ارزیابی توان خودپالایی و نقش اکسیژن محلول در کیفیت آب رودخانه کر (مطالعه موردی: پایین دست سد درودزن تا دریاچه طشک– بختگان)

محمد مهدی خدام محمدی[۱]، فردین بوستانی[۲*]

چکیده

رودخانه کر یکی از منابع آبی با ارزش در استان فارس بوده که از نظر زیست محیطی و اقتصادی از شرایط و ارزش بالایی برخوردار است. در این پژوهش به منظور آگاهی از روند تغییرها و پیش‌بینی کیفیت آب رودخانه کر با توجه به طرح‌ها و برنامه‌های آینده توسعه شهری، کشاورزی و صنعتی، از نرم افزار QUAL2K استفاده گردیده است. با انجام مطالعات میدانی، تعداد ۷ موقعیت مناسب به منظور انجام نمونه‌برداری در بازه پایین‌دست سد درودزن تا دریاچه طشک-بختگان انتخاب و اکسیژن محلول در دو ماه شهریور و اسفند که به‌ترتیب کم‌آب ترین و پرآب‌ترین ماه‌های سال در منطقه مورد مطالعه هستند، با انجام نمونه‌برداری و آنالیز نمونه اندازه‌گیری گردید. کمینه و بیشینه اکسیژن محلول شبیه‌سازی شده در ماه‌های اسفند و شهریور به‌ترتیب برابر ۵/۵۹ میلی‌گرم در لیتر در پل‌خان و ۸/۲۵ میلی‌گرم در لیتر در پل شهید غنی‌زاده، و ۵/۷۱ میلی‌گرم در لیتر در پل‌خان و ۷/۹۱ میلی‌گرم در لیتر در پل شهید غنی‌زاده می‌باشد. دلیل کاهش اکسیژن محلول در ایستگاه پل‌خان، ورود فاضلاب‌های مجتمع پتروشیمی شیراز و شهر مرودشت می‌باشد. از علت‌های افزایش میزان اکسیژن محلول پس از پل‌خان می‌توان به کم شدن اثر پساب خروجی از تصفیه‌خانه مرودشت و مجتمع پتروشیمی شیراز اشاره کرد. وجود پل‌ها و تاسیسات آب‌بند مانند بند امیر، پل رحمت آباد و بند حسن‌آباد می‌تواند باعث افزایش تلاطم و افزایش هوادهی و قدرت خودپالایی رودخانه کر و در نتیجه افزایش میزان اکسیژن محلول در آن شود.

کلمات کلیدی : شبیه‌سازی کیفیت آب، رودخانه کر، QUAL2K، خودپالایی، اکسیژن محلول

۱ - گروه محیط زیست، واحد استهبان، دانشگاه آزاد اسلامی، استهبان، ایران

۲ - باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

* نویسنده مسئول مقاله : fardinboustani@gmail.com

مقدمه

با وجودی که آب یکی از فراوان‌ترین ترکیباتی است که در طبیعت یافت می‌شود، عواملی چون توزیع ناهمگون جغرافیایی، عدم تطابق زمانی توزیع با الگوی مصرف آب و رشد روزافزون جمعیت جهان، کمیت منابع آب در دسترس را کاهش داده و با محدودیت‌های بیشتری مواجه ساخته است. از طرف دیگر توسعه شهرنشینی و افزایش فعالیتهای صنعتی و کشاورزی نیز تغییر و تنزل کیفیت آبها را به دنبال داشته است. به این دلیل، بسیاری از کشورهای جهان با مشکل کمبود آب و یا آلودگی منابع آب مواجه شده‌اند (نصیراحمدی و همکاران (۱۳۹۱)).

رودخانه کر در استان فارس تأمین کننده بخش مهمی از آب مورد استفاده کشاورزی، صنعت و شرب این استان است. فعالیتهای کشاورزی، صنعتی و گسترش اماکن مسکونی در حوضه آبخیز این رودخانه قابل توجه است. واحدهای صنعتی بزرگ نظیر مجتمع پتروشیمی، مجتمع یک و یک، کارخانه آزمایش، کارخانه قند مرودشت و پالایشگاه شیراز در این حوضه قرار داشته که از نظر مصرف آب وابسته به آن می باشند. زهکش‌های کشاورزی، پسابهای خانگی و صنایع از جمله فاضلاب شهر مرودشت، وارد آن شده و آلودگی رودخانه را همراه با افزایش مصارف آب تشدید کرده است. به علل مذکور، رودخانه کر یکی از آلوده ترین رودخانه‌های کشور می‌باشد (رزمخواه و نیاورانی (۱۳۸۶)).

شبیه‌سازی پارامترهای کیفی رودخانه، یکی از روش‌های مدیریت بهینه سیستم‌های آبی بوده و می‌تواند مدیران را در تصمیم‌گیری درست کمک نماید. تاکنون نرم‌افزارهای مختلفی برای این منظور طراحی و آزمایش شده است. یکی از نرم‌افزارهای جدید در این زمینه، QUAL2K بوده که نسخه ارتقاء یافته QUAL2E می‌باشد. مزایای این نسخه در قابلیت‌های جدید تقسیم‌بندی رودخانه به اندازه‌های نامساوی، نحوه درنظر گرفتن آلودگیهای آلی و قابلیت تعیین بسیاری از عوامل سینماتیکی در هر قسمت رودخانه می‌باشد (اژدری و همکاران (۱۳۸۵)). بوستانی و گوهرگانی (۱۳۹۳) در بررسی کیفیت آب رودخانه بشار شهر یاسوج از این نرم‌افزار استفاده کرده‌اند.

غلظت اکسیژن محلول در رودخانه یک شاخص متداول برای سلامت رودخانه است. همه رودخانه‌ها دارای ظرفیت مشخصی برای خودپالایی هستند. تا زمانیکه تخلیه مواد اکسیژن‌خواه در محدوده ظرفیت تصفیه خودپالایی باشد، میزان اکسیژن محلول بالا می‌ماند و گونه‌های مختلف گیاهان و ماهی‌های حساس به کمبود اکسیژن نیز در محیط یافت می‌شوند. چنانچه مقدار فاضلاب تخلیه شده به رودخانه افزایش یابد، ممکن است از ظرفیت خودپالایی تجاوز نموده و موجب تغییرات زیان‌آوری در زندگی گیاهان و حیوانات شود. وقتی غلظت اکسیژن محلول کمتر از ۴-۵ میلی‌گرم بر لیتر باشد ماهی‌های حساس به کمبود اکسیژن به طور کلی از بین می‌روند و یا از محیط آب پذیرنده خارج می‌شوند (ناصری و قانعیان (۱۳۸۱)).

مروری بر تحقیقات

ترابی میبدی و بوداقپور (۱۳۹۱) تغییرات کیفی رودخانه قره سو را با استفاده از مدل QUAL2K شبیه‌سازی نمودند. ابتدا شاخص‌های شیمیایی رودخانه مانند سختی واسنجی[۱]شد و با اطلاعات نوبت اول مانند فسفرکل، نیتروژن کل و اکسیژن محلول مورد واسنجی قرار گرفت و صحت سنجی[۲]مدل توسط اطلاعات نوبت دوم انجام گرفت. تحقیقات برروی نتایج واسنجی و بخصوص صحت سنجی نشان دهنده این مطلب بود که میزان اکسیژن محلول در پایین دست رودخانه قره سو به شدت کاهش می‌یابد و به کمتر از ۵ میلی‌گرم بر لیتر می‌رسد. همچنین میزان نیتروژن و فسفر به علت ورود فاضلاب شهری و آلاینده‌های گسترده مراتع به شدت افزایش می‌یابد.

فخرایی (۱۳۸۷) تحقیقی نسبتا جامع بر روی رودخانه‌های کر و سیوند انجام داده است. برای این که یک برآورد عددی از وضعیت آلودگی رودخانه داشته باشیم از شاخص کیفی متداول به نام شاخص کیفیت آب[۳]استفاده شده است. نتایج این شاخص نشان می دهد که در قسمت‌های ابتدایی رودخانه کر، پس از سد درودزن، کیفیت آب رودخانه در حد مطلوبی می باشد اما

۱-Calibration

۲-Validation

۳-Water quality index (WQI)

در طول مسیر به دلیل تخلیه زهکش‌های متعدد موجود در منطقه و تخلیه فاضلاب شهرها و روستاهای مجاور رودخانه و همچنین تخلیه پساب مجتمع پتروشیمی شیراز، کیفیت آب رودخانه به مرور کاسته شده است. در ادامه به منظور آگاهی از روند تغییرات و برآورد تاثیر هر کدام از منابع آلاینده رودخانه کر از مدل کامپیوتری QUAL2K استفاده شده است. طی سناریوهای مختلف کاهش آلودگی ورودی به رودخانه و در نتیجه بار گذاری‌های آلودگی متفاوتی بر رودخانه، جهت بهبود وضعیت کیفی قسمت های آلوده آن اعمال شده است، به طوری که استانداردهای کیفی برآورده گردد. از بین آنها بهترین گزینه‌ی تخصیص بار آلودگی انتخاب و سهم بندی هر کدام از منابع آلاینده متمرکز[1]و غیر متمرکز[2]با لحاظ نمودن حاشیه ایمنی[3]صورت پذیرفته است. و نهایتا مطابق آن حداکثر بارگذاری روزانه قابل تحمل توسط رودخانه[4]محاسبه و پیشنهاد شده است.

عظیمی و همکاران (۱۳۸۹) به محاسبه درصد خودپالایی در دو بازه از رودخانه سفیدرود، قبل و بعد از سد، و برای پارامترهای نیترات، اکسیژن مورد نیاز شیمیائی[5]، اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیائی[6] و کلیفرم[7] پرداخته و به منظور پیش بینی نحوه تغییرات آنها از مدل کیفی Qual2k استفاده کرده‌اند. نتایج بدست آمده نشان دهنده سرعت بالای تجزیه کلیفرم، اکسیژن مورد نیاز شیمیائی و اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیائی در مقایسه با نیترات بوده است. علت این امر، از بین رفتن کلیفرم ها در محیطهای نورگیر، و همچنین ماندگاری بیشتر نیترات در رودخانه و وجود فرآیند دینیتریفیکاسیون عمدتاً در بستر رودخانه بوده است.

بوستانی و گوهرگانی (۱۳۹۳) به بررسی کیفیت آب رودخانه بشار با استفاده از مدل QUAL2K پرداخته‌اند. تعداد ۴ موقعیت به منظور انجام نمونه‌برداری در بازه تنگ سرخ تا پل مختار تعیین محل گردید است. شبیه‌سازی انجام شده به‌وسیله مدل در مورد پارامتر اکسیژن خواهی بیوشیمیایی نشان می‌دهد که میزان آن در شهریور ماه به علت ورود فاضلاب‌های شهری، روانابهای کشاورزی و فاضلابهای آبزی پروری، نوسانات بیشتری را نسبت به اسفند ماه دارد.. میزان اکسیژن محلول در رودخانه بشار با توجه به نتایج واقعی و نتایج مدل، نسبتا بالا می‌باشد که نشان از ظرفیت خودپالایی بالای این رودخانه دارد. میزان اکسیژن محلول در هر دو ماه همواره بالاتر از حد استاندارد (۵ میلی‌گرم در لیتر) است.

قنبری و فتایی (۱۳۹۳)، طی پژوهشی به بررسی مدل‌سازی کیفی نحوه تغییرات اکسیژن محلول و اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیائی با استفاده از مدل QUAL2K پرداخته‌اند. در این تحقیق ۱۱ کیلومتر رودخانه در بالادست روستای زرج آباد به عنوان محدوده مطالعاتی انتخاب، و از اطلاعات کیفی اندازه گیری شده در ۶ ایستگاه در طول رودخانه زرج آباد استفاده شده است. بررسی نتایج شبیه‌سازی اکسیژن محلول در تمامی فصول سال نشان داده که میزان اکسیژن در طول رودخانه زرج آباد روند افزایشی دارد، اما در قسمتی از مسیر، خصوصا در اثر ورود منابع آلاینده روستاها، روند کاهشی در آن مشاهده شده است. درفصل تابستان این روند کاهشی از شدت بیشتری برخوردار بوده که می‌تواند ناشی از ورود بیش از حد مواد آلاینده به رودخانه و کم شدن دبی آب و گرم شدن هوا باشد، که ضرورت کنترل و مدیریت پساب‌های روستایی و کشاورزی را بیش از پیش نمایان می‌سازد. اما در نهایت با کاهش آلاینده‌ها و افزایش دبی رودخانه و در نتیجه قدرت خودپالایی آن مقدار اکسیژن محلول روند افزایشی می‌یابد.

بررسی منابع آلاینده و همچنین مدل‌سازی روند تغییرات آلودگی‌ها به‌وسیله مدل QUAL2K برای رودخانه کارون که از بزرگترین رودخانه های ایران می‌باشد بوسیله‌ی شجاعی و همکاران (۱۳۹۳) صورت گرفته است. ابتدا متغیرهای کمی و کیفی مانند دبی، هدایت الکتریکی، اکسیژن محلول، اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی در گام اول در مدلسازی کیفی مورد کالیبراسیون قرار گرفته و صحت‌سنجی مدل توسط اطلاعات این متغیرها در گام دوم ارزیابی شده است. به منظور مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل با مقادیر اندازه‌گیری شده، ازروش‌های آماری استفاده

[1]- Wasteload allocation (WLA)
[2]- Load allocation (LA)
[3]- Margin of safety (MOS)
[4]- Total maximum daily load (TMDL)
[5] Chemical oxygen demand (COD)
[6] Biochemical oxygen demand (BOD)
[7] Coliform

گردیده تا میزان اعتبار مدل مورد بررسی قرار گیرد. برای این منظور از ویژگی‌های‌آماری نظیر شاخص جذر میانگین مربعات خطا[1] و شاخص Nash– Sutcliffe استفاده شده است. تحقیقات برروی نتایج کالیبراسیون و به خصوص صحت‌سنجی نشان دهنده این مطلب است که مدل توسعه یافته قادر به شبیه‌سازی تغییرات این متغیرها در امتداد رودخانه با یک خطای قابل قبول می‌باشد.

پارک و لی (۲۰۰۱) به مدل‌سازی کیفیت آب رودخانه نکدانگ در کره جنوبی جهت مدیریت کیفیت آب این رودخانه پرداخته‌اند. آنها دو مدل از سری مدل‌های QUAL را برای کیفیت آب رودخانه نکدانگ مورد ارزیابی قرار داده‌اند. برای اعتبار بخشیدن به اصلاحات انجام شده در برنامه هر دو مدل QUAL2K و QUAL2E برای نقاط مشابهی از رودخانه بکار گرفته و نتایج آنها با هم مقایسه شده‌اند. پارامترهای کیفی آب که در مدل بکار گرفته شدند عبارت‌اند از اکسیژن محلول، اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیائی،[2] گروه‌های نیتروژن و فسفر و کلروفیل آلفا.[3] به جز برخی از پارامترهایی که مدل QUAL2E نشان داد، به طور کلی هر دو مدل QUAL2K و QUAL2E نتایج خوبی نشان داده‌اند. در مورد اکسیژن محلول، اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیائی و نیتروژن کل اختلافات قابل توجهی بین نتایج دو مدل وجود داشته است؛ نتایج مدل QUAL2K همخوانی بهتری نسبت به مدل QUAL2E با نتایج اندازه‌گیری صحرایی داشته، به همین علت قابلیت مدل QUAL2K برای شبیه‌سازی تبدیل مرگ جلبک به اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیائی، اکسیژن محلول و دنیتریفیکاسیون[4] بیشتر از مدل QUAL2E می‌باشد.

پژوهشی بوسیله‌ی راشد و ال‌سید (۲۰۱۴)، به بررسی و اندازه‌گیری چند زه‌کش آب، با استفاده از مدل QUAL2K که بنابر توصیه سازمان محیط زیست آمریکا برای شبیه‌سازی کیفیت آب رودخانه استفاده می‌شود، انجام شده است. شبیه‌سازی برای اکسیژن محلول در ۷ سناریوی پیش‌بینی شده نشان می‌دهد که در ۳ سناریو مقدار آن پایین تر از استاندارد شماره ۴۸/۱۹۸۲ مصر (اکسیژن محلول بیشتر از ۵ میلی‌گرم در لیتر) و در ۴ سناریو کمی بیشتر از آن است. حداقل مقدار شبیه‌سازی شده ۴/۴ و حداکثر آن ۵/۴ میلی‌گرم در لیتر است. در کل نتایج نشان می‌دهند که مدل QUAL2K به عنوان یک ابزار کارآمد برای اندازه‌گیری‌های نسبی برنامه بهبود توان کیفیت آب رودخانه به‌ویژه برای کیفیت پارامترهای موثر در آب مورد استفاده در کشاورزی مناسب است. کاهش بارهای آلاینده در خروجی زه‌کش‌ها، آلودگی ورودی به دریاچه تمساح[5] کاهش و توانایی حفظ و نگهداری گیاهان و جانوران را افزایش داده است.

در پژوهشی که بوسیله‌ی ژانگ و همکاران (۲۰۱۲) انجام شده، از مدل QUAL2K به منظور اعمال پیش‌بینی کیفیت آب و ظرفیت‌های زیست‌محیطی رودخانه هونگکی که یکی از شاخ‌های فرعی و آلوده‌کننده رودخانه تایهو می‌باشد بهره جسته است. پارامترهای مدل با استفاده از روش آزمون و خطا واسنجی شده‌اند تا همپوشانی بهتری با داده‌های برداشت شده داشته باشند. مدل QUAL2K واسنجی شده برای محاسبه ظرفیت زیست‌محیطی آب رودخانه هونگکی مورد استفاده قرار گرفته و این ظرفیت‌ها برای پارامترهای اکسیژن مورد نیاز شیمیائی، نیتروژن آمونیاکی، نیتروژن کل و فسفر کل به‌ترتیب برابر با ۱۷/۵۱t، ۱/۵۲ t ، ۲/۷۴ tو ۰/۳۷ t محاسبه شده است. نتایج نشان داده‌اند که بار آلودگی نیتروژن آمونیاکی، نیتروژن کل و فسفر کل باید به ترتیب به میزان ۵۰/۹۶٪، ۴۴/۱۱٪ و ۲۲/۹۲٪ کاهش یابد تا کیفیت آب رودخانه رضایت‌بخش‌شود.

کالبورگی و همکاران (۲۰۱۰) پژوهشی را با عنوان "ارزیابی و توسعه مدل اکسیژن محلول و اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیائی برای رودخانه گاتاپراها در نزدیکی مادهول (هند) با استفاده از مدل QUAL2K" انجام داده‌اند. نمونه‌برداری از پارامترهای مورد نیاز در ۶ ایستگاه انجام شده است. حداقل و حداکثر اکسیژن محلول اندازه‌گیری شده به ترتیب ۷/۲۳ و ۱۱/۲۳ میلی‌گرم در لیتر، و حداقل و حداکثر اکسیژن محلول شبیه‌سازی شده ۶/۸۵ و ۱۰/۱۱ میلی‌گرم در لیتر بوده است. میزان خطای استاندارد اندازه‌گیری شده برای

[1]- Root-mean-square error (RMSE)
[2]-Biochemical oxygen demand (BOD)
[3]-Chlorophyll a
[4] Denitrification
[5]-El-Temsah Lake

اکسیژن محلول ۰/۷۱۸ و ۰/۶۴۸ است. مقایسه میان مقدار اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده نشان دهنده نزدیک بودن آنها به یکدیگر در بیشتر مکان‌های نمونه‌برداری بوده است، بنابراین می‌توان با اطمینان نسبتا بالا از مدل QUAL2K جهت شبیه‌سازی کیفیت آب رودخانه استفاده کرد.

پژوهشی با عنوان "کاربرد مدل QUAL2K برای شبیه‌سازی کیفیت آب و پراکندگی آلاینده‌ها از رودخانه داروگو در کنیا" بوسیله‌ی هادگو و همکاران (۲۰۱۴) انجام شده است. نمونه‌برداری در ۷ ایستگاه و طی فصل‌های خشک و مرطوب انجام گرفته است. حداقل و حداکثر اکسیژن محلول حین نمونه‌برداری به ترتیب ۳/۸۲ و ۷/۶۴ میلی‌گرم در لیتر بوده است. در فصل خشک به علت وارد شدن فاضلاب به آب رودخانه، مقدار اکسیژن محلول کاهش نسبتا زیادی داشته است. در این پژوهش از استاندارد سازمان بهداشت جهانی برای اکسیژن محلول (بیشتر از ۵ میلی‌گرم در لیتر) استفاده شده است. مقدار اکسیژن محلول شبیه‌سازی شده پس از واسنجی نشان دهنده نزدیک بودن به مقدار اندازه‌گیری شده است. ضریب همبستگی برای اکسیژن محلول میان مقدار شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده ۰/۸۶ و پس از واسنجی ۰/۸۸ بوده است.

اهداف پژوهش

از آن‌جا که اکسیژن محلول یکی از معیارهای مهم جهت سنجش کیفیت آب رودخانه‌ها است، شبیه‌سازی آن بوسیله مدل معروف QUAL2K و بررسی میزان خودپالایی رودخانه بوسیله‌ی آن، از اهداف این پژوهش می‌باشند.

مواد و روشها

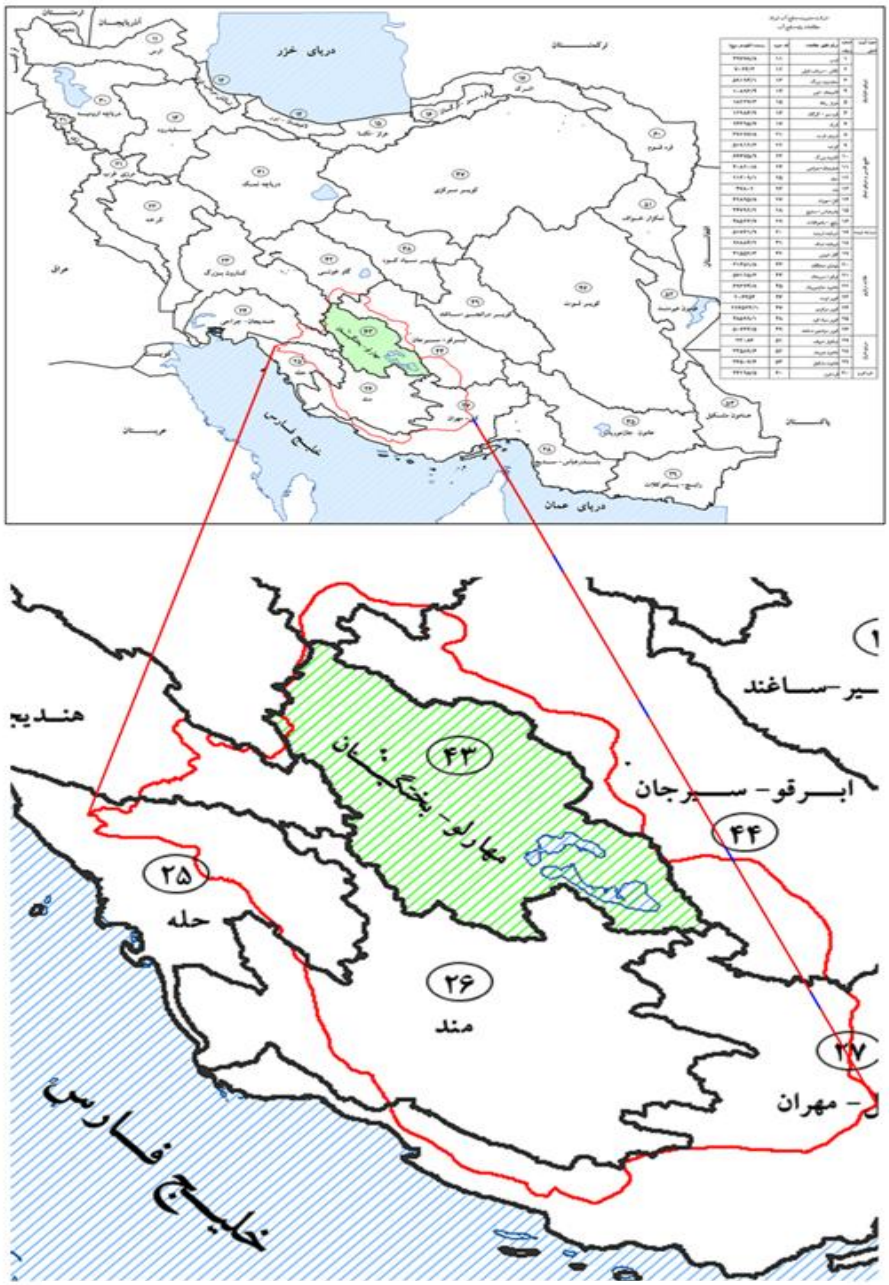
معرفی منطقه مورد مطالعه

رودخانه کر

اصلی‌ترین رودخانه‌های حوضه آبریز دریاچه‌های طشک - بختگان (رودخانه‌های کر و سیوند) در این محدوده مطالعاتی جریان داشته و از این محدوده به دریاچه بختگان می‌ریزند. رودخانه کر به عنوان بزرگ‌ترین و پرآب‌ترین رودخانه در حوضه آبریز دریاچه‌های طشک - بختگان، از محدوده دزکرد - کامفیروز در شمال‌غرب محدوده مطالعاتی مرودشت - خرامه وارد محدوده شده و در راستای شمال‌غرب - جنوب‌شرق به سمت دریاچه بختگان حرکت می‌کند. رودخانه سیوند نیز از محدوده سعادت‌آباد در شمال محدوده مطالعاتی مرودشت - خرامه وارد این محدوده شده و در مرکز محدوده مطالعاتی به رودخانه کر می‌پیوندد. از زمان‌های گذشته رودخانه کر دارای نقش مهمی در اقتصاد، کشاورزی و شرب مراکز جمعیتی مناطق مجاور آن بوده و اهمیت بسیاری در مسائل زیست محیطی به خصوص در حیات اکوسیستم‌های دریاچه بختگان داشته است؛ لذا از سالیان دور ایستگاه‌های آب‌سنجی و نمونه‌برداری متعددی بر روی سرشاخه‌ها و شاخه اصلی این رودخانه قرار داشته است (فارساب صنعت (۱۳۹۱)).

رودخانه کر در ابتدی مسیر و سرشاخه‌ها دارای پهنای کم، بستر سنگی و گاه شنی و شیب تند است. در بعضی از شاخه‌های فرعی به علت کم شدن شیب عرض بستر زیاد شده و گاه به ۷۰ متر می‌رسد. ولی در مجموع پهنای متوسط شاخه اصلی در بالادست سد درودزن حدود ۳۵ تا ۴۰ متر است. در فاصله بعد از سد تا بند امیر شیب بستر ملایم و رودخانه از اراضی هموار عبور می‌کند، بنابراین سرعت آب کم می‌باشد. بعد از پل خان به علت برداشت زیاد آب جهت آبیاری و تغییر مقطع، پهنای رودخانه حداکثر به ۳۰ متر می‌رسد. ترکیب دانه‌بندی بستر بعد از سد از ماسه نرم شروع و بتدریج رسی می‌شود (کریمی (۱۳۷۳)).

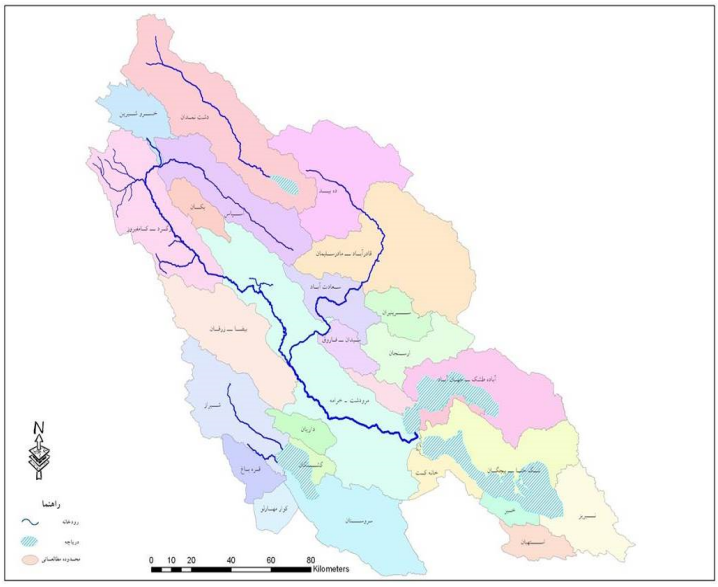
با توجه به اهمیت روند تغییرات و پیش بینی کیفیت آب رودخانه کر در استان فارس، که همچنین از گزند انواع فعالیت های انسانی، صنعتی و کشاورزی در امان نبوده وانواع آلاینده‌های حاصل از فعالیت‌های مختلف انسانی به آن وارد می‌گردد باعث شده است که در حال حاضر به عنوان یکی از کانونهای بحرانی از نقطه نظر زیست محیطی مطرح باشد (بوستانی و همکاران (۱۳۹۳)). موقعیت منطقه مورد مطالعه و رودخانه کر به ترتیب در شکل‌های ۱ و ۲ نمایش داده شده است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

هواشناسی

در محدوده مطالعاتی مرودشت- خرامه که رودخانه کر در آن واقع شده است، ۳۶ ایستگاه هواشناسی وجود دارد. بر اساس منحنی‌های هم‌دما، دمای متوسط سالانه برای دوره شاخص آماری ۴۵ ساله (۱۳۴۵-۹۰) در دشت و ارتفاعات کل محدوده به ترتیب ۱۶/۱ و ۱۳/۵ درجه سانتی‌گراد بدست آمده است. همچنین، با توجه به منحنی‌های هم‌باران در کل محدوده، بارندگی متوسط سالانه دشت و ارتفاعات برای دوره شاخص آماری ۴۵ ساله (۱۳۴۵-۹۰) به ترتیب ۳۰۱/۹ و ۴۰۵/۳ میلی‌متر است و براساس منحنی‌های هم تبخیر تبخیر متوسط سالانه برای دوره شاخص آماری ۴۵ ساله (۹۰-۱۳۴۵) در دشت و ارتفاعات کل محدوده به ترتیب ۲۲۵۲/۸ و ۱۹۵۴/۶ میلی‌متر بدست آمده است (فارساب صنعت (۱۳۹۳)).



شکل ۲- موقعیت رودخانه کر

منابع آلاینده در منطقه مورد مطالعه

عمده‌ترین منابع آلوده‌کننده نقطه‌ای در طول رودخانه کر شامل زهکش کوه سبز و زهکش آهوچر است. زهکش کوه سبز قبل از مجتمع پتروشیمی واقع شده و آبهای برگشتی کشاورزی زمین‌های کشت آبی منطقه وارد این زهکش شده و از این طریق به رودخانه کر تخلیه می‌گردد. بعلاوه آبهای برگشتی حاصل از بخش کشاورزی در دشتهای بیضاء و آهوچر که دارای مزارع کشت آبی است نیز از این زهکش به رودخانه کر هدایت می‌گردد (حاتمی‌زاده و نوشادی (۱۳۸۵)). بیشترین نوع سم مصرفی استان فارس نیز به علف‌کشها و سپس به حشره‌کشها اختصاص دارد. همچنین بالاترین میزان مصرف در کل استان مربوط به زراعت‌های گندم آبی، برنج، چغندر قند و باغات مرکبات است (فخرایی (۱۳۸۷)). واحدهای مهم و بزرگ صنعتی در آلودگی این رودخانه نقش دارند که از جمله آنها می‌توان به کارخانه چرمینه، مجتمع پتروشیمی، مجتمع صنعتی یک ویک، کارخانه آرد و بیسکویت دادلی، کارخانه قند مرودشت، پالایشگاه نفت شیراز، کارخانه شیر منطقه‌ای فارس، شهرک صنعتی آب باریک، کارخانه شیمیایی سینا، کارخانه شیمیایی فارس و کارخانه ریشمک زرقان اشاره کرد (حاتمی‌زاده (۱۳۸۵)). مهمترین منبع انسانی آلاینده رودخانه‌های کر و سیوند فاضلاب شهر مرودشت و روستاهای حومه این شهر می‌باشند. علاوه بر آن فاضلاب شهر زرقان نیز از طریق زهکش آهوچر به این رودخانه تخلیه می‌گردد. فاضلابهای شهری سعادت شهر، سیدان و سیوند نیز از منابع آلاینده این رودخانه می‌باشند (اداره کل حفاظت محیط زیست فارس (۱۳۷۸)). آلاینده‌های طبیعی شامل آن بخش از آلودگی‌هایی است که به وسیله طبیعت و دگرگونی‌های زمین ایجاد می‌گردد و انسان در آنها دخالتی ندارد، مانند عبور آب از لایه‌های سطحی و زیرزمینی که موجب انحلال مواد معدنی و آب می‌گردد. فرسایش آبی و بادی خاک و سیل از جمله این منابع هستند (حاتمی‌زاده (۱۳۸۵)). مناطق پیرامون رودخانه کر تحت تاثیر سیلاب‌های جدی و فرسایش خاک است. در قسمت پایین‌دست سد درودزن، به‌دلیل هموار شدن زمین، اثرات فرسایشی کاهش می‌یابد. رژیم سیلابی رودخانه کر کاملا برجسته است به‌نحوی که در بعضی مواقع دبی جریان سیلابی چهل برابر دبی عادی است. گذشته از سد درودزن، چندین بند در مسیر رودخانه احداث گردیده که در مواقع سیلابی مشکل‌زا می‌باشند (فخرایی (۱۳۸۷)). در جدول ۱ مشخصات فاضلاب‌های شهری و روستایی و جدول ۲ روستاهای آلوده کننده رودخانه کر همراه با جمعیت و سرانه دبی تولیدی آمده است (اداره کل حفاظت محیط زیست فارس (۱۳۷۸)).

نمونه‌برداری از ایستگاه‌های منتخب

از لحاظ مکان نمونه برداری به منظور اندازه گیری پارامترهای کیفی آب رودخانه کر با توجه به شرایط واقعی رودخانه، موارد زیر مورد توجه قرار گرفت:

انتخاب محل نمونه برداری در مکان‌هایی که از لحاظ کیفیت آب دارای اهمیت خاص باشند، به عنوان مثال در محل برداشت آب های آشامیدنی.

۱- در نقاطی که تغییرات محسوسی از نظر کیفیت در آب رودخانه صورت می‌گیرد.

۲- در تقاطع یا تلاقی شاخه‌های فرعی با مسیر اصلی رودخانه.

۳- محل‌های تخلیه فاضلاب های شهری و صنعتی.

٤- در محل‌هایی که احتمال آلودگی ناشی از زمین‌های کشاورزی وجود دارد.

۵- دسترسی به محل نمونه‌برداری.

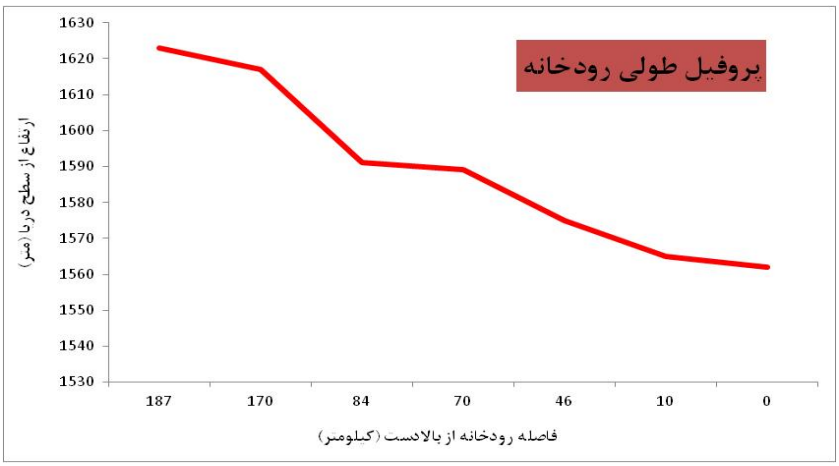
٦- موجود بودن پیشینه آماری از وضعیت کیفیت رودخانه در محل مورد نظر.

۷- موجود بودن اطلاعات هیدرومتری در محل مورد نظر.

در نهایت با توجه به بررسی‌های انجام گرفته و با توجه به عوامل منطقی، ۷ ایستگاه از پایین‌دست سد درودزن تا قبل از ورودی رودخانه به دریاچه طشک-بختگان (۱۸۷ کیلومتر)، برای نمونه‌برداری از اکسیژن محلول در آب رودخانه کر طی دو ماه شهریور (گرم و کم آب) و اسفند (سرد و پرآب) انتخاب شدند که مشخصات آنها در جدول ۳ آورده شده است. در شکل ۳ پروفیل طولی رودخانه و در شکل ۴ موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری نشان داده شده است.

جدول ۱- مشخصات فاضلاب‌های شهری و روستایی (اداره کل حفاظت محیط زیست، ۱۳۸۳)

پارامتر	فاضلاب شهری	فاضلاب روستایی
DO (mg/L)	۰	۰
BOD (mg/L)	۲۶۷	۳۲۰
pH	۷/۵	۷/۵
TSS (mg/L)	۲۴۰	۲۶۰
EC (ds/m)	۱۲۰۰	۱۲۰۰
Alkalinity (mg/L as $CaCO_3$)	۲۵۰	۲۵۰
Total Nitrogen as N (mg/L)	۳۵	۴۲
Ammonia Nitrogen as N (mg/L)	۲۲	۲۶
Total Phosphorous as P (mg/L)	۷	۸
Soluble Phosphorous as P (mg/L)	۴	۴



شکل ۳- پروفیل طولی رودخانه

جدول ۲- روستاهای آلوده کننده رودخانه کر (اداره کل حفاظت محیط زیست، ۱۳۸۳)

ردیف	نام روستا	رودخانه	جمعیت		سرانه تولید فاضلاب lit/d	
			۱۳۸۰	۱۴۱۵	۱۳۸۵	۱۴۱۵
۱	درودزن	کر	۱۷۹۳	۳۲۹۲	۱۱۰/۹	۱۳۰
۲	شهرک ایرج		۲۵۲۵	۴۴۵۰	۱۰۷/۲	۱۳۰
۳	جشنیان		۹۵۲	۱۸۷۵	۹۷/۲	۱۲۵
۴	رامجردی		۳۹۴	۶۵۰	۹۹	۱۲۵
۵	میانرود		۵۹۶	۱۰۰۲	۱۰۲/۷	۱۳۰
۶	سعادت آباد		۴۸۶	۸۱۵	۹۸/۶	۱۳۰
۷	بادکی		۱۷۳	۲۶۵	۹۶/۲	۱۳۰
۸	کوه سبز		۳۰۹۶	۶۲۰۵	۱۰۸/۱۳	۱۳۱/۹
۹	اسفندیاران		۶۵۴	۱۱۵۸	۱۰۵/۳	۱۲۷
۱۰	بند امیر زرقان		۱۳۴۳	۲۴۳۰	۹۷	۱۲۰
۱۱	اسماعیل آباد		۶۶	۱۲۰	۹۲	۱۲۰
۱۲	فیض آباد		۲۳۷	۴۳۰	۱۰۷	۱۳۰
۱۳	رحمت آباد		۳۱۱۹	۵۶۴۵	۱۱۳	۱۳۵
۱۴	فشنگان		۴۳۰	۷۷۸	۹۴	۱۲۰
۱۵	دهقانان کربال		۵۱۶	۹۳۳	۹۵	۱۲۰
۱۶	شهاب آباد(شام آباد)		۲۵۶	۴۶۳	۹۹	۱۲۵
۱۷	معز آبادگودگیر		۱۲۵۵	۲۲۷۱	۱۱۸	۱۳۵

شکل ۴- موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری

جدول ۳- مشخصات ایستگاه‌های نمونه‌برداری

ردیف	نام ایستگاه	موقعیت			فاصله از ابتدای مسیر (کیلومتر)
		X	Y	ارتفاع از سطح دریا (متر)	
۱	پل درودزن	۶۴۱۱۹۲	۳۳۴۱۱۲۶	۱۶۲۳	۱۸۷
۲	پل قرقره	۶۴۵۰۱۳	۳۳۳۷۱۷۶	۱۶۱۷	۱۷۰
۳	پل‌خان	۶۷۰۹۷۹	۳۳۰۳۶۳۱	۱۵۹۱	۸۴
۴	بند امیر	۶۷۸۳۴۲	۳۲۹۵۵۲۲	۱۵۸۹	۷۰
۵	پل رحمت‌آباد	۶۹۷۱۸۵	۳۲۸۰۴۸۵	۱۵۷۵	۴۶
۶	بند حسن‌آباد	۷۲۶۳۲۲	۳۲۷۳۷۵۱	۱۵۶۵	۱۰
۷	پل شهید غنی‌زاده	۷۳۴۹۱۹	۳۲۷۲۳۲۸	۱۵۶۲	۰

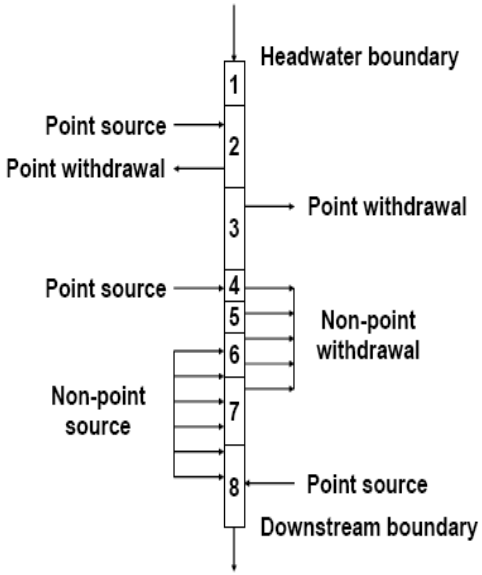
اندازه‌گیری اکسیژن محلول

امروزه برای اندازه گیری اکسیژن محلول در محل نمونه برداری از دستگاههای کوچک سیار که مجهز به الکترود غشایی است، استفاده می‌شود. الکترود غشایی بر اساس سرعت نفوذ مولکول‌های اکسیژن از یک غشا ساخته شده است. این روش فیزیکی بطور ساده و سریع انجام می‌گیرد. دقیق‌ترین و قابل اعتمادترین روش اندازه‌گیری اکسیژن محلول روش یدومتری است. این روش یک روش تیتراسیونی است که براساس خواص اکسیدکنندگی اکسیژن محلول انجام می‌گیرد. (ایتون و فرانسون (۲۰۰۵)).

در این پژوهش از روش الکترود غشایی برای اندازه‌گیری اکسیژن محلول استفاده شده است. در شکل ۵، دستگاه اندازه‌گیری اکسیژن محلول نمایش داده شده است.

شکل ۵- دستگاه اندازه‌گیری اکسیژن

شبیه‌سازی اکسیژن محلول بوسیله مدل



شکل ۶- تقسیم بندی یک رودخانه در مدل QUAL2K

اکسیژن محلول در اثر فوتوسنتز[۱] گیاهان افزایش، و در اثر اکسیداسیون[۲] اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیائی کربنی،[۳] نیتریفیکاسیون[۴] و تنفس گیاهان[۵] کاهش می‌یابد. بسته به اینکه آب در حال فوق اشباع باشد و یا در حالت زیر اشباع، طی فرآیند هوادهی مجدد[۶] اکسیژن می‌گیرد و یا از دست می‌دهد (چاپرا و همکاران (۲۰۰۸)).

میزان اکسیژن محلول در رودخانه‌ها به عوامل متعددی از جمله دمای آب، میزان هوادهی مجدد، بار آلی موجود و یا ورودی به رودخانه بستگی دارد.

مدل QUAL2K رودخانه را به بازه‌های مختلفی تقسیم بندی می‌کند که هر یک از این بازه‌ها دارای شرایط هیدرولیکی یکسانی می‌باشند (مانند شیب طولی، عرض کف، شیب دیواره‌ها و ...). همانطور که در شکل ۶ دیده می‌شود این بازه‌ها به ترتیب از بالادست به پایین دست شماره گذاری می‌شوند و منابع نقطه‌ای یا غیرنقطه‌ای می‌توانند در هر قسمت رودخانه وارد شده یا از آن خارج گردند (چاپرا و همکاران (۲۰۰۸)).

برای هر المان (شکل ۷)، موازنه جریان رودخانه در حالت جریان پایدار طبق روابط زیر صورت می‌گیرد (چاپرا و همکاران (۲۰۰۸)):

$$Qi = Q_{i-1} + Q_{in,i} - Q_{out,i}$$

$$Q_{in,i} = \sum_{j=1}^{psi} Q_{ps,i,j} + \sum_{j=1}^{npsi} Q_{nps,i,j}$$

$$Q_{out,i} = \sum_{j=1}^{pai} Q_{pa,i,j} + \sum_{j=1}^{npai} Q_{npa,i,j}$$

Q_i :میزان جریان خروجی از المان i به المان i+1

Q_{i-1} :میزان جریان خروجی از المان i-1

$Q_{in,i}$:کل جریان ورودی از منابع نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای به المان i

$Q_{out,i}$:کل جریان خروجی از المان i به صورت نقطه‌ای یا غیر نقطه‌ای

۱- Photosynthesis

۲-Oxidation

۳-Carbonaceous biochemical oxygen demand (CBOD)

۴-Nitrification

۵-Plant respiration

۶-Reaeration

نتایج و بحث

صحت‌سنجی مدل

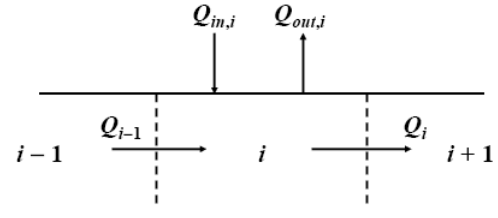
به‌منظور صحت‌سنجی مدل، نمودار همبستگی بین داده‌های اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده در ماه‌های اسفند و شهریور در شکل‌های ۸ و ۹ که با استفاده از نرم‌افزار اکسل محاسبه شده، نمایش داده شده است. از علل اختلاف بین نتایج می‌توان به خطای آزمایشگاهی، عدم تخمین دقیق غلظت مواد اکسیژن خواه، عدم تخمین دقیق دما، خطا در شناسایی منابع آلاینده و کیفیت آنها و ... اشاره نمود.

همان‌گونه که در شکل‌ها مشاهده می‌شود، ضریب همبستگی در ماه‌های اسفند و شهریور به ترتیب برابر ۰/۸۷ و ۰/۷۵ بوده که نشان دهنده همبستگی نسبتا بالا میان اکسیژن محلول اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده می‌باشد.

اندازه‌گیری اکسیژن محلول

مقادیر اندازه‌گیری شده و نتایج شبیه‌سازی اکسیژن محلول بوسیله‌ی مدل QUAL2K در ماه‌های اسفند و شهریور در جدول‌های ۴ و ۵ نمایش داده شده است.

همانطور که در جدول مشاهده می‌شود، کمترین و بیشترین مقدار اکسیژن محلول اندازه‌گیری شده در ماه اسفند به‌ترتیب ۵/۵۰ میلی‌گرم در لیتر در پل‌خان و ۸/۴۰ میلی‌گرم در لیتر در پل شهید غنی‌زاده است. همچنین، کمترین و بیشترین مقدار اکسیژن محلول شبیه‌سازی شده در ماه اسفند به‌ترتیب ۵/۵۹ میلی‌گرم در لیتر در پل‌خان و ۸/۲۵ میلی‌گرم در لیتر در پل شهید غنی‌زاده است.



شکل ۷- موازنه جریان برای هر المان

کمترین و بیشترین مقدار اکسیژن محلول اندازه‌گیری شده در ماه شهریور به‌ترتیب ۶/۰۲ میلی‌گرم در لیتر در پل‌خان و ۸/۰۵ میلی‌گرم در لیتر در پل شهید غنی‌زاده است. همچنین، کمترین و بیشترین مقدار اکسیژن محلول شبیه‌سازی شده در ماه شهریور به‌ترتیب ۵/۷۱ میلی‌گرم در لیتر در پل‌خان و ۷/۹۱ میلی‌گرم در لیتر در پل شهید غنی‌زاده است.

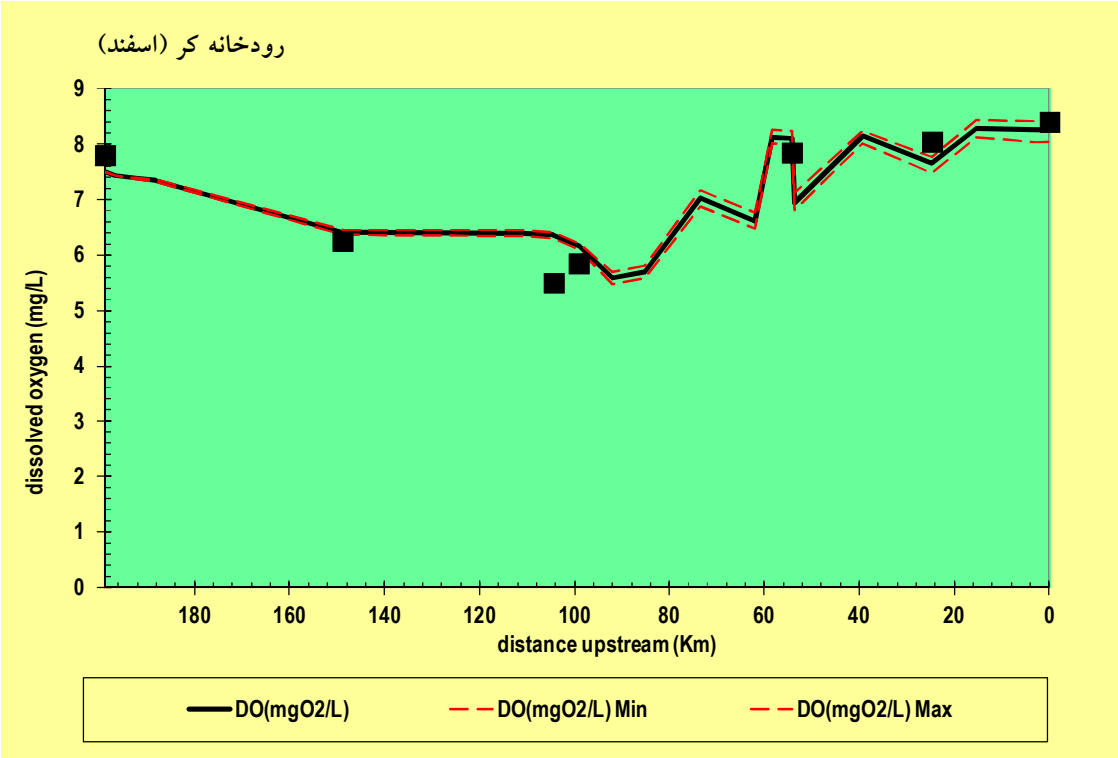
شکل‌های ۱۰ و ۱۱، شبیه‌سازی اکسیژن محلول به‌وسیله مدل QUAL2k را در ماه‌های اسفند و شهریور نشان می‌دهند.

جدول ۴- اکسیژن محلول شبیه‌سازی شده در ماه اسفند

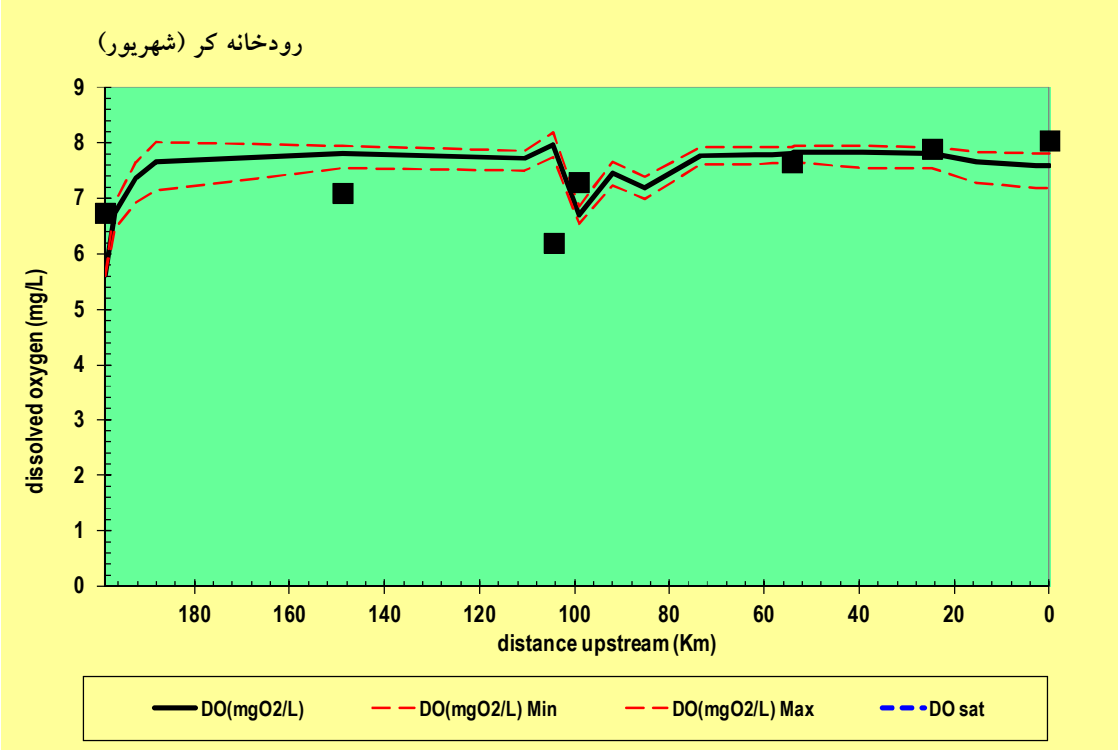
نام ایستگاه	اکسیژن محلول اندازه‌گیری شده (میلی‌گرم در لیتر)	اکسیژن محلول شبیه‌سازی شده (میلی‌گرم در لیتر)
پل درودزن	۷/۸۰	۷/۵۰
پل قرقره	۶/۲۵	۶/۴۱
پل‌خان	۵/۵۰	۵/۵۹
بند امیر	۵/۸۵	۵/۷۰
پل رحمت‌آباد	۷/۸۵	۸/۱۱
بند حسن‌آباد	۸/۰۵	۸/۲۰
پل شهید غنی‌زاده	۸/۴۰	۸/۲۵

جدول ۵- اکسیژن محلول شبیه‌سازی شده در ماه شهریور

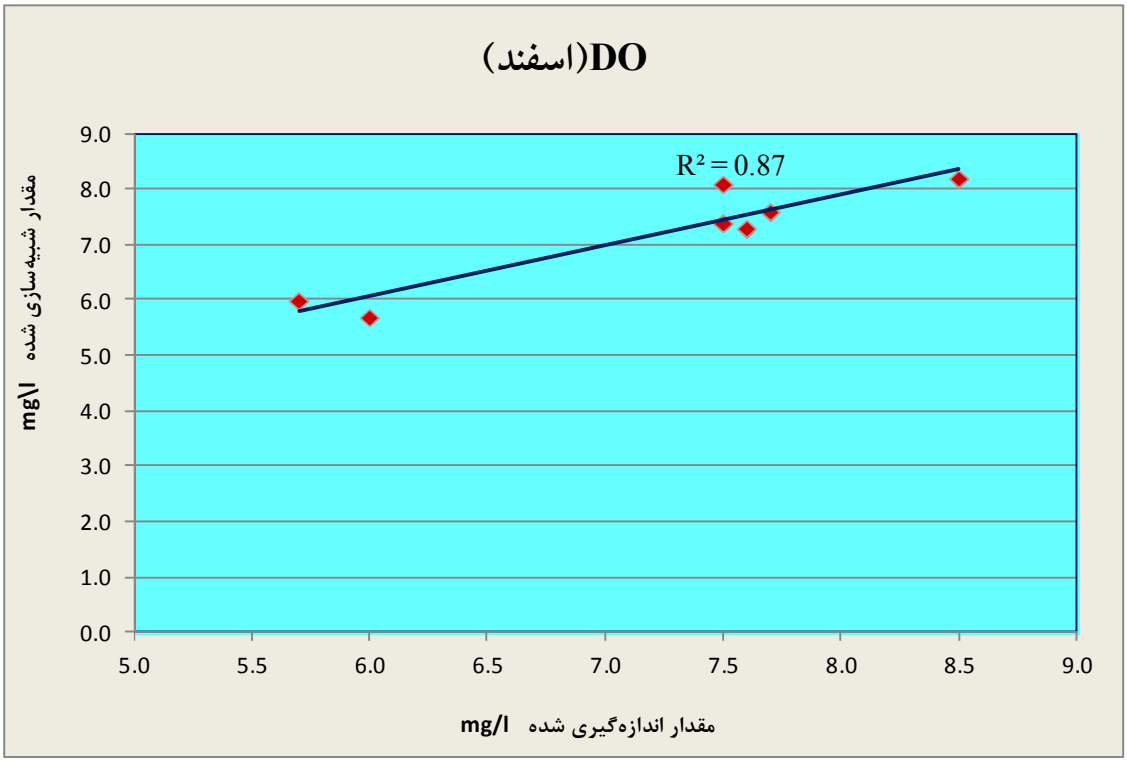
نام ایستگاه	اکسیژن محلول اندازه‌گیری شده (میلی‌گرم در لیتر)	اکسیژن محلول شبیه‌سازی شده (میلی‌گرم در لیتر)
پل درودزن	۶/۷۴	۷/۸۵
پل قرقره	۷/۱۰	۷/۱۰
پل‌خان	۶/۲۰	۵/۷۱
بند امیر	۷/۳۰	۷/۶۰
پل رحمت‌آباد	۷/۶۵	۷/۸۰
بند حسن‌آباد	۷/۹۰	۷/۸۳
پل شهید غنی‌زاده	۸/۰۵	۷/۹۱



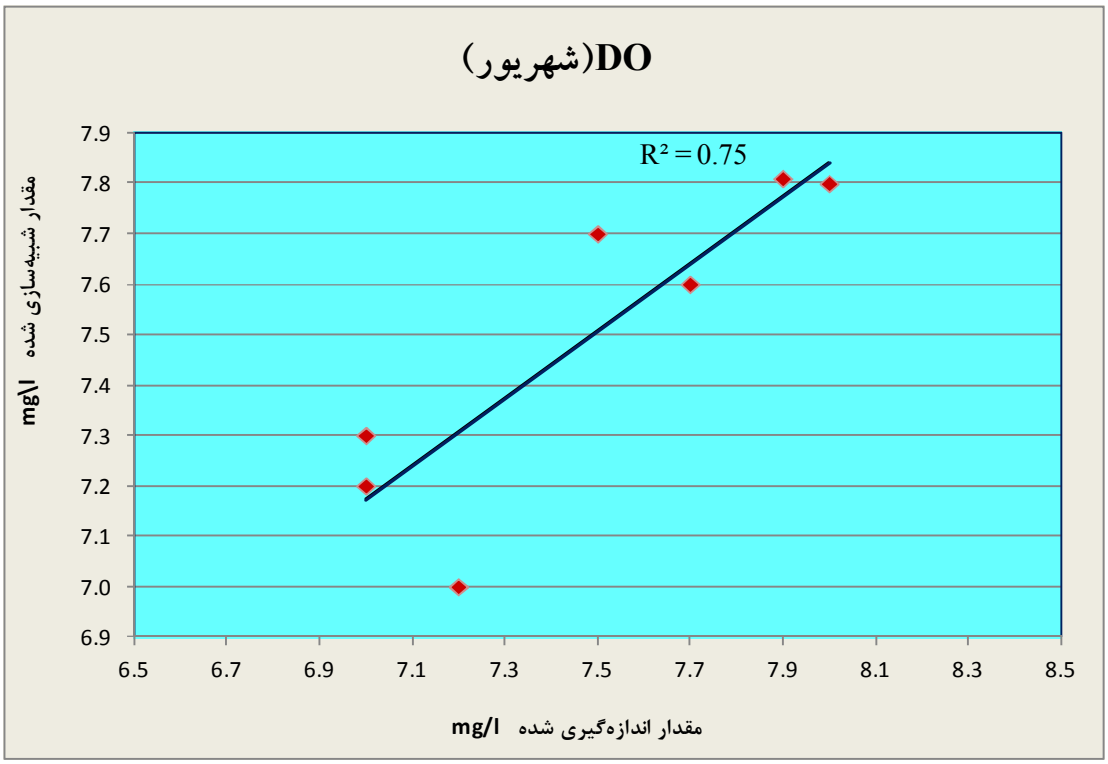
شکل ۸- اکسیژن محلول شبیه‌سازی شده در ماه اسفند



شکل ۹- اکسیژن محلول شبیه‌سازی شده در ماه شهریور



شکل ۱۰- نمودار همبستگی بین اکسیژن محلول اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده در اسفند



شکل ۱۱- نمودار همبستگی بین اکسیژن محلول اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده در شهریور

نتیجه‌گیری

میزان اکسیژن محلول در طول مسیر رودخانه کر در بالادست و پایین‌دست پل‌خان وضعیت متفاوتی دارد. در نیمه اول مسیر (روند کاهشی)، بیشینه میزان اکسیژن محلول در اسفندماه برابر ۷/۵۰ میلی‌گرم در لیتر و در شهریورماه برابر ۷/۸۵ میلی‌گرم در لیتر در ایستگاه پل درودزن مشاهده شده است. بیشترین نرخ کاهش اکسیژن محلول در ماه‌های اسفند و شهریور به ترتیب معادل ۰/۰۱۸ و ۰/۰۲۱ میلی‌گرم در لیتر (پل درودزن تا پل‌خان) در هر کیلومتر از طول رودخانه است. کمینه مقدار اکسیژن محلول در ماه‌های اسفند و شهریور به ترتیب به مقدار ۵/۵۹ و ۵/۷۱ میلی‌گرم در لیتر در ایستگاه پل‌خان رخ داده است. دلیل کاهش اکسیژن محلول در ایستگاه پل‌خان ورود فاضلاب‌های مجتمع پتروشیمی شیراز و شهر مرودشت می‌باشد. در نیمه دوم مسیر (روند افزایشی)، بیشینه میزان اکسیژن محلول در اسفندماه برابر ۸/۲۵ و در شهریورماه برابر ۷/۹۱ میلی‌گرم در لیتر در ایستگاه پل شهید غنی‌زاده مشاهده شده است. بیشترین نرخ افزایش اکسیژن محلول در ماه‌های اسفند و شهریور به ترتیب معادل ۰/۰۳۲ و ۰/۰۲۶ میلی‌گرم در لیتر (پل‌خان تا پل شهید غنی‌زاده) در هر کیلومتر از طول رودخانه است. از علت‌های افزایش میزان اکسیژن محلول پس از پل‌خان می‌توان به کم شدن اثر پساب خروجی از تصفیه‌خانه مرودشت و مجتمع پتروشیمی شیراز اشاره کرد. وجود پل‌ها و تاسیسات آب‌بند مانند بند امیر، پل رحمت آباد و بند حسن‌آباد می‌تواند باعث افزایش تلاطم و افزایش هوادهی و قدرت خودپالایی رودخانه و در نتیجه افزایش میزان اکسیژن محلول در رودخانه شود.

از نتایج این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت که روند تغییرات اکسیژن محلول طی ماه‌های اسفند و شهریور مناسب است و هرگز به مرز بحرانی نمی‌رسد.

در حال حاضر، رودخانه کر توانایی خودپالایی را به خصوص پس از ایستگاه پل‌خان تا دریاچه طشک-بختگان دارا است. وضعیت زیست‌محیطی رودخانه کر نگران کننده است. با توجه به روند کاهش دبی و افزایش تاثیر فاضلاب‌ها، وضعیت رودخانه کر در آینده با مشکلات بیشتری روبه‌رو خواهد شد.

از دیگر یافته‌های این پژوهش می‌توان به این نکته اشاره کرد که مدل QUAL2K جهت شبیه‌سازی کیفیت آب رودخانه مناسب است و موجب افزایش سرعت و دقت و کاهش هزینه‌های پایش کیفیت آب رودخانه کر می‌شود.

پیشنهادها

- افزایش و بهینه‌سازی تعداد ایستگاه‌های پایش کیفی به خصوص در محل ورود آلودگی‌های نقطه‌ای یا بازه‌هایی که آلودگی‌های غیرنقطه‌ای نظیر کشاورزی وارد آن می‌شود.
- استفاده از سیستم پایش خودکار به منظور بالارفتن دقت و کاهش خطاهای انسانی.
- کنترل وپایش پساب‌های خروجی و بازدهی کلیه تصفیه‌خانه‌های صنایع موجود.
- بررسی دقیق و شناخت نوع آبزیان رودخانه کر به منظور انتخاب و یا تدوین استانداردهای کیفی متناسب با نوع آبزیان.
- استفاده از سیستم‌های نوین آبیاری به منظور کاهش مصرف آب کشاورزی.
- تجهیز کامل روستاها و شهرهای اطراف رودخانه کر به شبکه جمع‌آوری و تصفیه‌خانه فاضلاب به منظور بهبود دفع فاضلاب آنها.
- جلوگیری از تمرکز استقرار صنایع در نقطه‌ای خاص در اطراف رودخانه کر.

منابع

۱) اژدری م، سلامی م، محمدی، ک، ۱۳۸۵. مدلسازی آمونیوم، نیترات و فسفات در رودخانه با استفاده از مدل QUAL2K. هفتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، اهواز، دانشگاه شهید چمران.

۲) اداره کل حفاظت محیط زیست استان فارس، ۱۳۷۸. گزارش جامع کاهش آلودگی رودخانه‌های مهم استان (کر و سیوند). تهران، انتشارات حفاظت محیط زیست.

۳) بوستانی ف، سلیمانی راد س، هنر م ر، ۱۳۹۳. بررسی کیفیت آب رودخانه کر با استفاده از مدل

WASP. دومین همایش ملی کشاورزی و منابع طبیعی پایدار، آبادان، موسسه آموزش عالی مهر اروند.

۴) بوستانی ف، گوهرگانی ا، ۱۳۹۳. شبیه‌سازی کیفیت آب رود بشار در محدوده‌ی شهر یاسوج با استفاده از شبیه QUAL2K . مجله مهندسی منابع آب. ۷(۲۳): ۸۵-۹۸.

۵) ترابی میبدی ع، بوداقپور س، ۱۳۹۱. شبیه‌سازی روند تغییرات کیفی رودخانه قره‌سو با استفاده از مدل QUAL2K . اولین همایش ملی جریان و آلودگی آب، تهران، دانشگاه تهران.

۶) حاتمی زاده م ر، نوشادی م، ۱۳۸۵. اندازه‌گیری و شبیه‌سازی تغییرات نیترات در طول رودخانه. همایش خاک، محیط زیست و توسعه پایدار، کرج، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.

۷) رزمخواه ه، اسماعیل نیاورانی م، ۱۳۸۶. آنالیز تاثیرات منابع آلاینده بر کیفیت آب رودخانه کر توسط مدلWASP . ششمین کنفرانس هیدرولیک ایران، شهرکرد، دانشگاه شهرکرد.

۸) شجاعی م، شریعتی نیاسر ز، شمسایی ا. ۱۳۹۳. شبیه‌سازی کیفی رودخانه کارون با استفاده از مدل QUAL2K . نهمین کنفرانس ملی روز جهانی محیط زیست، تهران، دانشگاه تهران.

۹) عظیمی م م، غواصیه ا ر، هاشمی س ح، برکتین س، ۱۳۸۹. ارزیابی قدرت خودپالایی رودخانه به کمک نتایج حاصل از شبیه‌سازی کیفی (مطالعه موردی : رودخانه سفیدرود). همایش ملی آب پاک، تهران، دانشگاه صنعت آب و برق.

۱۰) فخرایی ح، ۱۳۸۷. تعیین ظرفیت خودپالایی رودخانه‌های کر و سیوند و تخصیص بار آلودگی به منابع آلاینده آن. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه شیراز.

۱۱) قنبری ا، فتایی ا، ۱۳۹۳. مدل‌سازی کیفی نحوه تغییرات اکسیژن محلول و اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیائی با استفاده از مدل (QUAL2K)، مطالعه موردی رودخانه زرج آباد. اولین کنفرانس ملی آلودگی های محیط زیست با محوریت زمین پاک، اردبیل، انجمن مردم نهاد حیات پاک.

۱۲) کریمی ی، ۱۳۷۳. مطالعه حوزه آبریز رودخانه کر و سیوند (گزارش سال اول). اداره کل حفاظت محیط زیست استان فارس، صفحه ۱۱۵.

۱۳) مهندسین مشاور فارساب صنعت، ۱۳۹۱. مطالعات شناسایی و پایش کیفی آب زیرزمینی دشت‌های مرودشت، خرامه و زرقان.

۱۴) مهندسین مشاور فارساب صنعت، ۱۳۹۳. گزارش بیلان منابع آب محدوده مطالعاتی مرودشت - خرامه.

۱۵) ناصری س، قانعیان م ت، ۱۳۸۱. مدیریت کیفیت آب در دریاچه‌ها و رودخانه‌ها. تهران، موسسه علمی و فرهنگی نص.

۱۶) نصیراحمدی ک، یوسفی ذ، ترسلی ا، ۱۳۹۱. پهنه‌بندی کیفیت آب رودخانه هراز بر اساس شاخص NSFWQI. مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران. ۲۲(۹۲): ۷۱-۶۴.

17) Chapra SC, Pelletier GJ. 2008. QUAL2K: A modeling framework for simulating river and stream water quality. Documentation and user manual, civil and environmental engineering department. Tufts University.

18) Eaton AD, Franson MAH. 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater, 20th Ed. American public health association, Washington, D.C.

19) Hadgu L, Nyadawa M, Mwangi J, Kibetu P, Mehari B. 2014. Application of water quality model QUAL2K to model the dispersion of pollutants in river Ndarugu, Kenya. Computational water, energy, and environmental engineering. 3(4):162-169.

20) Kalburgi PB, Shivayogimath, CB, Purandara BK. 2010. Application of QUAL2K for water quality modeling of River Ghataprabha (India). Journal of environmental science and engineering. 4(12): 6-11.

21) Park SS, Lee YS. 2001. A water quality modeling study of the Nakdong River, Korea. Ecological modelling. 152(1): 65-75.

22) Rashed A, El-Sayed EA. 2014. Simulating agricultural drainage water reuse using QUAL2K model: Case study of the Ismailia Canal Catchment area, Egypt. Journal of irrigation and drainage engineering. 140(5):05014001

23) Zhang R, Qian X, Yuan X, Ye R, Xia B, Wang Y. 2012. Simulation of water environmental capacity and pollution load reduction using QUAL2K for water environmental management. International journal of environmental research and public health. 9(12):4504-4521.