

# ارزیابی کیفی رودخانه کنگیر ایوان با استفاده از شاخص NFWQI و تأثیر کاهش بار آلاینده‌های نقطه‌ای در افزایش میزان شاخص با استفاده از مدل QUAL2KW

محمدحسین رستمی<sup>۱\*</sup>حسین وحیدی<sup>۲</sup>سید مسعود طایفه<sup>۳</sup>مهردی احمدی کلان<sup>۴</sup>

۱. کارشناس ارشد مهندسی عمران محیط‌زیست، ایلام، ایران.

۲. استادیار گروه محیط‌زیست، دانشگاه صنعتی سیرجان، سیرجان، ایران.

۳. کارشناس ارشد مهندسی محیط‌زیست، دانشکده فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۴. کارشناس ارشد محیط‌زیست، اداره کل محیط‌زیست، ایلام، ایران.

**\*مسئول مکاتبات:**

rostami.mohamad7128@gmail.com

کد مقاله: ۱۳۹۹۰۱۰۷۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۲۸

این مقاله برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد است.

**چکیده**

رشد جمعیت و آلودگی‌های ناشی از تخلیه فاضلاب کاربری‌های مختلف باعث گسترش آلودگی و محدودتر شدن منابع آب در دسترس شده است. یکی از ساده‌ترین روش‌ها جهت تعیین شرایط کیفی آب استفاده از شاخص‌های کیفی آب است که می‌توانند به عنوان یک ابزار تصمیم‌گیری برای مدیران و متخکسان مربوطه بکار گرفته شوند. NSF شاخصی جام و ابزاری کارآمد جهت تعیین وضعیت کیفی آب و طبقه‌بندی کیفی منابع آب بوده و نسبت به سایر شاخص‌های کیفی آب کاربرد بیشتری دارد. این مطالعه به بررسی کیفی رودخانه کنگیر واقع در استان ایلام، با استفاده از شاخص NFWQI می‌پردازد. اطلاعات موردنیاز برای انجام این مطالعه که شامل اطلاعات کمی و کیفی رودخانه در دو فصل پرآبی و کم‌آبی در ۵ ایستگاه در زمستان سال ۱۳۹۰ و تابستان سال ۱۳۹۱ می‌باشد، از اداره محیط‌زیست و شرکت آب منطقه‌ای استان ایلام جمع‌آوری شد. نتایج شاخص نشان داد که کیفیت آب در این رودخانه، در همه ایستگاه‌ها در محدوده متوسط و ضعیف طبقه‌بندی می‌شود. بالاترین مقدار شاخص به میزان ۶۶ در دی‌ماه در ایستگاه اول و کمترین میزان آن به ایستگاه دوم به میزان ۳۰ در ماه‌های تیر و شهریور و پس از تخلیه فاضلاب اختصاص می‌یابد. به تدریج در طول رودخانه میزان کیفیت رودخانه روند رو به بهبود در پیش می‌گیرد به طوری که در ایستگاه آخر و در نزدیک سد کنگیر دوباره کیفیت رودخانه به بازه متوسط برمی‌گردد، که نشان از قابلیت خود بالای رودخانه می‌باشد. عمدۀ دلیل کاهش میزان شاخص NSF تخلیه فاضلاب تصفیه نشده و بالا بودن پارامترهای مثل BOD و کلی فرم و کاهش DO می‌باشد. در کنار استفاده از شاخص‌های کیفی، برای تعیین عکس العمل قابل انتظار رودخانه برائی و رود آلاینده‌ها استفاده از مدل‌های ریاضی ضروری است. در این مطالعه جهت شبیه‌سازی پارامترهای BOD، اکسیژن محلول و کلی فرم از مدل QUAL2KW که رودخانه را به صورت یکبعدی همراه با جریان دائمی غیریکنواخت شبیه‌سازی می‌کند، استفاده شد. ماه‌های دی و مرداد به عنوان نماینده دوره‌تر و خشک‌سال انتخاب گردید و برای هر دوره به صورت جداگانه مدل کالیبره شد، سپس تحت دما و دبی ثابت ستاریو کاهش ۵۰ درصدی کلی فرم و BOD از منبع آلاینده نقطه‌ای برای مدل اجرا شد که نشان داد در صورت اجرای اجرای ستاریو، شاهد افزایش کیفیت شاخص NFWQI در ایستگاه‌ها، بسته به تأثیرپذیری از منبع آلاینده نقطه‌ای خواهیم بود. بیشترین افزایش شاخص NFWQI برای ایستگاه علمدار (بعد از تخلیه فاضلاب شهری) به مقدار میانگین ۱۰ و کمترین میزان افزایش شاخص برای ایستگاه کپنه‌کران (ایستگاه آخر) به مقدار میانگین ۲ خواهد بود.

**واژگان کلیدی:** شاخص NFWQI، مدل QUAL2KW، کیفیت آب، رودخانه کنگیر.**مقدمه**

رودخانه‌ها و آب‌های جاری، از دیرباز موردنیاز و مورد توجه جوامع بشری بوده‌اند. برای برهه بردن از منابع آب، شهرها و مراکز صنعتی و کشاورزی معمولاً در نزدیکی رودخانه‌ها برپاشده‌اند. با گذشت زمان و گسترش زمان و گسترش این جوامع و به تبع آن افزایش استفاده از منابع آبی، دخل و تصرف



غیرطبیعی و تغییر شرایط کیفی آب رودخانه‌ها افزایش پیدا کرده است (Enrique *et al.*, 2007). رشد جمعیت و آلودگی‌های ناشی از تخلیه انواع فاضلاب‌های شهری، صنعتی، کشاورزی، شیرابه محل‌های دفع زباله و رواناب‌های سطحی باعث گسترش آلودگی و محدودتر شدن منابع آب در دسترس شده است. همچنین کمبود آب در کشورهای در حال توسعه ارزیابی کیفیت آب را در سال‌های اخیر به مبحثی مهم تبدیل نموده است (Ruixin *et al.*, 2012). در این زمینه سنجش، تحلیل و تفسیر داده‌های کیفی رودخانه‌ها به‌طور منظم، این امکان را فراهم می‌سازد که ضمن استفاده در موارد مختلف، شیوه‌های مدیریتی صحیح و مناسب اتخاذ گردد تا به تدریج از آلودگی رودخانه‌ها کاسته شده و به سمت کیفیتی با استاندارد قابل قبول حرکت کند (Mirzaei *et al.*, 2005). یکی از ساده‌ترین روش‌ها جهت تعیین شرایط کیفی آب استفاده از شاخص‌های کیفی آب است که می‌توانند به عنوان یک ابزار تصمیم‌گیری برای مدیران و متخصصان مربوطه بکار گرفته شود. در این شاخص‌ها از انواع پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آب استفاده شده و توسط روابطی خاص این پارامترها به کمیت تبدیل می‌شوند. سپس از کمیت به دست آمده برای ارزیابی‌های کیفی استفاده می‌شود (Ramesh *et al.*, 2007). شاخص‌ها به تشخیص روند تغییرات زیستمحیطی کمک کرده و از آن‌ها می‌توان برای تصمیم‌گیری‌های کلان کشوری و تدوین مقررات استفاده نمود (Sanche *et al.*, 2007).

شاخص کیفیت آب بنیاد ملی بهداشت (NSFWQI: National Sanitation Foundation Water Quality Index). یکی از شاخص‌های پرکاربرد جهت طبقه‌بندی کیفیت آب‌های سطحی می‌باشد که بر اساس دما، خاصیت اسیدی، کل جامدات، فسفات، نیترات، اکسیژن محلول، اکسیژن خواهی بیوشیمیایی، کلی فرم مدفوعی و کدورت تعیین می‌گردد (Giriyanappanavar and Patil, 2013). استفاده از شاخص (NSFWQI) به دلیل سادگی محاسبه، در دسترس بودن پارامترها و قابل فهم بودن برای عموم، بسیار متداول بوده و برای طبقه‌بندی کیفیت آب‌های سطحی شاخصی جامع و کامل محسوب می‌شود. با به کارگیری این شاخص می‌توان دید مناسبی در مورد کیفیت آب‌های سطحی و رودخانه به دست آورد (Hamdan and Giriyanappanavar, 2015). رودخانه شط العرب را با استفاده از شاخص (NSFWQI) موردنبررسی قراردادند که نتایج نشان داد کیفیت رودخانه بخصوص در سرشاخه‌ها و در نزدیکی مرکز استان بصره به علت تخلیه بی‌رویه فاضلاب‌های صنعتی و شهری در وضعیت بدی قرار دارد. Zotoou و همکاران (۲۰۲۰)، بدنی آبی چشممه‌های مدیرانه‌ای را با استفاده از هفت شاخص مختلف موردنبررسی قراردادند، نتایج نشان داد شاخص‌های (NSFWQI) و (Bhargava) کیفیت آب را در کلاس بالاتری نسبت به سایر شاخص‌ها طبقه‌بندی می‌کنند. Chantil (۱۹۹۹)، در مطالعه‌ای رودخانه دسموئیس (Desmoeis) در آمریکا را با شاخص‌های مختلف مورد ارزیابی قرارداد، درنتیجه مشخص شد شاخص NSFWQI بهترین شاخص برای بیان وضعیت کیفی آب رودخانه است. بذرگشان و همکاران (۱۳۹۸)، در تحقیقی آب رودخانه سد ماشکید در شهرستان سیب و سوران را با استفاده از شاخص (NSF) مورد ارزیابی قراردادند. نتایج نشان داد کیفیت رودخانه در تمامی فصول در بازه متوسط قرار دارد و کیفیت آب سد ماشکید برای استفاده‌های کشاورزی مناسب می‌باشد. نتایج مطالعه صمدی و همکاران بر روی رودخانه دره مرادیگ با استفاده از شاخص NSFWQI، نشان داد ورود فاضلاب شهر همدان کیفیت رودخانه را از محدوده متوسط به ضعیف تقلیل داده است (صمدی و همکاران, ۱۳۸۷).

در کنار استفاده از شاخص‌های کیفی، برای تعیین عکس العمل قابل انتظار رودخانه برای ورود آلاینده‌ها، استفاده از مدل‌های ریاضی ضروری است. این مدل‌ها قادرند آثار بارگذاری‌های موجود و آتی را شبیه‌سازی نموده و مدیران و مسئولان را در تصمیم‌گیری‌های خودبیاری نمایند. به عبارت دیگر از آنچاکه حفاظت کیفی رودخانه‌ها نیاز به سرمایه‌گذاری‌های اضافی برای تصفیه پساب‌ها و یا ایجاد سیستم‌های جمع‌آوری و کنترل زه‌آب‌ها دارد و همچنین ممکن است منجر به محدود کردن توسعه فعالیتها در حوضه رودخانه گردد، اثرات اقتصادی قابل توجهی می‌تواند به دنبال داشته باشد؛ بنابراین وجود ابزاری نظیر یک مدل ریاضی به منظور نشان دادن شرایط موجود و محدودیت‌های لازم برای دستیابی به استانداردهای کیفی موردنظر، برای تصمیم‌گیران ضروری به نظر می‌رسد (شکری و همکاران, ۱۳۹۴). امروزه از مدل (QUAL2KW) به‌طور گستردگی از جهت شبیه‌سازی کیفی آب رودخانه‌ها استفاده می‌شود. مدل مذکور رودخانه را به‌طور یک‌بعدی، همراه با جریان دائمی غیریکنواخت شبیه‌سازی می‌نماید. این مدل توسط اداره حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده (EPA) مورد پهنه‌برداری قرار گرفت و توسعه یافته مدل

(QUAL2E) است (Kannel and Chapra, 2006) و همکاران (۲۰۰۷)، به منظور شبیه‌سازی اکسیژن محلول رودخانه بگماتی (Bagmati) با استفاده از سناریوهای مختلف از مدل (QUAL2KW) استفاده کردند. نتایج مطالعه آن‌ها بیانگر خطای کم شبیه‌سازی و نزدیکی به داده‌های مشاهداتی بود. Marlina و همکاران (۲۰۱۹) در مطالعه‌ای تأثیر شرایط آب و هوایی بر روی غلظت (BOD) و (DO) را با استفاده از مدل (QUAL2KW) مورد ارزیابی قراردادند. نتایج نشان داد دما بیشترین تأثیر را بر روی (DO) و مقدار کمی بر روی (BOD) دارد. سرعت باد مقداری روی DO تأثیرگذار است و پوشش ابر تأثیر چندانی روی این دو پارامتر ندارد. بابا خانی و همکاران (۱۳۹۸) در مطالعه‌ای به ارزیابی کیفیت رودخانه دیوان دره با استفاده از مدل QUAL2KW پرداختند. نتایج مطالعه نشان داد به علت سکوتگاه‌های انسانی، تأثیر فاضلاب‌ها و رواناب‌های کشاورزی، بازه‌ی انتهایی رودخانه در وضعیت نامطلوبی قرار دارد. اکبری و همکاران (۱۳۹۷)، به منظور شبیه‌سازی کیفی رودخانه بالیخلی چای واقع در اردبیل از مدل (QUAL2KW) استفاده کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد مدل تطابق نسبتاً خوبی با واقعیت دارد و با توجه به مطالعات و بررسی‌های به عمل آمده، مهم‌ترین منابع آلاینده رودخانه بالیخلی چای را می‌توان زهکش‌های زمین‌های کشاورزی و فاضلاب روزتاهای مسیر رودخانه دانست.

رودخانه کنگیر یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های دائمی استان ایلام است که در محدوده سیاسی- اداری شهرستان ایوان واقع شده است. متوسط دبی سالیانه رودخانه کنگیر برابر  $0.92 \text{ مترمکعب در ثانیه}$  و کل حجم سالیانه آب  $28/7 \text{ میلیون مترمکعب}$  است که در سال‌های اخیر به دلایل متعددی دستخوش تغییراتی شده است. رودخانه کنگیر در عبور از حاشیه جنوبی شهر ایوان پذیرنده فاضلاب شهری این شهر می‌باشد. تخلیه این فاضلاب‌ها به رودخانه مشکلات زیستمحیطی و بهداشتی را برای اکوسیستم رودخانه و استفاده کنندگان از آب رودخانه ایجاد می‌کند، از جمله این مشکلات می‌توان آلوده و بیمار شدن ماهیان رودخانه به بیماری‌های انگلی و تهدید بهداشت و سلامت افرادی که از رودخانه استفاده می‌نمایند را نام برد. همچنین حوضه آبریز این رودخانه مشتمل بر تعداد زیادی روزتا که در فواصل نزدیک به هم در حاشیه و مسیر این رودخانه قرار گرفته‌اند. درنتیجه‌ی بعضی از مصارف کشاورزی و دامی آلودگی مستقیماً وارد رودخانه می‌شود و فاضلاب روزتاهای محل انباشت فضولات دامی و کشاورزی که به وسیله بارندگی وارد حوضه می‌شود، درنهایت وارد رودخانه شده و موجب آلودگی آن می‌گردد. به طور خلاصه می‌توان گفت با توجه به اینکه هیچ‌گونه کنترلی در دفع بهداشتی فاضلاب خانگی وجود ندارد، لذا آلودگی خاک و آبهای زیرزمینی منطقه قابل انتظار بوده و آب رودخانه را مستقیم یا غیرمستقیم آلوده می‌سازد. همچنین اهالی اغلب روزتاهای یا واحدهای صنعتی و مرکز پرورش حیوانات، زباله و فضولات حیوانی خود را مستقیم به حوضه آبریز رودخانه می‌ریزند که این امر نیز می‌تواند موجب افزایش میزان بار آلی و میکروبی رودخانه شود (مغربی و تجربی، ۱۳۸۸). دفع غیربهداشتی زباله‌های خانگی در اراضی اطراف و شیرابه آلوده زباله‌ها و همچنین فعالیت‌های کشاورزی از دیگر منابع آلودگی این رودخانه به شمار می‌رود؛ لذا پایش و کنترل آلاینده‌های ورودی به این رودخانه جهت کنترل و حفظ کیفیت مناسب آن نیز تصمیم‌گیری در خصوص نحوه استفاده از آب رودخانه امری ضروری به نظر می‌رسد.

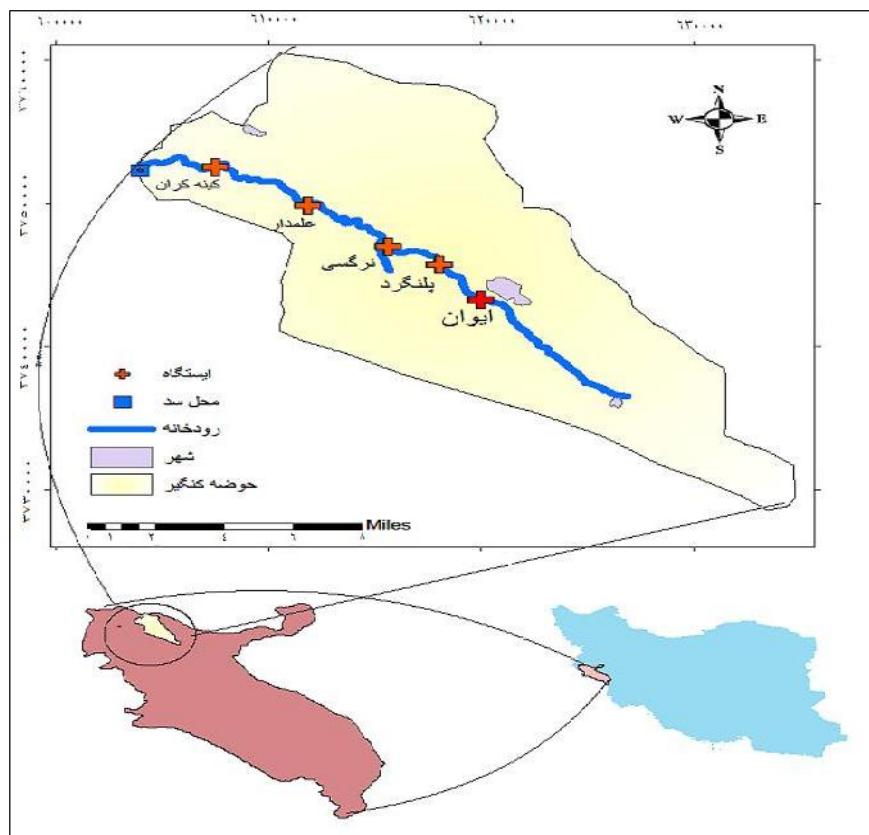
## مواد و روش‌ها

این مطالعه از نوع توصیفی مقطعی می‌باشد. اطلاعات کیفی موردنیاز که شامل ۹ پارامتر: اکسیژن محلول، (pH)، کل جامدات، اکسیژن موردنیاز بیوشیمیایی، کدورت، دما، فسفات، نیترات و کلی فرم مدفووعی بوده؛ در سه ماه زمستان ۱۳۹۰ و سه ماه تابستان ۱۳۹۱ در ۵ ایستگاه به مجموع ۲۷۰ آزمایش از اداره محیط‌زیست استان ایلام جمع‌آوری شد. نگهداری و سنجش عوامل موردنظر در نمونه‌های آب با استفاده از روش استاندارد انجام گرفته شد (Standard method, 1998). انتخاب ایستگاه‌ها در این مطالعه به طریقی انجام گرفت که تمام طول رودخانه، قبل از ورود به سد مخزنی کنگیر و همچنین قبل و بعد از تخلیه فاضلاب‌های شهری و روزتایی و شاخه‌های فرعی را در بر گیرد. ایستگاه

اول ایستگاه ایوان در نزدیکی سرچشمه و قبل از تخلیه فاضلاب شهری ایوان قرار دارد. ایستگاه دوم بعد از تخلیه فاضلاب شهری ایوان در روستای پلنگرد و در  $2/3$  کیلومتری ایستگاه اول واقع شده است. ایستگاه سوم در پایین دست روستای نرگسی، تحت تأثیر فعالیت‌های کشاورزی و انسانی شهرک نبوت و روستای نرگسی، پس از طی  $5/5$  کیلومتر از ایستگاه اول قرار دارد. ایستگاه شماره ۴ در روستای علمدار، که توسط روستاهای متعددی احاطه شده و بیشترین جمعیت روستایی در اطراف آن قرار دارد، در  $11/8$  کیلومتری ایستگاه اول واقع شده است. ایستگاه پنجم در پایین دست روستای کپنه کران و نزدیک ترین ایستگاه به سد مخزنی کنگیر می‌باشد که فاصله‌ی آن تا ایستگاه اول  $17/7$  کیلومتر است. خصوصیات جغرافیایی و نقشه ایستگاه‌های پایش به همراه حوضه آبریز کنگیر به ترتیب در جدول ۱ و شکل ۱ آورده شده است.

**جدول ۱: مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد بررسی پایش (۱۳۹۰-۱۳۹۱).**

ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی
ایوان	$۴۶^{\circ}۱۷'۲۱''$	$۳۳^{\circ}۴۹'۴۴''$
روستای پلنگرد	$۴۶^{\circ}۱۶'۱۷''$	$۳۳^{\circ}۵۰'۴۸''$
روستای نرگسی	$۴۶^{\circ}۱۵'۰۶''$	$۳۳^{\circ}۵۱'۰۶''$
روستای علمدار	$۴۶^{\circ}۱۲'۵۸''$	$۳۳^{\circ}۵۲'۵۵''$
روستای کپنه کران	$۴۶^{\circ}۱۰'۱۹''$	$۳۳^{\circ}۵۴'۱۰''$



**شکل ۱: نقشه ایستگاه‌های نمونه‌برداری و حوضه آبریز رودخانه کنگیر ایوان (۱۳۹۰-۱۳۹۱).**

شاخص NSFWQI از مجموع حاصل ضرب دو عامل وزن پارامتر (Wi) و کیفیت پارامتر (Qi) محاسبه می‌گردد. پارامترها و وزن آن‌ها در جدول ۲ نشان داده شده است. در این مطالعه بهمنظور محاسبه دقیق شاخص، از نرمافزار آنلاین (NSFWQI Calculator) استفاده شده است. که با قراردادن مقدار هر پارامتر در نرمافزار مذکور، مقدار شاخص برای هر پارامتر محاسبه شده و درنهایت با به دست آوردن میانگین مقادیر، شاخص برای هر ایستگاه یا ماه موردنظر تعیین گردیده است. طبقه‌بندی شاخص NSF بر اساس نمره شاخص در جدول ۳ نشان داده شده است.

**جدول ۲: وزن دهی فاکتورهای مورد بررسی در شاخص NSFWQI (۱۳۹۰-۱۳۹۱).**

پارامتر	مقیاس	وزن
BOD	میلی‌گرم بر لیتر	۰/۱۱
DO	درصد اشباع	۰/۱۷
F.C.	در ۱۰۰ میلی‌لیتر نمونه	۰/۱۶
Nitrates	میلی‌گرم بر لیتر	۰/۱۰
PH	واحد	۰/۱۱
Temp	درجه سانتی‌گراد	۰/۱۰
TS	میلی‌گرم بر لیتر	۰/۰۷
Turb	NTU	۰/۰۸
Phosphat	میلی‌گرم بر لیتر	۰/۱۰
مجموع		۱

**جدول ۳: راهنمای شاخص NSF (۱۳۹۰ - ۱۳۹۱).**

شاخص	حدوده	کیفیت	کلاس‌بندی نوع استفاده از منبع آبی
عالی	۱۰۰-۹۰	دارای حالت طبیعی، در صورت استفاده از آن به عنوان آب شرب نیاز به تصفیه ندارد. مناسب برای پرورش شیلات و گونه‌های حساس آبی	
خوب	۹۰-۷۰	در صورت استفاده از آن برای تأمین آب شرب نیاز به تصفیه متداول دارد، مناسب برای پرورش ماهی و گونه‌های حساس آبی، مناسب برای مقاصد تفریحی چون شنا و ...	
متوسط	۷۰-۵۰	در صورت استفاده از آن برای تأمین آب شرب نیازمند به تصفیه پیشرفته است، مناسب برای پرورش ماهی و گونه‌های حساس آبی، مناسب جهت آب شرب حیوانات اهلی	

در صورت استفاده از آن برای تأمین آب شرب نیازمند به تصفیه پیشرفته است، مناسب برای پرورش ماهی و گونه‌های حساس آبی،

مناسب جهت آب شرب حیوانات اهلی

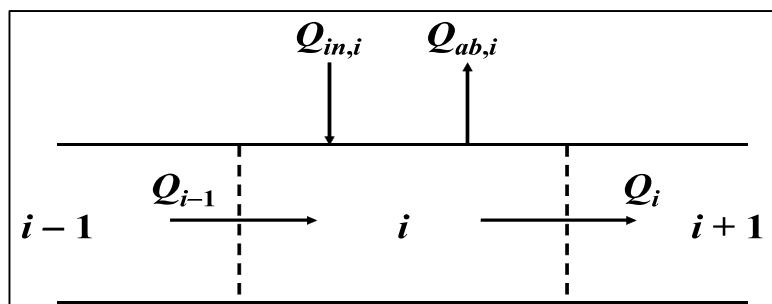
متوسط

بد	۵۰-۲۵	مناسب جهت آبیاری اراضی کشاورزی
خیلی بد	۳۰-۰	برای هیچ کدام از استفاده‌های مذکور مناسب نمی‌باشد و تنها توانایی حمایت تعداد محدودی از اشکال آبزی وجود دارد

در کنار استفاده از شاخص‌های کیفی، برای تعیین عکس العمل قابل انتظار رودخانه براثر ورود آلاینده‌ها، استفاده از مدل‌های ریاضی ضروری است. این مدل‌ها قادرند آثار بارگذاری‌های موجود و آتی را شبیه‌سازی نموده و مدیان و مسئلان را در تصمیم‌گیری‌های خودداری نمایند. به عبارت دیگر از آنجاکه حفاظت کیفی رودخانه‌ها نیاز به سرمایه‌گذاری‌های اضافی برای تصفیه پساب‌ها و یا ایجاد

سیستم‌های جمع‌آوری و کنترل زهاب‌ها دارد و همچنین ممکن است منجر به محدود کردن توسعه فعالیت‌ها در حوضه رودخانه گردد، اثرات اقتصادی قابل توجهی می‌تواند به دنبال داشته باشد؛ بنابراین وجود ابزاری نظری یک مدل ریاضی به‌منظور نشان دادن شرایط موجود و محدودیت‌های لازم برای دستیابی به استانداردهای کیفی موردنظر، برای تصمیم گیران ضروری به نظر می‌رسد (شکری و همکاران، ۱۳۹۴). در این مطالعه هدف از شبیه‌سازی به کارگیری سناریو جهت کاهش بار نقطه‌ای آلاینده‌های مؤثر در شاخص NSF است. مدل (QUAL2KW) هم‌اکنون به طور گسترده‌ای جهت شبیه‌سازی کیفیت آب رودخانه‌ها به کار می‌رود. این مدل که رودخانه را به صورت یک بعدی، همراه با جریان دائمی غیریکنواخت شبیه‌سازی می‌کند، توسط اداره حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده مورد بهره‌برداری قرار گرفت و توسعه‌یافته مدل (QUAL2E) است. این مدل قادر به شبیه‌سازی تعداد زیادی از پارامترهای مهم فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آب است (طاهری و همکاران، ۱۳۹۴). برای مدل‌سازی یک رودخانه اولین گام ساده‌سازی سیستم ورودی‌ها و خروجی‌های آن به‌منظور تبدیل آن به فرمول‌های ریاضی می‌باشد. به‌منظور این کار طول رودخانه به تعدادی بازه تقسیم می‌شود. این تقسیم‌بندی می‌تواند در مقاطعی که کیفیت رودخانه و یا دبی آن دچار تغییرات ناگهانی می‌شود و یا در انشعابات فرعی، محل تخلیه فاضلاب کاربری‌های مختلف و یا در مقاطعی که خصوصیات هیدرولیکی رودخانه مانند شبکه از عرض مقطع دچار تغییر می‌شود، انجام گیرد. مدل (QUAL2KW) قادر است ۱۹ پارامتر کیفی آب را شبیه‌سازی کند. هر کدام از این پارامترها ضرایب خود را دارد که بعد از کالیبراسیون مدل جهت نزدیک شدن به شرایط واقعی قابل تغییر در محدوده مجاز خود هستند (Pelletier and Chapra, 2006). در کنار اطلاعات هندسی، هیدرولیکی و کیفی باید اطلاعات هواشناسی بازه‌های رودخانه مورد مطالعه که عموماً تأثیرگذار بر روی شبیه‌سازی دما و واکنش‌های مختلف هستند، در مدل وارد گردند. این اطلاعات عبارت انداز: دمای هوای سرعت باد، میزان ابرناکی، دمای نقطه شبنم، میزان تشبع‌ساعت دریافتی خورشیدی و میزان سایه‌اندازی درختان کنار رودخانه بر روی سطح جریان آب رودخانه (طاهری و همکاران، ۱۳۹۴).

محاسبه‌ی دبی در این مدل با استفاده از قانون بقای جرم و در شرایط پایدار تعریف می‌شود (Chapra and Pelletier, 2003). طریقه‌ی محاسبه آن در رابطه ۱ بیان شده است همچنین موزانه جریان برای هر بازه در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲: المان موازن جریان رودخانه کنگیر ایوان (۱۳۹۰-۱۳۹۱).

$$Q_i = Q_{i-1} + Q_{in,i} - Q_{ab,i} \quad \text{رابطه ۱:}$$

$Q_i$ : میزان دبی خروجی از المان  $i$  به  $i+1$

$Q_{i-1}$ : میزان دبی خروجی از المان  $i-1$

$Q_{in,i}$ : میزان دبی ورودی نقطه‌ای و یا غیر نقطه‌ای به المان  $i$

$Q_{ab,i}$ : میزان دبی خروجی نقطه‌ای یا غیر نقطه‌ای از المان  $i$

ارزیابی مقایسه مقادیر مشاهده‌ای با مقادیر محاسبه‌ای برنامه، توسط شاخص میانگین خطای اربی (MBE) محاسبه می‌گردد که از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

رابطه ۲:

$$MBE = \frac{\sum (C_i - M_i)}{n}$$

$C_i$ : امین مقدار محاسبه شده به وسیله مدل

$M_i$ : امین مقدار اندازه گیری شده

$n$ : تعداد کل مشاهدات

هر چه مقدار  $|MBE|$  (قدر مطلق شاخص MBE) کمتر باشد، دقیق‌تر است.

## نتایج

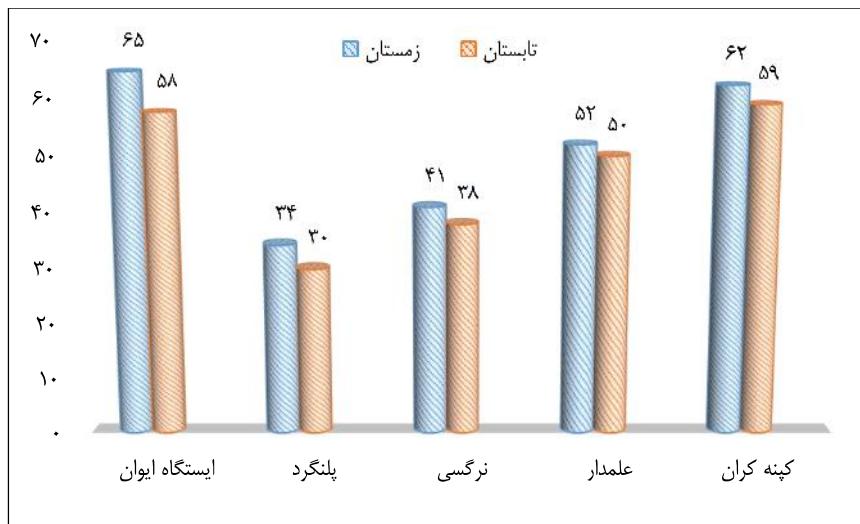
نتایج حاصله از محاسبه شاخص NSF نشان می‌دهد که روند تغییرات شاخص کیفیت آب در ایستگاه‌های مختلف، باهم متفاوت بوده و میزان شاخص کیفی بین ۳۰ تا ۶۶ نوسان دارد. مطابق جدول ۳ بیشترین میزان شاخص در ایستگاه ایوان به مقدار ۶۶ در دی ماه و کمترین نمره شاخص به مقدار ۳۰ در ایستگاه پلنگرد در مرداد و شهریورماه مشاهده شد. ایستگاه ایوان در تمامی ماه‌های سال در رده متوسط نزدیک به خوب قرار دارد. در ایستگاه پلنگرد بعد از ورود فاضلاب ایوان، میزان شاخص با افت شدید مواجه می‌شود به طوری که ایستگاه پلنگرد در همه ماه‌های سال در وضعیت بد به لحاظ طبقه‌بندی NSF قرار می‌گیرد. دلیل این امر پایین بودن اکسیژن محلول و بالا بودن اغلب آلاینده‌های تأثیرگذار در شاخص می‌باشد. ایستگاه سوم ایستگاه نرگسی است با توجه به طی مسافتی، آلاینده‌ها تا حدی رقیق شده ولی با این وجود شاخص کیفیت برای این ایستگاه هم در بازه ضعیف طبقه‌بندی می‌شود. با فاصله گرفتن از ایستگاه نرگسی و حرکت رودخانه به سمت پایین دست، با توجه به افزایش دبی ناشی از شاخص‌های فرعی و چشمدهای حوضه، وضعیت شاخص بهبود می‌یابد، به طوری که در دو ایستگاه آخر به جز ایستگاه علمدار در ماه مرداد در سایر ماه‌ها، شاخص به وضعیت متوسط بر می‌گردد. بیشترین میزان شاخص در دی در ایستگاه اول به مقدار ۶۶ و بدترین آن در ایستگاه دوم در ماه‌های تیر و شهریور به مقدار ۳۰ می‌باشد.

جدول ۳: میزان شاخص برای هر ایستگاه در هرماه مورد بررسی در رودخانه کنگیر ایوان (سال ۱۳۹۱ - ۱۳۹۰).

ماه نمونه برداری	ایوان	پلنگرد	نرگسی	علمدار	کپنه کران
۶۲	۵۲	۴۲	۳۴	۶۶	دی
۶۴	۵۳	۴۱	۳۵	۶۳	بهمن
۶۱	۵۳	۴۱	۳۴	۶۵	اسفند
۵۹	۵۰	۳۹	۳۰	۵۸	تیر
۶۰	۴۹	۳۸	۳۱	۵۸	مرداد
۵۹	۵۰	۳۸	۳۰	۵۷	شهریور

مقایسه میانگین شاخص در سه ماه زمستان و تابستان در تصویر ۳ نشان داده شده است. بر اساس این نمودار میانگین شاخص در همه ایستگاهها در فصل زمستان نسبت به تابستان بیشتر است. دلیل این امر می‌تواند دبی بیشتر رودخانه و افزایش تلاطم که باعث رقیق‌تر شدن آلاینده‌ها می‌شود؛ و همچنین کاهش دما (تأثیر در افزایش DO) و کاهش استفاده‌های تفریحی در سرمنشأ رودخانه باشد. از طرفی با افزایش بارش‌ها که موجب نفوذ آب‌های سطحی از طریق چاههای فاضلاب و یا جریان یافتن فاضلاب‌های خانگی در مسیر آب وارد به رودخانه می‌شود و همچنین آبشویه کودهای شیمیایی زمین‌های کشاورزی اطراف و نشت شیرابه محل‌های ابناشت فضولات حیوانی، موجب افزایش میزان پارامترهایی مثل کلی فرم، نیترات و فسفات در فصل بارش نسبت به فصل خشک‌سال می‌شود. لازم به ذکر است که در فصل زمستان بارش و افزایش دبی در سه‌ماهه‌ی زمستان نسبت به تابستان بیشتر می‌شود. عوامل ذکر شده باعث کاهش عدد شاخص NSF در فصل پرآبی شده و سبب می‌شود تفاوت میزان شاخص نسبت به فصل تابستان که BOD رودخانه بسیار بیشتر و DO کمتر از فصل زمستان بوده زیاد چشمگیر نباشد. آنچه باعث می‌شود ایستگاه اول در محدوده کیفیت خوب قرار نگیرد، مقدار TS بالا و کدورت نسبتاً زیاد در فصل زمستان که ناشی از بارش و فرسایش خاک و همچنین تخلیه نخاله‌های ساختمانی و برداشت غیراصولی و بدون مجوز شن و ماسه و قلوه‌سنگ از حریم و بستر رودخانه به علت دسترسی آسان و نزدیکی به مناطق شهری و روستایی و همچنین وجود کاربری‌های تفریحی و زیارتی در بالادست رودخانه در فصل گرم سال عموماً باعث هجوم گردشگران در بالادست رودخانه شده و باعث افزایش بارآلی رودخانه و به‌تبع آن افزایش BOD در این ماهها می‌شود. در ایستگاه دوم با ورود فاضلاب تصفیه نشده شهری به رودخانه و همچنین نزدیک بودن به روستاهای پلنگرد و نبوت، میزان آلاینده‌های مورد بررسی افزایش چشمگیری می‌یابد. این ایستگاه کمترین میزان DO را دارد است. ورود فاضلاب، کلی فرم و BOD را به بیشترین میزان خود رسانده، از طرفی فسفات و نیترات در این ایستگاه بیشتر از سایر ایستگاه‌ها می‌باشد که نشان از نفوذ فاضلاب خانگی و مواد شوینده و حشره‌کش‌ها در آب است. کدورت و جامدات کل که در ایستگاه اول هم دارای مقادیری بیشتر از حد استاندارد بودند در این ایستگاه با ورود فاضلاب بیشتر شده و جمیع این عوامل باعث شده این ایستگاه در وضعیت ضعیف‌تری نسبت به سایر ایستگاه‌ها قرار گیرد. در ایستگاه سوم دبی قدری افزایش می‌یابد و با فاصله گرفتن از ایستگاه دوم به نظر آلاینده‌ها رقیق‌شده و شاخص تا حدی بهبود می‌یابد اما کاربری‌های کشاورزی و دامپوری و تخلیه فاضلاب‌ها و زباله‌های روستاییان و وجود کانون‌های جمع‌آوری فضولات دامی در نزدیک رودخانه، باعث افزایش نیترات، فسفات، BOD و کلی فرم مدفوعی در رودخانه شده و سبب می‌شود رودخانه در گروه متوسط شاخص NSF قرار نگیرد.

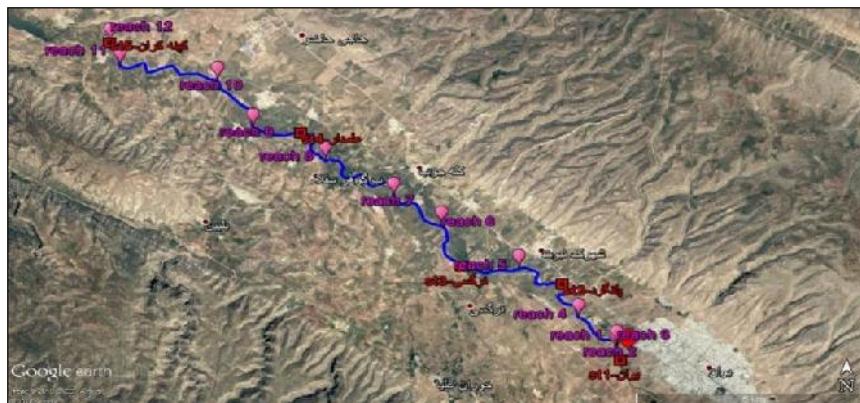
در ایستگاه چهارم وضعیت کیفی رودخانه بهتر می‌شود و بهنومنی با اضافه شدن شاخصهای فرعی و چشممه‌ها مقادیر BOD، نیترات و فسفات نسبت به ایستگاه دوم و سوم کمتر می‌شود و کیفیت آب در طبقه‌بندی NSF به وضعیت متوسط با میانگین ۵۰ می‌رسد اما همچنان مقادیر زیاد کلی فرم مدفوعی که به علت نفوذ فاضلاب روستاهای متعدد منطقه و همچنین تعدد احشام منطقه و نفوذ شیرابه محل‌های ابناشت فضولات دامی در رودخانه است، باعث کاهش شاخص NSF می‌شود. ایستگاه پنجم که نزدیکترین ایستگاه به سد کنگیر است، با وجود کشاورزی زیاد در اطراف رودخانه، دبی زیاد آن سبب کاهش بارآلی رودخانه و افزایش اکسیژن محلول نسبت به سایر ایستگاه‌ها شده است. در این ایستگاه میزان کیفیت آب رودخانه نزدیک به ایستگاه اول و قبل از تخلیه فاضلاب می‌باشد که نشان از روند خود پالایی رودخانه دارد. وجود کلی فرم در ایستگاه بکننه کران، به نظر به دلیل نفوذ فاضلاب خانگی رostenای کننه کران در آب و استفاده‌های احشام می‌باشد. همچنین در این ایستگاه مقدار BOD در تابستان بیشتر شده است که می‌تواند به دلیل ریختن زباله‌های روستاییان، پسماندهای کشاورزی و استفاده‌های تفریحی در این فصل باشد.



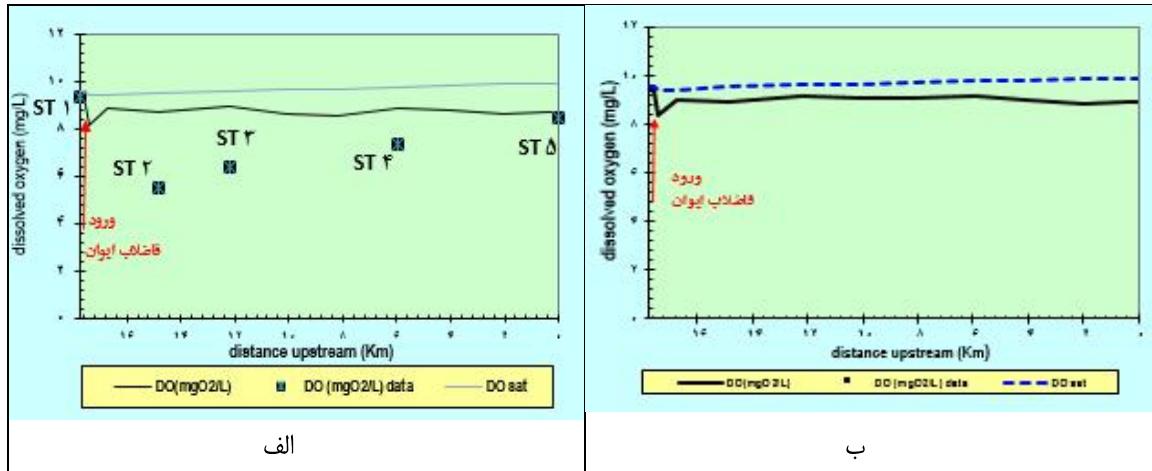
شکل ۳: میانگین تغییرات شاخص در دو فصل زمستان و تابستان (سال ۱۳۹۱ - ۱۳۹۰).

هدف از تعریف سناریو در این مطالعه، بررسی وضعیت کیفی رودخانه کنگیر در صورت اجرای تصفیه‌خانه فاضلاب شهر ایوان و تأثیر کاهش آلینده‌های تأثیرگذار در شاخص NSF و میزان تأثیرگذاری آن‌ها در صورت اجرای سناریو در شاخص می‌باشد. در این سناریو، فرض‌های زیر مدنظر قرار گرفت: الف دبی فاضلاب و دمای آن ثابت می‌باشد ب: مقدار BOD و کلی فرم فاضلاب شهر ایوان، در اثر اجرای تصفیه‌خانه فاضلاب، به نصف تقليل می‌يابد (۵۰ درصد کاهش مقدار آلينده).

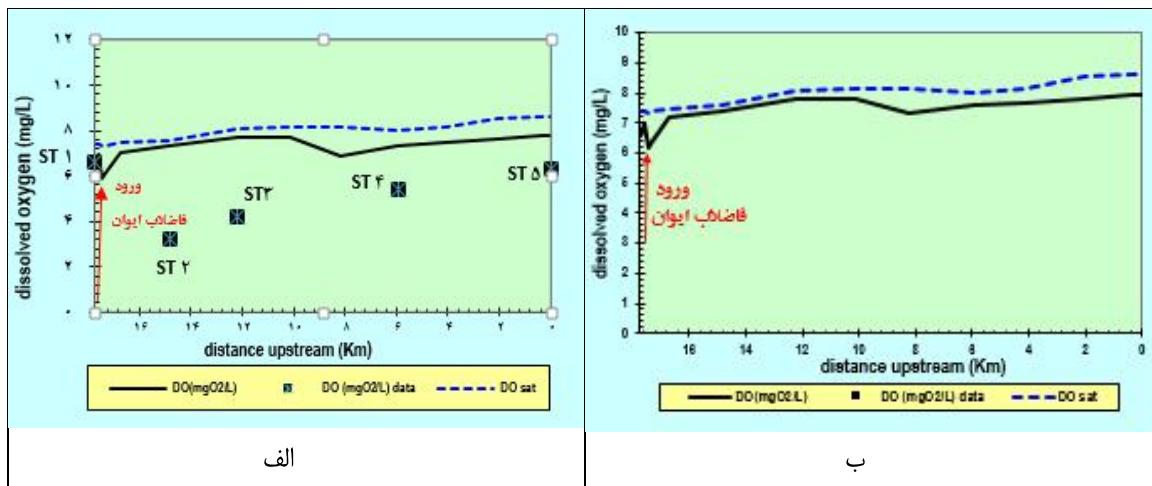
باين‌ترتیب و با توجه به اجرای مدل در دو نوبت، دی‌ماه و مردادماه به عنوان نماینده دوره خشک و بارش سال انتخاب گردید. ابتدا رودخانه با توجه به شرایط هیدرولیکی و کیفی آن به ۱۲ بازه تقسیم گردید (شکل ۴) سپس اطلاعات هواشناسی جمع‌آوری شده از ایستگاه سینوپتیک ایوان برای هر بازه وارد گردید. سپس مدل برای هرمه جدایانه کالیبره شد. سناریوی مربوطه نیز برای هر نوبت به‌طور جداگانه اجرا گردید و در آن‌ها مقادیر بار نقطه‌ای ورودی به هر مدل جداگانه اصلاح شد. نمودار تغییرات پارامترهای DO، BOD و کلی فرم در رودخانه کنگیر در دی‌ماه و مردادماه، قبل و بعد از اجرای تصفیه فاضلاب در شکل‌های ۵ تا ۱۰ نشان داده شده است.



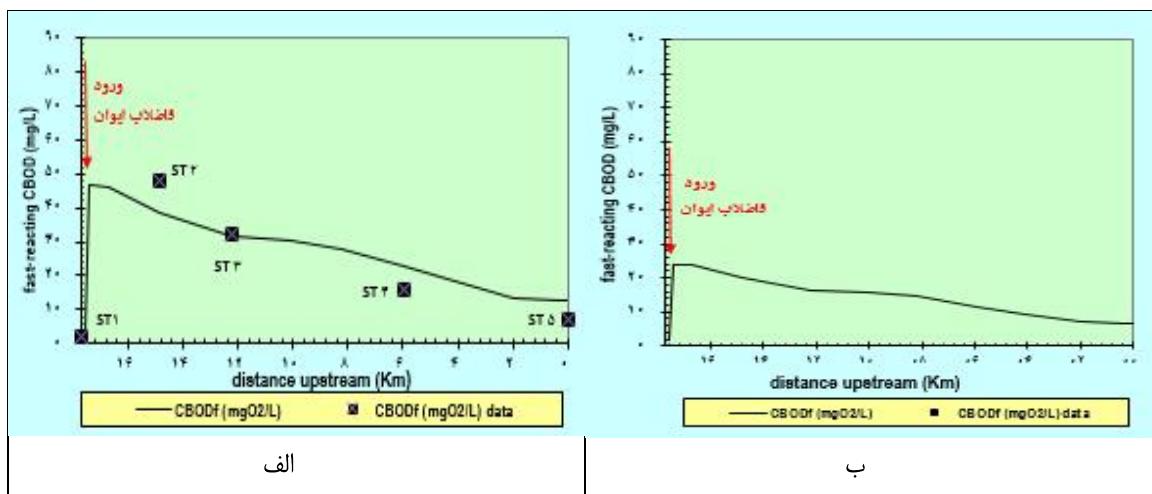
شکل ۴: بازه بندی رودخانه کنگیر در محدوده مورد شبیه‌سازی (سال ۱۳۹۱ - ۱۳۹۰).



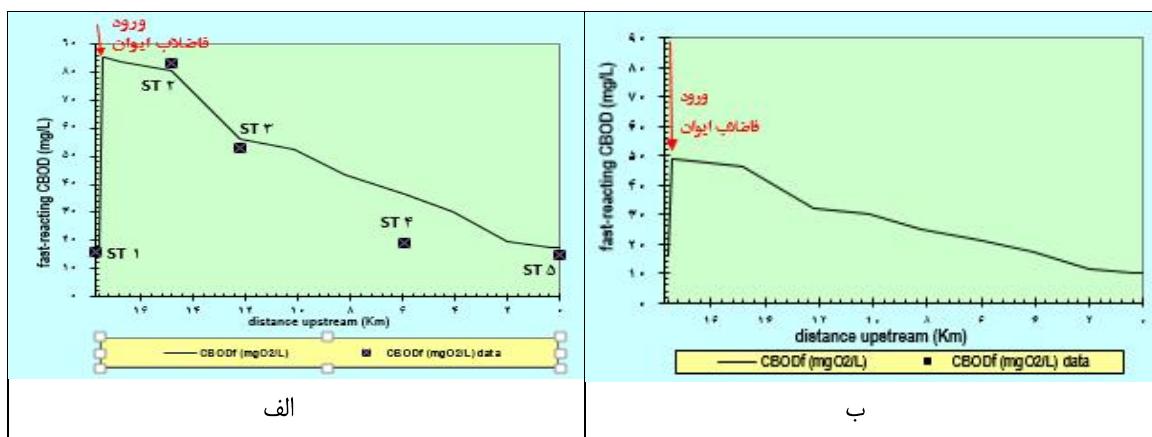
شکل ۵: نمودار تغییرات اکسیژن محلول در رودخانه کنگیر در دی ماه (الف) قبل از اجرای سناریو (ب) بعد از اجرای سناریو (سال ۱۳۹۰ - ۱۳۹۱).



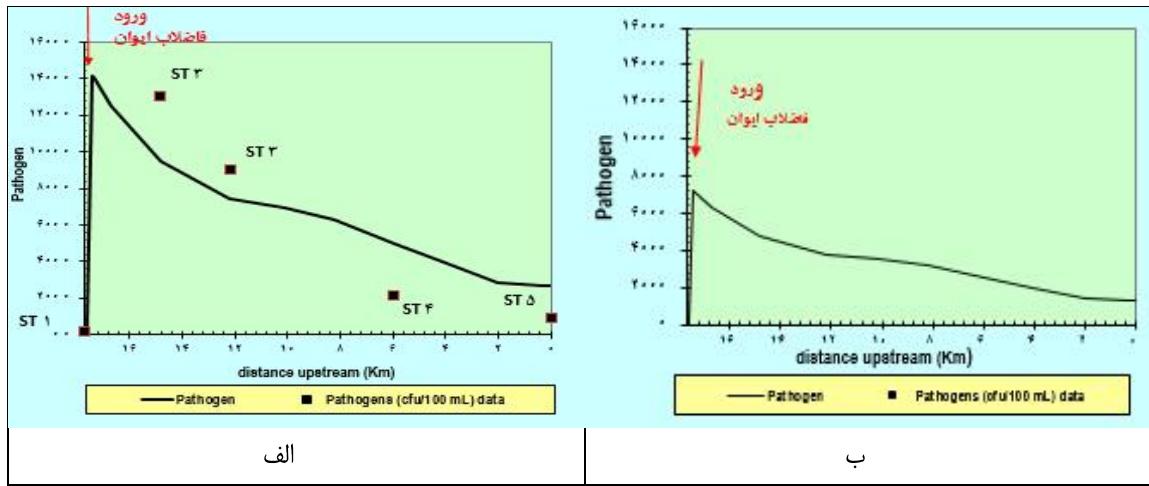
شکل ۶: نمودار تغییرات اکسیژن محلول در رودخانه کنگیر در مردادماه (الف) قبل از اجرای سناریو (ب) بعد از اجرای سناریو (سال ۱۳۹۰ - ۱۳۹۱).



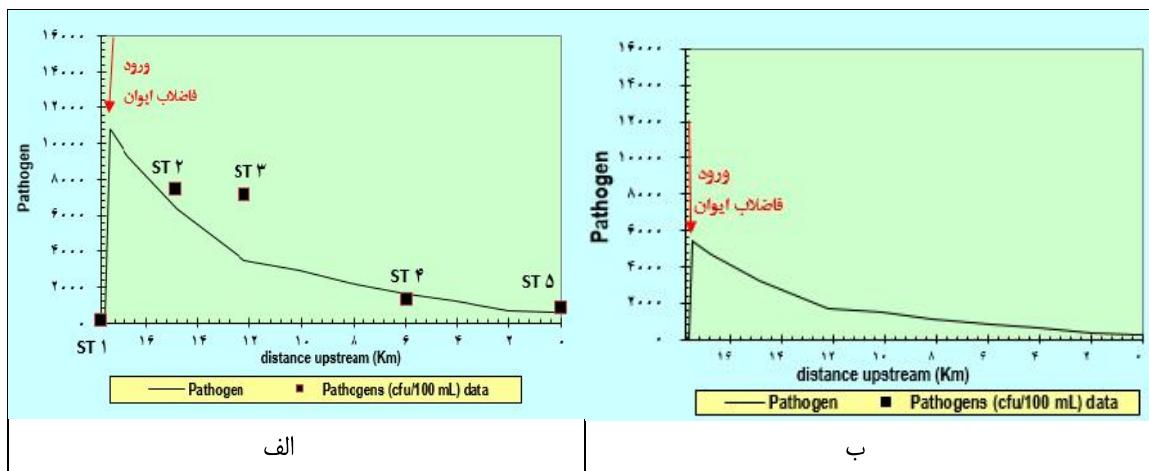
شکل ۷: نمودار تغییرات BOD در رودخانه کنگیر در دی ماه (الف) قبل از اجرای سناریو (ب) بعد از اجرای سناریو (سال ۱۳۹۰ - ۱۳۹۱).



شکل ۸: نمودار تغییرات BOD در رودخانه کنگیر در مردادماه (الف) قبل از اجرای سناریو (ب) بعد از اجرای سناریو (سال ۱۳۹۰ - ۱۳۹۱).



شکل ۹: نمودار تغییرات کلی فرم در رودخانه کنگیر در دی ماه الف(قبل از اجرای سناریو b) بعد از اجرای سناریو  
(سال ۱۳۹۱ - ۱۳۹۰).



شکل ۱۰: نمودار تغییرات کلی فرم در رودخانه کنگیر در مردادماه الف) قبل از اجرای سناریو b) بعد از اجرای سناریو  
(سال ۱۳۹۱ - ۱۳۹۰).

مقدار  $|MBE|$  (قدر مطلق شاخص MBE) برای BOD در دو نوبت دی‌ماه و مردادماه به ترتیب برابر با  $51/0$  (میلی‌گرم بر لیتر) و  $22/4$  (میلی‌گرم بر لیتر) به دست آمد. این مقدار برای اکسیژن محلول در دو نوبت دی‌ماه و مردادماه به ترتیب برابر با  $49/1$  (میلی‌گرم بر لیتر) و  $2/2$  (میلی‌گرم بر لیتر) به دست آمد. از آنجایی که داده‌های فاضلاب رostای اندیشه و نبوت در حدفاصل بازه  $4$  تا  $5$  به علت نبود اطلاعات در مدل وارد نشده‌اند و همچنین از بین آن دسته از پارامترهای مدل که بر تغییرات DO تأثیرگذار هستند، تنها پارامتر BOD مورد شبیه‌سازی قرار گرفت بنابراین دقیق نمودن داده‌های مشاهداتی با محاسباتی، فرآیندی ناصحیح خواهد بود. به نظر می‌آید با توجه به حجم داده‌های موجود، این مقدار از عدم قطعیت پذیرفتی می‌باشد. مقدار خطای برای کلی فرم در دو نوبت دی‌ماه و مردادماه به ترتیب برابر با  $588/9$  (واحد تشکیل کلی  $cfu$  در  $100$  میلی‌لیتر) و  $749/3$  (واحد تشکیل کلی  $cfu$  در  $100$  میلی‌لیتر) به دست آمد. علت بالا بودن این آمار برای کلی فرم، بالا بدون مقدار این پارامتر است.

با توجه به نتایج بعد از شبیه‌سازی و اجرای سناریو کاهش دو پارامتر (کلی فرم و BOD) در طول رودخانه که بیشترین تأثیر را در کیفیت رودخانه کنگیر دارند، پیش‌بینی می‌شود ایستگاه‌هایی که بیشترین نزدیکی به فاضلاب دارند از لحاظ این پارامترها روند رو به استانداردی به خود بگیرند. به طوری که در ایستگاه‌های پلنگرد و نرگسی با کاهش ۶۰ و ۴۸ درصدی مقدار BOD در دی‌ماه و کاهش ۵۷ و ۷۰ درصدی کلی فرم در مردادماه بیشترین تغییرات را به خود می‌بینند. برای درک بهتر سه پارامتر شبیه‌سازی شده بعد از اجرای مدل را در شاخص وارد شدند (با فرض ثابت بودن بقیه پارامترها). شکل‌های ۱۱ و ۱۲ میزان تغییر شاخص NSFWQI در دو ماه دی و مرداد بعد از اجرای سناریو مدل QUAL2K2 را نشان می‌دهد. مطابق با این نمودارها بیشترین افزایش شاخص مربوط به ایستگاه دوم و سوم که تحت تأثیر فاضلاب شهر ایوان هستند می‌شود به طوری که ایستگاه دوم به ترتیب در دی و مرداد مقدار ۱۱ و ۹ نمره به شاخص اضافه می‌شود و کیفیت شاخص از حالت بد رو به متوسط می‌رود. در ایستگاه سوم شاهد افزایش ۸ نمره‌ای شاخص هستیم که کیفیت رودخانه را از وضعیت ضعیف به متوسط می‌رساند. دو ایستگاه آخر هم با توجه به تأثیرپذیری کمتر آن‌ها از فاضلاب شاهد تغییرات کمتری در میزان شاخص برای آن‌ها هستیم. لازم به ذکر است با توجه به عدم قطعیتی که به دلیل کمبود اطلاعاتی که برای شبیه‌سازی اکسیژن محلول داریم نمی‌توان به طور دقیق از میزان اضافه شدن شاخص سخن گفت ولی با توجه به همبستگی بین پارامترها و اینکه در هر فرایند پیش‌تصفیه و تصفیه‌ای سایر پارامترها مثل کدورت و کل جامدات و نیترات و فسفات (که به دلیل محدودیت‌های مدل و اطلاعات نمی‌توان آن‌ها را شبیه‌سازی کرد) مقدار کاهش قابل توجهی خواهد داشت؛ لذا استبطان می‌شود مقداری که شاخص بعد از اجرای سناریو نشان می‌دهد، حداقل مقدار شاخص است و شاخص واقعی بعد از انجام تصفیه بر روی فاضلاب به مراتب مقدار بیشتر و کیفیت بهتری را نشان خواهد داد.

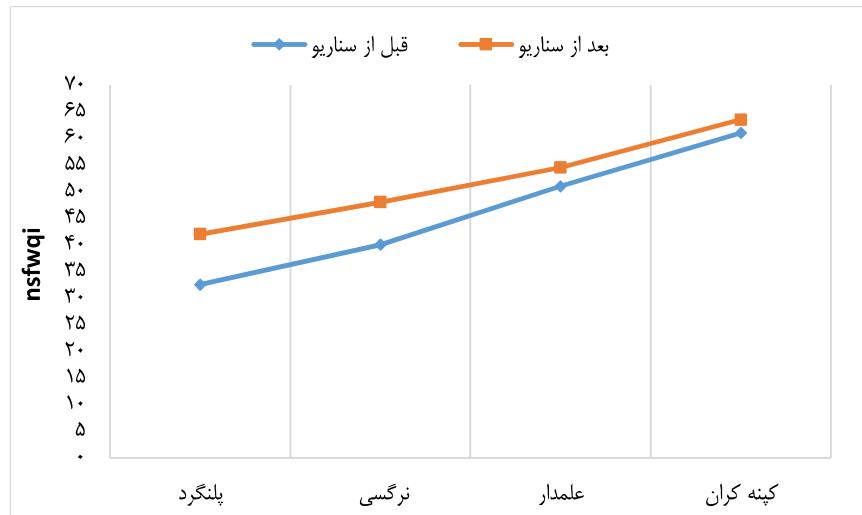


شکل ۱۱: نمودار تغییرات شاخص بعد از اجرای سناریو در دی‌ماه (سال ۱۳۹۰ - ۱۳۹۱).



شکل ۱۲: نمودار تغییرات شاخص بعد از اجرای سناریو در مردادماه (سال ۱۳۹۱ - ۱۳۹۰).

اگر دی‌ماه را نماینده فصل بارش و مردادماه را نماینده فصل خشک‌سال بدانیم، میانگین تغییرات شاخص NFWQI تحت تأثیر سناریو Qual2kw در دو فصل پرآبی و کم‌آبی مطابق با تصویر ۱۳ خواهد بود. بر این اساس کاهش بار نقطه‌ای منبع آلاینده بیشترین تأثیر را در ایستگاه پلنگرد داشته و با حرکت به سمت پایین‌دست و فاصله گرفتن از منبع نقطه‌ای آلوده‌کننده رودخانه، تأثیرات سناریو در روند بهبودی شاخص کمتر می‌شود و بهنوعی می‌توان گفت با توجه به قابلیت خود پایابی رودخانه اجرای سناریو برای دو ایستگاه پلنگرد و نرگسی بیشترین کارایی را داشته است.



شکل ۱۳: نمودار میانگین تأثیر اجرای سناریو در شاخص برای دو فصل (سال ۱۳۹۱ - ۱۳۹۰).

## بحث و نتیجه‌گیری

نتایج ارزیابی کیفی با استفاده از شاخص NSFWQI نشان داد کیفیت رودخانه کنگیر در همه ایستگاه‌ها در محدوده متوسط و ضعیف قرار دارد و مقادیر ماهانه شاخص در بین ۵ تا ۳۰ در نوسان است. میانگین شاخص در فصل زمستان به دلیل دبی بیشتر رودخانه و افزایش تلاطم که باعث رقیق‌تر شدن آلاینده‌ها می‌شود، بیشتر از فصل تابستان می‌باشد. سمرقدی و همکاران (۱۳۹۲)، در مطالعه‌ای مشابه بر روی کیفیت آب دریاچه سد اکباتان همدان، دریافتند، کیفیت آب دریاچه در فصل سرد نسبت به فصل گرم در وضعیت بهتری قرار دارد. قبل از تخلیه فاضلاب شهری به داخل رودخانه، کیفیت شاخص به علت بالا بودن پارامترهایی مانند BOD و کلی فرم در وضعیت متوسط قرار می‌گیرد که این امر می‌تواند به دلیل وجود مناطق تفریحی و زیارتی در بالادست رودخانه باشد. نتایج این بخش با نتایج مطالعه ماراماپی و همکاران (۱۳۹۴)، مبنی بر افزایش بار آبی و میکروبی رودخانه زیارات در ایستگاه‌هایی با تعداد گردشگر زیاد هم‌خوانی دارد. عمدۀ دلیل کاهش شاخص تخلیه فاضلاب تصفیه نشده شهر ایوان به رودخانه کنگیر و فعالیت‌های انسانی و زه‌آب‌های کشاورزی اطراف رودخانه می‌باشد که کیفیت شاخص را از وضعیت متوسط به ضعیف تقلیل می‌دهد. نتایج این مطالعه با تحقیق Radwan و همکاران (۲۰۱۸) بر روی رودخانه آیدکو در مصر مبنی بر تقلیل کیفیت رودخانه از حالت متوسط به ضعیف به علت تخلیه فاضلاب شهری و کشاورزی مطابقت دارد. Yulistia و همکاران (۲۰۱۸) در تحقیقی کیفیت رودخانه اوگانرا با شاخص NSFWQI مورد ارزیابی قراردادند. آن‌ها نمونه‌برداری از پارامترهای کیفی را در ۶ ایستگاه انجام دادند. نتایج مطالعه نشان داد کیفیت رودخانه اوگان را بین ۵۷ تا ۵۶ در رنج متوسط از لحاظ طبقه‌بندی شاخص NSFWQI قرار دارد و فعالیت‌های انسانی اطراف رودخانه بر روی کیفیت آب تأثیرگذار است. دلایل کاهش کیفیت این رودخانه تا حدودی مشابه با عوامل تنزیل کیفیت شاخص رودخانه کنگیر می‌باشد.

Sharma و Alphayo (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای مشابه دریافتند بالا بودن کلی فرم و BOD به دلیل تخلیه فاضلاب تصفیه نشده به رودخانه رuo (Ruvu) باعث کاهش کیفیت رودخانه شده است و میانگین کیفیت شاخص رودخانه عدد متوسط ۵۳ را نشان می‌دهد.

بعد از تخلیه فاضلاب شهری، تخلیه زباله رسته‌های اطراف و مناطق گردشگری بالادست، فرسایش بستر و کانون‌های جمع‌آوری فضولات حیوانی از دیگر عوامل کاهش شاخص می‌باشد. محسنی بندپی و همکاران (۱۳۹۲)، در مطالعه‌ای مشابه، دریافتند تخلیه فاضلاب رسته‌ها، فعالیت‌های کشاورزی، دامپروری و دفع غیربهداشتی زباله‌ها مهم‌ترین عوامل تهدیدکننده کیفیت رودخانه گل محسوب می‌شوند. مغربی و همکاران (۱۳۸۷)، در مطالعه‌ای بر روی رودخانه جاجرود، نشت فاضلاب از چاه‌های جذبی کنار رودخانه و دفع فضولات دام در جین عبور از رودخانه و سرشاخه‌های آن و همچنین ورود کودهای حیوانی از طریق انهار به رودخانه را عامل آводگی میکروبی رودخانه دانسته که هم‌خوانی خوبی با مطالعه حاضر دارد. Chowdhury و همکاران (۲۰۲۰) رودخانه شیتالکشیا (Shitalakshya) واقع در بنگلادش را طی ۵ سال مورد پایش قراردادند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد مقدار کیفیت رودخانه بین ۳۶ تا ۵۶ متغیر است و عمدۀ دلیل کاهش کیفیت رودخانه مواد معلق و کدورت بالا ناشی از فرسایش بستر و تخلیه فاضلاب کاربری‌های مختلف به رودخانه می‌باشد که با نتایج مطالعه حاضر تا حدودی مطابقت دارد.

نتایج اجرای مدل نشان می‌دهد، مدل QUAL2KW پارامترهای کیفی رودخانه را با توجه به اطلاعات در دسترس، در حد قابل قبولی شبیه‌سازی می‌کند و رودخانه توائسته است تا حدودی باقابلیت خود پالایی خود از مقادیر آلاینده‌ها در پایین دست و نزدیک سد کنگر بکاهد. Albuquerque و همکاران (۲۰۱۹)، در تحقیقی بر روی رودخانه پراکانا (Pracana) در پرتغال با استفاده از مدل QUAL2KW دریافتند مقادیر کلی فرم و BOD در محل تخلیه فاضلاب بالا می‌باشد، همچنین مقادیر آلاینده‌ها در طول رودخانه کاهش یافته و مقدار DO افزایش پیداکرده است که مشابه با نتایج مطالعه حاضر می‌باشد.

نتایج اجرای سناریو و کاهش ۵۰ درصدی کلی فرم و BOD از منبع آلاینده نقطه‌ای با استفاده از مدل QUAL2KW نشان داد در صورت اجرای سناریو شاهد افزایش چشمگیر میزان شاخص NSFWQI در ایستگاه‌های بعد از تخلیه فاضلاب خواهیم بود به طوری که در ایستگاه پل‌گرد کیفیت شاخص با افزایش ۱۰ نمره‌ای مواجه می‌شود و در ایستگاه نرگسی کیفیت آب رودخانه از وضعیت بد به متوسط ارتقا می‌یابد. Antunes و

همکاران (۲۰۱۹)، رودخانه اودگوا (uedgedueda) واقع در حوضه آبخیز بین پرتغال و اسپانیا را با استفاده از مدل QUAL2KW برای دو سناریو کاهش بار نقطه‌ای آلاینده‌ها و کاهش مقدار جریان رودخانه شبیه‌سازی کردند. نتایج نشان داد قابلیت خود پالایی رودخانه بیش از کاهش تخلیه آلاینده‌ها تحت تأثیر کاهش مقدار جریان رودخانه قرار دارد. این بدان معناست که در صورت تقلیل مقدار فاضلاب شهری ورودی بر رودخانه‌ها امکان آلوه شدن رودخانه در فصل خشک‌سال و سال‌های کم‌آبی وجود دارد و باید تمام طول رودخانه مورد مراقبت قرار گیرد.

عاشق معلا و همکاران (۱۳۹۵)، در تحقیقی بر روی رودخانه قشلاق در کردستان با استفاده از مدل QUAL2KW و با فرض رعایت تمام استانداردهای تخلیه فاضلاب ورودی به رودخانه، دریافتند رودخانه قشلاق کیفیت خود را به خوبی حفظ می‌کند که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد. در این مطالعه با توجه به عدم قطعیتی که به دلیل کمبود اطلاعاتی که برای شبیه‌سازی اکسیژن محلول داریم نمی‌توان به طور دقیق میزان اضافه شدن شاخص سخن گفت ولی پیش‌بینی می‌شود در صورت اجرای سناریو با توجه به همبستگی بین پارامترها، آلاینده‌های رودخانه مقدار کاهش قابل توجه خواهند داشت، لذا استنباط می‌شود مقداری که شاخص بعد از اجرای سناریو نشان می‌دهد حداقل مقدار شاخص باشد و شاخص واقعی بعد از انجام تصفیه بر روی فاضلاب به مراتب مقدار بیشتر و کیفیت بهتری را نشان خواهد داد. با توجه به اینکه کیفیت رودخانه‌ها ایران اغلب در محدوده متوسط و بعض‌ا ضعیف قرار دارند و عمدۀ دلیل کاهش نمره شاخص ورود فاضلاب‌های شهری و صنعتی به رودخانه‌ها می‌باشد (رسمی ووحیدی. ۱۳۹۷). می‌توان پیش‌بینی کرد با انجام پیش‌تصفیه روی فاضلاب‌های ورودی به آب‌های جاری، کیفیت شاخص NSFWQI در رودخانه‌های ایران را به استاندارد جهانی نزدیک کرد.

#### ساخت تصفیه‌خانه فاضلاب برای شهر ایوان

احداث چاههای فاضلاب با روشی اصولی در مکان مناسب در منازل روستایی و استفاده از سیستم‌های تصفیه‌ای کوچک مانند سپتیک جهت تصفیه فاضلاب‌های تولیدی

تشویق ساکنان روستاها به استفاده بهینه از کودها و سموم دفع آفت و حشره‌کش‌ها و جایگزینی روش‌های بیولوژیکی ارتقاء دانش و آگاهی عمومی و استفاده از اهرم‌های قانونی و مشوق‌ها جهت جلوگیری از آلوگی حوضه‌های آبریز رودخانه‌ها، نظارت ویژه دستگاه‌های مربوط و ممانعت از تخلیه نخلالهای ساختمانی و برداشت‌های بدون مجوز در حریم رودخانه کاشت نهال و درختچه و بوشش‌های بیولوژیکی در کناره‌ی رودخانه بهمنظور جلوگیری از فرسایش مکان‌یابی مناسب محل‌های دفن زباله‌ها و تخصیص اعتبارت در این مورد و سامان‌دهی محل‌های انباشت فضولات دامی در روستاها نصب سطل‌های زباله در روستاها و مکان‌های تفریحی با حجم گردشگر زیاد در بالادست رودخانه رعایت فاصله مناسب از حریم رودخانه برای کشت زمین‌های کشاورزی

#### منابع

- اکبری نیاری، م.، عزیزی مبصر، ج.، رمضانی مقدم، ج. و نیک پور، م.، ۱۳۹۷. شبیه‌سازی برخی خصوصیات کیفی رودخانه بالیخلی چای اردبیل با استفاده از مدل QUAL2KW. چهارمین کنفرانس بین‌المللی یافته‌های نوین در علوم کشاورزی، منابع طبیعی و محیط‌زیست، ۲۰ شهریورماه، تهران، صفحات ۱۵-۲۷.
- بندرافشان، ا.، نورآبادی، ا.، انصاری، ح.، کمانی، ح. و کرد، ا.، ۱۳۹۸. بررسی کیفیت آب دریاچه سد ماشکید شهرستان سبب و سوران با بهره‌گیری از شاخص کیفیت آب و شاخص کیفیت آب‌های سطحی ایران. مجله دانشگاه علوم پزشکی تربت‌جیدریه، صفحات ۳۹-۴۷.
- بابا خانی، ز.، سرائی، م. و بابا زاده، ح.، ۱۳۹۸. تعیین ظرفیت خود پالایی رودخانه دیواندره با استفاده از مدل QUAL2Kw. اکو هیدرولوژی، صفحات ۶۸۴-۶۷۳.
- سمرقندی، م.، ابویی مهریزی، ا.، کاسب، پ.، دانایی، ع. و ویسی، ک.، ۱۳۹۲. بررسی کیفیت آب دریاچه سد مخزنی اکباتان شهرستان همدان با بهره‌گیری از شاخص کیفی NSFWQI. دانشگاه علوم پزشکی خراسان شمالی، (۱): صفحات ۶۹-۶۳.

- رستمی، م. و خدیدی، ح. ۱۳۹۷.** ارزیابی مقایسه‌ای کیفی رواناب رودخانه‌های ایران به روش شاخص NSFWQI. دومین کنفرانس ملی پژوهش‌های نوین در مهندسی کشاورزی، محیط‌زیست و منابع طبیعی. ۲. اردبیله‌شت‌ماه، کرج، صفحات ۱-۱۶.
- صمدی، م. ت، ساقی، م. ح، رحمانی، ع. و تراب زاده، ح. ۱۳۸۸.** پهنه‌بندی آب رودخانه دره مراد بیک همدان بر اساس شاخص NSFWQI بهره‌گیری از سامانه اطلاعات جغرافیایی. مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی همدان، ۱۶(۳): صفحات ۳۸-۳۴.
- طاهری، م. برآتی، خ. و شایان نژاد، م. ۱۳۹۴.** معرفی معادلات اساسی مدل qual2kw و راهنمای کاربردی مدل. مجله آب و توسعه پایدار دانشگاه فردوسی مشهد، ۴۲(۲): صفحات ۴۲-۳۵.
- عاشق معلا، م. ملک محمدی، ب. و ترابیان، ع. ۱۳۹۵.** بررسی اهمیت توان خود پالایی رودخانه‌ها در تدوین استاندارد تخلیه پساب. پژوهش‌های محیط‌زیست، صفحات ۱۱۶-۱۰۳.
- ماراماچی، ا. و دهقان، ۱۳۹۶.۱.** بررسی کیفیت آب رودخانه زیارت با شاخص‌های کیفیت آب NSFWQI و IRWQISC . دوره کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. صفحه ۹۵.
- محسنی بند پی، ا.، مجلسی، م. و کاظم پور، ع. ۱۳۹۲.** بررسی کیفیت آب رودخانه گل‌لیلام بر اساس شاخص کیفی NSFWQI. عرصه دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، ۱(۴): صفحات ۵۳-۴۵.
- مغربی، م. و تجربیشی، م. ۱۳۸۸.** مدل‌سازی سیر و حرکت باکتری کلی فرم مدفووعی در حوزه آبریز رودخانه جاجرود. هشتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران. ۲۱ تا ۲۳ شهریور، دانشگاه شیراز، صفحات ۸-۱.

- Albuquerque, M. T. D., Antunes, I. M. H. R., Oliveira, N. P. and Pelletier, G., 2019.** Impact of sewage effluent discharges prediction using QUAL2Kw in a sensitive protected area: Portugal. *SN Applied Sciences*, 1(10): 1167pp.
- Antunes, I. M. H. R., Albuquerque, M. T. D., Oliveira, S. F. and Sánz, G., 2018.** Predictive scenarios for surface water quality simulation-A watershed case study. *Catena*, 170: 283-289.
- Alphayo, S. M. and Sharma, M. P., 2018.** Water Quality Assessment of Ruvu River in Tanzania Using NSFWQI. *Journal Science Research Reports*, 20(3): 1-9.
- Chantil. A. R., 1999.** A Water Quality Index Devised for the Des Moines River in Central Iowa." Thesis (*M. Sc.*), Civil Engineering (Environmental Engineering), Iowa State University Ames, Iowa.
- Chapra, S. and Pelletier, G., 2003.** A modeling framework for simulating river and stream water quality: Documentation and users manual, report. Civ. and Environ. Eng. Department Tufts University, Medford, Mass, 1-127.
- Chowdhury, R. M., Ankon, A. A. and Bhuiyan, M. K., 2020.** Water quality index (WQI) of Shitalaksha river near Haripur power station, Narayanganj, Bangladesh.
- Enrique, S., Manuel, F., Colmenarejo, J. A., Angel, R. G., Garcí, L. T. and Borja, R., 2007.** Use of the water qualityindex and dissolved oxygen deficit as simple indicators of watersheds pollution. *Journal of Ecological Indicators*, 7: 315–328.
- Giriyanavar, B. S. and Patil, R. R., 2013.** Water quality assessment of Gullava Reservoir of Belgaum District using NSF-WQI. *Environment*, 2(4).
- Hamdan, A., Dawood, A. and Naeem, D., 2018.** Assessment study of water quality index (*WQI*) for Shatt Al-arab River and its branches, Iraq. In MATEC Web of Conferences EDP Sciences, 162:05005
- Kanel S. R., Lee Y. S. and Ahn K. H., 2007.** Application of QUAL2Kw for water quality modeling and dissolved oxygen control in the river Bagmati. *Environmental monitoring and assessment*, 125(1-3): 201-217.
- Karamouz, M., Mahjouri, N. and Kerachian, R., 2004.** "River Water Quality Zoning: Case Study of the Karoon and Dez River System", *Iranian Journal Environment Health Sci*, 1 (2): 16-27
- Marlina, N. and Melyta, D., 2019.** Analysis Effect of Cloud Cover, Wind Speed, and Water Temperature to BOD and DO Concentration Using QUAL2Kw Model (*Case Study In Winongo River, Yogyakarta*). IN MATEC Web of Conferences (*Vol. 280, p. 05006*). EDP Sciences.
- Mirzaei, M., Nazari, A. and Yari, A., 2005.** Quality zoning of Jajrood river. *Journal of Environmental Studies*, 37: 17-26.

- Pelletier, G. J., Chapra, S. C. and Tao, H., 2006.** QUAL2Kw—A framework for modeling water quality in streams and rivers using a genetic algorithm for calibration. *Environmental Modelling & Software*, 21(3): 419-425.
- Radwan, A., Abdelmoneim, A. Basiony, I. and El-Alfy, M., 2019.** Water Pollution Monitoring in Idku Lake (Egypt) using Phytoplankton and NSF-WQI. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 23(4): 465-481.
- Ramesh, S., Sukumaran, N., Murugesan, A. G. and Rajan, M. P., 2007.** An innovative approach of Drinking Water Quality Index, A case study from Southern Tamil Nadu, India. *Journal of Ecological Indicators*, 10(8): 57-68.
- Ruixin, Z., Xin, Q., Huiming, L., Xingcheng, Y. and Rui, Y., 2012.** Selection of optimal river water quality improvement programs using QUAL2K: A case study of Taihu Lake Basin, China. *Science of Total Environment Journal* 2012, 431: 78-85.
- Sanchez, E., Colmenarejo, M. F., Vicente, J., Rubio, A., Garcia, M. G., Travieso, L. and Borja, R., 2007.** Use of the water quality index and dissolved oxygen deficit as simple indicators of watersheds pollution. *Ecological indicators*, 7(2): 315-328.
- Standard method for examination of water and waste water – 20<sup>th</sup> Editions., 1998.**
- Shivalli, P. B. and Giriyappanavar, B. S., 2015.** Application of NSF-WQI for the assessment of water quality of Two Temple tanks of Karnataka, India. *Journal of International Academic Research for Multidisciplinary*, 3(2): 221-226.
- Yulistia, E., Fauziyah, F. and Hermansyah, H., 2018.** Assessment of Ogan River Water Quality Kabupaten OKU South Sumatera by NSFWQI Method. *IJFAC (Indonesian Journal of Fundamental and Applied Chemistry)*, 3(2): 54-58.
- Zotou, I., Tsirhrintzis, V. A. and Gikas, G. D., 2020.** Water quality evaluation of a lacustrine water body in the Mediterranean based on different water quality index (*WQI*) methodologies. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 1-12.