

# Investigating Changes in Water Quality of the Karun River using Landsat 8 Satellite Data

## ABSTRACT

Examining the changes in the water quality parameters of the Karun River using satellite data and determining the modified quality indicators can be used to assess the vulnerability of irrigation water. In this research, the data of seven qualitative parameters:  $\text{Na}^+$ , SAR, pH,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , EC and TDS were used in six water measuring stations of Abbaspur, Ahvaz, Farsiat, Gotvand, Molasani and Soosan of the Karun River (1392-1398) and NSFQI general water quality index was calculated. Correlation relationship and estimation errors were determined for two principal component reduction (PCA) and multivariate linear correlation methods. The results showed that multivariate correlation method is more suitable. The coefficient of determination for the seven water quality parameters was calculated as 0.44, 0.43, 0.03, 0.43, 0.09, 0.45 and 0.46 respectively, and for the NSFQI index it was calculated as 0.46. The statistical correlation for pH and  $\text{HCO}_3^-$  is at a very low level; but for the other five parameters and the NSFQI index, it is in average state. The significance level of estimation for  $\text{Na}^+$ , SAR,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , EC and TDS parameters is acceptable ( $P < 0.001$ ), and for pH is unacceptable ( $P < 0.122$ ). In general, there is an acceptable correlation between the bands extracted through the Landsat 8 satellite and most of the quality parameters of the Karun River, but necessary actions are proposed to improve the correlation relationships. Also, the NSFQI index shows that the quality of water in the Karun River along the Khuzestan plain is not good enough.

**Keywords:** Karun River, NSFQI Index, Remote Sensing, Water Quality

## بررسی تغییرات کیفیت آب رودخانه کارون با استفاده از داده‌های ماهواره لندست ۸

### چکیده

بررسی تغییرات پارامترهای کیفیت آب رودخانه کارون با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و تعیین شاخص‌های کیفی اصلاح شده برای ارزیابی آسیب پذیری آب آبیاری، می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. در این پژوهش از داده‌های هفت پارامتر کیفی:  $\text{Na}^+$ ، SAR، pH،  $\text{Cl}^-$ ،  $\text{HCO}_3^-$ ، EC و TDS در شش ایستگاه آبسنجی عباسپور، اهواز، فارسیات، گتوند، ملاثانی و سوسن رودخانه کارون (۱۳۹۲-۹۸) استفاده شد، و شاخص عمومی کیفیت آب NSFQI محاسبه گردید. رابطه همبستگی و خطاهای برآورد برای دو روش کاهش اجزای اصلی (PCA) و همبستگی خطی چند متغیره تعیین گردید. نتایج نشان داد، روش همبستگی چند متغیره مناسب‌تر است. میزان ضریب تعیین برای هفت پارامتر کیفی آب به ترتیب  $0/44$ ،  $0/43$ ،  $0/03$ ،  $0/43$ ،  $0/09$ ،  $0/45$  و  $0/46$  و برای شاخص NSFQI برابر  $0/46$  محاسبه گردید. همبستگی آماری برای pH و  $\text{HCO}_3^-$  در سطح بسیار پائین است؛ ولی برای پنج پارامتر دیگر و شاخص NSFQI در حد متوسط می‌باشد. برآورد پارامترهای  $\text{Na}^+$ ، SAR،  $\text{Cl}^-$ ،  $\text{HCO}_3^-$ ، EC و TDS در سطح معنی‌دار قابل قبول بوده ( $P < 0.001$ )، ولی برای پارامتر pH، قابل قبول نمی‌باشد ( $P < 0.122$ ). بطور کلی، ارتباط مناسبی میان باندهای استخراج شده از طریق ماهواره لندست ۸ و بیشتر پارامترهای کیفیت رودخانه کارون وجود دارد، و پیشنهادات برای بهبود رابطه همبستگی ارائه شده است. همچنین شاخص NSFQI نشان می‌دهد، آب رودخانه کارون در امتداد دشت خوزستان کیفیت مناسبی ندارد.

**کلیدواژه‌ها:** شاخص NSFQI، کیفیت آب، سنجش از دور، رود کارون

## ABSTRACT

### Target:

The purpose of this research is to find a suitable relationship between the water quality parameters of the Karun River, which were collected in the field at specific times, with the spectral bands extracted from the Landsat 8 satellite. Also, by using NSFQI quality index, it is possible to express the quality status of river water in different sampling stations.

### Research Method:

To conduct the research, the data of qualitative parameters  $\text{Na}^+$ , SAR, pH,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , EC and TDS of the water of the Karun River in the sampling stations of Abbaspoor, Ahvaz, Farsiat, Gotvand, Mollasani and Soosan from 2012 to 2018 were used. Because for the quality data of the river water that was collected in the field at the mentioned stations, at the same time and date of field sampling, Landsat 8 satellite images were downloaded from the USGS website and the spectral bands of the downloaded images extracted by ARC-GIS software were compared to each of the quality parameters of the river water was placed in each station on the same date of field sample collection. Because the numbers of spectral bands are large, they should be converted to numbers between zero and one using the Scale Factor formula related to Collection 2-Level 2 of Landsat 8 satellite. Finally, the relationship between 7 water quality parameters of Karun River and 7 spectral bands extracted from Landsat 8 satellite was obtained using different regression methods. Also, using the NSFQI quality index, the quality status of the river water in each of the sampling stations of the Karun River was determined by averaging the quality indicators obtained during the 6-year statistical period.

To express the relationship between the qualitative parameters of the river water and the spectral bands extracted from the Landsat 8 satellite, the multivariate linear regression method was used by calculating the coefficient of determination and the standard error.

### Findings:

The relationship between the qualitative parameters of the river water in each of the sampling stations during the 6-year statistical period, with the spectral bands extracted from the Landsat 8 satellite, provides a suitable relationship. In this research, linear multivariate regression was used. Finally, the relationship between each of the qualitative parameters of the river with the spectral bands extracted from the Landsat 8 satellite has been expressed in the form of mathematical relationships. Also, NSFQI index was used to express the water quality status of Karun River in each of the mentioned hydrometric stations. The NSFQI index shows that the quality of water in the Karun River along the Khuzestan plain is not good enough.

### Conclusion:

The correlation between the bands extracted from the Landsat 8 satellite and the quality parameters of the Karun River was very poor with the method of Principal Component Analysis (PCA), but was found to be acceptable using Linear Multivariate Regression method. The coefficient of determination for the seven parameters of  $\text{Na}^+$ , SAR, pH,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , EC and TDS was 0.44, 0.43, 0.03, 0.43, 0.09, 0.45 and 0.46, respectively, and for the NSFQI was calculated to be 0.46. The standard error for the seven parameters was calculated as 3.84, 1.43, 0.26, 3.58, 0.39, 598.70 and 393.87, respectively, and for the NSFQI was about 60.73. The statistical correlation for pH and  $\text{HCO}_3^-$  is at a very low level; but for the other five parameters and the NSFQI index, it is in average state. The significance level of estimation for  $\text{Na}^+$ , SAR,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , EC and TDS parameters is acceptable ( $P < 0.001$ ), and for pH is unacceptable ( $P < 0.122$ ). In general, the correlation is very poor for the pH and  $\text{HCO}_3^-$ , but is good enough for other parameters. The results showed that there is an acceptable relationship between the bands extracted from the Landsat 8 satellite and most of the quality parameters of the Karun River. However, further investigation is proposed to detect an optimum correlation using the Landsat 8 and Sentinel satellites data and intelligent analysis methods (such as machine learning and artificial intelligence).

## مقدمه

آب، در فعالیتهای مختلف مانند کشاورزی، صنعت، شرب و تولید برق مورد نیاز می‌باشد. بسیاری از برنامه ریزی‌های منابع آب در کشورها بر اساس پتانسیل بالقوه منابع آب سطحی انجام می‌شود. به دلیل جاری بودن آب در سطح زمین، اغلب در مسیر حرکت خود گرفتار انواع آلودگی‌های ذاتی موجود در زمین می‌شود. تصفیه آب سطحی جهت مصارف کشاورزی، با توجه به حجم بالای آن تقریباً غیرممکن می‌باشد، بنابراین شناسایی و ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های سطحی از اهمیت بسیار زیادی برخوردار می‌باشد. بسیاری از شاخص‌های ارزیابی آسیب‌پذیری آب سطحی، به طور مستقیم نمی‌توانند آلودگی خاصی را در مزرعه تشخیص دهند. مفاهیم اساسی آنها بر اساس این نظریه استوار است که بعضی از مناطق بیشتر از مناطق دیگر نسبت به آلودگی آب آسیب‌پذیرتر هستند. آسیب‌پذیری از نظر مفهومی به دو دسته ذاتی و ویژه تقسیم می‌گردد. آسیب‌پذیری ذاتی به خصوصیات زمین‌شناسی، هیدرولوژی و هیدروژئولوژیکی یک منطقه بستگی دارد و به منابع آلودگی ناشی از فعالیت‌های انسانی یا طبیعی، توجهی ندارد. همچنین آسیب‌پذیری ویژه نشان دهنده آسیب‌پذیری آب‌های سطحی به آلاینده‌های خاص یا گروهی از آلاینده‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی می‌باشد (میثاقی و دلگشا، ۱۳۹۴).

هدف از ارزیابی آسیب‌پذیری، کمک به تبیین سیاست‌های کاربردی و عملی برای مدیریت منابع سطحی در مسیر بهره‌برداری پایدار از آنها است، که تابعی از مشخصات و خصوصیات ذاتی تشکیلات آب‌های سطحی می‌باشد. روش‌های مختلفی برای سنجش کیفیت آب‌های سطحی و پهنه‌بندی کیفی آنها در سطح دنیا مورد مطالعه قرار گرفته است که شاخص‌های کیفی آب، یکی از پرکاربردترین و ساده‌ترین آنها می‌باشد (Sheikh Setani, N, 2001). شاخص یک ابزار ریاضی است تا مقادیر زیادی از داده‌های توصیف ویژگی‌های آب را به یک عدد تبدیل نماید که آن عدد، نشان دهنده سطح کیفی آب می‌باشد. ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های سطحی و شاخص کیفی، نیازمند یک گام نرمال‌سازی است که هر پارامتر با یک مقیاس صفر تا ۱۰۰ تغییر شکل می‌یابد که ۱۰۰ حداکثر کیفیت را نشان می‌دهد. گام بعدی کاربرد یک فاکتور وزنی مطابق اهمیت پارامتر به عنوان شاخص کیفیت آب است (Jonnalagadda, S.B. and Mhere.G. 2001).

متأسفانه تمام شاخص‌های آسیب‌پذیری ارائه شده، در زمینه آب شرب کاربرد دارند و شاخص مناسبی برای ارزیابی آسیب‌پذیری آب آبیاری وجود ندارد. شاخص‌های ارزیابی آب شرب اصلاح شده و با اعمال تغییراتی در آنها، جهت ارزیابی منابع آب آبیاری معرفی و ارزیابی شده‌اند. شاخص‌های آسیب‌پذیری NSFWQI<sup>۱</sup>، BCWQI<sup>۲</sup>، CWQI<sup>۳</sup> و OWQI<sup>۴</sup> با توجه به دیاگرام ویلکاکس و استاندارد FAO 286 برای کیفیت آب آبیاری تحت فشار، اصلاح و برای ارزیابی آب آبیاری مورد استفاده قرار گرفته است. میثاقی و دلگشا (۱۳۹۴)، به منظور تعیین ضرایب پارامترهای مؤثر در کیفیت آب کشاورزی، پرسشنامه‌هایی را تهیه و در اختیار متخصصان آبیاری و کشاورزی قرار دادند و با توجه به اولویت‌بندی و امتیازبندی اعمال شده از طرف آنها و به کارگیری روش تحلیل سلسله مراتبی AHP<sup>۵</sup>، وزن پارامترهای کیفی در شاخص NSFWQI را تعیین نمودند.

در دهه اخیر استفاده از فناوری سنجش از دور، رشد قابل توجهی در پایش کیفی منابع آب، بالاخص تالاب‌ها، دریاچه‌ها و رودخانه‌های عریض داشته است. اگرچه به دلیل فرایند دینامیکی جریان آب رودخانه و انتقال آلودگی در آن و همچنین تغییرات زمانی آلاینده‌ها ممکن است از دقت نتایج برآورد شده با این روش کاسته شود، اما استفاده از این روش ضمن ارائه یک دورنمای کلی با پارامترهای کیفی آب رودخانه که بسیار مهم است، می‌تواند در شرایط وجود منابع آلاینده ثابت در طول رودخانه، نتایج قابل قبولی ارائه دهد.

<sup>1</sup> National Science Foundation Water Quality Index

<sup>2</sup> British Columbia Water Quality Index

<sup>3</sup> Canadian Water Quality Index

<sup>4</sup> Oregon Water Quality Index

<sup>5</sup> Analytical Hierarchy Process

با توجه به مشکل کم آبی و آلودگی آب، بررسی تغییرات پارامترهای کیفیت آب رودخانه کارون با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای مورد نظر قرار گرفت. در این تحقیق از شاخص NSFQI برای تاثیر توان پارامترهای اندازه‌گیری شده کیفیت آب در ایستگاه‌های هیدرومتری رودخانه کارون، استفاده گردید.

### پیشینه پژوهش

دلایمی و همکاران (۲۰۱۶)، با استفاده از تصاویر ماهواره ای MODIS، پایش کیفی منابع آب سطحی در بالادست حوضه منیامی در زیمبابوه را بررسی کردند. در مطالعه یاد شده سنجش کلروفیل a با استفاده از نتایج نمونه‌برداری مکانی در سطح اطمینان ۵ درصد، سنجیده شد. نتایج آماری نشان داد همبستگی بین داده‌های برآوردشده با روش سنجش از دور و نمونه برداری شده، ۷۸ درصد می باشد. نتایج پیش‌بینی بر اساس رابطه بین کلروفیل a مشاهده شده و پیش‌بینی شده، مقدار  $R^2$  بالای ۰٫۸۹ و مقدار میانگین مربعات خطای ریشه (RMSE)  $۰/۰۰۳$  میکروگرم در لیتر تولید کرد.

موسو و همکاران (۲۰۱۷)، با استفاده از شاخص‌های بیوفیزیکی مختلف شامل شاخص دمای سطح زمین (LST)، شاخص پوشش گیاهی تفاوت عادی (NDVI)، شاخص پوشش گیاهی تنظیم خاک (SAVI)، شاخص محتوای رطوبت برگ (LWCI)، شاخص رطوبت نرمال (NHI)، اختلاف عادی شاخص داخلی (NDBI) و شاخص نرمال سطح غیر عادی تفاوت (NDISI) و تلفیق شرایط اقتصادی، وضعیت کیفی منابع آب سطحی را بررسی کردند. بر اساس نتایج تحقیق یاد شده، طبقه بندی پنج‌گانه ای از نظر کیفیت محیط زیست برای بهبود ساختار مدیریتی ارائه شد. نتایج همبستگی ثابتی را بین شاخص‌ها نشان داد و بالاترین مقادیر UEQI در کمون‌هایی با مناطق کمتر ساخته شده و مناطق سبز بیشتر رخ داد. تفاوت آماری معنی داری بین شاخص در سطح کمون وجود داشت. بنابراین، کمون‌ها بر اساس شاخص به پنج طبقه (خیلی خوب، خوب، متوسط، ضعیف و کیفیت محیطی بسیار ضعیف) طبقه بندی شدند تا بحرانی‌ترین مداخلاتی که باید توسط نهادهای برنامه ریزی و تصمیم گیرنده انجام شود، مشخص شود. این روش را می توان در شهرهای مشابه با استفاده از واحدهای اداری بزرگ به کار برد.

کابلی‌زاده و همکاران (۱۳۹۷)، با هدف برآورد غلظت پارامترهای کیفیت آب TDS و Turbidity در سدهای کرخه و دز و رودخانه کارون بزرگ با استفاده از تصاویر برداشت شده به وسیله ماهواره سنتینل ۲ انجام گرفت. ابتدا با انجام پردازش‌های اولیه بر روی تصاویر ماهواره مذکور، شاخصهای طیفی مناسبی از آنها استخراج گردند و سپس با به کارگیری مدل شبکه عصبی، روابطی بهینه میان آنها و مقادیر هر کدام از پارامترهای TDS و Turbidity برقرار نمودند. جهت ارزیابی دقت مدلسازی‌های انجام شده شاخص‌های RMSE و خطای نسبی استفاده کردند و مقادیر هر کدام از آنها برای مدل‌سازی میان تصاویر ماهواره‌ای و پارامتر TDS به ترتیب برابر با (۱۰۵/۴۸۱ و ۰/۰۸۸ و برای مدلسازی میان تصاویر ماهواره‌ای و پارامتر Turbidity برابر با ۱/۳ (NTU) و ۰/۱۰۷ به دست آوردند. درنهایت با اعمال مدل‌های تهیه شده بر روی تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ که در سالهای ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۵ برداشت شده بود، نقشه پراکندگی پارامترهای کیفیت آب در چهار زمان برای سدهای کرخه و دز و رودخانه کارون بزرگ در مقطع ملاثانی تا ایستگاه هیدرومتری فارسیات در جنوب اهواز تهیه نمودند.

نویبان و همکاران (۱۳۹۸)، دقت پایش کیفی تالاب انزلی را با استفاده از سنجش از دور، ارزیابی کردند. آنها پارامترهای کیفی تالاب انزلی شامل شوری، رسوبات معلق، نیترات، فسفر، نیتروژن، آمونیوم، مواد محلول، کدورت و pH را با استفاده از داده های نمونه برداری شده و همچنین تحلیل طیفی تصاویر Landsat و استخراج معادلات همبستگی برای پهنه بندی کیفی تالاب، استفاده کردند. نتایج مطالعات آنها نشان داد شوری، فسفر، نیتروژن، آمونیوم، نیترات و کدورت در لایه سطحی آب، همبستگی زیادی با مقادیر استخراج شده از تصاویر Landsat دارند. نتایج نشان داد، استفاده از روش سنجش از دور در تالاب انزلی می تواند اسیدیته، کل مواد معلق و دما را به خوبی (با میانگین درصد خطای نرمال شده کمتر از ۱۰ درصد) تخمین بزند. سایر پارامترهای کیفی شامل نیترات، شوری، کل جامدات محلول و آمونیوم (با میانگین ریشه خطای نرمال شده کمتر از ۳۰ درصد) و ارتوفسفات (با میانگین درصد ریشه خطای نرمال

شده بیشتر از ۳۰ درصد) به ترتیب نسبتاً و ضعیف برآورد شدند. بر اساس این نتایج تکنیک سنجش از دور قادر است اکثر پارامترهای کیفی را با دقت قابل قبولی تخمین بزند. با افزایش تعداد نقاط و فرکانس‌های نمونه‌برداری، دقت مدل‌های همبستگی و در نتیجه دقت برآورد پارامترهای کیفی افزایش می‌یابد.

چاو و همکاران (۲۰۱۸)، میزان کدورت آب را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای بررسی کردند. آنها از روش همبستگی زمانی و مکانی استفاده کردند که سبب بهبود نتایج از نظر دقت در میانگین و واریانس خطا برای تخمین میزان کدورت شد. با این حال، تخمین و نقشه‌برداری کیفیت آب نیاز به یک مدل غیر ثابت مکانی-زمانی دارد، در حالی که نقشه‌برداری TB استفاده از مدل‌های همبستگی وزن‌دار جغرافیایی و زمانی GTWR و همبستگی وزن‌دار جغرافیایی GWR را ضروری می‌کند، که هر دو دقیق‌تر از همبستگی خطی هستند. با توجه به مدل‌های غیر ثابت زمانی برای نقشه‌برداری کیفیت آب، GTWR بهترین گزینه را برای تخمین کیفیت آب منطقه‌ای ارائه می‌دهد. در مقایسه با GWR، GTWR اطلاعات بسیار قابل اعتمادی را برای نقشه‌برداری کیفیت آب ارائه می‌کند و توزیع واریانس را از ۴۴٪ به ۸۷٪ بهبود می‌بخشد و قدرت توضیح فضا-زمان کافی را نشان می‌دهد.

رنگزن و همکاران (۱۳۹۹)، از قابلیت دو نوع تصویر ماهواره‌ای اپتیکی سنتینل ۲ و لندست ۸ و همچنین قابلیت تلفیق تصاویر در پهنه‌بندی فصلی شاخص‌های کیفی آب رودخانه کارون استفاده کردند. نتایج نشان داد بهترین نقشه‌های پهنه‌بندی شاخص NSFWQI در فصول بهار، تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب بر اساس به کارگیری باند ۲ تصویر مبتنی بر BT و باند ۲ مبتنی بر IHS، باند ۲ تصویر L8 و باند ۴ تصویر هستند. بهترین نقشه‌های پهنه‌بندی شاخص IRWQIsc در فصول بهار، تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب بر اساس به کارگیری باند ۱ تصویر L8 حالت 1P، باند ۲ تصویر S2B حالت 1P، باند ۲ تصویر L8 حالت 1P و باند ۲ تصویر BT حالت 1P به دست آمده‌اند؛ همچنین بر مبنای نتایج، روند تغییرات هر دو شاخص در نقشه‌های پهنه‌بندی کیفی از شمال به جنوب منطقه پژوهش در هر فصل بسیار مشابه است. نتایج ارزیابی فصلی هر دو شاخص حاکی از وضعیت نامناسب آب رودخانه در بیشتر روزهای سال است.

فرهادی و نجف‌زاده (۱۴۰۰)، به منظور اندازه‌گیری دمای سطح آب از داده‌های سنجش از دوری که در آن امکان اندازه‌گیری پیوسته دما با سرعت بیشتر، مدت زمان کمتر و با هزینه مقرون به صرفه وجود دارد، استفاده کردند. با ارزیابی نتایج حاصل از داده‌های سنجش از دور و داده‌های میدانی، مقادیر مجذور میانگین مربعات خطا RMSE در ماه‌های خرداد، مرداد، آبان و اسفند به ترتیب برابر با ۰/۴، ۰/۳۳، ۰/۳۶ و ۰/۳۴ درجه سانتیگراد حاصل شد که نشان از دقت مطلوب محاسبات دارد. نتایج نشان داد، داده‌های سنجش از دور یک ابزار دقیق به منظور برآورد دمای سطوح آبی می‌باشد.

هوشمند و اگدرنژاد (۱۴۰۰)، جهت ارزیابی کیفی آب رودخانه کارون، پارامترهای کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، کربنات، بی‌کربنات، کلر، سولفات، هدایت الکتریکی، pH، کدورت، دما، کل املاح جامد و دی‌اکسید کربن رودخانه کارون، را از سه ایستگاه ملاثانی، اهواز و فارسیات در فاصله سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۷ به مدت ده سال مورد بررسی قرار دادند. به منظور ارزیابی کیفیت آب رودخانه کارون از دو استاندارد NSFWQI و IRWQIsc استفاده کردند. همچنین جهت ارزیابی این دو استاندارد، روش آنالیز خوشه‌ای برای خوشه‌بندی پارامترهای کیفی رودخانه کارون و تحلیل سلسله مراتبی به منظور وزن‌دهی خوشه‌ها، مورد استفاده قرار داده و بر اساس استاندارد NSFWQI، کیفیت آب رودخانه کارون را بین ۵۵-۶۲ و بر اساس استاندارد IRWQIsc بین ۳۹-۴۸ برآورد کردند؛ لذا کیفیت آب این رودخانه بر اساس این دو استاندارد به ترتیب در گروه‌های متوسط و نسبتاً بد-متوسط قرار گرفت. نتایج خوشه‌بندی و وزن‌دهی به پارامترها نشان داد پارامترهای SAR، کلسیم، سدیم، پتاسیم، هدایت الکتریکی، کل املاح جامد، کلر، سولفات و منیزیم، بیشترین وزن را در هر سه ایستگاه مورد مطالعه داشتند.

هدف از این تحقیق، تعیین شاخص کیفی آب آبیاری در رودخانه کارون است. در اکثر تحقیقاتی که در سالیان اخیر در مورد بررسی کیفیت آب در رودخانه‌های ایران، به ویژه رودخانه کارون انجام گرفته، شاخص کیفی آب شرب بررسی شده است. لذا در این تحقیق

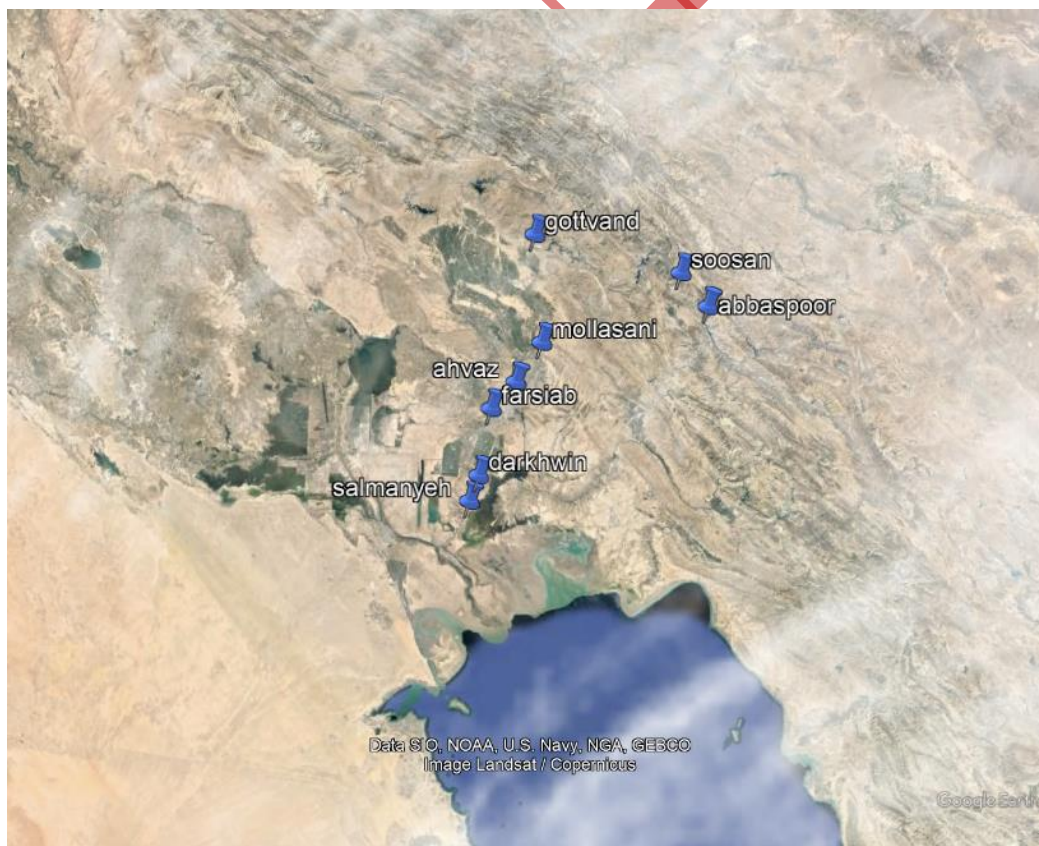


سعی بر آن شده تا شاخص کیفیت آب آبیاری مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد. به علاوه داده‌های بیشتری در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته که در نهایت منجر به استخراج عکس‌های ماهواره‌ای بیشتر و دقت بالاتر در نتایج شده است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه پژوهش

منطقه پژوهش، بخشی از رودخانه کارون در ناحیه دشتی استان خوزستان، در جنوب غرب ایران، بین عرض جغرافیایی شمالی از ۲۰' ۳۱° تا ۳۰' ۳۱° و طول شرقی ۳۵' ۴۸° تا ۵۹' ۴۸° است (شکل ۱). رودخانه کارون در جنوب غربی کشور واقع شده و از چندین شهر عبور می‌کند که مهمترین آن اهواز، مرکز استان خوزستان است. کیفیت آب در رودخانه کارون به دلیل افزایش برداشت آب و تخلیه فاضلاب در معرض خطر است؛ به علاوه رعایت استانداردهای کیفیت آب شرب و کیفیت محیط زیست مناسب آب تا حد زیادی مختل شده است؛ بنابراین نظارت مداوم و دقیق بر کیفیت آب منطقه پژوهش اهمیت زیادی دارد. اطلاعات کیفی مورد نیاز از نتایج آزمایشهای فیزیکی- شیمیایی نمونه برداری‌های انجام شده طی مدت ۶ سال از سال ۱۳۹۲ تا سال ۱۳۹۸ به صورت ماهانه توسط وزارت نیرو در شش ایستگاه هیدرومتری تأمین شده است. موقعیت ایستگاه‌های اندازه‌گیری در شکل (۱) و مشخصات آنها در جدول (۱) ارائه شده است. متغیرهای کیفی مورد استفاده شامل هدایت الکتریکی (EC)، نسبت جذب سدیم (SAR)، اسیدیته (pH)، بیکربنات ( $\text{HCO}_3^-$ )، کلر ( $\text{Cl}^-$ )، سدیم ( $\text{Na}^+$ ) و کل جامدات محلول (TDS) میباشند.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های هیدرومتری رودخانه کارون در استان خوزستان

جدول ۱- موقعیت ایستگاههای هیدرومتری رودخانه کارون در استان خوزستان

نام ایستگاه	موقعیت جغرافیایی
سد شهید عباسپور	شمالی ۱۰' ۴۸" ۳۱°، شرقی ۱۶' ۰۵' ۵۰°
اهواز	شمالی ۱۶' ۲۰' ۳۱°، شرقی ۴۱' ۴۱' ۴۸°
فارسیات	شمالی ۲۶' ۱۰' ۳۱°، شرقی ۴۸' ۳۰' ۴۸°
گتوند	شمالی ۵۷' ۱۴' ۳۲°، شرقی ۴۹' ۴۹' ۴۸°
ملائانی	شمالی ۰۱' ۳۵' ۳۱°، شرقی ۴۰' ۵۲' ۴۸°
سوسن	شمالی ۴۳' ۰۰' ۳۲°، شرقی ۳۵' ۵۳' ۴۹°

### اصلاح شاخص کیفی NSFQI

در سال ۱۹۷۰ با حمایت سازمان بهداشت ملی آمریکا، براون و همکارانش یک شاخص کیفی کاهشی را بر اساس نظرسنجی از تعداد زیادی از افراد متخصص با تخصصهای گوناگون در این زمینه ارائه نمودند. آنها در ابتدا حدود ۸۱ پارامتر آلودگی را مطرح نموده و سپس بر اساس نظر افراد متخصص، حدود ۹ پارامتر را برای ایجاد شاخص اصلی انتخاب نمودند. پارامترهای مورد استفاده در این شاخص شامل دما، اکسیژن محلول، اکسیژن خواهی بیوشیمیایی، اسیدیته، نترات، فسفر کل، کل جامدات محلول، کلی فرم مدفوعی و کدورت می‌باشد. در این مطالعه ۹ پارامتر شاخص NSFQI، به ۷ پارامتر مؤثر در کیفیت آب آبیاری بر اساس نشریه ۲۸۶-FAO تغییر یافته، که در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول ۲- راهنمای تعیین کیفیت آب آبیاری با استفاده از نشریه ۲۸۶ فاو

درجه محدودیت			واحد	مسائل کیفیت آب	
شدید	کم تا متوسط	بدون محدودیت			
<۳	۰/۷-۳	<۰/۷	ds/m	ECW	شوری
>۲۰۰۰	۴۵۰-۲۰۰۰	<۴۵۰	mg/lit	TDS	
	<۳	<۳	meq/lit	Na <sup>+</sup>	مسمومیت یونی
	<۳	<۳	meq/lit	Cl <sup>-</sup>	
>۹	۳-۹	<۳	meq/lit	SAR	اثرات متفرقه
>۸/۵	۱/۵-۸/۵	<۱/۵	meq/lit	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	
محدوده مناسب ۶/۵-۸/۴			-	PH	

در ایجاد شاخص کلی NSFQI برای تأثیر هر پارامتر و یا زیر شاخص مربوط به آن، به هر یک از پارامترها یک وزن و یا ارزش عددی مطابق جدول (۳) نسبت داده شده است. لازم به توضیح است، ضرایب مذکور با نظرسنجی از تعدادی از افراد متخصص با تخصص کشاورزی و آبیاری و به کارگیری روش تحلیل سلسله مراتبی AHP تعیین شده است. مجموع این ضرایب برابر واحد میباشد. برای محاسبه شاخص نهایی از جمع وزنی خطی زیر شاخصها به شکل رابطه (۱) استفاده می‌شود. با محاسبه شاخص کیفی، طبقه بندی کیفیت آب بر اساس جدول (۴) انجام می‌گیرد.

$$NSFWQI = \sum_{k=0}^n I_k W_k \quad (1)$$

جدول ۳- فاکتور وزنی تعیین شده در شاخص NSFQI برای ارزیابی آسیب پذیری آب آبیاری

پارامتر	SAR	Na+	PH	Cl-	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	EC	TDS
وزن	۰/۳۰	۰/۱۰	۰/۰۵	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۲۵	۰/۱۰

جدول ۴- رده بندی کیفی آب بر اساس مقادیر شاخص NSFQI

مقدار عددی شاخص NSFQI	طبقه بندی کیفیت آب
۲۵-۰	بسیار بد
۵۰-۲۶	بد
۷۰-۵۱	متوسط
۹۰-۷۱	خوب
۱۰۰-۹۱	عالی

### سری ماهواره های Landsat

ماهواره های Landsat توسط سازمان ملی هوانوردی و فضاوردی آمریکا، طراحی شده و در مدار زمین قرار گرفته است. نخستین ماهواره از این نوع ماهواره ها، در سال ۱۹۷۲ شروع به کار کرد و هم اکنون نیز به کار خود ادامه می دهد. آخرین ماهواره از این سری، ماهواره Landsat 9 است که در ۲۷ سپتامبر ۲۰۲۱ به فضا پرتاب شد. تصاویر "نور اول" در ۳۱ اکتبر دریافت شد.

ماهواره Landsat 8 که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است، به نام ماموریت ادامه دهنده داده های لندست (Landsat data continuity mission) یا به طور مختصر LDCM معرفی شده است که در ۱۱ فوریه ۲۰۱۳ به فضا پرتاب شد. این ماهواره دارای دو سنسور به نام OLI (مشاهده زمینی) و دیگری TIRS (حرارتی) است. این دو سنسور با هم ۱۱ باند را تشکیل می دهند که ۷ عدد از آنها با ETM+ اشتراک دارند. ۸ باند دارای رزولوشن ۳۰ متری، باند پانکروماتیک ۱۵ متری و دو باند حرارتی ۱۰۰ متری می باشد. ابعاد تصاویر این سنجنده ۱۷۰×۱۸۳ کیلومتر است. سیستم OLI شامل باندهای اپتیکی سنجنده های TM و ETM+ و سه باند جدید است. تصویربرداری بعدی این سنجنده در دو طول موج در محدوده مادون قرمز حرارتی و با قدرت تفکیک رادیومتری ۱۲ بیتی انجام می شود. از مهمترین ویژگی های این دو باند، افزایش نسبت سیگنال به نویز در مقایسه با سنجنده های پیشین است. مشخصات فنی این سنجنده، در جدول (۵) نمایش داده شده است. در این تحقیق برای برآورد پارامترهای کیفی آب رودخانه کارون از باندهای ۱ تا ۷ استفاده شده است.

جدول ۵- مشخصات فنی سنجنده OLI

شماره باند	قدرت تفکیک رادیومتری (bits)	قدرت تفکیک مکانی (متر*متر)	محدوده طیفی (میکرومتر)
۱	۱۲	۳۰*۳۰	(سواحل، گرد و غبار) ۰/۰-۴۵/۴۳
۲	۱۲	۳۰*۳۰	(آبی) ۰/۰-۵۱/۴۵
۳	۱۲	۳۰*۳۰	(سبز) ۰/۰-۵۹/۵۳
۴	۱۲	۳۰*۳۰	(قرمز) ۰/۰-۶۷/۶۴
۵	۱۲	۳۰*۳۰	(مادون قرمز نزدیک) ۰/۰-۸۸/۸۵
۶	۱۲	۳۰*۳۰	(مادون قرمز کوتاه) ۱/۱-۶۵/۵۷
۷	۱۲	۳۰*۳۰	(مادون قرمز کوتاه) ۲/۲-۲۹/۱۱
۸	۱۲	۳۰*۳۰	(پانکروماتیک) ۰/۰-۶۸/۵۰
۹	۱۲	۳۰*۳۰	(ابره های سیروس) ۱/۱-۳۸/۳۶
۱۰	۱۲	۱۰۰*۱۰۰	(مادون قرمز حرارتی) ۱۱/۱۰-۱۹/۶
۱۱	۱۲	۱۰۰*۱۰۰	(مادون قرمز حرارتی) ۱۲/۱۱-۵۱/۵

با توجه به انحراف تصاویر خام ماهواره ای، مجموعه عملیاتی روی تصاویر به عنوان پیش پردازش تصاویر ماهواره ای انجام می شود. یکی از پردازش های مهمی که روی تصاویر ماهواره ای صورت می گیرد، حذف اعوجاج هندسی روی تصاویر است. در واقع، همواره لازم



است، پیکسل‌ها در موقعیت مسطحاتی دقیق خود قرار گیرند تا امکان استخراج کلیه اطلاعات هندسی مانند اندازه گیری‌های طول و مساحت فراهم شده و از تصاویر نهایی به عنوان یک لایه اطلاعاتی در سیستم‌های اطلاعات مکانی استفاده شود. تصحیحات هندسی با استفاده از نقاط کنترل زمینی انجام می‌شوند. همچنین به دلیل تفاوت در ویژگی سنجنده‌ها، شرایط جوی، زاویه خورشید و زاویه مشاهده سنسور، دستیابی به سازگاری رادیومتری در میان مجموعه داده‌های سنجش از دور مشکل است. این عوامل سبب بروز خطای رادیومتریکی می‌شود. تصحیحات رادیومتریکی سبب بهبود کیفیت رادیومتری تصاویر، افزایش وضوح و در نتیجه، افزایش اطلاعات قابل استخراج از تصاویر می‌شوند.

پس از انجام تصحیحات اولیه، جداسازی محدوده مطالعاتی از تصاویر و تبدیل مقادیر عددی تصاویر به مقادیر بازتابندگی انجام می‌گردد. تبدیل مقدار عددی تصاویر ماهواره‌ای به درجه بازتابندگی، یکی از روش‌های تصحیح رادیومتریکی تصاویر است که طی این مرحله، مقادیر عددی تصاویر ماهواره‌ای به عددهای بین صفر تا یک تبدیل می‌شوند. در صورتی که پارامترهای ضریب جابه‌جایی و افزایش مقدار تابش خورشید، ارتفاع خورشید و زمان اخذ تصویر در متادیتا موجود باشد، دسترسی به این مقدار عددی بازتابندگی امکان پذیر است. اخیراً تصاویر ماهواره لندست که در سایت USGS<sup>6</sup> برای دانلود در دسترس قرار می‌گیرد، تصحیحات رادیومتریکی و هندسی بر روی آنها انجام گرفته و مراحل تصحیحات برای استفاده راحت کاربر حذف گردیده است. با توجه به این مطلب، تصاویر ماهواره لندست ۸ نیز که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است، نیازی به تصحیحات هندسی و رادیومتریکی ندارد.

برای انجام کار، در محیط Google Earth Pro ابتدا Shape file ایستگاه‌های نمونه برداری، که شامل شش ایستگاه (گتوند، سوسن، عباسپور، ملاثانی، اهواز و فارسیات) از رودخانه کارون در بازه استان خوزستان، تهیه گردید. برای اینکه ایستگاه‌های هیدرومتری در محدوده پوشش آبی قرار گیرد، این ایستگاه‌ها به وسط رودخانه منتقل گردید و از آنجا که در اکثر نقاط نمونه برداری عرض رودخانه بیشتر از ۱۰۰ متر است، در نتیجه با توجه به ابعاد پیکسل تصاویر که ۳۰×۳۰ متر می‌باشد، عملاً ایستگاه‌های هیدرومتری در داخل محدوده آبی قرار می‌گیرند. در مرحله بعد Shape file این ایستگاه‌ها تهیه شده و در محیط نرم افزار ArcGis(ArcMap) بازخوانی شد. برای استفاده از عکس‌های ماهواره‌ای Landsat8، ابتدا در سایت USGS ثبت نام گردید و سپس با توجه به محدوده مورد نظر پروژه، برای دانلود عکس‌های مورد نیاز از مسیر Row=38, Path=165 که در محدوده ایستگاه‌های مذکور قرار می‌گیرد، استفاده گردید. درصد ابرناکی، زیر ۲۰ درصد انتخاب شده و تاریخ بازیابی عکس‌ها از ماهواره لندست ۸، از سال ۲۰۱۳ تا سال ۲۰۱۸ در نظر گرفته شد، تا محدوده زمانی آمار کیفیت آب رودخانه را در ایستگاه‌های مذکور، پوشش دهد. هر کدام از عکس‌ها حجمی در حدود ۱ گیگا بایت دارد و در نهایت حدود ۷۸ عکس از سایت USGS دانلود گردید. سپس عکس‌ها به ترتیب تاریخ برداشت پارامترهای کیفی که در ایستگاه‌های هیدرومتری انجام شده است، تطبیق داده شده و هر کدام از عکس‌ها جداگانه در محیط نرم افزار ArcGis10.8.2(ArcMap) فراخوانی شده و با استفاده از دستورات لازم، تصحیحات هندسی و رادیومتریکی روی آنها انجام می‌گیرد. سپس باندهای طیفی آنها در ایستگاه‌های شش گانه، استخراج گردیده و این اطلاعات در یک فایل Excell و با تاریخ عکس یاد شده، ذخیره می‌گردد. پس از استخراج باندهای طیفی هر کدام از عکس‌ها، برای هر کدام از ایستگاه‌ها به صورت جداگانه، باندهای طیفی استخراج شده در مقابل پارامترهای کیفی رودخانه قرار داده شده و برای هر کدام، فایلی تهیه می‌شود. مطابق توصیه USGS داده‌های باندهای برای اینکه در بازه صفر و یک قرار بگیرند (اعداد باندهای به صورت پیش فرض، اعداد بزرگی هستند) و به پرتوهای انعکاسی (Surface Reflectance) تبدیل شوند، باید از رابطه (۲) مربوط به Scale Factor از مجموعه Landsat8-Collection2-Level2 استفاده گردد (USGS, 2024).

$$SR = 0.0000275D - 0.2 \quad (2)$$

برای تحلیل آماری ارتباط بین باندهای طیفی و پارامترهای کیفی رودخانه در ایستگاه‌های مختلف، می‌توان از ضریب همبستگی (R) یا ضریب تعیین ( $R^2$ )، میزان خطای ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، خطای استاندارد (SE)، و میانگین خطای مطلق (MAE)، در روابط (۳) تا (۷) استفاده نمود. هر چه ضریب تعیین بالاتر و میزان خطا پایین‌تر باشد، نشان از مقبولیت ارتباط است.

<sup>6</sup> United States Geological Survey

$$R = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{((n \sum x^2 - (\sum x)^2)(n \sum y^2 - (\sum y)^2))}} \quad (3)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_{mean})^2}{n-1}} \quad (4)$$

$$SE = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (5)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{mean})^2}{n}} \quad (6)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - x_{mean}|}{n} \quad (7)$$

## نتایج و بحث

### برآورد پارامترهای کیفی با روش همبستگی چند متغیره خطی

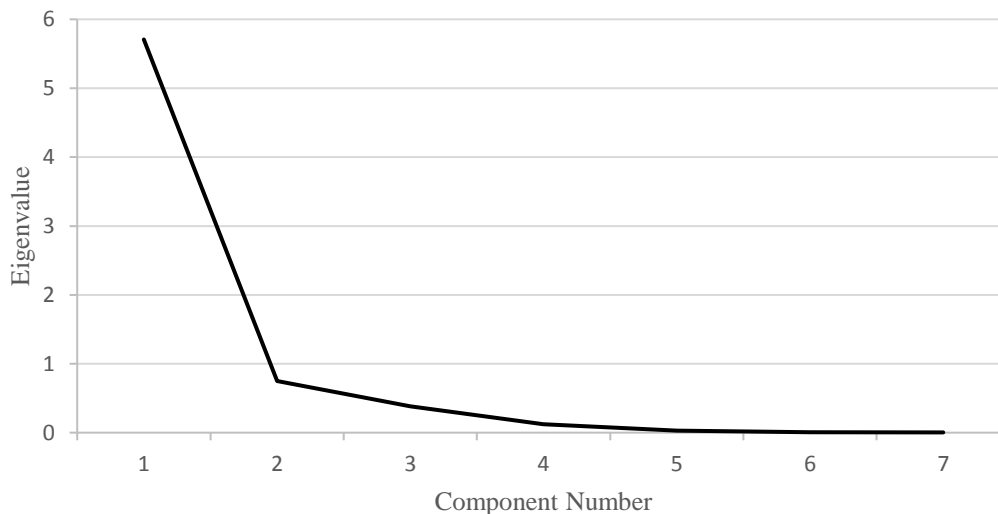
با استفاده از نرم افزار SPSS (IBM SPSS Statistics 26) و همبستگی چند متغیره خطی روابط بین باندهای انعکاس یافته و پارامترهای کیفی آب رودخانه در ایستگاه‌های یاد شده استخراج گردید. داده‌های استخراج شده از شش ایستگاه به دنبال هم آورده شده و در نهایت ۳۶۹ داده ایجاد گردید. در جدول (۶)، روابط بین پارامترهای کیفی رودخانه و باندهای طیفی انعکاس یافته آورده شده است. نتایج تحلیل آماری نشان داد که برآورد پارامترهای کیفی رودخانه با استفاده از همبستگی چند متغیره خطی می‌تواند نتایج مناسبی را ارائه نماید. در نهایت برای برآورد هر کدام از پارامترهای کیفی آب در آینده، می‌توان با استخراج باندهای طیفی عکس‌های ماهواره لندست، مقادیر این پارامترها را به دست آورد.

جدول ۶- برآورد پارامترهای کیفی رودخانه کارون با استفاده از رابطه همبستگی چند متغیره خطی

پارامترهای کیفی آب	رابطه
TDS	TDS=18358.383B <sub>1</sub> -35777.093B <sub>2</sub> +11498.857B <sub>3</sub> +4562.131B <sub>4</sub> -552.278B <sub>5</sub> +43.971B <sub>6</sub> -1128.717B <sub>7</sub> +921.620
EC	EC=27175.748B <sub>1</sub> -53630.513B <sub>2</sub> +17553.372B <sub>3</sub> +6873.433B <sub>4</sub> -866.367*B <sub>5</sub> -289.175B <sub>6</sub> -1315.435B <sub>7</sub> +1438.335
PH	PH=-1.559B <sub>1</sub> +1.083B <sub>2</sub> -1.90B <sub>3</sub> +1.341B <sub>4</sub> -1.145B <sub>5</sub> -2.104B <sub>6</sub> +2.695B <sub>7</sub> +7.578
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> =1.649B <sub>1</sub> -5.377B <sub>2</sub> +3.855B <sub>3</sub> +1.518B <sub>4</sub> -1.014B <sub>5</sub> +6.258B <sub>6</sub> -7.546B <sub>7</sub> +2.96
Cl <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup> =154.584B <sub>1</sub> -305.700B <sub>2</sub> +94.356B <sub>3</sub> +44.062B <sub>4</sub> -9.009B <sub>5</sub> -6.047B <sub>6</sub> +2.805B <sub>7</sub> +7.3
Na <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup> =158.327B <sub>1</sub> -321.196B <sub>2</sub> +102.970B <sub>3</sub> +48.355B <sub>4</sub> -10.917B <sub>5</sub> -6.619B <sub>6</sub> +2.909B <sub>7</sub> +6.992
SAR	SAR=59.453B <sub>1</sub> -118.679B <sub>2</sub> +33.245B <sub>3</sub> +21.649B <sub>4</sub> -6.042B <sub>5</sub> -3.912B <sub>6</sub> +5.367B <sub>7</sub> +3.42
NSFWQI	NSFWQI=0.76B <sub>1</sub> -0.15B <sub>2</sub> +0.049B <sub>3</sub> +0.019B <sub>4</sub> -0.002B <sub>5</sub> -0.001B <sub>6</sub> -0.004B <sub>7</sub> +238.828

### برآورد پارامترهای کیفی با روش تحلیل اجزای اصلی (PCA)

تحلیل اجزای اصلی (Principal Component Analysis) یا به اختصار PCA نامیده می‌شود. یکی از کاربردهای اصلی PCA در کاهش عوامل در تحلیل است. PCA اجزای اصلی را شناسایی کرده و کمک می‌کند تا به جای تحلیل تمامی ویژگی‌ها، یک سری از ویژگی‌ها که ارزش بیشتری دارند، تحلیل شوند. همانگونه که شکل (۲) نشان می‌دهد، اجزای ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب بیشترین تاثیر و در نهایت اجزای ۵، ۶ و ۷ کمترین تاثیر را در برآورد پارامترهای کیفی رودخانه دارند.



شکل ۲- نمودار تحلیل اجزای اصلی پارامترهای کیفی رودخانه کارون

در جدول (۷) روابط بین پارامترهای کیفی رودخانه و باندهایی که از روش کاهش اجزا (PCA) به دست آمده‌اند، با استفاده از همبستگی چند متغیره خطی ارائه گردیده است. این روابط نشان می‌دهند، بین این باندها و پارامترهای کیفی می‌توان روابط خوبی برقرار کرد تا در پیش بینی‌های آینده بتوان از این روابط استفاده نمود. نتایج نشان می‌دهد، روش PCA در برآورد پارامترهای کیفی هدایت الکتریکی (EC)، نسبت جذب سدیم (SAR)، بیکربنات ( $\text{HCO}_3^-$ )، کلر ( $\text{Cl}^-$ )، سدیم ( $\text{Na}^+$ ) و کل جامدات محلول (TDS) با  $\text{PCA}_3$  و پارامتر اسیدیته (pH) با  $\text{PCA}_4$  بیشترین ارتباط را دارد. لذا روش PCA به بهترین وجه می‌تواند، روابط بین پارامترها را به کمترین اجزای ممکن کاهش داده و رابطه ساده‌ای بین پارامترهای کیفی آب رودخانه و باندهای انعکاسی ایجاد نماید.

جدول ۷- رابطه پارامترهای کیفی رودخانه با باندهای حاصل از روش کاهش اجزا (PCA)

پارامترهای کیفی آب	رابطه
TDS	$\text{TDS}=229.566\text{FAC}_3+952.458$
EC	$\text{EC}=350.342\text{FAC}_3+1503.667$
PH	$\text{PH}=-0.03\text{FAC}_4+7.629$
$\text{HCO}_3^-$	$\text{HCO}_3^-=0.101\text{FAC}_3+3.221$
$\text{Cl}^-$	$\text{Cl}^-=1.967\text{FAC}_3+7.439$
$\text{Na}^+$	$\text{Na}^+=2.194\text{FAC}_3+7.509$
SAR	$\text{SAR}=0.816\text{FAC}_3+3.471$
NSFWQI	$\text{NSFWQI}=35.542\text{FAC}_3+154.277$

### مقایسه روش‌های برآورد پارامترهای کیفی آب

مقایسه شاخص‌های آماری در برآورد پارامترهای کیفی رودخانه کارون از دو روش کاهش اجزای اصلی (PCA) و همبستگی خطی چند متغیره در جدول (۸) آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد که روش کاهش اجزا (PCA)، به دلیل مقادیر ضریب تعیین پایین‌تر و میزان خطای بالاتر، روش مناسبی در برآورد پارامترهای کیفی رودخانه کارون نیست. تنها مزیت روش PCA نمایش یک رابطه خطی ساده و تک متغیره‌ای است که می‌توان بین پارامترهای کیفی آب رودخانه و اجزای اصلی آن برقرار نمود. در رابطه همبستگی خطی چند متغیره، میزان ضریب تعیین  $R^2$  برای هفت پارامتر کیفی آب در جدول (۸) به ترتیب ۰/۴۳، ۰/۰۹، ۰/۴۵، ۰/۴۶ و برای شاخص NSFQI برابر ۰/۴۶ محاسبه گردید. میزان خطای استاندارد برای هفت پارامتر به ترتیب

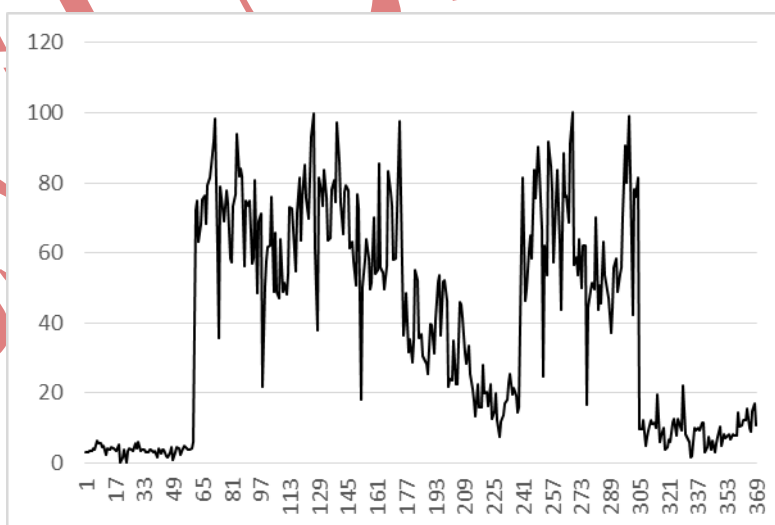
۳/۸۴، ۱/۴۳، ۰/۲۵، ۳/۵۸، ۰/۳۹، ۵۹۸/۷۰ و ۳۹۳/۸۷، و برای شاخص NSFQI برابر ۶۰/۷۳ است. نتایج نشان می‌دهد که همبستگی آماری برای دو پارامتر کیفی pH و  $\text{HCO}_3^-$  در سطح بسیار پائین است؛ ولی برای پنج پارامتر دیگر و شاخص عمومی NSFQI در حد متوسط می‌باشد. برآورد پارامترهای  $\text{Na}^+$ ، SAR،  $\text{Cl}^-$ ،  $\text{HCO}_3^-$ ، EC و TDS در سطح معنی‌دار قابل قبول بوده ( $P < 0.001$ )، ولی برای پارامتر pH، قابل قبول نمی‌باشد ( $P < 0.122$ ). مقادیر پائین ضریب همبستگی و خطای برآورد نسبتاً زیاد در این تحقیق در مطالعات مشابه (بطور مثال: گزارش مشیدی و جهانگیر، ۱۴۰۰) برای آب مخزن سد سیمره نیز گزارش شده؛ و میزان خطا نیز برای پارامترهای مختلف بسیار متفاوت بوده است.

جدول ۸- مقایسه آماری روش کاهش اجزا (PCA) و روش همبستگی خطی چند متغیره در برآورد پارامترهای کیفی رودخانه کارون

تحلیل آماری پارامترها		TDS	EC	pH	$\text{HCO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{Na}^+$	SAR	NSFWQI
روش همبستگی خطی چند متغیره	SE	۳۹۴/۸۷	۵۹۸/۷۰	۰/۲۵	۰/۳۹	۳/۵۸	۳/۴۸	۱/۴۳	۶۰/۷۳
	MAE	۴۷۹/۴۲	۷۳۰/۰۹	۰/۲۰	۰/۳۱	۴/۲۲	۴/۵۴	۱/۶۸	۲۷/۲۳
	RMSE	۵۲۹/۵۴	۸۰۲/۵۵	۰/۲۵	۰/۴۰	۴/۷۰	۵/۰۶	۱/۸۹	۳۹/۹۷
	R <sup>2</sup>	۰/۴۶	۰/۴۵	۰/۰۳	۰/۰۹	۰/۴۳	۰/۴۴	۰/۴۳	۰/۴۶
روش کاهش اجزا (PCA)	SE	۴۷۸/۶۴	۷۲۵/۳۶	۰/۲۵	۰/۳۹	۴/۲۸	۴/۵۸	۱/۷۱	۷۳/۵۸
	MAE	۵۸۲/۶۱	۸۷۷/۶۸	۰/۳۱۱	۰/۴۷	۵/۱۸	۵/۵۴	۲/۰۶	۸۹/۰۳
	RMSE	۶۴۱/۳۸	۹۷۱/۶۸	۰/۳۴۴	۰/۵۲	۵/۷۴	۶/۱۳	۲/۳۹	۹۸/۶۰
	R <sup>2</sup>	۰/۱۹	۰/۱۹	۰/۰۱۳	۰/۰۶	۰/۱۷	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۹

### ارزیابی شاخص NSFQI در طبقه بندی کیفی آب

در این بررسی، شاخص کیفی آب NSFQI با استفاده از هفت پارامتر مؤثر در کیفیت آب، با استفاده از رابطه (۱) و اطلاعات جدول‌های (۲) تا (۴) برای شش ایستگاه هیدرومتری رود کارون محاسبه گردید. شکل (۳) تغییرات عددی شاخص NSFQI را برای تعداد نزدیک به ۴۰۰ داده کیفی آب رودخانه کارون در دوره شش ساله (۱۳۹۲-۹۸) نشان می‌دهد.



شکل ۳- تغییرات شاخص کیفی NSFQI در سری داده های شش ساله (۹۸-۱۳۹۲) رودخانه کارون در دشت خوزستان

مقادیر عددی شاخص NSFQI با استفاده از رابطه (۸) نرمال سازی شد. سپس، در هر ایستگاه به طور جداگانه میانگین شاخص NSFQI در طول دوره آماری محاسبه گردید.

$$X_n = \frac{(X - X_{min})}{(X_{max} - X_{min})} \quad (۸)$$

با توجه به مقادیر عددی شاخص NSFQI، وضعیت کیفی آب رودخانه کارون در هر یک از شش ایستگاه هیدرومتری در جدول (۹) ارائه شده است. نتایج شاخص کیفی نشان از وضعیت نامناسب کیفیت آب رودخانه کارون در هر شش ایستگاه، در طول ۶ ساله داده برداری دارد.

جدول ۹- رده بندی کیفی آب رودخانه کارون بر اساس مقادیر شاخص NSFQI

نام ایستگاه	مقدار عددی شاخص NSFQI	وضعیت کیفی
دریاچه سد شهید عباسپور	۳/۶۶	بسیار بد
اهواز	۶۷/۰۳	متوسط
فارسیات	۶۹/۲۳	متوسط
گتوند	۲۸/۸۰	بسیار بد
ملائانی	۶۳/۶۷	بد
سوسن	۹/۰۷	بسیار بد

### نتیجه گیری و پیشنهادها

هدف اصلی این پژوهش ارزیابی ارتباط میان پارامترهای کیفی آب رودخانه کارون و باندهای طیفی انعکاس یافته از ماهواره لندست ۸ بوده است. از داده های هفت پارامترهای کیفی آب  $\text{Na}^+$ ، SAR، pH،  $\text{Cl}^-$ ،  $\text{HCO}_3^-$ ، EC و TDS در رودخانه کارون، از شش ایستگاه هیدرومتری عباسپور، اهواز، فارسیات، گتوند، ملائانی و سوسن در فاصله سال های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۸ استفاده شد. تصاویر ماهواره لندست ۸ در همان تاریخ برداشت پارامترهای کیفی رودخانه کارون با اختلاف کمتر از  $\pm ۱۰$  روز دانلود گردید که این زمان از لحاظ کیفیت رودخانه با توجه به بررسی ضریب تاثیر انعکاس باندها، تاثیری در نتایج ایجاد نکرده و با اطمینان می توان از انطباق زمانی پارامترهای کیفی رودخانه کارون و تصاویر دانلود شده از ماهواره لندست ۸ اطمینان حاصل نمود. از نرم افزار ARC GIS باندهای طیفی انعکاس یافته استخراج گردید. نتایج نشان می دهد که روش کاهش اجزا (PCA) در همبستگی و برآورد پارامترهای کیفی آب رودخانه کارون مناسب نیست. نتایج نشان داد که روش همبستگی خطی چند متغیره مناسب تر است. براساس برآورد مقادیر ضریب تعیین  $R^2$  و خطای استاندارد (SE)، همبستگی آماری برای روابط pH و  $\text{HCO}_3$  در سطح بسیار پائین است؛ ولی برای پنج پارامتر دیگر و شاخص NSFQI در حد متوسط می باشد.

وضعیت عمومی کیفیت آب رودخانه کارون با شاخص NSFQI نشانگر شرایط بسیار بد در ایستگاه عباسپور، متوسط در اهواز، متوسط در فارسیات، بسیار بد در گتوند، بد در ملائانی، و بسیار بد در ایستگاه سوسن است. ازاینرو، آب رودخانه کارون در امتداد دشت خوزستان کیفیت مناسبی ندارد.

بطور کلی، ارتباط میان باندهای استخراج شده از طریق ماهواره لندست ۸ با بیشتر پارامترهای کیفی رودخانه کارون وجود دارد، ولی برآورد دقیق و مطمئن از پارامترهای کیفی آب از لندست ۸، حتی برای رود بزرگی مانند رود کارون (در منطقه دشتی با عرض آبراهه بیش از ۱۰۰ متر) قابل انتظار نیست. از اینرو کاربرد این تصاویر در رودخانه های کوچک تر ایران توصیه نمی شود. برای بهبود رابطه همبستگی پیشنهاد می گردد که از تلفیق نتایج داده های استخراج شده از ماهواره لندست ۸ و ماهواره سنتینل ۲ استفاده گردد. همچنین برای افزایش داده ها و ارایه نتایج بهتر، به دلیل در دسترس بودن داده های پارامترهای کیفی ایستگاه های هیدرومتری رودخانه کارون از سال ۱۳۵۱، از



داده‌های ماهواره‌های هندست ۱ تا هندست ۹ نیز استفاده شود. همچنین برای تحلیل بیشتر همبستگی می‌توان از الگوریتم‌های پیشرفته‌تر با استفاده از ابزارهای هوش مصنوعی و یادگیری ماشین استفاده کرد، تا ارتباط بهینه بین پارامترها به دست آید.

## منابع

- پوراسحق، مهدی؛ ذاکرمشفق، محمد و عبده کلاه‌چی، عبدالنبی. (۱۳۹۵). تخمین شاخص کیفیت آب رودخانه دز با استفاده از تصاویر چند طیفی ماهواره هندست ۸. چهارمین کنگره بین‌المللی عمران و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی.
- رنگزن، کاظم؛ کابلی‌زاده، مصطفی و کریمی، دانا (۱۳۹۹). ارزیابی قابلیت تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ و هندست ۸ و تلفیق تصاویر در پهنه‌بندی فصلی شاخص‌های کیفی NSFQI و IRWQISC در آب‌های سطحی. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۳۱(۱)، ۱۰۲-۷۳.
- ساسان آقابابا، رضا؛ محمدنژاد، بایرامعلی و کاردان‌مقدم، حمید. (۱۳۹۸). پهنه‌بندی پارامترهای کیفی در رودخانه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به منظور پرورش آبزیان. اکوهیدرولوژی، ۶(۴)، ۱۰۹۷-۱۰۸۵.
- فرهادی، هادی و نجف‌زاده، محمد. (۱۴۰۰). ارائه روشی نوین در بهبود پایش فصلی دمای سطح آب رودخانه کارون با استفاده از تصاویر ماهواره هندست ۸. مهندسی عمران امیرکبیر، ۱۱(۵۳)، ۴۶۵۶-۴۶۳۹.
- کابلی‌زاده، مصطفی؛ رنگزن، کاظم؛ رشیدیان، محسن و دلفان، حسین. (۱۳۹۷). مدل سازی و پهنه‌بندی پارامترهای کیفیت آب با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ و هوش محاسباتی. سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۴(۱۰)، ۳۷-۲۱.
- مشیدی، ضحی و جهانگیر، محمدحسین. (۱۴۰۰). ارزیابی کیفی منابع آب سطحی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در مخزن سد سیمره. اکوهیدرولوژی، ۸(۴)، ۹۳۹-۹۲۵.
- میثاقی، فرهاد و دلگشا، فاطمه. (۱۳۹۴). معرفی و اصلاح شاخص‌های آسیب‌پذیری آب آبیاری. نشریه مدیریت آب در کشاورزی، ۲(۳)، ۶۴-۵۵.
- نوابیان، مریم؛ وظیفه‌دوست، مجید و اسمعیلی‌ورکی، مهدی. (۱۳۹۸). امکان‌سنجی پایش کیفی تالاب انزلی با استفاده از سنجش از دور. تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۰(۷)، ۱۸۲۴-۱۸۱۳.
- هوشمند، سارا و آگدرنژاد، اصلا. (۱۴۰۰). ارزیابی کیفیت آب رودخانه کارون بر اساس شاخص‌های NSFQI و IRWQISC و تعیین وزن پارامترهای موثر در این دو شاخص با آنالیز خوشه‌ای و تحلیل سلسله مراتبی. اکوبیولوژی تالاب، ۴۹(۱۳)، ۱۴-۱.

## REFERENCES

- Chu, H. J., Kong, S. J., & Chang, C. H. (2018). Spatio-temporal water quality mapping from satellite images using geographically and temporally weighted regression. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 65: 1-11.
- Dlamini, S., Nhapi, I., Gumindoga, W., Nhwatiwa, T., & Dube, T. (2016). Assessing the feasibility of integrating remote sensing and in-situ measurements in monitoring water quality status of Lake Chivero, Zimbabwe. *Physics and Chemistry of the Earth, parts A/B/C*, 93: 2-11.
- Farhadi, H., & Najafzadeh, M. (2021). Presenting a new method to improve the seasonal monitoring of the water surface temperature of the Karun River using Landsat 8 satellite images. *Amirkabir Civil Engineering*, 11(53), 4639-4656. (In Persian)
- Houshmand, S., & Eghdernejad, A. (2021). Evaluation of water quality of Karun river based on NSFQI and IRWQISC indicators and determining the weight of effective parameters in these two indicators with cluster analysis and hierarchical analysis. *Wetland Ecology*, 49 (13), 1-14. (In Persian)
- Jonnalagadda, S. B. & Mhere, G. (2001). Water quality of the Odzi River in the eastern highlands of Zimbabwe. *Journal of water resources*. 35:2371-2376.

- Kabolizadeh, M., Rangzan, K., Rashidian, M., & Delfan, H. (2018). Modeling and zoning of water quality parameters using Sentinel 2 satellite images and computational intelligence. *Remote Sensing and Geographic Information System in Natural Resources*, 4(10), 21-37. (In Persian)
- Mashidi, Z., & Jahangir, M. H. (2021). Qualitative assessment of surface water resources using satellite images in Seimare Dam Reservoir. *Ecohydrology*, 8(4), 925 -939. (In Persian)
- Misaghi, F., & Delgosha, F. (2015). Introduction and modification of indicators of vulnerability of irrigation water. *Journal of Water Management in Agriculture*, 2(3), 55-64. (In Persian)
- Musse, M. A., Barona, D. A., & Rodriguez, L. M. S. (2017). Urban environmental quality assessment using remote sensing and census data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 71: 95-108.
- Navabian, M., Vazifiedoust, M., & Esmaeili Varaki, M. (2019). Feasibility Study of Anzali Wetland Quality Monitoring Using Remote Sensing. *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 50(7): 1813-24. (In Persian)
- Nives, S.G. (1999). Water quality evaluation by index in Dalamatia. *Journal of water resources*. 33: 3423-3440.
- Poureshagh, M.; Zakermushfeq, M., & Abdohkolahchi, A. (2016). Estimation of Dez River water quality index using Landsat 8 multi-spectral images. 4th International Civil and Environmental Congress, Shahid Beheshti University. (In Persian)
- Rangzan, K., Kabolizadeh, M., & Karimi, D. (2020). Evaluation of the capabilities of Sentinel 2 and Landsat 8 satellite images and the integration of images in the seasonal zoning of NSFQI and IRWQIsc quality indicators in surface waters. *Environmental Geography and Planning*, 31(1), 73- 102. (In Persian)
- Sasan Aghababa, R., Mohammad Nejad, B., & Kardan Moghadam, H. (2019). Zoning of quality parameters in the river using satellite images for aquaculture. *Ecohydrology*, 6(4), 1085-1097. (In Persian)
- USGS (2024). United States Geological Survey (USGS). <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-collection-2-surface-reflectance>.
- Xiao, X., Jian, X., Xiongfei, W., Chengfang, H., Xuejun, C., Zhaohui, W., & Dengzhong, Z. (2015). Evaluation method of water quality for river based on multi-spectral remote sensing data, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XL-7/W3, 1517–1523.