



تحقیقات آب و خاک ایران | دوره ۵۳ | شماره ۲ | اردیبهشت ۱۴۰۱ (ص ۳۸۰-۳۶۷)

DOI: <https://dx.doi.org/10.22059/ijswr.2022.333148.669115>

(مقاله علمی - پژوهشی)

Evaluation of Karun River Water Quality Based on IRWQI and WAWQI Indicators in Molasani and Ahvaz Stations

KAMLE AGHAJANLOO^{*1}, EHSAN HAJIZADEH¹, SAHAR ARIAIEZADEH¹

1. Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Maragheh, Maragheh Iran.

(Received: Oct. 30, 2021- Revised: Feb. 2, 2022- Accepted: Feb. 14, 2022)

Abstract

River pollution due to various urban and industrial wastewater and agricultural effluents is a serious threat to human health and aquatic ecosystems. Therefore, surface water quality assessment is one of the main indicators of sustainable resource management. The present study was conducted to evaluate the water quality of Karun River (in Molasani and Ahvaz Stations) during 1397 using two indicators, IRWQI and WAWQI. Also, various physical, chemical and biological parameters of water were statistically analyzed. An examination of both indicators' value shows that the river situation in downstream is declining due to the entry of industrial wastewater, especially agro-industrial units, sugarcane factories and thermal power plants along the river. The results show that the river water quality according to WAWQI index in Malasani and Ahvaz stations is in poor and very poor category and according to IRWQI index is relatively poor. The WAWQI index related to Ahvaz station in May (85.89) and Molasani in July (49.04) is in the worst and best condition. Also, IRWQI index in the lowest and highest quality level is related to Ahvaz station in December (32.75) and Malasani station in July (42.51). Therefore, based on the results obtained from quality indicators, it can be concluded that the WAWQI index is slightly more conservative in classifying water quality than the IRWQI index. Also, due to the high values of fecal coliform parameters, TDS and turbidity in both stations, water is not suitable for any of the drinking, agricultural and aquatic ecosystem uses. The statistical analysis the sum of anions and cations with 0.46% and fecal coliform with 24.14% have the lowest and highest portion in WAWQI, respectively. This study shows that TDS in river shows a strong correlation with sodium and chlorine.

Keywords: River, IRWQI Index, WAWQI Index, Correlation Analysis.

ارزیابی کیفیت آب رودخانه کارون بر پایه شاخص های IRWQI و WAWQI در دو ایستگاه ملاتانی و اهواز

کامله آقاجانلو^{۱*}، احسان حاجی زاده^۱، سحر آریایی زاده^۱

۱. گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۸/۸ - تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۱/۱۲ - تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۱۱/۲۵)

چکیده

آلودگی رودخانه‌ها با انواع فاضلاب‌های شهری، صنعتی و پساب‌های کشاورزی تهدیدی جدی برای سلامت انسان و اکوسیستم‌های آبی به شمار می‌رود؛ بنابراین ارزیابی کیفیت آب‌های سطحی یکی از شاخص‌های اصلی مدیریت پایدار منابع است. تحقیق حاضر به منظور بررسی کیفیت آب رودخانه کارون (در ایستگاه‌های ملاتانی و اهواز) در طول سال ۱۳۹۷ با استفاده از دو شاخص IRWQI و WAWQI صورت گرفت. همچنین انواع پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آب مورد بررسی‌های آماری قرار گرفتند. بررسی مقدار هر دو شاخص نشان می‌دهد که وضعیت رودخانه به سمت پایین دست به دلیل ورود فاضلاب‌های صنعتی به ویژه واحدهای کشت و صنعت، کارخانه‌های نیشکر و نیروگاه‌های حرارتی حاشیه رودخانه افت می‌کند. نتایج تحقیق بیانگر آن هستند که کیفیت آب رودخانه بر اساس شاخص WAWQI در ایستگاه ملاتانی و اهواز به ترتیب در رده کیفی ضعیف و خیلی ضعیف و بر اساس شاخص IRWQI در رده کیفی به نسبت بد قرار می‌گیرد. میزان شاخص WAWQI در بدترین و بهترین وضعیت مربوط به ماه اردیبهشت ایستگاه اهواز (۸۵/۸۹) و ماه تیر ایستگاه ملاتانی (۴۹/۰۴) می‌باشد. همچنین میزان شاخص IRWQI در پایین ترین و بالاترین سطح کیفی مربوط به ماه آذر ایستگاه اهواز (۳۲/۷۵) و ماه تیر ایستگاه ملاتانی (۴۲/۵۱) می‌باشد؛ بنابراین با استناد به نتایج به دست آمده از شاخص‌های کیفی می‌توان گفت شاخص WAWQI در رده بندی کیفی آب کمی محافظه کارانه تر از شاخص IRWQI عمل می‌کند. همچنین به دلیل مقادیر بالای پارامترهای کلیفرم مدفوعی، TDS و کدورت در هر دو ایستگاه، آب رودخانه برای هیچ یک از کاربری‌های شرب، کشاورزی و حفظ اکوسیستم آبی مناسب نمی‌باشند. تجزیه و تحلیل‌های آماری نشان می‌دهد مجموع آنیون‌ها و کاتیون‌ها با ۰/۴۶ درصد و کلیفرم مدفوعی با ۲۴/۱۴ درصد به ترتیب کمترین و بیشترین سهم در میزان WAWQI دارند. این پژوهش مبین آن است TDS آب رودخانه همبستگی قوی با Na و Cl نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: رودخانه، شاخص IRWQI، شاخص WAWQI، تحلیل همبستگی.

مقدمه

۲۰۱۶؛ Naderi et al., 2020؛ Akhtar et al., 2021). از دهه ۱۹۶۰ که اولین مدل در این زمینه بر اساس ده پارامتر کیفیت آب ارائه شد (Horton, 1965) تاکنون تعداد زیادی از شاخص‌های کیفی توسط محققین و/یا سازمان‌های مختلف برای ارزیابی کیفیت آب های سطحی در سراسر جهان معرفی شدند. WAWQI یکی از این شاخص‌ها می‌باشد که بدون محدودیت در تعداد پارامترها با وزن دهی بر اساس درجه خلوص، مقدار نهایی شاخص را تعیین می‌کند (Brown et al., 1972). (Bouslah et al., 2017). WAWQI را برای ارزیابی کیفیت سد Koudiat Medouar در الجزایر انتخاب نمودند. در تحقیق ایشان ۱۰ پارامتر فیزیکوشیمیایی شامل pH، هدایت الکتریکی، سختی کل، نترات، سولفات، کلرید، کلسیم، منیزیم، اکسیژن محلول و کدورت به کار گرفته شدند. در نهایت کیفیت آب مخزن سد برای آشامیدن نامناسب تشخیص داده شد. (Chandra et al., 2017) کیفیت آب

حفظ کیفیت آب رودخانه‌ها نقش مهمی در توسعه اقتصادی - اجتماعی جوامع و نیز حیات و بقای بسیاری از اکوسیستم‌ها ایفا می‌کند (Alcamo, 2019). توسعه شهرها و روستاها و عدم توجه به حفظ حریم رودخانه‌ها در کنار عواملی همچون تغییرات اقلیمی، کیفیت آب این محیط‌ها را به شدت مورد تهدید قرار می‌دهند (Dong et al., 2010؛ Wang et al., 2014). ارزیابی و نظارت منظم پارامترهای کیفی آب رودخانه‌ها نقش مهمی در مدیریت پایدار آنها ایفا می‌کند (Nguyen et al., 2019). شاخص‌های کیفیت آب (WQI) یکی از ابزارهای کارآمد و مؤثر جهت ارزیابی کیفی آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌باشند. این شاخص‌ها با معرفی توابع تجمعی، طیف وسیعی از پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی را به یک مقدار واحد جهت رده بندی کیفیت توده آبی تبدیل می‌کنند (Sutadian et al.,

به‌عنوان نمونه می‌توان به مطالعات (Sadeghi et al. 2015) برای ارزیابی کیفیت آب رودخانه زرین‌گل استان گلستان با استفاده از دو شاخص NSFQI و IRWQI (Alizadeh et al. 2017) به‌منظور ارزیابی کیفیت آب رودخانه‌های کرج و کن با شاخص‌های NSFQI، IRWQI و WQI (Shokoohi and Modaberi 2019) برای ارزیابی کیفیت رودخانه پسیخان با آنالیز حساسیت دو شاخص NSFQI و IRWQI (Khalili et al. 2020) به‌منظور بررسی کیفیت آب رودخانه گرمارود با سه شاخص NSFQI، RPI و WAWQI (Shokoohi and Bahmani 2021) به‌منظور ارزیابی کیفیت آب رودخانه‌های کارون، کرخه، دز، مارون جراحی و زهره هندیجان با به‌کارگیری دو شاخص NSFQI و IRWQISC اشاره نمود. نتایج تحقیقات صورت‌گرفته پیشین مبین آن است که بسته به پارامترهای مورد‌استفاده در هر شاخص و تغییرات غلظت آلاینده‌ها نتایج رده‌بندی می‌تواند تا حدودی متفاوت باشند. به‌عنوان نمونه در تحقیقات (Shokoohi and Bahmani 2021) به ارزیابی کیفی رودخانه‌های استان خوزستان در سال‌های ۱۳۹۶-۱۳۹۰ کیفیت آب کارون در دو ایستگاه ملاتانی و اهواز با شاخص IRWQI در رده به نسبت بد و با شاخص NSFQI در رده متوسط قرار می‌گیرد.

به دلیل اختلاف در نتایج شاخص‌های ارزیابی کیفیت آب، به نظر می‌رسد استفاده از چندین شاخص کیفی دید بهتر و جامع‌تری از شرایط کیفی آب ارائه می‌دهد و درنهایت می‌توان ارزیابی جامع‌تری از آن ارائه داد. بر همین اساس در تحقیق حاضر از میان انواع شاخص‌های ذکر شده، شاخص کیفیت آب وزنی حسابی (WAWQI) به دلیل عدم محدودیت در انتخاب پارامترها و شاخص کیفیت آب ایران (IRWQI) به دلیل همخوانی با وضعیت کیفیت منابع آب ایران برای ارزیابی کیفی آب رودخانه کارون انتخاب شدند. در این تحقیق هدف ارزیابی کیفیت رودخانه کارون در دو ایستگاه ملاتانی و اهواز در فاصله تقریبی ۶۰ کیلومتر می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

رودخانه کارون یکی از مهم‌ترین منابع آبی استان خوزستان به شمار می‌رود که حفظ کیفیت آن از نظر تأمین آب شرب و کشاورزی و حفظ اکوسیستم طبیعی اهمیت ویژه‌ای دارد. این رودخانه که از رشته‌کوه زاگرس و زردکوه بختیاری در استان چهارمحال و بختیاری سرچشمه می‌گیرد، پس از عبور از میانه شهر اهواز درنهایت به خلیج فارس می‌ریزد (شکل ۱). در سال‌های اخیر

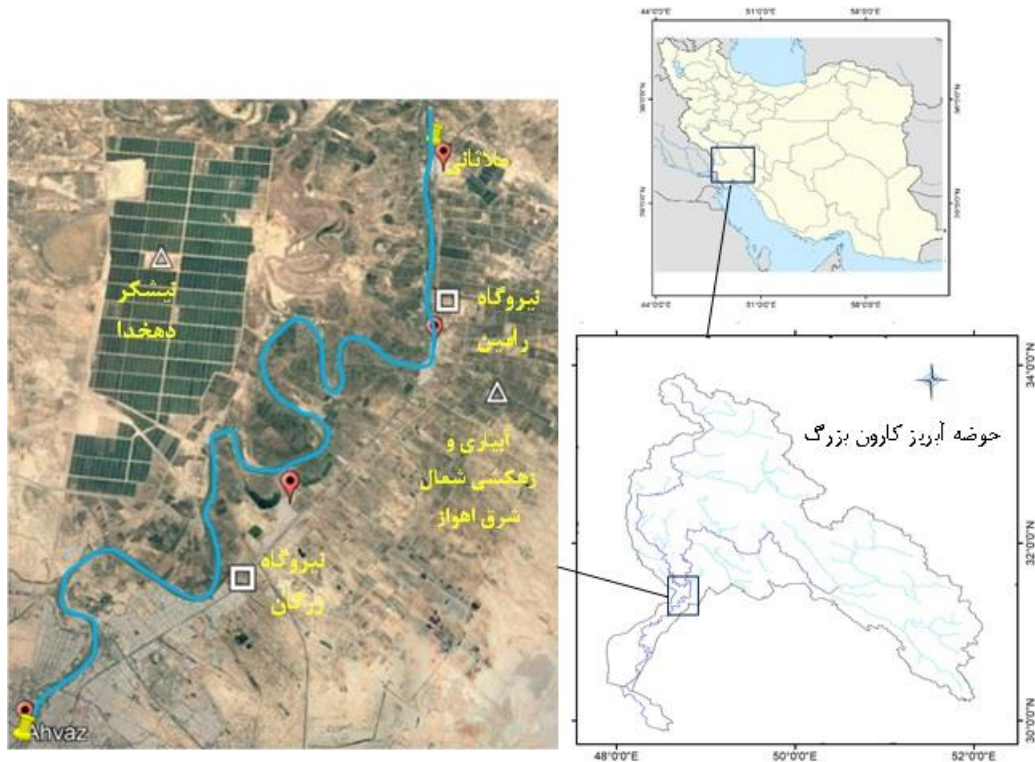
رودخانه Vijayawada را با به‌کارگیری شاخص WAWQI مورد مطالعه قرار داد. ایشان کیفیت آب رودخانه را در شرایط پیش از مانسون در اغلب ایستگاه‌ها مناسب تشخیص دادند. درحالی‌که پس از مانسون میزان آلودگی‌ها بالاتر از حد استاندارد بود و در نتیجه در تمامی ایستگاه‌ها کیفیت آب برای آشامیدن نامناسب اعلام شد. (Tokatli 2019) در ارزیابی کیفیت آب رودخانه ارژن در ترکیه با استفاده از شاخص WAWQI اعلام کرد این رودخانه به دلیل غلظت بالای عناصر فلزات سنگین یک اکوسیستم آب شیرین بسیار آلوده می‌باشد. (More et al. 2019) به مطالعه وضعیت کیفیت آب‌های سطحی با استفاده از شاخص‌های کیفیت آب آشامیدنی و تکنیک‌های توزیع فضایی با استفاده از GIS و تصاویر ماهواره‌ای در منطقه اراندول (هند) پرداختند. نتایج کار ایشان نشان‌دهنده کیفیت خوب آب منطقه است و تنها ۵٪ نمونه‌ها برای نوشیدن و پرورش ماهیان در فصل بارندگی‌های موسمی، زمستان و تابستان نامناسب تشخیص داده شدند.

در کشور ایران نیز به‌منظور لحاظ نمودن شرایط اقلیمی و با استناد به مهم‌ترین معضلات منابع آبی، شاخص کیفیت آب‌های سطحی ایران (IRWQI) ارائه گردید. محققین زیادی با به‌کارگیری این شاخص در مطالعات خود، قابلیت آن در ارزیابی کیفیت آب‌های سطحی را مورد بررسی قرار دادند. Samadi (2016) با استفاده از شاخص IRWQI به ارزیابی مکانی و زمانی تأثیر پساب اراضی اطراف بر کیفیت آب تالاب چغاخور در استان چهارمحال و بختیاری پرداخت. نتایج نشان داد با وجود شرایط کیفی به نسبت خوب، به دلیل ترکیب رواناب مناطق مسکونی بخش جنوب شرقی تالاب با رواناب ناشی از بارندگی در فصول پرباران، کیفیت آب تالاب به سطح متوسط نزول می‌کند. Khalifa and Khoshnazar (2018) برای ارزیابی وضعیت کیفیت رودخانه زرینه‌رود از روش IRWQI استفاده نمودند و شاخص IRWQI را به دلیل استفاده از پارامتر EC و همچنین بهبود وزن‌دهی پارامترهای مربوط به فاضلاب خانگی بهتر از دیگر شاخص‌ها دانستند. (Aghaee et al. 2020) با بررسی کیفیت آب رودخانه چهل‌چای با شاخص IRWQI نشان دادند آب رودخانه در رده کیفی به نسبت خوب قرار دارد و با حرکت به سمت پایین‌دست و خروجی حوزه کیفیت آب کاهش می‌یابد. همچنین اعلام کردند بر اساس استانداردها، آب رودخانه برای کشاورزی مناسب و برای شرب نامناسب می‌باشد.

علاوه بر این مطالعات مقایسه‌ای متعددی برای ارزیابی قابلیت‌های انواع شاخص‌های کیفیت برای منابع آبی هر کشور انجام شد تا بر اساس حساس‌ترین و تأثیرگذارترین پارامترهای فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی آب، شاخص بهینه انتخاب گردد.

مانند ملاثانی، ویس، شیبان و اهواز در اطراف رودخانه و همچنین تخلیه پساب نیروگاه‌های رامین و شهید مدحج (زرگان اهواز)، کارخانه شکر اهواز، کشت و صنعت دهخدا، شبکه آبیاری و زهکشی شمال شرق اهواز موجب آلودگی شدید این رودخانه شده است.

رود زهاب صنایع حاشیه رودخانه به‌ویژه صنایع کشت و صنعت و مواد غذایی، پساب کشاورزی و شهری و همچنین خروجی واحدهای پرورش ماهی در اطراف رودخانه، آلودگی شدید آن را موجب شده‌اند. مهم‌ترین منابع نقطه‌ای آلوده‌کننده رودخانه کارون در ایستگاه ملاثانی در بالادست تا ایستگاه اهواز در پایین‌دست در شکل (۱) نشان داده شده است. واقع شدن شهرهایی



شکل ۱- رودخانه کارون در محدوده ملاثانی و اهواز به‌عنوان محدوده مورد مطالعه

اهواز در سال ۱۳۹۷ آورده شده است. بر اساس این داده‌ها، ماه‌های اردیبهشت، آذر، دی، بهمن و اسفند با میانگین دبی ماهانه ۳۸۸ مترمکعب در ثانیه جزو ماه‌های پرآب سال و بقیه ماه‌ها با میانگین دبی ماهانه ۲۸۹ مترمکعب در ثانیه جزو ماه‌های کم‌آب سال محسوب می‌شوند.

به‌منظور بررسی کیفیت آب رودخانه کارون در ایستگاه‌های ملاثانی و اهواز، داده‌های هیدرومتری و پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آب در طول سال ۱۳۹۷ از سازمان آب و برق خوزستان دریافت گردید. این داده‌ها به‌صورت ماهانه (در اواسط ماه) در دو ایستگاه اندازه‌گیری شده بودند. در جدول (۱) میانگین ماهانه دبی رودخانه کارون برای دو ایستگاه ملاثانی و

جدول ۱- میانگین آبدبی ماهانه ایستگاه‌های هیدرومتری رودخانه کارون در سال ۱۳۹۷ (مترمکعب در ثانیه)

ایستگاه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
ملاثانی	۲۷۶	۳۸۹	۲۲۴	۳۱۰	۲۴۸	۲۷۱	۲۸۵	۳۰۳	۴۵۶	۳۰۷	۳۸۲	۴۴۱
اهواز	۲۶۱	۳۷۸	۲۰۲	۳۰۱	۲۵۸	۲۶۶	۲۶۶	۳۰۴	۳۹۹	۳۲۷	۳۷۵	۴۲۶

خلوص رده‌بندی می‌نماید. در این روش محدودیتی در انتخاب پارامترها وجود ندارد. برای محاسبه این شاخص از رابطه ۱ استفاده می‌شود که در آن N تعداد پارامترهای کیفی، W_i و Q_i به

شاخص کیفیت آب WAWQI

شاخص کیفیت آب میانگین حسابی (WAWQI) با استفاده از متداول‌ترین متغیرهای اندازه‌گیری شده، آب را بر اساس درجه

ترتیب وزن واحد و مقیاس درجه بندی کیفی برای هر پارامتر (رابطه ۲) می باشد (Brown et al., 1972):

$$Q_i = \frac{v_i - v_0}{S_i - v_0} \times 100$$

(رابطه ۱)

وزن واحد (W_i) برای هر پارامتر کیفیت آب با استفاده از رابطه ۳ محاسبه می شود که در آن K ثابت تناسب است.

$$W_i = \frac{K}{S_i} \quad ; \quad K = \frac{1}{\sum S_i}$$

پس از محاسبه مقدار شاخص WAWQI، رده بندی کیفی آب باتوجه به جدول (۲) انجام می شود.

$$WAWQI = \frac{\sum_{i=1}^N Q_i W_i}{\sum_{i=1}^N W_i}$$

مقیاس درجه بندی کیفیت آب از رابطه ۲ قابل محاسبه است که در آن v_i ، v_0 و S_i به ترتیب مقدار اندازه گیری شده، مقدار مطلوب و مقدار استاندارد اعلام شده برای پارامتر هستند. مقدار v_0 برای کلیه پارامترها صفر در نظر گرفته می شود، به جز pH و اکسیژن محلول (DO) که مقادیر آنها به ترتیب ۷ و ۱۴/۶ میلی گرم بر لیتر هستند (Tripaty and Sahu, 2005).

جدول ۲- رده بندی کیفیت آب در روش WAWQI (Brown et al., 1972)

مقدار شاخص عددی	رده بندی کیفی	هدف
۰ ~ ۲۵	کیفیت آب عالی	شرب، آبیاری و صنعت
۲۶ ~ ۵۰	کیفیت آب خوب	شرب، آبیاری و صنعت
۵۱ ~ ۷۵	کیفیت آب ضعیف	آبیاری و صنعت
۷۶ ~ ۱۰۰	کیفیت آب خیلی ضعیف	آبیاری
> ۱۰۰	نامناسب برای شرب و جمعیت آبریان	تصفیه مناسب قبل از استفاده مورد نیاز است

شاخص کیفیت آب IRWQI

(رابطه ۴)

$$IRWQI = \left[\prod_{i=1}^N I_i^{W_i} \right]^{\frac{1}{\gamma}} \quad ; \quad \gamma = \sum W_i$$

در رابطه فوق، W_i وزن پارامتر i ام (جدول ۳)، N تعداد پارامترها و I_i مقدار شاخص برای پارامتر i ام می باشند. در نهایت با استفاده از مقدار شاخص IRWQI و رده بندی ارائه شده در جدول (۲) می توان کیفیت آب را ارزیابی نمود.

این شاخص بر اساس متداول ترین پارامترهای کیفیت منابع آب سطحی ایران و از طرف سازمان حفاظت محیط زیست ایران ارائه شده است. در این روش وزن نسبی پارامترهای فیزیکی و شیمیایی مطابق جدول (۳) تعیین می شود. پس از تعیین وزن پارامترها، مقدار شاخص IRWQI با استفاده از رابطه (۴) محاسبه می شود (Hashemi et al., 2011):

جدول ۳- وزن نسبی پارامترهای فیزیکی و شیمیایی در روش IRWQI (Hashemi et al., 2011)

پارامتر	%DO	BOD	COD	pH	نیترات	آمونیم	کدورت	فسفات	سختی کل	EC	FC
وزن	۰/۰۹۷	۰/۱۱۷	۰/۰۹۳	۰/۰۵۱	۰/۱۰۸	۰/۰۹۰	۰/۰۶۲	۰/۰۸۷	۰/۰۵۹	۰/۰۹۶	۰/۱۴۰
		شاخص IRWQI				مقدار شاخص عددی		رده بندی کیفی			
						< ۱۵		خیلی بد			
						۱۵ ~ ۲۹/۹		بد			
						۳۰ ~ ۴۴/۹		به نسبت بد			
						۴۵ ~ ۵۵		متوسط			
						۵۵/۱ ~ ۷۰		به نسبت خوب			
						۷۰/۱ ~ ۸۵		خوب			
						> ۸۵		بسیار خوب			

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل داده ها در اکسل است که از آن برای تجزیه و تحلیل های چندمتغیره، مانند تحلیل همبستگی و رگرسیون، در زمینه های مختلف مهندسی و علوم استفاده می شود (Khosravi Fard et al., 2016). تجزیه و تحلیل همبستگی وجود رابطه بین دو متغیر

برای بررسی رابطه بین پارامترهای مختلف کیفیت آب از تجزیه و تحلیل همبستگی و رگرسیون چندگانه با استفاده از نرم افزار XLSAT استفاده شد. این نرم افزار یک افزونه قدرتمند

فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آب تأثیرگذار است (Kannel et al., 2007). یکی از مهم‌ترین آنها، کاهش انحلال‌پذیری گازها با افزایش دمای آب می‌باشد (Iyasele et al., 2015). دمای آب تا حد زیادی به دمای هوای محیط بستگی دارد اما اختلاف دمایی زیاد می‌تواند نشان‌دهنده انواع آلودگی‌های آب باشد (Briciu et al., 2020). میانگین دمای ایستگاه‌های ملاثانی و اهواز به ترتیب ۲۱/۱۰ و ۲۳/۴۳ درجه سانتیگراد می‌باشد که افزایش قابل‌توجهی را در مسیر حرکت رودخانه به سمت پایین‌دست نشان می‌دهد. بررسی آماری این پارامتر تأییدکننده اختلاف معنادار دما میان دو ایستگاه بالادست و پایین‌دست است ($p < 0.01$). تخلیه پساب نیروگاه‌های سیکل ترکیبی رامین و زرگان اهواز واقع در نزدیکی رودخانه می‌تواند مهم‌ترین عامل این اختلاف دمایی محسوب شود. (Rosen et al., 2015) در بررسی اثر آلودگی حرارتی ناشی از سه نیروگاه حرارتی در کنار رودخانه Jiu در رومانی دریافتند اگر در نیروگاه‌های حرارتی سیستم به شکل مدار باز (بدون چرخش مجدد آب در سیستم خنک‌کننده) و با ظرفیت کامل کار کند، آسیب‌های وارده به اکوسیستم‌های آبی می‌تواند قابل‌توجه باشد. مطابق با نتایج محاسبات ثبت شده در جداول (۵) و (۶) دما و دبی همبستگی معنادار منفی (میانگین دو ایستگاه $r = -0.68$) و دمای آب و DO همبستگی مثبت (میانگین دو ایستگاه $r = 0.70$) دارند.

نتایج این تحقیق نشان داد میانگین مقدار کدورت ایستگاه‌های ملاثانی و اهواز به ترتیب ۱۲۴/۸۵ و ۲۳۷/۵۶ NTU می‌باشد که بیانگر افزایش شدید کدورت در مسیر رودخانه به سمت پایین‌دست می‌باشد. این میزان کدورت آب تفاوت قابل‌توجهی با استانداردهای آب آشامیدنی، کشاورزی و بقای اکوسیستم آبی دارد و برای کلیه مصارف آب غیرقابل‌استفاده می‌باشد. همچنین بررسی‌ها نشان داد که در ماه‌های پرباران و همراه با افزایش دبی رودخانه، میزان کدورت آب افزایش چشم‌گیری داشته است. این امر با شسته شدن خاک در اثر جاری شدن رواناب در سطح حوضه و هدایت آنها به رودخانه و نیز برهم‌خوردن رسوبات مجرا در اثر افزایش تلاطم آب در مواقع پربابی رودخانه مرتبط می‌باشد (Naderi et al., 2020). همچنین بررسی‌های آماری نشان‌دهنده اختلاف معنادار میزان کدورت میان ایستگاه‌ها می‌باشد ($p < 0.05$).

و میزان این رابطه را تعیین می‌کند. تحلیل رگرسیون چندگانه رابطه بین متغیرهای مستقل و وابسته را بر اساس علت بیان می‌کند. در واقع این عمل با برازش بهترین خط و بررسی تأثیر دو یا چند متغیر مستقل بر یک متغیر وابسته انجام می‌شود. در تحقیق حاضر، برای تجزیه و تحلیل همبستگی، میزان خطی بودن دو متغیر از طریق ضریب همبستگی (r) با استفاده از تجزیه و تحلیل همبستگی اسپیرمن استخراج می‌گردد ($p < 0.05$). ضریب همبستگی به دست آمده در محدوده $+1 \sim -1$ متغیر است و فرض خطی بودن زمانی که مقدار r در بازه $+0.1 \sim -0.1$ باشد، نادیده گرفته می‌شود. هنگامی که ضریب همبستگی در محدوده $+0.3 \sim -0.3$ بود یک همبستگی خطی مثبت/منفی ضعیف، زمانی که در محدوده $+0.7 \sim -0.7$ باشد یک همبستگی خطی مثبت/منفی متوسط برقرار است. همچنین هنگامی که همبستگی خطی مثبت/منفی قوی وجود داشته باشد، r در محدوده $+0.7 \sim -0.7$ قرار دارد.

نتایج و بحث

ارزیابی داده‌های آلودگی و کیفیت آب

به منظور تعیین دقیق‌تر وضعیت کیفی آب رودخانه کارون، در ابتدا تجزیه و تحلیل آماری بر روی داده‌ها صورت پذیرفت. مقادیر میانگین و انحراف معیار متغیرهای اندازه‌گیری شده نمونه‌های آب رودخانه در ایستگاه‌های مورد مطالعه برای سال ۱۳۹۷ پس از کنترل صحت داده‌ها در جدول (۴) ارائه شده است. همچنین برای مقایسه پارامترها، مقادیر مجاز استاندارد برای کاربری‌های آشامیدنی، کشاورزی و حفظ اکوسیستم در جدول آورده شده‌اند. این مقادیر مجاز بر اساس استاندارد کیفیت آب‌های سطحی ایران (Iranian Water Quality Standard, 2016)، استاندارد آب آشامیدنی CCME (CCME, 2001)؛ استاندارد WHO (WHO, 2011) و استاندارد FAO (Ayers and Westcot, 1985) در جدول درج گردیده‌اند. علاوه بر این در جداول (۵) و (۶) ضریب همبستگی اسپیرمن میان متغیرها به ترتیب برای ایستگاه‌های ملاثانی و اهواز آورده شده‌اند. (r) دید خوبی در مورد روابط احتمالی بین متغیرهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آب می‌تواند ارائه کند (Barakat et al., 2016).

نتایج مطالعات نشان می‌دهند دمای آب بر بسیاری از



جدول ۶- ماتریس همبستگی بین میانگین پارامترهای کیفی آب در رودخانه کارون ایستگاه اهواز

pH	DO	COD	BOD	T	FColi	Hard	Ec	TDS	Tur	Q	
۰/۱۰	۰/۷۲	۰/۴۲	۰/۱۱	-۰/۷۱	-۰/۵۶	-۰/۵۶	-۰/۱۶	-۰/۱۲	۰/۶۱	۱/۰۰	Q
۰/۳۷	۰/۵۹	۰/۵۸	۰/۰۸	-۰/۶۲	-۰/۶۷	-۰/۳۴	-۰/۲۴	-۰/۲۵	۱/۰۰		Tur
-۰/۶۳	۰/۲۰	۰/۲۵	۰/۱۷	-۰/۱۱	۰/۲۱	۰/۶۱	۰/۹۹	۱/۰۰			TDS
-۰/۶۰	۰/۲۰	۰/۲۲	۰/۱۹	-۰/۰۹	۰/۲۰	۰/۶۴	۱/۰۰				Ec
-۰/۳۴	-۰/۳۴	-۰/۱۲	-۰/۰۸	۰/۴۳	۰/۶۰	۱/۰۰					TH
-۰/۱۹	-۰/۷۵	-۰/۵۵	-۰/۱۷	۰/۷۴	۱/۰۰						FColi
-۰/۰۹	-۰/۸۸	-۰/۵۳	-۰/۰۶	۱/۰۰							T
-۰/۵۲	۰/۲۸	-۰/۰۸	۱/۰۰								BOD
-۰/۱۸	۰/۳۹	۱/۰۰									COD
-۰/۰۵	۱/۰۰										DO
۱/۰۰											pH
NH ₄	NO ₂	PO ₄	NO ₃	K	Na	Mg	Ca	Cl	HCO ₃	SO ₄	
-۰/۴۳	-۰/۰۷	۰/۵۲	-۰/۱۷	-۰/۲۴	۰/۰۵	-۰/۶۹	-۰/۰۹	۰/۰۶	-۰/۴۵	-۰/۲۵	Q
-۰/۲۵	-۰/۱۷	۰/۵۷	-۰/۱۲	-۰/۲۲	-۰/۰۸	-۰/۶۳	۰/۱۲	-۰/۱۶	-۰/۱۶	-۰/۰۹	Tur
-۰/۱۵	-۰/۱۸	-۰/۳۰	۰/۲۹	۰/۳۱	۰/۹۵	۰/۴۶	۰/۵۱	۰/۷۸	۰/۳۶	۰/۶۷	TDS
-۰/۰۹	-۰/۱۵	-۰/۳۱	۰/۲۹	۰/۲۸	۰/۹۵	۰/۴۷	۰/۵۵	۰/۷۸	۰/۳۹	۰/۶۷	Ec
۰/۳۰	-۰/۲۴	-۰/۱۰	۰/۳۲	۰/۳۹	۰/۴۰	۰/۸۰	۰/۷۰	۰/۱۱	۰/۷۶	۰/۸۴	TH
۰/۲۰	-۰/۱۷	-۰/۱۰	-۰/۰۶	۰/۲۶	۰/۰۰	۰/۵۶	۰/۳۲	-۰/۱۲	۰/۴۸	۰/۳۵	FColi
۰/۴۴	-۰/۰۳	-۰/۳۶	۰/۰۴	۰/۳۳	-۰/۳۵	۰/۶۰	-۰/۰۱	-۰/۳۳	۰/۳۶	۰/۱۳	T
۰/۱۹	۰/۲۲	-۰/۱۷	۰/۱۰	-۰/۱۶	۰/۱۹	-۰/۱۹	۰/۳۴	۰/۳۷	-۰/۴۹	-۰/۰۳	BOD
-۰/۵۵	-۰/۴۷	-۰/۰۶	۰/۳۰	۰/۱۴	۰/۳۳	-۰/۱۰	-۰/۰۵	۰/۱۲	-۰/۱۲	۰/۳۵	COD
-۰/۱۹	۰/۲۰	۰/۲۹	۰/۰۵	-۰/۳۶	۰/۴۰	-۰/۵۹	۰/۱۴	۰/۴۴	-۰/۳۱	-۰/۱۵	DO
-۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۵۱	-۰/۶۲	-۰/۲۵	-۰/۵۲	-۰/۴۴	-۰/۲۹	-۰/۴۶	۰/۱۵	-۰/۴۹	pH
-۰/۱۱	-۰/۵۸	-۰/۱۴	۰/۳۷	۰/۴۰	۰/۴۹	۰/۶۸	۰/۶۷	۰/۱۱	۰/۴۷	۱/۰۰	SO ₄
۰/۳۹	-۰/۰۲	۰/۱۴	۰/۲۲	۰/۲۷	۰/۲۵	۰/۵۳	۰/۳۷	-۰/۰۱	۱/۰۰		HCO ₃
-۰/۱۶	۰/۲۲	-۰/۲۴	۰/۱۰	۰/۱۷	۰/۸۸	۰/۰۶	۰/۱۵	۱/۰۰			Cl
۰/۱۷	-۰/۲۷	۰/۱۹	۰/۰۵	-۰/۱۱	۰/۴۱	۰/۱۸	۱/۰۰				Ca
۰/۱۹	-۰/۱۹	-۰/۴۲	۰/۴۲	۰/۶۶	۰/۲۲	۱/۰۰					Mg
-۰/۲۱	-۰/۰۷	-۰/۲۱	۰/۲۴	۰/۱۷	۱/۰۰						Na
-۰/۲۳	-۰/۲۵	-۰/۰۲	۰/۱۱	۱/۰۰							K
۰/۴۵	۰/۳۲	-۰/۳۲	۱/۰۰								NO ₃
-۰/۰۴	۰/۰۴	۱/۰۰									PO ₄
۰/۶۹	۱/۰۰										NO ₂
۱/۰۰											NH ₄

باین وجود pH آب در محدوده مقادیر مجاز FAO برای کاربری کشاورزی می‌باشد.

بررسی مقادیر اندازه‌گیری شده BOD در هر دو ایستگاه ملاثانی و اهواز در طول سال ۱۳۹۷ نشان می‌دهد میانگین سالانه این ایستگاه‌ها به ترتیب ۲/۹۱ و ۳/۲۰ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد که هر دو کمتر از مقادیر مجاز استاندارد WHO، FAO و حفظ اکوسیستم آبیان هستند. یکی از دلایل افزایش BOD رودخانه‌ها در محدوده‌های شهری می‌تواند مربوط به تخلیه فاضلاب در آنها باشد (Gholizadeh and Heydari, 2020). همچنین، بررسی مقادیر اندازه‌گیری شده COD بیانگر تجاوز از مقادیر مجاز WHO (۱۰ میلی‌گرم در لیتر) در همه ماه‌های سال است و ایستگاه اهواز نسبت به ایستگاه ملاثانی افزایش ۱۷/۵ درصدی میانگین این

بررسی‌ها نشان می‌دهند pH نقش تعیین‌کننده‌ای در اغلب واکنش‌های شیمیایی و بیوشیمیایی آب دارد (Eliku and Leta, 2018). کاهش pH به دلایل مختلفی از جمله انواع فاضلاب‌های صنعتی و باران‌های اسیدی می‌تواند رخ دهد. از مهم‌ترین تبعات این کاهش، می‌توان به افزایش درصد یون‌های فلزی (به‌ویژه فلزات سنگین) و تغییر اکوسیستم و از بین رفتن تنوع آبیان اشاره نمود (Ortiz-Vera et al., 2018). میانگین سالانه pH در ایستگاه‌های ملاثانی و اهواز به ترتیب $7/56 \pm 0/05$ و $7/61 \pm 0/05$ بوده است؛ بنابراین آب رودخانه در محدوده قلیایی قرار دارد. بررسی‌ها نشان می‌دهد در اغلب ماه‌های سال pH رودخانه در ایستگاه اهواز بیشتر است که این می‌تواند به دلیل ورود رودخانه به منطقه شهری اهواز و ورود آلاینده‌ها از طریق فاضلاب‌های شهری و صنعتی باشد.

کیفیت آب و نشان دهنده انواع آلودگی‌ها مانند تخلیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی، پساب‌های کشاورزی به رودخانه‌ها می‌باشد. در واقع ورود فاضلاب‌های شهری و روستایی، پساب زمین‌های کشاورزی اطراف رودخانه و عبور از خاک‌های شور دشت خوزستان بر میزان TDS آب افزوده است. مقادیر بالای میزان همبستگی TDS در هر دو ایستگاه با Na و Cl تأییدکننده این موضوع می‌باشد. (Shaibur et al., 2021) در مطالعات خود در رودخانه‌های بنگلادش به دلیل TDS بالای ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر آب را مناسب آشامیدن ندانستند و افزودن مواد منعقدکننده جهت تصفیه را توصیه نمودند.

نتایج این مطالعه نشان داد مقادیر EC رودخانه کارون در هر دو ایستگاه به میزان قابل توجهی از مقادیر استاندارد آب آشامیدنی بالاتر است. مقادیر میانگین سالانه این پارامتر در ایستگاه‌های ملاثانی و اهواز به ترتیب ۲۱۳۹/۹۵ و ۲۲۹۰/۷۳ میکروزیمنس‌در سانتی‌متر می‌باشد. در واقع EC بیانگر غلظت مواد یونیزه شده در آب می‌باشد و در نتیجه ارتباط مستقیم با TDS و نیز کاهش کیفیت آب دارد (El-Amier et al., 2021). همچنین مقادیر EC ماه‌های مختلف بیانگر اختلاف معنادار این پارامتر در ایستگاه‌های بالادست و پایین‌دست است ($p < 0.01$). بررسی مقادیر اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد در هر دو ایستگاه در فصل تابستان EC بیشترین مقدار را در طول سال دارد که این به دلیل کاهش دبی رودخانه در فصل گرم و در نتیجه افزایش غلظت یون‌ها در آب می‌باشد (Fakouri et al., 2018). نتایج رگرسیون پیرسون نشان می‌دهد EC با TDS، Na و Cl بالاترین همبستگی مثبت به ترتیب (میانگین دو ایستگاه $r=0.99$)، (میانگین دو ایستگاه $r=0.95$) و (میانگین دو ایستگاه $r=0.84$) برقرار می‌کند. (Namdari and Hooshmandzadeh, 2019) زمین‌شناسی گچساران در بالادست رودخانه کارون را دلیل مقادیر بالای EC آب رودخانه کارون در ایستگاه ملاثانی دانستند. (Barakat et al., 2016) در تحقیقات خود سطح بالای EC در رودخانه Oum Er Rbia را با مقدار قابل توجه نمک محلول در چشمه‌های اصلی تأمین‌کننده رودخانه در بالادست و فعالیت‌های انسانی کشاورزی و خانگی در پایین‌دست مرتبط دانست.

تحلیل‌های آماری نشان داد مقادیر میانگین سالانه سختی کل (TH) در ایستگاه‌های ملاثانی و اهواز به ترتیب ۶۹۶/۶۱ و ۷۳۸/۸۸ میلی‌گرم در لیتر است. باتوجه‌به جدول (۴)، این مقادیر بیشتر از حد مجاز آبیاری FAO (۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) می‌باشد. مقادیر بیش از حد کلسیم و منیزیم می‌تواند موجب افزایش سختی آب گردد. مقادیر ضریب همبستگی TH با Ca و Mg در جداول ۵ و ۶ اثبات‌کننده این ارتباط است. رواناب در حین عبور

پارامتر را نشان می‌دهد. بررسی روند تغییرات COD دو ایستگاه ملاثانی و اهواز در طول سال ۱۳۹۷ نشان می‌دهد بیشترین مقدار COD در فصل بهار اندازه‌گیری شده است. وجود اراضی کشاورزی طرح و توسعه نیشکر دهخدا در مجاورت رودخانه کارون و برداشت محصولات در فصل بهار که موجب برهم‌خوردن خاک و در نتیجه ورود مواد آلی بیشتر به پهنه آبی کارون می‌شود را می‌توان دلیل این امر دانست. همچنین در فصل پاییز تا زمستان به سبب بارش‌های منطقه، فرسایش خاک و ورود رواناب‌های حاوی مواد آلی به رودخانه روند افزایشی دیده می‌شود. در مطالعاتی مشابه (Naderi et al., 2020) افزایش COD در رودخانه زیارت را ناشی از افزایش فعالیت‌های انسانی و کشاورزی در حاشیه رودخانه دانستند.

نتایج اندازه‌گیری‌های DO در هر دو ایستگاه نشان می‌دهد در تمام دوره مطالعاتی غلظت این پارامتر مقادیر مجاز استاندارد WHO و استاندارد آبیان را تأمین می‌نماید. باتوجه‌به حجم بالای آلودگی‌ها در رودخانه، تنها توجه به این مقدار هواگیری مناسب به دلیل سطح آزاد وسیع و دبی زیاد جریان می‌باشد. در تابستان به‌موجب کاهش دبی همراه با افزایش دمای هوا، مقدار DO به کمترین مقدار خود با میانگین کل ۵/۳۸ میلی‌گرم در لیتر می‌رسد. (Dong et al., 2010) مقادیر کم DO در تابستان را با فعالیت زیاد میکروارگانیسم‌هایی که به اکسیژن زیادی برای فعالیت‌های متابولیزه و تجزیه مواد آلی نیاز دارند مرتبط دانستند. همراه با سرد شدن هوا و افزایش بارندگی‌ها، DO به حد مطلوب‌تر (میانگین ۷/۹۴ میلی‌گرم در لیتر) می‌رسد. (Barakat et al., 2016) در مطالعات خود مقدار مطلوب اکسیژن محلول در رودخانه‌ها را ۱۰ میلی‌گرم در لیتر اعلام نمودند و بر اساس آن وضعیت رودخانه OumErRbia با DO حدود ۷ میلی‌گرم در لیتر را نامطلوب ارزیابی نمودند. ضریب همبستگی منفی DO با FC با مقدار میانگین ($r=-0.70$) در تحقیق حاضر مبین نقش باکتری‌های کلیفرم مدفوعی در مصرف اکسیژن می‌باشد.

مقادیر اندازه‌گیری شده TDS رودخانه کارون با میانگین سالانه به ترتیب ۱۳۶۸/۱۳ و ۱۴۶۴/۴۶ میلی‌گرم در لیتر در ایستگاه‌های ملاثانی و اهواز بسیار نزدیک به حد مجاز استاندارد آب آشامیدنی ایران قرار دارد و حتی در برخی ماه‌ها نیز تجاوز از این مقدار مشاهده می‌شود. همچنین باتوجه‌به جدول (۴) مقادیر TDS رودخانه کارون در هر دو ایستگاه و در همه ماه‌های سال از مقدار مجاز استاندارد آب کشاورزی و حفظ اکوسیستم آبی بالاتر می‌باشند. بررسی‌های آماری نشان می‌دهند اختلاف معناداری میان کل جامدات محلول در ایستگاه‌های مورد مطالعه وجود دارد (TDS به‌عنوان یکی از مهم‌ترین پارامترهای سنجش

et al (2020) می‌باشد. ایشان دلیل این امر را ورود آب دریا به رودخانه در اثر پایین آمدن سطح آب رودخانه کارون و نیز ساختار زمین‌شناسی منطقه دانستند. بیشترین غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها به ترتیب به صورت $Cl > SO_4 > HCO_3$ و $Na > Ca > Mg > K$ می‌باشد. در هیچ‌یک از مقادیر یون‌ها در طول سال روند خاصی مشاهده نشد. به دلیل افزایش مقادیر یون‌های کلسیم و منیزیم به سمت پایین‌دست رودخانه، افزایش سختی آب نیز بدیهی است.

شاخص IRWQI

پس از تحلیل‌های آماری ارزیابی کیفیت آب رودخانه با شاخص IRWQI انجام گرفت که در این مرحله از پارامترهای کدورت (Tur)، هدایت الکتریکی (EC)، سختی کل (TH)، کلیفرم مدفوعی (FC)، تقاضای بیوشیمیایی اکسیژن (BOD)، تقاضای شیمیایی اکسیژن (COD)، اکسیژن محلول (DO)، pH، آمونیم (NH_4)، نیترات (NO_3) و فسفات (PO_4) استفاده گردید. در شکل (۲) تغییرات شاخص IRWQI در طول سال ۱۳۹۷ برای ایستگاه‌های ملاتانی و اهواز آورده شده است. مقدار میانگین این شاخص در ایستگاه‌های ملاتانی و اهواز به ترتیب $35/3$ و $39/3$ به دست آمد که آب را در رده به نسبت بد قرار می‌دهد. مقادیر شاخص در ماه‌های مختلف نشان می‌دهد، بهترین کیفیت آب مربوط به ماه تیر ایستگاه ملاتانی با بالاترین میزان شاخص برابر $42/51$ و بدترین کیفیت مربوط به ماه آذر ایستگاه اهواز با کمترین میزان شاخص برابر $32/75$ می‌باشد. در تمام ماه‌های سال ۱۳۹۷ کاهش سطح کیفیت آب رودخانه کارون در ایستگاه پایین‌دست (اهواز) نسبت به ایستگاه بالادست (ملاتانی) مشهود است.

شاخص WAWQI

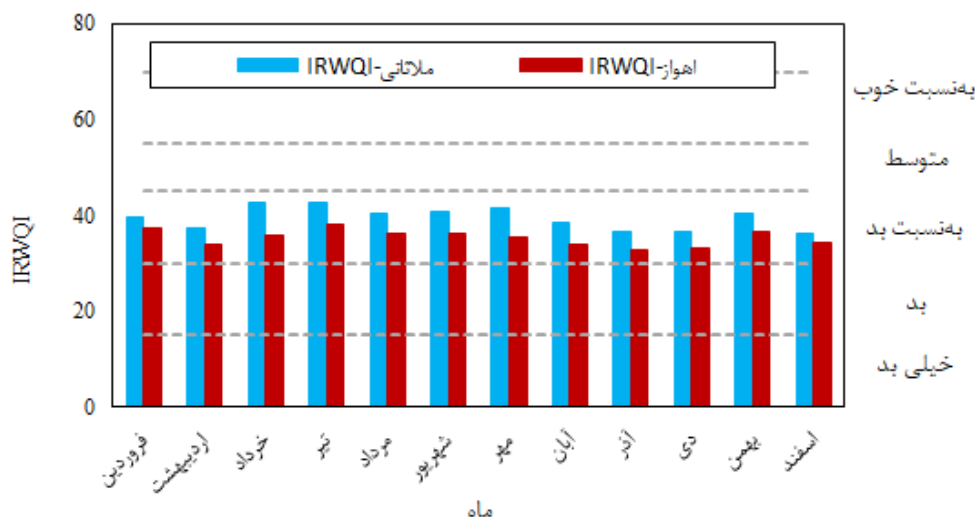
برای محاسبه شاخص WAWQI علاوه بر ۱۱ پارامتر مورد استفاده در روش IRWQI از مقادیر اندازه‌گیری شده یون‌های محلول در آب شامل سولفات (SO_4)، کربنات (HCO_3)، کلراید (Cl)، کلسیم (Ca)، منیزیم (Mg)، سدیم (Na)، پتاسیم (K)، نیتریت (NO_2) نیز استفاده گردید. در شکل (۳) تغییرات شاخص WAWQI در طول سال ۱۳۹۷ برای ایستگاه‌های ملاتانی و اهواز آورده شده است. باتوجه به شکل می‌توان دید در هر دو ایستگاه کیفیت آب در فصل بهار از نظر کیفی در سطح پایین‌تری قرار دارد به طوری که در ماه اردیبهشت میزان شاخص WAWQI برای ایستگاه ملاتانی و اهواز به ترتیب برابر $63/20$ و $83/55$ محاسبه گردید. بدین ترتیب کیفیت آب ایستگاه بالادست در شرایط ضعیف قرار می‌گیرد و با حرکت به سمت پایین‌دست رودخانه کیفیت آب به شرایط خیلی ضعیف نزول پیدا می‌کند. این شرایط مربوط به

از زمین‌های کشاورزی موجب شسته شدن کودهای شیمیایی می‌شوند و با هدایت این آب به سمت رودخانه‌ها نیز می‌توان افزایش سختی آب را انتظار داشت (Bellos and Sawidis, 2005). داده‌های جدول (۴) نشان می‌دهند که میانگین سالانه NO_3 در هر دو ایستگاه ملاتانی و اهواز کمتر از مقدار مجاز اعلام شده استاندارد WHO است. همچنین، اختلاف معناداری میان مقادیر این پارامتر بین ایستگاه‌ها وجود ندارد ($p > 0/05$). میانگین سالانه فسفات محلول رودخانه در دو ایستگاه ملاتانی و اهواز به ترتیب $0/038$ و $0/057$ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد که این مقادیر در محدوده مجاز استاندارد WHO قرار می‌گیرند. همچنین مقادیر فسفات ماه‌های مختلف بیانگر اختلاف معنادار میان مقادیر این پارامتر بین دو ایستگاه بالادست و پایین‌دست می‌باشد ($p < 0/01$). ورود مواد مغذی از آبراهه‌های حاشیه رودخانه به‌ویژه زمانی که این آب‌ها از طریق زهاب آلوده به کود زمین‌های کشاورزی آلوده شده باشند می‌توانند موجب افزایش ترکیبات نیترات و فسفات در پایین‌دست رودخانه شوند (Naderi et al., 2020).

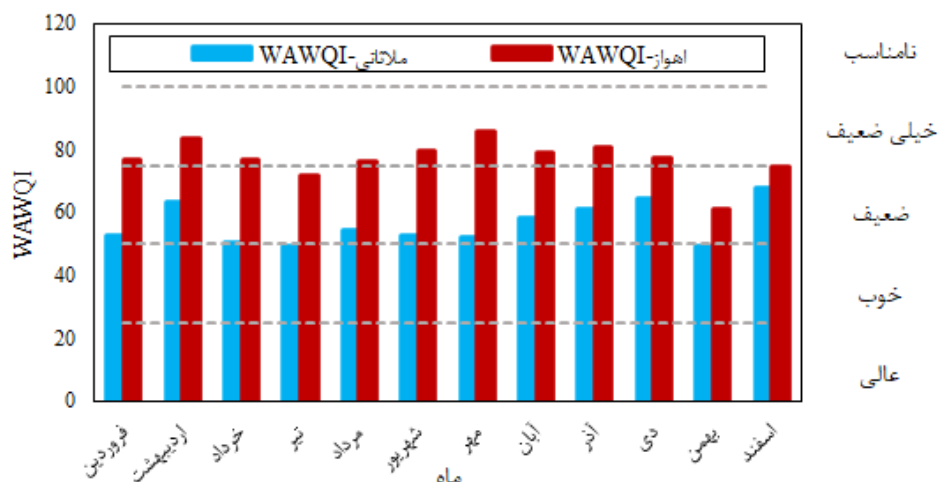
نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق نشان داد میانگین سالانه کلیفرم مدفوعی (FC) در رودخانه در هر دو ایستگاه بالاتر 11000 تعداد در صد میلی‌لیتر می‌باشد که بالاتر از مقادیر مجاز استانداردهای آب شرب و کشاورزی و حفظ اکوسیستم آبی قرار می‌گیرند. تحلیل‌های آماری نشان داد اختلاف معناداری میان مقادیر FC بین ایستگاه‌های بالادست و پایین‌دست وجود ندارد ($p > 0/05$). همچنین همبستگی منفی میان FC و DO (میانگین دو ایستگاه $r = -0/65$) دیده شد که ناشی از مصرف DO به دلیل تکثیر باکتری‌های کلی‌فرم می‌باشد (Seo et al., 2019). در طی بررسی‌های میدانی دیده شد که در طول بازه ملاتانی تا اهواز عوامل متعددی مانند ورود انواع فاضلاب‌های کنترل نشده، دفع غیربهداشتی زباله‌ها در حاشیه رودخانه، تجمع پرندگان و حیوانات در اطراف رودخانه و به احتمال زیاد ورود فضولات آنها به داخل رودخانه می‌تواند باعث آلودگی رودخانه گردد. در واقع، ورود آلاینده‌های غیر نقطه‌ای، مانند کود و مدفوع دام، توسط بارندگی می‌تواند منجر به افزایش باکتری‌ها در زمان افزایش دبی رودخانه شود (Seo et al., 2019). باتوجه به مقادیر بالای باکتری‌های کلیفرم مدفوعی در رودخانه کارون در محدوده مورد مطالعه و عبور رودخانه از میان مناطق روستایی و شهری احتمال انتقال انواع آلودگی‌ها به ساکنان حاشیه رودخانه وجود دارد؛ بنابراین انجام مطالعات دقیق‌تر در زمینه کنترل آلودگی ضروری به نظر می‌رسد. بررسی مقادیر سنجش شده آنیون‌ها و کاتیون‌ها نشان داد بالاترین میزان همبستگی مربوط به ارتباط TDS با Cl^- و Na^+ است. این نتیجه مطابق با نتایج به‌دست‌آمده توسط Mohaghegh

ایستگاه یک سطح بهبود کیفیت آب نسبت به بهار دیده می‌شود. مجدد در فصل پاییز کاهش کیفیت آب به‌ویژه در ایستگاه اهواز با بالاترین میزان شاخص ۸۵/۸۹ دیده می‌شود.

جریان‌های سیلابی، افزایش کدورت آب، استفاده از انواع کودهای حیوانی و شیمیایی در زمین‌های کشاورزی اطراف رودخانه و تخلیه فاضلاب‌ها می‌باشد. در فصل تابستان همراه با کاهش دبی رودخانه کیفیت آب وضعیت مناسب‌تری پیدا می‌کند و در هر دو



شکل ۲- تغییرات شاخص IRWQI در طول سال ۱۳۹۷ برای ایستگاه‌های ملاتانی و اهواز



شکل ۳- تغییرات شاخص WAWQI در طول سال ۱۳۹۷ برای ایستگاه‌های ملاتانی و اهواز

درصد بیشترین سهم از شاخص را به خود اختصاص دادند. قابل‌ذکر است که این مقادیر در ایستگاه‌های مختلف و ماه‌های مختلف بسته به مقادیر پارامترها و میزان تجاوز آنها از مقادیر مطلوب استانداردها متغیر می‌باشد. به‌طوری‌که در ایستگاه اهواز FC با سهم ۲۷/۵۹ درصدی و در ایستگاه ملاتانی کدورت با سهم ۲۲/۵۵ درصدی در رتبه‌های نخست قرار دارند. در مقابل در روش IRWQI شکل غیرخطی توابع مورد استفاده برای محاسبه زیر شاخص پارامترهایی مانند کلیفرم مدفوعی، هدایت الکتریکی و کدورت باعث می‌شود در مواقعی که غلظت آن بسیار بالا باشد مقدار زیر شاخص را کم‌ترین مقدار ممکن تقریب می‌زند و

مقایسه مقادیر دو شاخص IRWQI و WAWQI نشان‌دهنده اختلاف نتایج آنها می‌باشد. به‌طوری‌که شاخص WAWQI نسبت به دیگر شاخص، کیفیت آب رودخانه را در وضعیت وخیم‌تری رده‌بندی می‌کند. بررسی‌ها نشان می‌دهد سهم یون‌ها شامل سولفات، کربنات، کلراید، کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم در دو ایستگاه به طور میانگین تنها ۰/۴۶ درصد از کل مقدار شاخص WAWQI و مجموع سهم نیترات، نیتریت، آمونیوم و فسفات در دو ایستگاه به طور میانگین ۰/۵۰ درصد کل شاخص WAWQI می‌باشد. همچنین کلیفرم مدفوعی، کدورت و کل جامدات محلول به ترتیب با میانگین ۲۴/۱۴، ۲۱/۳۲ و ۱۸/۵۷

و شاخص WAWQI در رده ضعیف تا خیلی ضعیف قرار داده است. بدین ترتیب نتایج شاخص WAWQI محافظه کارانه تر از دیگر شاخص می باشد. بررسی ها نشان دادند در مورد رودخانه مورد مطالعه، سه پارامتر کلیفرم مدفوعی، کدورت و کل جامدات بیشترین سهم در تعیین شاخص WAWQI را دارند.

بر اساس نتایج مستخرج از تحقیق حاضر، کیفیت آب در ایستگاه بالادست (ملائانی) در وضعیت بهتری نسبت به ایستگاه پایین دست (اهواز) قرار دارد. به عبارتی با حرکت در طول رودخانه آلودگی آب افزایش داشته است.

نگران کننده ترین موضوع در زمینه آلاینده های رودخانه کارون مربوط به پارامتر کلیفرم مدفوعی است که مقدار آن فراتر از مقادیر مجاز استانداردهای آب های سطحی می باشد. با حرکت به سمت پایین دست در ایستگاه اهواز افزایش قابل ملاحظه ای داشته است. باتوجه به عبور رودخانه کارون از میان مناطق شهری و روستایی، این امر می تواند تهدیدی جدی برای بهداشت عمومی و سلامتی ساکنین اطراف رودخانه باشد. این آب به طور مستقیم به هیچ عنوان برای شرب، کشاورزی و دامپروری قابل استفاده نیست.

"هیچ گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

- Aghaee, M., Heshmatpoor, A., Mahmoodlu, M. and Seyedian, M. (2020). Investigation of Water Quality of Chehelchay River Using IRWQIsc Index. *Journal of Environmental Science and Technology*, 22(5), 153-166. (In Farsi)
- Akhtar, N., Ishak, M.I.S., Ahmad, M.I., Umar, K., Md Yusuff, M.S., Anees, M.T., Qadir, A. and Ali Almanasir, Y.K. (2021). Modification of the Water Quality Index (WQI) Process for Simple Calculation Using the Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) Method: A Review. *Water*, 13(905).
- Alcamo, J. (2019). Water quality and its interlinkages with the Sustainable Development Goals. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 36, 126-140.
- Ayers, R.S. and D.W. Westcot. 1985. Water quality for agriculture, 29. Rome: FAO.
- Barakat, A. El Baghdadia, M., Raisa, J., Aghezzaf, B. and Slassib, M. (2016). Assessment of Spatial and Seasonal Water Quality Variation of Oum Er Rbia River (Morocco) using Multivariate Statistical Techniques. *International Soil and Water Conservation Research*, 4, 284-292.
- Bellos, D. and Sawidis, T. (2005). Chemical Pollution Monitoring of the River Pinios (Thessalia—Greece). *Journal of Environmental Management*, 76, 282–292.
- Bouslah, S., Djemili, L. and Houichi, L. (2017). Water Quality Index Assessment of Koudiat Medouar Reservoir, Northeast Algeria using Weighted Arithmetic Index Method. *Journal of Water and Land Development*, 35 (X–XII), 221–228.
- Briciu, A.-E., Mihaila, D., Graur, A., Oprea, D.I., Prisacariu, A., Bistricean, P.I. (2020). Changes in the water temperature of rivers impacted by the urban heat island: Case study of Suceava city. *Water*, 12, 1343.
- Brown, R.M., McClelland, N.J., Deininger, R.A. and O'Connor, M.F. (1972). A Water Quality Index-Crossing the Psychological Barrier. Jenkis, S.H. In: Proceedings of *International Conference on Water Pollution Research*, Jerusalem, 6: 187-197.
- Canadian Council of Minister of the Environment (CCME). 2001. Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: CCME Water Quality Index 1.0, Technical report, Winnipeg MB, Canada.
- Chandra, D.S. and Asadi, S. (2017). Estimation of Water Quality Index by Weighted Arithmetic Water Quality Index Method: a Model Study. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 8(4), 1215-1222.
- Dong, J.D., Zhang, Y.Y., Zhang, S., Wang, Y.S., Yang, Z.H. and Wu M.L. (2010), Identification of Temporal and Spatial Iations of Water Quality in Sanya Bay, China by Three-Way Principal Component Analysis. *Environmental Earth Sciences*, 60. 1673– 1682.
- El-Amier, Y.A., Kotb, W.K., Bonanomi G., Fakhry, H. Marraiki, N.A. and Abd-ElGawad, A.M. (2021). Hydrochemical Assessment of the Irrigation Water Quality of the El-Salam Canal, Egypt, *Water*, 13(17), 2428.

به این ترتیب تأثیر آن کاهش می یابد. ازین رو می توان نتیجه گرفت در شرایطی که آب بسیار آلوده است به طوری که حداقل یکی از پارامترها به مقدار حدی تعریف شده در توابع زیر شاخص در IRWQI نزدیک باشد، این شاخص نمی تواند به تنهایی رده بندی مناسبی از آب ارائه کند. بر اساس نتایج به دست آمده در تحقیق حاضر، انجام مطالعات و استخراج ضرایب اصلاح شده برای شاخص کیفیت آب کشور ضروری به نظر می رسد. Shokoohi and Modaberi (2019) نیز در ارزیابی کیفیت آب رودخانه پسیخان با دو شاخص IRWQI و NSFQI پیشنهاد دادند ضرایب شاخص ملی ایران مورد مطالعه دقیق تر قرار بگیرد.

نتیجه گیری

در مطالعه حاضر شرایط کیفی رودخانه کارون در استان خوزستان در ایستگاه های ملائانی و اهواز با استفاده از دو شاخص کیفی IRWQI و WAWQI در سال ۱۳۹۷ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده مبین این امر بودند که در فصل بهار و پاییز هر دو ایستگاه پایین ترین شرایط کیفیت آب را تجربه می کنند. ارزیابی با شاخص IRWQI رودخانه را در رده کیفی به نسبت بد

- Eliku, T. and Leta, S. (2018). Spatial and Seasonal Variation in Physicochemical Parameters and Heavy Metals in Awash River, Ethiopia. *Applied Water Science*, 8, 177.
- Fakouri, B., Mazaheri, M. and Mohammad Vali Samani, J. (2018). Evaluation of Karun River Water Salinity Reduction Strategies Using Management Scenarios, *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, 50(2), 245-256. (In Farsi)
- Gholizadeh, M. and Heydari, O. (2020). Evaluation of Gorganrood river water quality based on surface water quality indicators in Gonbad Kavous., *Iranian Journal of Health and Environment*, 13(1), 33-48. (In Farsi)
- Hashemi, S.H., Farzampour, T., Ramezani, S. and Khoshro, Gh. (2011). Guideline for calculating the quality index of Iran's water resources. Iranian Department of Environment.
- Horton, R.K. (1965). An Index Number System for Rating Water Quality. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 37, 300-306.
- Iranian water quality standard (2016), Environmental Protection Organization.
- Iyasele, J. U., David, J. and Idiata, D. J. (2015). Investigation of the Relationship between Electrical Conductivity and Total Dissolved Solids for Mono-Valent, Di-Valent and TriValent Metal Compounds, *International Journal of Engineering Research and Reviews*, 3(1), 40-48.
- Kannel, P.R., Lee, S., Lee, Y.S., Kanel, S.R. and Khan, S.P. (2007). Application of Water Quality Indices and Dissolved Oxygen as Indicators for River Water Classification and Urban Impact Assessment, *Environmental Monitoring Assessment*, 132, 93-110.
- Khalifa, S. and Khoshnazar, A. (2018). Evaluation of Water Quality in Zarrineh-rood River Using the Standard Quality Index of Iran's Surface Water Resources. *Journal of Water and Wastewater Science and Engineering*, 3(1), 22-34. (In Farsi)
- Khalili R., Parvinnia M. and Zali A. (2020). Water quality assessment of Garmarood River using the national sanitation foundation water quality index (NSFWQI), river pollution index (RPI) and weighted arithmetic water quality index (WAWQI). *Environmental Water Engineering*, 6(3), 274-284. (In Farsi)
- Khosravi Fard, A., Vahabzadeh, G. and Gholami, L. (2016). The Study and Classification of Water Quality of Ghorbaghestan and Doab Merk Stations in Gharasoo River Basin. *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. Winter, 2 (4), 299-310. (In Farsi)
- Mohaghegh, A., Valikhan Anaraki, M. and Farzin, S. (2020). Modeling of qualitative parameters (Electrical conductivity and total dissolved solids) of Karun river at Mollasani, Ahvaz and Farsiat stations using data mining methods. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2020,13(1):103-22.
- More, G.B., Dandge, K.P. and Thorat, S.R. (2019). Spatial Distribution Analysis of Surface Water Quality Index Using Remote Sensing and GIS: A Case Study of Erandol (Maharashtra, India). *International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS*, [S.l.], v. 8, n. 1, p. pp. 3030-3046, July 2019. ISSN 2320-0243.
- Naderi, M.H., Pourgholam-Amiji, M., Khoshravesh, M., Ghoghghi, A. and Arab, N. (2020). Evaluation of Spatial-Temporal Comparisons of Water Quality Parameters and Health of Ziarat River using NSFQI Quality Index and Statistical Analysis, *Soil and Water Research* 51(6), 1353-1372. (In Farsi)
- Namdari, H. and Hooshmandzadeh, M. (2019). Trend and statistical analysis water quality of Karun River in Mollasani hydro station. *Wetland Ecobiology*., 11 (1), 5-22. (In Farsi)
- Nguyen, T.H., Helm, B., Hettiarachchi, H., Caucci, S. and Krebs, P. (2019). The Selection of Design Methods for River Water Quality Monitoring Networks: a Review. *Environmental Earth Sciences*, 78(3), 96.
- Ortiz-Vera, M.P., Olchanheski, L.R., da Silva, E.G., Lima, F.R., Martinez, L.R., Sato, M.I. and Jaffé, R. (2018). Influence of water quality on diversity and composition of fungal communities in a tropical river. *Scientific Reports*, 8, 14799.
- Rosen, M.A., Bulucea, C.A., Mastorakis, N.A., Bulucea, C.A, Jeles, C.A. and Brindusa, C.C. (2015). Evaluating the Thermal Pollution Caused by Wastewaters Discharged from a Chain of Coal-Fired Power Plants along a River. *Sustainability*, 7(5), 5920-5943.
- Sadeghi, M., Bay, A., Bay, N., Soflaei, N., Mehdinejad, M.H. and Mallah, K. (2015). The survey of Zarin-Gol River water quality in Golestan Province using NSF-WQI and IRWQISC. *Journal of Health in the Field*, 3 (3), 27-33. (In Farsi)
- Samadi, J. (2016). Survey of Spatial-Temporal Impact of Quantitative and Qualitative of Land Use Wastewaters on Choghakhor Wetland Pollution Using IRWQI Index and Statistical Methods. *Iran-Water Resources Research*, 11(3), 159-171. (In Farsi)
- Shaibur, M.R., Parvin, S., Ahmmmed, I., Rahaman, H., KumarDas, T. and Sarwar, S., (2021), Gradients of salinity in water sources of Batiaghata, Dacope and Koyra Upazila of coastal Khulna district, Bangladesh, *Environmental Challenges*, 4, 100152
- Shokoohi, A. and Modaberi, H. (2019). Evaluating and Comparing the Sensitivity of NSFQI and IRWQISC Models to Water Quality Parameters. *Iran-Water Resources Research*, 14 (5) 109-124. (In Farsi)
- Shokoohi, A. and Bahmani, A. (2021). Comparative Study of NSFQI and IRWQISC Indicators in River Quality Assessment. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 10 (3), 97-114. (In Farsi)
- Seo, M., Lee, H., Kim, T. (2019), Relationship between Coliform Bacteria and Water Quality Factors at



- Weir Stations in the Nakdong River, South Korea, *Water*, 11(6), 1171.
- Sutadian, A.D., Muttill, N., Yilmaz, A.G. and Perera, B.J.C. (2016). Development of river water quality indices—a review. *Environmental monitoring and assessment*, 188(1), 58.
- Tokatli C. (2019). Drinking Water Quality Assessment of Ergene River Basin (Turkey) by Water Quality Index: Essential and Toxic Elements. *Jornal of Sains Malaysiana*, 48(10), 2071–2081.
- Tripaty, J.K. and Sahu, K.C. (2005). Seasonal Hydrochemistry of Groundwater in the Barrier Spit System of the Chilika Lagoon, *Indian Journal of Environmental Hydrology*. 13, 1–9.
- Wang, G., Xu, Z. and Zhang, S. (2014). The Influence of Land Use Patterns on Water Quality at Multiple Spatial Scales in a River System. *Hydrological Processes*. 28 (20), 5259–5272.
- WHO. (2011). Guidelines for drinking-water quality, 4th Edition World Health Organization.