22	31	26	33	34	23	29
NO ₃ (mg/L)	1.185	1.42	1.57	1.49	1.9	1.74	1.92	2.15	2.77	1.768	1.75	1.367
EC (mS/cm)	2010	2230	2220	2330	2620	2670	2730	2860	2990	3170	3360	4840
COD (mg/L)	48	72	70	52	66	54	75	63	81	83	57	73
PO ₄ (mg/L)	0.006	0.008	0.01	0.009	0.014	0.01	0.006	0.008	0.017	0.021	0.009	0.018
TURB (NTU)	9.45	24	17	12.3	16	11.2	24.8	20.4	26	55	12.5	24
THAR (mg/L)	397	220	260	397	320	348	387.5	418	510	450	680	925
pH	8.2	7.95	7.76	7.86	7.93	7.87	7.98	7.83	7.85	8.1	8.11	8.16
NH ₄ ⁺ (mg/L)	0.4	0.58	0.9	0.67	1.48	1.05	1.74	1.057	2.01	1.35	1.99	2.08
DO (mg/L)	8.44	8.76	7.4	8.13	6.4	7.18	7.01	6.41	7.21	7.76	7.22	8.47
Temp(°C)	23	23.7	25.3	25.4	25	25.5	25.7	25	26.8	27	25.9	26.8

منبع: نگارنده

نتایج نشان داد ایستگاه‌های نمونه‌برداری ۵، ۸ و ۱۲ که به ترتیب در پایین‌دست شهرهای اهواز، روستاهای طرفیه، مکسر، فارسیات، مزبان، ادرسیه، دارسیه و شهر خرمشهر که جمعیت زیادی دارد، قرار گرفته است، بیشترین مقدارهای کلیفرم مدفوعی را به ترتیب با مقدارهای ۱۲۰۰، ۱۲۰۰ و ۱۱۰۰ در ۱۰۰ میلی‌لیتر در زمان نمونه‌برداری داشته است.

BOD₅ مقدار اکسیژنی است که زیست‌مندان کوچک برای تجزیه ترکیبات آلی به مدت ۵ روز در آزمایشگاه استفاده می‌کنند (Tian et al., 2019). از این رو، BOD₅ نشان‌دهنده آلودگی‌های آلی است؛ به طوری که مقدارهای بیشتر آلودگی‌های بیشتری را نشان می‌دهد (Bora & Goswami, 2017). این پارامتر در رودخانه کارون بزرگ دامنه‌ای میان ۲۰ تا ۳۴ میلی‌گرم بر لیتر دارد که از آستانه استاندارد کیفیت آب‌های ایران برای شرب گروه سوم (۷ میلی‌گرم در لیتر) نیز بیشتر است. COD نیاز به اکسیژن را در طول اکسیداسیون مواد شیمیایی معدنی و تجزیه مواد آلی پیش‌بینی می‌کند. مقدارهای COD در این مطالعه از ۴۸ تا ۸۳ میلی‌گرم بر لیتر متغیر بود که به طور کلی در دسته‌های کیفیت متوسط و ضعیف براساس استاندارد کیفیت آب‌های ایران قرار می‌گیرد.

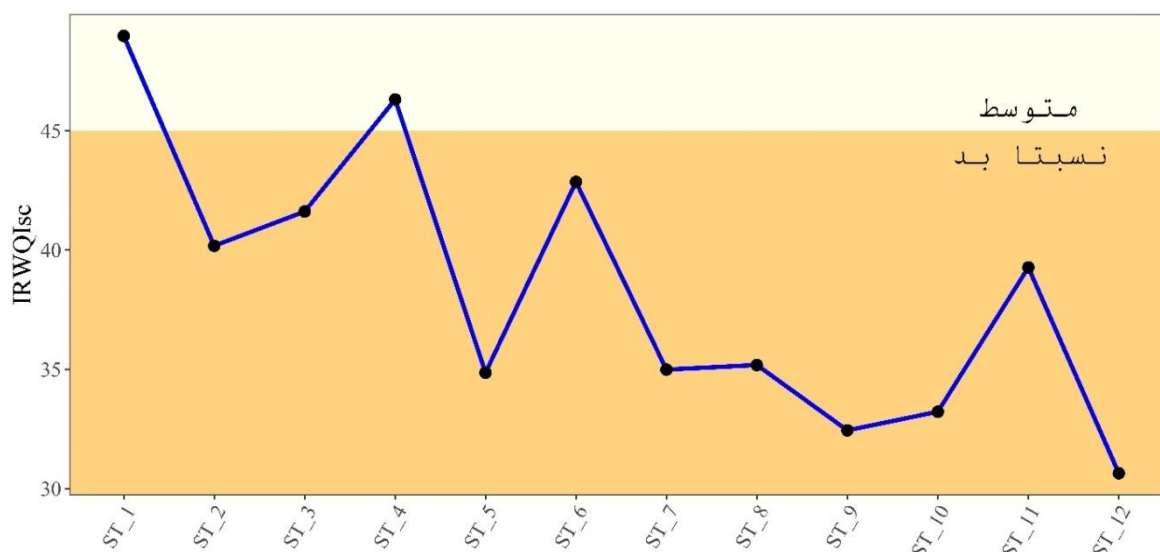
محتوای نیترات (NO_3^-) آب در محدوده مطالعه شده بین ۱/۱۸۵ میلی گرم در لیتر برای ایستگاه ۱ تا ۲/۷۷۰ میلی گرم در لیتر برای ایستگاه ۹ متغیر بود. در تمامی ایستگاه‌ها مقادارهای NO_3^- نمونه‌های آب بسیار کمتر از ۵۰ میلی گرم در لیتر (مقدار آستانه استاندارد کیفیت آب‌های ایران) است. اکسیژن محلول (DO) پارامتری است که بر تغییرات زیستی موجودات بی‌هوازی یا هوازی تأثیر می‌گذارد؛ بنابراین اندازه‌گیری اکسیژن محلول برای حفظ فرآیندهای تصفیه هوازی در نظر گرفته شده به منظور تصفیه فاضلاب خانگی مهم است. به طور کلی، مقدار استاندارد مناسب برای این پارامتر بیش از ۵ میلی گرم در لیتر است. مقادارهای اکسیژن محلول نمونه‌های آب از ۶/۴ تا ۸/۷۶ میلی گرم در لیتر متغیر بود. هدایت الکتریکی (EC) آب با غلظت مواد جامد محلول در آب مرتبط است. مقادارهای EC رودخانه کارون بزرگ در محدوده ۲۰۱۰ تا ۴۸۴۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر به ترتیب برای ایستگاه‌های ۱ و ۱۲ متفاوت است که مقادارهای بیشتر از استاندارد کیفیت آب‌های ایران را برای شرب (۲۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر) نشان می‌دهد. مقادارهای آمونیوم اندازه‌گیری شده در پژوهش حاضر در رودخانه کارون بزرگ شامل مقادارهای مابین ۰/۴ میلی گرم در لیتر برای ایستگاه ۱ تا ۲/۰۸ میلی گرم بر لیتر برای ایستگاه ۱۲ است. در این رابطه به طور کلی با پیش روی به سمت پایین دست میزان آمونیوم نیز افزایش می‌یابد و در ایستگاه‌های ۷، ۹ و ۱۲ بیشتر از استانداردهای شرب و کشاورزی قرار می‌گیرد. مقادارهای اندازه‌گیری شده برای فسفات از ۰/۰۰۶ تا ۰/۰۲۱ میلی گرم بر لیتر بود که به طور کلی مقادارها کمتر از استاندارد شرب (۵ میلی گرم بر لیتر) است. کدورت در این مطالعه از ۹/۴۵ تا ۵۵ NTU متغیر بود که همگی بیشتر از استاندارد کیفیت آب برای شرب (۵ NTU) است. سختی کل (THAR) مقادارهایی میان ۲۲۰ تا ۹۲۵ میلی گرم بر لیتر را در بر می‌گیرد. حداکثر مقدار سختی کل متعلق به ایستگاه ۱۲ است و پس از آن تنها دو ایستگاه ۱۱ (۶۸۰ میلی گرم بر لیتر) و ۹ (۵۱۰ میلی گرم بر لیتر) مقادارهای بیشتر از استاندارد آب شرب (۵۰۰ میلی گرم بر لیتر) را دارند. pH آب ماهیت اسیدی یا بازی آب را نمایش می‌دهد و یک پارامتر حیاتی در مصرف آب آشامیدنی و آبیاری است. به علاوه، این پارامتر تأثیرات عمیقی بر کیفیت آب دارد و بر حلالیت فلزات، سختی و قلیایی آب تأثیر می‌گذارد (Şener et al., 2017). مقادارهای pH نمونه‌های رودخانه کارون بزرگ از ۷/۷۶ تا ۸/۲ متغیر بود. این نتایج نشان می‌دهد که نمونه‌های آب رودخانه ویژگی‌های قلیایی دارد و استانداردهای کیفیت آب ایران را در تمامی ایستگاه‌ها رعایت می‌کند.



شکل ۲: نمودار روند تغییرات مکانی پارامترهای کیفیت آب و آستانه استاندارد برای آب شرب (منبع: نگارنده)

Figure 2: Trend plot of spatial changes in water quality parameters and standard threshold for drinking water

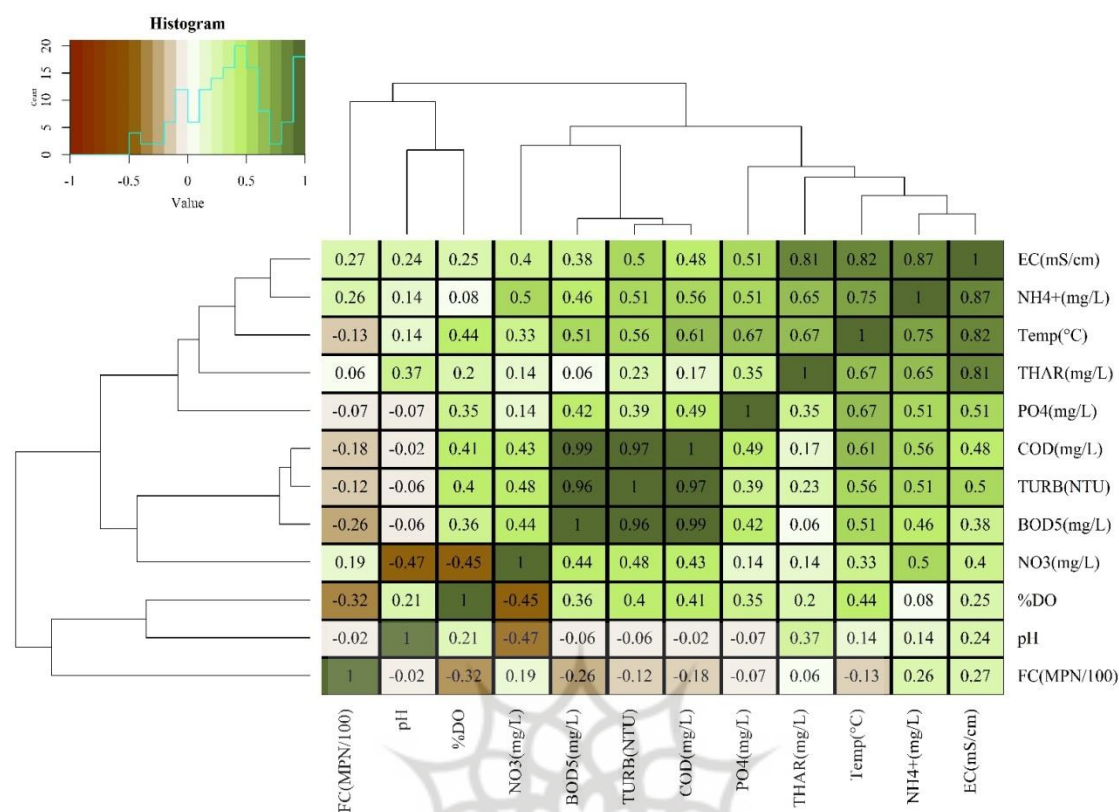
نتایج شاخص WQI محاسبه شده از پارامترهای گفته شده که در شکل ۳ ارائه شده است، نشان دهنده روندی افزایشی از ایستگاه ۱ به سمت ایستگاه ۱۲ است. مقدارهای WQI از ۳۰/۶۵ در ایستگاه ۱۲ تا ۴۸/۹۸ در ایستگاه ۱ متغیر بود. براساس دسته بندی ارائه شده برای شاخص کیفیت آب ایستگاه های ۱ و ۴ در دسته کیفیت متوسط و مابقی ایستگاه ها در دسته به نسبت بد قرار می گیرد.



شکل ۳: تغییرات مکانی شاخص IRWQI در رودخانه کارون بزرگ (منبع: نگارنده)

Figure 3: Spatial changes of IRWQI index in the Karun Bozorg River

همبستگی اسپیرمن با استفاده از نرم‌افزار R برای درک تأثیر پارامترهای کیفیت آب اعمال شد. تجزیه و تحلیل ماتریس همبستگی نشان‌دهنده همبستگی مثبت چشمگیر بین آمونیوم و هدایت الکتریکی (۰/۸۷) بود. بر این اساس، افزایش غلظت آمونیوم به‌طور مستقیم با افزایش هدایت الکتریکی مرتبط است که احتمالاً ناشی از ورود فاضلاب‌های شهری و صنعتی به رودخانه است. علاوه بر این، همبستگی مثبت دیگری بین سختی کل و هدایت الکتریکی با ضریب ۰/۸۱ وجود دارد که نشان می‌دهد افزایش غلظت یون‌های کلسیم و منیزیم در آب به‌طور مستقیم بر افزایش هدایت الکتریکی تأثیر می‌گذارد. این رابطه می‌تواند به‌عنوان یک شاخص مهم برای شناسایی منابع آلاینده‌های معدنی در رودخانه کارون بزرگ (فاضلاب‌های صنعتی و رواناب‌های کشاورزی) استفاده شود. این موضوع نشان‌دهنده تأثیر مواد معدنی محلول در آب بر افزایش هدایت الکتریکی است. همچنین، همبستگی مثبت بین COD، BOD و کدورت مشاهده شد که نشان‌دهنده تأثیر مواد آلی و آلاینده‌های شیمیایی بر کدورت آب است. ورود فاضلاب‌های شهری و صنعتی به رودخانه باعث افزایش غلظت مواد آلی و شیمیایی در آب می‌شود. این مواد به‌صورت ذرات معلق در آب باقی می‌ماند و کدورت آب را افزایش می‌دهد. به‌علاوه، رواناب‌های کشاورزی حاوی کودها و آفت‌کش‌هاست که می‌تواند به‌عنوان مواد آلی و شیمیایی در آب حل شود یا به‌صورت ذرات معلق باقی بماند و کدورت آب را افزایش دهد. پارامترهایی همچون آمونیوم و فسفات، هدایت الکتریکی و فسفات نیز همبستگی به‌نسبت زیادی با یکدیگر دارند. منشأ اصلی این آلاینده‌ها در منطقه بیشتر شامل فاضلاب‌های شهری، رواناب‌های کشاورزی (حاوی کودهای نیتروژنه و فسفره) و پساب‌های صنعتی می‌شود. علاوه بر همبستگی مستقیم زیاد میان برخی از پارامترها و برخی دیگر نیز همبستگی معکوس (منفی) وجود داشت. **شکل ۴** نشان می‌دهد که pH و درصد اکسیژن محلول همبستگی منفی به‌نسبت خوبی با نترات دارد که می‌تواند به‌دلیل فرآیندهای اکسیداسیون و کاهش نترات در حضور اکسیژن محلول باشد.

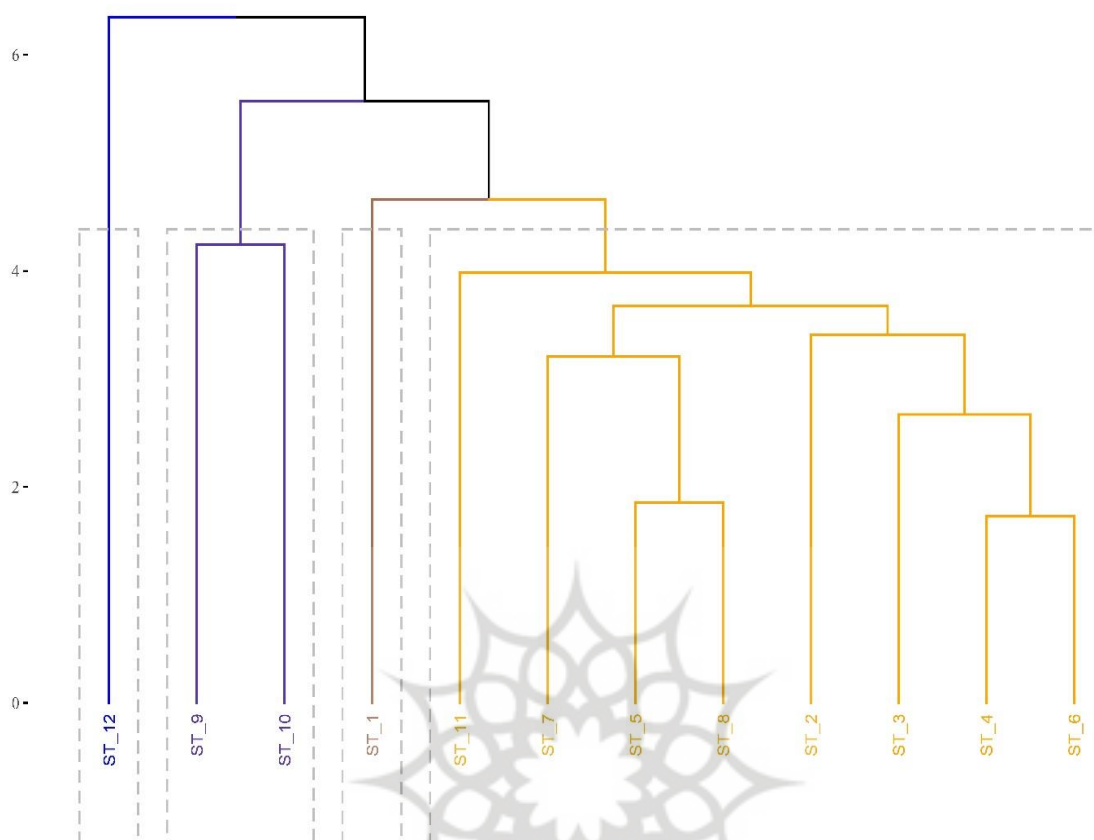


شکل ۴: نمودار همبستگی میان پارامترهای کیفیت آب رودخانه کارون بزرگ (منبع: نگارنده)

Figure 4: Correlation plot between water quality parameters of Karun Bozor river

نتیجه آنالیز خوشه‌بندی در شکل ۵ نمایش داده شده است. بر این اساس، ایستگاه‌های ۱ و ۱۲ هرکدام در خوشه‌ای جداگانه قرار می‌گیرد که همسو با نتایج به‌دست‌آمده از شاخص کیفیت آب نیز است. ایستگاه ۱ کمترین میزان NH_4^+ ، EC ، NO_3^- ، COD ، BOD_5 و بیشترین میزان pH را در میان تمامی ایستگاه‌های بررسی‌شده دارد و به شکل چشمگیری متفاوت از سایر ایستگاه‌هاست. ایستگاه ۱۲ نیز در پارامترهای هدایت الکتریکی، سختی کل، آمونیوم و درصد اکسیژن محلول مقدارهای بیشتر از سایر ایستگاه‌ها را دارد. ایستگاه‌های ۹ و ۱۰ نیز در یک خوشه قرار می‌گیرند و سایر ایستگاه‌ها نیز تنها خوشه باقی‌مانده را تشکیل می‌دهند. شکل ۵ نشان می‌دهد که ایستگاه ۱۱ برخلاف نزدیکی مکانی به ایستگاه ۱۲ شباهت بیشتری به ایستگاه ۱ دارد. این موضوع می‌تواند نشان‌دهنده فرصت کافی رودخانه برای خودپالایی آلاینده‌های واردشده به آن از ایستگاه‌های ۹ و ۱۰ باشد. علاوه بر این، خوشه‌بندی نشان داد که میانگین COD در خوشه ایستگاه‌های ۹ و ۱۰ برابر با ۸۱ میلی گرم در لیتر و میانگین هدایت الکتریکی برابر با ۳۰۸۰ میکروزیمنس بر سانتی متر است که بیشترین آلودگی را نشان می‌دهد. در مقابل، میانگین COD در خوشه ایستگاه‌های ۱ و ۲ برابر با ۶۰ میلی گرم در لیتر و میانگین هدایت الکتریکی ۲۱۲۰ میکروزیمنس بر ثانیه بود. این تحلیل‌ها نقش خودپالایی رودخانه را در مناطق بالادستی و تشدید آلودگی در مناطق پایین‌دستی را به‌وضوح مشخص کرد. همچنین، ترکیب خوشه‌ها نشان داد که ارتباط میان آلاینده‌ها و موقعیت جغرافیایی تأثیر مستقیمی بر کیفیت آب دارد.

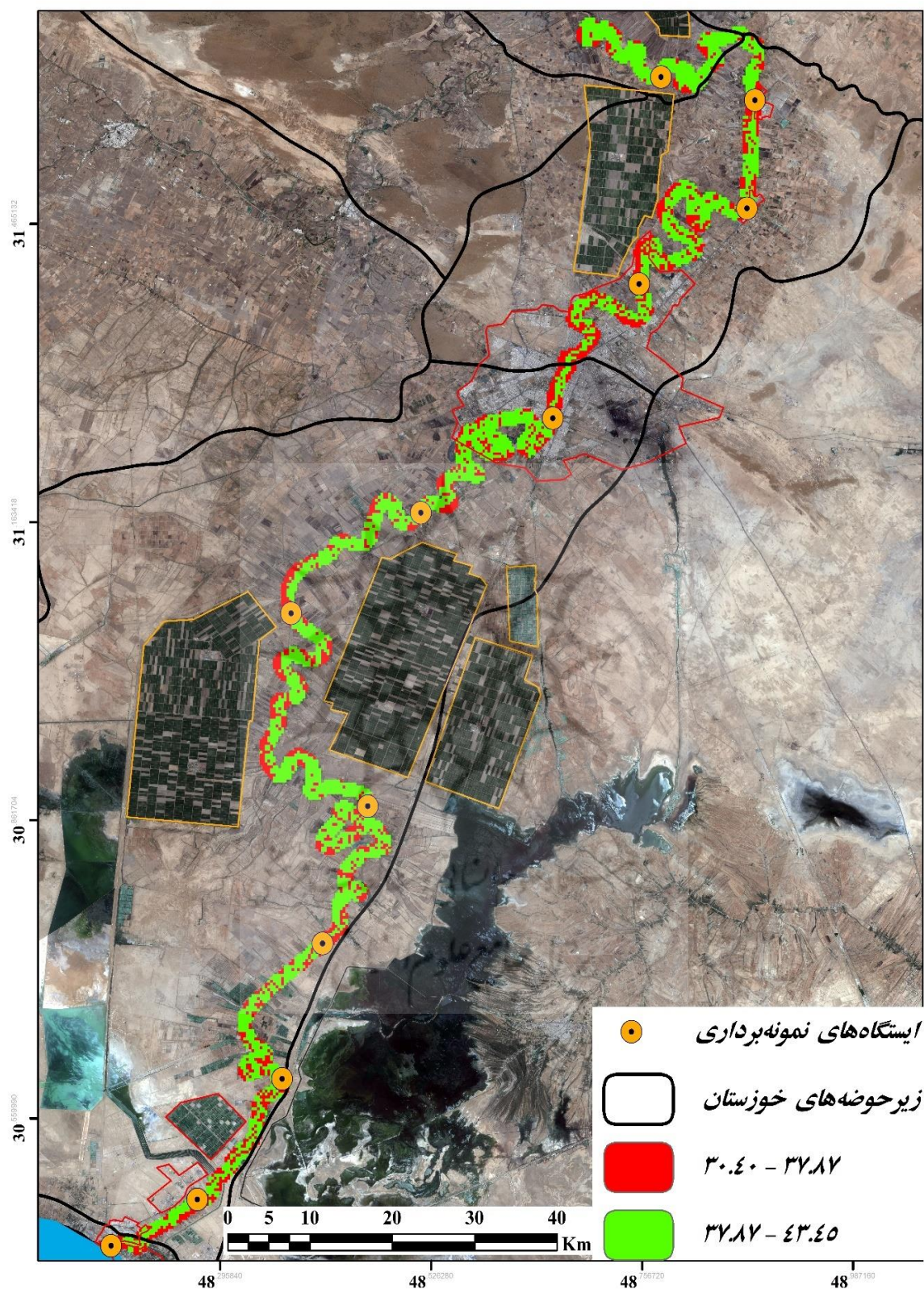
Clustering Result



شکل ۵: نمودار خوشه‌بندی پارامترهای کیفیت آب (منبع: نگارنده)

Figure 5: Clustering plot of water quality parameters

نقشه پهنه‌بندی کیفیت آب رودخانه کارون بزرگ در شکل ۶ ارائه شده است. آماره‌های صحت‌سنجی R^2 و RMSE به ترتیب برابر با ۷۸/۸۵ و ۳/۵۸ محاسبه شد. همان‌طور که در شکل ۶ نیز مشهود است، براساس روش رگرسیون کاربری زمین تمامی طول رودخانه در وضعیت به نسبت بد پهنه‌بندی شده است. به‌طور کلی، براساس دسته‌بندی شاخص کیفیت آب ایران وضعیت کیفیت آب از ابتدای رودخانه کارون بزرگ تا خرمشهر یکسان بوده است و تغییر چشمگیری در آن مشاهده نمی‌شود. این نتایج نشان می‌دهد که رگرسیون کاربری زمین ابزاری قدرتمند برای مدیریت کیفیت آب به‌ویژه در شناسایی نقاط بحرانی و طراحی راهبردهای مؤثر برای کاهش آلودگی و ارائه دیدگاه‌های ارزشمند درباره اثرهای بالقوه تغییرات کاربری زمین و گسترش فعالیت‌های انسانی بر کیفیت آب است.



شکل ۶: وضعیت کیفیت آب براساس شاخص IRWQI برای محدوده مطالعه‌شده در بهار ۱۴۰۱ (منبع: نگارنده)

Figure 6: Water quality zoning map based on IRWQI index for the study area

به‌طور کلی، نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که علت اصلی کاهش کیفیت آب رودخانه کارون بزرگ عواملی انسانی مانند رواناب کشاورزی، فاضلاب‌های خانگی و تخلیه پساب صنایع است. در این زمینه [Barakat et al](#) (2016) با استفاده از داده‌های کیفیت آب از سال 2000 تا 2014 در ۱۴ ایستگاه نمونه‌برداری در طول رودخانه Oum Er Bia در کشور مراکش مطالعه‌ای انجام دادند و علت تغییرات کیفیت آب را بیشتر به بار آلودگی وارد شده از منابع غیرنقطه‌ای همچون تخلیه فاضلاب شهری نسبت داده‌اند. به‌علاوه [خدابخشی و مازندرانی‌زاده \(۱۴۰۳\)](#) نیز در مطالعه خود نشان دادند که با اجرای کامل طرح فاضلاب شهر اهواز غلظت BOD از مقدار $\frac{6}{1}$ به $\frac{2}{6}$ میلی‌گرم بر لیتر، غلظت نیترژن آلی از ۴۲۵ به ۲۳۴ میکروگرم بر لیتر، فسفر آلی از ۱۳۵ به ۳۵ میکروگرم بر لیتر و غلظت اکسیژن محلول از ۵/۵۵ به $\frac{6}{79}$ میلی‌گرم بر لیتر بهبود خواهد یافت. این درحالی است که نتایج به‌دست‌آمده از آنالیز همبستگی نشان‌دهنده همبستگی معکوسی میان درصد اکسیژن محلول و میزان کلیفرم مدفوعی است. میزان اکسیژن محلول و میزان pH در چند ایستگاه اول و چند ایستگاه آخر مقدارهای زیادی را ثبت کرده است و در ایستگاه‌های میانی کاهش زیاد دیده می‌شود. دما و بارندگی بسیار متفاوت میان فصل‌های خشک و مرطوب می‌تواند بر توزیع میزان اکسیژن محلول مؤثر باشد. این نمونه با نتایج [Sun et al. \(2016\)](#) در رودخانه Dongjiang در چین جایی که مقدارهای اکسیژن محلول در فصل خشک در مقایسه با فصل مرطوب بیشتر است، مطابقت دارد؛ به‌طوری که تفاوت اکسیژن محلول در فصل خشک و مرطوب بیش از ۱۰ واحد بوده و عدد شاخص WQI را از ۵۹ در فصل خشک به ۷۰ در فصل مرطوب رسانده است. کلیفرم مدفوعی نوسان‌های بسیاری را در طول رودخانه کارون بزرگ نشان می‌دهد. مقدارهای زیاد مشاهده‌شده در برخی از ایستگاه‌ها تخلیه فاضلاب شهرهایی همچون اهواز و ملاتانی و نیز تخلیه زهاب اراضی کشاورزی (به‌ویژه کشت نیشکر) به رودخانه است که با نتایج [Mitch et al. \(2010\)](#) همسوست. [Mitch et al. \(2010\)](#) با مطالعه بر رودخانه Quinnipiac در کشور آمریکا به این نتیجه دست یافتند که فاضلاب‌های شهری مهم‌ترین عامل افزایش میزان کلیفرم مدفوعی بوده است و این نمونه به‌ویژه در فصل زمستان منجر به افزایش بیماری‌های مرتبط می‌شود تا جایی که میزان کلیفرم در حالت پیشینه به ۵۰۰۰ در ۱۰۰ میلی‌لیتر می‌رسد. مقدارهای WQI محاسبه‌شده بین $\frac{30}{65}$ و $\frac{48}{98}$ در منطقه مطالعه‌شده متغیر بود. نتایج نشان می‌دهد که به‌جز دو ایستگاه ۱ و ۴ (با وضعیت متوسط) سایر ایستگاه‌ها در وضعیت به‌نسبت بد قرار دارد. نتایج این بخش با مطالعه [سالاری و همکاران \(۱۳۹۱\)](#) و [حسین‌نژاد و همکاران \(۱۳۹۷\)](#) همخوانی دارد. [سالاری و همکاران \(۱۳۹۱\)](#) نشان دادند که ۴ ایستگاه بررسی‌شده آنها (اهواز، دارخوین، کوت‌امیر و زرگان) با دامنه تغییرات شاخص کیفیت آب NSFQWI بین ۴۵/۰۵ تا ۴۷/۱۸ در وضعیت بد تا متوسط قرار دارد. [حسین‌نژاد و همکاران \(۱۳۹۷\)](#) نیز نشان دادند که ایستگاه‌های اهواز، گتوند و شوشتر در وضعیت C3S1 که از نظر کشاورزی نشان‌دهنده سدیم کم و شوری زیاد است، قرار دارد. در این مطالعه پیشینه و کمینه شاخص کیفیت آب IRWQIsc در ایستگاه ملاتانی برابر با ۶ و ۱ و برای ایستگاه اهواز به‌ترتیب برابر با ۴۸ و ۴۰ محاسبه شد؛ با این حال پژوهش حاضر در مقایسه با نتایج مطالعه [هوشمند و اگدرنژاد \(۱۴۰۰\)](#) کیفیت آب رودخانه در محدوده شهر اهواز (از ملاتانی تا فارسیات) افت نسبی داشته و یکدست‌تر نیز شده است؛ به این معنا که مقدارهای پیشینه و کمینه در این محدوده به یکدیگر نزدیک‌تر شده است. [مروج و همکاران](#)

(۱۳۹۶) در پژوهش خود علت اصلی کاهش کیفیت آب را از گتوند (کارون) به ملاثانی (کارون بزرگ) به اتصال رودخانه دز و ورود آلاینده‌ها در پایین‌دست ایستگاه دزفول (فاصله‌ای حدوداً ۱۰۰ کیلومتری تا محل اتصال رودخانه‌های دز و کارون) نسبت داده‌اند. در صورتی که نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد که کیفیت آب رودخانه دز در فاصله‌ای ۲۰ کیلومتری تا اتصال به کارون بزرگ در طبقه متوسط قرار دارد و در ایستگاه دوم (ملاثانی) دچار افت کیفیت شدید می‌شود. علت این امر را می‌توان در تخلیه پساب کشاورزی پس از ایستگاه اول تا ایستگاه دوم (ملاثانی) جست‌وجو کرد. در این زمینه، ایلدرمی و همکاران (۱۴۰۲) در مطالعه خود که براساس داده‌های ۱۷ ساله از ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۸ انجام شده است، نشان دادند که به‌طور میانگین شاخص کیفیت آب سازمان بهداشت جهانی در رودخانه کارون در وضعیت نامناسب ($WQI > 100$) و در رودخانه دز در وضعیت بسیار ضعیف ($75 < WQI < 100$) قرار دارد که علت اصلی آن کیفیت نامناسب در ایستگاه‌های دار خوین سلمانیه ملاثانی اهواز و فارسیات است که همگی در رودخانه کارون بزرگ قرار دارند. در مطالعه نظری و همکاران (۱۳۹۹) نیز که از شاخص‌های IRWQIsc و NSFQI برای پایش کیفیت آب رودخانه‌های استان خوزستان در طول سال ۱۳۹۷ استفاده شده بود، دامنه تغییرات شاخص IRWQIsc در رودخانه دز ۷۱ تا ۸۳ و در رودخانه کارون ۳۹ تا ۵۵ و دامنه تغییرات شاخص NSFQI در رودخانه دز ۶۵ تا ۷۷ و در رودخانه کارون ۵۸ تا ۶۸ بوده است که نشان‌دهنده کیفیت بهتر آب رودخانه دز نسبت به رودخانه کارون است.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش کیفیت آب رودخانه کارون بزرگ از بالادست محل تخلیه رود دز به کارون بزرگ تا خروجی به اروندرود در خرمشهر در ۱۲ ایستگاه و براساس شاخص کیفیت آب ایران ارزیابی شد. با توجه به نتایج همبستگی، پارامترهای هدایت الکتریکی، آمونیوم، سختی کل و فسفات روندی افزایشی از ایستگاه ۱ (بالادست محل اتصال رودخانه دز به کارون بزرگ) تا ایستگاه ۱۲ (خرمشهر) داشته است. در این زمینه به‌جزء فسفات که در تمامی ایستگاه‌ها مقدارهای کمتر از استاندارد دارد، سایر پارامترها حداقل در چند ایستگاه مقدارهای بیشتر از استاندارد را نشان می‌دهد. به‌طور کلی، این نمونه می‌تواند نشان‌دهنده تأثیر منفی رواناب جاری‌شده از سمت روستاها (کشاورزی و انسانی) و شهرها (بیشتر انسانی) بر کیفیت آب رودخانه باشد؛ با این حال پدیده جزر و مد هم می‌تواند عاملی تشدیدکننده برای افزایش ناگهانی و بیش از اندازه هدایت الکتریکی به‌ویژه در ایستگاه ۱۲ باشد. به‌طور کلی، کیفیت آب از ایستگاه ۹ (دارخوین) تا انتهای رودخانه کارون بزرگ تحت تأثیر جزر و مد قرار دارد. افزایش دما نیز می‌تواند باعث افزایش مقدارهای پارامترهای این دسته شود. پارامترهای COD، BOD، نیترات و کدورت مقدارهای بسیار زیادی را در ایستگاه‌های ۹ (دارخوین) و ۱۰ (سلمانیه) ثبت کرده است و پس از آن روندی کاهشی را در پی می‌گیرد. این پارامترها در طول مسیر خود نوسان‌های زیادی را نشان می‌دهد که علت اصلی آن را می‌توان فاصله از منابع اصلی آلاینده دانست. دلیل اصلی مقدارهای به‌نسبت زیاد پارامترهای یادشده در ایستگاه‌های ۹ و ۱۰ را می‌توان به فعالیت‌های کشاورزی شدید (کشت و صنعت دهخدا) در بالادست نسبت داد. سایر عوامل همچون فاضلاب‌های شهری به‌احتمال، در رتبه دوم از لحاظ اهمیت قرار می‌گیرد. درصد اکسیژن محلول و میزان pH در چند ایستگاه اول و

چند ایستگاه آخر مقدارهای زیادی را ثبت نکرده است؛ به‌طوری که در ایستگاه‌های میانی کاهش چشمگیری دیده می‌شود. دما و بارندگی بسیار متفاوت میان فصل‌های خشک و مرطوب می‌تواند بر توزیع میزان اکسیژن محلول مؤثر باشد. به‌علاوه، منابع آلاینده نقطه‌ای زیاد هم ازجمله عوامل تأثیرگذار بر این پارامتر است. درادامه، تأثیر پارامترهای کیفیت آب بر WQI ارزیابی شد و نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که بیشترین میانگین وزن مؤثر مربوط به پارامترهای کلیفرم مدفوعی و فسفات درمقایسه با سایر پارامترهاست که نشان‌دهنده تأثیر زیاد فعالیت‌های انسانی بر رودخانه است؛ بنابراین می‌توان گفت که منابع اصلی آلاینده رودخانه کارون بزرگ بیشتر انسانی بوده است و می‌تواند شامل فعالیت‌های دامپروری، تخلیه زهاب کشاورزی فشرده در حاشیه رودخانه و تخلیه فاضلاب از قسمت‌های مسکونی و صنعتی منطقه مطالعه‌شده باشد. نتایج آنالیز همبستگی اسپیرمن میان پارامترهای نمونه‌برداری‌شده نشان‌دهنده تأثیر بسیار زیاد نمک‌ها بر کیفیت آب رودخانه کارون بزرگ است. نتایج آنالیز خوشه‌بندی نشان داد که ایستگاه ۱ (دز)، ایستگاه ۱۲ (خرمشهر) و دو ایستگاه ۹ (دارخوین) و ۱۰ (سلمانیه) در ۳ دسته مجزا قرار گرفته است و سایر ایستگاه‌های بررسی‌شده در دسته ۴ جای می‌گیرد. این موضوع نشان‌دهنده وضعیت یکسان آلاینده‌های ورودی در بالادست است. به‌علاوه، تجمیع نتایج نمونه‌برداری و آنالیز خوشه‌بندی گواهی بر وضعیت مناسب رودخانه در ایستگاه‌های ۹ و ۱۰ به‌علت ایجاد فاصله میان ورودی آلاینده‌ها تا این ایستگاه‌هاست. کیفیت آب رودخانه کارون بزرگ به‌دلیل اثرهای منفی آلاینده‌های انسانی روبه‌وخامت است و ممکن است اثرهای مخربی بر سلامت افرادی داشته باشد که از آب آن برای مصرف‌های شرب و آبیاری استفاده می‌کنند؛ درنتیجه مدیران و تصمیم‌گیرندگان مسئول باید درباره استفاده برنامه‌ریزی‌شده از رودخانه اقدام‌های حفاظتی حیاتی مانند بهبود شیوه‌های کشاورزی انجام دهند. نقشه‌های توزیع فضایی به‌طور مؤثرتری اطلاعات را ارائه می‌دهد و به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند تا شرایط کیفی آب رودخانه را در منطقه مطالعه‌شده بهتر تجسم کنند. در این رابطه روش‌های رگرسیون کاربری زمین با استفاده از اطلاعات مکانی قدرت بیشتری در توصیف دقیق وضعیت کل منطقه نسبت به روش‌های میان‌یابی که مبنای اصلی آنها فاصله از منبع آلاینده است، دارند.

منابع

اداره کل حفاظت محیط زیست استان خوزستان (۱۳۸۳). طرح جامع کاهش آلودگی رودخانه کارون (گزارش تفصیلی). اداره کل حفاظت محیط زیست استان خوزستان.

آقاجانلو، کامله، حاجی‌زاده، احسان، و آریایی‌زاده، سحر (۱۴۰۱). ارزیابی کیفیت آب رودخانه کارون برپایه شاخص‌های IRWQI و WAWQI در دو ایستگاه ملاثانی و اهواز. *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۳(۲)، ۳۶۷-۳۸۰.

<https://doi.org/10.22059/ijswr.2022.333148.669115>

انصاری، محمدرضا، و یوسفی، اشکان (۱۴۰۳). تحلیل روند تغییرات کیفیت آب رودخانه کارون با بهره‌گیری از آزمون ناپارامتری من-کندال و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS). *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۴(۲)، ۳۲۷-۳۴۲.

<https://doi.org/10.22098/mmws.2023.13312.1322>

ایلدرمی، علیرضا، حسن‌زاده، نسرين، و هدایت‌زاده، فريبا (۱۴۰۲). ارزیابی جامع کیفیت آب‌های سطحی و تناسب آنها برای مصارف شرب و آبیاری: مطالعه موردی حوضه رودخانه کارون و دز. *هیدروژئومورفولوژی*، ۱۰ (۳۴)، ۱-۳۱.

<https://doi.org/10.22034/hyd.2022.48704.1610>

حسین‌نژاد بلکو، محمدحسن، ترابی‌پوده، حسن، و شاه‌نژاد، بابک (۱۳۹۷). بررسی روند تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب در حوضه کارون بزرگ. *تحقیقات منابع آب ایران*، ۱۴ (۵)، ۴۸۳-۴۸۸.

https://www.iwrr.ir/article_63713.html

حسینی زارع، نادر، غلامی، علی، پناه‌پور، ابراهیم، و جعفرنژادی، علیرضا (۱۳۹۵). شناسایی و تعیین بار آلودگی آلاینده‌های کشاورزی در حوضه آبریز رودخانه‌های کارون و دز. *علوم مهندسی و آبیاری (مجله علمی کشاورزی)*، ۳۹ (۳)، ۱۲۱-۱۳۴. <https://doi.org/10.22055/jise.2016.12348>

خدابخشی، فربا، و مازندرانی‌زاده، حامد (۱۴۰۳). ارزیابی اثر طرح جامع فاضلاب شهر اهواز بر کیفیت آب رودخانه کارون با استفاده از مدل QUAL2Kw. *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۵ (۱۰)، ۱۷۶۱-۱۷۸۵.

<https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.379576.669757>

دادالهی سهراب، علی، و ارجمند، فرشید (۱۳۸۹). شاخص کیفیت (WQI) آب رودخانه کارون به‌عنوان نشان‌دهنده اثرات پساب صابون‌سازی خرمشهر. *اقیانوس‌شناسی*، ۱ (۴)، ۲۱-۲۷.

<https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.379576.669757>

سازمان حفاظت محیط زیست (۱۳۹۲الف). *استاندارد کیفیت آب‌های ایران*. دفتر آب و خاک معاونت محیط زیست انسانی سازمان حفاظت محیط زیست.

سازمان حفاظت محیط زیست (۱۳۹۲ب). *شاخص کیفیت منابع آب کشور و طبقه بندی آنها*. دفتر آب و خاک معاونت محیط زیست انسانی سازمان حفاظت محیط زیست.

سالاری، مرجان، رادمنش، فریدون، و زارعی، حیدر (۱۳۹۱). ارزیابی کمی و کیفی منابع آب رودخانه کارون با استفاده از شاخص NSFQI و روش AHP. *انسان و محیط زیست*، ۱۰ (۴)، ۱۳-۲۲.

<https://civilica.com/doc/1871670/>

شطی، صفورا، و آخوندعلی، علی محمد (۱۳۹۸). تأثیرات آگیری سد گتوند علیا بر کیفیت آب رودخانه کارون. *سد و نیروگاه برق آبی ایران*، ۶ (۲۱)، ۳۶-۲۶. <http://journal.hydropower.org.ir/article-1-325-fa.html>

مددی‌نیا، مژده، منوری، سید مسعود، کرباسی، عبدالرضا، نبوی، سید محمد باقر، و رجب‌زاده، ابراهیم (۱۳۹۳). بررسی کیفی آب رودخانه کارون در بازه اهواز با استفاده از شاخص کیفی آب. *فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست*، ۱۶ (۱)، ۴۹-۶۰. <https://sid.ir/paper/87628/fa>

مروج، مجتبی، کریمی‌راد، ایمان، و ابراهیمی، کیومرث (۱۳۹۶). ارزیابی وضعیت کیفی رودخانه کارون براساس شاخص کیفیت آب و استفاده از GIS. *اکوهیدرولوژی*، ۴ (۱)، ۲۲۵-۲۳۵.

<https://doi.org/10.22059/ije.2017.60905>

نژادافضلی، کرامت، و بیاتانی، فاطمه (۱۴۰۳). پهنه‌بندی کیفی آب رودخانه کارون بر مبنای شاخص کیفی NSFQI و بهره‌گیری از سامانه اطلاعات جغرافیایی. *مطالعات علوم محیط زیست*، ۹ (۲)، ۸۲۵۱-۸۲۶۴.

https://www.jess.ir/article_180301.html

نظری، اسلام، اگدرنژاد، اصلا، جلیل‌زاده، رضا، و ینگجه، رضا (۱۳۹۹). پایش کیفیت آب رودخانه‌های استان خوزستان جهت مصارف شرب، صنعت و کشاورزی با استفاده از شاخص‌های IRWQIsc و NSFQI. *مجله پژوهش در بهداشت محیط*، ۶(۲)، ۱۱۷-۱۳۳. <https://doi.org/10.22038/jreh.2020.46257.1349>

نوری، روح‌الله، وصالی‌ناصح، محمدرضا، و اکبرزاده، عباس (۱۳۹۵). بررسی تغییرات فصلی کیفیت آب رودخانه کارون با استفاده از تحلیل‌های مؤلفه و فاکتور اصلی. *پژوهش‌های محیط زیست*، ۷(۱۴)، ۷۱-۸۰. https://www.iraneiap.ir/article_45241.html

هوشمند، سارا، و اگدرنژاد، اصلا (۱۴۰۰). ارزیابی کیفیت آب رودخانه کارون براساس شاخص‌های NSFQI و IRWQIsc و تعیین وزن پارامترهای مؤثر در این دو شاخص با آنالیز خوشه‌ای و تحلیل سلسله‌مراتبی. *اکوبیولوژی*، ۱۳(۳)، ۶۰-۴۷. <https://jweb.ahvaz.iau.ir/article-1-968-fa.html>

References

- Aghajanloo, K., Hajizadeh, E., & Ariaeezadeh, S. (2022). Evaluation of karun river water quality based on IRWQI and WAWQI indicators in Molasani and Ahvaz stations. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 53(2), 367-380. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2022.333148.669115> [In Persian].
- Ansari, M. R., & Yusefi, A. (2024). Trend analysis of water quality variation of the karun river using the Mann-Kendall test and geographic information system (GIS). *Water and Soil Management and Modelling*, 2(4), 327-342. <https://doi.org/10.22098/mmws.2023.13312.1322> [In Persian].
- Barakat, A., El Baghdadi, M., Rais, J., Aghezaf, B., & Slassi, M. (2016). Assessment of spatial and seasonal water quality variation of Oum Er Rbia River (Morocco) using multivariate statistical techniques. *International Soil And Water Conservation Research*, 4(4), 284-292. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2016.11.002>
- Belkhiri, L., Boudoukha, A., & Mouni, L. (2011). A multivariate statistical analysis of groundwater chemistry data. *International Journal of Environmental Research Res*, 5(2), 537-544. <https://doi.org/10.22059/IJER.2011.338>
- Bora, M., & Goswami, D. C. (2017). Water quality assessment in terms of water quality index (WQI): Case study of the Kolong river Assam India. *Applied Water Science*, 7(6), 3125-3135. <https://doi.org/10.1007/s13201-016-0451-y>
- Bostanmaneshrad, F., Partani, S., Noori, R., Nachtnebel, H. P., Berndtsson, R., & Adamowski, J. F. (2018). Relationship between water quality and macro-scale parameters (land use, erosion, geology, and population density) in the Siminehrood river Basin. *Science of The Total Environment*, 639(15), 1588-1600. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.244>
- Dadolahi-Sohrab, A., Arjomand, F. (2011). Water quality index of Karoon river as indicator of Khorramshahr soap factory sewage effects. *Journal of Oceanography*, 1(4), 21-27. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.379576.669757> [In Persian].
- Emamgholizadeh, S., Kashi, H., Marofpoor, I., & Zalaghi, E. (2014). Prediction of water quality parameters of Karoon River (Iran) by artificial intelligence-based models. *International Journal of Environmental Science And Technology*, 11(6), 645-656. <https://doi.org/10.1007/s13762-013-0378-x>
- Environmental protection organization. (2012a). *Iran's water quality standard*. Water and soil office vice president of human environment of environmental protection organization. [In Persian].
- Environmental Protection Organization. (2012b). *The country's water resources quality index and their classification*. Water and soil office vice president of environment, human life, environmental protection organization. [In Persian].
- General department of environmental protection of Khuzestan province. (2004). *Comprehensive Plan for reducing pollution of karun river (Detailed Report)*. General department of environmental protection of khuzestan province. [In Persian]

- Haldar, K., Kujawa-Roeleveld, K., Dey, P., Bosu, S., Datta, D. K., & Rijnaarts, H. H. (2020). Spatio-temporal variations in chemical-physical water quality parameters influencing water reuse for irrigated agriculture in tropical urbanized deltas. *Science of The Total Environment*, 708(14), 134559. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134559>
- Hosseini Nezhad Bolko, M.H., Torabi Poudeh, H., & Shahinezhad, B. (2019). Investigation of the temporal and spatial variations of water quality in greater karun basin. *Iran-Water Resources Research*, 14(5), 360-366. https://www.iwrr.ir/article_63713.html [In Persian].
- Hosseini Zare, N., Gholami, A., Panah Pour, E., & Jafar Nezady, A. R. (2016). Identifying and determining pollution load of agricultural pollutants in the catchment basin of karun and Dez rivers. *Irrigation Sciences and Engineering*, 39(3), 121-134. <https://doi.org/10.22055/jise.2016.12348> [In Persian]
- Houshmand, S., & Egdernezhad, A. (2021). Evaluation of karoon river water quality using nsfwqi and irwqisc and determination of weight values in those indices using cluster analysis and analytical hierarchy process. *Journal of Wetland Ecobiology*, 13(3), 47-60. <https://jweb.ahvaz.iau.ir/article-1-968-fa.html> [In Persian].
- Ildoromi, A., Hassanzadeh, N., & Hedayetzadeh, F. (2023). Comprehensive assessment of surface water quality and their suitability for drinking and irrigation uses (Case study of karun and Dez river basin). *Hydrogeomorphology*, 10(34), 31-1. <https://doi.org/10.22034/hyd.2022.48704.1610> [In Persian].
- Khan, F. I., & Abbasi, S. A. (1997). Accident hazard index: a multi-attribute method for process industry hazard rating. *Process Safety and Environmental Protection*, 75(4), 217-224. <https://doi.org/10.1205/095758297529093>
- Khodabakhshi, F., & Mazandaranizadeh, H. (2014). Evaluation of the impact of Ahvaz city master plan on water quality of Kar Shahroon River using QUAL2Kw model. *Iranian Soil and Water Research*, 55(10), 1761-1785. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.379576.669757> [In Persian].
- Madadinia, M., Monavari, M., Karbasi, A., Navabi, S. M. B., & Rajabzadeh, E. (2014). Study on water quality of Karun River (Ahvaz Region) using water quality index. *Journal of Environmental Science and Technology*, 16(1), 49-60. <https://sid.ir/paper/87628/en> [In Persian].
- Mitch, A. A., Gasner, K. C., & Mitch, W. A. (2010). Fecal coliform accumulation within a river subject to seasonally-disinfected wastewater discharges. *Water Research*, 44(16), 4776-4782. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.05.060>
- Moravej, M., Karimirad, I., & Ebrahimi, K. (2017). Evaluation of karun river water quality status based on water quality index and involving GIS environment. *Journal of Ecohydrology*, 4(1), 225-235. <https://doi.org/10.22059/ije.2017.60905> [In Persian].
- Nazari, E., Egdernezhad, A., & Jalilizadeh Yengejeh, R. (2020). Monitoring of Khuzistan water resources quality for domestic industrial and irrigation usage using irswqisc and nsfwqi indices. *Journal of Research in In Environmental Health*, 6(2), 117-133. <https://doi.org/10.22038/jreh.2020.46257.1349> [In Persian].
- Nezhadafzali, K., & Bayatani, F. (2024). Water quality areas of the karun river based on nsfwqi quality index and using geographic information system. *Journal of Environmental Science Studies*, 9(2), 8251-8264. https://www.jess.ir/article_180301.html [In Persian].
- Niu, A., Song, L. Y., Xiong, Y. H., Lu, C. J., Junaid, M., & Pei, D. S. (2019). Impact of water quality on the microbial diversity in the surface water along the Three Gorge Reservoir (TGR) China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 181(15), 412-418. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.06.023>
- Nouri, R., Vesali Naseh, M., & Akbarzadeh, A. (2017). Investigation of seasonal variations in water quality of karoon river using principal component and principal factor analyses. *Environmental Researches*, 7(14), 71-80. https://www.iraneiap.ir/article_45241.html [In Persian].
- Peterson, K.T., Sagan, V., & Sloan, J.J. (2020). Deep learning-based water quality estimation and anomaly detection using Landsat-8/Sentinel-2 virtual constellation and cloud computing. *GIScience & Remote Sensing*, 57(4), 510-525. <https://doi.org/10.1080/15481603.2020.1738061>

- Putro, B., Kjeldsen, T. R., Hutchins, M. G., & Miller, J. (2016). An empirical investigation of climate and land-use effects on water quantity and quality in two urbanising catchments in the southern United Kingdom. *Science of the Total Environment*, 548(1), 164-172. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.12.132>
- Rakotondrabe, F., Ngoupayou, J. R. N., Mfonka, Z., Rasolomanana, E. H., Abolo, A. J. N., & Ako, A. A. (2018). Water quality assessment in the Bétaré-Oya gold mining area (East-Cameroon): Multivariate statistical analysis approach. *Science of The Total Environment*, 610(1), 831-844. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.080>
- Roy, K., Karim, M. R., Akter, F., Islam, M. S., Ahmed, K., Rahman, M., & Khan, M. S. A. (2018). Hydrochemistry, water quality and land use signatures in an ephemeral tidal river: Implications in water management in the southwestern coastal region of Bangladesh. *Applied Water Science*, 8(1), 1-16. <https://doi.org/10.1007/s13201-018-0706-x>
- Salari, M., Radmanesh, F., Zarei, H. (2013). Quantitative and qualitative assessment of karoon river water using nsfwqi index and ahp method. *Human & Environment*, 10(4), 13-22. <https://civilica.com/doc/1871670/> [In Persian].
- Sargaonkar, A. P., Gupta, A., & Devotta, S. (2008). Dynamic weighting system for water quality index. *Water Science and Technology*, 58(6), 1261-1271. <https://doi.org/10.2166/wst.2008.468>
- Şener, Ş., Şener, E., & Davraz, A. (2017). Evaluation of water quality using water quality index (WQI) method and GIS in Aksu river (SW-Turkey). *Science of The Total Environment*, 584(15), 131-144. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.102>
- Shatti, S., Akhoond-Ali, A. (2019). The effects of gotvand olia dam impoundment on the water quality of karun river. *Iranian Dam and Hydroelectric Powerplant*, 6(21), 26-36. <http://journal.hydropower.org.ir/article-1-325-fa.html> [In Persian].
- Sun, W., Xia, C., Xu, M., Guo, J., & Sun, G. (2016). Application of modified water quality indices as indicators to assess the spatial and temporal trends of water quality in the Dongjiang river. *Ecological Indicators*, 66(1), 306-312. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.01.054>
- Tian, Y., Jiang, Y., Liu, Q., Dong, M., Xu, D., Liu, Y., & Xu, X. (2019). Using a water quality index to assess the water quality of the upper and middle streams of the Luanhe River northern China. *Science of The Total Environment*, 667(1), 142-151. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.356>
- Todd, A. S., Manning, A. H., Verplanck, P. L., Crouch, C., McKnight, D. M., & Dunham, R. (2012). Climate-change-driven deterioration of water quality in a mineralized watershed. *Environmental Science & Technology*, 46(17), 9324-9332. <https://doi.org/10.1021/es3020056>
- Vapnik, V. N. (1995). *The nature of statistical learning theory*. Springer New York.
- Vörösmarty, C. J., McIntyre, P. B., Gessner, M. O., Dudgeon, D., Prusevich, A., Green, P., & Davies, P. M. (2010). Rivers in crisis: Global water insecurity for humans and biodiversity. *Nature*, 467(15), 555-561.
- Wang, P., Yao, J., Wang, G., Hao, F., Shrestha, S., Xue, B., & Peng, Y. (2019). Exploring the application of artificial intelligence technology for identification of water pollution characteristics and tracing the source of water quality pollutants. *Science of the Total Environment*, 693(1), 133440. <https://doi.org/10.1038/nature09440>