



Comprehensive Analysis of the Water Quality of Doab Veisian River in the Western of Iran

Farzin Sayad Beiranvand^{*1}, Manouchehr Heidarpour², Yaser Sabzevari³

1. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
2. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
3. Department of Water Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

Received: 11 May 2024/ **Revised:** 31 August 2024/ **Accepted:** 02 September 2024

<https://doi.org/10.22034/arwe.2024.2028689.1017>

Abstract

The availability of qualified water is essential to preserve the environment and human health. This study was conducted with the aim of evaluating the quantity and quality of river water in different parts of the water consumption. For this purpose, the changes of the surface of the Khorram Abad river at Doab Veisian station during the period of 1998-2016 were investigated and the flow continuity curve was used to estimate the environmental discharge. In order to check water quality in different parts of the river, Schuler's diagram, Wilcox's diagram, Piper's and Durov's diagram and Langier's saturation index were used. In addition, using the stepwise regression method, the effects of pH, HCO₃, Cl, SO₄, Ca, Mg, Na, K, SAR and TH parameters on TDS were estimated. Based on the results, the environmental discharge was estimated as 4.945 m³/s according to the continuous flow curve method. This amount was equal to 24.64% of the average annual discharge for the Visian Doab River. The water of this river is suitable for drinking and agricultural use in the study area, and based on the Langir saturation index, the water of this river is corrosive for industrial use and the implementation of drip irrigation systems, and treatment should be considered before use. In addition, the type of water in this river was calcium-magnesium type. The results of the regression relationship showed that there is a positive relationship between EC, Ca, Mg, Na, TH and TDS and there is a negative relationship between pH, HCO₃, Cl, SO₄, K and SAR with TDS, and EC parameter had the greatest effect on TDS.

Keywords: Environmental discharge, Langier saturation index, Regression Correlation , Water quality, Water type.



تحلیل جامع کیفیت آب رودخانه دوآب و سیان در غرب ایران

فرزین صیاد بیرانوند^{۱*}، منوچهر حیدرپور^۲، یاسر سبزواری^۳

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
۲. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
۳. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

دریافت: ۲۲ اردیبهشت ماه ۱۴۰۳ / اصلاحات: ۱۰ شهریور ماه ۱۴۰۳ / پذیرش: ۱۲ شهریور ماه ۱۴۰۳

<https://doi.org/10.22034/arwe.2024.2028689.1017>

چکیده

در دسترس بودن آب با کیفیت به منظور حفظ محیط زیست و سلامتی انسان یک امر ضروری است. این مطالعه با هدف ارزیابی کمیت و کیفیت آب رودخانه در بخش‌های مختلف مصرف آب انجام شد. برای این منظور تغییرات رودخانه خرم‌آباد در ایستگاه دوآب و سیان طی دوره زمانی ۱۳۹۵-۱۳۷۷ بررسی و از منحنی تداوم جریان، جهت برآورد دبی زیست محیطی استفاده شد. جهت بررسی کیفیت آب در بخش‌های مختلف از دیگرام شولر، نمودار ویل کاکس، پایپر و دوروف و شاخص اشباع لانتزیر استفاده شد. علاوه بر این با استفاده از روش رگرسیون گام به گام میزان اثرگذاری پارامترهای pH، HCO₃، Cl، SO₄، Ca، Mg، Na، K، SAR و TH بر TDS برآورد شد. بر اساس نتایج، دبی زیست محیطی طبق روش منحنی تداوم جریان، ۴/۹۴۵ متر مکعب بر ثانیه برآورد شد. این مقدار برابر با ۲۴/۶۴ درصد از دبی متوسط سالیانه برای رودخانه دوآب و سیان بود. آب این رودخانه برای مصارف شرب و استفاده در کشاورزی در بازه مورد مطالعه مناسب بوده و بر اساس شاخص اشباع لانتزیر آب این رودخانه برای مصارف صنعتی و اجرای سامانه‌های آبیاری قطره‌ای خورنده می‌باشد و باید قبل از استفاده، عملیات تصفیه مدنظر قرار گیرد. علاوه بر این، تیپ آب این رودخانه از نوع کلسیم- منیزیم بود. نتایج رابطه رگرسیونی نشان داد بین EC، Ca، Mg، Na، TH با TDS رابطه مثبت و بین pH، HCO₃، Cl، SO₄، K و SAR با TDS رابطه منفی وجود دارد که پارامتر EC دارای بیشترین اثرگذاری بر TDS بود.

کلمات کلیدی: تیپ آب، دبی زیست محیطی، شاخص اشباع لانتزیر، کیفیت آب، همبستگی رگرسیونی.

مقدمه

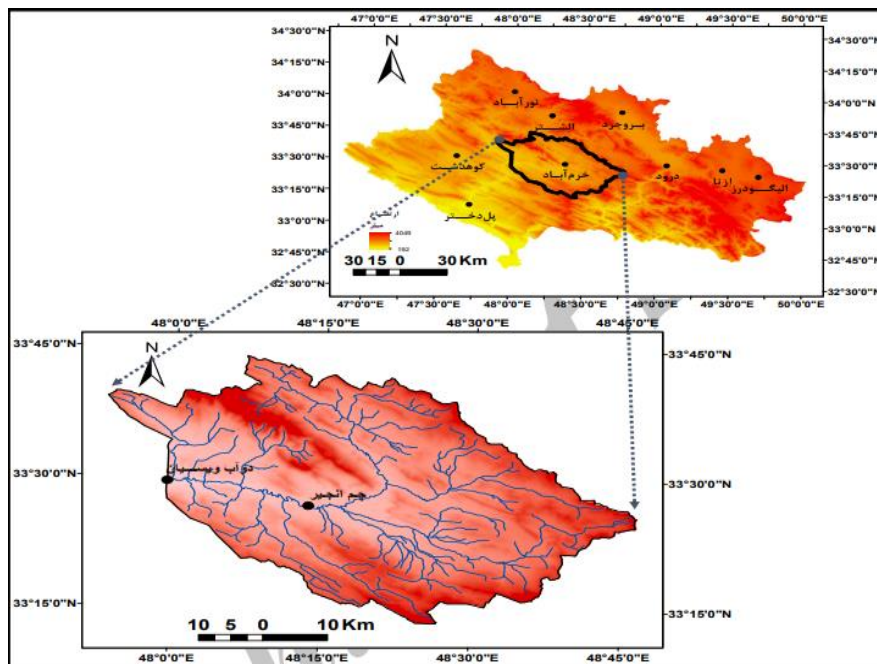
رودخانه‌ها و دریاچه‌ها منابع آب سطحی اصلی هستند که بیشترین دسترسی را برای مصارف انسانی، آبیاری و مصارف صنعتی دارند (Teshome., 2019). رودخانه‌ها به دلیل تأمین آب مصرفی بخش‌های کشاورزی، صنعت و مصارف شهری دارای جایگاه ویژه‌ای می‌باشند. افزایش مصرف آب، آلودگی‌های محیط زیستی، کاهش ذخایر آب‌های طبیعی و افزایش نیاز آبی فعالیت‌های انسانی باعث شده است که ارزیابی کیفیت منابع آب، به یکی از موضوعات مهم در سال‌های اخیر تبدیل شود (Kalaji et al., 2016). در مدیریت یکپارچه منابع آب، حفظ کیفیت آب در مناطق با محدودیت آب، به عنوان یکی از ارکان برنامه‌ریزی مطرح است (Akbal et al., 2011). بنابراین حفظ کیفیت آب رودخانه‌ها جهت تأمین آب آشامیدنی و مصارف مختلف که در نهایت منجر به حفظ محیط زیست می‌شود یک امر ضروری است. ماهرویان و همکاران (Mah Rooyan et al., 2015) به بررسی کیفی آب رودخانه شاهرود بر اساس نوع مصرف کشاورزی، شرب و صنعت پرداختند. نتایج شاخص شولر نشان داد کیفیت آب برای مصارف شرب مناسب بوده و از نظر بهداشتی مطلوب می‌باشد. نتایج ویلکوکس تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه برای کشاورزی مناسب بود. همچنین با توجه به نمودار پاپیر تیپ آب از نوع بی‌کربناته بود. اکبرپور بازرگانی و همکاران (Akbarpourbazargani et al., 2022) به بررسی تغییرات کیفی و کمی آب رودخانه پلرود استان گلستان با استفاده از روش‌های گرافیکی و تحلیل آماری پرداختند. نتایج نشان داد وضعیت آب این رودخانه جهت شرب و کشاورزی با توجه به نمودارهای شولر و ویلکاکس در وضعیت مناسب قرار دارد. تشومی (Teshome., 2019) به ارزیابی کیفیت آب دریاچه هاواسا و بررسی تناسب آن برای مصارف مختلف پرداخت. نتایج حاکی از نامناسب بودن آب برای استفاده انسان بود. همچنین با رعایت احتیاط، آب این دریاچه برای آبیاری و تولید دام مناسب می‌باشد، اما برای آبزیان نامطلوب است و منجر به آسیب به اکوسیستم می‌شود. کومار و همکاران (Kumar et al., 2021) به تجزیه و تحلیل بلند مدت و مناسب بودن کیفیت آب رودخانه گانگا در تپه‌های هیمالیا (هند) در بازه آماری ۴۹ ساله (1971-2021) پرداختند. نتایج نشان داد کیفیت آب این رودخانه برای شرب مناسب بود. علاوه بر این از آنجاییکه مقدار نسبت جذب سدیم (SAR) در این رودخانه کمتر از ۱۰ بود می‌توان برای کشاورزی نیز از آب این رودخانه استفاده کرد. کاسا و همکاران (Kasa et al., 2022) به بررسی تناسب آب رودخانه وب^۱ برای اهداف کشاورزی و صنعتی پرداختند. نتایج نشان داد با توجه به مقادیر %Na، RSC، PI، KI، MP، SAR و HPI آب این رودخانه برای مصارف کشاورزی مناسب است. همچنین با توجه به شاخص اشباع لائزیر، آب این رودخانه خورنده بوده و جهت استفاده در صنعت بایستی ابتدا تصفیه شود. راوی و همکاران (Ravi et al., 2023) به ارزیابی کیفیت آب رودخانه قاغارا در هند برای مصارف شرب، آبیاری و صنعتی پرداختند. نتایج نشان داد که کیفیت آب این رودخانه از نامناسب تا عالی برای شرب متغیر بود. همچنین مقدار محاسبه‌شده شاخص‌های کشاورزی، شامل نسبت جذب سدیم (SAR)، درصد سدیم (%Na)، نسبت کلی (KR)، مقدار شاخص نفوذپذیری (PI)، نسبت جذب منیزیموم (MAR) و شوری بالقوه (PS) حاکی از مناسب بودن آب این رودخانه برای کشاورزی بود. علاوه بر این نتایج شاخص اشباع لائزیر نشان داد آب دارای پتانسیل تشکیل رسوب بوده و جهت استفاده در صنعت نامناسب می‌باشد. ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2023) به بررسی فرآیندهای ژئوشیمیایی و مناسب بودن برای اهداف آبیاری آب‌های سطحی و زیرزمینی در حوضه رودخانه یارکانت، شمال غربی چین پرداختند. نتایج نشان داد آب‌های سطحی و مقداری از آب زیرزمینی در جنوب منطقه مورد مطالعه برای فرآیندهای آبیاری مناسب بودند. با این حال، بسیاری از آب‌های زیرزمینی شمال منطقه، به دلیل سطح سدیم بالا و شوری، برای آبیاری نامناسب بودند. جنسر و باساران (Gençer and Başaran., 2023) به تعیین کیفیت رودخانه آکارچای ترکیه پرداختند. نتایج شاخص نشان داد که آب‌ها دارای طبقه‌بندی‌های مختلفی از عالی تا نامناسب بودند. همچنین بیشتر نمونه‌ها برای آبیاری مناسب نبودند. بلخیری و همکاران (Belkhiri et al., 2018) به ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی و مناسب بودن آن برای مصارف شرب و کشاورزی با استفاده از نقشه‌های خودسازماندهی پرداختند. نتایج نشان داد کیفیت آب این منطقه در سه خوشه طبقه‌بندی شده که خوشه ۳ و ۲ نشان دهنده نوع آب خوب تا مجاز است که نشان می‌دهد منابع آب زیرزمینی نیاز به برنامه‌ریزی و مدیریت کافی برای حفظ کیفیت آب برای فعالیت‌های کشاورزی در آینده دارد. آما و همکاران (Ama et al., 2018) به تعیین کیفیت آب رودخانه واری در نیجریه پرداختند. نتایج نشان داد کیفیت آب این رودخانه بر اساس شاخص کیفیت آب جهت مصارف انسانی بسیار نامناسب بود. یانگ و وی (Yang and Wei., 2010) به بررسی کیفیت آب رودخانه یووا در آمریکا پرداختند. نتایج

پژوهش آنها نشان داد جهت پیش‌بینی کیفیت آب رودخانه رگرسیون مکانی دارای دقت بیشتری در مقایسه با روش‌های سنتی حداقل دارد. با مطالعه تحقیقات مختلف انجام شده در زمینه ارزیابی کمی-کیفی رودخانه‌ها می‌توان به اهمیت این موضوع پی برد. در مطالعات مختلف عموماً کیفیت آب برای بخش‌های مختلف مصرف جداگانه یا محدود بررسی شده و کمتر کیفیت برای بخش‌های مختلف اعم از زیست محیطی، شرب، کشاورزی و صنعت پرداخته شده است. از این رو هدف از این مطالعه برآورد دبی زیست محیطی در کنار بررسی مناسب بودن آب رودخانه خرم‌آباد-دوآب و یسیان برای مصارف شرب، کشاورزی، اجرای سامانه‌های آبیاری قطره‌ای و صنعت می‌باشد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه و داده‌های مورد نیاز

منطقه مورد مطالعه در محدوده غرب ایران در استان لرستان ایستگاه دوآب و یسیان با طول جغرافیایی $47^{\circ}57'51''$ و عرض جغرافیایی $33^{\circ}29'41''$ و در ارتفاع ۹۶۰ متری قرار گرفته است. شکل (۱) موقعیت رودخانه دوآب را نشان می‌دهد. در این مطالعه پارامترهای pH، هدایت الکتریکی (EC)، کل جامدات محلول (Total Dissolved Solids; TDS)، منیزیم (Mg)، سولفات (SO_4^{2-})، کلسیم (Ca)، پتاسیم (K)، سدیم (Na)، بی‌کربنات (HCO_3)، کلر (Cl) و دبی در دوره زمانی (۱۳۹۵-۱۳۷۷) از شرکت آب منطقه‌ای لرستان اخذ شد. ابتدا با منحنی تداوم جریان دبی زیست محیطی برآورد گردید. همچنین با استفاده از داده‌های فوق به تحلیل کیفی آب رودخانه مذکور از نظر شرب با استفاده از نمودار شولر، کشاورزی با نمودار ویل‌کاکس، صنعت توسط شاخص اشباع لانژیر، تعیین تیپ آب به کمک نمودارهای پایپر و دوروف و در نهایت به تعیین رابطه رگرسیونی بین TDS و سایر پارامترها پرداخته شده است.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان لرستان و حوزه آبخیز خرم‌آباد-دوآب و یسیان

Fig. 1. Location of the studied area in Lorestan province and Khorramabad-Doab Veisian watershed.

شاخص کیفیت آب (WQI^1)

شاخص کیفیت آب براساس پارامترهای ذکر شده محاسبه شد. استاندارد مورد استفاده در این مطالعه استاندارد سازمان سلامت جهانی (WHO) بود. برای محاسبه این شاخص ابتدا با توجه به اهمیت نسبی پارامترها یک وزن در نظر گرفته می‌شود (۱ به عنوان کمترین همبستگی و ۵ به عنوان بیشترین همبستگی). سپس وزن نسبی با استفاده از رابطه (۱) و پس از آن مقیاس نرخ کیفیت که از تقسیم

غلظت پارامترها بر مقدار استاندارد و به کمک رابطه (۲) بدست می‌آید. و در آخر شاخص WQI طبق روابط (۳) و (۴) محاسبه می‌شود.

$$W_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (1)$$

$$q_i = \frac{C_i}{S_i} \times 100 \quad (2)$$

$$SL_i = W_i \times 100 \quad (3)$$

$$WQI = \sum SL_i \quad (4)$$

در این روابط W_i : وزن نسبی، w_i : وزن هر پارامتر، n : تعداد هر پارامتر، q_i : مقیاس نرخ کیفیت، C_i : غلظت هر پارامتر، S_i : استاندارد هر پارامتر، SL_i : زیرشاخص کیفیت آب و WQI: شاخص کیفیت آب می‌باشد. و با استفاده از جدول (۱) کیفیت آب برای هر سال ارزیابی می‌شود.

جدول ۱. طبقه بندی کیفیت آب بر اساس شاخص WQI

Table 1. Classification of water quality based on WQI index

WQI	کیفیت آب
<50	عالی
50-100	خوب
100-200	ضعیف
200-300	بسیار ضعیف
< 300	نا مناسب

منحنی تداوم جریان

نگهداری رودخانه در سطح قابل قبولی از سرعت، عمق و کدورت جهت خودپالایی رودخانه، حفظ جریان و نگهداری اکوسیستم، حفظ شرایط رودخانه و ... از اهداف مهم در تعیین جریان زیست محیطی به شمار می‌روند. تا کنون روش‌های متعددی جهت برآورد جریان زیست محیطی ابداع شده‌اند که یکی از آنها استفاده از منحنی‌های تداوم جریان می‌باشد. در برنامه‌ریزی منابع آب رودخانه برای استفاده‌های شرب و یا ایجاد بندهای انحرافی برای استفاده از آب در کشاورزی، منحنی تداوم جریان از اهمیت بالایی برخوردار است.

در این مطالعه ابتدا داده‌ها از زیاد به کم مرتب و سپس با شروع از عدد ۱ مقادیر دبی را رتبه‌بندی کرده سپس درصد احتمال رخداد از رابطه (۵) محاسبه شده و در نهایت با رسم نمودار دبی رودخانه و درصد احتمال وقوع هر یک از آنها اقدام به محاسبه Q_{95} می‌شود.

$$p = \frac{n_r}{(N_t + 1)} \times 100 \quad (5)$$

در رابطه فوق: p درصد احتمال رخداد، n_r شماره‌ردیف و N_t شماره کل داده‌های مشاهداتی است. همچنین Q_{95} عبارت است از جریانی که دبی رودخانه در ۹۰ درصد از مواقع سال، از آن فراتر می‌رود و غالباً به عنوان حداقل جریان زیست محیطی در نظر گرفته می‌شود.

نمودار شولر

جهت ارزیابی کیفیت آب از نظر شرب از نمودار شولر استفاده می‌شود. طبق این نمودار آب‌ها به ۶ گروه عالی، قابل قبول، نامناسب، بد، تقریباً قابل شرب و غیر قابل شرب تقسیم می‌شوند (جدول ۲). اگر آب بدون طعم، بو، رنگ و عناصر شیمیایی باشد، آب قابل شرب نامیده می‌شود. یکی از پارامترهایی که در ایجاد طعم آب آشامیدنی موثر است، میزان جامدات محلول (TDS) می‌باشد. اگر آبی دارای TDS کمتر از ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر باشد، مطابق استاندارد شرب آب بسیار خوب تلقی می‌شود. در این مطالعه از نرم‌افزار AqQA جهت ترسیم نمودار شولر استفاده شد.

جدول ۲. معیارهای شاخص شولر در طبقه‌بندی آب شرب

Table 2. Schuler index criteria in the classification of drinking water

TH	TDS	Cl	Na	SO ₄	نوع کیفیت
<250	<500	<175	<115	<145	عالی
250-500	500-1000	175-350	115-230	145-280	قابل قبول
500-1000	1000-2000	350-700	230-460	280-580	نامناسب
1000-2000	2000-4000	700-1400	460-920	580-1150	بد
2000-4000	4000-8000	1400-2800	920-1840	1150-2240	تقریباً قابل شرب
4000<	8000<	2800<	1840<	2240<	غیر قابل شرب

نمودار ویل کاکس

شوری و مقدار سدیم مهم‌ترین معیارهای کیفی در طبقه‌بندی آب از نظر کشاورزی می‌باشند. میزان شوری با هدایت الکتریکی (EC) و میزان سدیم با نسبت جذبی سدیم (SAR) سنجیده می‌شود. دلیل اهمیت این دو پارامتر این است که بر رشد گیاه، میزان نفوذپذیری خاک و درجه مناسب بودن آب آبیاری تاثیر می‌گذارند. یکی از کاربردی‌ترین روش‌ها برای طبقه‌بندی آب از نظر کشاورزی نمودار ویل کاکس می‌باشد. در این نمودار محور افقی مربوط به شوری آب و محور عمودی به نسبت جذبی سدیم اختصاص دارد و در مجموع به ۱۶ دسته طبقه‌بندی می‌شود. لذا در این مطالعه به کمک نرم‌افزار Chemistry به ارزیابی کیفیت آب منطقه مورد مطالعه از نقطه نظر کشاورزی پرداخته شد.

شاخص اشباع لائزیر

شاخص اشباع لائزیر^۱ یکی از شاخص‌های استفاده شده برای سنجش کیفیت آب است. با استفاده از این شاخص، می‌توان به راحتی کیفیت آب را برای استفاده در صنایع مختلف ارزیابی کرد. مقدار این شاخص از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$LSI = pH - pH_c \quad (6)$$

$$pH_c = P(Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+) + P(Ca^{2+} + Mg^{2+}) + P(CO_3^{2-} + HCO_3^-) \quad (7)$$

در رابطه فوق pH اسیدیته اندازه‌گیری شده آب آبیاری، pH_c اسیدیته محاسباتی با فرض اشباع بودن از کربنات کلسیم، P(Ca+Mg+Na+K) نمایه کاتیون‌های آب، P(Ca+Mg) نمایه کلسیم و منیزیم و P(CO₃²⁻+HCO₃⁻) نمایه کربنات و بی‌کربنات می‌باشد. در صورتی که مقدار این شاخص کوچکتر از صفر باشد (LSI<0) آب زیر اشباع است. به این معنی که آب می‌تواند مواد معدنی بیشتری را از سطوح حل کند. این وضعیت می‌تواند منجر به خوردگی لوله‌ها شود. اگر این شاخص برابر صفر باشد (LSI=0) در حالت خنثی و در صورتی که بزرگتر از صفر باشد (LSI>0) وضعیت آب فوق اشباع است. به این معنی که آب تمایل به رسوب دادن مواد معدنی دارد. این وضعیت می‌تواند منجر به تشکیل رسوب در لوله‌ها و تجهیزات شود. با توجه به ویژگی این شاخص، از جهت طراحی سیستم‌های آبیاری قطره‌ای نیز حائز اهمیت می‌باشد. لذا در این مطالعه با استفاده از نرم‌افزار Chemistry مقدار این شاخص طی سال‌های مورد مطالعه (۱۳۷۷-۱۳۹۵) محاسبه شد.

نمودار پایپر و دوروف

برای تعیین تیپ آب از نمودار پایپر استفاده می‌شود. نمودار پایپر مشخصات شیمیایی آب را بر حسب غلظت نسبی تشکیل‌دهنده‌های آن نشان می‌دهد. شکل پیشرفته نمودار پایپر نمودار دوروف^۲ می‌باشد. از این نمودار برای تعیین نوع و منشأ آب استفاده می‌شود که اساس این نمودار مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌های عمده آب می‌باشد. برای ترسیم نمودار پایپر و دوروف نمونه‌های آب رودخانه مورد مطالعه از نرم‌افزار Aq.QA استفاده شد.

همبستگی رگرسیونی

تغییر همزمان دو متغیر با تفکیک علت و معلول به معنای این است که دو متغیر در یک رابطه مشخص قرار دارند و تغییرات در یکی از این متغیرها با تغییرات در متغیر دیگر همراه است. در این رابطه، یکی از متغیرها به عنوان علت و دیگری به عنوان معلول شناخته می‌شوند. ضریب همبستگی، یک شاخص آماری است که برای محاسبه میزان همبستگی بین دو متغیر استفاده می‌شود. ضریب همبستگی برای دو متغیر X و Y طبق فرمول (۸) تعیین می‌شود:

$$(r) = \frac{\sum(Y - \bar{Y})(X - \bar{X})}{\sqrt{\sum(Y - \bar{Y})^2 \sum(X - \bar{X})^2}} \quad (8)$$

در رابطه فوق X و Y میانگین داده‌ها می‌باشد. مقدار ضریب همبستگی بازه‌ای بین -۱ تا ۱ است؛ که مقدار ۱ نشان‌دهنده همبستگی مثبت کامل، مقدار -۱ نشان‌دهنده همبستگی منفی کامل و مقدار ۰ نشان‌دهنده عدم همبستگی است.

مدل رگرسیون خطی چند متغیره

رگرسیون چند متغیره معمولاً برای پیش‌بینی یک متغیر وابسته از چندین متغیر مستقل استفاده می‌شود. در این روش، تلاش می‌شود تا با استفاده از چندین ویژگی یا متغیر مستقل، بهترین پیش‌بینی از متغیر وابسته انجام شود. برای اینکه یک مدل رگرسیون چند متغیره صحیح باشد، باید به دو شرط زیر توجه کنیم:

(۱) تعداد متغیرهای مستقل در رگرسیون باید کمتر از تعداد مشاهدات باشد: در رگرسیون چند متغیره، تعداد متغیرهای مستقل باید کمتر از تعداد مشاهدات باشد؛ چرا که در غیر این صورت، ممکن است مدل به دلیل بیش‌برازش، عملکرد نادرستی داشته باشد و برای داده‌های جدید قابل استفاده نباشد.

(۲) همبستگی خطی کامل بین متغیرهای مستقل مدل وجود نداشته باشد: در رگرسیون چند متغیره، باید از وجود همبستگی خطی کامل بین متغیرهای مستقل مدل خودداری کنیم؛ زیرا در این صورت، ماتریس معادلات رگرسیون نامعتبر می‌شود و نمی‌توان رگرسیون چند متغیره را به درستی انجام داد.

در این مطالعه میزان همبستگی و ارتباط پارامترهای مختلف کیفی با استفاده از رابطه رگرسیونی چند متغیره در طول دوره‌ی ۱۹ ساله (۱۳۹۵-۱۳۷۷) با TDS مورد بررسی قرار گرفت. سپس به تحلیل رگرسیونی به کمک نرم‌افزار SPSS پرداخته شد.

نتایج و بحث

بررسی شاخص کیفیت آب (WQI)

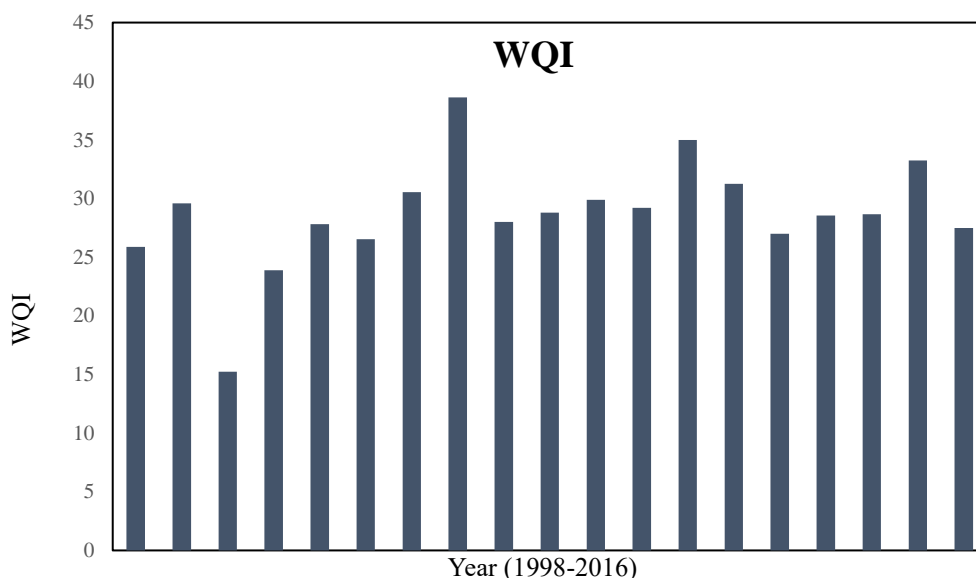
نتایج آنالیز آماری پارامترهای مورد بررسی در جدول (۳) نمایش داده شده است. تغییرات pH نشان می‌دهد که بیشترین مقدار برای این پارامتر در سال‌های ۱۳۸۶ و ۱۳۸۷ با مقدار ۸/۲۹ و کمترین مقدار متعلق به سال ۱۳۷۷ با مقدار ۶/۶۴ می‌باشد. میزان استاندارد pH برای مصارف شرب در بازه ۶ تا ۸ قرار دارد. تغییرات پارامتر TDS و EC نشان می‌دهد بیشترین مقدار برای این دو پارامتر متعلق به سال ۱۳۸۴ به ترتیب با مقادیر ۵۰۸/۵ و ۸۸۲/۵ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. مقدار حداکثر مجاز پارامتر TDS طبق استاندارد سازمان جهانی بهداشت ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. پارامتر Mg بین ۱/۰۵ تا ۲/۲ میلی‌گرم بر لیتر متغیر و بیشترین مقدار مربوط به سال ۱۳۸۹ می‌باشد. همچنین سطح HCO₃ بین ۳/۲ تا ۴/۳ میلی‌گرم بر لیتر که کمترین مقدار مربوط به سال ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ و بیشترین مقدار به سال ۱۳۸۹ تعلق داشت و Ca بین ۲/۵۲ و ۵/۵۲ میلی‌گرم بر لیتر که بیشترین مقدار متعلق به سال ۱۳۸۴ و Cl بین ۰/۴۷ تا ۱/۵۳ میلی‌گرم بر لیتر که در سال ۱۳۹۴ دارای بیشترین مقدار می‌باشد متغیر بود. هر سه پارامتر در محدوده مجاز استاندارد بهداشت جهانی بودند. پارامتر SO₄ بین مقادیر ۰/۰۵ و ۳/۵۳ میلی‌گرم بر لیتر متغیر بوده که در سال ۱۳۸۴ دارای بیشترین مقدار و در سال ۱۳۷۷ دارای کمترین مقدار می‌باشد. پارامتر K دارای مقادیر حداقل و حداکثر ۰/۰۴ و ۰/۱۹۷۵ میلی‌گرم بر لیتر که به ترتیب متعلق به سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۸۲ می‌باشد. مقدار Na بین ۰/۱۲۵۰ میلی‌گرم بر لیتر مربوط به سال ۱۳۷۷ و ۱/۲۱ میلی‌گرم بر لیتر متعلق به سال ۱۳۹۳ می‌باشد، متغیر است. در شکل (۲) تغییرات شاخص WQI طی سال‌های مختلف نشان داده شده است. طی این شاخص برای تمامی سال‌ها کیفیت آب در رده عالی (کمتر از ۵۰) قرار دارد که در سال ۱۳۸۴ این شاخص دارای بیشترین و در سال ۱۳۷۹ دارای کمترین

مقدار می‌باشد.

جدول ۳. نتایج آنالیز آماری داده‌های مورد بررسی

Table 3. The results of the statistical analysis of the examined data

پارامتر	حداقل	حداکثر	واریانس	انحراف معیار	میانگین
pH	6.64	8.29	0.2745	0.5239	7.72
EC	383.75	882.5	11604.4	107.72	536.4
TDS	245.5	508.5	3549.26	59.57	314.08
Mg	1.05	2.2	0.1338	0.3658	1.55
HCO ₃	3.2	4.3	0.1201	0.3466	0.69
Ca	2.52	5.52	0.471	0.687	3.08
Cl	0.47	1.53	0.0912	0.3020	0.821
SO ₄	0.05	3.53	0.5745	0.758	0.69
K	0.04	0.1975	0.002	0.045	0.087
Na	0.125	1.21	0.1405	0.3749	0.531

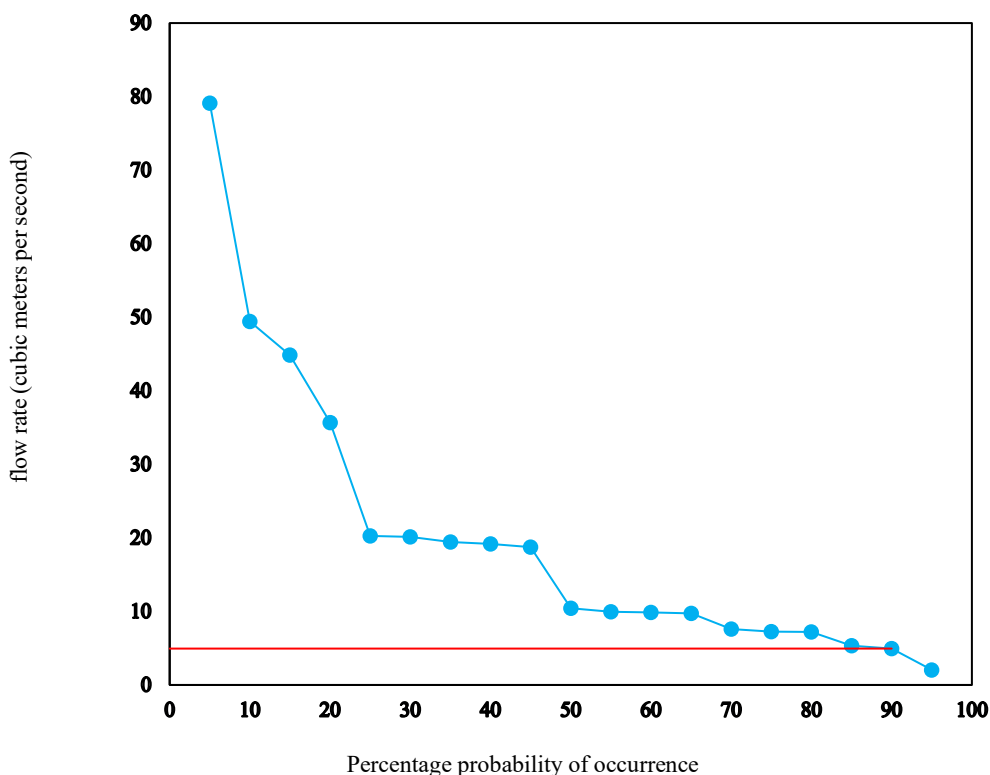


شکل ۲. تغییرات شاخص کیفیت آب (WQI) طی بازه زمانی ۱۳۹۵-۱۳۷۷

Fig. 2. Changes in water quality index (WQI) during the period of 1998-2016

دبی زیست محیطی

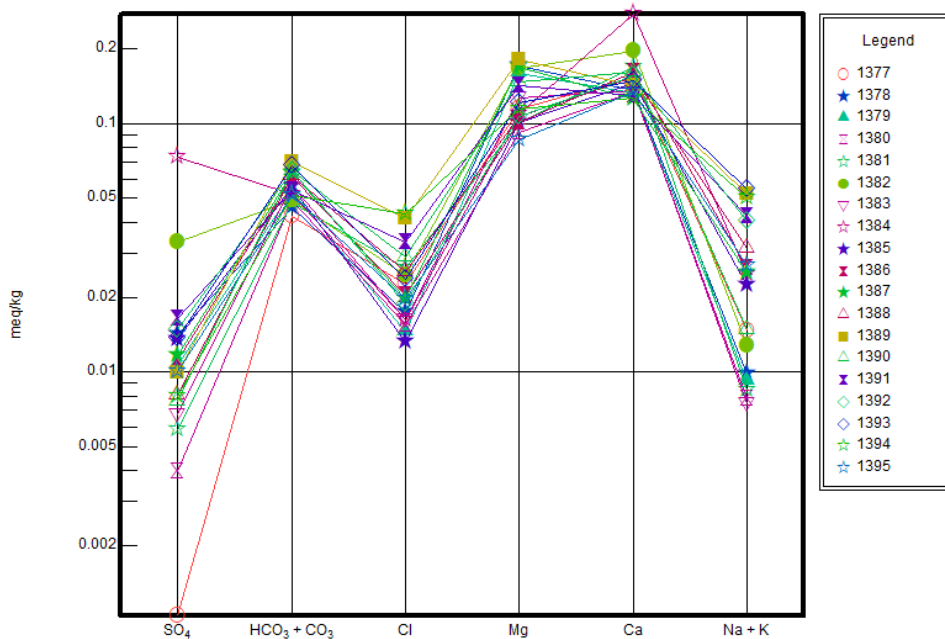
در این قسمت به تعیین دبی زیست محیطی رودخانه خرم‌آباد با استفاده از روش منحنی تداوم در ایستگاه دوآب ویسیان پرداخته شد. دبی زیست محیطی بر اساس روش منحنی تداوم جریان ۴/۹۴۵ متر مکعب بر ثانیه برآورد شد. این مقدار برابر با ۲۴/۶۴ درصد از دبی متوسط سالیانه برای رودخانه خرم‌آباد- دوآب ویسیان بود. در این حوزه بیشترین مقدار دبی مربوط به سال ۱۳۸۴ با مقدار ۷۹/۱۲۵ و کمترین دبی متعلق به سال ۱۳۷۷ با مقدار ۲/۰۵۱ متر مکعب بر ثانیه بود. شکل (۳) دبی زیست محیطی را برای رودخانه مورد مطالعه نشان می‌دهد.



شکل ۳. دبی زیست محیطی Q₉₀ (رودخانه خرم‌آباد- دوآب ویسیان)
 Fig. 3. Environmental discharge Q₉₀ (Khorramabad River-Visyan Doab)

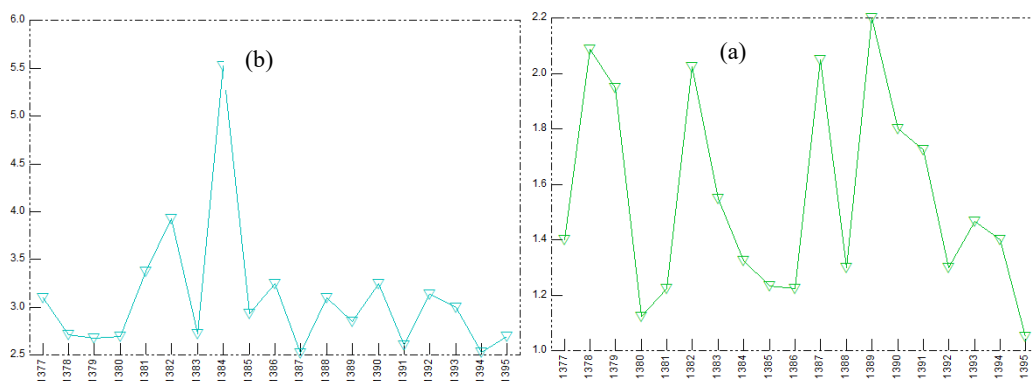
طبقه‌بندی از نظر شرب

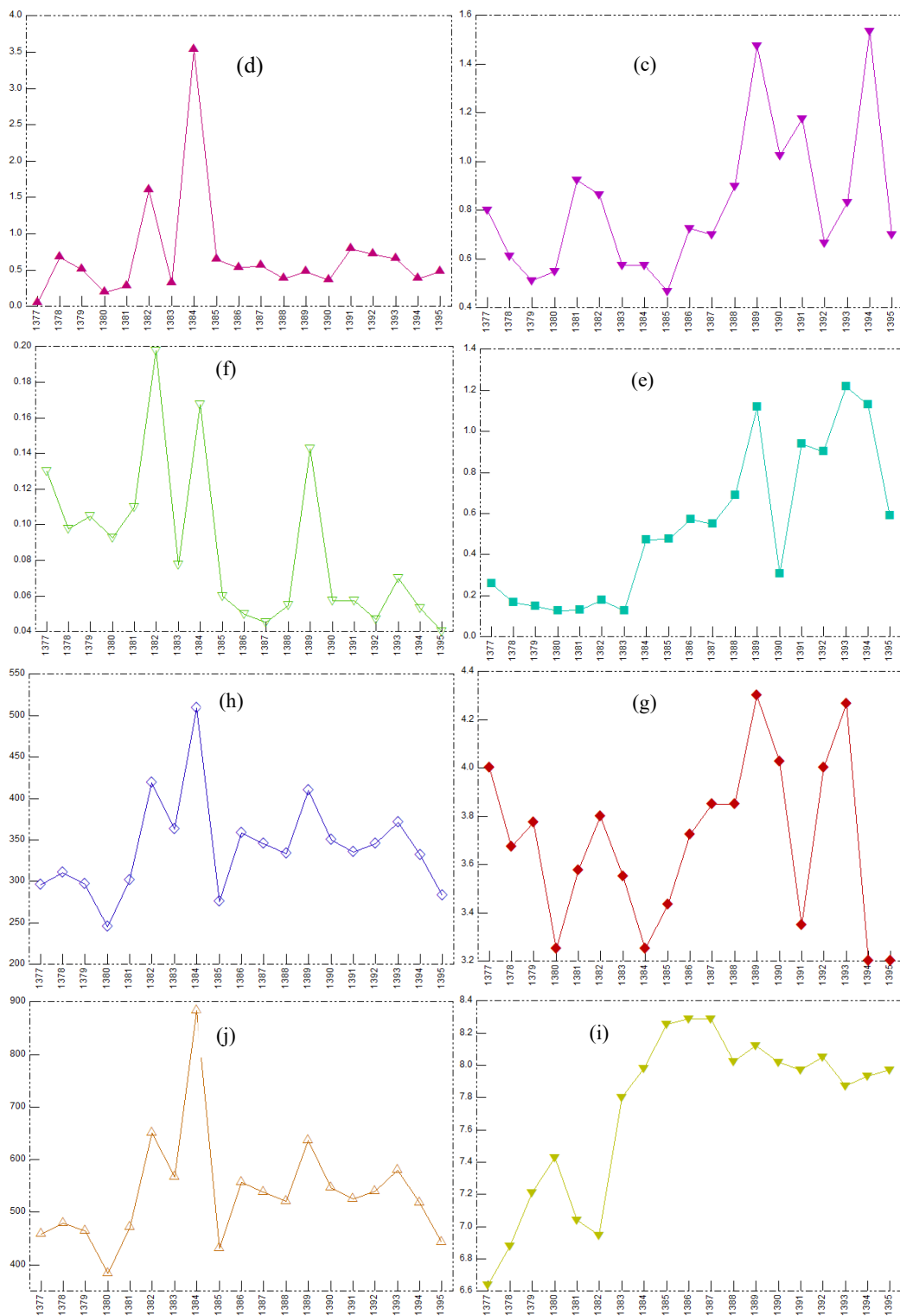
شکل (۴) نمودار شولر را برای ارزیابی کیفیت آب شرب برای رودخانه خرم‌آباد- دوآب ویسیان در سال‌های ۱۳۷۷-۱۳۹۵ نشان می‌دهد. در نمودار شولر هرچه داده‌ها به سمت بالا تمایل پیدا کنند، کیفیت آب از نظر شرب کاهش پیدا می‌کند. طبق نمودار تمامی سال‌ها دارای کیفیت مطلوبی از نظر شرب می‌باشند ولی در سال ۱۳۸۴ در محدوده بالاتری نسبت به سایر سال‌ها قرار دارد. علت این امر را می‌توان در بالا بودن کاتیون‌هایی مانند سدیم (Na⁺)، پتاسیم (K⁺)، کلسیم (Ca²⁺) و همچنین پایین بودن آنیون بی‌کربنات (HCO₃⁻) در این سال دانست.



شکل ۴. نمودار شولر برای رودخانه خرم‌آباد- دوآب ویسیان در سال‌های ۱۳۷۷-۱۳۹۵
 Fig. 4. Schuler's diagram for Khorramabad River - Veisian Doab in 1998-2016

شکل (۵) تغییرات سری زمانی پارامترهای کیفی آب را نشان می‌دهد. شکل (a-۵) تغییرات منیزیوم را در بازه ۱۹ ساله نشان می‌دهد که در سال ۱۳۸۹ دارای بیشترین و در سال ۱۳۹۵ دارای کمترین مقدار می‌باشد. شکل (b-۵) نشان دهنده تغییرات کلسیم می‌باشد این پارامتر نیز در سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۸۷ به ترتیب دارای بیشترین و کمترین مقدار می‌باشد. تغییرات پارامتر کلرید نیز در شکل (۵-۵) قابل مشاهده است. این پارامتر نیز در سال ۱۳۹۴ دارای بیشترین مقدار بود. همانطور که از شکل (d-۵) پیداست سولفات نیز در سال ۱۳۸۴ دارای بیشینه مقدار بود و در ابتدای دوره آماری یعنی سال ۱۳۷۷ نیز در کمترین مقدار قرار داشت. مطابق شکل (e-۵) نیز مقادیر تغییرات سدیم نیز در سال ۱۳۹۳ در ماکزیمم مقدار خود قرار داشت. با توجه به شکل (f-۵) تغییرات پتاسیم نشان دهنده آن است که در سال ۱۳۸۲ این متغیر دارای بیشترین و در سال ۱۳۹۵ دارای کمترین مقدار بود. تغییرات بی‌کربنات نیز در قسمت (g-۵) حاکی از آن است که در سال ۱۳۸۹ بیشترین مقدار را داشته است. مطابق شکل (h-۵) TDS نیز در سال ۱۳۸۴ در ماکزیمم‌ترین حالت خود قرار دارد. همچنین طبق شکل (i-۵) پارامتر pH در سال‌های ۱۳۸۶ و ۱۳۸۷ دارای بیشترین مقدار خود بود. و در نهایت شکل (j-۵) تغییرات EC را نشان می‌دهد که این پارامتر نیز در سال ۱۳۸۴ در بیشترین مقدار قرار داشته است.



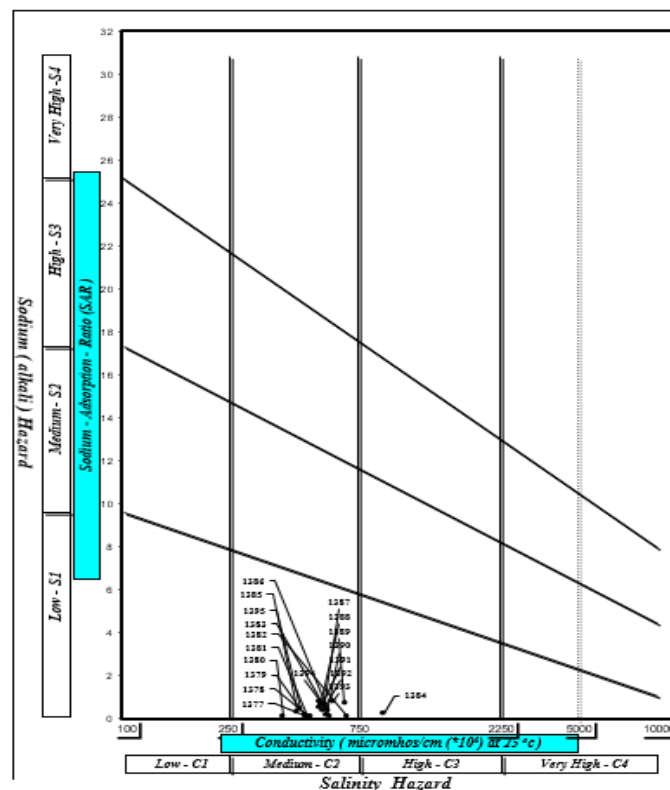


شکل ۵. سری زمانی تغییرات کیفی رودخانه خرم‌آباد- دوآب ویسیان (۱۳۹۵-۱۳۷۷) (a): منیزیم؛ (b): کلسیم؛ (c): کلرید؛ (d): سولفات؛ (e): سدیم؛ (f) پتاسیم؛ (g): بی‌کربنات؛ (h) TDS؛ (i) pH؛ (j): EC

Fig. 5. Time series of qualitative changes of Khorram Abad-Visyan Doab River (1998-2016) (a): magnesium; (b): calcium; (c) chloride; (d): sulfate; (e) sodium; (f) potassium; (g): bicarbonate; (h) TDS; (i) pH; (j): EC

طبقه‌بندی از نظر کشاورزی

جهت تفسیر کیفیت آب این رودخانه در مصارف آبیاری از نمودار ویلکاکس استفاده شده است (شکل ۶). بر اساس طبقه‌بندی ویلکاکس آب‌های خیلی خوب همگی دارای EC کمتر از ۲۵۰ میکروموس بر سانتی‌متر بوده و در گروه C1S1 قرار می‌گیرند. طبق این نمودار، کیفیت آب رودخانه خرم‌آباد- دوآب ویسیان در سال ۱۳۸۴ در رده آب‌های متوسط (C3S1) و در سایر سال‌ها در گروه آب‌های خوب (C2S1) قرار می‌گیرند. در نتیجه آب این رودخانه برای کشاورزی مناسب می‌باشد. ترابی پوده و همه‌زاده (۲) نشان دادند که در دو ایستگاه چمنجیر و دوآب ویسیان طبق نمودار ویلکاکس، ۴۱ بیشتر نقاط در کلاس C2S1 قرار گرفته‌اند اما برای ایستگاه دوآب ویسیان بعضی نقاط به سمت C3S1 کشیده شده‌اند که با نتایج مطالعه حاضر تطابق دارد.

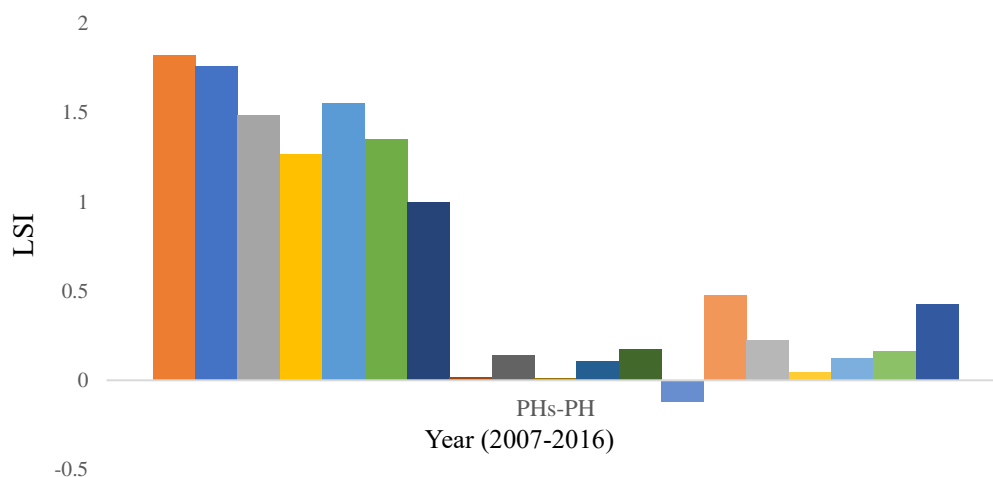


شکل ۶. تعیین کیفیت آب رودخانه خرم‌آباد- دوآب ویسیان برای آبیاری با استفاده از نمودار ویلکاکس

Fig. 6. Determining the water quality of Khorramabad-Doab Veisyan river for irrigation using Wilcox diagram

طبقه‌بندی برای مصارف صنعتی

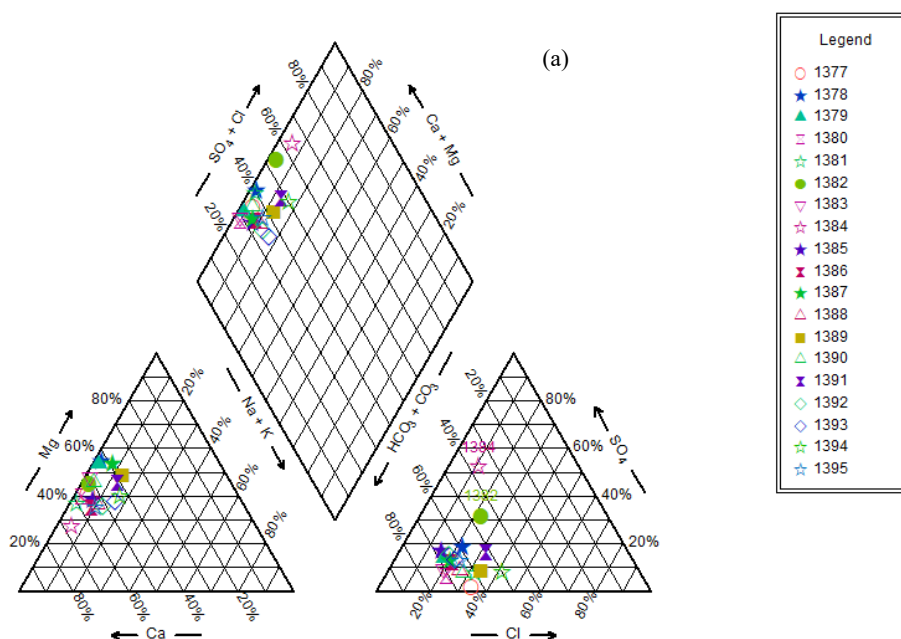
شکل (۷) شاخص اشباع لانژیر برای کیفیت آب رودخانه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. شاخص اشباع لانژیر مهم‌ترین شاخص برای بررسی کیفیت منابع آب در مصارف صنعتی و به‌منظور گرفتگی قطره‌چکان‌ها در سیستم‌های آبیاری قطره‌ای است. محاسبه این شاخص برای رودخانه خرم‌آباد- دوآب ویسیان نشان داد که آب این رودخانه در سال ۱۳۸۹ در وضعیت زیر اشباع قرار دارد که می‌تواند منجر به خوردگی لوله‌ها ($LSI < 0$) و در سایر سال‌ها در حالت فوق اشباع ($LSI > 0$) قرار دارد که می‌تواند منجر به رسوب دادن مواد معدنی شود. همانگونه که از شکل پیداست برای تمامی سال‌ها مقدار این شاخص به جز سال ۱۳۸۹، مثبت می‌باشد. پایین بودن pH می‌تواند از دلایل منفی بودن این شاخص در سال ۱۳۸۹ باشد. به طور کلی آب این رودخانه برای استفاده در صنعت مناسب نمی‌باشد. سبزواری و نصرالهی (۵) در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که در دشت خرم‌آباد با حرکت به سمت نواحی غربی به دلیل بالا بودن شاخص لانژیر، محدودیت‌هایی در اجرای سامانه‌های آبیاری قطره‌ای وجود دارد که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد.

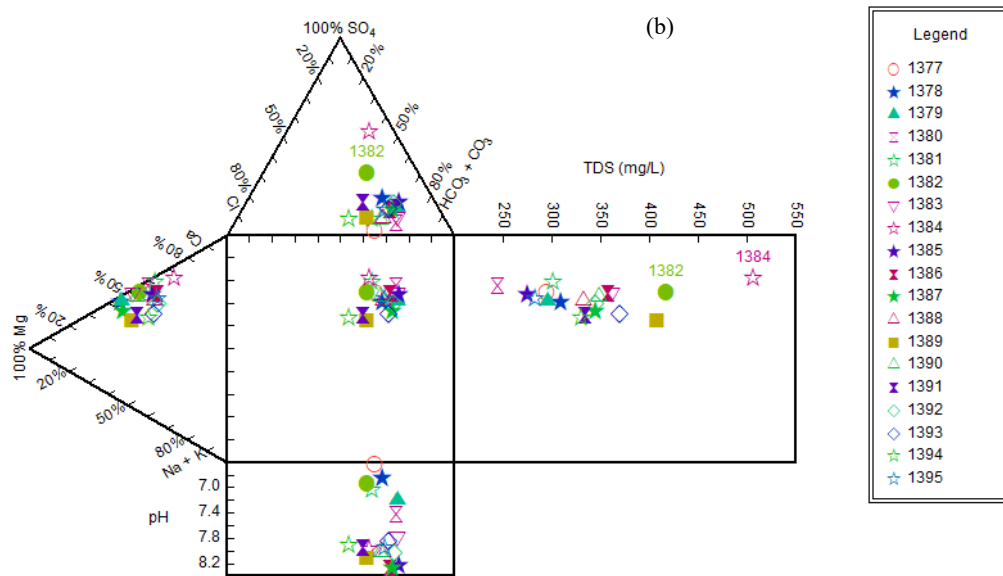


شکل ۷. مقادیر شاخص اشباع لانژیور طی سال‌های مورد مطالعه (۱۳۹۵-۱۳۷۷)
 Fig 7. Values of Langier saturation index during the studied years (1998-2016)

تعیین تیپ و رخساره آب

در هیدرولوژی، نوع آب و منشأ آب به طور مستقیم بر کیفیت آب اثر گذاشته و پارامترهای مختلفی از جمله ترکیبات شیمیایی، میکروبیولوژی و قابلیت استفاده از آب را تعیین می‌کند. برای تعیین تیپ آب از نمودار پایپر استفاده می‌شود. تمرکز نونه‌ها در نمودار پایپر (شکل ۸-ا) حاکی از آن است که آب رودخانه دوآب خرم‌آباد در ناحیه ۱۰ قرار گرفته که مرتبط با تیپ منیزیم-کلسیم می‌باشد. همچنین قرارگیری در ناحیه B و E بترتیب نشان دهنده تیپ کلسیمی و بی‌کربناته-کربناته می‌باشد. همچنین برای تعیین نوع و منشأ آب رودخانه از نمودار دوروف که در مقایسه با نمودار پایپر دارای نمایش بهتر تیپ‌های مختلف آبی می‌باشد، استفاده شده است (شکل ۸-ب). با توجه به سیر تکاملی نمودار، تیپ آب رودخانه دوآب ویسیان از نوع کلسیم-منیزیم می‌باشد. علاوه بر این با توجه به مستطیل سمت راست نمودار نمایان‌گر میزان املاح بالای آب رودخانه می‌باشد که میزان بالای TDS این موضوع را تصدیق می‌کند. میزان آب رودخانه نیز به سمت اسیدی بودن تمایل پیدا می‌کند. سلیمانی ساردو و همکاران (۶) نیز با استفاده از نمودارهای پایپر و دوروف نشان دادند تیپ رودخانه چمنجیر از نوع کلسیم-منیزیم بود که نشان از تطابق با نتایج مطالعه حاضر می‌باشد.





شکل ۸. نمودار مربوط به پارامترهای کیفیت آب رودخانه دوآب ویسیان: (a): پایپر؛ (b) دوروف
Fig. 8. Diagram related to water quality parameters of Doab Veisyan River: (a): Piper; (b) Durov

بررسی رگرسیون چند متغیره

جهت بررسی میزان همبستگی و ارتباط بین پارامترهای مختلف کیفی و TDS، به بررسی رگرسیون چند متغیره پرداخته شد. برای دستیابی به این امر از نرم‌افزار SPSS استفاده شد که نتایج در جدول‌های زیر نمایش داده شده است:
 جدول (۴) مقدار عددهای R ، R^2 و R^2 اصلاح شده را نشان می‌دهد. مقدار R^2 اصلاح شده در این مطالعه $0/995$ بدست آمد و مقدار R برابر $0/998$ محاسبه شد که هرچه این مقدار به یک نزدیکتر باشد نشان دهنده کارایی و دقت بالای مدل می‌باشد.

جدول ۴. مقدار ضرایب دقت مدل رگرسیون چند متغیره

Table 4. The value of the accuracy coefficients of the multivariate regression model

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.999 ^a	.998	.995	4.17426

a. Predictors: (Constant), TH, K, HCO₃, Cl, Mg, SAR, Ca, pH, EC, SO₄, Na

مهم‌ترین جدول برای تحلیل رگرسیون که تجزیه واریانس را نشان می‌دهد جدول (۵) می‌باشد. همانطور که در این جدول نشان داده شده است میزان F مدل رگرسیون برابر $332/682$ و دارای احتمال معنی داری $0/000$ می‌باشد. بنابراین رگرسیون با یازده متغیر معنی‌دار می‌باشد

جدول ۵. تجزیه واریانس رگرسیون چند متغیره

Table 5. Multivariate regression analysis of variance

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1 Regression	63764.793	11	5796.799	332.682	.000 ^b
1 Residual	121.971	7	17.424		
Total	63886.764	18			

a. Dependent Variable: TDS

b. Predictors: (Constant), TH, K, HCO₃, Cl, Mg, SAR, Ca, pH, EC, SO₄, Na

جدول (۶) نشان دهنده ضریب ثابت و ضرایب پارامترهای مختلف می‌باشد. جدول (۶) شامل چهار بخش ضرایب استاندارد نشده، ضرایب استاندارد شده، آزمون t و سطح معنی داری می‌باشد. در صورتی که مقدار ضرایب در خط رگرسیون برابر با صفر شود، فرض اولیه

آزمون برقرار است و به این معنی است که هیچ اثری از متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته وجود ندارد. اما در صورتی که مقدار ضرایب مخالف با صفر باشند، فرض اولیه رد شده و به این معنی است که متغیرهای مستقل تأثیر معنی داری بر متغیر وابسته دارند. لذا، ضرایب در خط رگرسیون نشان دهنده قدرت و جهت تأثیر متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته در مدل رگرسیون می باشند. نتایج حاصل از مدل رگرسیونی بین TDS و پارامترهای ذکر شده به صورت زیر می باشد. همانطور که مشخص است بین EC, Ca, Mg, Na, TH با TDS رابطه مثبت و بین pH, HCO₃, Cl, SO₄, K و SAR با TDS رابطه منفی وجود دارد. با دقت بیشتر در آزمون t، مشاهده شده است که مقادیر متغیرهای EC, Ca, Mg, Na و TH دارای مقدار sig بزرگتر از ۰/۰۵ هستند. این نتیجه نشان می دهد که تفاوت معنی داری بین این متغیرها و TDS وجود ندارد، یعنی افزایش یا کاهش مقادیر این متغیرها باعث افزایش یا کاهش TDS نمی شود. رابطه رگرسیونی بین TDS و سایر پارامترها به شکل زیر می باشد:

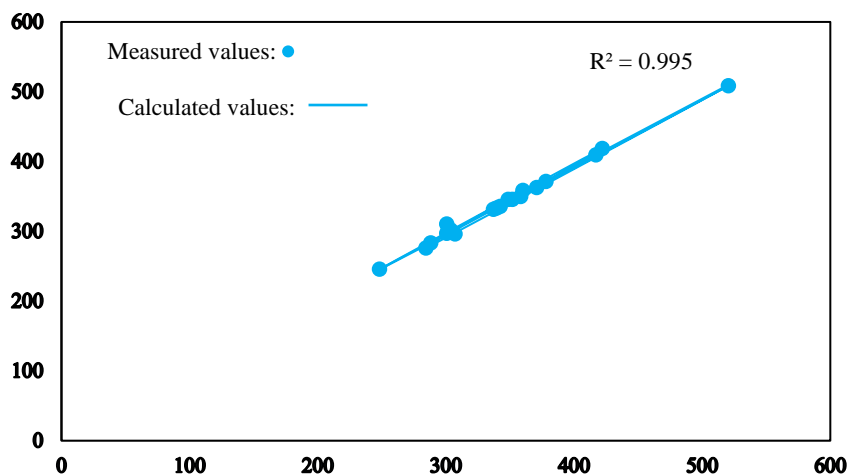
$$TDS = 171.632 + 0.579EC - 18.729pH - 50.830HCO_3 - 52.813Cl - 63.188SO_4 + 47.572Ca + 54.631Mg + 118.041Na - 9.243K - 91.992TH \quad (9)$$

شکل (۹) مقادیر TDS اندازه گیری شده و محاسبه شده با فرمول (۶) را نشان می دهد. همانطور که از شکل پیداست رابطه پیشنهادی توانسته است برازش خوبی با مقادیر اندازه گیری شده داشته باشد.

جدول ۶. ضرایب پارامترهای رگرسیونی چند متغیره

Table 6. Coefficients of multivariate regression parameters

Model	Not standardized coefficients		Standardized coefficients		t	meaningful
	B	Std. Error	Beta			
(Constant)	171.632	79.628			2.155	0.068
EC	0.579	0.034	1.046		17.032	0.000
pH	-18.729	8.113	-0.165		-2.308	0.054
HCO ₃	-50.830	36.260	-0.296		-1.402	0.204
Cl	-52.813	34.300	-0.268		-1.540	0.168
SO ₄	-63.188	36.236	-0.804		-1.744	0.125
Ca	47.572	34.484	0.548		1.380	0.210
Mg	54.631	33.682	0.336		1.622	0.149
Na	118.041	102.466	0.743		1.152	0.287
K	-9.243	63.924	-0.007		-0.145	0.889
SAR	-91.992	129.508	-0.386		-0.710	0.500
TH	0.100	0.028	0.186		3.543	0.009



شکل ۹. مقایسه داده های اندازه گیری شده و فرمول پیشنهادی

Fig. 9. Comparison of the measured data and the proposed formula

نتیجه‌گیری

در این مطالعه به ارزیابی کیفی رودخانه خرم‌آباد- دوآب ویسیان در بازه زمانی ۱۹ ساله (۱۳۹۵-۱۳۷۷) جهت مصارف شرب، کشاورزی، صنعت و تعیین تیپ آب پرداخته شد. از منحنی تداوم جریان جهت برآورد دبی زیست محیطی استفاده شد. همچنین یک رابطه رگرسیونی بین TDS و pH، HCO_3 ، Cl، SO_4 ، Ca، Mg، Na، K، SAR و TH تعیین شد. براساس میزان شاخص کیفیت آب (WQI)، کیفیت این رودخانه طی بازه مورد مطالعه در رده عالی قرار داشت. دبی زیست محیطی بر اساس روش منحنی تداوم جریان ۴/۹۴۵ متر مکعب بر ثانیه برآورد شد. این مقدار برابر با ۲۴/۶۴ درصد از دبی متوسط سالیانه برای رودخانه خرم‌آباد- دوآب ویسیان بود. با توجه به نمودار شولر آب این رودخانه برای مصارف شرب مناسب بود. نتایج نمودار ویلکاکس نشان داد که آب این رودخانه برای تمامی سال‌ها در محدوده آب‌های خوب (C2S1) و در سال ۱۳۸۴ در زمره کلاس آب‌های متوسط (C3S1) قرار داشت. لذا به طور کلی کشاورزان این منطقه می‌توانند صرفاً به بارندگی تکیه نکرده و از آب این رودخانه برای فعالیت‌های کشاورزی استفاده کنند. با توجه به شاخص اشباع لائیر آب این رودخانه برای مصارف صنعتی خورنده بوده و بایستی قبل از استفاده در صنعت حتماً تصفیه شود. علاوه بر این نتایج نمودارهای پایپر و دوروف نشان داد تیپ رودخانه خرم‌آباد- دوآب ویسیان از نوع کلسیم- منیزیم می‌باشد. و در نهایت نتایج رابطه رگرسیونی نشان داد بین EC، Ca، Mg، Na، TH با TDS رابطه مثبت و بین HCO_3 ، Cl، SO_4 ، K و SAR با TDS رابطه منفی وجود دارد و بیشترین همبستگی بین EC و TDS وجود داشت.

منابع

- Akbal, F., Gürel, L., Bahadır, T., Güler, I., Bakan, G., & Büyükgüngör, H. (2011). Multivariate Statistical Techniques for the Assessment of Surface Water Quality at the Mid-Black Sea Coast of Turkey. *Journal of Water Air Soil Pollution* 216, 21-37.
- Akbarpourbazargani, M., Amiri, A., & Ashouri, M. (2022). Graphical survey and statistical analysis of qualitative and quantitative changes in river water (case study: Pelroud, Gilan province). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 16(3), 596-608. (In Persian).
- Ama, I. N., Ebichime, N. G., Agbaire, P. O., & Verla, A. W. (2018). Determination of Water Quality Index of Selected Water Bodies in Warri, Delta State, Nigeria. *World News of Natural Sciences*, (16), 42-52.
- Belkhiri, L., Mouni, L., Tiri, A., Narany, T. S., & Nouibet, R. (2018). Spatial analysis of groundwater quality using self-organizing maps. *Groundwater for Sustainable Development*, 7, 121-132.
- Gençer, E., & Başaran, C. (2023). Water Quality Assessment and Pollution of Akarçay River, Türkiye. *Kuwait Journal of Science*.
- Kasa, T., Bassa, A. L., Negatu, G. T., Sahile, Z. A., & Reddythota, D. (2022). Investigation of Wabe River Water Fitness for Agricultural and Industrial Purposes. *Heliyon e11865*, 8(12).
- Khalaji, M., Ebrahimi, A., Hasheminejad, H., Motaghi, A., & Asadollah, S. (2016). Evaluation of water quality of Zayandeh Rood dam lake using WQI index. *Scientific Journal of Iranian Fisheries*. 25(5), 51-64. (In Persian).
- Kumar, A., Taxak, A. K., Mishra, S., & Pandey, R. (2021). Long Term Trend Analysis and Suitability of Water Quality of River Ganga at Himalayan Hills of Uttarakhand, India. *Journal of Environmental Technology & Innovation*, 22, 101405.
- Mah Rooyan, G., Taghavi, L., Saraei Tabrizi, M., and Azizi, Z. (2019). Water quality zoning of Shahrood River based on agriculture, drinking and industry consumption. *Journal of Neishabur Faculty of Medical Sciences*, 7(2), 132-144. (In Persian).
- Ravi, N. K., Jha, P. K., Varma, K., Tripathi, P., Gautam, S. K., Ram, K., ... & Tripathi, V. (2023). Application of Water Quality Index (WQI) and Statistical Techniques to Assess Water Quality for Drinking, Irrigation, and Industrial Purposes of the Ghaghara River, India. *Journal of Total Environment Research Themes*, 6, 100049.
- Sabzevari, Y., & Nasrollahi, A. (2019). Feasibility of implementation of drip irrigation system according to the quality of underground water: a case study of Khorram Abad plain. *Journal of Water and Soil Science (Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)*, 23(4), 367-381. (In Persian).
- Shil, S. K., Polly, F. P., Islam, M. Z., & Mohammad, N. (2019). Scenario of Power Generation-Mix in Bangladesh and Australia. In *2019 International Conference on Electrical, Computer and Communication Engineering (ECCE)* (pp. 1-6). IEEE.
- Soleimani Sard, M., Abasali, V., Ghazavi, R., & Saedi Garaghani, H. (2014). Analysis and trends of water chemical quality parameters; A case study of Cham Anjir River in Khorramabad. *Scientific Journal of Irrigation and Water Engineering of Iran*, 3(4), 95-105. (In Persian).
- Teshome, F. B. (2020). Seasonal water quality index and suitability of the water body to designated uses at the eastern catchment of Lake Hawassa. *Environmental science and pollution research*, 27, 279-290.

- Torabi Poudeh, H., & Hamezadeh, P. (2018). Investigating the chemical quality of water and the trend of changes in quality parameters in Kashkan basin. *Journal of Ecohydrology*, 5(1), 23-36. (In Persian).
- Ustaoglu, F., Taş, B., Tepe, Y., & Topaldemir, H. (2021). Comprehensive assessment of water quality and associated health risk by using physicochemical quality indices and multivariate analysis in Terme River, Turkey. *Environmental science and pollution research*, 28(44), 62736-62754.
- Yang, X., & Jin, W. (2010). GIS-based spatial regression and prediction of water quality in river networks: A case study in Iowa. *Journal of Environmental Management*, 91(10), 1943-1951.
- Zhang, J., Zhou, J., Chen, Y., Wei, X., Zeng, Y., & Sun, Y. (2023). Identifying the factors controlling surface water and groundwater chemical characteristics and irrigation suitability in the Yarkant River Basin, northwest China. *Environmental Research*, 223, 115452.