مقـالـه پـژوهشي

هیدروژئومورفولوژی، شماره‌ی 34، سال دهم، بهار 1402، صص 31-1

Hydrogeomorphology, Vol. 10, No. 34, Spring 2023, pp (1-31)
CC BY-NC

ارزيابي جامع كيفيت آب‌هاي سطحي و تناسب آنها براي مصارف شرب و آبياري
مطالعه موردي حوضه رودخانه كارون و دز

علیرضا ایلدرمی* [1]، نسرین حسن‌زاده[2]، فریبا هدایت زاده[3]

1- استاد گروه مهندسی طبیعت، دانشکده‌ی منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

2- استادیار گروه محیط‌زیست، دانشکده‌ی منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

3- دانشجوی دکترای محیط‌زیست، دانشکده‌ی منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

تاریخ دریافت: 1400/08/08 تاریخ پذیرش: 1401/04/20

چکیده

با توجه به اهمیت مسئله کمبود و کیفیت آب، مطالعه حاضر برای ارزیابی کیفیت آب رودخانه کارون و دز در استان خوزستان و بررسی تناسب آنها برای مصارف شرب و کشاورزی انجام شد. تکنیک‌ها و شاخص‌های مختلف و نیز آنالیزهای آماری برای ارزیابی جامع کیفیت آب در تفسیر مجموعه داده‌های بزرگ 12 پارامتر کیفیت آب گردآوری شده از حوضه رودخانه کارون و دز در بازه زمانی 17 ساله (1398-1382) استفاده شد. براساس یافته‌ها، میانگین کلی شاخص کیفیت آب (WQI) در رودخانه کارون 125/34 و در رودخانه دز 83/46 بود و بیانگر درجه کیفیت آب "نامناسب" (WQI>100) رودخانه کارون و درجه کیفیت "بسیار ضعیف" (WQI>75<100) رودخانه دز برای شرب است. علاوه بر این، ترکیبی از پارامترهای کیفی آب آبیاری مانند SAR، Na%، MH، PI، KR، PS و EC برای ارزیابی امکان‌سنجی برای کاربردهای کشاورزی استفاده گردید. نتایج این پارامترها نشان داد کیفیت آب رودخانه کارون و دز به ترتیب براساس پارامترهای EC (مجاز – مجاز)، (٪) Na (مجاز – خوب)، SAR (عالی – عالی)، PI (متوسط – متوسط)، KR (متوسط – عالی) و MH (مناسب – مناسب) تشخیص داده شد و بیانگر این است که کیفیت آب رودخانه‌ها به طور کلی به استثنا در چند ایستگاه نمونه‌برداری، نسبتاً مناسب و ایمن است. ارزیابی روند تغییرات کیفیت آب در بازه‌ی زمانی نیز نشان داد براساس WQI، کیفیت آب رودخانه کارون و دز از سال 1382 تا 1386 به ترتیب در طبقه "بسیار ضعیف" و "ضعیف" و از سال 1387 تا 1397 در طبقه "نامناسب" و "بسیار ضعیف" است. در خصوص پارامترهای آبیاری نیز روند مشخصی در مقادیر آنها مشاهده نشد که می‌تواند بیانگر عدم تأثیر کیفیت آب رودخانه‌ها از عوامل طبیعی و تبعیت آنها از عوامل انسانی باشد. این مطالعه اهمیت استفاده از شاخص‌های کیفیت آب را بیان می‌کند که تفسیر ساده‌ای از داده‌های پایش را برای کمک به جوامع محلی در بهبود کیفیت آب ارائه می‌دهد.

کلمات کلیدی: کیفیت آب، شاخص‌های آبیاری، تکنیک‌های آماری چند متغیره، توزیع فضایی، رودخانه کارون و دز.

* نویسنده‌ی مسئول

E-mail: ildoromi@gmail.com

1- مقدمه

کمیت و کیفیت منابع آب شیرین به دلیل گرم شدن کره زمین، تغییرات آب و هوایی، شهرنشینی، صنعتی شدن و فعالیت‌های کشاورزی روزبه‌روز در حال کاهش است (تپه و سبی[1]، 2019: 5). بنابراین، جمعیت روزافزون جهان از نظر دسترسی به منابع آب مناسب برای محیط‌های شهری و روستایی به ویژه در مناطق کمبود آب با چالش‌های جدی رو به رو است (شیائو و همکاران[2]، 2019: 2004). در این خصوص مدیریت مؤثر و عملی منابع آب برای توسعه‌ی پایدار ضروری است و بدون مقدار و کیفیت کافی آب شیرین غیرممکن است. شهرنشینی گسترده، ساخت شهرک‌های جدید و صنعتی شدن سریع نه تنها باعث آلودگی منابع آب، بلکه منجر به کمبود آب در مناطق مختلف نیز شده است (سینگ و همکاران[3]، 2020: 3119-3120). رودخانه‌ها منابع طبیعی اولیه هستند که بسیاری از آنها به عنوان آب آشامیدنی و آب مصرفی در بخش‌هایی مانند صنعت، تولید، کشاورزی، آبزی پروری، دام پروری، جنگلداری، برق آبی، حمل و نقل و تفریح مورد استفاده قرار می‌گیرند. برای تمامی این فعالیت‌ها، رودخانه‌ها باید دارای اکوسیستم سالم و کیفیت آب ثابت باشند (اوستاوغلو و همکاران[4]، 2020: 1). در واقع، شیمی رودخانه‌ها یکی از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده‌ی تعادل بین توسعه اقتصادی و سرمایه طبیعی یک کشور است. تغییر کیفیت آب رودخانه‌ها عمدتاً در اثر فرآیندهای طبیعی و فعالیت‌های انسانی در بسیاری از کشورها به موضوعی بسیار حساس و بحرانی تبدیل شده است (کومار و سینگ[5]، 2019: 146). این فرآیندها ساختار طبیعی سیستم رودخانه را از بین می‌برند و به تدریج کیفیت آب سطحی را کاهش می‌دهد و آن را برای آشامیدن، صنعت، کشاورزی و سایر اهداف نامناسب می‌سازد (تاس و همکاران[6]، 2019: 403). به عبارتی، افزایش ردپای اکولوژیکی توسط کشاورزی، شهرنشینی و رفاه انسان‌ها بر تنوع زیستی و در دسترس بودن آب با کیفیت مناسب تأثیر منفی به جای می‌گذارد (شاه و همکاران[7]، 2019: 92؛ تیرکی و همکاران[8]، 2017: 86). از آنجا که رودخانه‌ها منبع اصلی آب شیرین برای استفاده انسان با اهداف متفاوت است، درک کیفیت آب مورد استفاده برای اهداف مختلف از جمله آشامیدن و آبیاری و اثرات سوء احتمالی آن بر زندگی انسان و رشد گیاهان برای جلوگیری از مشکلات و بهینه‌سازی سلامت عمومی انسان و تولید محصول پایدار بسیار ضروری است (سودهاکاران و همکاران[9]، 2020: 1). به‌علاوه، داشتن اطلاعات معتبر در مورد کیفیت آب برای محافظت، کنترل و مدیریت مؤثر آب رودخانه در برابر تخریب، بسیار ضروری است (برکت و همکاران[10]،

1- Tepe and Cebi
2- Xiao et al.
3- Singh et al.
4- Ustaoglu et al.
5- Kumar and Singh
6- Tas, et al.
7- Shah, et al.
8- Tirkey, et al.
9- Sudhakaran, et al.
10- Barakat, et al.

2016: 284). در زمینه بررسی تناسب آب برای اهداف آشامیدن، ارزیابی کیفیت آب با در نظر گرفتن پارامترهای شیمیایی، بیولوژیکی و فیزیکی با استفاده از محدودیت‌های استاندارد بین‌المللی بسیار مهم است (موکاته و همکاران[1]، 2019: 348). مدل‌های مختلفی نیز برای پیش‌بینی متغیرهای کیفیت آب استفاده شده است (بوی و همکاران[2]، 2015: 188؛ کیم و سئو[3]، 2015: 325). در بین چندین روش متمایز علمی موجود، روش WQI معتبرترین روش است. این روش از محاسبه ریاضی برای ادغام پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی در نمره عددی استفاده می‌کند که نشان دهنده وضعیت کلی کیفیت آب مورد بررسی است (سها و همکاران[4]، 2018: 4). این روش یکی از ساده‌ترین و مؤثرترین تکنیک‌ها است که اطلاعات مهمی را در مورد کیفیت، مدیریت و ارزیابی آب‌های زیرزمینی و سطحی در اختیار سیاست گذاران قرار می‌دهد و به محققان و مقامات کمک می‌کند تا اقدامات لازم را برای حفظ اکوسیستم انجام دهند (موتلو[5]، 2019: 2). علاوه بر این، از آنجا که بخش عظیمی از آب رودخانه‌ها به مصارف کشاورزی اختصاص داده می‌شود، کیفیت آن‌ها باید برای حفظ سلامت عمومی و محیط‌زیست ارزیابی شود (ایگبینوسا و اوکوه[6]، 2009: 175). کیفیت آب برای اهداف کشاورزی براساس تأثیر آب بر کیفیت و عملکرد محصولات زراعی و همچنین تأثیر بر ویژگی‌های خاک تعیین می‌شود (نات و داس[7]، 2018: 319). در مطالعات بسیاری توسط محققان، از شاخص‌های متعدد کیفیت آب جهت ارزیابی کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی برای اهداف شرب و آبیاری در سراسر جهان استفاده شده است. آیدین و همکاران[8]، 2020 در پژوهشی به ارزیابی کیفیت آب رودخانه‌های شمال شرق ترکیه جهت اهداف شرب و آبیاری با استفاده از شاخص‌های کیفیت آب و روش‌های آماری چندگانه پرداختند که بر اساس این شاخص‌ها کیفیت آب رودخانه‌ها مناسب ارزیابی شد. در مطالعه دیگری الصفوی و همکاران[9]، 2021 به ارزیابی کیفیت آب رودخانه دجله برای آبیاری پرداختند که براساس نتایج کیفیت آب در سایت‌های مورد مطالعه از رده آب عالی برای آبیاری برخوردار بود. داس و همکاران[10]، 2021 نیز مطالعه‌ای با هدف ارزیابی کیفیت آب حوضه‌ی رودخانه بایترانی[11] در هند و تجزیه و تحلیل مناسب بودن برای مصارف شرب، کشاورزی و صنعتی انجام دادند و بیان داشتند تمام شاخص‌های آبیاری اجازه می‌دهد تا آب برای اهداف آبیاری استفاده شود. در مطالعه دیگری در این زمینه، داوودی مقدم و همکاران[12]، 2021 به ارزیابی کیفیت آب رودخانه‌ی اردک و تحلیل مناسب بودن

1- Mukate et al.
2- Boye et al.
3- Kim and Seo
4- Saha et al.
5- Mutlu
6- Igbinosa and Okoh
7- Nath and Das
8- Aydin et al.
9- Al-Saffawi et al.
10- Das et al.
11- Baitarani
12- Davoudi Moghaddam et al.

آن برای مصارف شرب و کشاورزی پرداختند که براساس یافته‌ها کیفیت آب رودخانه‌ی اردک در محدوده «ضعیف» تا «نامناسب برای شرب» و نسبتاً مناسب برای آبیاری است. ال استا و همکاران[1]، 2022 نیز در پژوهشی به ارزیابی تناسب آب زیرزمینی برای شرب و آبیاری با استفاده از شاخص‌های کیفیت آب و مدل‌سازی چندمتغیره در استان مکه مکرمه، عربستان سعودی پرداختند که نتایج نشان داد تنها 5 درصد از چاه‌ها از نظر شرب خوب تا عالی طبقه‌بندی می‌شوند و 45/5 درصد از چاه‌ها تحت محدودیت‌های زیاد تا شدید برای کشاورزی مناسب هستند. در واقع، ارزیابی کیفیت آب شیرین به دلیل تقاضای شدید و آسیب‌پذیری در برابر آلودگی در کشورهای در حال توسعه و همچنین نگرانی از کاهش آن در آینده نزدیک ضروری است (شیل و همکاران[2]، 2019: 2). در استان خوزستان نیز افزایش جمعیت انسانی، گسترش صنایع، شهرنشینی بی‌رویه و زیرساخت‌های بهداشتی نامناسب باعث تخریب جدی کیفیت آب‌های سطحی در نتیجه تخلیه فاضلاب‌های صنعتی، شهری و رواناب‌های کشاورزی می‌شود. سیستم رودخانه‌های ورودی به زیست‌بوم خلیج فارس نیز علیرغم اهمیت قابل توجه‌ای که در مصارف متعدد دارند، حجم بسیار زیادی از فاضلاب‌های شهری، رواناب‌های کشاورزی و فاضلاب صنعتی به این محیط‌های آبی تخلیه می‌گردد، لذا این امر موجب می‌شود که نه تنها کیفیت آب شرب بلکه حتی کیفیت آب برای سایر مصارف از جمله کشاورزی و صنعتی نیز با مشکلات جدی مواجه گردد. لذا با توجه به ارزش اقتصادی فراوان و عملکردهای مختلف زیست محیطی این سیستم‌های رودخانه‌ای، باید به کیفیت آب در این رودخانه‌ها توجه بیشتری شود. با توجه به اینکه در خصوص بررسی کیفیت این آب‌های سطحی، مطالعه مفصلی برای مناسب بودن آن‌ها برای اهداف آشامیدنی و آبیاری انجام نشده است و مقایسه کیفیت آن‌ها به خوبی مورد بررسی قرار نگرفته است، در مطالعه حاضر کیفیت آب رودخانه‌های کارون و دز در استان خوزستان در امتداد ایستگاه‌های کیفیت سنجی آن‌ها ارزیابی می‌گردد. این بررسی امکان توصیف ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و ارزیابی مناسب بودن این آب‌های سطحی برای شرب و آبیاری را براساس تجزیه و تحلیل پارامترهای کیفی فراهم می‌آورد. چرا که این رودخانه‌ها نه تنها نقش مهمی در جذب یا حذف فاضلاب شهری و صنعتی و رواناب اراضی کشاورزی ایفا می‌کنند، بلکه منابع اصلی آب‌های داخلی است که برای مصارف خانگی، صنعتی و آبیاری استفاده می‌شوند. بنابراین، لازم است اطلاعات کیفی آب قابل اطمینان برای مدیریت مؤثر این سیستم‌های رودخانه‌ای وجود داشته باشد.

1- El Osta et al.
2- Shil et al.

2-مواد و روش

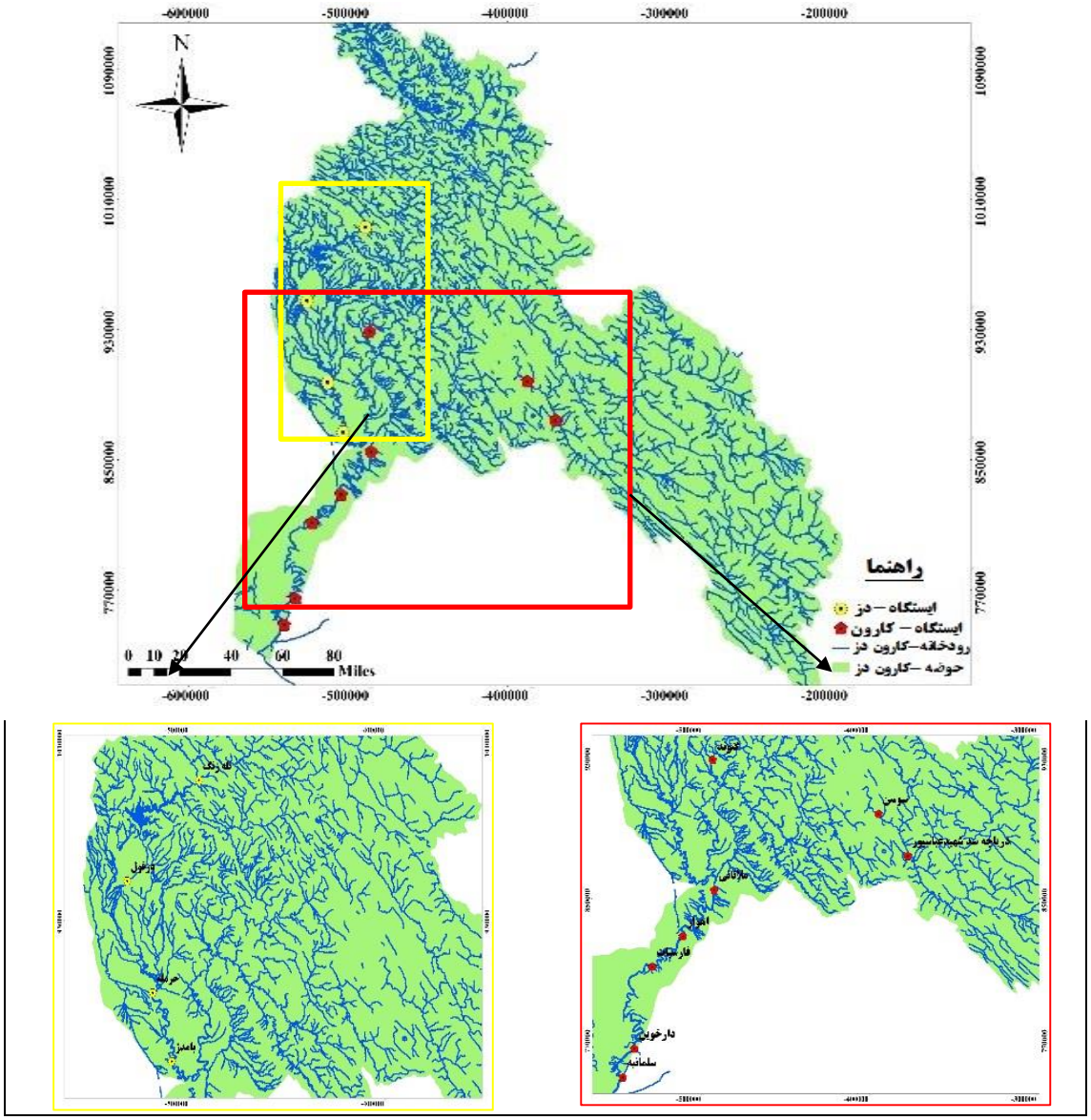
2-1- معرفی منطقه مورد مطالعه

استان خوزستان با مساحتی حدود 64236 کیلومترمربع، بین '41 °47 تا '39 °50 طول شرقی و '58°29 تا '04 °33 عرض شمالی در جنوب غربی ایران واقع شده است. این استان به لحاظ شرایط جغرافیایی و هیدرولوژیکی از بیشترین سهم منابع آب شیرین در کل کشور برخوردار است. همچنین با توجه به جریان 5 رودخانه بزرگ و پر آب ایران (کارون، کرخه، دز، جراحی و هندیجان) در این استان، حدود 33 ٪ از کل منابع آب سطحی کشور را به خود اختصاص داده است. با این حال، در حال حاضر حجم بسیار زیادی از زهاب اراضی کشاورزی و فاضلاب صنعتی به این محیط‌های آبی تخلیه می‌گردد، لذا این امر موجب می‌شود نه تنها کیفیت آب برای شرب بلکه حتی برای مصارف کشاورزی و صنعتی نیز با مشکلات جدی مواجه گردد (سالاری و همکاران[1]، 2013: 15؛ کریمی جشنی و سالاری درگی[2]، 2015: 30).

2-2- موقعیت ایستگاه‌های پایش و جمع‌آوری داده‌ها

در این پژوهش، به منظور پایش کیفیت آب سطحی، از آمار و اطلاعات پارامترهای فیزیکوشیمیایی کیفیت آب (WQP)[3] 8 ایستگاه کیفیت سنجی حوضه رودخانه کارون (سوسن (ST1)، گتوند (ST2)، دریاچه سد شهید عباسپور (ST3)، دارخوین (ST4)، سلمانیه (ST5)، ملاثانی (ST6)، اهواز (ST7)، فارسیات (ST8)) و 4 ایستگاه کیفیت سنجی رودخانه دز (بامدژ (ST1)، تله زنگ (ST2)، حرمله (ST3)، دزفول (ST4)) در یک دوره 17 ساله (1382-1398) اخذ شده از سازمان آب و برق استان خوزستان استفاده شد. پارامترهای مورد بررسی در مطالعه حاضر به صورت ماهانه تهیه شدند و در نهایت میانگین داده‌های کیفی آب ایستگاه‌های مختلف برای هر سال استخراج و ماتریسی از داده‌ها تهیه شد و با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS 22، Excel 2013، GIS و شاخص‌های مختلف ارزیابی شدند. در (شکل 1) موقعیت حوضه رودخانه کارون و دز و ایستگاه‌های کیفیت‌سنجی مورد مطالعه ارائه گردیده است.

1- Salari et al.
2- Karimi Jashnia and Salari Dargi
3- water quality parameters



شکل (1): موقعیت حوضه رودخانه کارون و دز و ایستگاه‌های کیفیت سنجی مورد مطالعه

Fig (1): Location of Karun and Dez river basins and studied quality assessment stations

3-2- روش‌های آنالیز داده‌ها

در مطالعه حاضر جهت پردازش داده‌ها و ارزیابی اینکه آیا کیفیت آب رودخانه‌های مورد مطالعه جهت مصارف شرب و آبیاری مناسب است یا خیر، کیفیت آنها با محاسبه شاخص کیفیت آب (WQI) و پارامترهای آبیاری از

قبیل نسبت جذب سدیم (SAR)[1]، درصد سدیم (%Na)[2]، خطر منیزیم (MH)[3]، شاخص نفوذپذیری (PI)[4]، شاخص Kelly (KI)[5]، و هدایت الکتریکی (EC) مورد ارزیابی قرار گرفت. فلوچارت روش‌های آنالیز داده‌ها در (شکل 2) قابل مشاهده است.

2-3-1- ارزیابی کیفیت آب رودخانه‌ها برای اهداف شرب با استفاده از شاخص کیفیت آب (WQI)

WQI یک رویکرد مهم برای ارزیابی کیفیت آب از نظر هدف و ابزارهای مدیریت است (موتلو[6]، 2019: 2). براساس اهمیت و دارا بودن مقادیر مجاز توسط WHO، در مجموع 12 پارامتر کیفیت آب (شامل دما، TDS، EC، pH، HCO_3^-، SO_4^{2-}، Ca^{2+}، Mg^{2+}، Na^+، K^+، Cl^-، TH) در محاسبه WQI در مطالعه حاضر گنجانده شد (سازمان بهداشت جهانی[7]، 2011). به هر پارامتر بسته به اهمیت آن برای سلامت انسان، مقدار وزنی (AW)[8] بین 1 تا 5 اختصاص داده شده است (جدول 1). مراحل محاسبه WQI به شرح زیر است:

$$RW = \frac{AW}{\sum_{i=1}^{n} AW} \quad (1)$$

که RW وزن نسبی، wi وزن هر پارامتر و n تعداد پارامترها

$$Q_i = \left(\frac{C_i}{S_i}\right) \times 100 \quad (2)$$

Qi درجه کیفیت است، Ci غلظت هر یک از پارامترها (mg/l) باشد و Si استاندارد WHO برای هر پارامتر (mg/l)

$$SI_i = RW \times Q_i \quad (3)$$

$$WQI = \sum_{i=1}^{n} SI_i \quad (4)$$

نتایج WQI براساس مقیاس زیر ارزیابی شد؛ 25-0 (عالی)، 50-26 (خوب)، 75-51 (ضعیف)، 100-76 (خیلی ضعیف) و >100 (نامناسب) (یاداو و همکاران[9]، 2012: 430؛ کیورشیماتوا و همکاران[10]، 2015: 2).

2-3-2 - ارزیابی کیفیت آب رودخانه‌ها برای اهداف آبیاری

در مطالعه حاضر، کیفیت آب آبیاری رودخانه‌های کارون و دز براساس پارامترهای مختلف با استفاده از فرمول‌های ارائه شده در (جدول 2) محاسبه و بررسی شدند.

1- Sodium adsorption ratio
2- percentage of sodium
3- magnesium hazard
4- Permeability index
5- Kelly's index
6- Mutlu
7- WHO
8- weight value
9- Yadav et al.
10- Qureshimatva et al.

جدول (1): پارامترهای فیزیکی - شیمیایی برای تعیین WQI

Table (1): Physicochemical parameters to determine WQI

پارامترها	استاندارد WHO (2011)	وزن هر پارامتر (Wi)	وزن نسبی (RW)
دما (°C)	25	2	0/05
TDS (mg/L)	600	5	0/12
EC (µs/cm)	1500	4	0/10
pH	7/5	4	0/10
SO_4^{2-}(mg/L)	250	5	0/12
HCO_3^-(mg/L)	500	1	0/02
Cl^-(mg/L)	250	5	0/12
Ca^{2+}(mg/L)	75	3	0/07
Mg^{2+}(mg/L)	50	3	0/07
Na^+(mg/L)	200	4	0/10
K^+(mg/L)	12	2	0/05
TH	100	4	0/10
	∑Wi =42		**∑RW =1**

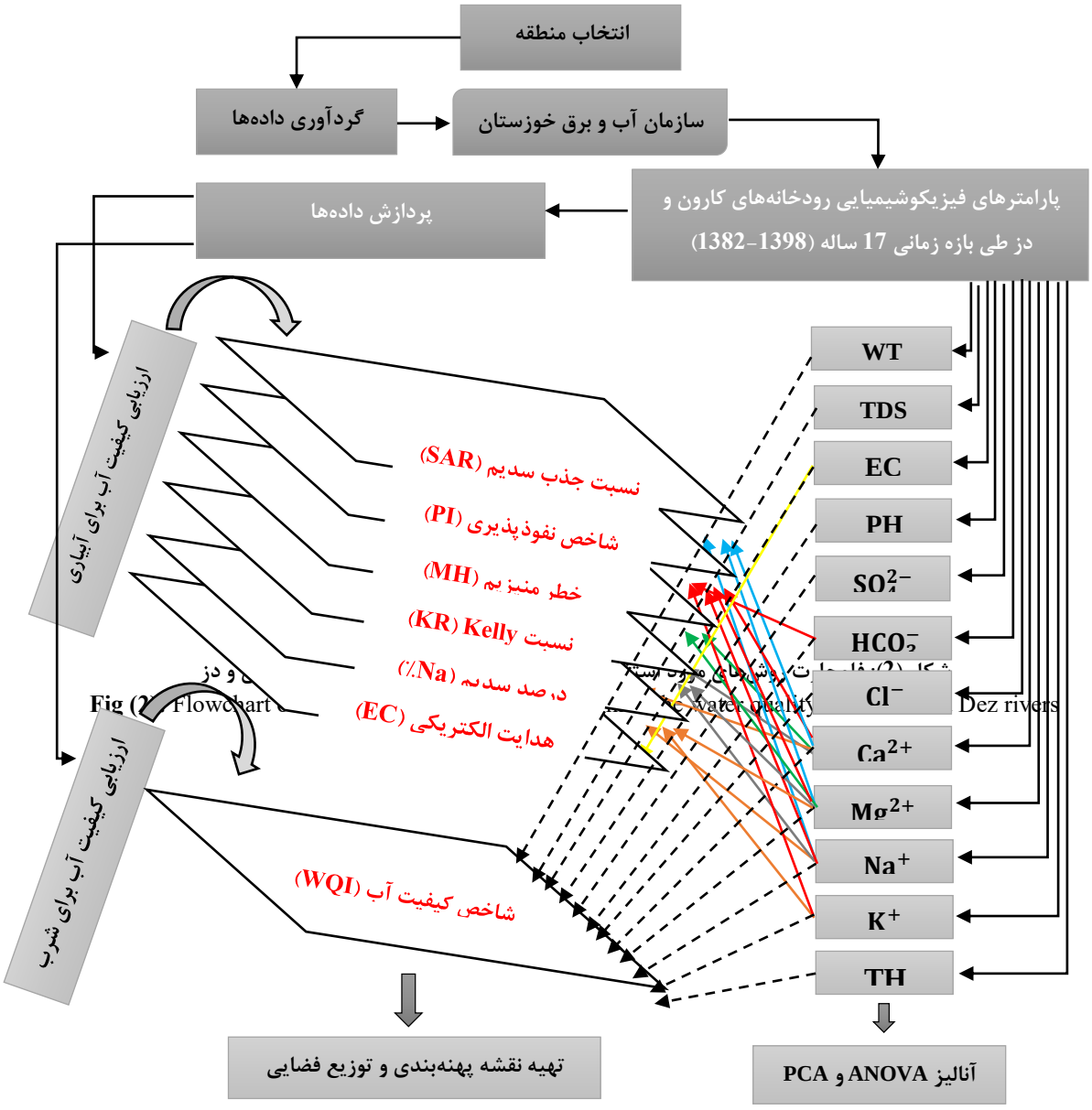
جدول (2): خلاصه شاخص‌های کیفیت آب برای اهداف آبیاری رودخانه‌های کارون و دز

Table (2): Summary of water quality indicators for irrigation purposes of Karun and Dez rivers

شاخص‌ها	فرمول‌ها	محدوده و وضعیت کیفیت
نسبت جذب سدیم (SAR)؛ ریچاردز[1] (1954)	$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{(Ca^{2+} + Mg^{2+})}{2}}}$	10> (عالی، S1)؛ 18-10 (خوب، S2)؛ 26-18 (مشکوک، S3)؛ 26< (نامناسب، S4)
درصد سدیم (Na٪)؛ تود[2] (1995)	$Na = \frac{Na^+ + K^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + +Na^+ + K^+} \times 100$	20> (عالی)؛ 40-20 (خوب)؛ 60-40 (مجاز)؛ 80-60 (مشکوک)؛ 80< (نامناسب)
خطر منیزیم (MH)؛ راغوناث[3] (1987)	$MH = \frac{Mg^{2+}}{Ca^{2+} + Mg^{2+}} \times 100$	50> (مناسب)؛ 50< (نامناسب)
شاخص نفوذپذیری (PI)؛ دونین[4] (1964)	$PI = \frac{Na^+ + K^+ + \sqrt{HCO3^-}}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+} \times 100$	75< (عالی)؛ 75-25 (خوب)؛ 25> (نامناسب)
شاخص Kelly (KR)؛ کلی[5] (1963)	$KR = \frac{Na^{2+}}{Ca^{2+} + Mg^{2+}}$	1> (مناسب)؛ 1< (نامناسب)
هدایت الکتریکی (EC) ویلکاکس[6] (1948)	-	250> (عالی، C1)؛ 750-250 (خوب، C2)؛ 2250-750 (مشکوک، C3)؛ 2250< (ضعیف، C4)

1- Richards
2- Todd
3- Raghunath
4- Doneen
5- Kelly
6 - Wilcox

تمام غلظت‌ها بر حسب meq/l بیان شد



شکل (2): فلوچارت روش‌های مورد استفاده جهت تعیین کیفیت آب رودخانه‌های کارون و دز

Fig (2): Flowchart of the methodology used to determine the water quality of Karun and Dez rivers

4-2- آنالیز آماری داده‌ها

تجزیه و تحلیل‌های آماری داده‌های مربوط به پارامترهای کیفی رودخانه‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS 22 انجام شد. به این ترتیب که ابتدا از آزمون شاپیروویلک جهت بررسی نرمال بودن داده‌ها استفاده گردید. سپس با استفاده از تجزیه و تحلیل واریانس یک‌طرفه[1] (ANOVA) برای ارزیابی اینکه آیا تفاوت بین پارامترها و شاخص‌ها در ایستگاه‌های پایش رودخانه‌ها معنی‌دار است یا خیر انجام شد. تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی[2] (PCA) جهت بررسی ارتباط بین پارامترها و تعیین مهم‌ترین پارامترهای کیفیت آب رودخانه‌ها مورد استفاده قرار گرفت. ترسیم نمودارها نیز با استفاده از نرم افزار Excel 2013 استفاده گردید. به علاوه از نرم‌افزار ArcGIS 3.10 جهت ترسیم نقشه موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه و نیز با استفاده از الگوریتم درون‌یابی فاصله وزنی معکوس[3] (IDW) در محیط GIS جهت تهیه نقشه‌های تغییرات مکانی شاخص‌های ارزیابی کیفیت آب در ایستگاه‌های مختلف کیفیت سنجی استفاده شد.

3-یافته‌ها و بحث

نتایج این مطالعه در سه بخش موضوعی ارائه می‌شود. این بخش‌ها شامل بررسی و مقایسه مقادیر غلظت پارامترهای اندازه گیری شده در ایستگاه‌های کیفیت سنجی در دو رودخانه کارون و دز، ارزیابی کیفیت آب رودخانه‌ها برای اهداف شرب و آبیاری، استفاده از روش‌های آماری چند متغیره جهت تعیین مهم‌ترین پارامترهای کیفی و منابع آلودگی و نیز نرم‌افزار GIS جهت بررسی تغییرات مکانی شاخص‌های مورد بررسی است.

3-1- میزان پارامترها در ایستگاه‌های کیفیت سنجی رودخانه کارون و دز

نتایج آنالیزهای تحلیلی و مقادیر آماری حداقل، حداکثر، میانگین و انحراف استاندارد پارامترهای فیزیکوشیمیایی ایستگاه‌های کیفیت سنجی آب‌های سطحی رودخانه کارون و دز در جدول 3 ارائه شده است. نتایج آنالیز واریانس یکطرفه (ANOVA) جهت بررسی اختلاف معنی‌دار پارامترهای کیفی بین ایستگاه‌های کیفیت سنجی در رودخانه کارون و رودخانه دز نشان داد که به جزء پارامتر pH بین تمام پارامترها در ایستگاه‌های مورد مطالعه اختلاف معنی‌دار آماری وجود دارد ($P<0/05$). به طوری‌که براساس نتایج، در رودخانه کارون بیشترین میزان غلظت پارامترها در ایستگاه‌های سلمانیه و دارخوین و کمترین میزان در ایستگاه‌های سوسن و دریاچه سد شهید عباسپور مشاهده شد و در رودخانه دز نیز دو ایستگاه بامدژ و دزفول به ترتیب بیشترین و کمترین میزان پارامترهای کیفی را داشتند. دلیل این تغییرات مکانی در پارامترهای کیفی آب رودخانه‌های کارون و دز بیانگر

1- One-way analysis of variance
2- Principal component analysis
3- Inverse distance weighting

این است که میزان آلاینده‌هایی که از منابع مختلف مانند رواناب کشاورزی، فاضلاب‌های خانگی و تخلیه ضایعات صنعتی به این ایستگاه‌ها در طول رودخانه تخلیه می‌شوند متفاوت بوده که بر تغییرات کیفیت آب آنها تأثیر گذار است. به عنوان مثال در مطالعه کیان پور و دریکوند[1] (1399) در بررسی کیفی آب رودخانه کارون، دلیل تغییرات مکانی پارامترها به تنوع و تغییر سازندهایی مثل گچساران و آغاجاری که می‌تواند موجب افزایش فرسایش و زیاد شدن شوری و سختی آب و سایر پارامترهای فیزیکی و شیمیایی شود نسبت داده شد. ضمن اینکه تغییرات زمانی و فصلی پارامترها به دلیل پرآبی و کم آبی جریان بوده که متأثر از شرایط ترسالی و خشکسالی است. به علاوه، مقایسه میانگین پارامترهای کیفی مختلف مورد بررسی در دو رودخانه با استاندارد ارائه شده سازمان بهداشت جهانی (2011) نیز در جدول 3 قابل ملاحظه است.

جدول (3): خلاصه نتایج آماری پارامترهای کیفی در ایستگاه‌های کیفیت سنجی رودخانه‌های کارون و دز طی بازه زمانی 1398-1382

Table (3): Summary of statistical results of qualitative parameters in quality assessment stations of Karun and Dez Rivers during 2003-2019

رودخانه	ایستگاه	WT (°C)	EC (µs/cm)	TDS (mg/L)	pH	SO_4^{2-} (mg/L)	HCO_3^- (mg/L)	Cl^- (mg/L)	Ca^{2+} (mg/L)	Mg^{2+} (mg/L)	Na^+ (mg/L)	K^+ (mg/L	TH
	سوسن	17/55^{d}	722/83^{d}	427/76^{d}	7/82^{a}	42/88^{e}	186/13^{c}	105/14^{d}	35/23^{d}	16/18^{c}	63/59^{d}	1/66^{cd}	183/51^{d}
	گتوند	20/26^{c}	1187/87^{c}	748/69^{c}	7/79^{a}	138/22^{d}	168/55^{d}	223/70^{c}	52/35^{c}	18/42^{c}	141/85^{c}	1/96^{bcd}	216/60^{d}
	دریاچه سد	17/33^{d}	539/34^{d}	328/58^{d}	7/71^{a}	45/87^{e}	187/24^{c}	55/21^{d}	37/64^{d}	15/17^{c}	30/48^{d}	1/29^{d}	187/12^{d}
	دارخوین	23/47^{a}	2528/52^{a}	1609/57^{a}	7/67^{a}	385/09^{ab}	199/12^{ab}	515/06^{a}	81/22^{ab}	52/74^{a}	345/10^{a}	3/58^{b}	360/83^{ab}
کارون	سلمانیه	23/26^{a}	2798/00^{a}	1785/74^{a}	8/06^{a}	419/25^{a}	204/61^{a}	587/83^{a}	83/82^{a}	59/98^{a}	389/15^{a}	6/65^{a}	383/47^{a}
	ملاثانی	21/47^{bc}	1909/63^{b}	1216/83^{b}	7/73^{a}	299/10^{c}	193/38^{c}	352/35^{b}	72/89^{b}	38/22^{b}	237/24^{b}	2/70^{bcd}	311/02^{c}
	اهواز	21/90^{abc}	2038/57^{b}	1299/94^{b}	7/70^{a}	333/03^{bc}	202/73^{a}	371/42^{b}	76/16^{ab}	43/57^{b}	253/83^{b}	3/10^{ab}	332/60^{bc}
	فارسیات	22/25^{ab}	2064/82^{b}	1320/73^{b}	7/67^{a}	290/07^{bc}	198/57^{ab}	376/08^{b}	76/83^{ab}	44/83^{b}	254/89^{b}	2/96^{bcd}	334/93^{bc}
	میانگین کل	20/94	1723/70	1092/23	7/77	250/56	192/54	323/35	64/52	36/14	214/52	2/99	288/76
	SD	3/21	533/82	450/10	0.70	66/58	16/21	120/31	18/61	19/60	98/14	1/74	68/89
	ماکزیمم	39/28	4916/00	3125/05	15/57	660/40	227/38	786/88	112/42	101/05	775/92	18/57	509/81
	مینیمم	14/43	467/08	285/89	7/08	27/80	151/48	31/38	31/42	10/58	21/54	0/40	158/23
دز	بامدژ	22/70^{a}	1426/14^{a}	962/75^{a}	7/70^{a}	315/71^{a}	226/07^{a}	171/16^{a}	70/82^{a}	45/68^{a}	128/51^{a}	3/04^{a}	335/46^{a}
	تله زنگ	16/94^{b}	614/58^{c}	382/10^{c}	7/77^{a}	52/97^{c}	189/09^{b}	73/30^{c}	36/88^{c}	16/58^{c}	44/85^{c}	1/68^{b}	189/08^{c}
	حرمله	21/72^{a}	1095/47^{b}	738/14^{b}	7/73^{a}	227/08^{b}	217/00^{a}	114/63^{b}	61/22^{b}	35/58^{b}	83/29^{b}	2/58^{a}	290/78^{b}
	دزفول	17/54^{b}	536/27^{c}	332/71^{c}	7/76^{a}	60/00^{c}	169/99^{c}	56/81^{c}	35/29^{c}	15/25^{c}	35/18^{c}	1/43^{b}	175/10^{c}
	میانگین کل	19/79	923/93	608/24	7/73	166/00	200/96	104/57	51/42	28/44	73/45	2/20	248/89
	SD	2/91	214/81	99/77	0/21	69/26	29/11	37/53	17/70	15/22	34/16	1/11	78/10
	ماکزیمم	24/91	1918/83	1309/92	8/08	470/78	264/44	235/89	93/52	66/59	184/17	2/88	429/65
	مینیمم	12/00	449/67	276/58	7/33	32/92	152/50	25/58	30/34	9/73	19/07	0/40	155/73
استاندارد	**WHO**	25	1500	600	7/5	250	500	250	75	50	200	12	100

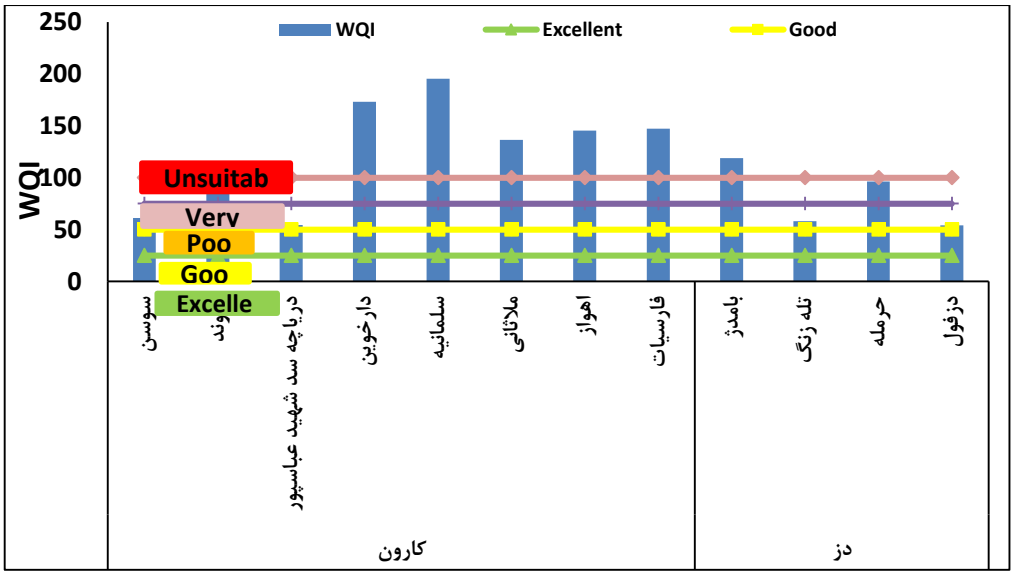
1- Kianpoor barjooi raki & Drikvand

3-2- ارزیابی تناسب کیفیت آب رودخانه‌های کارون و دز جهت شرب

مقایسه وضعیت کیفیت آب ایستگاه‌های پایش در دو رودخانه کارون و دز جهت شرب براساس WQI در (شکل 3) و نقشه توزیع فضایی این شاخص در ایستگاه‌های محدوده مطالعاتی در (شکل 4) ارائه شده است. بر اساس WQI تفاوت‌های قابل توجهی بین ایستگاه‌ها در رودخانه کارون مشاهده شد. حداقل میزان WQI در رودخانه کارون در ایستگاه‌های سوسن (61/05) و دریاچه سد شهید عباسپور (54/20) و حداکثر مقدار WQI برابر 195/52 (سلمانیه) و 173/25 (دارخوین) تعیین شد و ترتیب درجه کیفیت ایستگاه‌ها براساس شاخص WQI به ترتیب؛ سلمانیه < دارخوین < فارسیات < اهواز < ملاثانی < گتوند < دریاچه سد شهید عباسپور < سوسن بود. براساس طبقه بندی WQI، تمامی ایستگاه‌های دارخوین، سلمانیه، ملاثانی، اهواز و فارسیات در طبقه با کیفیت "نامناسب" برای شرب (WQI>100)، ایستگاه گتوند با کیفیت "بسیار ضعیف" (100>WQI>75) و دو ایستگاه سوسن و دریاچه سد شهید عباسپور با کیفیت "ضعیف" (75>WQI>50) طبقه بندی شدند. دلیل این تغییرات مکانی در کیفیت آب رودخانه کارون بیانگر این است که میزان آلاینده‌های رها شده به رودخانه در این ایستگاه‌ها از منابع مختلف می‌باشد که بر تغییرات کیفیت آب آنها تأثیر گذار است. در مطالعه کیان‌پور برجویی راکی و دریکوند[1] (2020) در ارزیابی تغییرات کیفیت آب رودخانه کارون جهت مصرف شرب با استفاده از شاخص شولر، طبق تقسیمات دیاگرام شولر کیفیت ایستگاه سد شهید عباسپور در بازه زمانی 1397-1396 از قابل قبول تا عالی، ایستگاه گرگر و گتوند در محدوده کیفیت قابل قبول و ایستگاه‌های ولی‌آباد و تنگ دولاب در محدوده نامناسب تا غیرقابل شرب تعیین گردید. در این مطالعه دلیل تغییرات فضایی کیفیت آب رودخانه کارون، منابع آلاینده کشاورزی که از طریق تخلیه زهاب غنی از املاح و سموم شیمیایی ایجاد آلودگی می‌کند و منابع آلاینده دیگر از قبیل تخلیه فاضلاب شهری و همچنین وجود کارگاه‌های پرورش ماهی در حاشیه رودخانه گرگر و تخلیه مستقیم پساب آنها در رودخانه از عوامل ایجادکننده‌ی آلودگی رودخانه کارون در این نقطه عنوان شد (کیان‌پور برجویی راکی و دریکوند، 2020: 21). در مطالعه‌ی دیگری توسط نظری و همکاران[2] (2020) در پایش کیفیت آب رودخانه‌های استان خوزستان جهت مصارف شرب، صنعت و کشاورزی با استفاده از شاخص‌های IRWQIsc و NSFWQI، نتایج مطالعه آنها نشان داد که کیفیت آب رودخانه کارون در گروه نسبتاً بد تا متوسط قرار دارد. به علاوه یافته‌های این مطالعه نشان داد که تغییرات این شاخص در طول رودخانه مدام در حال تغییر است که علت آن به تغییرات پارامترهای کیفی در طی مسیر رودخانه نسبت داده شد و مشابه نتایج مطالعه حاضر، در ایستگاه سلمانیه پایین‌ترین کیفیت رودخانه و بهترین کیفیت در ایستگاه گتوند

1- Kianpoor Barjooi Raki and Drikvand
2- Nazari et al.

به دلیل دور بودن این ایستگاه از آلودگی‌های شهری و صنعتی تعیین شد (نظری و همکاران، 2020: 128). نتایج پژوهش دیگری در بررسی کیفی رودخانه کارون در بازه‌ی اهواز با استفاده از شاخص کیفی آب نشان داد که ایستگاه‌های بالادست به دلیل عدم سرریز فاضلاب‌های مختلف شهری و بیمارستانی و صنعتی از دامنه کیفی بالاتری برخوردار بوده است و در ایستگاه‌های پایین دست به علت ورود مجموع پساب‌های شهری کمترین شاخص کیفی را دارند (مددی‌نیا و همکاران[1]، 2014: 56). همچنین در مطالعه‌ی مروج و همکاران[2] (2017) در ارزیابی وضعیت کیفیت آب رودخانه کارون با استفاده از شاخص کیفیت آب و GIS، نتایج نشان داد که افت نسبتاً زیادی در شاخص WQI در بازه گتوند تا ملاثانی پس از اتصال رودخانه دز روی می‌دهد که می‌تواند بیانگر کیفیت پایین رودخانه‌ی دز به دلیل ورود بارهای آلاینده در ایستگاه دزفول در پایین دست و تأثیر کاهشی بر رودخانه کارون باشد (مروج و همکاران، 2017: 233).

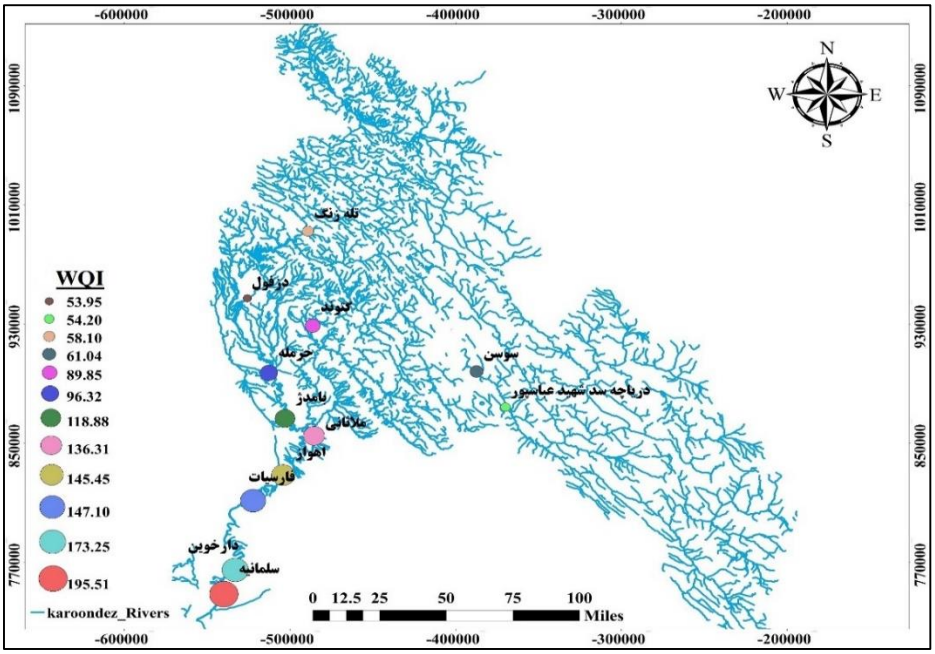


شکل (3): مقایسه‌ی میزان WQI بین ایستگاه‌های کیفیت‌سنجی رودخانه‌های کارون و دز طی دوره 1398-1382

Fig (3): Comparison of WQI value between quality assessment stations of Karun and Dez rivers during 2003-2019

1- Madadinia et al.

2- Moravej et al.



شکل (4): نقشه‌ی توزیع فضایی WQI در محدوده مطالعاتی رودخانه کارون و دز طی دوره 1398-1382

Fig (4): WQI spatial distribution map in the study area of Karun and Dez rivers during 2003-2019

در رودخانه دز نیز مقادیر WQI در ایستگاه‌های بامدژ، حرمله، تله زنگ و دزفول به ترتیب برابر 118/89، 96/32، 58/10 و 53/96 برآورد شد. مقادیر WQI در دو ایستگاه تله زنگ و دزفول بین 50 تا 75 بود و این ایستگاه‌ها با کیفیت "ضعیف" آب طبقه‌بندی شدند. براساس مقادیر محاسبه شده WQI، دو ایستگاه حرمله و بامدژ نیز به ترتیب در دو طبقه با کیفیت "بسیار ضعیف" (75<WQI<100) و "نامناسب" (WQI>100) برای شرب تعیین گردید. مشابه نتایج این بخش از پژوهش حاضر، مطالعه نیسی و تیشه‌زن[1] (2018) در ارزیابی کیفیت آب رودخانه دز با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره نشان داد که ایستگاه‌های بامدژ و حرمله در قسمت پایین دست منطقه مورد مطالعه قرار دارند و طبق نمودار خوشه‌بندی دارای خصوصیات کیفیت آب مشابهی هستند و ایستگاه تله زنگ و دزفول در بالا دست این منطقه هستند و با سایر ایستگاه‌ها شباهتی ندارند و این امر اهمیت تأثیر شهر و منابع انسان ساخت بر آلودگی منابع آب را اثبات می‌کند (نیسی و تیشه‌زن، 2018: 148-147). همچنین در مطالعه دیگری در پایش کیفیت آب رودخانه‌های استان خوزستان نتایج نشان داد که بهترین کیفیت آب در ایستگاه دزفول و پایین‌ترین کیفیت در ایستگاه بامدژ بوده است (نظری و همکاران، 2020: 130). به‌علاوه، نظری و همکاران (2020) اظهار داشتند که کیفیت آب رودخانه کارون و دز در پایین

1- Neissi and Tishehzan

دست مقادیر کمتری را نسبت به بالادست داشت که علت آن را افزایش دمای هوا در جنوب خوزستان و افزایش آلودگی در مسیر این رودخانه‌ها عنوان کردند.

مطالعات متعددی نیز در خصوص ارزیابی کیفیت آب منابع آب سطحی رودخانه‌ها با استفاده WQI در سایر کشورها صورت گرفته است که در این بخش یافته‌های برخی از این مطالعات و دلایل احتمالی تغییرات این شاخص در نقاط مختلف منابع آب سطحی رودخانه‌ها ارائه شده است. در مطالعه‌ای توسط سودهاکاران و همکاران[1] (2020) WQI برای حوضه رودخانه نتراواتی[2] در هند براساس 15 پارامتر اندازه‌گیری کیفیت آب محاسبه شد. نتایج محاسبات WQI نشان داد که از 9 سایت، 4 سایت در طبقه عالی و 3 سایت در طبقه خوب از نظر کیفیت آب آشامیدنی قرار گرفتند و سایر سایت‌ها از کیفیت آب آشامیدنی بسیار پایینی برخوردار بودند که علت اصلی این موضوع تخلیه پساب فعالیت‌های کشاورزی و ورود زباله‌های صنعتی و شهری در مناطق پایین دست رودخانه عنوان شد. چابوک و همکاران[3] (2020) در پژوهشی به ارزیابی کیفیت آب در امتداد رودخانه دجله (عراق) با استفاده از شاخص کیفیت آب (WQI) پرداختند. نتایج حاصل از محاسبه WQI نشان داد که مقادیر WQI به طور قابل توجهی در پایین دست رودخانه دجله افزایش یافته است و این نشان می‌دهد که آلاینده‌ها از منابع مختلف مانند رواناب کشاورزی، فاضلاب‌های خانگی و تخلیه ضایعات صنعتی به سیستم آب رودخانه تخلیه می‌شوند. پژوهش دیگری توسط الصفوی و همکارن (2021) در ارزیابی کیفیت آب رودخانه دجله در نینوا[4]نشان داد که مقادیر شاخص کیفیت آب (WQI) در طول مسیر رودخانه به دلیل فاضلاب تخلیه شده از روستاها و مزارع به رودخانه افزایش می‌یابد، به طوری که بالاترین مقدار شاخص کیفیت آب (WQI) برابر 41/46 در مرکز شهر موسول[5] بوده است و این به دلیل تخلیه فاضلاب شهر موسول به رودخانه دجله از طریق خورهای دو طرف آن است. آیدین و همکاران (2021) در پژوهشی به ارزیابی کیفیت آب هفت رودخانه اصلی در استان گیرسون[6] در شمال شرقی ترکیه با استفاده از شاخص کیفیت آب و روش‌های آماری چندمتغیره پرداختند. نتایج نشان داد حداقل میزان WQI (25/69) در رودخانه گله‌ورا[7] و حداکثر مقدار WQI برابر 32/39 در رودخانه باتلاما[8] بود و تمامی رودخانه‌ها با کیفیت خوب (25<WQI<50) طبقه‌بندی شدند. در تحقیق دیگری که در رودخانه بزرگ ملن[9] در حوزه دریای سیاه غربی انجام شد، بر اساس WQI تفاوت‌های قابل توجهی بین ایستگاه‌های بالادست و پایین دست مشاهده شد (کاراکایا و اورندیلک[10]، 2010)، یا در مطالعه دیگری که در رودخانه آکسو[11] در منطقه مدیترانه انجام شد، نتایج WQI نشان داد که کیفیت آب رودخانه آکسو برای

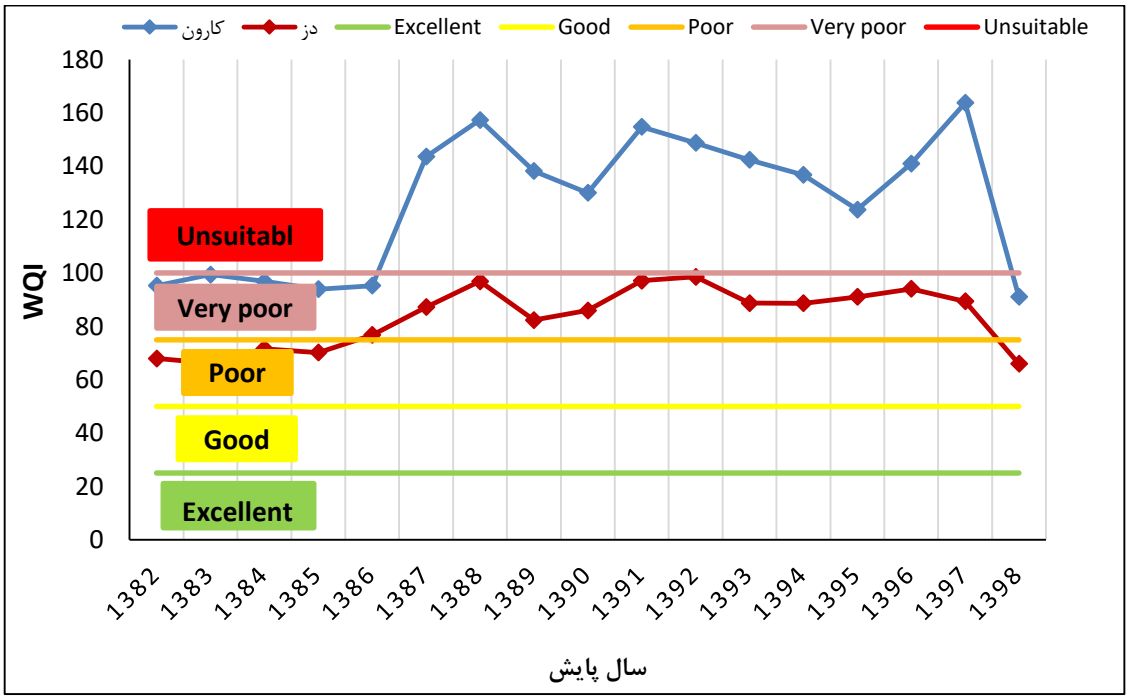
1- Sudhakaran et al.
2- Netravati
3- Chabuk et al.
4- Nineveh
5- Mosul
6- Giresun
7- Gelevera
8- Batlama
9- Melen
10- Karakaya and Evrendilek
11- Aksu

شرب مناسب نیست و علت این موضوع ناشی از ورود زباله‌های صنعتی، شهری و کشاورزی در طول رودخانه بیان شده است (سنر و همکاران[1]، 2017).

تغییرات دقیق WQI دو رودخانه کارون و دز طی دوره‌ی آماری 17 ساله (1398-1382) در (شکل 5) نشان داده شده است. براساس مقادیر WQI در طی دوره‌ی آماری مورد مطالعه (1398-1382)، کیفیت آب رودخانه-ی کارون از سال 1382 تا 1386 و سال 1398 در طبقه "بسیار ضعیف" (100>WQI>75) و از سال 1387 تا 1397 در طبقه "نامناسب" (WQI>100) است، و در رودخانه دز نیز از سال 1382 تا 1386 و نیز سال 1398 در طبقه "ضعیف" (75>WQI>50) و از سال 1386 تا 1387 در طبقه "بسیار ضعیف" (100>WQI>75) مشاهده شد. در واقع در بازه‌ی زمانی مورد مطالعه، آب رودخانه کارون از کیفیت "نامناسب" تا "بسیار ضعیف" و آب رودخانه دز از کیفیت "بسیار ضعیف" تا "ضعیف" برخوردار است. این روند تغییرات زمانی دلایل احتمالی متعددی می‌تواند داشته باشد که در برخی مطالعات نیز به آنها اشاره گردیده است. به عنوان مثال، در مطالعه‌ای در ارزیابی وضعیت کیفیت آب رودخانه کارون براساس شاخص کیفیت آب در بازه زمانی 1391-1386 اشاره گردیده است که نبود تناوب در مقادیر WQI در این بازه زمانی، نشان‌دهنده‌ی تأثیر نپذیرفتن غالب کیفیت آب رودخانه از عوامل طبیعی (که ماهیت متناوب دارند) و تبعیت آن از عوامل انسانی است (مروج و همکاران، 2017: 233). کیان پور برجویی راکی و دریکوند (2020) نیز که در پژوهش خود به ارزیابی تغییرات کیفیت آب رودخانه کارون جهت مصرف شرب پرداختند، اظهار داشتند که تغییرات زمانی پارامترها و کیفیت آب رودخانه به دلیل پرآبی و کم آبی جریان بوده که متأثر از شرایط ترسالی و خشکسالی است (کیان‌پور برجویی راکی و دریکوند، 2020: 21). در مطالعه دیگری توسط شطی و آخوندعلی[2] (1398) در بررسی کیفیت آب رودخانه کارون در بازه زمانی 1380 تا 1395 نتایج بیانگر افزایش چشمگیر شوری و هدایت الکتریکی رودخانه کارون از سال 1386 بوده است و علت این امر به کاهش شدید جریان رودخانه از سال آبی 1387-1386 و تداوم این وضعیت تاکنون نسبت داده شد. به علاوه، نتایج حاصل از مقایسه کیفیت دو رودخانه کارون و دز براساس WQI نشان داد که میانگین کلی WQI در رودخانه کارون 125/34 و در رودخانه دز 83/46 مشاهده شد. براساس این مقایسه، کیفیت رودخانه کارون و دز جهت شرب به ترتیب "نامناسب" (WQI>100) و "بسیار ضعیف" (100>WQI>75) است و آب رودخانه کارون نسبت به رودخانه دز از کیفیت بدتری برخوردار است. مشابه یافته‌های این بخش از پژوهش حاضر که کیفیت آب رودخانه دز

1- Sener et al.
2- Shatti & Akhoond-ali

نسبت به کارون مناسب‌تر تشخیص داده شده است، نتایج مطالعه‌ی نظری و همکاران در پایش کیفیت آب رودخانه‌های استان خوزستان جهت مصارف شرب، صنعت و کشاورزی با استفاده از شاخص‌های IRWQIsc نیز نشان داد که کیفیت آب رودخانه دز از نظر شرب بهتر از سایر رودخانه‌های استان خوزستان است (نظری و همکاران، 2020: 128).



شکل (5): مقایسه میزان WQI در دو رودخانه کارون و دز بین سال‌های پایش مختلف (1382-1398)

Fig (5): Comparison of WQI values in Karun and Dez rivers between different monitoring years (1920-2003)

3-1- ارزیابی تناسب کیفیت آب رودخانه‌های کارون و دز برای اهداف آبیاری

در این بخش از مطالعه حاضر، پارامترهای مختلفی جهت ارزیابی کیفیت آب دو رودخانه کارون و دز طی دوره آماری 17 ساله (1382-1398) با هدف آبیاری مورد استفاده قرار گرفت. مقادیر به دست آمده از محاسبه این پارامترها براساس (جدول 2) ارزیابی گردید و نتایج حاصله در (جدول 4) ارائه شده است.

جدول (4): نتایج شاخص‌های ارزیابی کیفیت آب ایستگاه‌های کیفیت‌سنجی رودخانه کارون و دز برای آبیاری طی دوره 1398-1382

Table (4): Results of water quality evaluation indicators of Karun and Dez river quality assessment stations for irrigation purposes during 2003-2019

رودخانه	ایستگاه کیفیت سنجی		شاخص‌ها					
			EC (µs/cm)	Na (%)	SAR	PI (%)	KR (meq/l)	MH (%)
کارون	St_1	سوسن	1634/45 (C3؛ مجاز)	39/57 (خوب)	3/35 (S1؛ عالی)	82/48 (خوب)	0/65 (عالی)	31/46 (مناسب)
	St_2	گتوند	1835/63 (C3؛ مجاز)	51/32 (مجاز)	3/89 (S1؛ عالی)	74/02 (متوسط)	1/05 (متوسط)	26/03 (مناسب)
	St_3	دریاچه شهید عباسپور	1964/28 (C4؛ مجاز)	23/57 (خوب)	6/00 (S1؛ عالی)	76/74 (خوب)	0/30 (عالی)	28/73 (مناسب)
	St_4	دارخوین	1669/21 (C3؛ مجاز)	57/48 (مجاز)	3/71 (S1؛ عالی)	69/81 (متوسط)	1/34 (متوسط)	39/37 (مناسب)
	St_5	سلمانیه	1238/13 (C3؛ مجاز)	59/03 (مجاز)	2/20 (S1؛ عالی)	70/11 (متوسط)	1/43 (متوسط)	41/79 (مناسب)
	St_6	ملاثانی	1256/50 (C3؛ مجاز)	52/86 (مجاز)	2/35 (S1؛ عالی)	68/89 (متوسط)	1/11 (متوسط)	34/40 (مناسب)
	St_7	اهواز	1634/45 (C3؛ مجاز)	52/69 (مجاز)	3/35 (S1؛ عالی)	68/33 (متوسط)	1/11 (متوسط)	36/39 (مناسب)
	St_8	فارسیات	1634/45 (C3؛ مجاز)	52/39 (مجاز)	3/35 (S1؛ عالی)	67/56 (متوسط)	1/09 (متوسط)	36/85 (مناسب)
		میانگین	1770/89 (C3؛ مجاز)	48/61 (مجاز)	3/53 (S1؛ عالی)	72/24 (متوسط)	1/01 (متوسط)	34/38 (مناسب)
کارون	St_1	بامدژ	1625/55 (C3؛ مجاز)	36/84 (خوب)	3/35 (S1؛ عالی)	60/76 (متوسط)	0/58 (عالی)	39/21 (مناسب)
	St_2	تله زنگ	1608/42 (C3؛ مجاز)	30/90 (خوب)	3/33 (S1؛ عالی)	78/84 (خوب)	0/44 (عالی)	31/02 (مناسب)
	St_3	حرمله	3264/28 (C4؛ نامناسب)	31/36 (خوب)	6/00 (S1؛ عالی)	61/42 (متوسط)	0/45 (عالی)	36/76 (مناسب)
	St_4	دزفول	1669/21 (C3؛ مجاز)	27/10 (خوب)	3/71 (S1؛ عالی)	75/17 (خوب)	0/36 (عالی)	30/17 (مناسب)
		میانگین	2044/09 (C3؛ مجاز)	31/55 (خوب)	4/10 (S1؛ عالی)	69/05 (متوسط)	0/46 (عالی)	34/29 (مناسب)

مقدار عددی پارامتر EC برای طبقه‌بندی آب آبیاری بسیار ضروری است. میانگین مقدار EC آب ایستگاه‌های کیفیت سنجی در رودخانه کارون و دز به ترتیب در محدوده 3264/28 – 1238/13 (1770/89 µs/cm) و 2234/28 – 1608/42 (1786/59 µs/cm) است. براساس طبقه‌بندی موجود در این زمینه (ویلکاکس[1]، 1948)، نمونه‌های آب‌های سطحی در ایستگاه‌های رودخانه کارون دارای کیفیت "مشکوک" (2250-750) تا "ضعیف" (2250<) و در رودخانه دز دارای کیفیت "مشکوک" (2250-750) برای فرآیند آبیاری است. مقایسه میانگین کلی EC در رودخانه کارون و دز بیانگر این است که هر دو رودخانه دارای کیفیت "مشکوک" جهت هدف آبیاری است. درصد سدیم (Na%) نیز روشی است که برای ارزیابی خطر سدیم و مناسب بودن کیفیت آب برای آبیاری مورد استفاده قرار می‌گیرد. غلظت بالای سدیم در آب و خاک برای مدیریت آب برای آبیاری مهم است، زیرا نفوذپذیری آب را کاهش داده و رشد گیاه را کند می‌کند. در مطالعه حاضر، درصد Na رودخانه کارون در محدوده 59/03-23/57 با میانگین 48/61 درصد و در رودخانه دز در محدوده 36/84-27/10 با میانگین 31/55 درصد محاسبه شد. براساس این پارامتر، در رودخانه کارون ایستگاه‌های سوسن و دریاچه سد شهید عباسپور در کلاس "کیفیت خوب آب" (40>٪ Na>20) و سایر ایستگاه‌ها در کلاس "کیفیت مجاز آب" (60>٪ Na>40) قرار دارند، در رودخانه دز نیز تمامی ایستگاه‌های کیفیت سنجی در کلاس "کیفیت خوب آب" (40>Na%>20) هستند. براساس میانگین کلی درصد Na در رودخانه کارون (48/61 درصد) و رودخانه دز (31/55)، رودخانه کارون دارای "کیفیت مجاز" برای آبیاری و رودخانه دز دارای "کیفیت خوب" جهت آبیاری است. نسبت جذب سدیم (SAR) پارامتر دیگری است که متداول‌ترین پارامتر برای ارزیابی اثرات سدیم تبادلی بر وضعیت فیزیکی خاک است (ریچاردز[2]، 1954). سدیم اضافی با خاک واکنش می‌دهد که این امر منجر به تغییر ترکیب خاک و کاهش نفوذپذیری خاک می‌شود که در نهایت خاک غیرقابل نفوذ و فشرده می‌شود. ریچاردز (1954) آب آبیاری را براساس نسبت جذب سدیم (SAR) به چهار گروه مناسب طبقه‌بندی کرد (جدول 2). در مطالعه حاضر، میانگین مقدار سالانه SAR رودخانه کارون از 6/00-2/20 با میانگین 3/53 و در رودخانه دز از 6/00-3/33 با میانگین 4/10 متغیر است. براساس طبقه‌بندی ریچاردز (1954)، تمام نمونه‌های آب سطحی ایستگاه‌های کیفیت‌سنجی دو رودخانه کارون و دز دارای مقدار SAR بسیار پایینی هستند که نشان می‌دهد تمامی نمونه‌های آب در منطقه مورد مطالعه در یک گروه عالی قرار دارند. مقایسه میانگین کلی SAR بین دو رودخانه کارون (3/53) و دز (4/10) تفاوت معنی‌داری را نشان نداد و هر دو رودخانه از نظر این پارامتر دارای کیفیت عالی برای آبیاری هستند. محتوای سدیم، کلسیم، منیزیم و بی‌کربنات بر نفوذپذیری خاک تأثیر گذار است و استفاده طولانی مدت از آب آبیاری بر آن تأثیر می‌گذارد. میزان شاخص نفوذپذیری (PI) نمونه‌های آب سطحی در رودخانه کارون و دز به ترتیب از 67/56 تا 82/48 (72/24) و 60/76 تا 78/84

1- Wilcox
2- Richards

(69/05) درصد متغیر است. براساس مقادیر PI، در رودخانه کارون دو ایستگاه کیفیت‌سنجی سوسن (82/48 درصد) و دریاچه سد شهید عباسپور (76/74 درصد) دارای کیفیت "عالی" و سایر ایستگاه‌ها دارای کیفیت "خوب" (25-75) برای آبیاری هستند. در رودخانه دز نیز ایستگاه تله زنگ (78/84 درصد) کیفیت "عالی" و سایر ایستگاه‌ها کیفیت "خوب" (25-75) را برای آبیاری داشتند. شاخص Kelly نیز یک پارامتر مهم است که تجزیه و تحلیل شاخص Kelly نمونه‌های آب سطحی مطالعه حاضر به ترتیب از 0/30 تا 1/43 (1/01) و از 0/36 تا 0/58 (0/46) در دو رودخانه کارون و دز متغیر است (جدول 4). طبق طبقه‌بندی Kelly (1940)، در رودخانه کارون به جز دو ایستگاه کیفیت سنجی سوسن (0/65) و دریاچه سد شهید عباسپور (0/30)، سایر ایستگاه‌ها در طبقه KR>1 و با کیفیت "نامناسب" برای آبیاری قرار دارند و در رودخانه دز تمامی ایستگاه‌ها دارای مقدار KR کمتر از 1 هستند و از نظر این پارامتر برای آبیاری "مناسب" هستند. خطر منیزیم (MH) یکی دیگر از مهمترین معیارهای کیفی برای تعیین کیفیت آب برای آبیاری محسوب می‌شود. نسبت بالای Mg^{+2} در آب می‌تواند با نسبت متعادل کلی Ca^{+2} و Mg^{+2} تداخل داشته باشد. علاوه بر این، Mg^{+2} اضافی آب را به حالت قلیایی‌تر تبدیل می‌کند و بر رشد گیاهان تأثیر می‌گذارد (خانورانگا[1]، 2019: 23). آبی با مقادیر MH برابر 50 یا بیشتر برای آبیاری مناسب نیست. میزان MH تمامی ایستگاه‌های کیفیت‌سنجی در رودخانه کارون در محدوده‌ی 41/79 – 26/03 (34/38) درصد و دز در محدوده 39/21-30/17 (34/29) درصد و کمتر از میزان 50 درصد محاسبه شد، لذا هر دو رودخانه دارای کیفیت آب "مجاز" برای آبیاری از نظر پارامتر MH است.

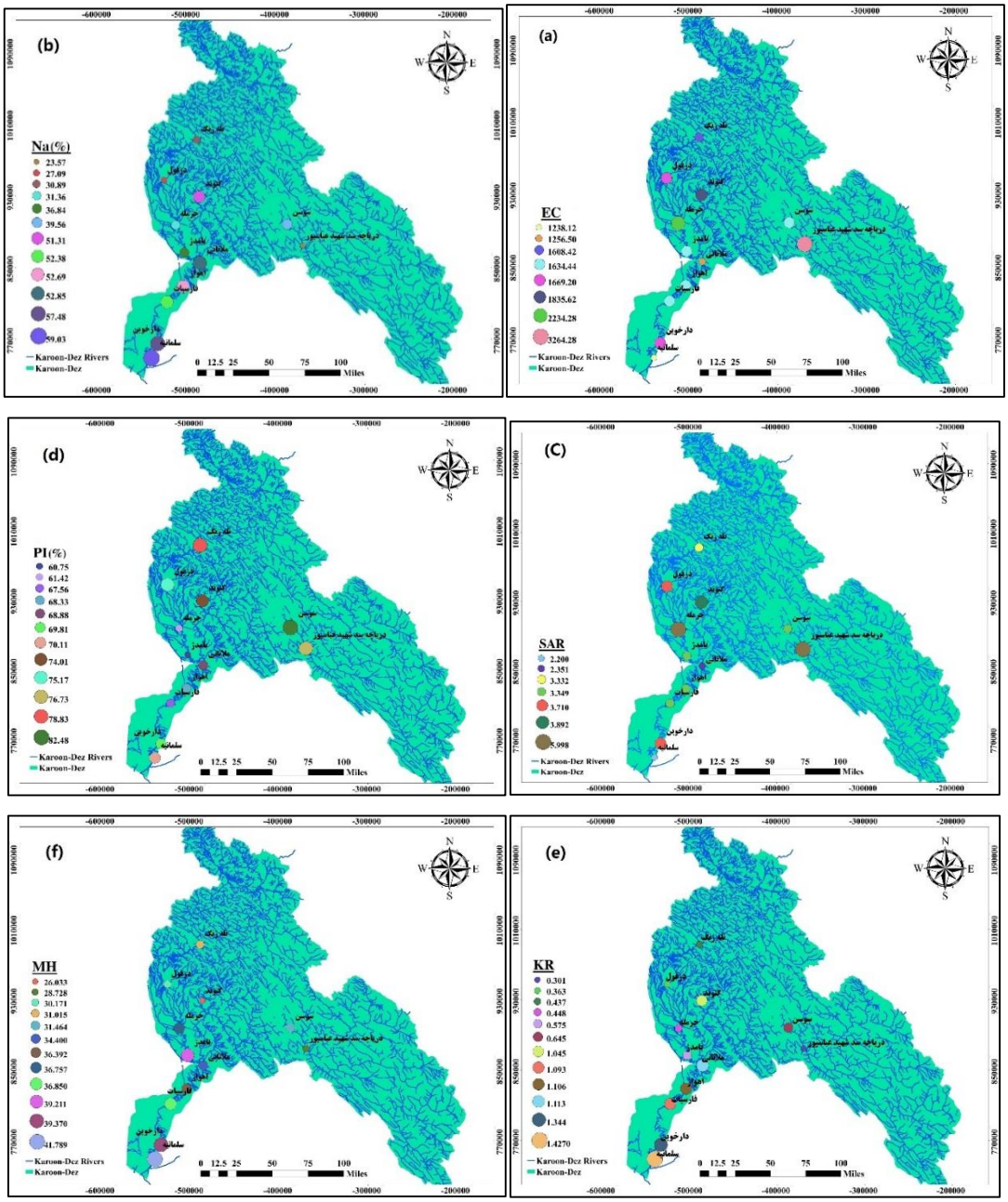
به طور کلی، براساس پارامتر EC کیفیت آب هر دو رودخانه جهت آبیاری "مجاز"؛ براساس درصد Na کیفیت رودخانه کارون "مجاز" و دز "خوب"؛ براساس SAR کیفیت هر دو رودخانه "عالی"؛ براساس (٪) PI کیفیت هر دو رودخانه "متوسط"؛ براساس KR کیفیت رودخانه کارون "متوسط" و رودخانه دز "عالی" و براساس MH نیز کیفیت آب هر دو رودخانه جهت آبیاری "مناسب" است. بنابراین براساس این یافته‌ها می‌توان اذعان داشت که کیفیت آب رودخانه‌ها به طور کلی به استثنا در چند ایستگاه نمونه برداری در رودخانه کارون، که برای اهداف آبیاری نامناسب است، نسبتاً مناسب و ایمن است و تمام شاخص‌های آبیاری اجازه می‌دهد که آب دو رودخانه به ویژه رودخانه دز برای مصارف آبیاری استفاده شود. مشابه نتایج این بخش از مطالعه حاضر، در پژوهش انجام شده توسط نظری و همکاران (1399) در پایش کیفیت آب رودخانه‌های استان خوزستان جهت مصارف شرب و کشاورزی با استفاده از شاخص‌های IRWQIsc و NSFWQI نیز نتایج نشان داد که جهت مصرف آب رودخانه‌های خوزستان برای کشاورزی، رودخانه‌های کارون، کرخه و مارون دارای وضعیت نسبتاً مناسب،

1- Khanoranga

رودخانه دز وضعیت مناسب و رودخانه زهره در وضعیت نامناسب است. مطالعات متعددی در این زمینه انجام شده است که در این قسمت برخی از این مطالعات و یافته‌های آنها ارائه شده است. از جمله، مطالعه داوودی مقدم و همکاران (2021) در ارزیابی کیفیت آب رودخانه اردک[1] و تجزیه و تحلیل مناسب بودن آن برای مصارف شرب و کشاورزی نشان داد که کیفیت آب رودخانه به جز در چند ایستگاه نمونه برداری در فصل خشک، نسبتاً مناسب است. مطالعه شارما و همکاران[2] (2021) در تجزیه و تحلیل کیفیت آب رودخانه‌های هیمالیا برای آبیاری نیز نشان داد اگر چه SAR تمام نمونه‌های آب دارای مقادیر پایینی هستند و می‌توانند برای آبیاری مناسب باشند، اما برخی از مناطق رودخانه باگمتی[3] دارای مقادیرEC زیادی هستند و به همین دلیل برای آبیاری مناسب نیستند. نتایج مشابهی با NA٪ و نتایج WQI نشان داده شد که در آن کیفیت پایین آب در برخی از مکان‌های بسیار آلوده در منطقه شهر مشاهده شد. این به وضوح نشان‌دهنده‌ی تأثیرات شهرنشینی (انسانی) در کیفیت آب رودخانه‌ها برای آبیاری در رودخانه‌های هیمالیا در نپال است (شارما و همکاران، 2021: 2677). نتایج مطالعه شیل و همکاران[4] (2019) در ارزیابی کیفیت آب رودخانه مهم ماهانادا[5] در هند و بنگلادش نشان داد که مقادیر خطر منیزیم (MH) چهار ایستگاه نمونه برداری بالای 50 درصد است که برای آبیاری مناسب نیست. با این حال، برخی از شاخص‌ها مانند درصد سدیم (Na٪)، کربنات سدیم باقیمانده و بیکربنات سدیم باقیمانده، شاخص Kelly، شاخص نفوذپذیری (PI) و شوری بالقوه به آب رودخانه اجازه می‌دهد تا در اهداف آبیاری استفاده شود (شیل و همکاران، 2019: 1). پژوهش آیدین و همکاران (2021) در ارزیابی کیفیت آب هفت رودخانه در شمال شرقی ترکیه نشان داد که کیفیت آب برای آبیاری مورد ارزیابی قرار گرفت، و پارامترهای ارزیابی Na٪، SAR، RSC و MH از مقادیر محدوده مجاز تجاوز نکردند و براساس این شاخص‌ها، ارزیابی شد که سکونتگاه‌ها و فعالیت‌های انسانی مرتبط در امتداد ساحل رودخانه بر کیفیت آب فعلی تأثیر نمی‌گذارد. پژوهش آل‌صفوی و همکاران (2021) در ارزیابی کیفی آب رودخانه دجله در استان نینوا برای اهداف آبیاری، نتایج نشان داد که تمام مقادیر شاخص‌های Na٪، SAR، RSC، PI، KR و PS در محدوده مناسب برای آبیاری قرار داشتند.

نقشه‌ی توزیع فضایی این پارامترها در ایستگاه‌های پایش محدوده‌ی مطالعاتی پژوهش حاضر در (شکل 6) قابل مشاهده است.

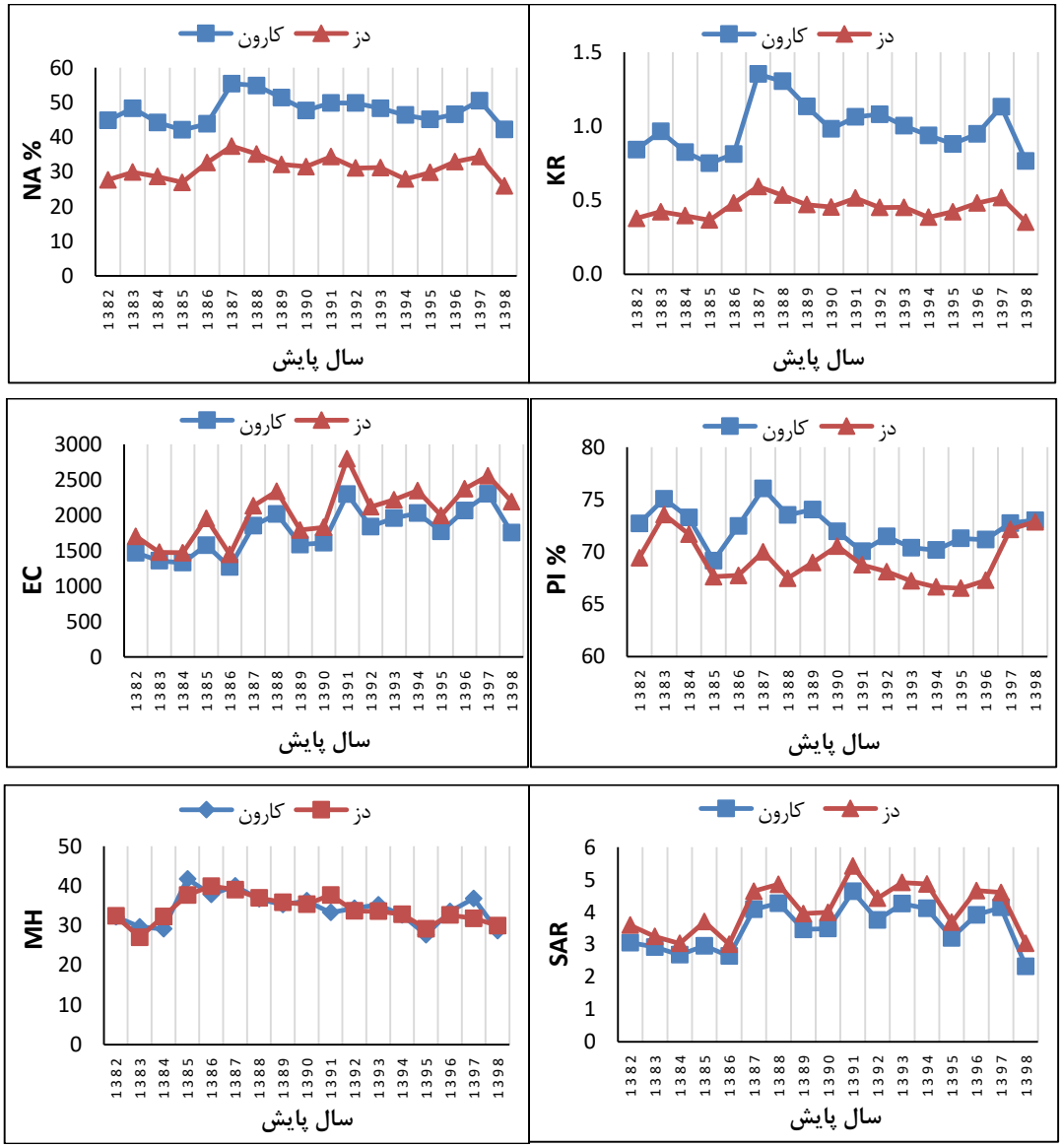
1- Ardak
2- Sharma et al.
3- Bagmati
4- Shil et al.
5- Mahananda



شکل (6): نقشه توزیع فضایی میزان پارامترهای ارزیابی کیفیت آب ایستگاه‌های پایش رودخانه کارون و دز برای اهداف آبیاری شامل (a) EC؛ (b) Na%؛ (c) SAR؛ (d) PI%؛ (e) KR؛ و (f) MH.

Fig (6): Spatial distribution map of water quality assessment parameters of Karun and Dez river monitoring stations for irrigation purposes including (a) EC; (b) Na%; (c) SAR; (d) PI%; (e) KR; And (f) MH.

روند تغییرات زمانی کیفیت آب رودخانه کارون و دز جهت آبیاری براساس پارامترهای مختلف نیز در (شکل 7) ارائه شده است. نتایج حاصل از آنالیز آماری آنالیز واریانس یکطرفه (ANOVA) جهت مقایسه پارامترهای آبیاری بین سال‌های دوره مطالعاتی نشان داد که در رودخانه کارون تنها دو پارامتر KR و درصد Na، و در رودخانه دز نیز پارامترهای KR، SAR و درصد Na دارای اختلاف معنی‌دار آماری ($P<0/05$) و سایر پارامترها فاقد اختلاف معنی‌دار آماری بین سال‌های مختلف هستند ($P>0/05$). نتایج ارائه شده در اشکال زیر نشان می‌دهد که بیشترین میزان KR در هر دو رودخانه در سال 1387 و 1388 می‌باشد و در هر دو رودخانه میزان KR از سال 1388 به بعد روند کاهشی داشته است. میزان درصد Na نیز از سال 1382 تا 1386 و 1398 کمترین میزان و سپس در سال 1387 و 1388 بیشترین میزان و سپس از سال 1388 به بعد روند مشابهی را داشته است. میزان پارامترهای EC و SAR از سال 1386 به بعد (به جز 1398) روند افزایشی ناچیزی را داشته است و میزان درصد PI و MH روند افزایشی و کاهشی خاصی را نداشته است. همان‌طور که اشاره گردید نبود تناوب در مقادیر این شاخص‌ها می‌تواند بیانگر عدم تأثیر کیفیت آب رودخانه‌ها از عوامل طبیعی (با متناوب) و تبعیت آن از عوامل انسانی باشد (مروج و همکاران، 1396: 233).



شکل (7): روند تغییرات پارامترهای ارزیابی تناسب کیفیت آب رودخانه‌های کارون و دز برای اهداف آبیاری در بازه زمانی 1398-1382

Fig (7): The trend of changes in water quality assessment parameters of Karun and Dez rivers for irrigation purposes in the period 2003-2019

تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) برای بررسی الگوی ترکیبی متغیرها در کل مجموعه داده و کاهش مجموعه داده به برخی عوامل مؤثر با اجتناب از برخی داده‌های ناچیز انجام شد. در این مطالعه، سه مؤلفه اصلی

(PCs) برای هر دو رودخانه تعیین شد تا 83/12 ٪ از کل واریانس را توضیح دهد. در مجموعه میانگین داده‌های مربوط به پارامترهای هر دو رودخانه، 67/72 ٪ از واریانس‌ها توسط فاکتور اول (PC1)، 8/09 ٪ توسط فاکتور دوم (PC2)، و 7/79 ٪ توسط فاکتور سوم (PC3) توضیح داده شد (جدول 5). بارهای عاملی براساس مقادیر بار مطلق > 0/75، 0/75-0/50 و 0/50-0/30 به ترتیب "قوی"، "متوسط" و "ضعیف" طبقه‌بندی می‌شوند (وانگ و همکاران[1]، 2017: 6). نتایج حاصل از PCA نشان داد که PC1 به طور عمده حاوی TDS، EC، SO_4^{2-} ، Cl^-، Ca^{2+}، Mg^{2+}، Na^+، K^+ و TH به عنوان متغیرهای غالب بوده است، در PC2 نیز pH و HCO_3^- و در PC3 دما (WT) و کدورت (Turb) تشخیص داده شد (شکل 8). این عوامل نشان می‌دهد که تغییرات عمده در پارامترهای کیفیت آب با آلودگی نقطه‌ای مانند فاضلاب ناشی از منابع خانگی و صنعتی، منابع غیرنقطه‌ای مانند فعالیت‌های کشاورزی و پدیده‌های طبیعی مانند فرسایش سنگ و خاک همراه بوده است. در مطالعه مشابهی در ارزیابی کیفیت آب رودخانه دز با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره نشان داد که براساس PCA، متغیرهای اصلی تعیین‌کننده کیفیت آب رودخانه دز EC، دما، SAR، SO_4، pH و DO هستند که اغلب ناشی از آلاینده‌های صنعتی و انسانی می‌باشند (نیسی و تیشه‌زن، 1397: 145). در مطالعه‌ای توسط شیل و همکاران (2019) بر روی رودخانه ماهاناندا، نتایج PCA نشان داد که PC1 در فصل قبل از موسم بارندگی به طور عمده حاوی اسیدیته، قلیائیت، سختی، TDS، Na، K، Ca، Mg، فلوراید، کلراید و برومید است و PC1 فصل پس از موسم بارندگی حاوی EC، اسیدیته، قلیائیت، سختی، K، Na، کلراید و بی کربنات به عنوان متغیرهای غالب بودند. نویسندگان این مطالعه بیان داشتند که در هر دو فصل، متغیرها کاملاً هیدروشیمیایی هستند و فرض بر این است که از فرآیندهای زمین شناسی سرچشمه می‌گیرند و دارای منابع ژئوژنیک هستند. در PC2 هر دو فصل، سولفات، نیترات و فسفات عوامل غالب هستند، که نشان‌دهنده تأثیرات انسانی عموماً توسط کود از فعالیت‌های کشاورزی و پساب فعالیت‌های صنعتی ناشی می‌شوند. در پژوهش دیگری توسط سودهاکاران و همکاران (2020) در حوضه رودخانه نتراوتی در هند، نتایج مؤلفه‌های اصلی نشان داد که در فصل پیش از موسم بارندگی، فاکتور اول (PC1) 41/9 ٪ از کل واریانس را با بارهای مثبت قوی برای TDS، EC، Na^+ و بار محدود بر Cl^- توضیح داد. این می‌تواند به دلیل تأثیر فاضلاب، رواناب شهری، نفوذ آب دریا و زباله‌های صنعتی به آب رودخانه باشد. فاکتور دوم (PC2) 22/1 ٪ از واریانس را توضیح داد و بارهای مثبت بالایی برای HCO_3^- ، Ca^{2+} و Mg^{2+} نشان داد که هوازدگی کربنات را به عنوان منبع اصلی این عناصر معدنی منعکس می‌کند. فاکتور سوم (PC3) 18/1 ٪ از کل واریانس با بارهای مثبت قوی برای NO_3^-، PO_4^{3-} و K^+ را شامل می‌شود و این

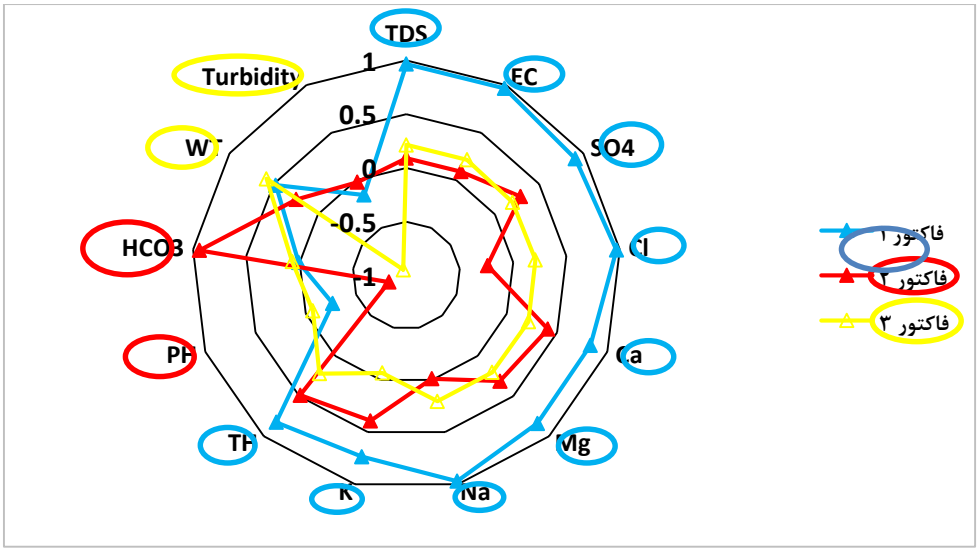
1- Wang et al.

موضوع احتمالاً به دلیل استفاده از کودهای آلی و معدنی در حوضه آبریز کشاورزی بوده است (سودهاکاران و همکاران، 2020: 13-12).

جدول (5): بار عاملی برای هر یک از مؤلفه‌های اصلی با چرخش Varimax

Table (5): Factor load for each of the principal components with Varimax rotation

مؤلفه‌های اصلی			
3	**2**	**1**	
0/582	0/245	0/477	WT
0/215	0/091	**0/967**	TDS
0/215	0/091	**0/966**	EC
-0/070	**-0/827**	-0/267	pH
-0/940	-0/020	-0/155	Turb
0/199	0/291	**0/911**	SO_4^{2-}
0/070	**0/940**	0/010	HCO_3^-
0/209	-0/024	**0/969**	Cl^-
0/215	0/408	**0/831**	Ca^{2+}
0/203	0/313	**0/838**	Mg^{2+}
0/206	-0/011	**0/970**	Na^+
-0/066	0/392	**0/736**	K^+
0/219	0/489	**0/825**	TH



شکل (8): اجزای پارامترهای فیزیکوشیمیایی سه مؤلفه اصلی رودخانه کارون و دز
Fig. (8): Physicochemical parameters of three principal components in Karun and Dez rivers

4-نتیجه‌گیری

از آنجا که رودخانه‌ها یک منبع طبیعی مهم برای تمام موجودات زنده هستند، حفظ کیفیت آب این منابع آب سطحی نه تنها امروز، بلکه برای نسل‌های آینده نیز اهمیت دارد. در این مطالعه موردی، داده‌های ماهانه ایستگاه‌های کیفیت سنجی رودخانه‌های مهم و اصلی ورودی به محیط دریایی خلیج فارس در استان خوزستان (کارون و دز) در بازه زمانی 17 ساله (1398-1382) مورد بررسی قرار گرفت تا کیفیت آب این رودخانه‌های اصلی در استان خوزستان تعیین شود. ماتریس پیچیده داده‌ها با محاسبه شاخص کیفیت آب (WQI) و چندین تکنیک مهم چند متغیره مورد ارزیابی قرار گرفت. که یافته‌های حاصل از پژوهش، اهمیت استفاده از شاخص‌های کیفیت آب را بیان می‌کند که تفسیر ساده‌ای از داده‌های پایش را برای کمک به جوامع محلی در بهبود کیفیت آب ارائه می‌دهد و این ضرورت و کاربرد را برای ارزیابی و تفسیر مجموعه داده‌های بزرگ و پیچیده، با هدف دستیابی به اطلاعات بهتر در مورد کیفیت آب و طراحی شبکه‌های نظارتی برای مدیریت مؤثر منابع آب، را فراهم می‌کند. براساس یافته‌ها می‌توان اظهار داشت که کیفیت رودخانه‌ها به ویژه رودخانه‌ی کارون در منطقه مورد مطالعه در حال حاضر در شرایط خوبی قرار ندارد و تحت تأثیر و در معرض فشار شدید فعالیت‌های انسانی مانند زباله و فاضلاب خانگی، فعالیت‌های صنایع و استفاده بیش از حد کود و سموم دفع آفات در کشاورزی است. لذا، جهت حفظ تعادل و پایداری مدیریت و حفظ کیفیت آب این سیستم‌های رودخانه‌ای، باید حفاظت از حوضه‌های آب شیرین اعمال شود و تحت نظارت و حفاظت قرار گیرند.

سپاسگزاری

این مقاله حاصل بخشی از طرح پژوهشی تحت عنوان ارزیابی تغییرات زمانی - مکانی و روند کیفیت آب سطحی رودخانه‌های ورودی به خلیج فارس با استفاده از تکنیک‌های آماری چند متغیره و شاخص‌های کیفیت آب (مطالعه موردی: رودخانه‌های کارون، دز و کرخه) مصوب دانشگاه ملایر در سال 1400 با شماره قرارداد 831-9-84/1 است که از حمایت دانشگاه ملایر در اجرای این پروژه قدردانی به عمل می‌آید. به‌علاوه نویسندگان مقاله از سازمان آب و فاضلاب اهواز برای همکاری در خصوص ارائه اطلاعات مورد نیاز کمال تشکر و قدردانی را دارند.

5- منابع

Al-Saffawi, A.Y., Al-Shanoona, R.A., & Alobidy, O.M. (2021). Application weight mathematical model (WQI) to assess water quality for irrigation: A case study of Tigris River in Nineveh governorate, *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 735(1), 012061.

Aydin, H., Ustaoğlu, F., Tepe, Y., & Soylu, E.N. (2021). Assessment of water quality of streams in northeast Turkey by water quality index and multiple statistical methods, *Environmental Forensics*, 22(1-2), 270-287.

Barakat, A., Baghdadi, M.E., Rais, J., Aghezzaf, B., & Slassi, M.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(4), 284-292.

Berhe, B.A. (2020). Evaluation of groundwater and surface water quality suitability for drinking and agricultural purposes in Kombolcha town area, eastern Amhara region, Ethiopia, *Applied Water Science,* 10(6), 1-17.

Boye, B.A., Falconer, R.A., & Akande, K., (2015). Integrated water quality modelling: application to the ribble basin, U.K, Journal of Hydro-environment Research, 9, 187–199.

Chabuk, A., Al-Madhlom, Q., Al-Maliki, A., Al-Ansari, N., Hussain, H. M., & Laue, J. (2020). Water quality assessment along Tigris River (Iraq) using water quality index (WQI) and GIS software, Arabian Journal of Geosciences, 13(14), 1-23.

Das, A., & Tripathi, B. (2021). Water Quality and Hydrochemical Assessment for Irrigation on Baitarani River Basin, Odisha, *Journal of Mechanical and Civil Engineering* (IOSR-JMCE), 18(3), 63-107.

Davoudi Moghaddam, D., Haghizadeh, A., Tahmasebipour, N., & Zeinivand, H. (2021). Spatial and Temporal Water Quality Analysis of a Semi-Arid River for Drinking and Irrigation Purposes Using Water Quality Indices and GIS, *ECOPERSIA*, 9(2), 79-93.

Eaton, F.M. (1950). Significance of carbonate irrigation water, Soil Science, 69(2), 123–133.

El Osta, M., Masoud, M., Alqarawy, A., Elsayed, S., & Gad, M. (2022). Groundwater Suitability for Drinking and Irrigation Using Water Quality Indices and Multivariate Modeling in Makkah Al-Mukarramah Province, Saudi Arabia. *Water*, 14(3), 483.

Igbinosa, E.O., & Okoh, A.I. (2009). Impact of discharge wastewater effluents on the physico-chemical qualities of a receiving watershed in a typical rural community, *International Journal of Environmental Science and Technology,* 6, 175–182.

Karakaya, N., & Evrendilek, F. (2010). Water quality time series for Big Melen stream (Turkey): Its decomposition analysis and comparison to upstream, *Environmental Monitoring and Assessment*, 165(1–4), 125–136.

Karimi Jashnia. A., & Salari Dargi, M. (2015). Water Quality Assessment for the Rivers Karoon, Dez and Karkheh, South West of Iran, Environment and Development Journal, 5(10), 29-38.

Kelly, W.P. (1963). Use of saline irrigation water, Soil Science, 95, 355–391.

Khanoranga, K.S. (2019). An assessment of groundwater quality for irrigation and drinking purposes around brick kilns in three districts of Balochistan province, Pakistan, through water quality index and multivariate statistical approaches, *Journal of Geochemical Exploration*, 197, 14–26.

Kianpoor Barjooi Raki, M., & Drikvand, E. (2020). Evaluation of water quality changes in Karun River for drinking, *Quarterly Journal on Water Engineering, Islamic Azad University, Shooshtar Branch,* 8(1), 12-22.

Kianpoor barjooi raki, M., & Drikvand, E. (2020). Karun River Water Quality Assessment Using GIS Software, *Water Engineering*, 8(2), 1-11.

Kim, S.E., & Seo, I.W. (2015). Artificial Neural Network ensemble modeling with conjunctive data clustering for water quality prediction in rivers, *Journal of Hydro-environment Research*, 9, 325–339.

Kumar, B., Singh, U. K., & Ojha, S. N. (2019). Evaluation of geochemical data of Yamuna River using WQI and multivariate statistical analyses: a case study, *International Journal of River Basin Management,* 17(2), 143-155.

Madadinia, M., Monavari, M., Karbasi, A., Nabavi, M. B., & Rajabzade, E. (2014). Study on water quality of Karoun River (Ahvaz region) using water quality index, *Journal of Environmental Science and Technology*, 16(1), 49-60.

Moravej, M., Karimirad, I., & Ebrahimi, K. (2017). Evaluation of Karun river water quality status based on water quality index and involving GIS environment, *Iranian journal of Ecohydrology*, 4(1), 225-235.

Mukate, S., Wagh, V., Panaskar, D., Jacobs, J.A., & Sawant, A., (2019). Development of new integrated water quality index (IWQI) model to evaluate the drinking suitability of water, *Eco-Indicator*, 101, 348–354.

Mutlu, E. (2019). Evaluation of spatio-temporal variations in water quality of Zerveli stream (northern Turkey) based on water quality index and multivariate statistical analyses, *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(6), 335.

Nath, T.K., & Das, B. T.A. (2018). Assessment of Water Quality of Baitarani River, *International Journal of Engineering Research & Technology* (IJERT), 7(7), 319-328.

Nazari, E., Egdernezhad, A., & Jalilzadeh Yengejeh, R. (2020). Monitoring of Khuzistan water resources quality for domestic, industrial and irrigation usage using IRWQIsc and NSFWQI indices, *Journal of Research in Environmental Health*, 6(2), 117-133.

Neissi, L., & Tishehzan, P. (2018). Dez River Water Quality assessment by using multivariate statistical methods, *Irrigation and Water Engineering*, 9(1), 139-150.

Nienie, A.B., Sivalingam, P., Laffite, A., Ngelinkoto, P., Otamonga, J.P., Matand, A., Mulaji, C. K., Mubedi, J.I., Mpiana, P.T., & Pote, J. (2017). Seasonal variability of water 16 H. AYDIN ET AL. quality by physicochemical indexes and traceable metals in suburban area in Kikwit, Democratic Republic of the Congo, *International Soil and Water Conservation Research*, 5(2),158–165.

Qureshimatva, U.M., Maurya, R.R., Gamit, S.B., Patel, R.D., & Solanki, H.A. (2015). Determination of physico-chemical parameters and Water Quality Index (WQI) of Chandlodia Lake, Ahmedabad, Gujarat, India, *Journal of Environmental and Analytical Toxicology,* 5, 288.

Richards, L.A. (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Agricultural handbook no.60. United States Department of Agriculture, Washington DC.

Saha, R., Dey, N.C., Rahman, S., Galagedara, L., & Bhattacharya, P., (2018). Exploring suitable sites for installing safe drinking water wells in coastal Bangladesh, *Groundwater for Sustainable Development*, 7, 91–100.

Salari, M., Radmanesh, F., & Zarei, H. (2013). Quantitative and qualitative assessment of Karoon River water using NSFWQI index and AHP method, *Human & Environment*, 10(23), 13-22.

Sener, S., Sener, E., & Davraz, A. (2017). Evaluation of water quality using water quality index (WQI) method and GIS in Aksu River (SW-Turkey), *Science of the Total Environment*, 584, 131–144.

Shah, B., Kansara, B., Shanker, J., Soni, M., Bhimjiyani, P., Bhanushali, T., Shah, M,. & Sircar, A., (2019). Reckoning of water quality for irrigation and drinking purposes in the konkan geothermal provinces, Maharashtra, India, *Groundwater for Sustainable Development*, 9, 100247.

Sharma, C.M., Kang, S., Tripathee, L., Paudyal, R., & Sillanpää, M. (2021). Major ions and irrigation water quality assessment of the Nepalese Himalayan rivers, *Environment, Development and Sustainability*, 23(2), 2668-2680.

Shatti, S., & Akhoond-ali, A. (2019). The effects of gotvand olia dam impoundment on the water quality of Karun River. *Iranian Dam and Hydroelectric Powerplant*, 6 (21), 26-36.

Shil, S., Singh, U.K., & Mehta, P. (2019). Water quality assessment of a tropical river using water quality index (WQI), multivariate statistical techniques and GIS, *Applied Water Science*, 9(7), 1-21.

Singh, K.R., Goswami, A.P., Kalamdhad, A.S., & Kumar, B. (2020). Development of irrigation water quality index incorporating information entropy, *Environment, Development and Sustainability*, 22, 3119–3132.

Sudhakaran, S., Mahadevan, H., Arun, V., Krishnakumar, A.P., & Krishnan, K.A. (2020). A multivariate statistical approach in assessing the quality of potable and irrigation water

environs of the Netravati River basin (India), *Groundwater for Sustainable Development*, 11, 100462.

Tas., B., Tepe, Y., Ustao_glu, F., & Alptekin, S. (2019). Benthic algal diversity and water quality evaluation by biological approach of Turnasuyu Creek, NE Turkey, *Desalination and Water Treatment*, 155, 402–415.

Tepe, Y., & Aydin, H. (2017). Water quality assessment of an urban water, Batlama Creek (Giresun), Turkey by applying multivariate statistical techniques, *Fresenius Environment Bulletin,* 26, 6413–6420.

Tepe, Y., & Cebi, A. (2019). Acrylamide in environmental water: A review on sources, exposure, and public health risks, *Exposure and Health*, 11(1), 3–12.

Tirkey, P., Bhattacharya, T., Chakraborty, S., & Baraik, S. (2017). Assessment of groundwater quality and associated health risks: a case study of Ranchi city, Jharkhand, India, *Groundwater for Sustainable Development*, 5, 85–100.

Todd, D.K. (1995). Groundwater Hydrology. John Wiley and Sons Publications, 3rd Ed, New York.

Ustaoglu, F., Tepe, Y., & Tas., B. (2020). Assessment of stream quality and health risk in a subtropical Turkey river system: A combined approach using statistical analysis and water quality index, *Ecological Indicators*, 113(105815), 1-12.

Wang, J., Liu, G., Liu, H., & Lam, P. K. (2017). Multivariate statistical evaluation of dissolved trace elements and a water quality assessment in the middle reaches of Huaihe River, Anhui, China, *Science of the total environment*, 583, 421-431.

Wilcox, L.V. (1955). Classification and use of irrigation water. Washington DC: US Department of Agriculture.

World Health Organization. (2011). Guidelines for Drinking- Water Quality. Vol. 216. Geneva: *World Health Organization*. 303–304.

Xiao, J., Wang, L., Deng, L., & Jin, Z. (2019). Characteristics, sources, water quality and health risk assessment of trace elements in river water and well water in the Chinese Loess Plateau, *The Science of the Total Environment*, 650, 2004–2012.

Yadav, A.K., Khan, P., & Sharma, S.K. (2012). Water quality index assessment of groundwater in Todaraisingh Tehsil of Rajasthan State, India - A Greener approach, *Journal of Chemistry*, 7, 428–432.

Yidana, S.M. (2010). Groundwater classification using multivariate statistical methods: Birimian Basin, Ghana, *Journal of Environmental Engineering*, 136, 1379–1388.