Lorestan University

Applied Researches in Water Engineering
Vol. 2, No. 1, Spring & Summer 2024, p. 123-136

ARWE

Original Research

Hydrogeochemical Investigation of Kakarza River Surface Water and Evaluation of Artificial Intelligence Performance in Estimating Its Quality Parameters

Ramin Sarikhani*[1], Zeinab Ahmadnejad[2], Beman Danesh[3]

1. Department of Geology, Lorestan University, Lorestan, Iran.
2. Geological Laboratory Expert, Lorestan University, Lorestan, Iran.
3. Department of Environment, Faculty of Natural Resources, Lorestan University, Iran.

Received: 11 September 2024/ **Revised:** 17 October 2024/ **Accepted:** 21 October 2023

https://doi.org/10.22034/arwe.2024.2040896.1026

Abstract

Surface waters or rivers are one of the most important water sources that play an important role in supplying water for various activities. In recent years, the optimal use of artificial intelligence models has been common to predict and simulate of the quantitative and qualitative parameters of water to prevent the pollution of surface water and rivers. The Kakareza river is located in the city of Selseleh, Lorestan province, the water of this river is mostly used for irrigation, thus it is very important to assess the quality and estimate the quality parameters of the water of this river. In this research hydrogeochemical methods and artificial intelligence have been used. The findings showed that bicarbonate, calcium and magnesium ions have a major role on the water quality of this river. The water quality index of Kakareza River is favorable in the period 1347 to 1398 and can be used for drinking and agriculture purposes. Also, the results of the artificial neural network show the high ability of the neural network in simulation and prediction the parameter index, the model with 9 inputs (HCO3, Cl, SO4, Ca, Mg, Na, TDS, pH, Q) is shown the best performance in estimated value of EC. Finally, in order to implement the management program of water organizations to make optimal use of water resources in the region (such as the Kakareza River) by using hydrogeochemical studies and quantitative and qualitative predictions of water, it is possible to have a more accurate understanding of the water quality conditions, which makes better decisions about the use of these water resources.

Keywords: Artificial intelligence, Hydrogeochemistry, Kakarza River, Simulate, Water resource.

***Corresponding Author Email:** sarikhani.r@lu.ac.ir

Lorestan University

دوفصلنامهٔ پژوهش‌های کاربردی مهندسی آب

دورهٔ دوم، شمارهٔ ۱، بهار و تابستان ۱۴۰۳ (صفحات ۱۲۳-۱۳۶)

ARWE

مقالهٔ پژوهشی

بررسی هیدروژئوشیمیایی آب سطحی رودخانه کاکارضا و ارزیابی عملکرد هوش مصنوعی در تخمین پارامترهای کیفی آن

رامین ساریخانی*[۱]، زینب احمدنژاد[۲]، بمان دانش[۳]

۱. گروه زمین شناسی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران.

۲. کارشناس آزمایشگاه دانشگاه لرستان، لرستان، ایران.

۳. گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران.

دریافت: ۲۱ شهریور ماه۱۴۰۳ / **اصلاحات:** ۲۶ مهر ماه ۱۴۰۳/ **پذیرش:** ۳۰ مهر ماه ۱۴۰۳

https://doi.org/10.22034/arwe.2024.2040896.1026

چکیده

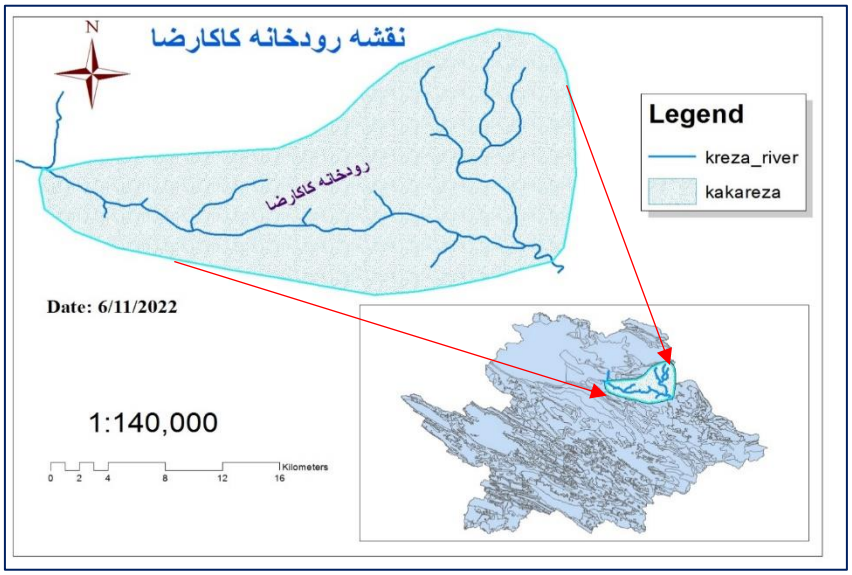
آب‌های سطحی یا رودخانه‌ها از مهم‌ترین منابع آب هستند که نقش مهمی در تأمین آب مورد نیاز فعالیت‌های مختلف دارند. در سال‌های اخیر استفاده بهینه از مدل‌های هوش مصنوعی، جهت مدل‌سازی و پیش‌بینی پارامترهای کمی و کیفی آب به‌منظور جلوگیری از آلودگی آب‌های سطحی و رودخانه‌ها متداول بوده است. رودخانه کاکارضا در شهرستان سلسله استان لرستان قرار داشته و از آب این رودخانه بیشتر جهت آبیاری کشاورزی اطراف این رود خانه استفاده می‌شود، لذا بررسی کیفیت آب آن اهمیت بسزایی دارد. در این پژوهش با استفاده از روش‌های هیدروژئوشیمیایی و هوش مصنوعی سعی در بررسی کیفیت و تخمین پارامترهای کیفی آب این رودخانه شده است. یافته‌ها نشان داد یون‌های بی‌کربنات، کلسیم و منیزیم تأثیر زیادتر در کیفیت آب این رودخانه دارند. شاخص کیفیت آب رودخانه کاکارضا در بازه زمانی ۱۳۴۷ تا ۱۳۹۸ مطلوب بوده و برای مصارف شرب و کشاورزی قابل استفاده است. همچنین نتایج شبکه عصبی مصنوعی بیانگر توانایی بالای شبکه عصبی در شبیه‌سازی و تخمین شاخص پارامترها می‌باشد، مدل با تعداد ۹ ورودی (HCO3, Cl,SO4, Ca, Mg, Na, TDS, pH, Q) بهترین عملکرد را در تخمین مقدار EC نشان داده است. در نهایت به منظور اجرای برنامه مدیریتی سازمان‌های آب در راستای استفاده بهینه از منابع آبی موجود در منطقه (مانند رودخانه کاکارضا) با استفاده از مطالعات هیدروژئوشیمی و پیش‌بینی‌های کمی و کیفی آب می‌توان به شناخت درست‌تری از شرایط کیفیت آب رسید که تصمیم‌گیری در مورد استفاده از این منابع آبی رو بهتر می‌نماید.

کلمات کلیدی: رودخانه کاکارضا، شبیه سازی، منابع آب، هیدروژئوشیمی، هوش مصنوعی.

***Corresponding Author Email:** sarikhani.r@lu.ac.ir

مقدمه

شناخت و بررسی کیفیت منابع آبی، در مدیریت منابع و استفاده بهینه از آن از اهمیت بالایی برخوردار است. روند تشخیص دراز مدت کیفیت آب رودخانه‌ها برای آگاهی به تغییرات به وقوع پیوسته در گذشته و پیش‌بینی آینده از اهمیت بسیار خوبی برخوردار است. مدل‌های شبیه‌سازی و بهینه سازی کیفیت آب سطحی، طیف وسیع و گستره‌ای دارند (Faraj Panah, 2017). شبکه‌های عصبی مصنوعی (Artificial Neural Network- ANN)، ایده‌ای برای پردازش اطلاعات است که از سیستم عصبی زیستی و یا سیستم عصبی انسان الهام گرفته و مانند مغز به پردازش اطلاعات می‌پردازد (Rezaei et al., 2019)؛ که در سالیان اخیر به منظور تهیه مدل‌های شبیه سازی و بهینه سازی کمی و کیفی منابع آب مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در زمینه بررسی کیفیت آب (Sarikhani et al., 2015; Hosseini et al., 2019; Zayed et al., 2021; Mohammadihadi et al., 2021; Pasandipour, 2014) و همچنین شبیه‌سازی پارامترهای کیفی مطالعاتی (Qavidel, 2017; Ajmera et al., 2022; Emami et al, 2021; Kor, 2016; Asadollahfardi et al., 2012; Azad, 2019; Sarka and Pandey, 2015; Salari et al., 2021) مطالعات مختلفی صورت گرفته است. در استان لرستان رودخانه‌های فراوانی جریان دارد که یکی از این رودخانه‌ها، رودخانه کاکارضا است. رودخانه کاکارضا یا رود ولم در شهرستان سلسله قرار داشته و از زیر حوضه‌های کرخه می‌باشد. متوسط بارش این حوضه ۵۳۰/۶ میلی متر است. حوضه آبخیز کاکارضا درعرض ۴۸ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۵۸ دقیقه شرقی و در طول ۳۳ درجه و ۲۲ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۵۱ دقیقه شمالی قرار گرفته است. حوضه کاکارضا دارای مساحتی بالغ بر ۱۱۳۳/۳ کیلومتر مربع می‌باشد. از این مقدار سهم دشت و ارتفاعات به ترتیب ۱۹۷/۴ و ۹۸۳/۶ کیلومتر مربع است. وسعت آبخوان این محدوده تقریبا ۱۶۹/۴ کیلومتر مربع برآورد شده است. حداکثر ارتفاع حوضه از سطح دریا تقریبا ۳۵۶۰ متر و حد اقل ارتفاع نیز ۱۴۸۱ متر در خروجی دشت می‌باشد. دبی این رودخانه در ایستگاه دهنو در دوره شاخص آماری ۴۰ ساله ۲/۷۷ متر مکعب بر ثانیه و در ایستگاه کاکارضا ۱۲ متر مکعب بر ثانیه محاسبه شده است. این رود که بزرگترین رودخانه منطقه الشتر می باشد از کوه‌های جنوب شرقی الشتر سرچشمه گرفته و پس از عبور از جنوب الشتر و مجاورت بسطام از طرف شرق به طرف جنوب غربی جریان پیدا می‌کند به ویژه در فصل بهاری سیلابی و غیر قابل عبور می‌شود (Danesh, 1401) (شکل ۱).

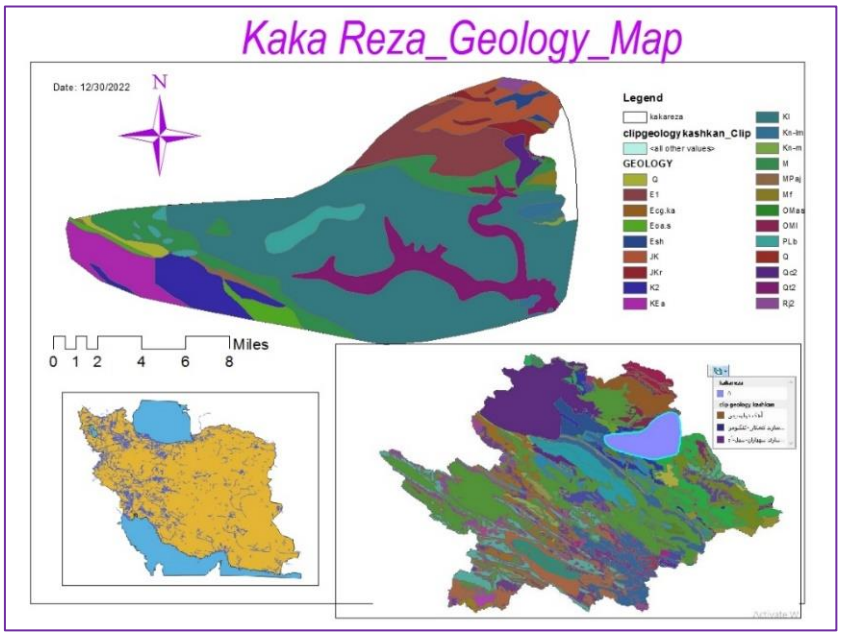


شکل ۱. موقعیت جغرافیایی رودخانه کاکارضا

Fig 1. Geographical location of Kakareza River

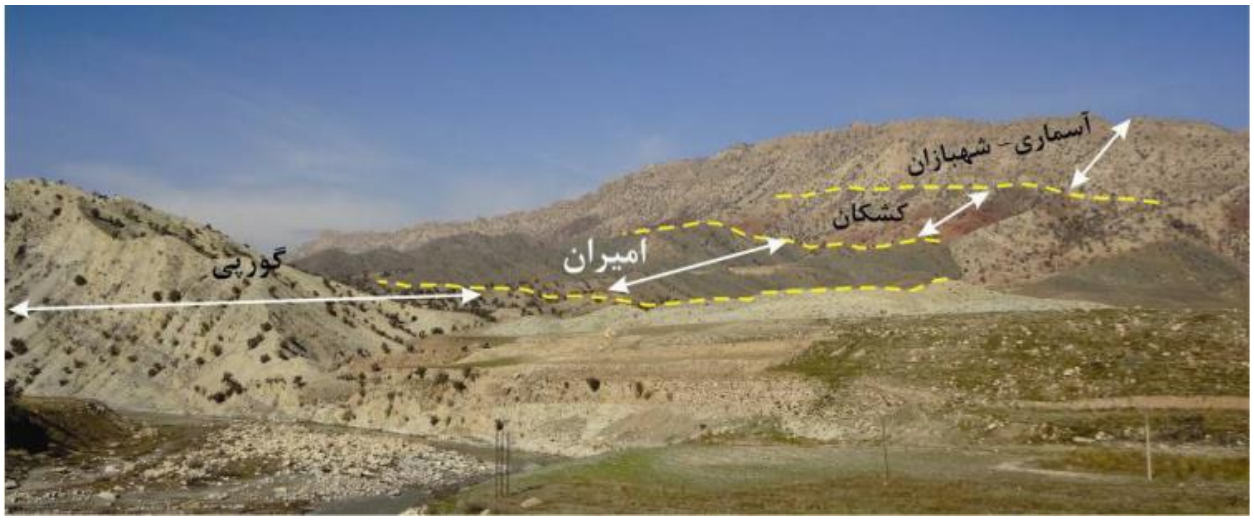
سطح کوچکی از حوضه آبگیر رودخانه را رسوبات آبرفتی می‌پوشاند. واحدهای زمین‌شناسی منطقه شامل رسوبات آهکی رودیست و اربیتولین‌دار کرتاسه است. همچنین سنگ‌های ولکانیکی نیز به صورت وافر در زیر آهک کرتاسه فوق رخنمون دارد. بعضی سازندهای موجوده در منطقه عبارتند از: سازند بختیاری، سازند امیران، سازند آغاجار و سازند کشکان. ترکیبات کلی این سازندها شامل (آهک

توده‌ای سفید رنگ، کنگلومرا، شیل، ماسه سنگ، مارن قرمز و...) می‌باشد و همچنین منطقه مورد مطالعه دارای آهک مارنی و آهک آلوئولین دار ائوسین، آهک‌های ریفی اولیگومیوسن، مارن، آهک و ماسه‌سنگ‌های میوسن و رسوبات گنگلومرای بختیاری است. در این منطقه سنگ‌های آتشفشانی ژوراسیک، شامل آندزیت پورفیری بوده که همراه با توف و الگلومرا به رنگ‌های قرمز و سبز دیده می‌شوند (Aganbati, 2013) (اشکال ۲ و ۳). کیفیت آب‌های سطحی این رودخانه، در مناطق مختلف به دلیل تنوع سازندها و ساختارهای زمین‌شناسی و عوامل هیدرولوژیکی، تغییرات متفاوت را در بردارد. رودخانه کاکارضا در استان لرستان در طول مسیر خود تحت تأثیر فاضلاب شهری و روستایی و همچنین روان آب‌های کشاورزی اطراف خود قرار دارد. از آب این رودخانه بیشتر جهت آبیاری کشاورزی اطراف این رود خانه استفاده می‌شود که مجدداً بخش زیاد آب مصرفی در این بخش بصورت روان‌آب‌های کشاورزی وارد جریان آب رودخانه می‌شود. از طرفی واحدهای زمین‌شناختی منطقه متنوع بوده که هر یک دارای ترکیب متفاوتی هستند و به دین ترتیب می‌توانند عناصر متفاوتی را وارد ترکیب آب رودخانه نمایند. بنابراین با توجه به موارد ذکر شده در بالا و اهمیت رودخانه کاکارضا در تأمین آب منطقه مذکور، بررسی کیفیت آب آن اهمیت بسزایی دارد.



شکل ۲. نقشه زمین شناسی و منطقه مورد مطالعه

Fig 2. Geological map and the study area



شکل ۳. نمایی از سازندهای رخنمون یافته در منطقه (Mohseni, 2018)

Fig 3. A view of outcropping formations in the area (Mohseni, 2018)

مواد و روش‌ها

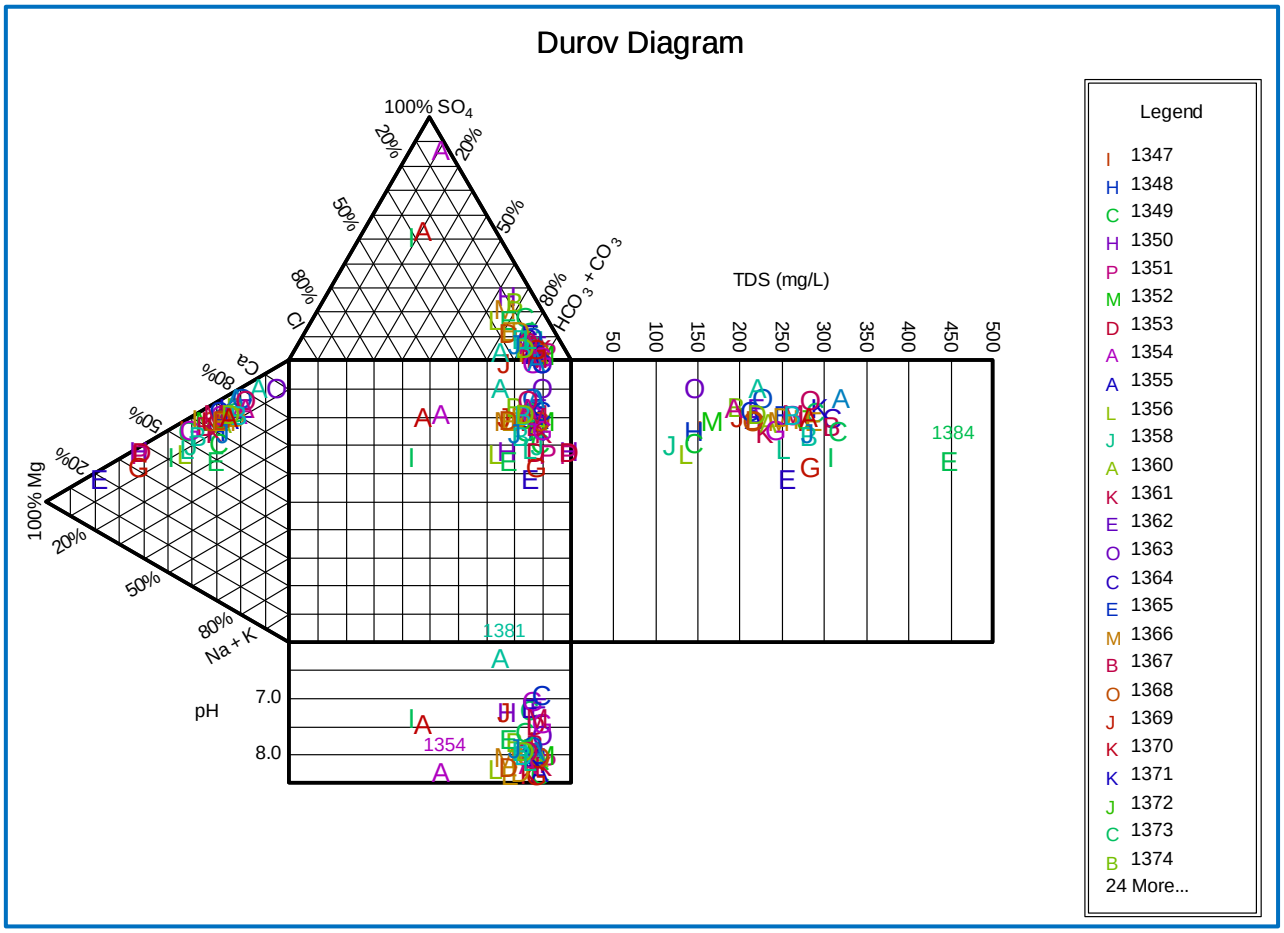
در این تحقیق ابتدا داده‌های کتابخانه‌ای جمع آوری گردید، و داده‌های مورد نیاز که شامل مجموعه‌ای از داده‌های مربوط به پارامترهای کیفی و متغیرهای کیفیت آب رودخانه کاکارضا که در ایستگاه هیدرومتری اندازه گیری شده از سال ۱۳۴۷ تا ۱۳۹۸، از شرکت آب‌منطقه‌ای استان لرستان تهیه گردید. جهت تعیین غلظت پارامترهای آب‌های سطحی رودخانه کاکارضا، از سال ۱۳۴۷- ۱۳۹۸ در فصل‌های مختلف سال، از نقاط مختلف این رودخانه نمونه برداری شده و جهت تعیین یون‌های عمده مورد سنجش شیمیایی قرار گرفته است. متغیرهای کیفیت آب اندازه گیری شده شامل: پتاسیم(K)، سدیم (Na)، بیکربنات (HCO_3)، کلسیم (Ca)، منیزیم (Mg)، سولفات (SO_4)، هدایت الکتریکی (EC)، کل جامدات محلول (TDS)، اسیدیته (pH)، سختی آب (TH)، و نسبت جذب سدیم است. در ابتدا نرمال بودن داده‌های مربوط به پارامترهای مذکور بررسی شد و سپس بررسی انحراف معیار، کشیدگی، میانه، میانگین و چولگی توزیع داده‌های رودخانه کاکارضا به‌وسیله نرم افزارهای Excel و SPSS صورت گرفت. در تجزیه و تحلیل این داده ها از نرم افزار های GIS در بخش‌های نقشه‌های زمین شناسی و رودخانه‌ها و Excel, SPSS و Matlab و Aq.QA استفاده شده است، همچنین نقشه‌های مرتبط از دانشکده زمین شناسی دانشگاه لرستان تهیه شد. با استفاده از نمودار دورو و شاخص اشباع فرآیندها و رخساره‌های هیدروشیمیایی و نوع آب‌های موجود در رودخانه کاکارضا شناسایی گردیده است.

در نهایت به دلیل دقت بالای شبکه هوش مصنوعی، برای مدل سازی و تخمین میزان کیفیت آب رودخانه کاکارضا از شبکه عصبی مصنوعی استفاده شده است. جهت شبیه سازی پارامترهای کیفیت آب رودخانه کاکارضا با استفاده از شبکه عصبی بیزین، به اضافه تعیین مؤثرترین و بهترین ساختار مدل، پارامترهای متفاوتی مورد استفاده قرار گرفته است. منظور از این تحقیق، بررسی هر کدام از این پارامترها و همچنین تعداد پارامترهای اساسی و لازم برای تخمین دقیق‌تر پارامتر خروجی می‌باشد. در این تحقیق به منظور مدل سازی پارامترهای کیفیت آب رودخانه کاکارضا با شبکه عصبی و برای تعیین بهترین مدل ۹ حالت مختلف ورودی تعیین گردیده و EC به عنوان خروجی در نظر گرفته شد. همچنین در این تحقیق از شبکه عصبی نوع پرسپترون چند لایه به‌کار گرفته شده و نیز از تعداد نورون‌های مختلف در آن مورد استفاده قرار گرفته است. تعداد نورون‌ها تغییر یافت و نتایج به وجود آمده با استفاده از معیارهای RMSE, MAE و R^2 و ضریب همبستگی با یکدیگر مقایسه شده و بهترین عملکرد انتخاب شده است. به صورت کلی تعداد نورون‌های لایه پوشیده با تعداد لایه حداقلی شروع شده و تا وقت‌که افزایش نورون‌های جدید تأثیرات ویژه‌ای در بهبود نتیجه کار شبکه نداشته باشد، ادامه یافت.

نتایج و بحث

نمودار دروو

برای تجزیه، تحلیل و تفسیر تیپ نمونه‌های آب، معمولاً از نمودار دروو استفاده می‌کنند. نمودار دروو جایگزینی برای نمودار پایپر است؛ همچنین یک نوع گراف تخصصی برای ترسیم شیمی نمونه‌های آب است. مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌ها بر روی دو صفحه‌ی مثلثی مجزا رسم می‌شوند و نقاط داده بر روی یک شبکه مربع در پایه هر مثلث پیش‌بینی می‌شوند. علاوه بر این، نمودار دروو امکان مقایسه مستقیم دو پارامتر دیگر آب سطحی، pH و کل جامدات محلول(TDS) را فراهم می‌کند. براساس نتایج حاصل از این نمودارها مقادیر TDS آب‌های سطحی (به طور متوسط بیش از ۲۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) می‌باشد. بیشترین مقدار TDS در نمونه‌های آب سطحی منطقه رودخانه کاکارضا در سال‌های ۱۳۸۴ بیشتر از ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر بوده است. همانطور که از نمودار مشخص است آنیون بی‌کربنات و کاتیون‌های کلسیم و منیزیم در آب منطقه غالب هستند که بیانگر تیپ بی‌کربنات کلسیم و رخساره کربنات کلسیک منیزیک در منطقه است. که این تیپ و رخساره ناشی از وجود سازندهای کربناته کلسیت و دولومیت در منطقه است. دامنه تغییرات pH نمونه‌های آب سطحی رودخانه کاکارضا در هر یک دهه که مورد ارزیابی قرار گرفته است تغییرات ذیل را به خود اختصاص داده است. از سال ۱۳۴۷- ۱۳۶۰ از ۷/۴ الی ۸/۲، از سال ۱۳۶۱- ۱۳۷۱ از ۷/۳ الی ۷/۹، از ۱۳۷۱-۱۳۸۱ از ۷ الی ۸/۲، از سال ۱۳۸۱ الی ۱۳۹۱ از ۷ الی ۸ و از سال ۱۳۹۱ الی ۱۳۹۸ از ۷/۴ الی ۸/۲ دست خوش تغییرات بوده است (شکل ۴).

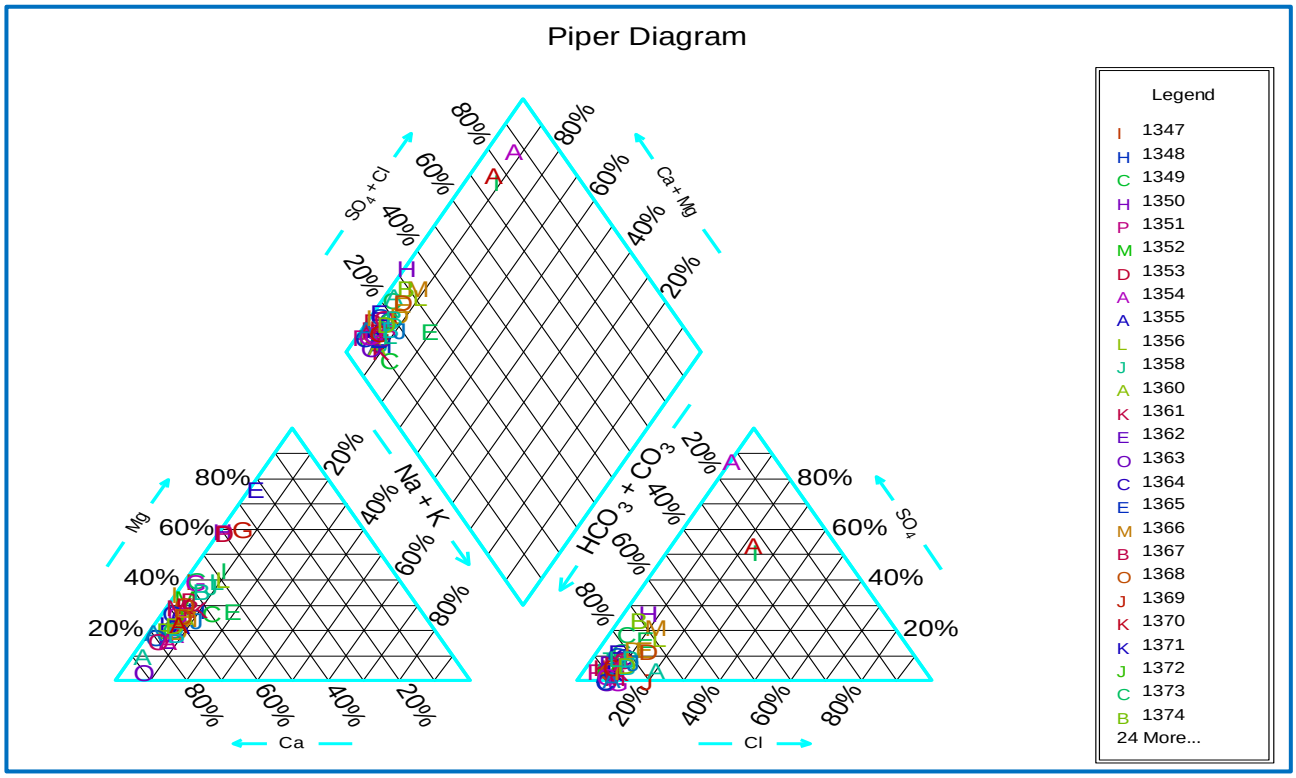


شکل ۴. نمودار دروو نمونه‌های آب سطحی رودخانه کاکارضا سال‌های ۱۳۴۷ تا ۱۳۹۸

Fig 4. Durov diagram of surface water samples of Kakareza River from 1968 to 2019

نمودار پایپر نمونه‌های آب سطحی رودخانه کاکارضا

این نمودار یکی از مهم‌ترین نمودارها جهت نمایش و مقایسه سنجش‌های کیفی آب است که در سال ۱۹۴۴ توسط پایپر (Piper, 1944) برای اولین بار ارائه گردیده است. بصورت عموم نمودارهای پایپر برای تعیین انواع آب، رخساره‌های هیدورشیمیایی و مسیرهای تکامل ژئوشیمیایی در آب‌ریزه‌ها تهیه می‌گردد، همچنین جهت مشخص کردن تیپ آب‌های نمونه‌برداری شده از نمودار پایپر استفاده می‌شود. رخساره‌های هیدروشیمیایی تعیین کننده توده‌های آبی با ماهیت هیدروشیمیایی متفاوت بوده و برای تحلیل و انالیز تفاوت‌ها در ترکیبات آب مورد استفاده قرار می‌گیرند. از این نمودار می‌توان برای نمایش تأثیر اختلاط دو نوع آب از منشأهای مختلف، در صورت‌که یون‌ها به وسیله فرایندهایی از قبیل تبادل یونی و رسوب یا انحلال نمک‌ها به محلول اضافه یا از آن کم نشوند، شکل ۵ نمودار پایپر نمونه‌های آب برداشت شده در سال‌های ۱۳۴۷ الی ۱۳۹۸ را نشان می‌دهد. نمودار پایپر نمونه‌های آب مورد مطالعه نشان‌دهنده آن است که آنیون بی‌کربنات و کاتیون کلسیم در منابع آبی بیشتر می‌باشند. با توجه به این نمودار مشخص خواهد شد که در نمونه‌های آب منطقه میزان عناصر قلیایی خاکی بیش از عناصر قلیایی بوده و اسیدهای ضعیف بیش از اسیدهای قوی است و نمونه‌ها در قسمتی از نمودار پایپر واقع شده‌اند که به طور کلی آب‌های با سختی کربناته بیشتر از ۵۰ در این منطقه قرار می‌گیرند. به لحاظ ژئوشیمیایی این رخساره در ارتباط با انحلال کانی‌های کربناته می‌باشد. افزایش بی‌کربنات در نمونه‌ها که با کاهش EC و TDS همراه است، در ارتباط با وجود سازندهای کربناته و لیتولوژی غالب منطقه که شامل آهک، کنگلومرا، ماسه سنگ و... می‌باشد. از طرف دیگر قسمت مثلثی نمودار پایپر ترسیم شده، نشان‌دهنده رخساره غالب هیدروشیمیایی نوع کلسیک- منیزیک حوضه آبریز کاکارضا می‌باشد.



شکل ۵. نمودار پایپر نمونه‌های آب سطحی رودخانه کاکارضا در سال‌های ۱۳۴۷ تا ۱۳۹۸

Fig 5. Piper diagram of surface water samples of Kakareza River in the years 1968 to 2019.

توصیف آماری داده‌های هیدورشیمی

بیان آماری داده‌های کیفی شیوه‌ای خوب و مناسب برای معرفی مشخصات کیفی منابع آبی می‌باشد. در حال حاضر اکثر محققین با استفاده ابزاری از آنالیزهای آماری چند متغیره و تحلیل‌های عاملی منشاء نمونه‌های آب سطحی را تعیین می‌کنند (Busico et al., 2018).

به‌طور کلی، با توجه به اهداف و وسعت مطالعه و تحقیقات امروزی، بررسی داده‌های کیفی نمونه آب‌های سطحی رودخانه کاکارضا با محاسبه و مشخصات عمومی آماری(حداکثر، حداقل، میانگین، میانه، انحراف معیار، ضریب تغییرات، چولگی و کشیدگی) مقادیر یون‌های اصلی محاسبه شده توسط انالیزهای شیمیایی در جدول ۱ نشان داده شده است.

در مورد رودخانه کاکارضا نمونه زمینه‌ای، سنجش یون‌های اصلی ۵۱ سال نمونه برداری یعنی از سال ۱۳۴۷ تا ۱۳۹۸ را در بر گرفته است. در این بررسی مقادیر pH از ۷/۲ تا ۸/۱۵ کمترین مقدار در قسمت مرکزی آبرفتی ثبت شده است به دلیل وجود طبیعی کربنات دی اکسید در آب‌های سطحی که از لایه‌های نسبتاً عمیق منشأ می‌گیرند و اختلاف با روی آب از طریق‌های مختلف گسل، مقادیر دمای آب از ۱۵/۶ تا ۲۲/۷ درجه سانتی‌گراد همچنین مقادیر EC نمونه‌های جمع آوری شده از ۲۳۵ تا ۴۹۰ µs/cm متغیر است. غلظت کلسیم (Ca^{2+}) از ۴/۲۲ تا ۳۵۰ میلی‌گرم در لیتر است و منزیم (Mg^{2+}) ۰/۵۶ تا ۱۹/۳ میلی‌گرم در لیتر است. به ترتیب غلظت کلراید برای تمام نمونه‌های آب بین ۲۷ تا ۴۵ میلی‌گرم در لیتر اندازه‌گیری شده است در حالی‌که غلظت یون‌های سدیم از ۱۰ تا ۶۰ میلی‌گرم در لیتر متغیر است. میانگین TDS نمونه‌های آب رودخانه کاکارضا در مدت ۵۱ سال حد اوسط شان تقریبا برابر با ۲۴۸۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. حداقل و حداکثر TDS نمونه‌های آب این رودخانه به ترتیب در حدود ۱۵۰۰ و ۳۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر اندازه گیری شده است. غلظت میانگین یون‌های کلسیم و کلراید نمونه‌های آب سطحی رودخانه کاکارضا به ترتیب، برابر با بیش از ۳۵۰ و ۴۵ میلی‌گرم در لیتر می باشد. میانگین غلظت سولفات نمونه‌های آب سطحی این رودخانه در حدود ۳۲/۵۰ میلی‌گرم در لیتر اندازه گیری شده است. با توجه به محاسبات انجام شده و همچنین ضریب تغییرات (انحراف استاندارد تقسیم بر میانگین) محاسبه شده غلظت یون‌های عمده مشخص گردیده است که یون‌های منزیم و بی‌کربنات به تریتب حداقل و حداکثر تغییرات در رودخانه کاکارضا را در بر می‌گیرد.

جدول ۱. پارامترهای آماری محاسبه شده نمونه‌های آب سطحی رودخانه کاکارضا

Table 1. The calculated statistical parameters of surface water samples of Kakareza River

Ca	Mg	Na	K	HCO_3	SO_4	Cl	TDS	EC	pH	
22.4	0.54	10	2	230	18	27	1500	235	7.2	**حداقل**
350	19.3	60	12	407	55	45	3150	490	8.15	**حداکثر**
295	9	27	5	327	32.5	28	2480	382	7.7	**میانگین**
34	4.3	11	0.2	52	43	0.8	44.90	65.5	0.28	**انحراف معیار**
16	1.9	14	0.1	28	18	0.7	2016	43	0.08	**ضریب واریانس**
0.8	5.8	2.68	14	29	37	–0.61	62	0.42	-0.2	**واریانس**
0.49	0.62	1.27	0.68	–1.1	0.73	0.21	30	0.24	–1	**چولگی**
1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	**خطای استاندارد**
1.01	1.43	3.22	0.14	–1.42	–0.63	-0.43	-1.04	–0.4	0.56	**کشیدگی**

تحلیل عاملی

تحلیل عاملی یک روش آماری است که برای توصیف تنوع بین متغیرهای مشاهده شده و همبسته برحسب تعداد بالقوه کمتر متغیرهای مشاهده نشده به نام عوامل استفاده می‌شود. و یا این‌که تحلیل عاملی یکی از روش‌های آماری است که به طور وسیعی در مطالعات هیدروشیمی استفاده می‌شود. همچنین این روش یک روش آماری چند متغیره است که روابط پیچیده تحلیلی را آن می‌کند (Ahmadnezhad, 2018).

طبق تحقیقات موجوده تحلیل عاملی را به صورت عموم در سه مرحله (تهیه ماتریس همبستگی بر اساس ضریب همبستگی پیرسون از تمام متغیرها، استخراج عامل‌ها و تفسیر نتایج دسته بندی می‌کند. برای نخستین کار در تحلیل عاملی ایجاد و یا تهیه یک ماتریس ضرایب همبستگی از کلیه متغیرهای مورد تحقیق می‌باشد. در جدول ۲ ماتریس همبستگی عناصر موجوده در آب‌های مربوطه به صورت عموم توضیح داده شده است.

طبق جدول موجود بیشترین میزان همبستگی بین بی‌کربنات و مجموع املاح بنظر می‌رسد. با توجه به این جدول همبستگی میان منزیم و سدیم زیاد می‌باشد. همچنین همبستگی خوبی بین TDS با سدیم و منزیم به صورت بالا وجود دارد. همبستگی میان یون‌های پتاشیم و بی‌کربنات و همچنین سولفات و کلراید نیز بالا می‌باشد.

نمایه‌های اشباع

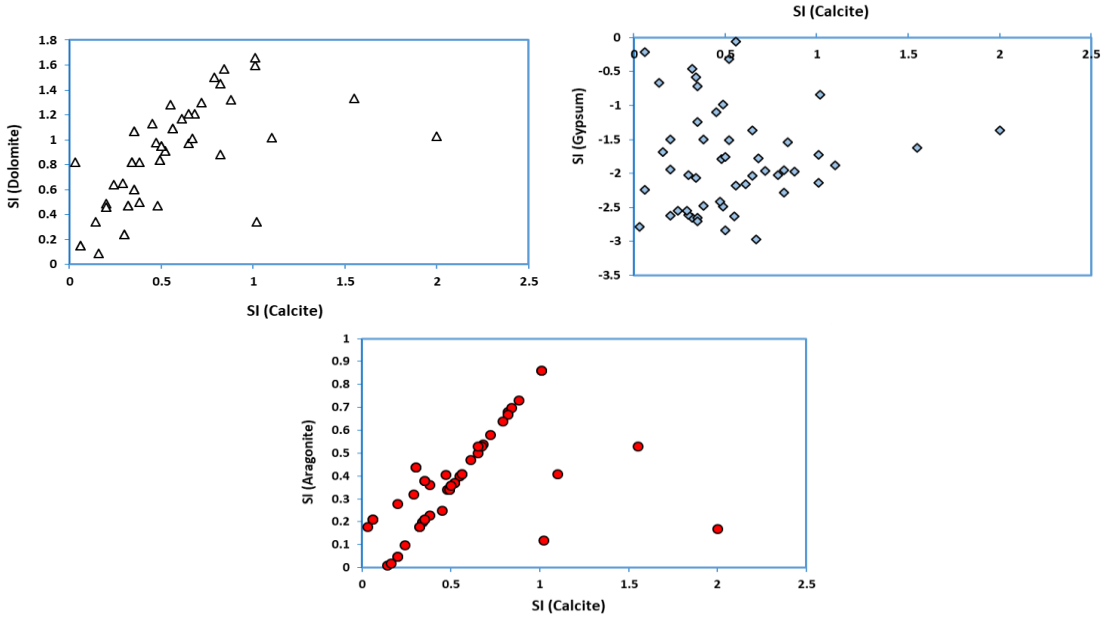
تحلیل و تفسیر نمایه‌های اشباع برای بررسی کنترل‌های زمین شناسی بر روی شوری آب‌های سطحی رودخانه کاکارضا با استفاده از نمودارهای نمایه اشباع دولومیت، ژیپس و آراگونیت در مقابل نمایه اشباع کلسیت صورت گرفته است (شکل ۶). در نمونه‌های آب رودخانه کاکارضا اکثراً آنیون بی‌کربنات و کلسیم غالب بوده که شوری آب‌های سطحی این رودخانه به صورت عموم در اثر افزایش غلظت یون‌های بی‌کربنات، کلسیم و منیزیم (در اثر انحلال کلسیت، دولومیت و آراگونیت) می‌باشد، در این صورت نمودارهای چند متغیره نمایه‌های اشباع ژیپس، دولومیت و آرگونیت در مقابل غلظت کلسیت تهیه گردیده است. نمونه‌های آب رودخانه نسبت به کلسیت، دولومیت و آراگونیت فوق اشباع و نسبت به ژیپس، انیدریت و هالیت تحت اشباع می‌باشند.

جدول ۲. ماتریس همبستگی عناصر موجود در نمونه‌های آب

Table 2. Correlation matrix of the elements in the water samples

pH	EC	TDS	Cl	SO_4	HCO_3	K	Na	Mg	Ca	
									1	Ca
								1	-0.64	Mg
							1	-0.67	0.168	Na
						1	-0.142	0.28	-0.28	K

pH	EC	TDS	Cl	SO_4	HCO_3	K	Na	Mg	Ca	
					1	0.240	-0.249	0.599	-0.59	HCO_3
				1	0.257	0.353	-0.152	0.478	0.04	SO_4
			1	-0.493	0.564	0.287	0.192	-0.51	-0.035	Cl
		1	0.69	-0.1	0.164	0.467	0.375	-0.251	0.041	TDS
	1	0.605	0.519	0.09	0.611	0.683	-0.192	0.339	-0.323	EC
1	0.523	0.55	-0.73	-0.55	0.429	0.315	-0.355	0.185	-0.79	pH



شکل ۶. نمودارهای نمایه اشباع دولومیت، ژیپس و آراگونیت در مقابل نمایه اشباع کلسیت

Fig 6. Graphs of dolomite, gypsum and aragonite saturation indices versus calcite saturation index

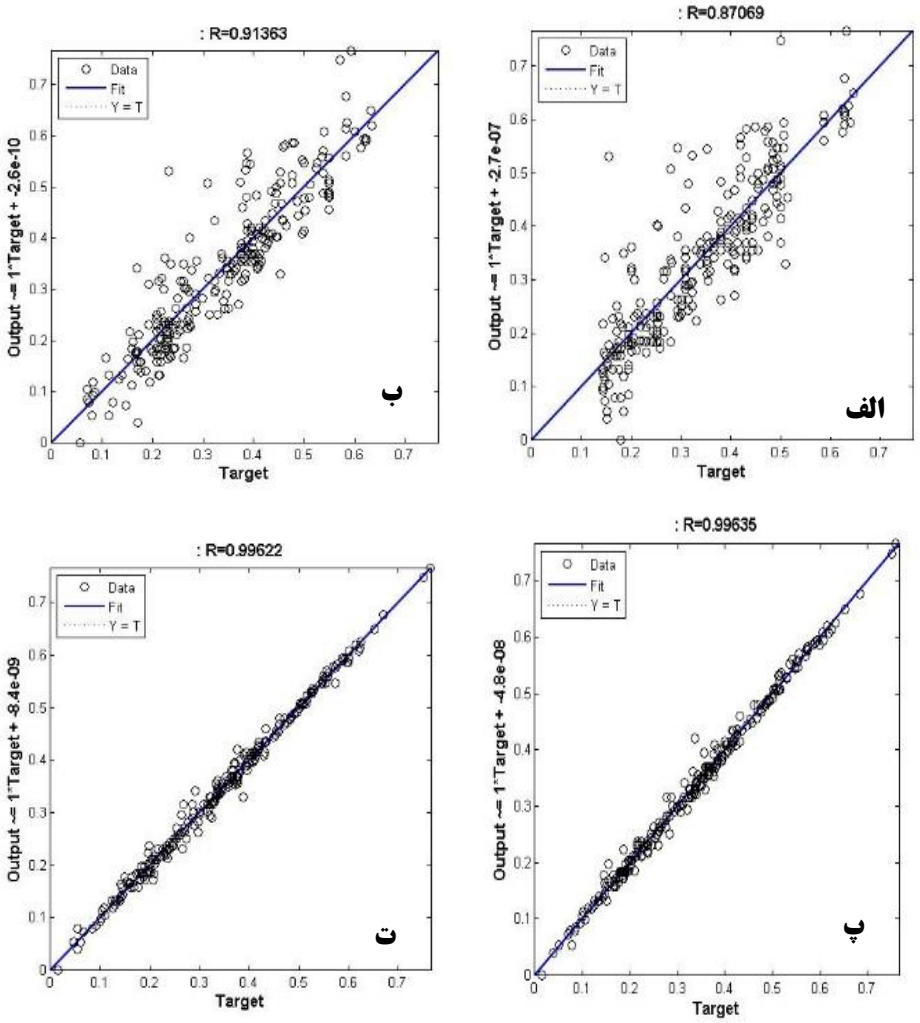
شبیه‌سازی شاخص هدایت الکتریکی رودخانه کاکارضا

در این پروژه جهت مدلسازی پارامتر EC رودخانه کاکارضا از داده‌های اخذ شده از شرکت آب منطقه‌ای استان لرستان بین سال‌های ۱۳۹۸-۱۳۴۷ استفاده شد که از ۱۸ ایستگاه موجود در منطقه جمع‌آوری شده بودند. در ابتدا به منظور مدل‌سازی پارامترهای کیفیت آب رودخانه کاکارضا با شبکه عصبی و برای تعیین بهترین مدل ۹ حالت مختلف ورودی تعیین گردید و EC به‌عنوان مجهول (خروجی) در نظر گرفته شد، هدف از این کار بررسی تأثیر هریک از پارامترها است. شبکه عصبی به‌کار رفته در مدل این تحقیق از نوع پرسپترون چند لایه می‌باشد که از تعداد نرون‌های مختلف در آن استفاده شده است، تعداد نرون‌ها از ۱ تا ۱۸ تغییر یافته است. نتایج بدست آمده با استفاده از معیارها R^2, MSE, RMSE, MAE با هم مقایسه شده است و بهترین عملکرد انتخاب شده است. تعداد نرون‌های لایه پنهان از مقدار کم شروع شده تا زمانی که افزایش نرون‌ها تأثیری در بهبود شبکه نداشته باشد. همچنین در همه حالات تعداد تکرار فرآیند یادگیری شبکه ۱۰۰۰ در نظر گرفته شده بود که این تعداد در صورت رسیدن مقدار شیب تابع به کمترین حد ممکن متوقف می‌شد. جدول ۳ عملکرد همه‌ی مدل‌های تعریف شده را نشان می‌دهد. در مدل ۹ که بیشترین تعداد ورودی‌ها را دارد شبکه با تعداد ۴ نرون بهترین عملکرد را دارد. همچنین انتخاب داده‌های مربوط به آموزش و صحت‌سنجی به طور تصادفی توسط خود شبکه انجام شد. با توجه به جدول ۳ و بررسی خطاها متوجه می‌شویم که میزان خطا در شبکه عصبی این تحقیق بسیار کم است و شبکه عصبی در تخمین پارامترهای کیفی رودخانه کاکارضا بسیار توانا است، همچنین نتایج جدول و نمودارهای پراکنش (شکل ۷) مشخص می‌کند که در شرایطی که بنا به دلایلی تعدادی از داده‌ها در دسترس نباشند میتوان با دقت مناسبی با چند پارامتر کیفی و با دقت بالا کیفیت آب را تعیین نمود؛ شکل ۸ نشان دهنده‌ی نتایج این مدل‌سازی هستند.

جدول ۳. نتایج بدست آمده از شبکه عصبی

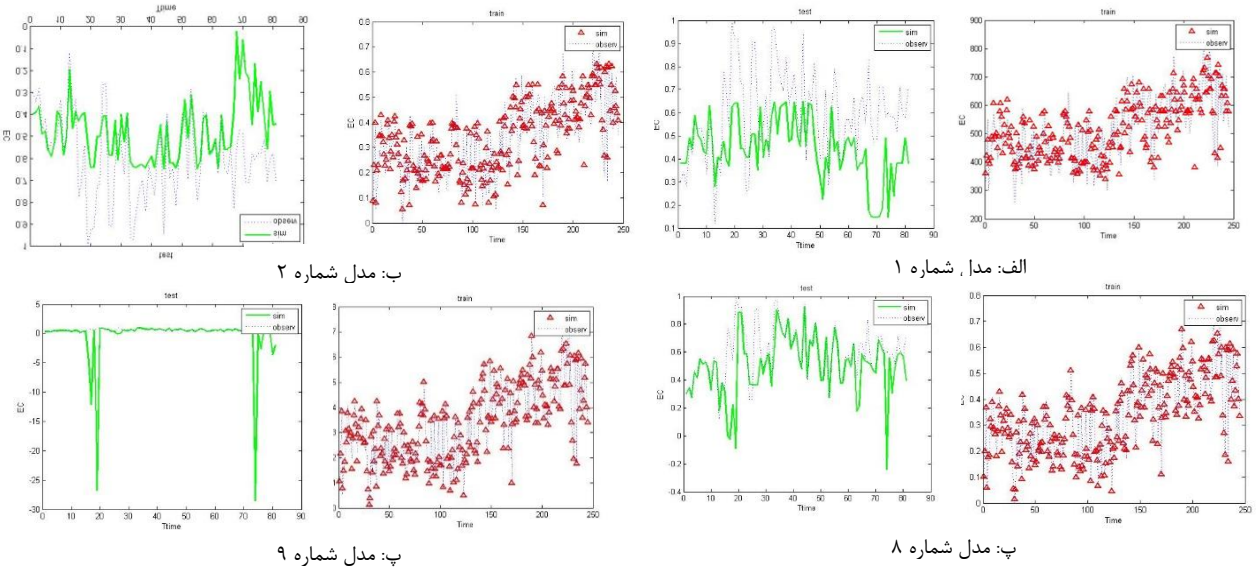
Table 3. The results of neural network

شماره مدل	ورودی ها	R^2	E-MSE	E-RMSE	E-MAE
۱	HCO_3	0.928	0.1325	0.3640	0.3395
۲	HCO_3,Cl	0.958	0.1343	0.3664	0.9478
۳	HCO_3,Cl,SO_4	0.959	0.1367	0.3698	0.3395
۴	HCO_3,Cl,SO_4,Ca	0.976	0.1369	0.3699	0.3395
۵	HCO_3,Cl,SO_4,Ca,Mg	0.991	0.1371	0.3703	0.3395
۶	HCO_3,Cl,SO_4,Ca,Mg,Na	0.988	0.1373	0.3705	0.3395
۷	HCO_3,Cl,SO_4,Ca,Mg,Na,TDS	0.992	0.1378	0.3712	0.3395
۸	HCO_3,Cl,SO_4,Ca,Mg,Na,TDS,pH	0.995	0.1379	0.3713	0.3395
۹	HCO_3,Cl,SO_4,Ca,Mg,Na,TDS,pH,Q	0.996	0.1359	0.1368	0.3380



شکل ۷. نمودارهای پراکنش برخی از مدل‌ها (الف-مدل شماره ۱، ب-مدل شماره۲ ، پ- مدل شماره ۸ و ت- مدل شماره ۹)

Fig 7. Scatter diagrams of some models (A- Model No. 1, B- Model No. 2, C- Model No. 8 and D- Model No. 9)



الف: مدل شماره ۱ ب: مدل شماره ۲

پ: مدل شماره ۸ پ: مدل شماره ۹

شکل ۸. نمودارهای سری زمانی برخی از مدل‌ها

Fig 8. Time series graphs of some models

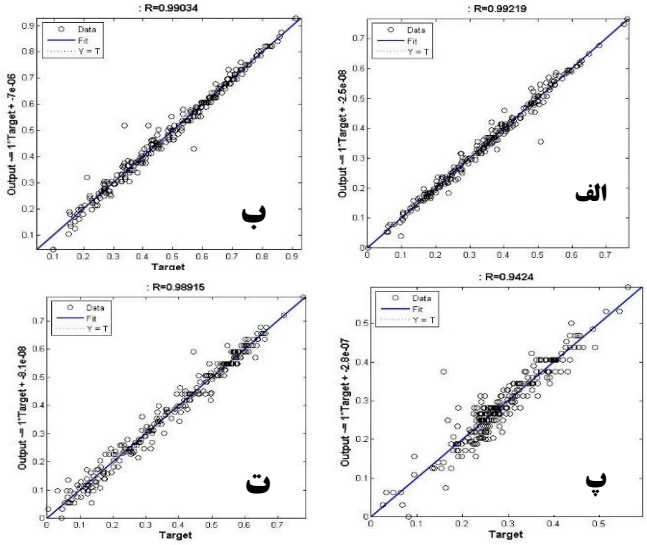
مدل‌سازی پارامترهای کیفی آب رودخانه کاکارضا

در این قسمت از پژوهش به منظور بررسی قابلیت شبکه عصبی پارامترهای موجود نیز با این شبکه مدل‌سای شدند. به این ترتیب هر یک از پارامترهای مؤثر مانند HCO_3,Cl, SO_4 و.... به عنوان مجهول (خروجی) توسط پارامترهای دیگر با مدل شبکه عصبی تخمین زده شده است. این بخش از مدل‌سازی با مقایسه نتایج خروجی با داده‌های مشاهداتی، قابلیت مدلسازی شبکه عصبی را مورد ارزیابی قرار می‌دهد. برای مدل‌سازی پارامترهای کیفی آب ۹ مدل تعریف شده است، ورودی و خروجی این مدل‌ها در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج این جدول نشان می‌دهد که شبکه عصبی در تخمین پارامترهای کیفی رودخانه کاکارضا بسیار توانا است. همچنین اشکال ۹ و ۱۰ نیز نشانگر نتایج به‌دست آمده از این مرحله می‌باشند.

جدول ۴. نتایج بدست آمده از شبکه عصبی (مدل‌سازی پارامترهای کیفی)

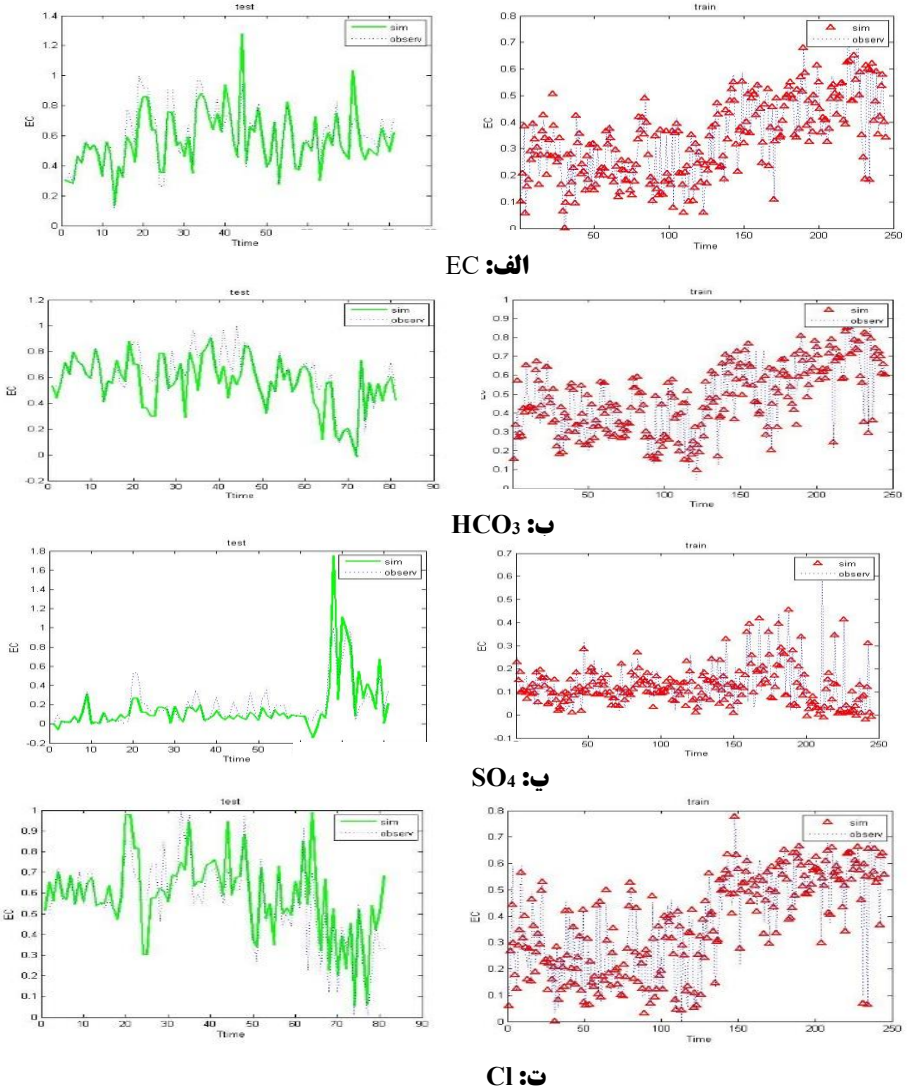
Table 4. The results of neural network (modeling qualitative parameters)

شماره مدل	ورودی‌ها	خروجی	R^2	E-MSE	E-RMSE	E-MAE
۱	HCO3, Cl, SO4, Ca,Mg,Na,TDS,pH ,Q	EC	0.994	0.1396	0.3697	0.3380
۲	Cl, SO4,Ca,Mg,Na,TDS,pH,Q,EC	HCO3	0.990	0.2642	0.5148	0.4808
۳	HCO3,SO4,Ca,Mg,Na,TDS,pH,Q,EC	Cl	0.942	0.0891	0.2985	0.2851
۴	HCO3,Cl,Ca,Mg,Na,TDS,pH,Q,EC	SO_4	0.993	0.0237	0.1539	0.1250
۵	HCO3,Cl,SO4,Mg,Na,TDS,pH,Q,EC	Ca	0.989	0.1736	0.4166	0.3733
۶	HCO3,Cl,SO4,Ca,Na,TDS,pH,Q,EC	Mg	0.997	0.1736	0.2792	0.2462
۷	HCO3,Cl,SO4,Ca,Mg,TDS,pH,Q,EC	Na	0.939	0.0963	0.3103	0.2865
۸	HCO3,Cl,SO4,Ca,Mg,Na,pH,Q,EC	TDS	0.996	0.2373	0.4871	0.4703
۹	HCO3,Cl,SO4,Ca,Mg,Na,TDS,Q,EC	k	0.975	0.4604	0.6785	0.6578



شکل ۹. نمودار پراکنش حاصل از مدل سازی پارامترهای (الف: خروجی EC، ب: خروجی HCO_3، پ: خروجی SO_4 و ت: خروجی Cl

Fig 9. Scatter plot of the modeling of parameters (a: outpu EC, b: output HCO3, c: output SO4 and d: output Cl



الف: EC

ب: HCO_3

پ: SO_4

ت: Cl

شکل ۱۰.نمودارهای سری زمانی مربوط به هر مدل (الف: خروجی EC، ب: خروجی HCO3، پ: خروجی SO4 و ت: خروجی Cl).

Fig 10. Time series graphs related to each model (a: output EC, b: output HCO3, c: output SO4 and d: output Cl)

نتیجه‌گیری

در این تحقیق کیفیت آب‌های سطحی رودخانه کاکارضا بر اساس معیارها و روش‌های مختلف هیدروژئوشیمیایی بررسی شده‌اند. نتایج نشان داد که مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر کیفیت آب سطحی رودخانه کاکارضا، املاح محلول، هدایت الکتریکی، بی‌کربنات، کلسیم، منیزیم، و سدیم هستند، یون‌های بی‌کربنات، کلسیم و منیزیم تأثیر زیادتر در کیفیت آب این رودخانه دارند. شاخص کیفیت آب رودخانه کاکارضا در بازه زمانی و در طی سال‌های ۱۳۴۷ تا ۱۳۹۸ مطلوب بوده و برای مصارف شرب و کشاورزی قابل استفاده است. بنابر نتایج آماری میانگین غلظت یون‌ها (عناصر) اصلی موجود در رودخانه، نشان می‌دهد که بی‌کربنات و کلسیم و به دنبال آن منزیم زیادترین فراوانی را دارند. در واقع این تأیید کننده تیپ بی‌کربنات- کلسیم و منزیم آب‌های سطحی این رودخانه می‌باشد. همچنین نتایج شبکه عصبی مصنوعی جهت مدل‌سازی پارامترهای آبی نشان داد که شبکه عصبی در شبیه‌سازی و تخمین شاخص پارامترها و کیفیت آب رودخانه کاکارضا از توانایی خوبی برخوردار می‌باشد. یافته‌های محققان دیگر نیز همین نتیجه را تأیید می‌کنند (Bagherzadeh, 2018; Ghalavand N, 2022; Kor, M., 2016). در نهایت می‌توان بیان داشت که با توجه به کاهش بارندگی‌ها و وجود خشکسالی‌های اخیر، برنامه مدیریتی سازمان‌های آب در راستای استفاده بهینه از منابع آبی موجود در منطقه می‌باشد که از جمله منابع آبی مورد نظر به منظور تأمین آب مصرفی نواحی کناری، رودخانه کاکارضا است. لذا با استفاده از مطالعات هیدروژئوشیمی و شبیه‌سازی پارامترها و کیفیت آب در سال‌های آینده می‌توان به شناخت صحیح‌تری از شرایط کیفیت آب رسید و تصمیم‌گیری در مورد استفاده از این منابع آبی رو بهتر می‌نماید.

منابع

Aganbati, A. (2013). Geology of Iran, geological and mineral exploration organization of the country, 587-608 (In Persian).

Ahmadnezhad, Z. (2018). Assessment of salinity sources of groundwater and surface in Zirah area, Dashtestan, Bushehr Province, Master's thesis, Shahid Chamran Universit (In Persian).

Ajmera, G. Solanki, C.h., & Singh, R. (2022). Analysis of Surface Water Quality of lake Ana Sagar, *international Journal of Reseach in Engineering and Science*, *10*(1), 62-68

Asadollahfardi, G., Taklify, A., & Ghanbari, A. (2012). Application of artificial neural network to predict TDS in Talkheh Rud River. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 138(4), 363-370.

Azad, A., Karami, H., Farzin, S., Mousavi, S.F., & Kisi, O., (2019). Modeling river water quality paramerters using modified adaptive neuro fuzzy inference system. *Water Science and Engineering, 12*(1): 45-54

Bagherzadeh, M. (2018). Tabriz University, Faculty of Civil Engineering (In Persian).

Busico, G., Cuoco, E., Kazakis, N., Colombani, N., Mastrocicco, M., Tedesco, D. & Voudouris, K. (2018). Multivariate statistical analysis to characterize/discriminate between anthropogenic and geogenic trace elements occurrence in the Campania Plain, Southern Italy. *Environmental pollution, 234*, 260-269.

Danesh, B. (2022), Estimation of parameters and evaluation of surface water quality of Kakareza river using multivariate statistical methods, master's thesis, Lorestan University (In Persian).

Emami, S., Nowrozi Sarkarabad, R., & Chopan, Y. (2021). Using artificial neural network (ANN) and colonial competition algorithm in order to evaluate the quality of Jolfa plain underground water for different purposes. *Amirkabir Civil Engineering Journal, 53*(1), 313-330 (In Persian).

Faraj Panah, H. (2017). Determining the best artificial intelligence method for simulating and predicting the concentration of various pollutants in the river, *Shahid Chamran University, Ahvaz*, 23-7 (In Persian).

Ghalavand, N. (2022). Investigating the ranges of rivers in Lorestan province using quality-pollution indices and artificial intelligence (case study of Kashkan river), Master thesis of Lorestan University.

Hosseini, S.H. Sarikhani, R. Ghasemi Dehnavi, A., …& Ebrahimi, (2019). Evaluation of the main and heavy elements of surface water using statistical analysis and saturation index charts (case study of Azna river in Lorestan province). *Irrigation Science and Engineering, 42*(1), 47-60 (In Persian).

Kor, M. (2016). Simulating qualitative parameters of Zarjoub River in Rasht using artificial neural networks, neuro-fuzzy inference system and regression and choosing the best model, 66-60 (In Persian).

Mohammadihadi, H. Kalantari, N. Anbari, A. & pahlavanizadeh, S. (2021). Hydrochemical assessment of the Jareh Dam water resources; using multivariate statistical techniques and hydrochemical methods, *Adv Appl Geol, 10*(4), 620- 633

Montasari, M., & Zamanzad Qavidel, S. (2017). Comparison of the performance of artificial intelligence models in estimating the quality parameters of river water in water-scarce and water-rich regions, *Water and Soil Journal (Agricultural Sciences and Industries), 3*(6), 1733-1747 (In Persian).

Pasandipour, V. (2014). Investigation of river water quality using statistical methods (Kor River case study), Islamic Azad University, Maroodasht branch, 28-35 (In Persian)..

Piper, A.M. (1944). A graphical producer in the geochemical interpretation of water analysis, *Transaction of the american geophysical union, 25,* 6, 914-923.

Rezaei, S.H., & Younesi, H.A. (2019). Evaluation of intelligent models in estimating the amount of dissolved solids in Kashkan river water, Lorestan province. *watershed engineering and management, 11*(1), 147-165 (In Persian).

Salari, M., Teymouri, E., Nassaj, Z., (2021). Application of an Artificial Neural Network Model for Estimating Water Quality Parameters in the Karun River, *Iran, J, Environ. Treat. Tech*. ISSN. 2309-1185.

Sarikhani, R., Ghassemi Dehnavi, A., Ahmadnejad, Z., & Kalantari, N. (2015). Hydrochemical characteristics and groundwater quality assessment in Bushehr Province, SW Iran. *Environmental Earth Sciences*, *74*, 6265-6281.

Sarkar, A., & Pandey, P. (2015). River water quality modelling using artificial neural network technique. *Aquatic procedia, 4*, 1070-1077.

Mallick, Z., Hossain, R., Ayshi, F. T., Tahsin, A., & Mallick, S. P. (2021). Water quality index (WQI) for evaluation of the surface water quality of Bangladesh and prediction of WQI from limited parameters. *Journal of Environment Protection and Sustainable Development, 7*(2), 56-64.