Shahid Chamran University of Ahvaz

Irrigation Sciences and Engineering (JISE)
Vol. 48, No. 3, Fall 2025, p. 125-145

Research Paper

Journal homepage: https://jise.scu.ac.ir

EXTENDED ABSTRACT

Classification and modeling based on soft Computing of Karun River: Gatund and Ahvaz Hydrometric Stations

Gh. Salehpour[1], M. Zayeri[2*] and M. Zeinivand[3]

1- Master in Civil Engineering, Department of Hydraulic Structures, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran..
2- Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Hydraulic Structures, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran (m.zayri@scu.ac.ir).*
3- Assistant Professor, Department of Hydraulic Structures, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

ARTICLE INFO

Artlcle history:
Received: 20 January 2024
Revised: 29 February 2024
Accepted: 03 March 2024
Available online: 05 November 2025

Keywords:
Principal Component Analysis, Decision Tree, Multiple Variable Regression, Multivariate Representation.

TO CITE THIS ARTICLE:

salehpour, G., Zayeri, M., Zeinivand, M. 2025. 'Classification and modeling based on soft Computing of Karun River: Gatund and Ahvaz Hydrometric Stations', *Irrigation Sciences and Engineering*, 48(3), pp. 125-145. doi: 10.22055/jise.2024.45876.2114

Abstract

Investigating changes in the quality of surface water has always been one of the most important issues for drinking, agriculture and industry, In this research, the water quality of the Karun River which is one of the largest sources of surface water supply in different parts of Khuzestan province, was studied at the Gatund water measuring station located downstream of the Gatund dam and Ahvaz water measuring station. The results indicate that during the years 2008 to 2011 and 2013 to 2015, which experienced lower than average precipitation, reflecting drought conditions, the reduction in river discharge has led to an increase in TDS (Total Dissolved Solids) and EC (Electrical Conductivity) values. According to the Piper diagram, the overall status of water samples taken at the Gotvand station shows a tendency towards non-carbonate hardness after the operation of the Gotvand dam in 2011. The water samples at this station exhibit anionic characteristics in the chloride zone or a mixed zone, and in terms of cations, they are positioned in the sodium-potassium or mixed zone. The Schoeller diagram results demonstrate that the water quality of the Karun River in terms of drinking water standards is acceptable at this station Also, the difference of water quality parameters of Karun River in dry (April to September) and wet (October to March) periods is 20% in Gatund station and 10% in Ahvaz station. The results obtained from the regression analysis of the TDS parameter in the Ahvaz hydrometric station show that machine learning models can be used as a powerful tool in predicting surface water quality , so that the performance of the decision tree model with the coefficient The determination of R2=0.97 and the multivariate regression model with the coefficient of determination R2=0.95 was used in the prediction of this parameter.

Introduction

Rivers stand as invaluable water resources, serving a multitude of crucial functions ranging from providing drinking water, supporting domestic needs, enabling agriculture, facilitating transportation, powering generators, offering recreational opportunities, to even serving as conduits for waste disposal. Throughout history, ancient civilizations thrived and flourished along riverbanks due to the accessibility of fresh water sources, and to this day, numerous developmental activities continue to

hinge on these aquatic lifelines. Within this context, the present study is centered on the Karoun River in Iran, selected as the focal point for a comprehensive evaluation of its water quality. The principal objectives of this endeavor encompass a comprehensive appraisal of the overall water quality and a systematic identification of the variables influencing the river's hydrochemistry. To accomplish these goals, established methodologies such as the Piper, Durov, and Schoeller graphical plots, well-regarded for their ability to portray temporal variations, have been harnessed (Aazami et al., 2018; Allahverdipour et al., 2023). These approaches provide insightful visualizations that are instrumental in discerning the water quality status within the studied area. Moreover, the study harnesses sophisticated multivariate statistical techniques, particularly Principal Component Analysis (PCA), known for its proficiency in dissecting complex datasets. PCA serves as an efficacious tool in dissecting the water samples and revealing the underlying characteristics of hydrochemical attributes (Astel et al., 2006; Babolhakami et al., 2019). By extracting hidden patterns and correlations among variables, PCA not only aids in comprehending the intricate interactions within the river's ecosystem but also facilitates informed decision-making in devising effective remedial measures. In conclusion, rivers endure as indispensable lifelines, intricately woven into the fabric of human existence. The study of the Karoun River in Iran is emblematic of the concerted efforts underway to ensure the continued well-being of our precious water resources.

Methodology

The Karun River, the most abundant and longest river in the Iran, originates from the Zardkouh Bakhtiari mountains and meanders through the central Zagros mountain range, eventually flowing into the Khuzestan plains. The study area, includes two hydrometric stations: Gotvand station downstream of the regulating dam at geographical coordinates "48.45'48°41 East longitude and "67.25'20°31 North latitude, which is situated 140 kilometers from the Gotvand station; and Ahvaz hydrometric station located in the city of Ahvaz at geographical coordinates "67.56'49°48 East longitude and "89.35'15°32 North latitude. The southern slopes of the Zagros mountain range, due to the presence of evaporative formations and the influx of relatively brackish tributaries, such as the Morghab, Shoor Andika, and Shoor Lali branches located upstream of the upper Gotvand dam, naturally contribute to the increased salinity of the Karun River's water. Considering the passage of these rivers through evaporative and brackish formations, including the Gachsaran Formation, they significantly influence the salinity of the water in the Gotvand dam reservoir and contribute to its declining quality. Over 50% of the river's length upstream of the Gotvand hydrometric station flows through the Gachsaran Formation, and the river water is in direct and permanent contact with these evaporative and soluble units.

Results and Discusspn

Temporal variations in TDS (Total Dissolved Solids) and EC (Electrical Conductivity) values of the Karun River are depicted at the Gotvand and Ahvaz hydrometric stations during the wet period (Mehr to Esfand) and the dry period (Farvardin to Shahrivar). The changes in TDS and EC parameters have shown an increasing trend from the water year 1385 onwards, but before and after the construction of the Gotvand reservoir dam, there is no distinct trend evident in both hydrometric stations. Under stable geological and pedological conditions of the watershed areas, with a decrease in river discharge, TDS and EC values increase. Figure (1) showed scree plot resulted from PCA method on ahvaz statition. A scree plot for explained variance and eigenvalues for the ten Principal Components (PCs) from the PCA analysis The highest percentage of water quality variations at the Gotvand station was influenced by two main factors. The first factor, which represents 49.79% of the changes in the Karun River's water quality at this station, includes the accumulation of salts (TDS, EC, SO4, Cl-, and Na+). The input of these parameters into the Karun River could be influenced by the dissolution of evaporite formations of the Gachsaran Formation in the upstream reservoir lake area of this station. The second factor, accounting for 13.83% of the changes in the water quality of the Karun River basin, is responsible. The highest correlation with this factor was found in parameters (pH, HCO3, and Mg2+).

The components of this factor indicate the acidity of surface waters, where the presence of HCO3 could be attributed to water passing through limestone formations or silicate weathering. the highest percentage of water quality variations at the Ahvaz station was influenced by two main factors. The first factor, representing 59% of the changes in the Karun River's water quality at this station, includes the accumulation of salts (TDS, EC, SO4, Cl-, Ca2+, Mg2+, Na+, and K+).

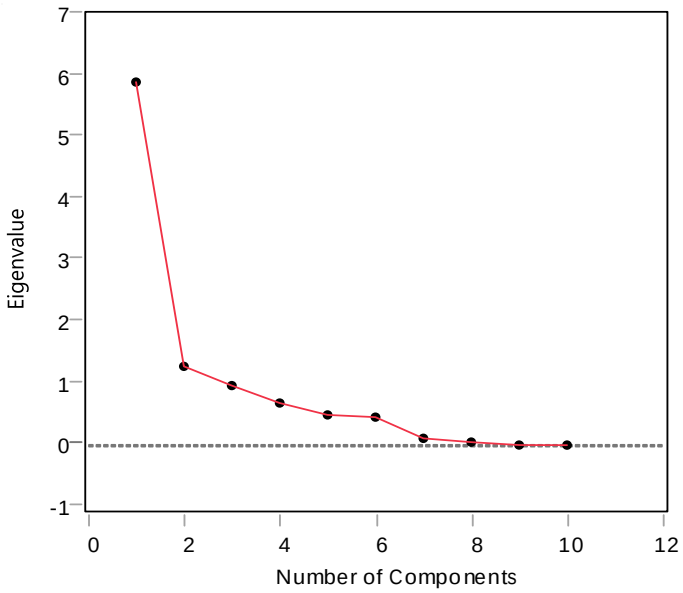


Fig. 1- Scree plot resulted PCA method on ahvaz statition

Conclusions

In this research, quantitative and qualitative components of the Karun River were investigated at the Gotvand hydrometric station downstream of the Gotvand reservoir and the Ahvaz hydrometric station in the city of Ahvaz using statistical methods such as principal component analysis, machine learning methods including decision tree and multiple variable linear regression, as well as graphical methods. The results indicate that during the years 2008 to 2011 and 2013 to 2015, which experienced lower than average precipitation, reflecting drought conditions, the reduction in river discharge has led to an increase in TDS (Total Dissolved Solids) and EC (Electrical Conductivity) values. According to the Piper diagram, the overall status of water samples taken at the Gotvand station shows a tendency towards non-carbonate hardness after the operation of the Gotvand dam in 2011. The water samples at this station exhibit anionic characteristics in the chloride zone or a mixed zone, and in terms of cations, they are positioned in the sodium-potassium or mixed zone. The Schoeller diagram results demonstrate that the water quality of the Karun River in terms of drinking water standards is acceptable at this station.

Acknowledgments

This article has been prepared from the results of the MSc. thesis of the first author and with the support of the university's research unit through the Second author's Grant by which the authors thank and appreciate the university's vice chancellor for research. We are grateful to the Research Council of Shahid Chamran University of Ahvaz for financial support In addition, the spiritual support of the scientific center "Improvement and maintenance of irrigation and drainage networks" is thanked and appreciated.

Conflict of Interest

The authors declared no potential conflicts of interest concerning the research, authorship, and publication of this article. Confirmation

Funding

The financial support of this research has been provided by Grant number SCU.WH1404.43525and we hereby thank the Honorable Vice Chancellor of Research from Shahid chamran university of ahvaz for their support.

Data Availability Statements

Data Availability Statement: All information and results are presented in the text of the article.

Authors' contribution

First author: Ghazaleh Salehpour, Data analysis
Second author: Mohammadreza Zayeri, Review of results
Third author: Zeinivand, Writing the article

References

1- Aazami, J., Moradpour, H., Zamani, A., & Kianimehr, N. 2018. Ecological quality assessment of Kor River in Fars Province using macroinvertebrates indices. *International Journal of Environmental Science Technology*, 17(4), 1–10.

2- Allahverdipour, P., & Sattari, M.T. 2023. Comparing the performance of the multiple linear regression classic method and modern data mining methods in annual rainfall modeling (Case study: Ahvaz city). Water and Soil Management and Modeling, 3(2), 125-142. DOI: 10.22098/mmws.2022.11337.1120

3- Astel, A., Biziuk, M., Przyjazny, A. & Namiesnik, J. 2006. Chemometrics in monitoring spatial and temporal variations in drinking water quality. *Water Research*, 8, 1706-1716

4- Babolhakami, A., & GholamiSefidkouhi, M. 2019. Analyze of Talar River Water Quality using Multivariate Techniques. *Journal of Watershed Management Research*. 9 (18) ,250-259. Doi: 10.29252/jwmr.9.18.250

© 2025 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

علوم و مهندسی آبیاری جلد ۴۸، شماره‌ی۳، پاییز ۱۴۰۴، مقاله پژوهشی، ص. ۱۲۵-۱۴۵

کلاس‌بندی و مدل‌سازی مبتنی بر محاسبات نرم کیفیت آب رودخانه کارون: ایستگاه‌های آب‌سنجی گتوند و اهواز

غزاله صالح پور[۱]، محمدرضا زایری[۲*] و مهدی زینی وند[۳]

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۲*- نویسنده مسئول، استادیار گروه سازه های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران (m.zayri@scu.ac.ir)

۳- استادیار گروه سازه های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۳۰ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۲/۱۰ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۳ انتشار: ۱۴۰۴/۰۸/۱۴

چکیده

بررسی تغییرات کیفیت آب‌های سطحی همواره یکی از موضوعات مهم برای استفاده به‌منظور شرب، کشاورزی و صنعت بوده است از این رو آلودگی آب رودخانه‌ها در سال‌های گذشته می‌تواند خطری جدی برای انسان و اکوسیستم‌های طبیعی منظور شود. در این تحقیق به مطالعه کیفیت آب رودخانه کارون که یکی از بزرگترین منبع تأمین آب سطحی بخش‌های مختلف استان خوزستان می‌باشد در ایستگاه آب‌سنجی گتوند واقع در پایین دست سد گتوند و ایستگاه آب‌سنجی اهواز طی سال‌های آبی ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۹ پرداخته شد. به‌منظور بررسی کیفیت آب از نمودارهای سری زمانی پایپر، شولر و دوروف استفاده گردید. نتایج کیفی آب رودخانه کارون در نمودار پایپر ایستگاه گتوند نشان می‌دهد نمونه‌های آب دارای تیپ کلروره سدیک است. همچنین اختلاف پارامترهای کیفیت آب رودخانه کارون در دوره‌های خشک (فروردین تا شهریور) و مرطوب (مهر تا اسفند) در ایستگاه گتوند ۲۰ درصدی و در ایستگاه اهواز ۱۰ درصدی می‌باشد. همچنین روش تجزیه و تحلیل مؤلفه اصلی نشان داد که تقریباً در هر دو ایستگاه ۷۰ درصد تغییرات کیفیت آب توسط دو عامل اول اتفاق می‌افتد. در ایستگاه گتوند بیشترین تغییرپذیری در پارامترهای (TDS، Ec، Na^+، Cl- و So_4) در دوره مرطوب رخ داده است. مهم‌ترین پارامتر مؤثر ورودی در پیش‌بینی مقدار TDS در ایستگاه اهواز با استفاده از مدل رگرسیون چند متغیره و درخت تصمیم پارامتر Na+ بوده است. نتایج به‌دست آمده از تحلیل رگرسیونی پارامتر TDS در ایستگاه هیدرومتری اهواز نشان می‌دهد که مدل‌های یادگیری ماشین می‌توانند به‌عنوان یک ابزار توانمند در پیش‌بینی کیفیت آب سطحی در موارد فقدان اندازه گیری این پارامتر مورد استفاده قرار گیرند به نحوی که عملکرد مدل درخت تصمیم با ضریب تعیین R^2=۰/۹۷ و مدل رگرسیون چند متغیره با ضریب تعیین R^2=۰/۹۵ در پیش بینی این پارامتر بوده است.

کلیدواژه‌ها: تحلیل مؤلفه‌های اصلی، درخت تصمیم، رگرسیون چند متغیره ، نمایش چند وجهی.

مقدمه

رودخانه‌ها منابع آب قابل حصول و در دسترس بوده و از دیرباز همواره جوامع انسانی و مراکز صنعتی در مجاورت آن‌ها برپا شده است. در دهه‌های اخیر افزایش جمعیت، گسترش صنایع و تولید انواع آلاینده‌ها در مناطق شهری، صنعتی و کشاورزی، آلودگی رودخانه‌ها را افزایش داده است. ورود مواد مغذی و آلاینده‌های تجزیه‌پذیر بیولوژیکی به رودخانه خصوصاً فاضلاب‌های خانگی و پساب‌های کشاورزی باعث آلودگی این منابع آبی می‌شود. محیط زنده رودخانه را به مخاطره می‌اندازد و مشکلات زیست محیطی متعددی را موجب می‌گردد. از این رو مدیریت کیفیت آب رودخانه‌ها به این دلیل که بیشتر در معرض مستقیم انواع آلاینده‌ها هستند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Gholizadeh and Zibaei, 2020). تا دهه ۱۹۸۰ بیشتر تحقیقات در مورد فعالیت‌های انسانی و ایجاد اختلال در اکوسیستم‌های آب شیرین، براساس ارزیابی عوامل تنش‌زای فیزیکی و شیمیایی کیفیت آب بوده است. اما این رویکرد فقط شرایط را در زمان و مکان نمونه‌برداری در نظر می‌گیرد (Fierro et al. 2017; Aazami et al. 2018). شاخص‌های محیط زیستی ابزار مهمی است که می‌تواند در ارزیابی سلامت اکوسیستم آبی استفاده شود و از این شاخص‌ها می‌توان در تصمیم‌گیری کاربردی استفاده کرد (Pinto et al. 2009; Diaz et al. 2004). روش‌های آماری چند متغیره به‌طور فزاینده‌ای در ارزیابی کیفیت آب، تجزیه و تحلیل محیطی و انتخاب متغیرهای کیفی برای ایجاد طرح‌های پایش کیفیت آب استفاده می‌شود (Astel et al, 2006). به‌طور خلاصه روش‌های آماری چندمتغیره می‌توانند ارتباط بین پارامترهای فیزیک و شیمیایی از قبیل EC، PH و دما و همچنین رابطه بین متغیرها و نمونه‌ها را کشف کنند (Zhang et al, 2020). تاکنون تحقیق‌های مختلفی در زمینه استفاده از روش‌های آماری و یا محاسبات نرم در بررسی کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی در مناطق مختلف انجام شده است (Haghiabi et al., 2018; Mansour-Bahmani et al., 2021; Nezaratian et al., 2021; Parsaie & Haghiabi, 2017; Qishlaqi et al., 2017).

DOI: 10.22055/jise.2024.45876.2114

Rooki et al (2017) در مطالعه‌ای به بررسی کیفیت آب زیرزمینی آبخوان دشت گناباد خراسان رضوی با استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره و هوش مصنوعی پرداختند. در این تحقیق داده‌های هیدروشیمیایی اخذ شده از چاه‌های بهره‌برداری دشت گناباد که در جنوب استان خراسان رضوی واقع شده، طی یک دوره ۵ ساله (از ۸۵ تا ۹۰) مورد مطالعه قرار گرفته است. بررسی نتایج نشان می‌دهد که کیفیت آب در دشت متأثر از دو فاکتور است. فاکتور اول که ترکیب خطی عوامل Ca^{2+}، Mg^{2+}، Na^{+}، So_4^{2-}، TH،Cl^{-} و EC است به‌عنوان فاکتور شوری و سختی آب در دشت شناخته می‌شود. فاکتور دوم ترکیب CO_3،HCo_3 و pH است که بیانگر آلکالینیته آب بوده است. در ادامه مدل‌سازی پارامترهای کیفی EC،TDS و TH آب زیرزمینی با استفاده از پارامترهای شیمیایی یعنی یون‌های اصلی و pH با شبکه‌های عصبی مصنوعی انجام شد. مقایسه نتایج حاصل از پیش‌بینی شبکه عصبی با داده‌های صحرایی نشان‌دهنده قابلیت بالای این روش برای پیش‌بینی کیفیت آب از روی فقط چند کاتیون و آنیون و pH است، بنابراین در صورت کمبود مطالعه در یک منطقه می‌توان از این مدل‌ها برای پیش‌بینی کیفیت آب در نقاط مجهول استفاده کرد. Nurollahi et al. (2018) به بررسی عوامل مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی آبخوان دشت مشگین شهر در استان اردبیل با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره ازجمله تحلیل خوشه‌ای و تحلیل عاملی با هدف بررسی منشأ احتمالی برخی فلزات سنگین در آب زیرزمینی پرداختند. نتایج آنالیز چندمتغیره نشان می‌دهد که اغلب فلزات سنگین در آب زیرزمینی از سازندهای آتشفشانی موجود در منطقه نشأت می‌گیرند و شوری و اسیدیته نقش مهمی در آزادسازی آن‌ها به آب زیرزمینی دارد. تحلیل عاملی نشان می‌دهد که فرایندهای زمین‌زاد با مجموع واریانس ۷۹/۹ درصد و عوامل انسان‌زاد با مجموع واریانس ۶/۶ درصد شیمی آب زیرزمینی منطقه را کنترل می‌کنند. Sayadi و Mahmoudlou (2020) در پژوهشی به بررسی و پیش‌بینی پارامترهای کیفی رودخانه گاماسیاب با استفاده از روش چند متغیره و سری‌های زمانی پرداختند. در این تحقیق از میانگین سالانه برخی پارامترهای کیفی مربوط به یک دوره آماری شش ساله در دو ایستگاه پل‌چهر و دوآب استفاده شد. نتایج نشان داد در ایستگاه پل‌چهر، به‌جز پارامتر pH، سایر پارامترهای کیفی دارای روند افزایشی بودند، در حالی‌که در ایستگاه دوآب، تمامی پارامترهای کیفی به‌جز منیزیم و سولفات روند کاهشی داشتند. براساس دیاگرام‌های مثلثی و گیبس به‌ترتیب رخساره غالب آب در هر دو ایستگاه کلیم–منیزیم–بی‌کربنات و عامل اصلی کنترل‌کننده شیمی آب واکنش آب– سنگ بود. Mohammadi et al. (2021) در مطالعه‌ای به ارزیابی هیدروشیمیایی منابع آب دریاچه سدجره با استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره و روش‌های هیدروشیمیایی پرداختند. نتایج آنان نشان می‌دهد که تیپ آب و گروه‌بندی نمونه‌ها با استفاده از دیاگرام پایپر دارای تیپ سولفاته – کلسیم می‌باشند. بررسی شاخص‌های اشباع، نسبت‌های یونی، نمودار گیبس و همچنین نتایج حاصل از روش‌های آماری چندمتغیره، انحلال و فرسایش رسوبات حاصل از سازند گچساران را به‌عنوان عوامل اصلی نامطلوب شدن کیفیت آب دریاچه سدجره در بخش جنوب شرقی (خروجی یا دهانه سد) نشان می‌دهد. GhassemiDehnavi et al. (2016) به ارزیابی کیفی و کمی آب‌های سطحی با استفاده از آنالیز آماری در رودخانه ازنا لرستان پرداختند. نتایج آنان نشان می‌دهد که با نمودار پایپر تیپ آب‌های نشان‌دهنده بی‌کربناته کلسیکی هستند. همچنین با اعمال روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی تعداد ۱۱ مؤلفه اصلی برای داده‌ها تعیین شد، که سه مؤلفه اول با بیش از ۷۰ درصد تغییرپذیری، جامعه آماری را توجیه می‌کنند که بیشترین میزان همبستگی بین مجموع مواد جامد محلول و کلر مشاهده شد. Gholizadeh و Zibaei (2020) به بررسی هیدروشیمی آب رودخانه چهل‌چای استان گلستان براساس نمودار پایپر، شولر، دورو، ویلکاکس، گیبس پرداختند. نتایج آنان نشان می‌دهد تیپ آب رودخانه به‌طور غالب بی‌کربنات کلسیم بوده است. آب منطقه مورد مطالعه توسط نمودار شولر برای شرب در حد قابل قبول و براساس نمودار ویلکاکس ۸۰ درصد نمونه‌ها در کلاس شور قابل استفاده برای کشاورزی ارزیابی شد. Malekian et al. (2016) در مطالعه‌ای به بررسی تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب زیرزمینی در دشت ورامین پرداختند. توزیع مکانی سه پارامتر سختی کل (TH، TDS و EC) برای تهیه تغییرات نقشه پهنه–بندی کیفیت آب زیرزمینی در یک دوره پنج ساله با استفاده از روش‌های میان‌یابی به کمک ترکیب منطق بولن و فازی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آنان نشان داد که نقشه‌های پهنه‌بندی کیفی آب در نواحی غرب و جنوب غرب این دشت براساس استاندارد آب آشامیدنی ایران، از لحاظ شرب نامطلوب است که بیشترین دلیل آن وجود پهنه‌های رسی نمکی با سولفات سدیم در این مناطق و ضخامت کم آبخوان در این قسمت می‌باشد. Kazemzadeh و Malekian (2016) به تجزیه و تحلیل پارامترهای کیفیت آب سطحی با استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره بر حوزهٔ آبخیز آجی چای طی دورهٔ آماری ۱۳۶۰–۱۳۸۶ با استفاده از سه روش تحلیل خوشه‌ای (CA)، تحلیل تشخیص (DA) و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) پرداختند. نتایج آنان نشان می‌دهد که کیفیت آب سطحی ایستگاه‌های قرار گرفته در خوشهٔ همگن یک بهتر از دو خوشهٔ همگن دیگر بوده است. همچنین تحلیل تشخیص نشان داد که مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بر کیفیت آب منطقهٔ مطالعاتی، پارامترهای HCO_3-، SAR، Na^{+}، SO_4 و Ca را شامل می‌گردد. Babolhakami و GholamiSefidkouhi (2019) در مطالعه‌ای به تجزیه و تحلیل کیفیت آب رودخانه تالار با استفاده از روش‌های چندمتغیره طی سال‌های ۲۰۱۴–۲۰۱۱ پرداختند. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل خوشه‌ای، ایستگاه‌ها را از نظر کیفیت آب به سه گروه تقسیم نمود. گروه اول شامل ایستگاه‌های پالندرودبار, کریکلا و تجون, گروه دوم شامل ایستگاه‌های شیرگاه و کیاکلا و گروه سوم شامل ایستگاه پل سفید بود. همچنین نتایج نشان داد

جریان پساب‌های صنعتی، خانگی، بیمارستان و کشاورزی از علل عمده نامناسب شدن کیفیت رودخانه تالار می‌باشد. از آنجاکه رودخانه کارون سهم عمده‌ای در تأمین آب موردنیاز بخش‌های مختلف استان خوزستان دارد، شناخت کیفیت آب آن به‌دلیل تغییرات احتمالی بخاطر ورود آلاینده‌های متعدد در مسیر آن ضروری است. بر این اساس، هدف اصلی این تحقیق ارائه چارچوب مناسبی برای پاسخ به وجود ارتباط میان پارامترهای فیزیکی و شیمیایی حد فاصل پایین دست سد گتوند و شهر اهواز بود. به‌منظور تحلیل کیفی با بهره‌گیری از روش‌های گرافیکی از قبیل نمودارهای پایپر، دوروف و شولر از پارامترهای کلسیم (Ca^{2+})، منیزیم (Mg^{2+})، پتاسیم (k^{+})، سدیم (Na^{+})، بی‌کربنات ($HC0_3$)، سولفات (SO_4)، کلراید (Cl^{-})، هدایت الکتریکی (Ec)، مجموعهٔ مواد جامد محلول در آب (TDS)، اسیدینه (PH) و دما استفاده شد. همچنین مطابق تحقیقات گذشته، در بیشتر مواقع از مدل رگرسیون ساده برای مدل‌سازی استفاده شده است. در این تحقیق با استفاده از روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA) مهم‌ترین مؤلفه‌های تأثیرگذار بر مقدار TDS رودخانه کارون در شهر اهواز تعیین و پیش‌بینی این پارامتر با استفاده از مدل رگرسیون چندمتغیره و مدل درخت تصمیم مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ مورد مطالعه

رودخانه کارون، پرآب‌ترین و طولانی‌ترین رودخانه‌ی کشور می‌باشد که از زردکوه بختیاری سرچشمه گرفته و با مسیری طولانی سلسله جبال زاگرس مرکزی را به دشت‌های خوزستان سرازیر می‌شود. منطقهٔ مورد مطالعه مطابق شکل (۱)، شامل دو ایستگاه هیدرومتری گتوند در پایین دست سد تنظیمی در موقعیت جغرافیای "۴۹°۴۸'۵۶/۶۷ طول شرقی و "۳۲°۱۵'۳۵/۸۹ عرض شمالی و ایستگاه هیدرومتری اهواز در شهر اهواز به فاصله ۱۴۰ کیلومتری از ایستگاه گتوند در موقعیت جغرافیای "۴۱°۴۸'۴۵/۴۸ طول شرقی و "۲۰°۳۱'۲۵/۶۷ عرض شمالی می‌باشد. دامنه‌های جنوبی رشته کوه زاگرس به‌علت وجود سازندهای تبخیری و همچنین اضافه شدن شاخه‌های نسبتاً شور پرآب با کیفیت نامناسب ازجمله شاخه‌های مرغاب، شور اندیکا و شور لالی که در بالادست سد گتوند علیا قرار دارند به‌صورت طبیعی باعث افزایش شوری آب رودخانه کارون می‌گردند و باتوجه به عبور این رودها از سازندهای تبخیری و شور ازجمله سازند گچساران، تأثیر بسیار عمده‌ای را روی شوری آب مخزن سد گتوند و افت کیفیت آن خواهند داشت. بیش از ۵۰ درصد طول مسیر رودخانه در بالادست ایستگاه هیدرومتری گتوند در بستری از سازند گچساران جریان دارد و آب رودخانه در تماس مستقیم و دائمی با این واحدهای تبخیری و قابل انحلال می‌باشد. از این‌رو برای تحلیل داده‌های کمی و کیفی جریان رودخانه کارون ابتدا کل داده‌های منابع آب از سازمان آب و برق استان خوزستان بین سال‌های آبی ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۹ اخذ گردید. شاخص‌های آماری پارامترهای کیفی آب برداشت شده از ایستگاه‌های موجود مورد مطالعه ازجمله کلسیم (Ca^{2+})، منیزیم (Mg^{2+})، پتاسیم (k^{+})، سدیم (Na^{+})، بی کربنات ($Hc0_3$)، سولفات (SO_4)، کلراید (Cl^{-})، هدایت الکتریکی (Ec)، مجموعهٔ مواد جامد محلول در آب (TDS)، اسیدینه (PH) و دما در دو ایستگاه مورد مطالعه در جداول (۱) و (۲) نشان داده شده است.

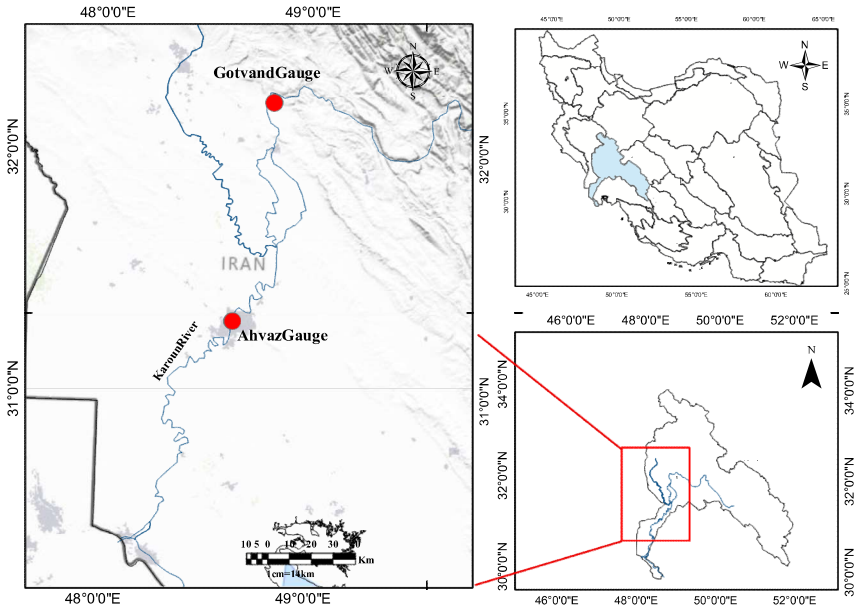


Fig. 1- Location of the gauge stations of the Gotvand and Ahvaz on the Karun river

شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های آب سنجی گتوند و اهواز در مسیر رودخانه کارون

DOI: 10.22055/jise.2024.45876.2114

جدول ۱- خصوصیات آماری نتایج مؤلفه‌های کیفی در ایستگاه آبسنجی گتوند

Table 1- Statistical characteristics of the results of water qualitative components in the gotvand station

parameter	K	Na	Mg	Ca	Cl	HCO3	So4	pH	EC	TDS	Temp
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L		$\mu mho/cm$	mg/L	°C
mean	0.05	6.47	1.63	4.52	6.67	2.8	3.06	7.76	1254.9	789.52	19
standard deviation	0.02	3.59	0.82	1.23	3.53	0.33	1.47	0.25	437.11	272.79	2.91
minimum	0.01	1.77	0.02	1.58	1.71	1.5	0.03	7	520	15.42	5.4
maximum	0.15	21.44	6.18	8.64	19.79	3.92	10.3	8.3	2700	1730	28.4

جدول ۲ - خصوصیات آماری نتایج مؤلفه‌های کیفی در ایستگاه آبسنجی اهواز

Table 2- Statistical characteristics of the results of water qualitative components in the ahvaz station

parameter	K	Na	Mg	Ca	Cl	HCO_3	SO_4	pH	EC	TDS	Temp
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L		$\mu mho/cm$	mg/L	°C
mean	0.08	11.72	3.8	6.65	11.14	3.34	7.51	7.65	2159.74	1376.95	21.9
standard deviation	0.04	4.04	1.12	1.76	3.99	0.48	2.39	0.29	553.6	351.19	4.72
minimum	0.01	2.58	1.26	2.6	3.13	0.64	1.6	6.7	660	422	11
maximum	0.21	23.8	6.5	15.6	24.5	4.39	15.51	8.3	3570	2271	31

رگرسیون خطی چند متغیره (MLR)

رگرسیون یکی از روش آماری است که از رابطهٔ بین دو یا چند متغیر از میان داده‌های مشاهداتی در جهت پیش‌بینی متغیرهای دیگر استفاده می‌کند. تاکنون مطالعه‌های بسیاری پیرامون پیش‌بینی پارامترهای کیفی آب رودخانه با استفاده از این مدل صورت پذیرفته شده است (Basu & Lokesh, 2014; Ewaid et al., 2018; Kadam et al., 2019; Nasir et al., 2011; Ouma et al., 2020; Zare Abyaneh, 2014). به‌طور کلی دو نوع رگرسیون خطی وجود دارد، رگرسیون خطی ساده و رگرسیون خطی چندمتغیره . در این روش‌ها فرض می‌شود که متغیرهای کمی به‌صورت خطی با یکدیگر مرتبط هستند (Nolan et al., 2015) معادلهٔ رگرسیون خطی چندمتغیره که در این مطالعه استفاده شده، در رابطهٔ (۱) نشان داده شده است.

$$P = a + bX_1 + cX_2 + dX_3 + \cdots \quad (۱)$$

در معادلهٔ رگرسیون خطی چندمتغیره، یک متغیر باید تخمین زده شود که به‌عنوان متغیر هدف (متغیر وابسته) که در رابطه (۱) با P نمایش داده شده است، درنظر گرفته می‌شود. متغیرهایی پیش‌بینی‌کننده یا متغیر مستقل با X_1، X_2، X3 و ... در نظر گرفته می‌شوند. ضرایب رگرسیون (a, b, c, d, …) بر مقدار متغیر وابسته تأثیر دارند که با روش‌های مختلف ازجمله حداقل کردن مجموع مربعات خطا محاسبه می‌شوند.

روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)

تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) یک روش پرکاربرد در علم آمار است که غالباً برای بررسی گروهی از متغیرهای همبسته می‌تواند مجموعهٔ بزرگی از متغیرها را به مجموعه‌ای کوچکتر کاهش دهد که قابلیت تفسیر و تحلیل بهتری داشته باشد. (Cheraghi et al., 2019) این روش به خصوص زمانی که ابعاد و همچنین ترکیب ساختار داده‌ها مشخص نباشد، مفید است. در این روش متغیرهای مستقل در یک فضای چندبعدی همبسته به یک مجموعه از مؤلفه‌های غیرهمبسته تفکیک می‌شوند که هریک از آن‌ها ترکیب

خطی از متغیرهای اصلی هستند لذا مزیت اصلی کاربرد این روش از بین بردن هم‌خطی در مدل‌ها به واسطه تعداد زیاد متغیرهای مؤثر در مدل است. برای ساده‌سازی و درک رابطه پیچیده بین پارامترهای کیفیت آب رودخانه با بهره‌مندی از این روش تحقیقات فراوانی صورت پذیرفته شده است (Fan et al., 2010; Kamal Jyoti Maji & Ramjee Chaudhary, 2019; Nasir et al., 2011; Ouyang, 2005; Petersen et al., 2001). مؤلفه‌های غیرهمبسته به‌دست آمده در این روش مؤلفه‌های اصلی نامیده می‌شوند که از بردارهای ویژه ماتریس کوواریانس متغیرهای اصلی به‌دست می‌آیند (Jolliffe and Cadima, 2016). تعداد مؤلفه‌های استخراج شده معمولاً با دو یا سه مؤلفهٔ اول، مقدار قابل توجهی از پراکندگی داده‌ها را نشان می‌دهد. بنابراین، انتخاب دو یا سه مؤلفهٔ اول برای ادامه کار کفایت می‌کند. اما در برخی از موارد لازم است از معیارهای دیگری برای یافتن تعداد مؤلفه‌های لازم بهره برد. این معیارها عبارتند از: آزمون اسکری، معیار مقدار ویژه ماتریس همبستگی و معیار بیشترین واریانس (Allahverdipour and Sattari, 2023).

روش درخت تصمیم (DT)

شناسایی محدوده‌های همگن و ارائه روابط ساده خطی برای هریک از این محدوده‌ها باعث افزایش دقت مدل می‌شود. بر این اساس برای حل مسائل پیچیده بهتر است که آن مسئله را به تعدادی مسئله کوچکتر و ساده‌تر تقسیم و در ادامه جواب‌ها را با هم ترکیب نمود. این ایده تعریف ابتدایی برای مدل‌های مبتنی بر کلاس‌بندی و خوشه‌بندی است. الگوریتم M5 نیز فضای پیچیده مسئله مورد بررسی را به تعدادی دسته تقسیم کرده و سعی می‌کند فضای هر زیردسته را به‌صورت ساده با استفاده از روابط ساده مدل‌سازی نماید. مدل درختی M5 یا الگوریتم M5 اولین بار توسط Quinlan (1992) به دنیای محاسبات مهندسی معرفی شد. بعدها این الگوریتم توسط Wang و Witten (1996) اصلاح شد و بهبود یافت. الگوریتم M5 مجموعه از روابط خطی را برای کلاس‌بندی فضای مسئله توسعه می‌دهد. مهم‌ترین مزیت این الگوریتم نسبت به سایر الگوریتم‌های دیگر را در قابلیت تفسیرپذیری مناسب‌تر از نظر ارتباط بین پارامترهای مؤثر دانست. الگوریتم M5 دسته‌بندی فضای مسئله را براساس خصوصیات یک متغیر انجام می‌دهد. بدین صورت که یک فضای مسئله را براساس خصوصیات یک متغیر به دوسته تقسیم می‌کند و سپس بعد از بررسی هر زیردسته می‌تواند آن زیردسته را به دو زیردسته دیگر تقسیم کند و بدین صورت می‌تواند تمام فضای مسئله را به زیر فضاهایی که تحلیل آن‌ها بسیار ساده است تقسیم کند. در این الگوریتم از پارامتر انحراف معیار مقادیر متغیر هدف به‌عنوان اندازه‌گیری خطا در هر گره و برای ایجاد زیرشاخه در آن گره استفاده می‌کند. الگوریتم M5 با توسعه شاخه تشکیل یک درخت داده که به درخت تصمیم معروف است. قابل ذکر است که این درخت، وارونه بوده به‌طوری‌که ریشه آن در بالا و شاخه‌های آن رو به پایین است. به‌عبارت دیگر، توسعه این درخت وارونه و از بالا رو به پایین است. این الگوریتم برخلاف مدل‌های دیگر الگوریتم‌های خطی مانند CART بعد از تقسیم فضای مسئله مورد بررسی به زیر دامنه‌ها، بجای ارائه یک عدد برای زیردسته یک رابطه ریاضی خطی چندمتغیره ارائه می‌دهد. از دیگر مزایای این الگوریتم نسبت به الگوریتم CART تولید فضای تقسیم شده کوچک‌تر، توسعه مدل قابل فهم‌تر و دقت بهتر این الگوریم اشاره نمود. همان‌طور که گفته شد در این الگوریتم از پارامتر انحراف معیار مقادیر متغیر هدف به‌عنوان معیار اندازه‌گیری خطا در هر گره برای ایجاد شاخه در آن گره استفاده می‌شود. بدین صورت که متغیری که موجب بیشترین کاهش انحراف معیار می‌شود به‌عنوان پارامتر مبنا برای ایجاد شاخه درنظر گرفته می‌شود. کاهش انحراف استاندارد (SDR)، تابع خطا در الگوریتم M5 بوده و به‌صورت رابطه (۲) به‌کار می‌رود.

$$SDR = sd(t) - \sum \frac{|T_i|}{|T|} \times sd(T_i) \qquad (۲)$$

در رابطه فوق T شامل نمونه‌هایی است که به گره مورد نظر رسیده‌اند Ti ها تعداد داده‌هایی هستند که از تقسیم کردن درگره مورد نظر براساس صفت انتخاب شده به‌دست آمده‌اند. Sd نیز معرف انحراف معیار است. الگوریتم M5 تمام سناریوهای ممکن را برای ایجاد شاخه براساس صفت خاص را بررسی کرده و در نهایت گزینه‌ای را انتخاب می‌کند که بتواند نسبت به سایر سناریوها تابع خطا را بیشتر کند. پس از تکمیل درخت، برای نمونه‌های موجود در هر زیرشاخه گره داخلی، یک مدل رگرسیون خطی چندمتغیره برازش داده می‌شود. شکل (۲) نحوه تقسیم فضای مسئله به اجزای کوچک‌تر و کاربرد مدل‌های خطی را برای هرکدام از زیر دامنه‌ها با توجه به ساختار درختی نشان می‌دهد.

DOI: 10.22055/jise.2024.45876.2114

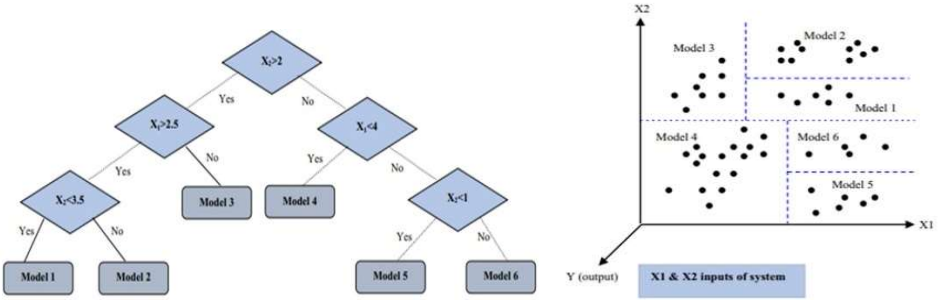


Fig. 2- Examples of the M5 algorithm a) Dividing the space of input parameters (X1×X2) into 6 areas and b) Expression of criteria for dividing the space of input parameters in the form of a tree

شکل ۲- نمونه هایی از الگوریتم M5 الف) تقسیم فضای پارامترهای ورودی (X1×X2) به ٦ ناحیه

ب) بیان معیار تقسیم فضای پارامترهای ورودی به‌صورت درختی

در طی ساخت مدل درختی توسط الگوریتم M5 فرایند جداسازی در گره‌های تقسیم ممکن است بارها تکرار شده و درنتیجه درخت بسیار بزرگی ایجاد شود. در این حالت دقت مدل برای داده‌های آموزشی با افزایش شاخه‌های درخت افزایش می‌یابد که این موضوع سبب می‌شود که مدل ایجاد شده روی‌داده‌های آموزشی نتایج مطلوبی ارائه دهد و ممکن است تعمیم مدل برای نمونه‌های مستقل آزمایشی دقت خوبی را نداشته باشد. در این حالت مدل بیش برازش شده است. برای غلبه بر این مسئله از روش هرس کردن ساختار درخت استفاده می‌شود. بعضی مواقع هرس کردن برخی از شاخه‌های ضعیف‌تر باعث بهبود قدرت پیش‌بینی مدل می‌شود. روش هرس کردن از تخمین خطای مورد انتظار که در هر گره برای هر داده آموزشی به‌دست می‌آید، استفاده می‌کند. در ابتدا قدرمطلق تفاضل بین مقادیر پیش‌بینی‌شده توسط مدل و مقادیر واقعی برای هرکدام از داده‌های آموزشی که به گره مربوطه می‌رسند، میانگین گرفته می‌شود. به‌دلیل اینکه این درخت‌ها برای این مجموعه از داده‌ها ساخته شده‌اند، متوسط خطای مورد انتظار را برای موارد جدید دست پایین پیش‌بینی خواهند کرد. برای جبران این موضوع، مقادیر خروجی بیانگر تعداد داده‌های آموزشی است، که به گره n ضرب می‌شوند که در آن (n+v)/(n-v) در تعداد پارامترهای مدل است. بنابراین این ضرب انجام می‌شود تا از دسته v موردنظر رسیده‌اند و پایین شدن مقدار خطا که ناشی از محاسبه آن براساس نمونه‌های آموزشی است، برای داده‌های جدید پرهیز شود. اگر خطای تخمین زده شده در منشأ کمتر باشد برگ و گره می‌تواند هرس شود. بعد از عملیات هرس کردن یکسری شکستگی (ناپیوستگی) بین مدل‌های خطی مجاور در برگ‌های درخت هرس شده، ایجاد می‌شود که این امر سبب از بین رفتن یکپارچگی سیستم می‌شود، به‌خصوص برای برخی از مدل‌ها که با استفاده از داده‌های آموزشی کمی ساخته شده‌اند. در فرآیند هموارسازی، هدف هموار کردن این نقاط شکستگی است. بنابراین مقدار تخمین زده شده، در هریک از برگ‌ها، مسیری بازگشتی را از برگ، به ریشه طی کرده و با ترکیب مدل به‌دست آمده در آن برگ با مدل‌های موجود در مسیر ریشه تا برگ مربوطه، مدل جدیدی به‌دست می‌آید در هر گره، این مقدار با مقدار پیشگویی شده توسط مدل خطی در آن گره با استفاده از رابطه (۳) ترکیب می‌شود.

$$P' = \frac{np+kq}{n+k} \qquad (۳)$$

مقدار P، مقدار پیش‌بینی‌شده‌ای است که به گره بالاتر انتقال داده‌شده است. 'P، در رابطه فوق مقدار پیش‌بینی مدل است که از پایین به این گره انتقال داده شده است. k، ثابت هموارسازی تعداد نمونه‌های آموزشی است که به گره رسیده‌اند و n، گره مربوطه است که به‌صورت پیش‌فرض برابر ۱۵ است. آزمایش‌های انجام‌شده توسط Wang و Witten (1996) نشان داده است که هموارسازی به میزان زیادی دقت پیش‌بینی‌ها را بهبود می‌بخشد (Najafzadeh and Mahmoudi, 2015). لازم به ذکر است که تمامی تجزیه و تحلیل‌های آماری این پژوهش در محیط آماری و برنامه‌نویسی پایتون و نمودارهای کیفی آب توسط نرم‌افزار AqQA رسم گردیدند (AQUACHEM, 2013).

معیارهای ارزیابی عملکرد مدل‌ها

به‌منظور ارزیابی دقت و میزان عملکرد مدل‌های بررسی شده در این پژوهش و مقایسه آنها با پارامتر TDS مشاهداتی از شاخص‌های ضریب تبیین (R^2)، جذر میانگین مربعات خطاها (RMSE) استفاده شد (Motiee et al., 2020). رابطه‌های (۴) و (۵) معیارهای آماری فوق را نشان می‌دهند:

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^{N}(O_i - \bar{O}_i)(P_i - \bar{P}_i)]^2}{\sum_{i=1}^{N}(O_i - \bar{O}_i)^2 \sum_{i=1}^{N}(P_i - \bar{P}_i)^2} \qquad (۴)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(O_i - P_i)^2}{N}} \qquad (۵)$$

در رابطه‌های فوق O_i مقادیر مشاهداتی (واقعی)، P_i مقادیر پیش‌بینی شده، $\bar{O}_i$ میانگین مقادیر مشاهداتی، $\bar{P}$ میانگین مقادیر پیش‌بینی شده و N تعداد مشاهدات هستند. لازم به ذکر است مقادیر R^2 بیشتر و مقادیر RMSE کمتر، نشان‌دهندهٔ دقت بیشتر و عملکرد بهتر مدل هستند.

نتایج و بحث

نمودار سری زمانی

در شکل‌های (۳) و (۴) تغییرات زمانی مقادیر TDS و EC رودخانه کارون در ایستگاهای آب‌سنجی گتوند و اهواز در دوره مرطوب (مهر تا اسفند) و دوره خشک (فروردین تا شهریور) نشان داده شده است. تغییرات پارامترهای TDS و EC از سال آبی ۱۳۸۵ به‌صورت افزایشی بوده ولی قبل و بعد از ساخت سد مخزنی گتوند در هر دو ایستگاه آب‌سنجی روند مشخصی را نشان نمی‌دهد. در شرایط ثابت زمین‌شناسی و خاک‌شناسی حوضه‌های آبریز با کاهش آورد رودخانه مقادیر TDS و EC افزایش می‌یابد که این روند همان‌گونه که نشان داده شده است در طی سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۰ همچنین سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۴ که میزان ریزش‌های جوی کمتر از میانگین بوده که مؤید شرایط خشکسالی است، سبب افزایش مقادیر TDS و EC شده است و همچنین در وقوع شرایط سیلابی (رنگ قرمز) سبب کاهش این مقادیر شده است. همچنین در ایستگاه گتوند اختلاف ۲۰ درصدی پارامترهای کیفیت آب رودخانه کارون در دوره‌های خشک و مرطوب نشان داده شده است که این مقدار در ایستگاه اهواز اختلاف ۱۰ درصدی را نشان می‌دهد. مقایسه مقدار هدایت الکتریکی آب (EC) از محل سد تنظیمی گتوند تا اهواز رشد دو برابری را نشان می‌دهد که این افت کیفیت آب در ایستگاه اهواز می‌تواند بر اثر عواملی چون افزایش سطح تماس آب مخزن سد گتوند با لایه‌های انحلال‌پذیر نمک خصوصاً در توده گچساران و یا ورود آب برگشتی از زمین‌های کشاورز به‌ویژه نیشکر به رودخانه کارون، رودخانه شوردشت بزرگ، پساب حاصل از حوضچه‌های پرورش ماهی در حاشیه گرگر و پساب صنعتی مانند صنایعی نظیر نیروگاه‌های حرارتی تولید برق رامین و زرگان و پساب شهری باشد.

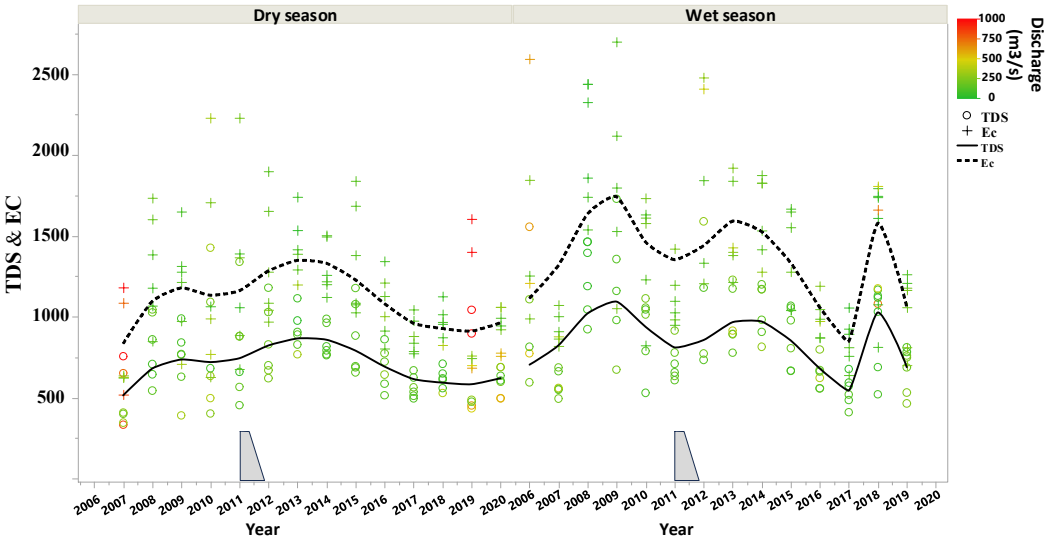


Fig. 3- Time changes of TDS and EC of Karun River at Gotvand station in wet and dry periods

شکل ۳- تغییرات زمانی TDS و EC رودخانه کارون در محل ایستگاه گتوند در دوره مرطوب و دوره خشک

DOI: 10.22055/jise.2024.45876.2114

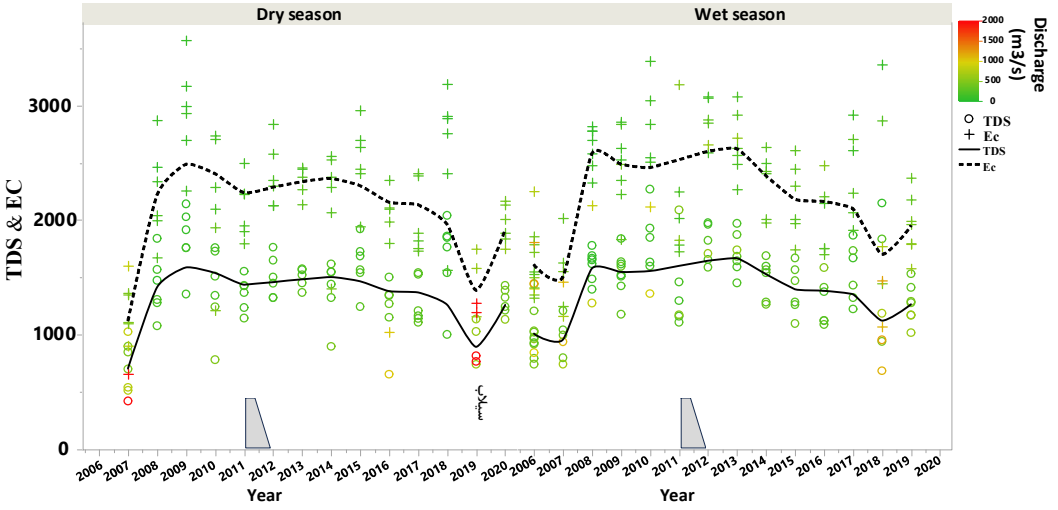


Fig. 4- Time changes of TDS and EC of Karun River at Ahvaz station in wet and dry periods
شکل ٤- تغییرات زمانی TDS و EC رودخانه کارون در محل ایستگاه اهواز در دوره مرطوب و دوره خشک

بررسی هیدروشیمیایی کیفیت آب ایستگاه هیدرومتری گتوند

به‌منظور بررسی کیفیت آب رودخانه کارون، از روش‌های گرافیکی از قبیل نمودارهای پایپر (Piper diagram)، دوروف (Durove diagram) و شولر (Schoeller diagram) استفاده شد. نمودار هیدروشیمیایی پایپر یکی از روش‌های تشخیص سریع و آسان نوع کلی آب و دسته‌بندی آن است که در این مطالعه استفاده شد. نمودار پایپر از دو قسمت مثلثی و یک بخش لوزی‌شکل تشکیل شده است. نسبت هر کاتیون به کل کاتیون‌ها و نسبت هر آنیون به کل آنیون‌ها، برای هرنمونه برحسب درصد محاسبه شده و به‌ترتیب در مثلث‌های مربوط به کاتیون‌ها و آنیون‌ها رسم می‌شوند (An et al., 2024; Palaniselvan et al., 2024). نمودار دوروف خیلی شبیه به نمودار پایپر است اما کاتیون‌ها و آنیون‌ها در دو طرف یک مربع رسم می‌شوند (Das, 2023; Liu et al., 2023). نمودار شولر برای تعیین کیفیت آب شرب به‌کار می‌رود. در این نمودار، پارامترهای کیفی به‌صورت مجزا، به‌صورت میله‌ای و در مقیاس لگاریتمی نشان داده شده‌اند (Anuja et al., 2023). از اتصال مقادیر مربوط به هر نمونه آب، خطی شکسته ایجاد می‌شود که از روی آن می‌توان کیفیت آب را برای شرب تعیین کرد (Kord, 2020). در شکل (۵) دیاگرام پایپر برای نمونه‌های آب برای ایستگاه گتوند در سال‌های پیش از احداث سد گتوند و پس از آن آمده است. با توجه به نمودارهای یادشده می‌توان گفت که وضعیت کلی نمونه‌های آب برداشت شده در ایستگاه گتوند تیپ کلروره سدیک که پس از بهره‌برداری از سد گتوند در سال ۱۳۹۰ تمایل به سختی دایم (غیرکربناته) دارد. نمونه‌های آب در این ایستگاه از لحاظ آنیونی در زون کلردار یا مخلوط و به لحاظ کاتیونی سدیم- پتاسیم یا مخلوط قرار داشته‌اند. در شکل (۶) از دیاگرام دوروف که اساس آن درصد مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌ها عمده‌ی آب است مشاهده می‌شود، با گذشت زمان از احداث سد مخزنی گتوند نمونه‌های آب روی روند مربوط به انحلال یا آمیختگی قرار دارند بنابراین ترکیب آب رودخانه کارون در این ایستگاه بیشتر توسط فرآیندهای انحلال کانی‌ها یا واکنش بین آب و سنگ متأثر از انحلال سازند گچساران در منطقه می‌باشد. نمودار شولر در شکل (۷) ترسیم شده است. ارزیابی نمودار شولر نشان داد که خطوط ارتباطی غلظت یون‌ها ناحیه Ca-Mg موازی نیستند که نشان می‌دهد آب از منابع نسبتاً متفاوتی نشأت گرفته است. به‌طور کلی، نتایج نمودار شولر نشان داد وضعیت کیفی آب رودخانه کارون از نظر شرب در ایستگاه گتوند قابل قبول است.

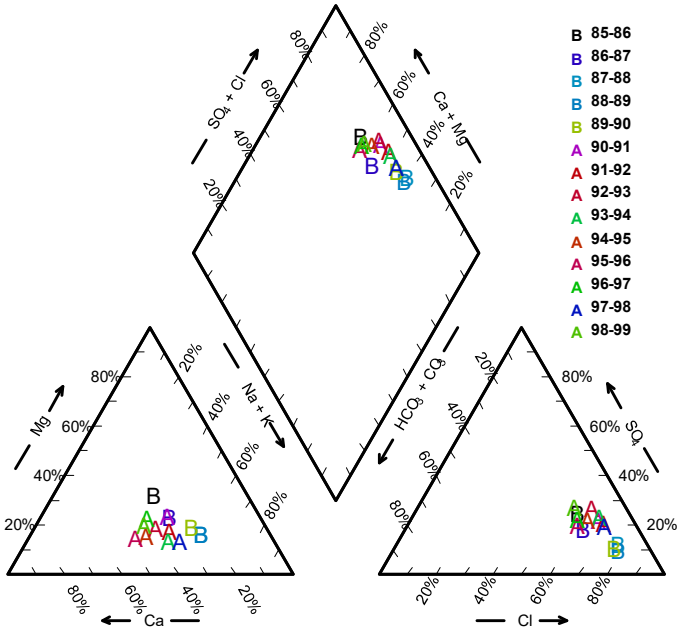


Fig. 5- Piper diagram related to the water quality parameters of the Karun River at the Gotvand gauge station between the years before and after the construction of the Gotvand reservoir dam.

شکل ۵-نمودار پایپر مربوط به پارمترهای کیفیت آب رودخانه کارون در ایستگاه هیدرومتری گتوند بین سال‌های قبل و بعد از احداث سد مخزنی گتوند

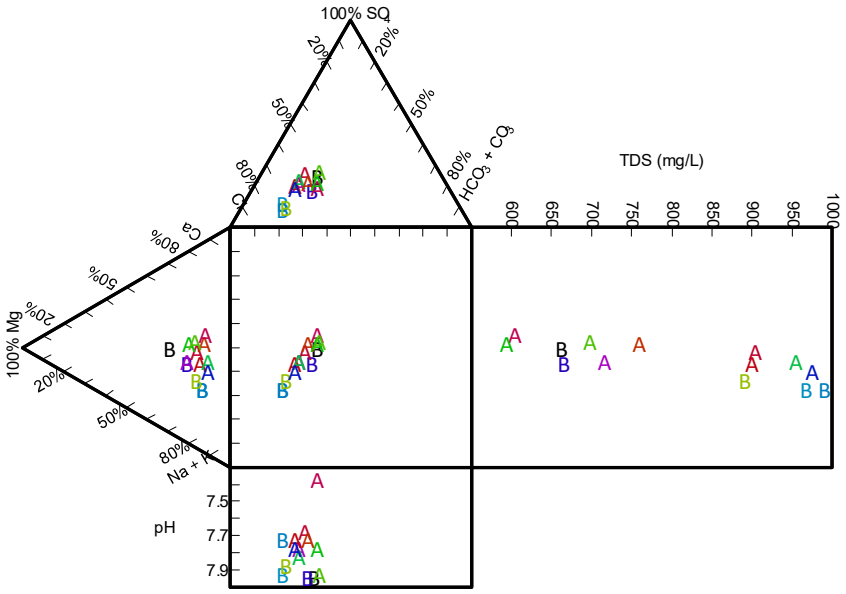


Fig. 6- Durove diagram related to the water quality parameters of the Karun River at the Gotvand gauge station between the years before and after the construction of the Gotvand reservoir dam.

شکل ٦- نمودار دروف مربوط به پارمترهای کیفیت آب رودخانه کارون در ایستگاه هیدرومتری گتوند بین سال‌های قبل و بعد از احداث سد مخزنی گتوند

DOI: 10.22055/jise.2024.45876.2114

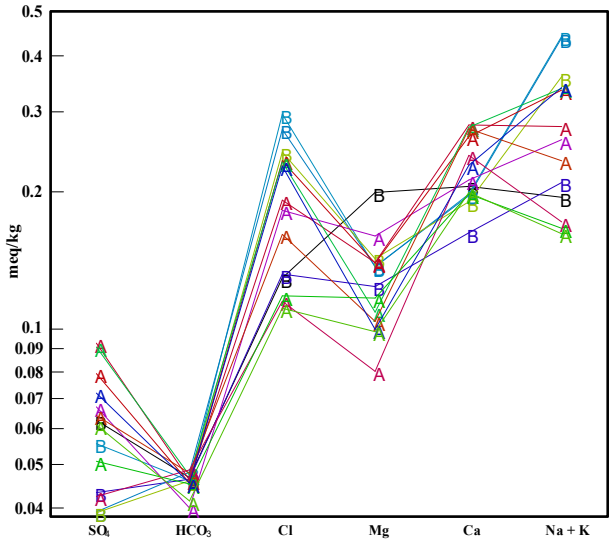


Fig. 7- Schoeller diagram related to the water quality parameters of the Karun River at the Gotvand gauge station between the years before and after the construction of the Gotvand reservoir dam.
شکل ۷- نمودار شولر مربوط به پارامترهای کیفیت آب رودخانه کارون در ایستگاه هیدرومتری گتوند بین سال‌های قبل و بعد از احداث سد مخزنی گتوند

تحلیل مؤلفه‌های اصلی

همان‌گونه که بیان شد روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای کاهش تعداد متغیرها از ترکیب خطی متغیرهای مشابه استفاده می‌نماید که بیشترین تغییرپذیری را دارند و به‌عنوان راهکاری مناسب برای کاهش تعداد ورودی‌ها محسوب گردد (Mohammadi et al., 2021). با توجه به جدول (۳ الف) بیشترین درصد تغییرات کیفیت آب ایستگاه گتوند توسط دو مؤلفه اصلی اتفاق افتاد، عامل اول که ۴۹/۷۹ درصد از تغییرات کیفیت آب رودخانه کارون در این ایستگاه را نشان می‌دهد شامل تجمع املاح (TDS، EC، So_4، Cl^- و Na^+) است. به‌وجودآورنده این پارامترها در رودخانه کارون می‌تواند تحت تأثیر از انحلال رخنمون‌های تبخیری سازند گچساران در محدوده ی دریاچه سد در بالادست این ایستگاه باشد. عامل دوم ۱۳/۸۳ درصد از تغییرات کیفیت آب حوضه رودخانه کارون را سبب می‌شود. بیشترین همبستگی با این مؤلفه را پارامترهای (pH، HCO_3 و Mg^{2+}) داشته‌اند. اجزای این مؤلفه نشان‌دهنده اسیدیته آب‌های سطحی می‌باشند که قالب بودن HCO_3 می‌تواند ناشی از عبور آب از سازندهای آهکی و یا هوازدگی سیلیکات‌ها باشد. با توجه به جدول (۳ ب) بیشترین درصد تغییرات کیفیت آب ایستگاه اهواز توسط دو مؤلفه اصلی اتفاق افتاد، عامل اول که ۵۹ درصد از تغییرات کیفیت آب رودخانه کارون در این ایستگاه را نشان می‌دهد شامل تجمع املاح (TDS، EC، So_4، Cl^-، Ca^{2+}، Mg^{2+}، Na^+ و K^+) است. مؤلفه‌های این عامل نشان‌دهنده یون‌ها و مواد معلق در رودخانه کارون می‌باشد که می‌تواند تحت تأثیر تداخل آب زهکش کشاورزی با آب رودخانه در بالادست این ایستگاه قلمداد گردد. عامل دوم ۱۲/۹۴ درصد از تغییرات کیفیت آب در این ایستگاه را موجب می‌شود. بیشترین همبستگی با این مؤلفه را پارامترهای (pH، HCO_3 و K^+) داشته‌اند. اجزای این مؤلفه نشان‌دهنده اسیدیته آب می‌باشند که تغییرات pH یکی از عوامل مهم در فرآیندهای شیمیایی است که موجب رسوب گذاری و انحلال کربنات کلسیم (HCO_3) می‌شود.

در شکل (۸) نمایش موقعیت متغیرها کیفی آب رودخانه کارون به‌ترتیب در ایستگاه‌های گتوند و اهواز نسبت به مؤلفه‌های اصلی در روش PCA نشان داده شده است. این نمایش چندوجهی که به نمودار بای پلات معروف است روش بسیار مناسبی در این تحقیق برای بررسی الگوی فصلی بین پارامترهای کیفی آب رودخانه کارون می‌باشد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در ایستگاه گتوند بیشترین تغییرپذیری در پارامترهای (TDS، Ec، Na^+، Cl^- و So_4) در فصول پاییز و زمستان رخ داده است و با توجه به اینکه هدایت الکتریکی (Ec) معرف قدرت یونییک محلول برای انتقال جریان الکتریکی است و میزان هدایت الکتریکی به عناصر محلول در آب بستگی دارد درنتیجه با افزایش عناصر محلول در آب رودخانه مقدار هدایت الکتریکی افزایش یافته است. همچنین اسیدیته آب (pH) در بهار و تابستان بیشترین تغییرپذیری و افزایش را داشته است. در ایستگاه اهواز پارامترهای (TDS، Ec، Na^+، Cl^- و So_4) در فصل زمستان و بهار بیشترین تغییرپذیری را داشته و میزان اسیدیته آب (pH) در تابستان و پاییز در این ایستگاه افزایش محسوسی مشاهده می‌شود.

جدول ۳- نتایج ایجاد کننده بیشترین واریانس برمبنای روش PCA .: الف- ایستگاه گتوند و ب- ایستگاه اهواز

Table 3- The results of the most variance based on the PCA: a) Gotvand station and b) Ahvaz station

a) Gotvand station

variable	principal component	
	second	first
TDS	0.05	0.41
Ec	0.03	0.44
pH	0.51	-0.08
So4	0.12	0.33
HCO_3	-0.55	0.01
Cl-	0.03	0.42
Ca^{2+}	-0.36	0.29
Mg^{2+}	0.52	0.14
Na^{+}	0.03	0.42
K^{+}	-0.12	0.25
Percentage of variance	13.83	49.79

b) Ahvaz station

variable	principal component	
	second	first
TDS	0.12	0.4
Ec	0.09	0.40
pH	0.73	-0.08
So4	0.20	0.34
HCO_3	-0.52	0.12
Cl-	0.03	0.38
Ca^{2+}	-0.03	0.31
Mg^{2+}	0.1	0.27
Na^{+}	0.07	0.39
K^{+}	-0.32	0.27
Percentage of variance	12.49	59.00

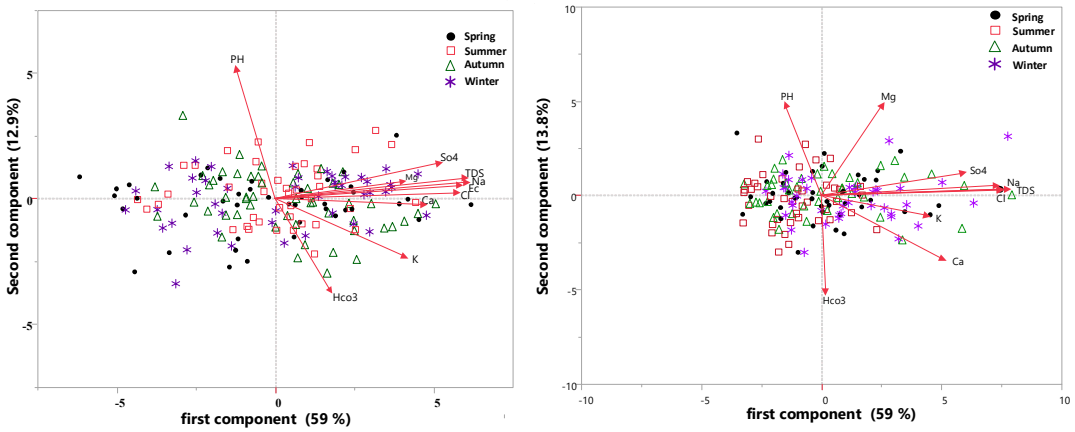


Fig. 8- Biplot of the quality parameters of the Karun River at the Gotvand (a) and the Ahvaz gauge station (b) in different seasons

شکل ۸- نمودار بای پلات پارامترهای کیفی رودخانه کارون در ایستگاه هیدرومتری گتوند (الف) و ایستگاه هیدرومتری اهواز (ب) در فصول مختلف سال

تحلیل رگرسیون پارامتر TDS در ایستگاه هیدرومتری اهواز

به‌منظور بررسی پارامترهای مؤثر بر مؤلفه TDS آب رودخانه کارون در ایستگاه اهواز از دو روش رگرسیون خطی چندمتغیره (Multiple Linear Regression) و روش درخت تصمیم (Decision Tree) استفاده شد. همان‌گونه که بیان شد، الگوریتم درخت تصمیم فضای مسئله را به چندین دسته کلاس‌بندی کرده و به هرکدام از دسته‌ها یک رابطه خطی (یک و یا چندمتغیره) برازش

DOI: 10.22055/jise.2024.45876.2114

می‌دهد. مهمترین مزیت این الگوریتم نسبت به سایر الگوریتم‌های دیگر را در قابلیت تفسیرپذیری مناسب‌تر از نظر ارتباط بین پارامترهای مؤثر دانست. به‌منظور صحت‌سنجی مدل‌های نامبرده شده لازم است که ابتدا داده‌های جمع‌آوری شده به دو دسته آموزش و آزمایش تقسیم‌بندی شوند. قابل ذکر است که تعداد داده‌های جمع‌آوری شده در ایستگاه آب‌سنجی اهواز برابر ۱۹۰ است که در این تحقیق ۸۰ درصد داده‌ها به آموزش و ۲۰ درصد مابقی به آزمایش تخصیص داده شد. معادله (۶) رابطه رگرسیونی پارامتر TDS با سایر مؤلفه‌های کیفی برداشت شده را نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۹) شاخص‌های آماری $R^2 = 0.94, RMSE =$ 86.8 و در مرحله آزمایش عبارت از $R^2 = 0.95, RMSE =$ 80.19 است.

$$TDS = -113.49 + 29.75 \times PH + 10.44 \times SO_4 + 4.77 \times HCO_3 + 18.18 \times Cl + 49.77 \times Ca + 41.83 \times Mg + 45.13 \times Na - 670.31 \times K \quad (۶)$$

در ادامه عملکرد مدل درخت تصمیم (DT) برای تخمین پارامتر TDS بررسی شد. با توجه به شکل (۱۰) شاخص‌های آماری مدل درخت تصمیم توسعه داده شده در مرحله آموزش عبارت از $R^2 = 0.96, RMSE = 71.3$ و در مرحله آزمایش عبارت از $R^2 = 0.97, RMSE = 69.4$ است. در این شکل نتایج مدل درخت تصمیم در مراحل آموزش و آزمایش در مقابل مقادیر مشاهداتی ترسیم شده است. همچنین در شکل (۱۱) ساختار درخت تصمیم در برآورد میزان TDS نشان داده شده است.

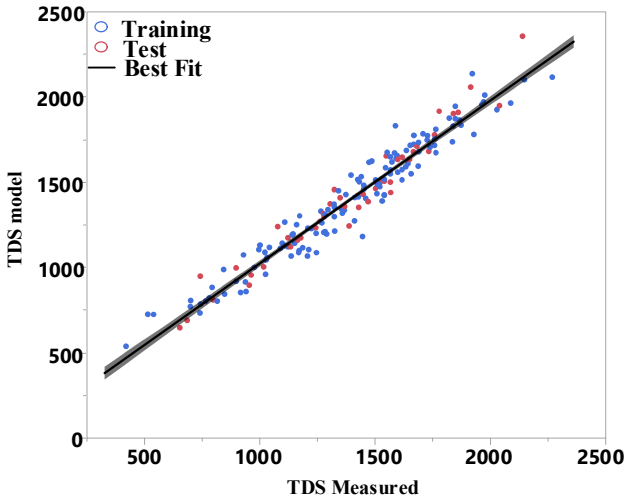


Fig. 9- The results of the developed MLR model in the training and testing stage
شکل ۹- نتایج مدل MLR در مرحله آموزش و آزمایش در پیش بینی پارامتر TDS

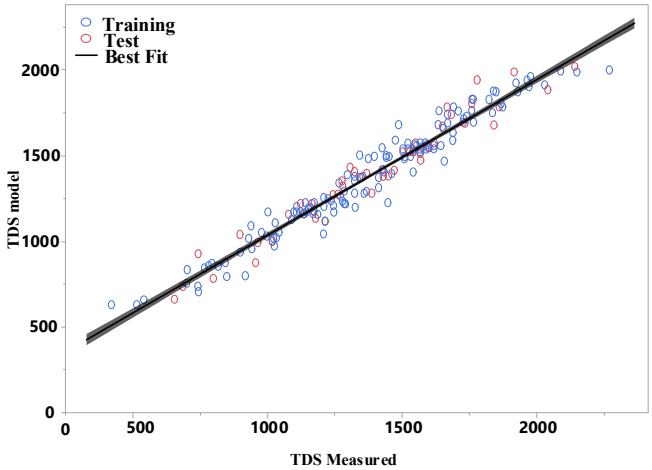


Fig. 10- Results of the developed DT model in the training and testing stage
شکل ۱۰- نتایج مدل DT در مرحله آموزش و آزمایش در پیش بینی پارامتر TDS

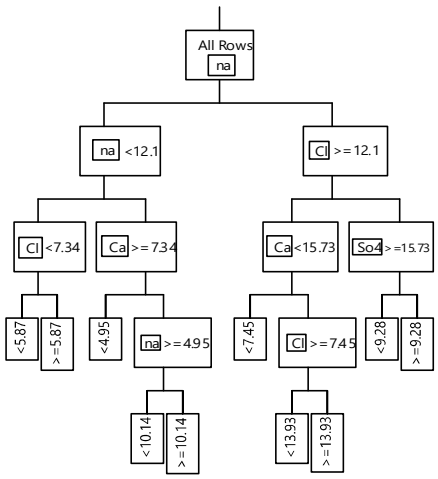


Fig. 11- Structure of tree in the developed to estimate the TDS
شکل ۱۱- ساختار درخت تصمیم توسعه داده شده جهت تخمین TDS

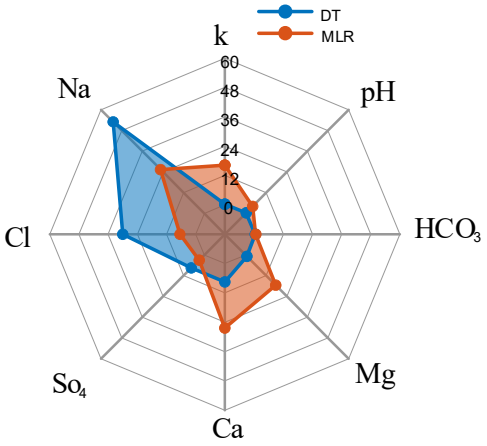


Fig. 12-The impact of different input components to the MLR and DT models in predicting the TDS
شکل ۱۲- میزان تاثیر مؤلفه‌های مختلف ورودی به مدل MLR (مساحت قرمز رنگ) و مدل DT (مساحت آبی رنگ) در پیش بینی TDS

در شکل (۱۲) سهم پارامترهای مؤثر ورودی در فرایند توسعه مدل‌های MLR (ناحیه قرمز رنگ) و DT (ناحیه آبی رنگ) در پیش‌بینی میزان TDS نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در روش MLR بیشترین مؤلفه‌های تأثیرگذار ورودی به مدل پارامتر Na^+ با ۲۶ درصد و پارامتر Ca با ۲۵ درصد بوده است و در روش DT بیشترین مؤلفه‌های تأثیرگذار پارامتر Na^+ با مقدار ۵۳ درصد و پارامتر Cl با ۳۰ درصد در مقدار پیش‌بینی TDS بوده است.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، با استفاده از روش‌های آماری نظیر تحلیل مؤلفه‌های اصلی و روش‌های یادگیری ماشین نظیر درخت تصمیم و رگرسیون چندمتغیره خطی و همچنین روش‌های گرافیکی به بررسی مؤلفه‌های کمی و کیفی رودخانه کارون در ایستگاه هیدرومتری گتوند در پایین دست سد مخزنی گتوند و ایستگاه هیدرومتری اهواز در شهر اهواز طی سال‌های آبی ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۹ پرداخته شد. نتایج حاصل از نمودار سری زمانی نشان می‌دهد با کاهش آورد رودخانه در طی سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۰ همچنین سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۴ که موید شرایط خشکسالی است، سبب افزایش مقادیر TDS و EC شده است. با توجه به نمودار پایپر می‌توان بیان داشت که وضعیت کلی نمونه‌های آب برداشت شده در ایستگاه گتوند تیپ کلروره سدیک که پس از بهره‌برداری از سد گتوند در سال ۱۳۹۰ تمایل به سختی دایم (غیر کربناته) دارد.

DOI: 10.22055/jise.2024.45876.2114

نمونه‌های آب در این ایستگاه از لحاظ آنیونی در زون کلردار یا مخلوط و به لحاظ کاتیونی سدیم- پتاسیم یا مخلوط قرار داشته‌اند. نتایج نمودار شولر نشان داد وضعیت کیفی آب رودخانه کارون از نظر شرب در این ایستگاه قابل قبول است. بیشترین درصد تغییرات کیفیت آب ایستگاه گتوند توسط دو مؤلفه اصلی اتفاق افتاد، عامل اول که ۴۹/۷۹ درصد از تغییرات کیفیت آب رودخانه کارون در این ایستگاه را نشان می‌دهد شامل تجمع املاح (TDS، EC، So^4، Cl^- و Na^+) است. به‌وجودآورنده این پارامترها در رودخانه کارون می‌تواند تحت تأثیر از انحلال رخنمون‌های تبخیری سازند گچساران در محدوده‌ی دریاچه سد در بالادست این ایستگاه باشد. بیشترین درصد تغییرات کیفیت آب ایستگاه اهواز توسط دو مؤلفه اصلی اتفاق افتاد، عامل اول که ۵۹ درصد از تغییرات کیفیت آب رودخانه کارون در این ایستگاه را نشان می‌دهد شامل تجمع املاح (TDS، EC، So_4، Cl^-، Ca^{2+}، Mg^{2+}، Na^+ و K^+) است. مؤلفه‌های این عامل نشان‌دهنده یون‌ها و مواد معلق در رودخانه کارون می‌باشد که می‌تواند تحت تأثیر تداخل آب زهکش کشاورزی با آب رودخانه در بالادست این ایستگاه قلمداد گردد. نتایج به‌دست آمده از تحلیل رگرسیونی پارامتر TDS در ایستگاه هیدرومتری اهواز نشان می‌دهد که عملکرد مدل عملکرد مدل درخت تصمیم در پیش‌بینی این پارامتر از مدل رگرسیون چندمتغیره با شاخص‌های در مرحله آزمایش $R^2 = 0.97, RMSE = 69.4$ دقیق‌تر بوده است همچنین در این روش بیشترین مؤلفه‌های تأثیرگذار در پیش‌بینی پارامتر TDS، پارامتر Na^+ با مقدار ۵۳ درصد و پارامتر Cl با ۳۰ درصد بوده است.

تشکر و قدردانی

این مقاله از رساله پایان نامه نویسنده اول و با حمایت واحد پژوهشی دانشگاه از طریق پژوهانه نویسنده دوم تهیه شده که بدینوسیله نویسندگان از معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز تشکر و قدردانی میکنند. از شورای پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز به خاطر حمایت مالی کمال تشکر و قدردانی را داریم. ضمناً از حمایت‌های معنوی مرکز علمی "بهسازی و نگهداری شبکه‌های آبیاری و زهکشی" تشکر و قدردانی می‌شود.

تضاد منافع نویسندگان

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

منابع مالی

حمایت‌های مالی این تحقیق از محل اعتبار پژوهشی شماره پژوهانه SCU.WH1404.43525 صورت گرفته است.

دسترسی به داده‌ها

همه اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه شده است.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: غزاله صالح‌پور، تجزیه و تحلیل داده‌ها.
نویسنده دوم: محمدرضا زایری، بررسی نتایج، نگارش مقاله.
نویسنده سوم: مهدی زینی وند، بررسی مقاله.

References

1- Aazami, J., Moradpour, H., Zamani, A., & Kianimehr, N. 2018. Ecological quality assessment of Kor River in Fars Province using macroinvertebrates indices. *International Journal of Environmental Science Technology*, 17(4), 1–10. DOI: https://doi.org/10.1007/s13762-018-2107-y

2- An, R., Liu, J., Gao, Z., Li, C., & Peng, Y. 2024. Hydrochemical Characterization, Controlling Factors and Water Quality of Surface Water in Shandong Province, North China. *Journal of Earth Science*, 35(1), 155–166. DOI: https://doi.org/10.1007/s12583-021-1441-z

3- Allahverdipour, P., & Sattari, M.T. 2023. Comparing the performance of the multiple linear regression classic method and modern data mining methods in annual rainfall modeling (Case study: Ahvaz city). *Water and Soil Management and Modeling*, 3(2), 125-142. DOI: 10.22098/mmws.2022.11337.1120

4- Anuja, S. A., Kavitha, P., Hency, P. M., Jothi, C. H., & Rose, R. J. 2023. Comparative study of water quality between upstream and downstream of Thamirabarani River using multivariate statistical tools. *Scientific Research and Essays* 18(3), pp. 33–44. DOI: https://doi.org/10.5897/SRE2023.6774

5- Ashrafi, S. M., & Mahmoudi, M. 2019. Developing a semi-distributed decision support system for great Karun water resources system. *Journal of Applied Research in Water and Wastewater*, 6(1), 16–24. https://doi.org/10.22126/arww.2019.1042

6- Astel, A., Biziuk, M., Przyjazny, A. & Namiesnik, J. 2006. Chemometrics in monitoring spatial and temporal variations in drinking water quality. *Water Research*, 8, 1706-1716.

7- AQUACHEM. 2013. Schlumberger Limited. Available at http://www.swstechnology.com. Accessed 09/07/2013.

8- Babolhakami, A., & GholamiSefidkouhi, M. 2019. Analyze of Talar River Water Quality using Multivariate Techniques. *Journal of Watershed Management Research*. 9 (18) ,250-259. Doi: 10.29252/jwmr.9.18.250

9- Basu, S., & Lokesh, K. S. 2014. Application of multiple linear regression and manova to evaluate health impacts due to changing river water quality. *Applied Mathematics*, 2014. https://www.scirp.org/html/2-7401995_44066.htm

10- Cheraghi, Z., Sarikhani, R., Farahpour, M., & Ghasemi, A. 2019. Evaluation and Statistical Analysis of Groundwater Quality Parameters and Index for Drinking in Khorramabad Region. *Water Resources Engineering*, 11(39), 1-14.

11- Das, A. 2023. Anthropogenic Effects on Surface Water Quality Assessment in Baitarani River Basin, Odisha Using GIS and MCDM Techniques. *Engineering Research Transcripts*, 5, 37–64. DOI: https://doi.org/10.55084/grinrey/ERT/978-81-964105-3-7_4

12- Diaz, R., Olan, M., & Valente, R. 2004. Review of approaches for classifying benthic habitats and evaluating habitat quality. *Journal of Environmental Management* 73: 165-181.

13- Ewaid, S. H., Abed, S. A., & Kadhum, S. A. 2018. Predicting the Tigris River water quality within Baghdad, Iraq by using water quality index and regression analysis. *Environmental Technology & Innovation*, 11, 390–398.

14- Fan, X., Cui, B., Zhao, H., Zhang, Z., & Zhang, H. 2010. Assessment of river water quality in Pearl River Delta using multivariate statistical techniques. *Procedia Environmental Sciences*, 2, 1220–1234.

15- Fierro, P., Valdovinos, C., Vargas-Chacoff, L., Bertrán, C., & Arismendi, I. 2017. Macroinvertebrates and Fishes as Bioindicators of Stream Water Pollution. InTech, 23-38, DOI: 10.5772/65084

16- GhassemiDehnavi, A., Sarikhani R., Hosseini H., Ahmadnejad Z. & Ebrahimi B. 2016. Qualitative and quantitative evaluation of surface water using statistical analysis in Azna River, Lorestan. *J. Environ. Water Eng.*, 2(4), 306 –321.

17- Gholizadeh, M., & Zibaei, M. 2020. Hydrochemical assessment of Chehelchai river water, Golestan province for drinking and agricultural purposes. *Iranian Journal of Health and Environment*., 13 (2), 283-298. (In Persian).

18- Haghiabi, A. H., Nasrolahi, A. H., & Parsaie, A. 2018. Water quality prediction using machine learning methods. *Water Quality Research Journal*, 53(1), 3–13. https://doi.org/10.2166/wqrj.2018.025

19- Jolliffe, I.T., & Cadima, J. 2016. Principal component analysis: A review and recent developments. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 374(2065), 20150202

20- Kadam, A. K., Wagh, V. M., Muley, A. A., Umrikar, B. N., & Sankhua, R. N. 2019. Prediction of water quality index using artificial neural network and multiple linear regression modelling approach in Shivganga River basin, India. *Modeling Earth Systems and Environment*, 5(3), 951–962. https://doi.org/10.1007/s40808-019-00581-3

21- Kamal Jyoti Maji & Ramjee Chaudhary. 2019. Principal Component Analysis for Water Quality Assessment of the Ganga River in Uttar Pradesh, India. *Water Resources*, 46(5), 789–806. https://doi.org/10.1134/S0097807819050129

22- Kazemzadeh, M., & Malekian, A. 2016. Analysis of surface water quality parameters using multivariate statistical methods. *Pasture and watershed scientific-research journal*, 70(2), 465-478. [In Persian]

DOI: 10.22055/jise.2024.45876.2114

23- Kheradmand, M., Moghaddam, M. A., Zahiri, A., & Ghorbani, K. 2023. Determining of stage-discharge relationship for meandering compound channels using M5 decision tree model. International *Journal of Civil and Environmental Engineering*, 17(7), 284-288.

24- Kord, M. 2020. Development of Hydrogeochem software for investigation of hydrogeochemical properties and water quality. *Hydrogeology*, 5(2), 88-98. (In Persian)

25- Liu, J., Gao, Z., Feng, J., & Wang, M. 2023. Identification of the hydrochemical features, genesis, water quality and potential health hazards of groundwater in Dawen River Basin, North China. *Ecological Indicators*, 149, 110175.

26- Mahmoodlu, M., & Sayadi, M. 2020. Determining effective factors controlling chemical parameters of Gamasyab and Ghareh-Sou Rivers (Case study: Kermanshah Province). *Irrigation and Water Engineering*, 10(4), 96-114. doi: 10.22125/iwe.2020.110071

27- Malekian, A., Rozandi, Y., KhaileghiSigaroudi, S., & Farrokhzadeh, B. 2016. Examining temporal and spatial changes of underground water quality using the combined approach of Boolean logic, fuzzy logic and geostatistics (case study: Varamin plain). *Agricultural Applied Research*, 29(1), 126-135. [In Persian]

28- Mansour-Bahmani, A., Haghiabi, A. H., Shamsi, Z., & Parsaie, A. 2021. Predictive modeling the discharge of urban wastewater using artificial intelligent models (case study: Kerman city). *Modeling Earth Systems and Environment*, 7(3), 1917–1925. https://doi.org/10.1007/s40808-020-00900-z

29- Mohammadi, H., Kalantari, N., Anbari, A., & Pahlevanizade, S. 2021. Hydrochemical assessment of the Jareh Dam water resources; using multivariate statistical techniques and hydrochemical methods. *Advanced Applied Geology*, 10(4), 620-633. Doi: 10.22055/aag.2020.29692.1993

30- Motiee, H., McBean, E., Motiee, A. R., & Majdzadeh Tabatabaei, M. R. 2020. Assessment of climate change under CMIP5-RCP scenarios on downstream rivers glaciers – Sardabrud River of Alam-Kuh glacier, *Iran. International Journal of River Basin Management*, 18(1), 39–47. https://doi.org/10.1080/15715124.2019.1653311

31- Najafzadeh, M. and Mahmoudi-Rad, M., 2015. Estimation of the Maximum Scour Depth at Bridge Pier under Effects of Debris Accumulations using NF-GMDH Model and Evolutionary Algorithms. *Environment and Water Engineering*, 5(3), pp.213-225.

32- Nasir, M. F. M., Samsudin, M. S., Mohamad, I., Awaluddin, M. R. A., Mansor, M. A., Juahir, H., & Ramli, N. 2011. River water quality modeling using combined principle component analysis (PCA) and multiple linear regressions (MLR): A case study at Klang River, Malaysia. *World Applied Sciences Journal*, *14*, 73–82.

33- Nezaratian, H., Zahiri, J., Peykani, M. F., Haghiabi, A., & Parsaie, A. 2021. A genetic algorithm-based support vector machine to estimate the transverse mixing coefficient in streams. *Water Quality Research Journal*, *56*(3), 127–142. https://doi.org/10.2166/wqrj.2021.003

34- Nolan, B.T., Fienen, M.N., & Lorenz, D.L. 2015. A statistical learning framework for groundwater nitrate models of the Central Valley, California, USA. *Journal of Hydrology*, 531, 902-911

35- Nurollahi, S., AsghariMoghadam, A., Fijani, E., & Barzegar, R. 2018. Investigating the factors affecting the quality of underground water in Mashginshahr plain (Ardebil province) with an emphasis on the possible origin of some heavy metals. *Scientific Quarterly of Earth Sciences*, 29(114), 143-152 . [In Persian]

36- Ouma, Y. O., Okuku, C. O., & Njau, E. N. 2020. Use of artificial neural networks and multiple linear regression model for the prediction of dissolved oxygen in rivers: Case study of hydrographic basin of River Nyando, Kenya. *Complexity*, *2020*, 1–23.

37- Ouyang, Y. 2005. Evaluation of river water quality monitoring stations by principal component analysis. *Water Research*, *39*(12), 2621–2635.

38- Palaniselvan, G., Govindhan, P., Jayganesh, D., Kumar, M. D., & Chandraseelan, R. E. 2024. Water quality assessment: A case study in the Tuticorin district of Tamil Nadu in South India. *Urban Water Journal*, 1–13. https://doi.org/10.1080/1573062X.2024.2312525

39- Parsaie, A., & Haghiabi, A. H. 2017. Computational Modeling of Pollution Transmission in Rivers. *Applied Water Science*, 7(3), 1213–1222. https://doi.org/10.1007/s13201-015-0319-6.

40- Petersen, W., Bertino, L., Callies, U., & Zorita, E. 2001. Process identification by principal component analysis of river water-quality data. *Ecological Modelling*, 138(1–3), 193–213.

41- Pinto, R., Patrício, J., Baeta, A., Fath, B. D., Neto, J. M., & Marques, J. C. 2009. Review and evaluation of estuarine biotic indices to assess benthic condition. *Ecological indicators*, 9(1), 1-25.

42- Rooki, R., Ariafar, A., & AdeliNasab, J. 2017. Investigating the quality of underground water in the Gonabad plain of Khorasan Razavi aquifer using multivariate statistical methods. *Journal of Mineral Resources Engineering*, 2(1), 49-61. https://doi.org/10.30479/jmre.2017.1068

43- Qishlaqi, A., Kordian, S., & Parsaie, A. 2017. Hydrochemical evaluation of river water quality—A case study. *Applied Water Science*, 7(5), 2337–2342. https://doi.org/10.1007/s13201-016-0409-0

44- Quinlan, J.R., 1992, November. Learning with continuous classes. In *5th Australian joint conference on artificial intelligence* (Vol. 92, pp. 343-348).

45- Wang, Y. and Witten, I.H., 1996. Induction of model trees for predicting continuous classes.

46- Zare Abyaneh, H. 2014. Evaluation of multivariate linear regression and artificial neural networks in prediction of water quality parameters. Journal of Environmental Health Science and Engineering, 12(1), 40. *https://doi.org/10.1186/2052-336X-12-40*

47- Zhang H, Li H, Yu H, Cheng S 2020 Water quality assessment and pollution source apportionment using multi-statistic and APCSMLR modeling techniques in Min River Basin, China. Environmental Science and Pollution Research 27:1–14. https:// *doi.org/10.1007/s11356-020-10219-*