Water and Soil Management and Modeling

Online ISSN: 2783 - 2546

University of Mohaghegh Ardabili

Trend analysis of water quality changes of the Karun River using the Mann-Kendall test and geographic information system (GIS)

Mohammad Reza Ansari[1]*, Ashkan Yusefi [2]

[1] Assistance Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Agricultral Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Khuzestan, Iran

[2] Expert, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Agricultral Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Khuzestan, Iran

Abstract

Introduction

Accurate quantification of environmental trends must consider variation at different temporal scales when ignoring variation at one scale could lead to incorrect conclusions about variation at another scale. Many environmental monitoring programs collect temporally resolved but irregular time series data to quantify trends for regulatory, management, or research purposes. Conducting a study to understand the trends and predict future conditions in hydrological aspects such as river water quality is essential. During the last decades, river water quality monitoring has increased by measuring several water quality parameters. Therefore, the analysis of water quality trends is important in providing information about changes or variations in water quality through time series data .Furthermore, determining the quality status of water resources is necessary to adopt proper policies to prevent and enhance the reduction of water quality. Additionally, based on this information, it is possible to identify the quality of river water and implement protective measures to improve and manage rivers and drainage basins in a more integrated way. In recent years, the water quality of the Karun River has been affected by various pollutants, including agricultural runoff and industrial wastewater; Therefore, it seems necessary to monitor the quality of the river and the process of its changes over time and place to know the current situation and provide the necessary measures in the future. Therefore, this research analyzed the Karun River's water quality trend over 20 years at four water quality monitoring stations.

Materials and methods

To check the quality of river water in hydrometric stations, the obtained data were assessed from physical and chemical parameters, including Total Dissolved Solids (TDS), Electrical Conductivity (EC), Sodium adsorption ratio (SAR), Na, and Cl in 20 years from 1998 to 2017 in four hydrometric stations including Gotvand, Shushtar, Mollasani, and Ahvaz of Karun river in the wet season (first six months of the water year) and dry season (the second half of the water year). The process of river water quality and inspecting the changes were conducted using the Mann-Kendall test and a geographic information system, respectively. Wilcox's classification was used to check the water quality from an agricultural point of view, as there are relevant standards. By putting the sodium absorption ratio against salinity, Wilcox presents a chart for the water quality assessment for agricultural purposes and can classify water into different classes based on EC and SAR values.

Results and Discussion

According to the results, the river water salinity in the wet season in three hydrometric stations significantly increased. The increment was at the level of 10% at the Shushtar and Mollasani stations. However, at the Ahvaz station, it rose to the level of five percent. Due to the different annual rainfall amounts during the study period, the river water's electrical conductivity had relatively large fluctuations in all the investigated stations. The range of electrical conductivity (EC) alterations in the wet season was between 490 and 2800 µS/cm and in the dry season between 397 and 2806 µS/cm. TDS increased in the wet and dry seasons. Moreover, the p-value showed that the value of this statistic was significant at the level of 10% in the Shushtar and Mollasani stations and at the level of five percent in the Ahvaz station. The range of changes in the wet period was between 250 and 1750 mg/liter and in the dry period between 220 and 1700 mg/liter. The alterations in total dissolved solids were more in the wet

Water and Soil Management and Modeling

Online ISSN: 2783 - 2546

University of Mohaghegh Ardabili

than in the dry season and did not have a uniform trend. In fact, the decrease or increase in the amount of precipitation affected the intensity and weakness of the TDS amount during the year.

Conclusion

The results of the Mann-Kendall test showed that the parameters of TDS, SAR, Na, Cl, and EC increased during the last twenty years, indicating the expansion of the entry of sewage and industrial and agricultural effluents. According to the Wilcox index, water quality for agricultural purposes was in the average category in all the studied stations. Meanwhile, Na, Cl, and TDS parameters were in the average and inappropriate range in some years, being an alarm regarding the low water quality. Additionally, there is a risk of water quality decline in the investigated stations. In general, the watershed of the Karun River is noteworthy due to the presence of a large population, cities, and centers. Specifically, the city of Ahvaz and the heavy steel industries located in this watershed are important fundamental in terms of water consumption and producing pollutants affecting the quality of water resources, which faces many quantitative and qualitative challenges in water. The study of the changes in the water quality parameters of the stations located in the Karun River during the study period demonstrated that the amount of dissolved salts in these rivers increased and caused the reduction of water quality due to incorrect utilization and failure to comply with the principles of river exploitation.

Keywords: GIS, Karun River, Water quality, Wilcox, Wet and dry season

Article Type: Research Article

Acknowledgement

This article is a part of the results of research project No. 1400/36, the authors of this article express their gratitude and thanks to the Honorable Research Vice-Chancellor of Khuzestan University of Agricultural Sciences and Natural Resources for their financial support-research project and other assistance.

Conflicts of interest

The authors of this article declare that they have no conflict of interest regarding the writing and publication of the contents and results of this research.

Data availability statement

All information and results are presented in the text of the article.

Authors' contribution

Mohammad Reza Ansari: Guiding, editing, and revising the article, controlling the results, performing software analysis; **Ashkan Yusefi:** Conceptualization, performing software/statistical analysis, writing the first version of the article.

*Corresponding Author, E-mail: m_ansari@asnrukh.ac.ir

Citation: Ansari, M.R., & Yusefi, A. (2024). Trend analysis of water quality changes of the Karun River using the Mann-Kendall test and geographic information system (GIS). *Water and Soil Management and Modelling*, *4*(2), 327-342. DOI: 10.22098/mmws.2023.13312.1322

Received: 15 July 2023, Received in revised form: 02 August 2023, Accepted: 05 August 2023, Published online: 05 August 2023

Water and Soil Management and Modeling, Year 2024, Vol. 4, No. 2, pp. 327-342

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili

© Author(s)

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک

شاپا الکترونیکی: ۲۵۴۶-۲۷۸۳

تحلیل روند تغییرات کیفیت آب رودخانهٔ کارون با بهره‌گیری از آزمون ناپارامتری من-کندال و سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی (GIS)

محمدرضا انصاری[۱*]، اشکان یوسفی[۲]

[۱] استادیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، خوزستان، ایران
[۲] کارشناس، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، خوزستان، ایران

چکیده

بررسی و پیش‌بینی کیفیت آب رودخانه‌ها که پدیده‌ای غیرقطعی، تصادفی و متأثر از عوامل طبیعی و غیرطبیعی است نقش مهمی در مدیریت کیفی منابع آب ایفا می‌نماید. این پژوهش با هدف تحلیل روند کیفیت آب رودخانهٔ کارون در چهار ایستگاه هیدرومتری شامل گتوند، شوشتر، ملاثانی و اهواز رودخانهٔ کارون در بازهٔ زمانی ۲۰ ساله (۱۳۹۶-۱۳۷۷)، در دو فصل مرطوب و خشک انجام شد. برای این منظور پارامترهای شیمیایی هدایت الکتریکی (EC)، کل مواد جامد محلول (TDS)، نسبت جذب سدیم (SAR)، سدیم (Na) و کلراید (Cl) مورد تحلیل قرار گرفتند. روند کیفیت آب رودخانه با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال و ترسیم نقشه‌های آن با استفاده از سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی (GIS) انجام پذیرفت. نتایج آزمون من-کندال نشان داد که مقادیر پارامترهای EC، TDS، SAR، Na و Cl در بازهٔ زمانی مورد نظر، از ایستگاه‌های بالادست به پایین‌دست روند افزایشی داشته است. روند شوری (EC) در فصل مرطوب در ایستگاه‌های شوشتر و ملاثانی بر اساس آمارهٔ Z در سطح ۱۰ درصد و در ایستگاه اهواز در سطح پنج درصد معنادار و افزایشی بوده است. کم‌ترین مقدار شوری در فصل مرطوب مربوط به ایستگاه گتوند با ۷۰۱ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر در سال ۸۱-۸۲ و بیش‌ترین مقدار به ایستگاه اهواز با ۲۸۰۶ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر در سال ۱۳۸۸-۱۳۸۷ در فصل خشک بوده است. هم‌چنین، بر اساس شاخص کیفی آب ویلکاکس، در همهٔ ایستگاه‌های مورد مطالعه، کیفیت آب برای مصارف کشاورزی در ردهٔ متوسط قرار داشت و برای آبیاری زمین‌هایی با ابفت درشت و با زهکشی، مناسب است (عمدتاً در ردهٔ C3S1). این در حالی است که پارامترهای Na، Cl و TDS در برخی از سال‌ها در مرز متوسط و نامناسب قرار گرفتند. به‌طورکلی، نتایج نشان داد که به‌دلیل استفاده‌های نادرست و عدم رعایت اصول بهره‌برداری آب این رودخانه، بر میزان املاح محلول این رودخانه افزوده شده و سبب کاهش کیفیت آب رودخانه در طول دورهٔ آماری مورد مطالعه شد.

واژه‌های کلیدی: رودخانهٔ کارون، فصل مرطوب و خشک، کیفیت آب، ویلکاکس، GIS

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: m_ansari@asnrukh.ac.ir

استناد: انصاری، محمدرضا و یوسفی، اشکان (۱۴۰۳). 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*، ۴(۲)، ۳۲۷-۳۴۲.
DOI: 10.22098/mmws.2023.13312.1322

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۲۴، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۵/۱۱، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۱۴، تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۵/۱۴
مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۳، دوره ۴، شماره ۲، صفحه ۳۲۷ تا ۳۴۲
ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی

© نویسندگان

۱- مقدمه

داشتن منابع آب سالم پیش‌نیاز ضروری و اساسی برای حفظ محیط زیست، رشد و توسعهٔ اقتصادی، سیاسی و فرهنگی کشور است. تغییر و تحولات غیرطبیعی ایجاد شده در محیط زندگی انسان که عواقب ناگواری را نیز به ارمغان آورده، از سوی جوامع بشری در دهه‌های اخیر مورد توجه بیش‌تری قرار گرفته است. توسعه و پیشرفت فناوری‌های مختلف و رشد روزافزون صنعت و نیز افزایش بی‌رویهٔ جمعیت جهان همراه با تغییر عادات زندگی بشر به برکت توسعهٔ صنعتی و بهره‌برداری بی‌رویه و غیراصولی از منابع آب، موجب شده انسان به‌عنوان جزئی از اکوسیستم زمین، تعادل موجود بین پارامترهای مرتبط با خویش را بر هم زند (Forbes and Xie, 2018). کمبود منابع آب شیرین از یک‌سو و آلودگی این منابع محدود به‌دلیل افزایش و گسترش صنایع نامناسب و توسعهٔ زندگی شهری از سوی دیگر سبب شده است تا توجه به حفظ کیفیت رودخانه‌ها به‌عنوان یکی از منابع مهم آبی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار شوند (Simeonov et al., 2003; Singh et al., 2022). رودخانه‌ها در شرایط جغرافیایی و موقعیت‌های مختلف از سرچشمه تا انتها و از کف بستر تا سطح آب دارای گونه‌های گیاهی و جانوری متفاوتی هستند و اصولاً بایستی کیفیت آب در هر منطقه نیز متفاوت باشد. امروزه احداث بناها و سازه‌هایی مانند سد و پل بدون در نظر گرفتن قواعد محیط زیستی، تخلیهٔ پساب‌ها) کشاورزی، صنعتی، خانگی و غیره) از عوامل مهم در تغییر و کاهش کیفیت این اکوسیستم‌های باارزش هستند. به‌طوری‌که در بسیاری از رودخانه‌های آلوده، جوامع زیستی با محدودیت مواجه شده‌اند (Beck et al., 2022).

در مرحلهٔ شناسایی، اطلاع از وضعیت کیفی منابع آب به‌عنوان اولین گام در جهت دست‌یابی به محیط آبی سالم و استاندارد، سهم عمده‌ای از مطالعات را به خود اختصاص داده و در صورت توجه کافی می‌تواند به‌عنوان بستر مناسب برای پیش گیری و اقدامات اصلاحی جهت افزایش کیفیت منابع آب محسوب شود (Yang et al., 2020). این منابع آبی به‌دلیل جریان داشتن در مناطق مختلف با کاربری‌های مختلف و پوشش بیش‌تر مراکز جمعیتی در اطراف خود از پتانسیل زیادی جهت آلوده شدن برخوردار و در صورت ورود بیش‌از حد آلاینده‌ها منجر به بروز مشکلاتی از قبیل ایجاد تودهٔ جلبکی، کاهش اکسیژن محلول آب، مرگ و میر ماهیان و کاهش موجودات بسترزی و سایر آبزیان در این سیستم‌ها می‌شود (Cloern, 2018). در امور کشاورزی علاوه‌بر کمیت آب، کیفیت آب نیز نقش مهمی داشته و کیفیت نامناسب می‌تواند یکی از عوامل محدودکننده در این بخش باشد که علاوه‌بر مشکلات زراعی مشکلاتی برای خاک نیز به وجود می‌آورد (Lefcheck et al., 2017).

ایران نیز به‌عنوان یک کشور در حال توسعه گام‌های اولیه را طی کرده و با مسائل محیط زیستی دست به گریبان است. بالاترین نرخ رشد جمعیت در کشور، گسترش بی‌رویهٔ بافت شهری و نیز پیشرفت صنعتی و کشاورزی امکان وارد ساختن آسیب‌های قابل‌توجه به پیکرهٔ محیط زیست جامعه را فراهم آورده است. توسعه و رشد جوامع شهری، آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی ناشی از تخلیهٔ فاضلاب‌های صنعتی، کشاورزی و شهری را به دنبال خواهد داشت. مطالعات پیشین بررسی کیفیت آب رودخانه‌ها در ایران نشان داده که وضعیت رودخانه‌های ایران در فصل‌ها و ماه‌های مختلف از نظر کیفیت متغیر است و در طبقه های خوب تا بد قرار گرفته‌اند و بسته به مکان این نتایج به‌طور کامل با یک‌دیگر متفاوت است. این مطالعات نشان داده است که نقش عوامل انسانی از جمله فعالیت‌های کشاورزی، تخلیهٔ فاضلاب و استخرهای پرورش ماهی از مهم‌ترین منابع آلودگی رودخانه‌ها در ایران هستند. البته عوامل طبیعی مانند دما و میزان بارش و رواناب نیز در برخی موارد بر کیفیت آب رودخانه‌ها مؤثر بوده است (Mirzaei, 2017).

رودخانهٔ کارون به‌عنوان بزرگ‌ترین، طولانی‌ترین و پرآب‌ترین رودخانهٔ ایران است از دیرباز نقش مهمی در کشاورزی فرهنگ، اقتصاد و طبیعت ایران بر عهده داشته است. با توجه به استفاده‌های چندجانبه از رودخانهٔ کارون در شرایط کنونی، ضروری است که برنامه‌ریزی دقیق و درازمدتی برای پایداری و حفظ آیندهٔ این رودخانه طراحی و اجرا شود. به‌طوری‌که کلیهٔ طرح‌ها و فعالیت‌های اقتصادی با در نظر گرفتن مسائل زیست محیطی در یک مجموعهٔ هماهنگ گنجانده شوند؛ زیرا که آب جزئی از محیط زیربنایی حیات و عنصری ضروری بر الگوی توسعه است (Javaheri, 2001). رودخانهٔ کارون در طول مسیر خود تحت تأثیر فاضلاب‌های شهری، روستایی و رواناب‌های کشاورزی اطراف خود می‌باشد. از آب این رودخانه بیش‌تر جهت آبیاری زمین‌های کشاورزی، تأمین آب شرب شهرها و روستاهای اطراف رودخانه‌ها و آب مورد نیاز صنایع استان استفاده می‌شود که بخشی از این آب به شکل رواناب‌های کشاورزی مجدداً وارد جریان آب رودخانه می‌شود. با توجه به استفادهٔ کشاورزان از کودهای شیمیایی و حیوانی، سموم و آفت‌کش ها، مقادیری از این مواد می‌توانند وارد آب رودخانه شوند، از طرفی با توجه به واحدهای زمین‌شناسی منطقه، عناصر متنوعی نیز می‌توانند به آب رودخانه‌ها راه پیدا کنند (Sarmadi, 2016). پژوهش‌های مختلف نیز حاکی از اهمیت این موضوع است. به‌عنوان مثال،Houshmand et al. (2009) کیفیت آب رودخانهٔ کارون را برای سه سال آبی با استفاده از نرم‌افزار اطلاعات جغرافیایی بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که کیفیت آب رودخانهٔ کارون در منطقهٔ مورد مطالعه جزء آب‌هایی با کیفیت متوسط است. در پژوهش

دیگری، Karimi Jashni and Salari (2015) طبقه‌بندی کیفی آب رودخانه‌های کارون، دز و کرخه را با استفاده‌های پارامترهای شیمیایی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که این شاخص‌ها در شش‌ماههٔ اول دارای کیفیت نامناسب و در شش‌ماههٔ دوم دارای کیفیت متوسط بوده‌اند. در مطالعه‌ای، Moravej et al. (2016) به ارزیابی کیفی آب رودخانهٔ کارون با استفاده از شاخص‌های کیفیت رودخانه و نرم‌افزار GIS پرداختند. نتایج مقادیر ضریب تبیین مناسب در مدل‌سازی بین ۰/۶۹ تا ۰/۸۵ را نشان داد. پژوهش Hosseini et al. (2016) نیز نشان داد که کیفیت آب رودخانهٔ کارون بر اساس شاخص‌های کیفی آب در محدودهٔ زرگان به‌صورت نزولی است. نتایج بررسی روند تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب رودخانهٔ کارون در سراب و پایاب سد مخزنی گتوند، نشان‌دهنده کاهش چشم‌گیر کیفیت آب رودخانهٔ کارون بعد از سد گتوند است (Khalaf and Yaeghobi, 2017).

روش‌های آماری ابزارهای قدرتمندی برای تعیین روند تغییرات متغیرهای کیفی آب هستند که استفاده از این روش‌ها نیازمند آگاهی از ماهیت داده‌هاست. در استفاده از روش‌های روندیابی و تحلیل زمانی تغییرات، روش ناپارامتری من-کندال ابزار مفیدی برای ارزیابی تغییرات روند است و کارایی آن در روندیابی سری‌های زمانی به اثبات رسیده است (Ensafi Moghaddam, 2021; Pereli et al., 2022). تحلیل روند، وقوع تغییرات را در دورهٔ مشخص بر اساس داده‌های موجود مورد بررسی قرار می‌دهد. علاوه‌براین، تحلیل روند یک ابزار مهم برای پیش‌بینی کیفیت آب در آینده است (Camara et al, 2019). در زمینهٔ کیفیت آب، این تحلیل ارزیابی می‌کند که روند متغیر کیفیت آب اندازه‌گیری شده در طول دورهٔ زمانی مورد بررسی، افزایشی یا کاهشی بوده است. در نتیجه استفاده از داده‌های بلندمدت در انجام پژوهش‌ها برای شناسایی اثرات و عواملی که به نوبهٔ خود از تغییرات فیزیکی ناشی می‌شوند ممکن است به راه‌حل‌هایی برای وقوع پدیده منجر شوند (Saeedavi et al., 2017; Ratnaningsih et al., 2019). هم چنین، پژوهش‌گران تأکید کردند که تحلیل روند فرآیندهای هیدرولوژیکی بر اساس رویدادهای گذشته، در بسیاری از تصمیم گیری‌های آینده در مدیریت منابع آب ضروری است (Ismail and Hashim, 2014; Nayan et al., 2019).

در این راستا، Camara et al. (2019) بر اساس تحلیل روند کیفیت آب رودخانهٔ سلانگور اطلاعات مفیدی در رابطهٔ بین کاربری اراضی و شاخص‌های کیفیت آب برای تصمیم‌گیران مدیریت فرآیند آلودگی آب ارائه کردند. علاوه‌براین، Luo et al. (2019) در جاکارتا اطلاعات ارزشمندی در مورد کیفیت آب ارائه دادند که مدیران منابع آب می‌توانند از آن برای ایجاد یک محیط آبی پایدارتر در شهر استفاده کنند.

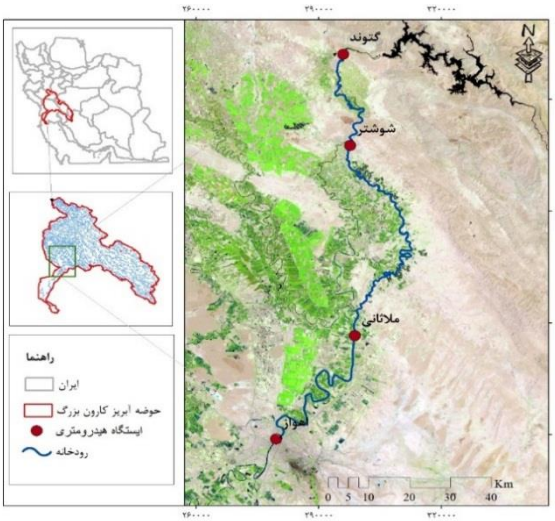
پژوهش‌ها باهدف درک روند و پیش‌بینی شرایط آینده، به‌ویژه در کاربردهای هیدرولوژیکی مانند کیفیت آب رودخانه حیاتی است. در طول دهه‌های گذشته، پایش کفیت آب رودخانه با اندازه‌گیری پارامترهای کیفی متعدد آب بیش‌تر شده است. این موضوع به‌دلیل تحلیل روند کیفیت آب است که نقش مهمی در ارائهٔ اطلاعات در مورد تغییرات یا تنوع کیفیت آب از طریق داده‌های سری زمانی ایفا می‌کند (Che et al., 2012). بدیهی است که تعیین وضعیت کیفی منابع آب برای اتخاذ راه‌کارهای مناسب جهت جلوگیری از کاهش کیفیت آب و بهبود آن ضروری است و یا با این اطلاعات می‌توان کیفیت آب رودخانه را شناسایی و اقدامات حفاظتی برای بهبود و مدیریت رودخانه‌ها و حوزه‌های آبخیز دارای زهکشی یکپارچه‌تر اجرا نمود. در سال‌های اخیر کیفیت آب رودخانهٔ کارون تحت تأثیر آلاینده‌های مختلفی ازجمله زهاب‌های کشاورزی و فاضلاب‌های صنعتی قرار داشته است. بنابراین، پایش وضعیت کیفیت رودخانه و روند تغییرات آن در طول زمان و مکان با هدف آگاهی از وضع موجود و ارائهٔ تمهیدات مورد نیاز در آینده ضروری به‌نظر می‌رسد. با توجه به مطالعات انجام شده بر کیفیت آب رودخانهٔ کارون، پژوهش و مطالعه‌ای که به بررسی تغییرات کیفیت آب رودخانهٔ کارون در یک بازهٔ زمانی چندساله که دربرگیرندهٔ دوره های کم‌آبی و پرآبی و تغییرات فصلی کیفیت آب باشد، تاکنون صورت نگرفته است. بنابراین، پژوهش حاضر با هدف بررسی تحلیل روند کیفیت آب رودخانهٔ کارون در بازهٔ ۲۰ ساله در چهار ایستگاه پایش کیفیت آب در محیط سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی انجام پذیرفت.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقهٔ مورد مطالعه

رودخانهٔ کارون بزرگ‌ترین و پرآب‌ترین رودخانهٔ ایران بوده که قسمت عمده‌ای از حوضهٔ آبریز آن در خارج از استان خوزستان قرار گرفته است. رودخانهٔ کارون از چهار شاخهٔ اصلی به نام خرسان، آب ونک، آب کیار و بازفت تشکیل شده که پس از اتصال این چهار شاخهٔ اصلی، رودخانهٔ کارون در جهت عمومی شمال‌شرقی به جنوب‌غربی جریان می‌یابد. رودخانهٔ کارون در محل شهرستان شوشتر و بند میزان به دو شاخهٔ گرگر و شطیط تقسیم می‌شود. این دو شاخه در محل بند قیر در بالادست شهر رامین (ملاثانی) با رودخانهٔ دز متصل و رودخانهٔ کارون بزرگ را تشکیل می‌دهند. در محدودهٔ استان خوزستان رودخانه‌های فصلی و دائمی زیادی به رودخانهٔ کارون ملحق می‌شوند که ویژگی عمدهٔ آن‌ها آب‌دهی کم و سیلاب‌های نسبتاً بزرگ است. از دیگر ویژگی این رودخانه‌ها کیفیت نامطلوب تا نسبتاً نامطلوب این آب‌ها به‌دلیل شوری آب ناشی از وجود سازندهای تبخیری در این محدوده است. از جمله

سازندهای موجود می‌توان به سازند بختیاری، میشان، آغاجاری و گچساران اشاره نمود (Saeidi Pour, 2020). شکل ۱ موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری و جدول ۱ مشخصات ایستگاه محدودهٔ مطالعاتی را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه در استان خوزستان

Figure 1- Location of studied hydrometric stations in the Khuzestan Province

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های نمونه‌برداری

Table 1- Characteristics of sampling stations

کد ایستگاه	ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع
243	گتوند	32-14-56	48-49-30	71
251	شوشتر	32-10-56	48-51-06	34
307	ملاثانی	31-34-59	48-52-50	22
309	اهواز	31-20-17	48-41-42	17

برای بررسی کیفیت آب رودخانه در ایستگاه‌های هیدرومتری، داده‌های به‌دست آمده از دفتر مطالعات پایهٔ منابع آب سازمان آب و برق خوزستان شامل پارامترهای شیمیایی شامل هدایت الکتریکی (EC)، کل مواد جامد محلول (TDS)، نسبت جذب سدیم (SAR)، سدیم (Na)، کلراید (Cl) در بازهٔ زمانی ۲۰ ساله از سال ۱۳۷۷ تا ۱۳۹۶ و پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون کولموگروف–اسمیرنوف در دو فصل مرطوب (شش‌ماههٔ اول سال آبی) و فصل خشک (شش‌ماههٔ دوم سال آبی) محاسبه شد.

۲-۲- آزمون ناپارامتری

روش‌های آماری متفاوتی برای تحلیل سری‌های زمانی ارائه شده است. در این بین، روش ناپارامتری، در سری‌های زمانی متغیرهای کیفی هواشناسی و هیدرولوژیکی کاربرد بسیار زیادی دارد. این روش ها جهت سری زمانی که دارای کشیدگی یا چولگی باشند، مناسب بوده و مستقل از توزیع آماری سری زمانی هستند. هدف از آزمون روند، بررسی وجود یا عدم وجود سیر صعودی یا نزولی در سری داده‌ها است (Azhar et al., 2015; Shigute et al., 2023).

۲-۳- آزمون من-کندال

آزمون من–کندال یکی از آزمون‌های پرکاربرد در روش ناپارامتری می‌باشد که توسط Mann (1945) و Kendall (1975) توسعه پیدا کرد. این آزمون بر دو فرض صفر و یک استوار است. فرض صفر بر تصادفی بودن و نبود روند در سری داده‌ها و فرض یک بیان‌گر وجود روند است. آمارهٔ S آزمون من–کندال نشان‌دهندهٔ اختلاف بین هر یک از مشاهدات با تمام مشاهدات پس از آن بر اساس رابطهٔ (۱) محاسبه می‌شود.

$$S = \sum_{k-1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^{n} \mathrm{sgn}(xj + xk) \qquad (۱)$$

در این رابطه، n تعداد مشاهدات سری، xj و xk به‌ترتیب داده های jاُم و kاُم سری هستند. در ادامه، واریانس S با استفاده از رابطهٔ (۲) تعیین می‌شود. هم‌چنین، آمارهٔ Z استاندارد شده را به کمک رابطهٔ (۳) می‌توان محاسبه کرد (Vivekanandan, 2007).

$$\mathrm{var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \qquad (۲)$$

$$Z = \begin{cases} \dfrac{S-1}{\sqrt{\mathrm{Var}(S)}} & \text{if} \quad S > 0 \\ 0 & \text{if} \quad S = 0 \\ \dfrac{S+1}{\sqrt{\mathrm{Var}(S)}} & \text{if} \quad S < 0 \end{cases} \qquad (۳)$$

بنابراین، در آزمون دو طرفهٔ روند، اگر رابطهٔ $|Z| \leq Z_{a/2}$ در سطح اطمینان ۹۵ درصد برقرار باشد باید فرضیهٔ H_0 (قبول تصادفی بودن سری داده‌ها) را پذیرفت و در غیر این صورت باید فرضیهٔ H_1 (وجود روند) را قبول کرد. اگر معناداری در سطح ۰/۰۱ =α (سطح ۹۹ درصد اطمینان) آزمون شد، فرضیهٔ صفر H_0 در صورتی رد می‌شود که $|Z| \rangle Z_{0.995}$ برقرار باشد. مقادیر مثبت و منفی Z به‌ترتیب روند صعودی نزولی داده‌ها را نشان می‌دهد. آمارهٔ Z در بازهٔ ۱/۶۵ تا ۱/۶۵– بدون روند، ۱/۶۵ تا ۱/۹۶ در سطح ۱۰ درصد، در بازهٔ ۱/۹۶ تا ۲/۵۷ در سطح پنج درصد و چنان‌چه مقدار آن بیش از ۲/۵۷ باشد در سطح یک درصد معنادار است (Vivekanandan, 2007). برای تهیهٔ نقشه‌های محدودهٔ تغییرات و روند پارامترهای کیفی آب در ایستگاه‌های آب‌سنجی مورد مطالعه از نرم‌افزار ArcGIS 10.3 استفاده شد.

۲-٤- طبقه‌بندی کیفیت آب

یکی از مهم‌ترین اهداف مطالعهٔ منابع آب، تعیین کیفیت آن‌ها برای مصارف کشاورزی است. برای بررسی کیفیت آب از منظر کشاورزی از طبقه‌بندی ویلکاکس استفاده شد که استانداردهای مربوطه در جدول ۲ نشان داده شده است. ویلکاکس با ترسیم نسبت جذب

سدیم در مقابل شوری، نموداری را برای ارزیابی کیفی آب‌ها جهت مصارف کشاورزی ارائه و بر اساس مقادیر EC و SAR قادر به طبقه‌بندی آب در کلاس‌های متفاوت است. گروه‌های مذکور به‌صورت زیر طبقه‌بندی می‌شوند؛ (۱) آب‌های خیلی‌خوب که دارای EC کم‌تر از ۲۵۰ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر بوده و در کلاس C1S1 قرار دارند. (۲) آب‌های خوب که مربوط به یکی از کلاس های C2S2، C1S2،C2S1 هستند. (۳) آب‌های متوسط که مربوط به کلاس‌های C1S3، C3S1، C2S3، C3S2، C3S3 بوده و برای آبیاری زمین‌های درشت بافت و با زهکشی، مناسب است. (۴) آب‌های نامناسب در کلاس‌های C1S4، C4S4،C3S4، C2S4، C1S4، C4S2 و C4S3 قرار دارند. هر چه شاخص بزرگ‌تر باشد کیفیت آب نامناسب‌تر می‌شود (Rahmani, 2008).

جدول ۲- طبقه‌بندی کیفیت آب با استفاده از شاخص ویلکاکس
Table 2- Classification of water quality using the Wilcox index

پارامتر	کلاس	مقدار	کیفیت
SAR	S1 (کم)	<10	عالی
	S2 (متوسط)	10-18	خوب
	S3 (زیاد)	18-26	متوسط
	S4 (خیلی زیاد)	>26	بد
EC (دسی زیمنس بر متر)	C1 (کم)	<0.25	عالی
	C2 (متوسط)	0.25-0.75	خوب
	C3 (زیاد)	0.75-2.025	متوسط
	C4 (خیلی زیاد)	>2.25	بد

۳- نتایج و بحث

۳-۱- آزمون من-کندال

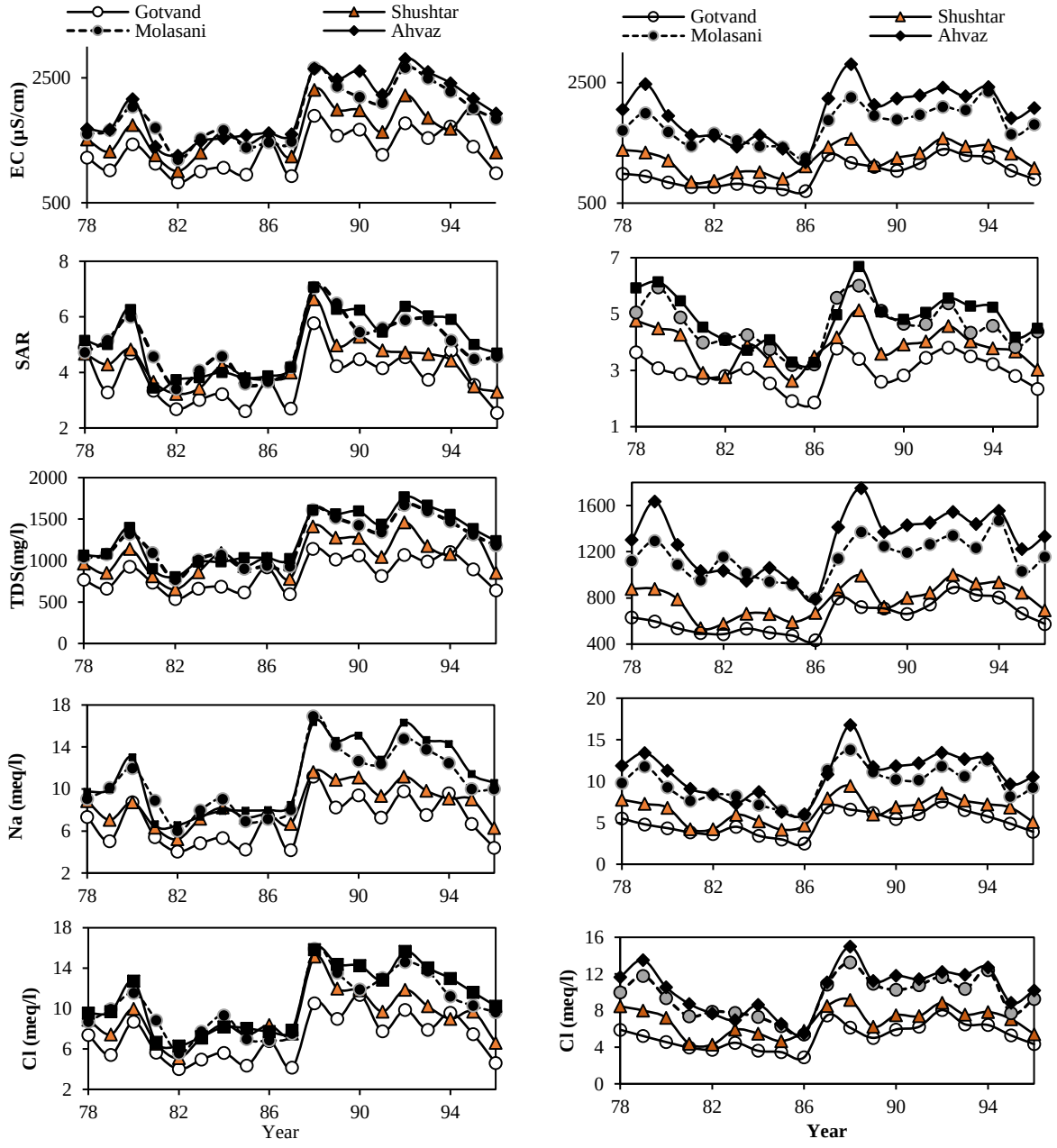
نتایج آزمون من-کندال برای پارامترهای EC، SAR، TDS، Na و Cl در جدول ۳ نشان داده شده است. بر این اساس مقدار شوری آب رودخانهٔ کارون در فصل مرطوب در هر چهار ایستگاه هیدرومتری روند افزایشی داشت. به‌طوری‌که در ایستگاه‌های شوشتر و ملاثانی بر اساس آمارهٔ Z در سطح ۱۰ درصد و در ایستگاه اهواز در سطح پنج درصد معنادار بود. با توجه به متفاوت بودن میزان بارندگی سالانه در طول بازهٔ مطالعاتی تغییرات دبی زهکش کشت و صنعت‌ها و مراکز صنعتی و شهری در طول مسیر رودخانه، هدایت الکتریکی آب رودخانه در تمامی ایستگاه‌های مورد بررسی دارای نوسانات نسبتاً زیادی است (Zarei and Akhond Ali, 2007). تغییرات EC در فصل مرطوب بیش‌تر از فصل خشک بوده، هم در فصل خشک و هم در فصل مرطوب میزان هدایت الکتریکی در ایستگاه گتوند پایین‌ترین میزان و ایستگاه اهواز بیش ترین مقدار را در مقایسه با سایر ایستگاه‌ها داشته است (شکل ۲). مقدار حداکثر هدایت الکتریکی در ایستگاه اهواز در مقایسه با ایستگاه گتوند در فصل مرطوب و خشک به‌ترتیب ۱۵۷ و ۲۳۹ درصد بیش‌تر بوده است. در پژوهشی، Fakhouri Dekahi et al. (2018) دلایل افزایش شوری رودخانهٔ کارون را کاهش جریان ورودی، ورود آب‌شور از شاخه‌های شور، احداث سد گتوند، زهکش های کشاورزی به‌خصوص زهکش مزارع نیشکر طرح‌های کشت و صنعت هفت‌تپه، کارون، دهخدا و امام خمینی، پساب صنایع، فاضلاب شهری و خانگی، نفوذ آب‌های شور زیرزمینی بیان کردند. کم‌ترین مقدار شوری در فصل‌تر مربوط به ایستگاه گتوند با ۷۰۱ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر در سال ۸۲-۸۱ و بیش‌ترین مقدار به ایستگاه اهواز با ۲۸۰۶ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر در سال ۱۳۸۸-۱۳۸۷ و در فصل خشک بوده است. محدودهٔ تغییرات دبی در دورهٔ بیست ساله و در فصل مرطوب برای ایستگاه اهواز بین (سال ۱۳۸۷)۳۸۰ تا (سال ۱۳۸۰) ۱۲۵۴ مترمکعب بر ثانیه و برای فصل خشک بین (سال ۱۳۸۷) ۱۵۰ تا (سال ۱۳۸۰) ۱۰۵۳ مترمکعب بر ثانیه است. این محدوده برای ایستگاه گتوند (بالادست) بین (سال ۱۳۸۷) ۱۳۲ تا (سال ۱۳۸۲) ۶۸۳ مترمکعب بر ثانیه در فصل تر و (سال ۱۳۸۷) ۱۲۰ تا (سال ۱۳۸۰) ۵۲۳ مترمکعب بر ثانیه در فصل خشک بوده است. کاهش حجم دبی رودخانه به‌خصوص در فصول خشک، از جمله عوامل افزایش شوری آب رودخانه بوده است. هم چنین، دلیل بیش‌تر بودن شوری در ایستگاه‌های پایین‌دست نسبت به ایستگاه‌های بالادست را می‌توان به این صورت توجیه کرد که در ایستگاه‌های شمالی‌تر استان مانند گتوند، شوری آب بیش‌تر ناشی از شست و شوی املاح است. درحالی‌که علاوه‌براین با حرکت به سمت پایین‌دست رودخانه میزان شوری، ورود فاضلاب شهری و روستایی و زهکش اراضی کشاورزی نیز حجم وسیعی از املاح را وارد رودخانه کرده که منجر به افزایش شوری می‌شود. در این ارتباط Zarei and Akhond Ali (2007) بیان کردند که در فصل پاییز و زمستان به‌علت بارندگی‌های شدید و در نتیجه افزایش شدت فرسایش و ورود املاح از شاخه‌های نسبتاً شور و پرآب مرغاب، شور اندیکا، شور لالی و شور دشت بزرگ به رودخانهٔ کارون کیفیت آب این رودخانه در پایین‌دست اُفت خواهد داشت. نسبت جذب سدیم (SAR) شاخصی برای تعیین کیفیت مطلوبیت آب جهت استفاده در آبیاری و کشاورزی است. نتایج آمارهٔ من-کندال و مطابق شکل ۳ نشان داد که مقدار SAR در فصل‌های مرطوب و خشک در همهٔ ایستگاه‌ها از روند معناداری برخوردار نبوده است. بر طبق شکل ۲ مقدار SAR همانند EC در ایستگاه اهواز بالاترین میزان را داشته است و ایستگاه‌های ملاثانی، شوشتر، گتوند به‌ترتیب بعد از ایستگاه اهواز قرار دارند که نشان می‌دهد.

جدول ۳- نتایج آزمون من-کندال و آمارهٔ Z برای متغیرهای کیفیت آب در ایستگاه‌های هیدرومتری

Table 3- Results of Mann-Kendall test and Z statistic for water quality variables in hydrometric stations

		گتوند		شوشتر		ملاثانی		اهواز	
		من-کندال	Z	من-کندال	Z	من-کندال	Z	من-کندال	Z
EC	فصل‌تر	0.240	1.40	0.298	1.75*	0.322	1.89*	0.380	2.24**
	فصل خشک	0.251	1.47	0.287	1.68*	0.240	1.40	0.205	1.19
SAR	فصل‌تر	0.029	0.14	-0.006	0	0.111	0.63	0.228	1.33
	فصل خشک	-0.018	-0.07	-0.076	-0.42	-0.088	-0.49	-0.441	-0.21
TDS	فصل‌تر	0.240	1.40	0.310	1.82*	0.298	1.75*	0.392	2.31**
	فصل خشک	0.298	1.75*	0.270	1.58	0.216	1.26	0.216	1.26
Na	فصل‌تر	0.170	0.98	0.228	1.33	0.240	1.41	0.368	2.17**
	فصل خشک	0.135	0.77	0.110	0.63	0.098	0.56	0.146	0.84
Cl	فصل‌تر	0.203	1.19	0.216	1.26	0.251	1.47	0.298	1.75*
	فصل خشک	0.205	1.19	0.111	0.63	0.099	0.55	.0146	0.84

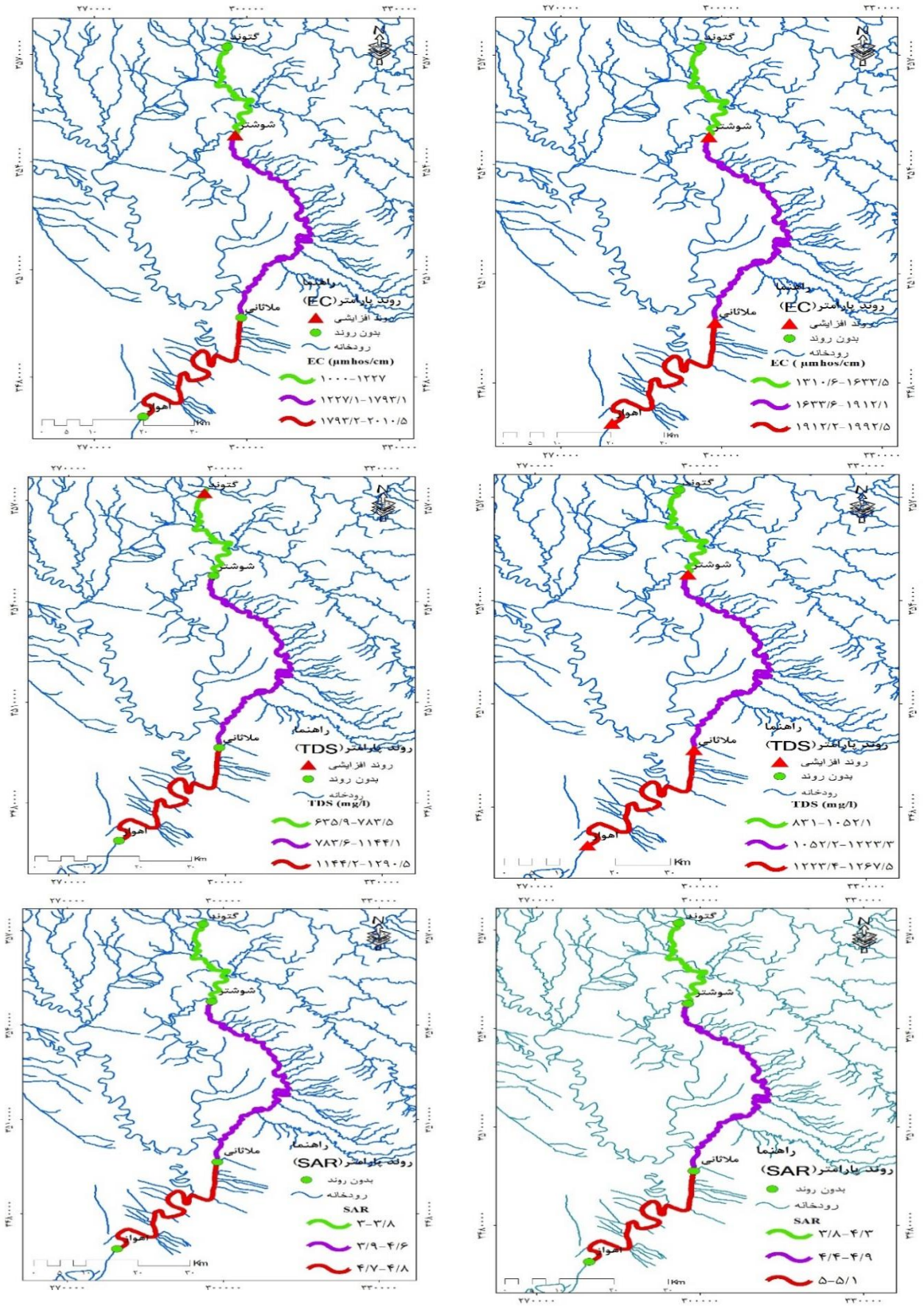
*و ** به‌ترتیب در سطح ۱۰ و پنج درصد معناداری و بدون علامت، نشان‌دهندهٔ عدم معناداری می‌باشد.



شکل ۲- روند تغییرات زمانی سالانهٔ متغیرهای کیفی آب (دورهٔ مرطوب نمودارهای سمت چپ و دورهٔ خشک نمودارهای سمت راست)

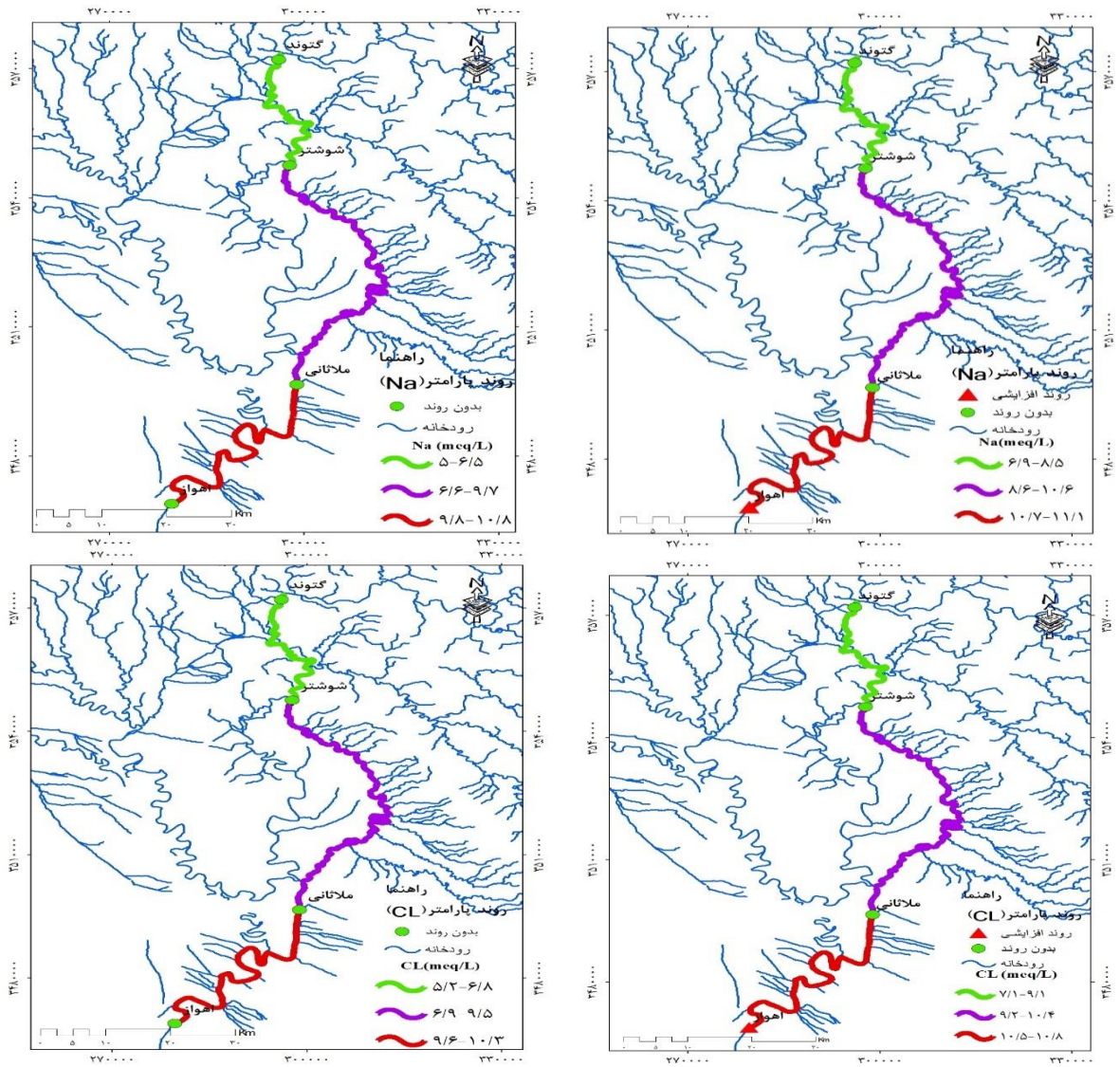
Figure 2- Annual time changes of water quality variables (wet period of the left graphs and dry period of the right graph)

کیفیت آب رودخانه‌های استان به‌ویژه کارون از بالادست به سمت پایین‌دست روند کاهشی داشته است. همان طورکه در شکل ۳ مشاهده می‌شود مقادیر میانگین ۲۰ سالهٔ مقدارSAR در فصل مرطوب برای ایستگاه‌های اهواز، ملاثانی، شوشتر و گتوند، به‌ترتیب ۵/۰۷، ۵، ۴/۳، ۳/۷۸ و میانگین ۲۰ سالهٔ این پارامتر برای فصل خشک برای ایستگاه‌های مذکور به‌ترتیب ۴/۸۴، ۴/۶۲، ۳/۸، ۳ می باشد. در ایستگاه‌های پایین‌دست رودخانهٔ کارون به‌دلیل آب‌شویی مزارع کشاورزی به‌ویژه مزارع نیشکر که عمدتاً دارای خاک شور و سدیمی هستند و ورود این زهاب به داخل رودخانه باعث افزایش کاتیون‌های قابل حل به‌ویژه یون سدیم در آب‌شده است. از طرف دیگر مشاهده شد که در فصل مرطوب مقدار میانگین ۲۰ سالهٔ SAR بیش‌تر از فصل خشک بوده است که می‌توان دلیل این امر را افزایش شست و شو و انتقال املاح در اثر افزایش بارندگی‌ها ذکر کرد. نتایج آمارهٔ آزمون من–کندال نشان داد که کل مواد جامد محلول (TDS) در فصل مرطوب و خشک دارای روند مثبت بوده است (شکل ۳). هم‌چنین، مقدار آمارهٔ Z در فصل مرطوب نشان داد که مقدار این آماره در ایستگاه‌های شوشتر و ملاثانی در سطح ۱۰ و در ایستگاه اهواز در سطح پنج درصد معنادار شد. محدودهٔ تغییرات کل مواد جامد محلول (شکل ۲) در فصل مرطوب بیش‌تر از فصل خشک است و این تغییرات روند یکنواختی ندارد. درواقع کاهش یا افزایش میزان نزولات جوی، تغییر دبی زهکش کشت و صنعت‌ها و مراکز صنعتی و شهری روی غلظت و تغییرات میزان TDS در طی سال تأثیرگذار بوده است. در فصل مرطوب میزان کل مواد جامد محلول در ایستگاه گتوند پایین‌تر از بقیهٔ ایستگاه‌ها است که این امر در فصل خشک نیز صدق می‌کند. ایستگاه ملاثانی بعد از اتصال رودخانهٔ گرگر و شطیط و بند قیر واقع شده است (محل تلاقی رودخانه‌های کارون و دز). بنابراین، حجم وسیعی از مواد آلاینده وارد این ایستگاه و در نتیجه منجر به افزایش مواد جامد محلول می‌شود. به‌طورکلی رشد کشاورزی، صنعت و بازسازی های پس از جنگ و متعاقب آن افزایش جمعیت در اهواز و ورود فاضلاب‌های شهری به رودخانهٔ کارون را مهم‌ترین عوامل روند افزایشی TDS در سال‌های اخیر می‌توان بیان نمود. در پژوهشی، Kordian (2013) نیز به این نتیجه رسید که اصلی‌ترین دلیل افزایش مواد جامد محلول، وجود فاضلاب‌های شهری به داخل رودخانهٔ تیره است. نتایج سری زمانی یون‌های سدیم و کلراید نشان داد که در همهٔ ایستگاه‌ها در فصول مرطوب و خشک دارای روند مثبت و افزایشی بوده است. با توجه به آمارهٔ Z، روند تغییرات یون های سدیم و کلر صرفاً در ایستگاه اهواز و در فصل مرطوب معنادار شد. مشابه سایر پارامترها مقدار سدیم و کلراید در فصل مرطوب بیش از فصل خشک بوده است به‌طوری‌که حداکثر مقدار کلر در ایستگاه اهواز در فصل خشک و مرطوب به‌ترتیب ۲/۵ و ۱/۵ برابر ایستگاه گتوند است. نتایج پژوهش Hosseini Zare et al. (2014) نیز نشان داد که فعالیت‌های کشاورزی در منطقه باعث کاهش کیفیت آب در رودخانهٔ کارون و افزایش املاح آب و مواد جامد محلول در این رودخانه شده است. عامل دیگری که ممکن است بر کیفیت آب رودخانهٔ کارون تأثیر گذاشته و باعث افزایش املاح و در نتیجه شوری این رودخانه شده است، سازندهای زمین شناسی در مسیر عبور رودخانه است. نتایج مطالعهٔ Mahmoodabadi and Rezaei Arshad (2018) که از آزمون من–کندال برای تحلیل سری زمانی پارامترهای کیفیت آب و دبی رودخانهٔ کارون استفاده کردند نشان داد که پارامترهای Na^{+}، Ca^{2+}، Mg^{2+}، HCO_3^{-} و SO_4^{2-} دارای روند افزایشی معناداری بوده ولی دبی آب دارای روند معنادار منفی بوده است. در پژوهشی دیگری، Hashemi Fard et al. (2019) علت نامطلوب شدن رودخانهٔ کارون از محل سد تنظیمی گتوند تا شوشتر را ورود رودخانهٔ شور دشت عقیلی و آب برگشتی از آن‌ها به داخل رودخانهٔ گرگر بیان کردند. در شاخهٔ رودخانهٔ شطیط نیز ورود بخشی از فاضلاب شهرستان شوشتر و ۳۰ درصد آب برگشتی از کشت و صنعت نیشکر کارون موجب افزایش ۶۰۰ واحدی EC از سد تنظیمی گتوند تا محل بند قیر را در شاخهٔ رودخانهٔ شطیط شده است.



شکل ۳- نقشهٔ طبقه‌بندی و بررسی روند (معناداری) میانگین ۲۰ سالهٔ متغیرهای کیفی آب ایستگاه‌های آب‌سنجی رودخانهٔ کارون در دورهٔ مرطوب (راست) و دورهٔ خشک (چپ)

Figure 3- Classification map and trend analysis (significance) of the 20-year average of water quality variables of water measuring stations of the Karun River in the wet period (right) and dry period (left)



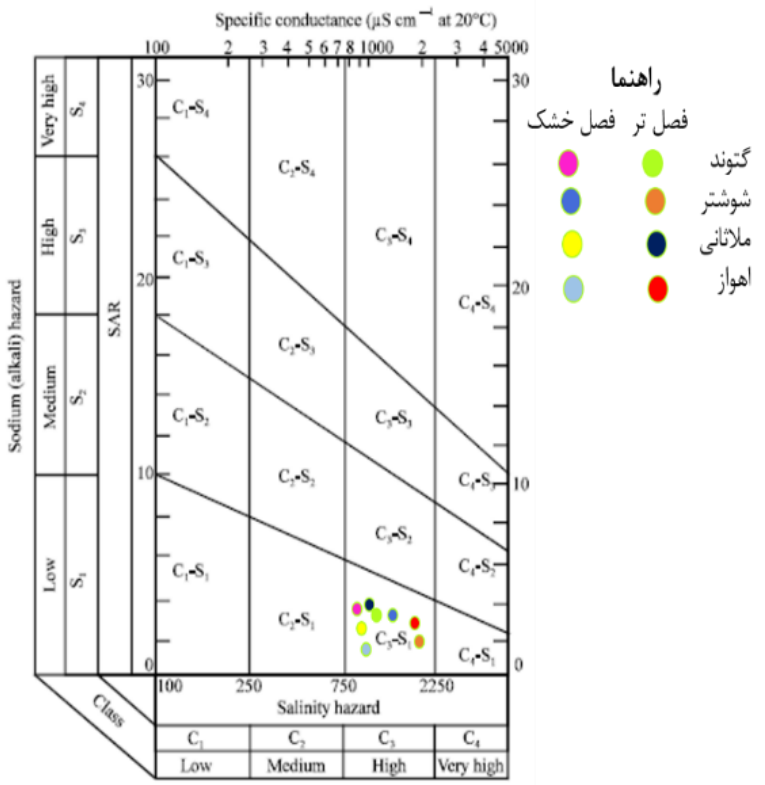
ادامهٔ شکل ۳- نقشهٔ طبقه‌بندی و بررسی روند (معناداری) میانگین ۲۰ سالهٔ متغیرهای کیفی آب ایستگاه‌های آب‌سنجی رودخانهٔ کارون در دورهٔ مرطوب (راست) و دورهٔ خشک (چپ)

Continuation of Figure 3- Classification map and trend analysis (significance) of the 20-year average of water quality variables of water measuring stations of the Karun River in the wet period (right) and dry period (left)

۳-۲- شاخص کیفیت آب

ویلکاکس با ترسیم نسبت جذب سدیم (SAR) در مقابل شوری (EC)، نموداری را برای ارزیابی کیفی آب‌ها جهت مصارف کشاورزی ارائه نمود (شکل ۴). بر اساس این شاخص، کیفیت آب در فصل مرطوب و خشک برای همهٔ ایستگاه‌های هیدرومتری گتوند، شوشتر، ملاثانی و اهواز در کلاس C3S1 قرار دارد که بیان‌گر کیفیت متوسط برای کشاورزی می‌باشند و عمدتاً برای آبیاری زمین‌های درشت بافت و با زهکشی، مناسب است. اگرچه کلاس کیفیت آب در همهٔ ایستگاه‌ها C3S1 است اما محدودهٔ شوری در این کلاس، بسیار وسیع و در بازهٔ ۲۲۵۰-۷۵۰ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر می‌باشد. در حقیقت علت افزایش کلاس شوری آب در همهٔ ایستگاه‌ها و در فصل مرطوب را می‌توان شست و شو و انتقال بیش‌تر املاح حاصل از انحلال سازندهای زمین شناسی بالادست در اثر افزایش شدت بارش‌ها بیان کرد (Saeidi Pour, 2020). شایان‌ذکر است که این طبقه‌بندی میانگین بازهٔ زمانی ۲۰ سالهٔ ایستگاه‌های مورد مطالعه است. در صورتی‌که در برخی از سال‌ها کلاس‌های کیفی آب نامناسب‌تر از کلاس C3S1 بوده‌اند. علت نامناسب بودن آب در برخی از سال‌های مورد مطالعه، کاهش دبی آب و نزولات آسمانی را می‌توان عنوان کرد. با وجود این‌که مقدار پارامتر کیفی SAR بر اساس طبقه‌بندی ویلکاکس طبقهٔ خوب را شامل می‌شود، ولی میزان شوری آب در برخی ایستگاه‌ها بالا می‌باشد. نتایج پژوهش Haghbin and Ghomeshi. (2014) نیز نشان داد که میزان اثر سد گتوند بر افزایش شوری رودخانهٔ کارون حداکثر ۲۳ درصد بوده است و ۷۱

درصد افزایش شوری آن ناشی از ورود زهکش‌های مختلف در مسیر کارون بوده و ۶ درصد نیز مربوط به تغییرات شوری در رودخانهٔ دز است که آن‌هم می‌تواند به ورود زهکش‌ها در مسیر این رودخانه مرتبط شود.



شکل ٤- نمودار طبقه‌بندی کیفیت آب در ایستگاه‌های مختلف هیدرومتری بر اساس شاخص ویلکاکس

Figure 4- Water quality classification diagram in different hydrometric stations based on Wilcox index

٤- نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر به بررسی کیفیت آب در طول بازهٔ نسبتاً طولانی از رودخانهٔ کارون و در یک دورهٔ زمانی بلندمدت (۲۰ ساله) و با استفاده از مقادیر پارامترهای کیفی در چهار ایستگاه گتوند، شوشتر، ملاثانی و اهواز انجام گرفت. نتایج آزمون من-کندال نشان داد که پارامترهای TDS، Na^{+}، Cl^{-} و EC در طی ۲۰ سال اخیر روند افزایشی داشته که نشان‌دهندهٔ افزایش ورود فاضلاب‌ها و پساب‌های صنعتی و کشاورزی است. بر اساس شاخص ویلکاکس در همهٔ ایستگاه‌های مورد مطالعه کیفیت آب برای مصارف کشاورزی در ردهٔ متوسط قرار داشت این در حالی است که پارامترهای Na، Cl و TDS در برخی از سال‌ها در مرز متوسط و نامناسب قرار گرفتند که این زنگ خطری برای اُفت کیفیت آب در ایستگاه‌های مورد بررسی است. به‌طورکلی رودخانهٔ کارون به خاطر دارا بودن شهرها و مراکز بزرگ جمعیتی، صنعتی و غیره به خصوص شهر اهواز و صنایع فولادی و غیرفلزی واقع در این حوضهٔ آبریز از نظر مصارف آب و آلاینده‌های تولیدی تأثیرگذار بر کیفیت منابع آب حائز اهمیت بوده و در عرصهٔ آب با چالش‌های کمی و کیفی فراوانی روبه‌روست. مطالعهٔ روند تغییرات پارامترهای کیفی آب ایستگاه‌های واقع در رودخانهٔ کارون در دورهٔ مورد مطالعه نشان داد که به‌دلیل استفاده‌های نادرست و عدم رعایت اصول بهره‌برداری آب این رودخانه، بر میزان املاح محلول این رودخانه افزوده شده و سبب کاهش کیفیت آب این رودخانه در طول دورهٔ آماری مورد مطالعه شده است. از سوی دیگر خشک‌سالی‌های اخیر که سبب کاهش دبی آب این رودخانه در سال شده است نیز در این امر تأثیرگذار بوده است. بنابراین، می توان نتیجه گرفت که روند افزایشی در میزان املاح محلول در آب و روند نزولی دبی جریان، کاهش کیفیت شیمیایی آب را جهت استفاده‌های گوناگون به‌خصوص کشاورزی سبب شده است. لذا، حفاظت از منابع آب در رودخانهٔ کارون باید بهبود یابد، از ورود فاضلاب‌های ناشی از فعالیت واحدهای کشاورزی و صنعتی به‌صورت خام و تصفیه نشده تا حد امکان به داخل رودخانه ممانعت شود. پیشنهاد می‌شود به‌منظور برنامه‌ریزی بهتر مدیران مربوطه و انجام اقدامات پیشگیرانه، سهم تقریبی مواد آلاینده و صنایع آلایندهٔ این رودخانه‌ها مشخص شود.

سپاسگزاری

این مقاله بخشی از نتایج طرح پژوهشی به شماره ۱۴۰۰/۳۶ بوده، نویسندگان این مقاله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان به دلیل حمایت‌های مالی–طرح پژوهشی و سایر کمک‌هایشان کمال قدردانی و تشکر را دارند.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

دسترسی به داده‌ها

تمامی اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه شده است.

مشارکت نویسندگان

محمدرضا انصاری: راهنمایی، ویرایش و بازبینی مقاله، کنترل نتایج، انجام تحلیل‌های نرم‌افزاری؛ **اشکان یوسفی:** مفهوم‌سازی، انجام تحلیل‌های نرم‌افزاری/آماری، نگارش نسخهٔ اولیهٔ مقاله.

منابع

انصافی‌مقدم، طاهره (۱۳۹۹). بررسی روند تغییرات سالانه، فصلی و ماهانه تراز آب‌های زیرزمینی (مطالعه موردی: زیرحوضه میقان اراک). *تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، ۲۷(۳)، ۵۱۶–۵۴۴. doi:10.22092/ijrdr.2020.6785.1075

جواهری.، پرهام، جواهری محسن (۱۳۸۰). چارهٔ آب در تاریخ فارس (جلد دوم). چاپ ۱، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران و گنجینه ملی آب ایران.

حسینی زارع، نادر، غلامی، علی، پناه پور، ابراهیم، و جعفر نژادی، علیرضا (۱۳۹۵). شناسایی و تعیین بار آلودگی آلاینده‌های کشاورزی در حوضه آبریز رودخانه‌های کارون و دز. *علوم و مهندسی آبیاری*، ۳۹(۳)، ۱۲۱–۱۳۴. https://www.sid.ir/paper/505346/fa

حسینی، پگاه، ایلدرومی، علیرضا، و حسینی، یاسر (۱۳۹۵). بررسی کارایی مدل Qual2kw در خود پالایی رودخانه: مطالعه موردی رودخانه کارون در بازه زرگان–کوت امیر. *علوم و تکنولوژی محیط‌زیست*، ۱۸(۴)، ۱۰۳–۱۲۲. https://jest.srbiau.ac.ir /article_9959.html

حق‌بین، احمد، و قمشی، مهدی (۱۳۹۲). آنالیز شوری در سد گتوند علیا و اثر آن بر رودخانه کارون. چهارمین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز.

خلف، راضی، و یعقوبی، زینب (۱۳۹۲). بررسی روند تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب رودخانه کارون در سراب و پایاب سد مخزنی گتوند. *علوم و مهندسی آب*، ۸(۳)، ۳۳–۵۳.

رحمانی، علیرضا، صمدی، محمدتقی، و حیدری، مجید (۱۳۸۷). ارزیابی کیفیت آب رودخانه‌های جاری در دشت همدان–بهار برای آبیاری بر مبنای دیاگرام ویلکوکس. *فناوری زیستی در کشاورزی*، ۵(۱)، ۲۷–۳۵. https://www.sid.ir/paper/505346/fa

زارعی، حیدرعلی، و آخوندعلی، علی (۱۳۸۵). بررسی تغییرات مکانی و زمانی کیفیت آب رودخانه کارون در بازه گتوند-شوشتر و تأثیر رود شور بر کیفیت آن. اولین همایش بهره‌برداری از منابع آب حوضه‌های کارون و زاینده‌رود، دانشگاه شهرکرد.

مروجی، مجتبی، کریمی رادایمان، ابراهیمی، کیومرث (۱۳۹۶). ارزیابی وضعیت کیفی رودخانه کارون بر اساس شاخص کیفیت آب و استفاده از GIS. اکو هیدرولوژی، ۴(۱)، ۲۲۵–۲۳۵.

سرمدی، محمد (۱۳۹۶). پیش‌بینی جامدات محلول آب رودخانه سراب از شبکه عصبی مصنوعی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، موسسه آموزش عالی عمران و توسعه (غیرانتفاعی و غیردولتی).

سعیدی پور، مسلم (۱۳۹۸). ارزیابی کیفی آب رودخانه‌های کارون و دز در فصول تر و خشک با استفاده از شاخص کیفی ویلکاکس و شولر جهت مصارف کشاورزی و شرب. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان.

فکوری دکاهی، بهمن، مظاهری، مهدی، و سامانی محمدولی، جمال (۱۳۹۷). ارزیابی راهکارهای کاهش شوری آب رودخانه کارون با استفاده از سناریوهای مدیریتی. *مهندسی عمران امیرکبیر*، ۵۰(۲)، ۲۴۵–۲۵۶. https://www.sid.ir/paper/165731/fa

کردیان، صدیقه (۱۳۹۳). ارزیابی کیفیت و آلودگی آب رودخانه تیره، در حدفاصل شهرهای بروجرد – دورود (استان لرستان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی شاهرود.

کریمی جشنی، ایوب، و سالاری درگی، مرجان (۱۳۹۳). طبقه‌بندی کیفی آب رودخانه (مطالعه موردی: رودخانه‌های کارون، دز و کرخه). *محیط زیست و توسعه*، ۱۰(۵)، ۲۹–۳۸. https://www.magiran.com/paper/1516965

میرزایی، مژگان، سلگی، عیسی، و سلمان ماهینی، عبدالرسول (۱۳۹۷). نقش کاربری اراضی در کیفیت آب رودخانه زاینده‌رود. *مهندسی منابع آب*، ۳۸(۱۱)، ۶۱–۷۰. https://www.sid.ir/paper/169480/fa

هاشمی فرد، اکبر، کردوانی، پرویز، و اسدیان، فریده (۱۳۹۷). تحلیل اثرات مواد آلاینده با منشا انسانی بر کیفیت آب رودخانه کارون (حد فاصل سد گتوند تا منطقه اهواز). *برنامه‌ریزی منطقه‌ای*، ۳۰(۱)، ۱۵۵–۱۶۴. https://jzpm.marvdasht.iau.ir/article_2918.html

References

Azhar, S.C., Aris, A.Z., Yusoff, M.K., Ramli, M.F., & Juahir, H. (2015). Classification of river water quality using multivariate analysis. *Procedia Environmental Sciences*, *30*(7), 79-84. doi:10.1016/j.proenv.2015.10.014

Beck, M., Perry de Valpine, B., Rebecca, M., Wren, I., Ariella, C., Melissa, F., & David. B. (2022). Senn Multi-scale trend analysis of water quality using error propagation of generalized additive models. *Science of The Total Environment*, *802*, 149927. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.149927

Camara, M., Jamil, F., & Abdullah, A (2019). Impact of land uses on water quality in Malaysia: a review. *Ecological Processes*, *10*(3), 25-39. doi:10.1186/s13717-019-0164-x

Che, M.S.Y., Reid, I., & Hashim, M. (2012). Rainfall trend analysis using 50 years historical data in newly developed catchment in Peninsular Malaysia. *Middle East Journal of Scientific Research*, 11(5), 668-673. https://www.idosi.org/mejsr/mejsr11(5)12/20.pdf

Cloern, J.E. (2018). Patterns, pace, and processes of water-quality variability in a longstudied estuary. *Limnology Oceanography*, *64(1)*, 192–208. doi:10.1002/lno. 10958.

Ensafi Moghaddam, T. (2021). Investigating the trend of annual, seasonal and monthly changes in the level of underground water (Case Study: Mighan Arak sub-basin). *Iranian Journal of Pasture and Desert Research*. *27*(3), 23-30. [In Persian]

Ensafi Moghaddam, Tahereh.(2019). Investigation of annual, seasonal and monthly changes in groundwater level (Case study: Miqan sub-basin). *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 27(3), 516-544. [In Persian]. doi:10.22092/ijrdr.2020.6785.1075.

Fakhouri Dekahi, B., Mazaheri, M., & Mohammad Vali Samani, J. (2018). Evaluation of Karun River water salinity reduction strategies using management scenarios. *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, *50*(2), 245-256. [In Persian]

Forbes, D.J., & Xie, Z. (2018). Identifying process scales in the Indian River lagoon, Floridausing wavelet transform analysis of dissolved oxygen. *Ecological Complexity*, *36*, 149–167. doi:10.1016/j.ecocom.2018.07.005.

Hagh Bin, A., & Ghomeshi, M. (2014). Analysis of salinity in upper Gatund Dam and its effect on Karun River. The 4rd National Conference On Irrigation and Drainage Networks Management. Ahvaz, Iran. [In Persian]

Hashemi Fard, A., Kordavani, P., & Asadian, F. (2019). Analysis of the effects of pollutants of human origin on the water quality of the Karun River (Between Gatund Dam and Ahvaz region). *Regional of Planning Quarterly*, *8*(30), 155-164. [In Persian]

Hosseini Zare, N., Gholami, A., Panahpour, I., & Jafarnejadi, A. (2014). Identifying and determining the pollution load of agricultural pollutants in the catchment area of Karun and Dez rivers. *Journal of Irrigation Sciences and Engineering)*, *3*(39), 121,134. [In Persian].

Hosseini, P., Ildoromi, A., & Hosseini, Y. (2016). The Study of Qual2kw model efficacy on River Self-purification (A Case Study of Karun River at Interval of Zargan to Kute Amir). *Jounral Of Environmental Science And Technology*, *18*(4), 103-122. https://jest.srbiau.ac.ir/article_9959.html?lang=en [In Persian]

Hossieni, P., Ildoromi, A., Hosseini, Y. (2016). The Study of Qual2kw Model Efficacy on River Self-purification(A Case Study of Karun River at Interval of Zargan to Kute Amir). *Journal of Environmental Scientific Technology*. *18*(4),103-122. [In Persian].

Houshmand, A., Dalqandi, M., Seyed Kabuli, H. (2009). Water quality zoning of Karun River based on WQI index using GIS. The Second Specialized Conference On Environmental Engineering. Tehran, Iran. [In Persian]

Ismail, W.R., & Hashim, M. (2014). Changing trends of rainfall and sediment fluxes in the Kinta River catchment, Malaysia. Proceedings and Report, *367*, 340–345. doi:10.5194/piahs-367-340-2015

Javaheri, P. (2001). The solution of water in the history of Fars. 1th Edition: Publications of Iran's National Irrigation and Drainage Committee, 288 pages. [In Persian]

هوشمند، عبدالکریم، دلقندی، محمد، سیدکابلی، حسام (۱۳۸۸). پهنه‌بندی کیفی آب رودخانه کارون بر اساس شاخص WQI با بهره‌گیری از GIS. دومین همایش تخصصی مهندسی محیط‌زیست. دانشگاه تهران.

Karimi Jashni, A., & Salari Dargi, M. (2015). Qualitative classification of river water (case study of Karun, Dez and Karkheh rivers), *Environment and Development Journal*, *10*(5), 38-29. [In Persian]

Kendall, M. (1975). Rank Correlation Methods, Griffin, London.

Khalaf, R., & Yaeghobi, S.Z. (2017). Spatial and temporal variability of water quality for Karun River, in Upstream and downstream Gotvand Dam. *Water Resources Engineering*, *8*(3), 33-53. [In Persian]

Kordian, S. (2013). Evaluation of the water quality and pollution of the Tirah River, between the cities of Borujerd and Durud (Lorestan Province). Master's Thesis, Shahroud University of Technology, Shahroud, Iran. [In Persian]

Lefcheck, J.S., Wilcox, D.J., Murphy, R.R., Marion, S.R., & Orth, R.J. (2017). Multiple stressors threaten the imperiled coastal foundation species eelgrass (zostera marina) in Chesapeake Bay. Global. Change. Biology. *23*, 3474–3483. doi:10.1111/gcb. 13623.

Luo, P., Kang, S., Zhou, M., Lyu, J., Aisyah Siti, Binaya, M., Regmi, R.K., & Nover, D. (2019). Water quality trend assessment in Jakarta: A rapidly growing Asian megacity. *PloS one*,*14*(7), 1–17. doi: 10.1371/journal.pone.0219009

Mahmoodabadi, M., & Rezaei Arshad, R. (2018). Long-term evaluation of water quality parameters of the Karoun River using a regression approach and the adaptive neuro-fuzzy inference system. *Marine Pollution Bulletin*, *126*, 372-380. doi: 10.1016/j.marpolbul.2017.11.051.

Mann, H.B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, *13*, 245-259.

Mirzaei, M., Selgi, J., Mahini, S., & Rasool, A. (2017). The role of land use in the water quality of Zayandeh Rud River. *Water Engineering*, *11*(38), 61-70. [In Persian]

Moravej, M., Karimi Rad, I., & Ebrahimi, K. (2016). Quality assessment of Karun river based on water quality index and using GIS. *Ecohydrology*, 1(4), 225-235. doi:10.22059/ije.2017.60905. [In Persian]

Nayan, N., Saleh, Y., Hashim, M., Mahat, H., & See, K.L. (2019). Investigating groundwater quality in the flood prone neighborhood area in Malaysia. *Indonesian Journal of Geography*, *51*(2), 123-130. doi:10.22146/ijg.35589

Pereli, P., Sahoo, B.C., Paul, J., Sahu, A.P., & Mohapatra, K. (2022). Trend analysis in gridded rainfall data using Mann–Kendall and Spearman's rho tests in Kesinga catchment of Mahanadi river basin, India. *Theorical and Apllied Climatology*, *12*(1), 23-35. doi:10.21203/rs.3.rs2332337/v1

Rahmani, A.R., Samadi, M.T., & Heydari, M. (2008). water quality assessment of hamadan-bahar plain rivers using wilcox diagram for irrigation. *Journal of Agricultural Biotechnology*, *5*(1), 27-35. [In Persian]

Ratnaningsih, D., Nasution, N., Wardhani, D., Pitalokasari, J., & Fauzi, R. (2019). Water pollution trends in Ciliwung River based on water quality parameters. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 1-13. doi :10.1088/1755-1315/407/1/012006

Saeedavi, Z., Khalili Moghadam, B., Bagheri Bodaghabadi, M., & Rangzan, N. (2017). Land suitability assessment for urban green space using AHP and GIS: A case study of Ahvaz parks, Iran. *Desert*, *22*(1), 117-133. doi:10.22059/JDESERT.2017.62174

Saeidi Pour, M. (2020). Water quality assessment of Karun and Dez Rivers in wet and dry seasons using wilcox and schuler quality index for agricultural and drinking purposes. Master's Thesis, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Bavi. Iran. [In Persian]

Sarmadi, M. (2016). Prediction of dissolved solids in Sara River water using artificial neural network. Master's Thesis, Civil and Development Higher Education Institute, Hamedan. [In Persian]

Shigute, M., Alamirew, T., Abebe, A., Christopher, E., & Habtamu, T. (2023). Analysis of rainfall and temperature variability for agricultural water management in the upper Genale river basin, Ethiopia. *Scienitific African*, 20-e01635. doi:10.1016/j.sciaf.2023.e01635

Simeonov, V., Stratis, J.A., Samara, C., Zachariadis, G., Voutsa, D., Anthemidis, A., Sofoniou, M., & Kouimtzis, T., (2003). Assessment of the surface water quality in Northern Greece. *Water Research*, *37*(17), 4119–4124. doi: 10.1016/S0043-1354(03)00398-1

Singh, S., Gautam, P.K., Sarkar, T., & Taloor, A.K., (2022). Characterization of the groundwater

quality in Udham Singh nagar of Kumaun himalaya, Uttarakhand. *Environmental Earth Science*, *81*(19), 1–13. doi:10.1007/s12665-022-10579-3

Vivekanandan, N., (2007). Analysis of trend in rainfall using non parametric statical methods. International symposium on rainfall rate and radio wave propagation. *American Institute of Physics*, P101-113. doi:10.1063/1.2767019

Yang, G., Moyer, D.L. (2020). Estimation of nonlinear water-quality trends in highfrequency monitoring data. *Science of The Total Environment*, *715*. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.136686.

Zarei, H., & Akhond Ali, A.M. (2007). Investigating the impact of Gachsaran Formation on the water quality of Karun River in Khuzestan Province and comparing it with Dez River. The 7th International Seminar on River Engineering, Ahvaz. Iran. [In Persian]