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 Alranaei[1], Saeed Pourmanafi *[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 .

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.

جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی
سال ۳۵، پیاپی ۹۶، شماره ٤، زمستان ۱٤۰۳، ص ۱۹۲– ۱٦٥
وصـول: ۱٤۰۳/۱/۱٤ پـذیرش: ۱٤۰۳/۱۲/۱٤

مقاله پژوهشی

پایش کیفیت آب رودخانهٔ کارون بزرگ براساس شاخص IRWQIsc در بهار ۱٤۰۱

مهرداد الرعنایی، دانشجوی دکترای 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 رودخانهٔ کارون بزرگ از ابتدای ورودی رودخانهٔ دز تا محل اتصال بـه رودخانـهٔ اروند بـا اسـتفاده از شـاخص IRWQIscارزیابی شد. در این مطالعه برای محاسبهٔ این شاخص ۱۲ ایستگاه نمونه‌برداری با فاصله‌های به‌نسبت مساوی از یکدیگر (بین ۲۵ تـا ۳۵ کیلومتر) و نیز برمبنای ورودی‌های اصلی به رودخانه تعیین شد. درادامه، از ضریب همبستگی اسپیرمن و تحلیـل خوشـه‌ای سلسـله‌مراتبـی و رگرسیون کاربری زمین با روش ماشین‌بردار پشتیبان برای درک بیشتر روابط میان پارامترهای کیفیت آب و توزیع آنها در رودخانه اسـتفاده شـد. مقدارهای IRWQIsc محاسبه‌شده بین ۳۰/٦٥ و ٤۸/۹۸ در منطقهٔ مطالعه‌شده متغیر بود. نتایج نشـان داد کـه بـه‌جـزء دو ایسـتگاه ۱ (کشـت و صنعت نیشکر دهخدا) و ٤ (ورودی شهر اهواز) با وضعیت متوسط (به‌ترتیب ٤۸/۹۸ و٤٦/۳۲) سایر ایستگاه‌هـا در وضـعیت بـه‌نسـبت بـد قـرار دارد. همچنین، نتایج نشان داد که مقدارهای BOD و هدایت الکتریکی در تمامی ایستگاه‌ها از استانداردهای کیفیت آب شرب ایران فراتـر رفتـه است. مقدارهای فسفات (۰/۰۰٦ تا ۰/۰۲۱ mg/L) و آمونیوم (۰/٤ تا ۲/۰۸ mg/L) نیز در ایستگاه‌های پایین‌دست افـزایش چشـمگیری داشـته است. تحلیل همبستگی اسپیرمن نشان‌دهندهٔ رابطهٔ قوی میان هدایت الکتریکی و سختی کل (۰/۸۱) بود. خوشه‌بندی سلسـله‌مراتبـی ایسـتگاه‌هـا نشان داد که ایستگاه‌های ۹، ۱۰ و ۱۲ بیشترین آلودگی را دارد که ناشی از ورود آلاینده‌های کشاورزی، صنعتی و شهری است. تحلیـل رگرسـیون کاربری زمین (R^2= ۰/۷۸) نشان داد که الگوهای فضایی کیفیت آب را می‌توان پیش‌بینی کرد. این نتایج بر لـزوم مـدیریت آلاینـده‌هـا و پـایش مستمر برای بهبود کیفیت آب رودخانه تأکید دارد.

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

---

*نویسنده مسؤول

الرعنایی، مهرداد، پورمنافی، سعید، نعمتی ورنوسفادرانی، محمد و لطفی، علی . (۱٤۰۳). پایش کیفیت آب رودخانه کارون بزرگ بر اساس شـاخص IRWQIsc در بهـار ۱٤۰۱، *جغرافیا و برنامه ریزی محیطی*، ۳۵ (٤)، ۱۹۲– ۱٦٥ .

10.22108/gep.2025.140054.1622

مقدمه

آب باکیفیت و به مقدارکافی یکی از مهم‌ترین الزامات توسعهٔ سالم و پایدار جامعهٔ انسانی و بوم‌سازگان‌های طبیعی است (Vörösmarty et al., 2010). پهنه‌های آبی به‌خصوص رودخانه‌ها عنصر مهمی برای پایداری و توسعهٔ جوامع انسانی است. با رشد چشمگیر جمعیت جهان و توسعهٔ 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 حوضهٔ رودخانه را تغییر می‌دهد و بر کاربری اراضی، ساختار گیاهان و تراکم جمعیت تأثیر می‌گذارد. این طرح ها 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؛ درنتیجه 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 نحوهٔ مصرف در حد مجاز باشد (Bostanmaneshrad et al., Emamgholizadeh 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 تجزیه‌وتحلیل مجموعه داده‌های بسیار زیاد در این زمینه است که ارزیابی و در نتیجه سنتز 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 تجزیه‌وتحلیل مجموعه داده‌های کیفیت آب پرداخته است تا یک مقدار واحد تولید کند. WQI به‌طور کلی با فرآیندی تعریف می‌شود که به‌دلیل استفاده از تعداد زیادی از پارامترهای کیفیت آب (WQPs) (Water Quality Parameters) DO (Dissolved Oxygen)، COD (Chemical Oxygen Demand)، BOD (Biological Oxygen Demand)، کلیفرم مدفوع، pH، دما، فسفات‌ها، نیترات، کدورت، هدایت الکتریکی و سختی کل درجهٔ زیادی از پیچیدگی را دارد. طی پنج دههٔ گذشته طیف وسیعی از روابط تجربی و نمودارها برای تخمین WQI درمقیاس 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 نشان‌دهندهٔ مناسب‌بودن آب برای آشامیدن نیست؛ از این رو محققان یک شاخص کیفیت آب را برای ارزیابی کیفیت آب به‌منظور هدف‌های آشامیدنی بسیار کارآمد و مؤثر فرموله کردند. WQI غلظت اندازه‌گیری‌شدهٔ پارامترهای کیفیت آب را به‌صورت تک‌رقمی جمع می‌کند که به‌راحتی قابل درک است. این شاخص به‌علت استفادهٔ آسان و تبدیل مجموعه داده‌های پیچیدهٔ کیفیت آب به یک ارزش واحد که به‌راحتی برای مسئولان و مدیران قابل درک باشد، جذابیت زیادی دارد. این موضوع دربارهٔ 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). رودخانهٔ کارون بزرگ (حاصل از اتصال دو رودخانهٔ 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 رودخانهٔ کارون به‌ویژه در ماه‌های کم‌آب تابستان شده و در سال‌های اخیر نگرانی‌هایی را ازنظر 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 رودخانهٔ کارون منابع بررسی‌شده در جدول ۱ ارائه می‌شود.

پیشینهٔ پژوهش

جدول ۱: خلاصهٔ منابع بررسی‌شده

Table1: Abstract of reviewed articles

ردیف	نویسندگان	هدف مقاله	مواد و روش‌ها	نتایج
۱	دادالهی و ارجمند (۱۳۸۹)	بررسی اثر های پساب کارخانهٔ صابون‌سازی خرمشهر بر کیفیت آب رودخانهٔ کارون	نمونه‌برداری از ۳ ایستگاه در ۵۰ متری بالادست، ۵۰متری و ۵۰۰ متری پایین‌دست در ۱۰ ماه	پارامترهای BOD، COD 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 کمّی و کیفی منابع آب رودخانهٔ کارون	استفاده از شاخص NSFWQI و وزن‌دهی پارامترهای استفاده‌شده براساس روش AHP در ۴ ایستگاه اهواز، دارخوین، کوت‌امیر و زرگان	ایستگاه‌ها به‌ترتیب با ۴۵/۰۵، ۴۷/۴۴، ۴۷/۱۵، ۴۶/۵ در وضعیت بد تا متوسط قرار دارد. بیشترین ارزش وزنی را پارامترهای اکسیژن محلول، کلیفرم و COD دارد. فاضلاب یکی از پارامترهای اصلی درآلودگی رودخانه است.
۳	مددی‌نیا و همکاران (۱۳۹۳)	بررسی کیفیت آب رودخانهٔ کارون در بازهٔ اهواز درطول سال ۱۳۸۶	استفاده از شاخص NSFWQI و داده‌های ماهانه در ۴ ایستگاه کیان‌آباد، ملی‌راه، پل‌سیاه و کوت‌عبداله	کیفیت ماهانهٔ آب در گسترهٔ 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 کمّی، کیفی و تعیین بار آلودگی زهکش های کشاورزی در دز و کارون	نمونه‌برداری میدانی در ۴ فصل از ۲۴ نقطهٔ ورودی زهاب درسال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۳ (درمجموع ۹۶ نمونه)	آلاینده‌های کشاورزی با حجمی معادل ۲۳۷۴ میلیون مترمکعب در سال باعث ایجاد بار آلودگی ازنوع TDS و NO3 به‌ترتیب با حجم ۱۱۸۶۲ و ۶۵/۵۱ تن در روز شده است. بازهٔ رودخانهٔ دز بیشترین سهم را ازنظر حجم زهاب و بار آلودگی دارد.

ردیف	نویسندگان	هدف مقاله	مواد و روش‌ها	نتایج
٥	نوری و همکاران (۱۳۹٥)	بررسی مهم ترین پارامترهای کیفی در تغییرات فصلی کیفیت آب رودخانهٔ کارون	استفاده از دو روش PCA و PFA بررسی داده‌های ۹ پارامتر فیزیکی –شیمیایی در ٥ 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.
٦	مروج و همکاران (۱۳۹٦)	ارزیابی کیفیت آب رودخانهٔ کارون و مدل سازی سری زمانی کیفیت آب	استفاده از شاخص NSFWQI و روش میان یابی کریجینگ برای نقشه‌سازی داده‌های ماهانه در طی سال‌های ۱۳۸٦ تا ۱۳۹۱ برای ٤ ایستگاه گتوند، ملاثانی، اهواز و دارخوین	مقدارهای متوسط شاخص در ایستگاه‌ها به‌ترتیب برابر با ٦۰/۷۸، ٥٦/٤، ٥٦/۲۷ و ٥۷/۳ است. ایستگاه‌های گتوند و دارخوین در زمستان بهترین کیفیت را دارد؛ درحالی که ایستگاه‌های ملاثانی و اهواز در همین فصل در پایین ترین سطح کیفی قرار دارد.
۷	حسین نژاد و همکاران (۱۳۹۷)	بررسی روند تغییرات کمّی و کیفی در حوضهٔ کارون بزرگ از بالادست تا پایین‌دست	داده‌ها در ۱٦ ایستگاه در دورهٔ زمانی ۳۷ ساله (۱۳٥۳ تا ۱۳۹۷) بررسی شد.	کیفیت آب شرب در ایستگاه‌ها از بالادست به سمت خروجی حوضهٔ کارون بزرگ کاهش یافته و بدترین کیفیت مربوط به ایستگاه‌های اهواز، گتوند و شوشتر است.
۸	شطی و آخوند علی (۱۳۹۸)	ارزیابی روند تغییرات هدایت الکتریکی آب رودخانهٔ کارون برای بررسی تأثیرات آبگیری سد گتوند علیا بر کیفیت آب در بازهٔ زمانی ۱۳۸۰ تا ۱۳۹٥	استفاده از آزمون من-کندال و تیت به‌ترتیب برای بررسی روند و تعیین نقطهٔ شکست استفاده از شاخص SDI برای محاسبهٔ خشکسالی هیدرولوژیک سری‌های زمانی	علت اصلی افزایش چشمگیر هدایت الکتریکی کاهش شدید جریان رودخانه از سال آبی ۱۳۸٦-۱۳۸۷ و تداوم آن بوده است. کیفیت آب در محل سد تنظیمی گتوند تغییر ملموسی نسبت به شرایط قبل از آبگیری نداشته است.
۹	هوشمند و اگدرنژاد (۱٤۰۰)	ارزیابی کیفی رودخانهٔ کارون براساس داده‌های ۱۰ ساله (۱۳۸۸ تا ۱۳۹۷)	استفاده از شاخص IRWQIsc و NSFWQI در ۳ ایستگاه ملاثانی، اهواز و فارسیات	کیفیت رودخانه براساس شاخص IRWQIsc بین ۳۹ تا ٤۸ و براساس شاخص NSFWQI بین ٥٥ تا ٦۲ قرار داشته است که به‌ترتیب در گروه به‌نسبت بد-متوسط و متوسط جای می‌گیرد.
۱۰	آقاجانلو و همکاران (۱٤۰۱)	ارزیابی کیفیت آب رودخانهٔ کارون درطول سال ۱۳۹۷	بررسی کیفیت آب رودخانهٔ کارون با استفاده از دو شاخص IRWQI و WAWQI در ۲ ایستگاه ملاثانی و اهواز	بدترین و بهترین وضعیت برای شاخص IRWQI ۳۲/۷٥ (آذرماه اهواز) و ٤۲/٥۱ (تیرماه ملاثانی) و بدترین و بهترین وضعیت برای شاخص WAWQI ۸٥/۸۹ (اردیبهشت ماه اهواز) و ٤۹/۰٤ (تیرماه ملاثانی) بوده است. وضعیت رودخانه به‌سمت پایین‌دست به‌دلیل ورود فاضلاب‌های صنعتی به‌ویژه واحدهای کشت و صنعت، کارخانه‌های نیشکر و نیروگاه‌های حرارتی حاشیه افت می‌کند.

ردیف	نویسندگان	هدف مقاله	مواد و روش‌ها	نتایج
				به‌دلیل 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 (۱٤۰۲)	ارزیابی تناسب کیفیت آب رودخانهٔ کارون و دز برای مصرف های شرب و کشاورزی	در ۱۲ ایستگاه (۸ ایستگاه در کارون و ٤ ایستگاه در دز) از ۱۲ پارامتر کیفیت آب در بازهٔ زمانی ۱۷ ساله (۱۳۹۸–۱۳۸۲) استفاده شد.	– کیفیت آب رودخانهٔ کارون و دز از سال ۱۳۸۲ تا ۱۳۸٦ به‌ترتیب در طبقهٔ بسیار ضعیف و ضعیف (۷۵ – ۱۰۰) از سال ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۷ در طبقهٔ نامناسب و بسیار ضعیف (بیشتر از ۱۰۰) است. – منشأ اصلی کیفیت نامناسب آب فعالیت‌های انسانی مانند تخلیهٔ زباله و فاضلاب خانگی، پساب صنایع و استفادهٔ بیش از حد از کود و سموم دفع آفات در کشاورزی است.
۱۲	انصاری و یوسفی (۱٤۰۳)	تحلیل روند تغییرات کیفیت آب رودخانهٔ کارون در بازهٔ زمانی ۲۰ ساله (۱۳۷۷ تا ۱۳۹٦) در دو فصل مرطوب و خشک	۵ پارامتر در ٤ ایستگاه گتوند، شوشتر، ملاثانی و اهواز بررسی شد. از آزمون من–کندال و GIS به‌ترتیب برای بررسی روند کیفیت آب رودخانه و ترسیم نقشه های آن استفاده شد.	پارامترهای TDS، Na، Cl و EC روندی افزایشی داشته که نشان‌دهندهٔ ورود فاضلاب و پساب‌های صنعتی و کشاورزی است. کمترین مقدار شوری در فصل مرطوب مربوط به ایستگاه گتوند با ۷۰۱ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر در سال ۸۱–۸۲ و بیشترین مقدار مربوط به ایستگاه اهواز با ۲۸۰٦ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر در سال ۸۸–۸۷ در فصل خشک است. خشکسالی‌های اخیر که سبب کاهش دبی شده نیز در افزایش میزان املاح مؤثر بوده است.
۱۳	خدابخشی و مازندرانی (۱٤۰۳)	بررسی تأثیر طرح جامع فاضلاب شهر اهواز بر کیفیت آب رودخانهٔ کارون	استفاده از مدل QUAL2Kw برای شبیه‌سازی تغییرات کیفی آب در ۲۸ کیلومتر از مسیر رودخانهٔ کارون (حد فاصل زرگان و کوت‌عبداله)	اجرای کامل طرح جامع فاضلاب شهر اهواز می‌تواند باعث کاهش BOD، نیتروژن آلی و فسفر آلی به ترتیب به مقدار ۳/۵ میلی‌گرم بر لیتر، ۱۹۱ و ۱۰۰ میکروگرم بر لیتر شود.
۱٤	نژاد افضلی و بیاتانی (۱٤۰۳)	پهنه‌بندی پارامترهای کیفیت رودخانهٔ کارون در حیطهٔ کلانشهر اهواز و ارائهٔ نقشه‌های توزیع مکانی–زمانی هریک	استفاده از شاخص NSFWQI بررسی داده های سالانه در سال های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹٤ در ٦ ایستگاه عرب‌اسد، ولی‌آباد، بامدژ، ملاثانی، اهواز و فارسیات	مقدارهای شاخص NSFWQI در رودخانهٔ کارون برای سال ۱۳۹۲ بین ٤۵ تا ۵۳ (وضعیت متوسط تا بد)، برای سال ۱۳۹۳ بین ٤۵ تا ۵۰ (وضعیت متوسط تا بد) و برای سال ۱۳۹٤ بین ٤۵ تا ٤۷ (وضعیت بد) است.

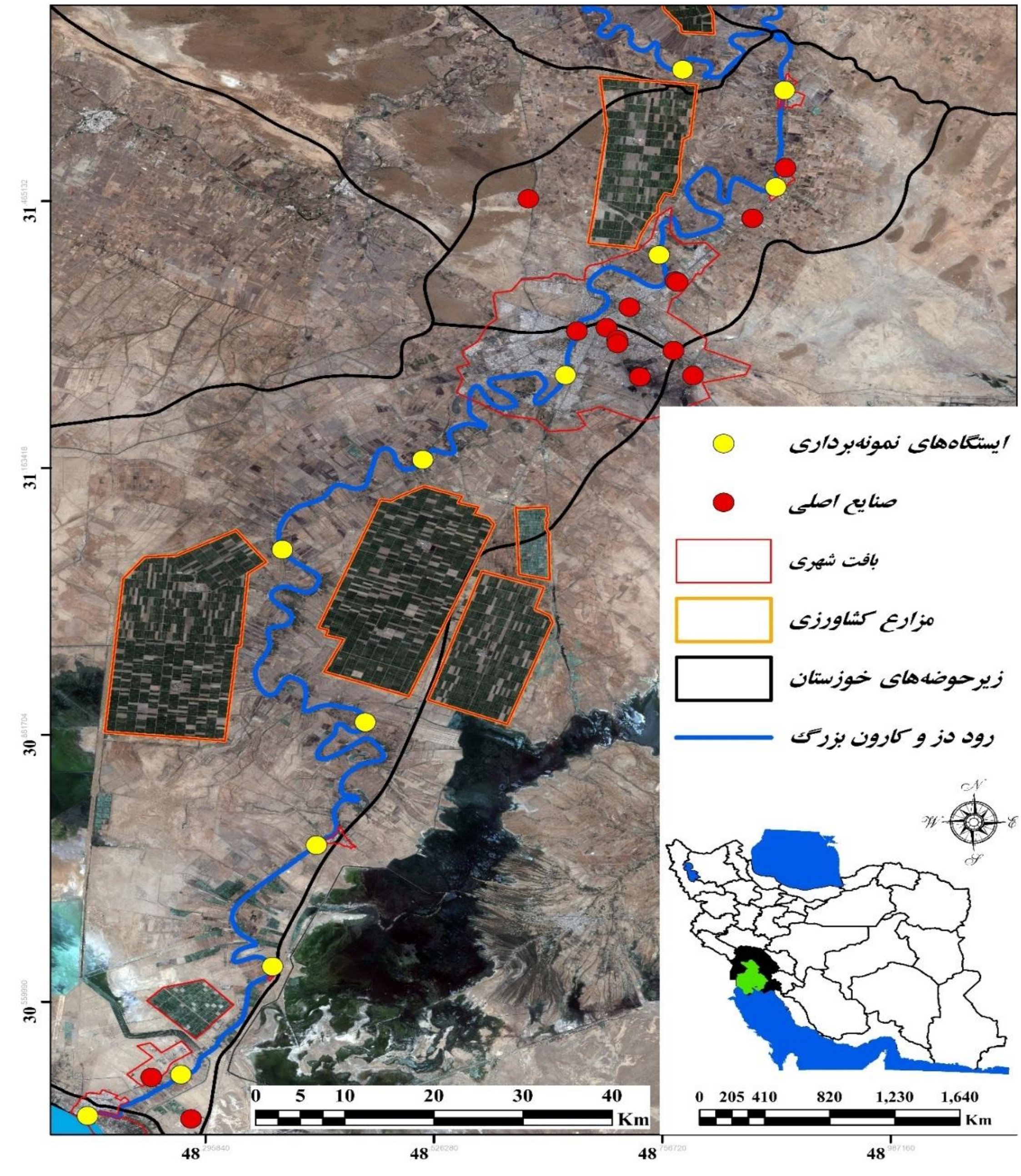
منبع: نگارنده

بررسی‌های صورت‌گرفته نشان می‌دهد که مطالعات دربارهٔ کیفیت آب رودخانهٔ کارون با تعداد ایستگاه‌های کم و محدود و بیشتر پیرامون شهرهای بزرگی همچون اهواز و خرمشهر انجام گرفته است و تغییرات رخ‌داده تمامی طول رودخانهٔ کارون بزرگ را پوشش نمی‌دهد. به‌علاوه در بیشتر مطالعات انجام‌شده وضعیت کیفیت آب تنها در محل ایستگاه‌های نمونه‌برداری بررسی و از ارائهٔ نمایی برای بررسی کلی وضعیت رودخانه صرف‌نظر شده است.

با توجه به نقش مهم رودخانهٔ کارون بزرگ (از محل اتصال دو رودخانه دز و کارون تا اتصال به اروند رود) 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 رودخانهٔ کارون بزرگ پرداخته‌اند. در این زمینه، ۱۱ پارامتر استفاده‌شده در شاخص کیفیت آب IRWQIsc در ۱۲ نقطه نمونه‌برداری درطول منطقهٔ مطالعه‌شده پایش شد. هدف‌های این مطالعه شامل پهنه‌بندی و نمایش وضعیت موجود و تغییرات مکانی پارامترهای کیفیت آب درطول رودخانهٔ کارون بزرگ با استفاده از روش رگرسیون کاربری زمین، بررسی میزان رابطهٔ میان پارامترهای کیفیت آب و گروه‌بندی ایستگاه‌های نمونه‌برداری براساس میزان کیفیت است.

معرفی منطقهٔ مطالعه‌شده

منطقهٔ بررسی‌شده در این مطالعه رودخانهٔ کارون بزرگ بوده که حاصل اتصال دو سرشاخه از رودخانهٔ کارون به رودخانهٔ دز است (شکل ۱). کاربری‌های صنعتی، شهری و کشاورزی بزرگ و چشمگیری در مسیر این رودخانه قرار گرفته است و موجب آلودگی آن می‌شود. حوضهٔ رودخانهٔ کارون وسعتی قریب ٤٥۲۲۱ کیلومتر مربع دارد (ادارهٔ کل حفاظت محیط زیست استان خوزستان، ۱۳۸۳). قسمتی از این حوضه که در استان خوزستان واقع شده است آب‌وهوای گرم و خشک همراه با سازندهای تبخیری و شورکننده در دامنه‌های جنوبی زاگرس دارد. حوضهٔ آبریز کارون و دز درمجموع، 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 ازجمله 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 جدّی در کیفیت آب مصرفی برای شرب و حتی مصرف‌های کشاورزی و صنعتی می‌شود.



شکل ۱: محدودهٔ مطالعه‌شده و ایستگاه‌های نمونه‌برداری (منبع:نگارنده)

Figure 1: Study area and sampling stations

نمونه‌برداری و محاسبهٔ شاخص کیفیت آب

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

علاوه‌بر پراکندگی مناسب درطول رودخانهٔ مطالعه‌شده با محل ورود آلاینده‌ها به رودخانه نیز مرتبط باشد. ازجمله مهم‌ترین منابع آلایندهٔ محدودهٔ مطالعه‌شده می‌توان به شهرهای اهواز، ملاثانی، کشت و صنعت‌های وسیع نیشکر و شهرک‌های صنعتی پیرامون شهرهایی همچون آبادان و خرمشهر اشاره کرد. برای هریک از نمونه‌ها پارامترهای اکسیژن‌خواهی زیستی (BOD5)، 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^-)، 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 معرّف وضعیت منطقه به دست آید (Rakotondrabe et al., 2018). نمونه‌ها پس از جمع‌آوری در دمای کمتر از ٤ درجهٔ 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 نشان‌دهندهٔ وضعیت آب در ارتباط با نیازهای یک یا چندگونهٔ زیستی یا انسانی یا هر هدف دیگری است. در این مطالعه از شاخص کیفیت آب IRWQIscکه به‌عنوان یک شاخص مبنای کیفیت برای آب‌های سطحی ایران است، استفاده شد. برای محاسبهٔ شاخص کیفیت آب براساس ۱۱ متغیر و وزن‌های جدول ۲ ابتدا مقدار هر زیرشاخص با استفاده از منحنی‌های رتبه‌بندی مربوط به دست آمد و درنهایت، شاخص کیفیت آب براساس رابطهٔ زیر محاسبه شد.

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

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

متغیر	وزن	متغیر	وزن
کلیفرم مدفوعی	۰/۱٤۰	سختی کل	۰/۰۵۹
نیترات	۰/۱۰۸	هدایت الکتریکی	۰/۰۹٦
اکسیژن محلول	۰/۹۷	BOD_5	۰/۱۱۷
آمونیوم	۰/۰۹۰	COD	۰/۰۹۳
فسفات	۰/۰۸۷	pH	۰/۰۵۱
کدورت	۰/٦۲		

منبع: سازمان حفاظت محیط زیست، ۱۳۹۲ب

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

$$y = \sum_{i}^{n} = 0^{w_i}$$

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

تجزیه‌وتحلیل‌های آماری

ضریب همبستگی

ضریب همبستگی یک ابزار آماری مهم برای ارائهٔ درجهٔ وابستگی یک متغیر به متغیرهای دیگر است (Belkhiri et al., 2011). مقدار ضریب همبستگی از ۱ + تا ۱− بسته به رابطهٔ 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 زیرمجموعهٔ 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 فاصلهٔ 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 فاصلهٔ میانگین در نرم‌افزارR 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 درطول 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 رودخانهٔ 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 توسعهٔ 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 حاشیهٔ میان ابر صفحهٔ جداکننده و داده‌های نقطه‌ای نزدیک‌تر به ابر صفحه را به حداکثر می‌رساند.

در این مطالعه از باندهای ۱ تا ۷ تصویر ماهوارهٔ سنتینل۲ که با فاصلهٔ زمانی ۲ روز از نمونه‌برداری از منطقهٔ مطالعه‌شده برداشت شده است، برای انجام‌دادن 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.

تجزیه‌وتحلیل و یافته‌های پژوهش

در این پژوهش پارامترهای لازم شاخص کیفیت آب IRWQIsc در محدودهٔ رودخانهٔ کارون بزرگ برای ۱۲ ایستگاه نمونه‌برداری در اردیبهشت ماه سال ۱٤۰۱ 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 رودخانهٔ 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، ۱۳۹۲الف) برای شرب تنها ایستگاه ۳ در استاندارد گروه اول قرار داشته است و سایر ایستگاه‌ها در گروه دوم جای می‌گیرد.

جدول۳: نتایج اندازه‌گیری پارامترهای شاخص IRWQI

Table 3: Measurement results of IRWQI index parameters

اسم ایستگاه/ پارامتر	ایستگاه ۱	ایستگاه ۲	ایستگاه ۳	ایستگاه ٤	ایستگاه ٥	ایستگاه ٦	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
BOD5 (mg/L)	20	30	29	20	27	22	31	26	33	34	23	29
NO3 (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
PO4 (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

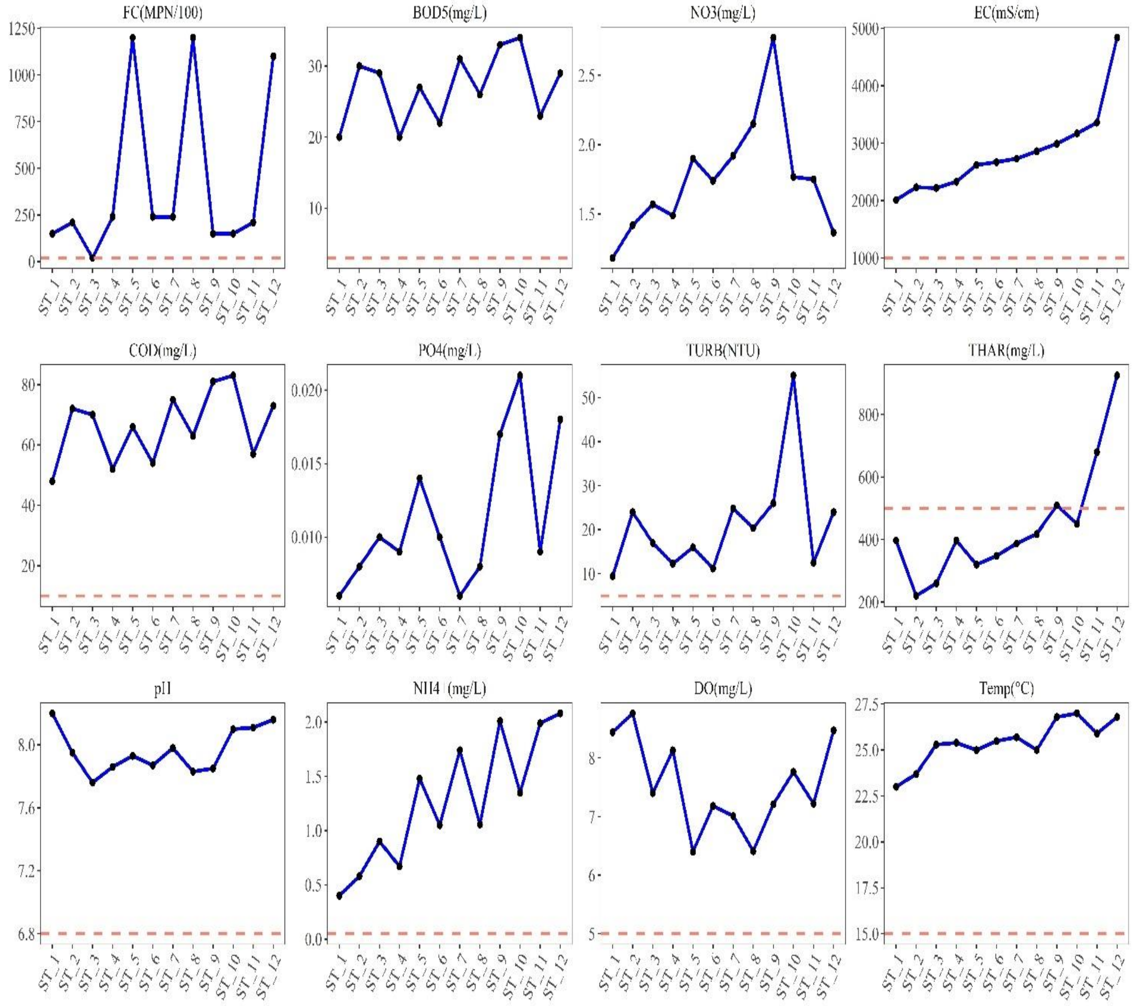
منبع: نگارنده

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

BOD_5 مقدار اکسیژنی است که زیستمندان کوچک برای تجزیهٔ ترکیبات آلی به‌مدت ۵ روز در آزمایشگاه استفاده می‌کنند (Tian et al., 2019). از این رو، BOD_5 نشان‌دهندهٔ آلودگی‌های آلی است؛ به‌طوری که مقدارهای بیشتر آلودگی‌های بیشتری را نشان می‌دهد (Bora & Goswami, 2017). این پارامتر در رودخانهٔ کارون بزرگ دامنه‌ای میان ۲۰ تا ۳٤ میلی‌گرم بر لیتر دارد که از آستانهٔ استاندارد کیفیت آب‌های ایران برای شرب گروه سوم (۷ میلی‌گرم در لیتر) نیز بیشتر است. COD نیاز به اکسیژن را درطول اکسیداسیون مواد شیمیایی معدنی و تجزیهٔ مواد آلی پیش‌بینی می‌کند. مقدارهای COD در این مطالعه از ٤۸ تا ۸۳ میلی‌گرم بر لیتر متغیر بود که به‌طور کلی در دسته‌های کیفیت متوسط و ضعیف براساس استاندارد کیفیت آب‌های ایران قرار می‌گیرد.

محتوای نیترات (NO_3^-) آب در محدودهٔ مطالعه‌شده بین ۱/۱۸۵ میلی‌گرم در لیتر برای ایستگاه ۱ تا ۲/۷۷۰ میلی‌گرم در لیتر برای ایستگاه ۹ متغیر بود. در تمامی ایستگاه‌ها مقدارهای NO_3^- نمونه‌های آب بسیار کمتر از ۵۰ میلی‌گرم در لیتر (مقدار آستانهٔ 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 تصفیهٔ هوازی درنظر گرفته شده به‌منظور تصفیهٔ فاضلاب خانگی مهم است. به‌طور کلی، مقدار استاندارد مناسب برای این پارامتر بیش از ۵ میلی‌گرم در لیتر است. مقدارهای اکسیژن محلول نمونه‌های آب از ٦/٤ تا ۸/۷٦ میلی‌گرم در لیتر متغیر بود. هدایت الکتریکی (EC) آب با غلظت مواد جامد محلول در آب مرتبط است. مقدارهای EC رودخانهٔ کارون بزرگ در محدودهٔ ۲۰۱۰ تا ٤۸٤۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر به‌ترتیب برای ایستگاه‌های ۱ و ۱۲ متفاوت است که مقدارهای بیشتر از استاندارد کیفیت آب‌های ایران را برای شرب (۲۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر) نشان می‌دهد.

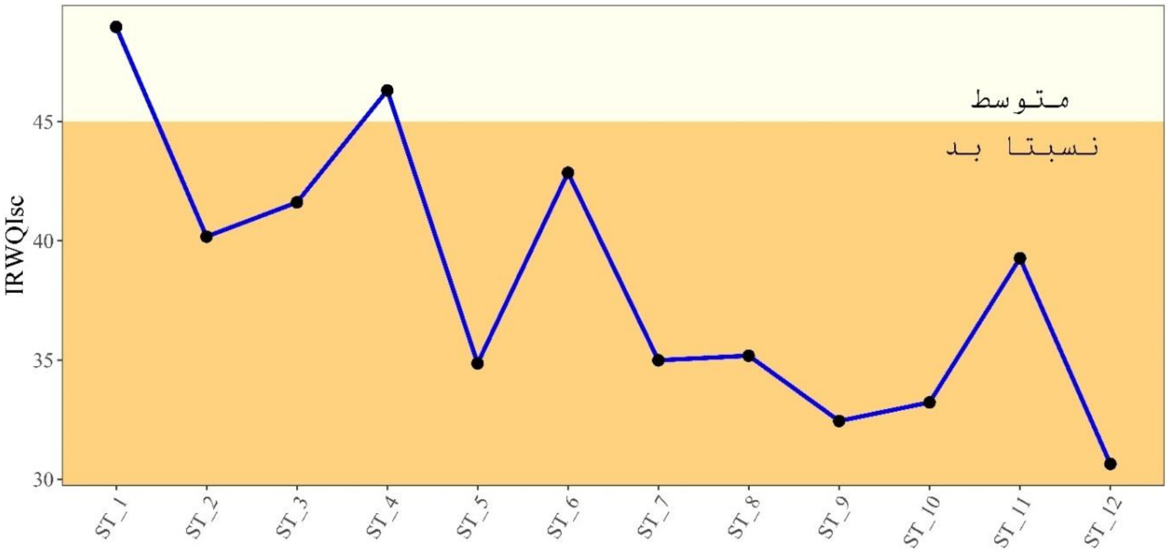
مقدارهای آمونیوم اندازه‌گیری‌شده در پژوهش حاضر در رودخانهٔ کارون بزرگ شامل مقدارهای مابین ۰/٤ میلی‌گرم در لیتر برای ایستگاه ۱ تا ۲/۰۸ میلی‌گرم بر لیتر برای ایستگاه ۱۲ است. در این رابطه به‌طور کلی با پیش‌روی به‌سمت پایین‌دست میزان آمونیوم نیز افزایش می‌یابد و در ایستگاه‌های ۷، ۹ و ۱۲ بیشتر از استانداردهای شرب و کشاورزی قرار می‌گیرد. مقدارهای اندازه‌گیری‌شده برای فسفات از ۰/۰۰٦ تا ۰/۰۲۱ میلی‌گرم بر لیتر بود که به‌طور کلی مقدارها کمتر از استاندارد شرب (۵ میلی‌گرم بر لیتر) است. کدورت در این مطالعه از ۹/٤۵ تا ۵۵ NTU متغیر بود که همگی بیشتر از استاندارد کیفیت آب برای شرب (۵NTU) است. سختی کل (THAR) مقدارهایی میان ۲۲۰ تا ۹۲۵ میلی‌گرم بر لیتر را دربرمی‌گیرد. حداکثر مقدار سختی کل متعلق به ایستگاه ۱۲ است و پس از آن تنها دو ایستگاه ۱۱ (٦۸۰ میلی‌گرم بر لیتر) و ۹ (۵۱۰ میلی‌گرم بر لیتر) مقدارهای بیشتر از استاندارد آب شرب (۵۰۰ میلی‌گرم 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. به‌علاوه، این پارامتر تأثیرات عمیقی بر کیفیت آب دارد و بر حلالیت فلزات، سختی و قلیایی آب تأثیر می‌گذارد (Şener et al., 2017). مقدارهای pH نمونه‌های رودخانهٔ کارون بزرگ از ۷/۷٦ 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 آستانهٔ استاندارد برای آب شرب (منبع: نگارنده)

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

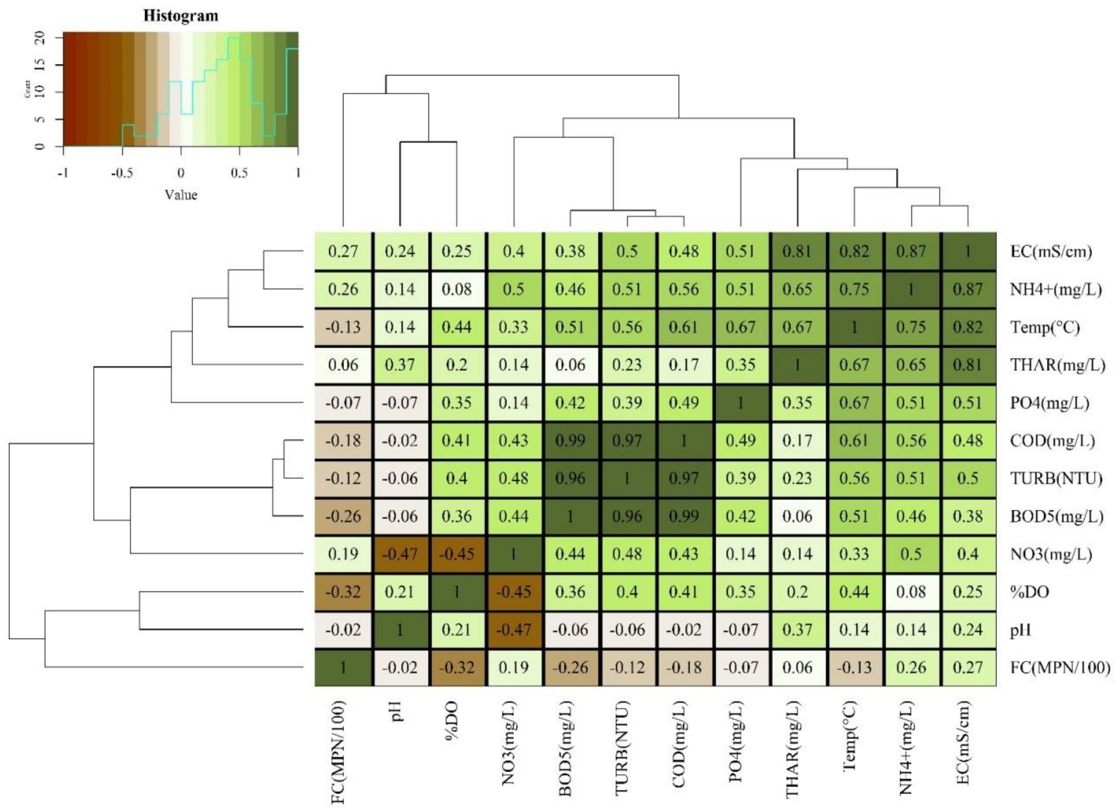
نتایج شاخص WQI محاسبه‌شده از پارامترهای گفته‌شده که در شکل ۳ ارائه شده است، نشان‌دهندهٔ روندی افزایشی از ایستگاه ۱ به‌سمت ایستگاه ۱۲ است. مقدارهای WQI از ۳۰/۶۵ در ایستگاه ۱۲ تا ۴۸/۹۸ در ایستگاه ۱ متغیر بود. براساس دسته‌بندی ارائه‌شده برای شاخص کیفیت آب ایستگاه‌های ۱ و ٤ در دستهٔ کیفیت متوسط و مابقی ایستگاه‌ها در دستهٔ به‌نسبت بد قرار می‌گیرد.



شکل۳: تغییرات مکانی شاخص IRWQI در رودخانهٔ کارون بزرگ (منبع: نگارنده)

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

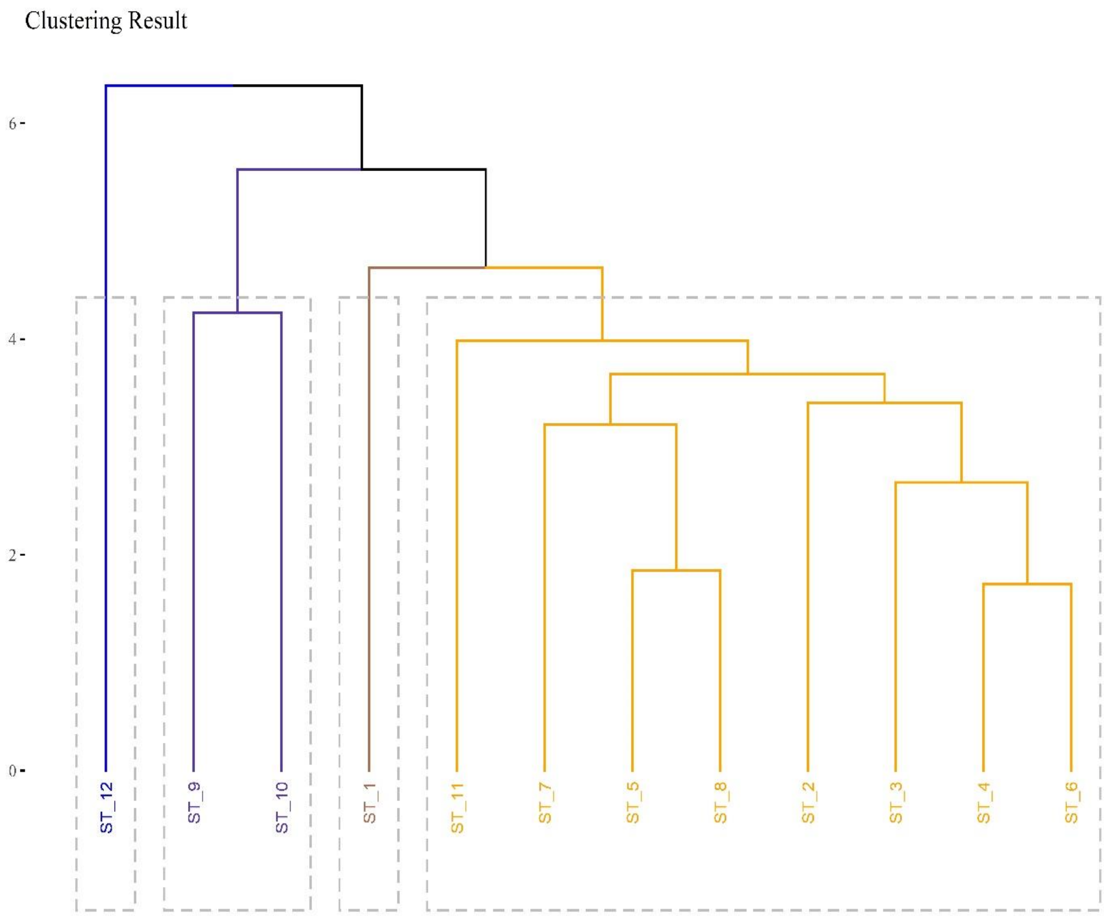
همبستگی اسپیرمن با استفاده از نرم‌افزار R برای درک تـأثیر پارامترهـای کیفیـت آب اعمـال شـد. تجزیـه‌وتحلیـل ماتریس همبستگی نشان‌دهندهٔ همبستگی مثبت چشمگیر بین آمونیوم و هدایت الکتریکی (۰/۸۷) بود. بر ایـن اسـاس، افزایش غلظت آمونیوم به‌طور مستقیم با افزایش هدایت الکتریکی مرتبط است که احتمالاً ناشی از ورود فاضلاب‌هـای شهری و صنعتی به رودخانه است. علاوه بر این، همبستگی مثبت دیگری بین سختی کـل و هـدایت الکتریکـی بـا ضـریب ۰/۸۱ وجود دارد که نشان می‌دهد افزایش غلظت یون‌هـای کلسـیم و منیـزیم در آب بـه‌طـور مسـتقیم بـر افـزایش هـدایت الکتریکی تأثیر می‌گذارد. این رابطه می‌تواند به‌عنوان یک شاخص مهم برای شناسایی منابع آلاینده‌هـای معـدنی در رودخانـهٔ کارون بزرگ (فاضلاب‌های صنعتی و رواناب‌های کشاورزی) استفاده شـود. ایـن موضـوع نشـان‌دهنـدهٔ تـأثیر مـواد معـدنی محلول در آب بر افزایش هدایت الکتریکی است. همچنین، همبستگی مثبت بین COD، BOD و کدورت مشـاهده شـد کـه نشان‌دهندهٔ تأثیر مواد آلی و آلاینده‌های شیمیایی بر کدورت آب است. ورود فاضلاب‌هـای شـهری و صـنعتی بـه رودخانـه باعث افزایش غلظت مواد آلی و شیمیایی در آب می‌شود. این مواد به‌صورت ذرات معلق در آب بـاقی مـی‌مانـد و کـدورت آب را افزایش می‌دهد. به‌علاوه، رواناب‌های کشاورزی حاوی کودها و آفت‌کش‌هاست که مـی‌توانـد بـه‌عنـوان مـواد آلـی و شیمیایی در آب حل شود یا به‌صورت ذرات معلق باقی بماند و کدورت آب را افزایش دهد. پارامترهایی همچون آمونیـوم و فسفات، هدایت الکتریکی و فسفات نیز همبستگی به‌نسبت زیادی با یکدیگر دارند. منشأ اصلی این آلاینده‌ها درمنطقه بیشـتر شامل فاضلاب‌های شهری، رواناب‌های کشاورزی (حاوی کودهـای نیتروژنـه و فسـفره) و پسـاب‌هـای صـنعتی مـی‌شـود. علاوه‌بر همبستگی مستقیم زیاد میان برخی از پارامترها و برخی دیگر نیز همبستگی معکوس (منفی) وجود داشـت. شـکل ٤ نشان می‌دهد که pH و درصد اکسیژن محلول همبستگی منفی به‌نسبت خوبی با نیترات دارد که می‌تواند بـه‌دلیـل فرآینـدهای اکسیداسیون و کاهش نیترات در حضور اکسیژن محلول باشد.



شکل ٤: نمودار همبستگی میان پارامترهای کیفیت آب رودخانهٔ کارون بزرگ (منبع: نگارنده)

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

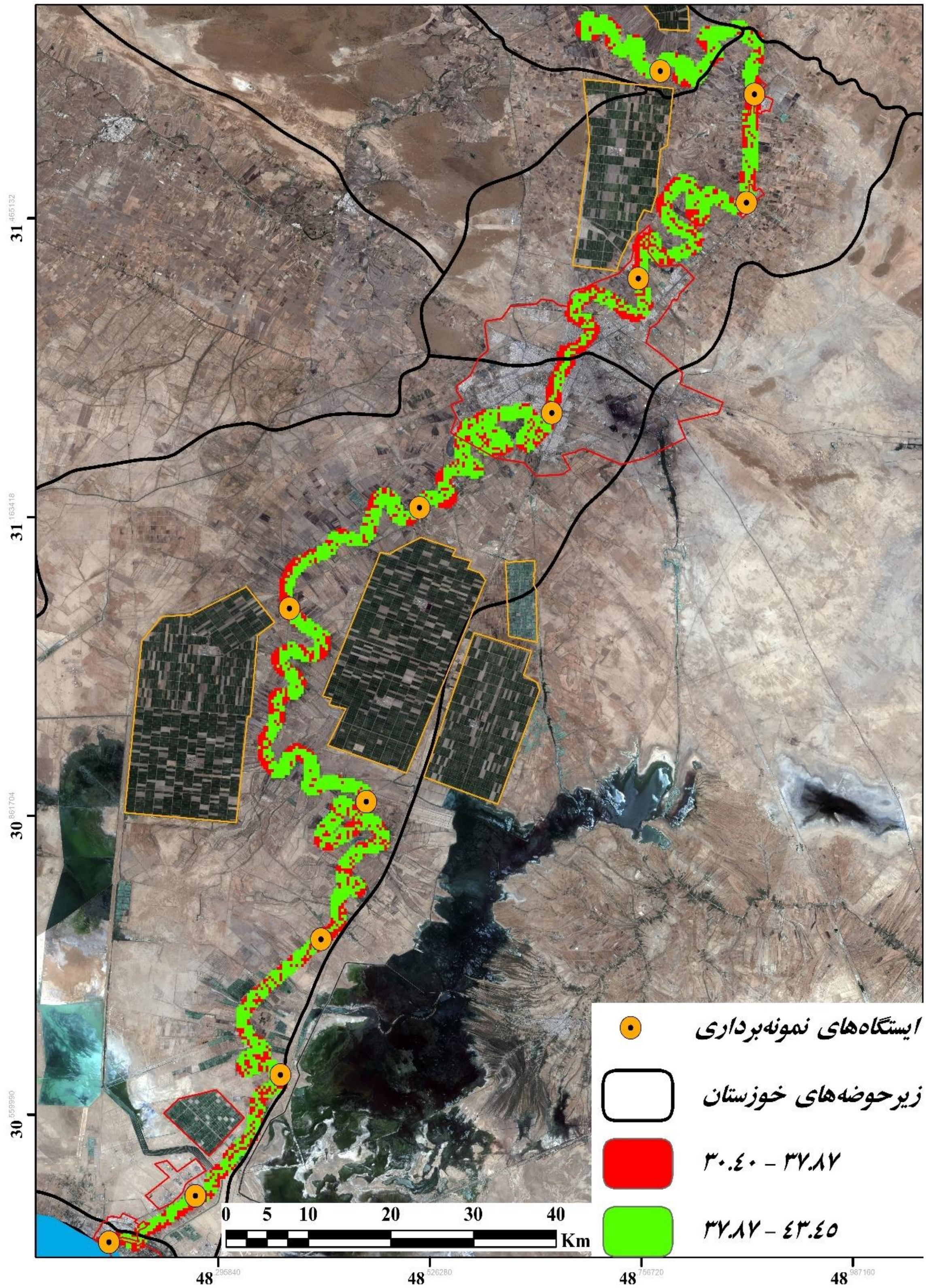
نتیجهٔ آنالیز خوشه‌بندی در شکل ۵ نمایش داده شده است. بر این اساس، ایستگاه‌های ۱ و ۱۲ هرکدام در خوشه‌ای جداگانه قرار می‌گیرد که همسو با نتایج به‌دست‌آمده از شاخص کیفیت آب نیز است. ایستگاه ۱ کمترین میزان BOD_5، COD، NO_3^-، EC، PO_4^-، TURB، NH_4^+ و بیشترین میزان pH را درمیان تمامی ایستگاه‌های بررسی‌شده 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 می‌گیرد و سایر ایستگاه‌ها نیز تنها خوشهٔ باقی‌مانده را تشکیل می‌دهد. شکل ۵ نشان می‌دهد که ایستگاه ۱۱ برخلاف نزدیکی مکانی به ایستگاه ۱۲ شباهت بیشتری به ایستگاه ۱ دارد. این موضوع می‌تواند نشان‌دهندهٔ فرصت کافی رودخانه برای خودپالایی آلاینده‌های واردشده به آن از ایستگاه‌های ۹ و ۱۰ باشد. علاوه بر این، خوشه‌بندی نشان داد که میانگین CODدر خوشهٔ ایستگاه‌های ۹ و ۱۰ برابر با ۸۱ میلی‌گرم در لیتر و میانگین هدایت الکتریکی برابر با ۳۰۸۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر است که بیشترین آلودگی را نشان می‌دهد. درمقابل، میانگین COD در خوشهٔ ایستگاه‌های ۱ و ۲ برابر با ۶۰ میلی‌گرم 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.



شکل۵: نمودار خوشه‌بندی پارامترهای کیفیت آب (منبع: نگارنده)

Figure 5: Clustering plot of water quality parameters

نقشهٔ پهنه‌بندی کیفیت آب رودخانهٔ کارون بزرگ در شکل ٦ ارائه شده است. آماره‌های صحت‌سنجی R^2 و RMSE به‌ترتیب برابر با ۷۸/۸۵ و ۳/۵۸ محاسبه شد. همان‌طور که در شکل ٦ نیز مشهود است، براساس روش رگرسیون کاربری زمین تمامی طول رودخانه در وضعیت به‌نسبت بد پهنه‌بندی شده است. به‌طور کلی، براساس دسته‌بندی شاخص کیفیت آب ایران وضعیت کیفیت آب از ابتدای رودخانهٔ 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 ارائهٔ دیدگاه‌های ارزشمند دربارهٔ اثرهای بالقوهٔ تغییرات کاربری زمین و گسترش فعالیت‌های انسانی بر کیفیت آب است.



شکل ٦: وضعیت کیفیت آب براساس شاخص IRWQI برای محدودهٔ مطالعه‌شده در بهار ۱۴۰۱ (منبع: نگارنده)

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

به‌طورکلی، نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که علت اصلی کاهش کیفیت آب رودخانهٔ کارون بزرگ عواملی انسانی مانند رواناب کشاورزی، فاضلاب‌های خانگی و تخلیهٔ پساب صنایع است. در این زمینه Barakat et al (2016) با استفاده از داده‌های کیفیت آب از سال 2000 تا 2014 در ١٤ ایستگاه نمونه‌برداری درطول رودخانهٔ Oum Er Bia در کشور مراکش مطالعه‌ای انجام دادند و علت تغییرات کیفیت آب را بیشتر به بار آلودگی واردشده از منابع غیرنقطه‌ای همچون تخلیهٔ فاضلاب شهری نسبت داده‌اند. به‌علاوه خدابخشی و مازندرانی‌زاده (١٤٠٣) نیز در مطالعهٔ خود نشان دادند که با اجرای کامل طرح فاضلاب شهر اهواز غلظت BOD از مقدار ٦/١ به ٢/٦ میلی‌گرم بر لیتر، غلظت نیتروژن آلی از ٤٢٥ به ٢٣٤ میکروگرم بر لیتر، فسفر آلی از ١٣٥ به ٣٥ میکروگرم بر لیتر و غلظت اکسیژن محلول از ٥/٥٥ به ٦/٧٩ میلی‌گرم بر لیتر بهبود خواهد یافت. این درحالی است که نتایج به‌دست‌آمده از آنالیز همبستگی نشان‌دهندهٔ 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 رودخانهٔ Dongjiang در چین جایی که مقدارهای اکسیژن محلول در فصل خشک درمقایسه با فصل مرطوب بیشتر است، مطابقت دارد؛ به‌طوری که تفاوت اکسیژن محلول در فصل خشک و مرطوب بیش از ١٠ واحد بوده و عدد شاخص WQI را از ٥٩ در فصل خشک به ٧٠ در فصل مرطوب رسانده است. کلیفرم مدفوعی نوسان‌های بسیاری را درطول رودخانهٔ کارون بزرگ نشان می‌دهد. مقدارهای زیاد مشاهده‌شده در برخی از ایستگاه‌ها تخلیهٔ فاضلاب شهرهایی همچون اهواز و ملاثانی و نیز تخلیهٔ زهاب اراضی کشاورزی (به‌ویژه کشت نیشکر) به رودخانه است که با نتایج Mitch et al. (2010) همسوست. Mitch et al. (2010) با مطالعه بر رودخانهٔ 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 بیشینه به ٥٠٠٠ در ١٠٠ میلی‌لیتر می‌رسد. مقدارهای WQI محاسبه‌شده بین ٣٠/٦٥ و ٤٨/٩٨ در منطقهٔ مطالعه‌شده متغیر بود. نتایج نشان می‌دهد که به‌جزء دو ایستگاه ١ و ٤ (با وضعیت متوسط) سایر ایستگاه‌ها در وضعیت به‌نسبت بد قرار دارد. نتایج این بخش با مطالعهٔ سالاری و همکاران (١٣٩١) و حسین‌نژاد و همکاران (١٣٩٧) همخوانی دارد. سالاری و همکاران (١٣٩١) نشان دادند که ٤ ایستگاه بررسی‌شدهٔ آنها (اهواز، دارخوین، کوت‌امیر و زرگان) با دامنهٔ تغییرات شاخص کیفیت آب NSFWQI بین ٤٥/٠٥ تا ٤٧/١٨ در وضعیت بد تا متوسط قرار دارد. حسین‌نژاد و همکاران (١٣٩٧) نیز نشان دادند که ایستگاه‌های اهواز، گتوند و شوشتر در وضعیت C3S1 که ازنظر کشاورزی نشان‌دهندهٔ سدیم کم و شوری زیاد است، قرار دارد. در این مطالعه بیشینه و کمینه شاخص کیفیت آب IRWQIsc در ایستگاه ملاثانی برابر با ٤٦ و ٤١ و برای ایستگاه اهواز به‌ترتیب برابر با ٤٨ و ٤٠ محاسبه شد؛ با این حال پژوهش حاضر درمقایسه با نتایج مطالعهٔ هوشمند و اگدرنژاد (١٤٠٠) کیفیت آب رودخانه در محدودهٔ شهر اهواز (از ملاثانی تا فارسیات) افت نسبی داشته و یکدست‌تر نیز شده است؛ به این معنا که مقدارهای بیشینه 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) بـه ملاثـانی (کـارون بـزرگ) بـه اتصـال رودخانهٔ دز و ورود آلاینده‌ها در پـایین‌دسـت ایسـتگاه دزفـول (فاصـله‌ای حـدوداً ۱۰۰ کیلـومتری تـا محـل اتصـال رودخانه‌های دز و کارون) نسبت داده‌اند. درصورتی که نتایج مطالعهٔ حاضر نشان می‌دهد که کیفیـت آب رودخانـهٔ دز در فاصله‌ای ۲۰ کیلومتری تا اتصال به کارون بزرگ در طبقهٔ متوسط قرار دارد و در ایستگاه دوم (ملاثانی) دچار افت کیفیـت شدید می‌شود. علت این امر را می‌توان در تخلیهٔ پساب کشاورزی پس از ایستگاه اول تا ایستگاه دوم (ملاثانی) جسـت‌وجـو کرد. در این زمینه، ایلدرمی و همکاران (۱۴۰۲) در مطالعهٔ خود که براساس داده‌های ۱۷ ساله از ۱۳۸۲ تـا ۱۳۹۸ انجـام شـده است، نشان دادند که به‌طور میانگین شاخص کیفیت آب سازمان بهداشت جهانی در رودخانهٔ کـارون در وضـعیت نامناسـب (WQI>100) و در رودخانهٔ دز در وضعیت بسیار ضعیف (75<WQI<100) قرار دارد که علت اصـلی آن کیفیـت نامناسـب در ایستگاه‌های دار خوین سلمانیه ملاثانی اهواز و فارسیات است که همگی در رودخانهٔ کارون بزرگ قرار دارند. در مطالعـهٔ نظری و همکاران (۱۳۹۹) نیز که از شاخص‌هـای IRWQIsc و NSFWQI بـرای پـایش کیفیـت آب رودخانـه‌هـای اسـتان خوزستان درطول سال ۱۳۹۷ استفاده شده بود، دامنهٔ تغییرات شاخص IRWQIsc در رودخانـهٔ دز ۷۱ تـا ۸۳ و در رودخانـهٔ کارون ۳۹ تا ۵۵ و دامنهٔ تغییرات شاخص NSFWQI در رودخانهٔ دز ٦٥ تا ۷۷ و در رودخانهٔ کـارون ۵۸ تـا ٦٨ بـوده اسـت که نشان‌دهندهٔ کیفیت بهتر آب رودخانهٔ دز نسبت به رودخانهٔ کارون است.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش کیفیت آب رودخانهٔ کارون بزرگ از بالادست محل تخلیهٔ رود دز بـه کـارون بـزرگ تـا خروجـی بـه اروندرود در خرمشهر در ۱۲ ایستگاه و براساس شاخص کیفیت آب ایران ارزیابی شد. با توجه بـه نتـایج همبسـتگی، پارامترهای هدایت الکتریکی، آمونیوم، سختی کل و فسفات رونـدی افزایشـی از ایسـتگاه ۱ (بالادسـت محـل اتصـال رودخانهٔ دز به کارون بزرگ) تا ایستگاه ۱۲ (خرمشهر) داشـته اسـت. در ایـن زمینـه بـه‌جـزء فسـفات کـه در تمـامی ایستگاه‌ها مقدارهای کمتر از استاندارد دارد، سایر پارامترها حداقل در چند ایستگاه مقـدارهـای بیشـتر از اسـتاندارد را نشان می‌دهد. به‌طور کلی، این نمونه می‌تواند نشان‌دهندهٔ تأثیر منفی رواناب جاری‌شده از سمت روستاها (کشاورزی و انسانی) و شهرها (بیشتر انسانی) بر کیفیت آب رودخانه باشد؛ با این حـال پدیـدهٔ جـزر و مـد هـم مـی‌توانـد عـاملی تشدیدکننده برای افزایش ناگهانی و بیش از اندازهٔ هدایت الکتریکی به‌ویژه در ایستگاه ۱۲ باشد. به‌طـور کلـی، کیفیـت آب از ایستگاه ۹ (دارخوین) تا انتهای رودخانهٔ کارون بزرگ تحت‌تأثیر جزر و مد قرار دارد. افزایش دما نیز مـی‌توانـد باعث افزایش مقدارهای پارامترهای این دسته شود. پارامترهـای BOD، COD، نیتـرات و کـدورت مقـدارهـای بسـیار زیادی را در ایستگاه‌های ۹ (دارخوین) و ۱۰ (سلمانیه) ثبت کرده است و پس از آن روندی کاهشی را درپی می‌گیـرد. این پارامترها درطول مسیر خود نوسان‌های زیادی را نشان می‌دهد که علت اصلی آن را می‌توان فاصله از منـابع اصـلی آلاینده دانست. دلیل اصلی مقدارهای بـه‌نسـبت زیـاد پارامترهـای یـادشـده در ایسـتگاه‌هـای ۹ و ۱۰ را مـی‌تـوان بـه فعالیت‌های کشاورزی شدید (کشت و صنعت دهخدا) در بالادست نسبت داد. سـایر عوامـل همچـون فاضـلاب‌هـای شهری به‌احتمال، در رتبهٔ دوم ازلحاظ اهمیت قرار می‌گیرد. درصد اکسیژن محلول و میزان pH در چند ایسـتگاه 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 آلایندهٔ 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 نشان‌دهندهٔ تأثیر زیاد فعالیت‌های انسانی بر رودخانه است؛ بنابراین می‌توان گفت که منابع اصلی آلایندهٔ رودخانهٔ کارون بزرگ بیشتر انسانی بوده است و می‌تواند شامل فعالیت‌های دامپروری، تخلیهٔ زهاب کشاورزی فشرده در حاشیهٔ رودخانه و تخلیهٔ فاضلاب از قسمت‌های مسکونی و صنعتی منطقهٔ مطالعه‌شده باشد. نتایج آنالیز همبستگی اسپیرمن میان پارامترهای نمونه‌برداری‌شده نشان‌دهندهٔ تأثیر بسیار زیاد نمک‌ها بر کیفیت آب رودخانهٔ 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 دستهٔ مجزا قرار گرفته است و سایر ایستگاه‌های بررسی‌شده در دستهٔ ٤ جای می‌گیرد. این موضوع نشان‌دهندهٔ 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 رودخانهٔ کارون بزرگ به‌دلیل اثرهای منفی آلاینده‌های انسانی روبه وخامت 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 دربارهٔ استفادهٔ 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 منطقهٔ 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

ادارهٔ کل حفاظت محیط زیست استان خوزستان (۱۳۸۳). *طرح جامع کاهش آلودگی رودخانهٔ کارون* (گزارش تفصیلی). ادارهٔ کل حفاظت محیط زیست استان خوزستان.

آقاجانلو، کامله، حاجی‌زاده، احسان، و آریایی‌زاده، سحر (١٤٠١). ارزیابی کیفیت آب رودخانهٔ کارون برپایهٔ شاخص‌های IRWQI و WAWQI در دو ایستگاه ملاثانی و اهواز. *تحقیقات آب و خاک ایران*، *۵۳*(۲)، ۳٦٧–۳۸۰. https://doi.org/10.22059/ijswr.2022.333148.669115

انصاری، محمدرضا، و یوسفی، اشکان (١٤٠٣). تحلیل روند تغییرات کیفیت آب رودخانهٔ کارون با بهره‌گیری از آزمون ناپارامتری من-کندال و سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی (GIS). *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، *٤*(۲)، ۳۲٧–۳٤۲. https://doi.org/10.22098/mmws.2023.13312.1322

ایلدرمی، علیرضا، حسن‌زاده، نسرین، و هدایت‌زاده، فریبا (۱۴۰۲). ارزیابی جامع کیفیت آب‌های سطحی و تناسب آنها برای مصارف شرب و آبیاری: مطالعهٔ موردی حوضهٔ رودخانهٔ کارون و دز. *هیدروژئومورفولوژی*، *۱۰*(۳۴)، ۱–۳۱. https://doi.org/10.22034/hyd.2022.48704.1610

حسین‌نژاد بلکو، محمدحسن، ترابی‌پوده، حسن، و شاهی‌نژاد، بابک (۱۳۹۷). بررسی روند تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب در حوضهٔ 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 حوضهٔ آبریز رودخانه‌های کارون و دز. *علوم مهندسی و آبیاری (مجلهٔ علمی کشاورزی)*، *۳۹*(۳)، ۱۲۱–۱۳۴. https://doi.org/10.22055/jise.2016.12348

خدابخشی، فریبا، و مازندرانی‌زاده، حامد (۱۴۰۳). ارزیابی اثر طرح جامع فاضلاب شهر اهواز بر کیفیت آب رودخانهٔ 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 رودخانهٔ کارون به‌عنوان نشان‌دهندهٔ 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 کمّی و کیفی منابع آب رودخانهٔ کارون با استفاده از شاخص NSFWQI و روش AHP. *انسان و محیط زیست*، *۱۰*(۴)، ۱۳–۲۲. https://civilica.com/doc/1871670/

شطی، صفورا، و آخوندعلی، علی محمد (۱۳۹۸). تأثیرات آبگیری سد گتوند علیا بر کیفیت آب رودخاهٔ کارون. *سد و نیروگاه برق آبی ایران*، ۶(۲۱)، ۲۶–۳۶. 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 رودخانهٔ کارون در بازهٔ اهواز با استفاده از شاخص کیفی آب. *فصلنامهٔ 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 رودخانهٔ 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 رودخانهٔ کارون برمبنای شاخص کیفی NSFWQI و بهره‌گیری از سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی. *مطالعات علوم محیط زیست*، *۹*(۲)، ۸۲۵۱–۸۲۶۴. https://www.jess.ir/article_180301.html

نظری، اسلام، اگدرنژاد، اصلان، جلیل‌زاده، رضـا، و ینگجـه، رضـا (۱۳۹۹). پـایش کیفیـت آب رودخانـه‌هـای اسـتان خوزستان جهت مصارف شرب، صنعت و کشاورزی با استفاده از شـاخص‌هـای IRWQIsc و NSFWQI. *مجلـهٔ پژوهش در بهداشت محیط*، ٦(۲)، ۱۱۷–۱۳۳. https://doi.org/10.22038/jreh.2020.46257.1349

نوری، روح الله، وصالی ناصح، محمدرضا، و اکبرزاده، عباس (۱۳۹۵). بررسی تغییـرات فصـلی کیفیـت آب رودخانـهٔ کارون با استفاده از تحلیل‌های مؤلفه و فاکتور اصلی. *پژوهش‌های محیط زیست*، ۷(۱٤)، ۷۱–۸۰.
https://www.iraneiap.ir/article_45241.html

هوشمند، سارا، و اگدرنژاد، اصلان (۱٤۰۰). ارزیابی کیفیت آب رودخانهٔ کارون براسـاس شـاخص‌هـای NSFWQI و IRWQIsc و تعیین وزن پارامترهای مؤثر در این دو شاخص با آنالیز خوشه‌ای و تحلیل سلسله‌مراتبی. *اکوبیولوژی تالاب*، ۱۳(۳)، ٤۷–٦۰. 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., Aghezzaf, 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

Hossein 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