علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره هجدهم، شماره دو، تابستان ۹۵

بررسی کارایی مدل $Qual2k_w$ در خودپالایی رودخانه

(مطالعه موردی رودخانه کارون در بازه زرگان- کوت‌امیر)

پگاه حسینی [۱]*

pegahehosseni@yahoo.com

علی‌رضا ایلدرومی [۲]

یاسر حسینی [۳]

تاریخ دریافت: ۸۹/۱/۱۹ **تاریخ پذیرش:۸۹/۶/۱۶**

چکیده

زمینه و هدف: رودخانه کارون یکی از بزرگترین رودخانه های کشور بوده و تحقیق حاضر کارایی مدل $Qual2k_w$ را در بررسی خودپالایی رودخانه کارون در بازه زرگان تا کوت‌امیر مطالعه کرده است.

روش بررسی: در این تحقیق تغییرات پارامترهای کیفیت آب رودخانه شامل: pH, DO, BOD, TSS, NO_3, EC و دما در سال ۱۳۸۷ توسط مدل $Qual2k_w$ برای دو ماه مرداد (کم آبی) و دی (پرآبی) طی ۳۰ روز شبیه‌سازی و واسنجی شد و با داده‌های مشاهداتی در ماه‌های شهریور و بهمن ماه همان سال در ایستگاه‌های زرگان، پل‌پنجم و کوت امیر مقایسه شد. همچنین برای تعیین اعتبار مدل و مقایسه داده‌های مشاهداتی با داده‌های محاسباتی از مربع ضریب همبستگی (R^2)، خطای استاندارد (S_{Er}) و برای آزمون معنی‌دار بودن آن‌ها از آزمون‌های t و F استفاده شد.

یافته ها: خروجی مدل به طور کلی حکایت از عدم خودپالایی در پارامترهای pH, BOD_u در هر دوماه، NO_3 در ماه مرداد و TSS در ماه دی و خودپالایی کم در دیگر پارامترها با توجه به بار آلودگی ورودی در این بازه رودخانه کارون داشت.

نتیجه گیری: مدل $Qual2k_w$ دارای کارایی خوبی برای بررسی خودپالایی رودخانه‌ها است و در مورد رودخانه کارون، این مدل توانایی شبیه سازی خوبی داشته است.

واژه‌های کلیدی: خودپالایی، رودخانه کارون، پارامترهای فیزیکی شیمیایی، $Qual2k_w$.

۱- کارشناسی ارشد مهندسی منابع طبیعی- محیط زیست دانشگاه ملایر * (مسوول مکاتبات)

۲- دانشیار دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه ملایر .

۳- استادیاردانشکده کشاورزی و منابع‌طبیعی مغان، دانشگاه محقق اردبیلی.

J.Env. Sci. Tech., Vol 18, No.2, summer 2016

The Study of Qual2k$_w$ Model Efficacy on River Self-purification (A Case Study of Karun River at Interval of Zargan to Kute Amir)

Pegah Hossieni*[1]
pegahehosseni@ymail.com
Ali Reza Ildoromi[2]
Yasser Hosseini[3]

Abtract

Background and Objective: Karun River is one of the largest rivers in the country and the present paper has studied Qual2k$_w$ model efficacy on self-purification of Karun River at interval of Zargan to Kute Amir.

Method: For this purpose changes in quality parameters of the river including: EC, NO_3, TSS, BOD, DO, pH, and temperature in the year 2008-2009, for two months of August (dehydration) and January (high water) simulated and calibrated within 30 days by aforementioned model and was compared with observed data in months of September and February of the same year in the stations of Zargan, Pole Panjom, and Kute Amir. In addition, for the determination of the validity of Qual2k$_w$ model and comparing of observed data with computational data, square of correlation coefficient (R^2) and Standard Error of Measurement (S_{Er}) were used, while for their significant test, T-test and F-test have done.

Findings: In general, the output model represented the non-assimilation of pH and BOD_u parameters for two months, NO_3 in months of August, TSS in months of January and low assimilation in other parameters in accordance with the input pollution in the defined interval of Karun River.

Discussion and Counclusion: It aslo showed that the Qual2k$_w$ model has good efficacy for the investigation of river self-purification and the Karun River, this model was able to simulate well.

Keywords: Self-Purification, Karun River, Chemical and Physical Parameters, Qual2k$_w$.

1- Masters of, Engineering of Natural resource – Environment, School of Natural Resource, Malayer University, Malayer, Iran**(Corresponding Author)* .
2- Associate professor, School of Natural Resource and the Environment, Malayer University, Malayer, Iran.
3- Assistant professor, College of Agriculture and Natural Resources of the Moghan, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil,Iran.

مقدمه

کمبود آب شیرین از یک‌سو و تخلیه آلاینده‌های مختلف به آب‌ها از سوی دیگر از مهم‌ترین مشکلات جهان و به‌ویژه ایران است. رودخانه کارون در مسیر جریان خود محل ورود و تخلیه فاضلاب‌های خانگی، پساب‌های صنعتی و زه‌آب‌های کشاورزی بسیار زیادی است و به همین دلیل کیفیت آب آن مرتباً دست‌خوش تغییرات شدیدی می‌باشد و باعث مرگ تدریجی اکوسیستم کارون شده است (۱). لذا توجه به نقش و توان خودپالایی رودخانه کارون به دلیل حجم زیاد تخلیه فاضلاب شهری در محدوده کلان شهر اهواز به‌عنوان مرکز استان خوزستان اهمیت ویژه‌ای دارد. فرایند خودپالایی [1] تأثیر تلفیقی ترقیق [2] ، ته نشینی [3] ، جذب و تجزیه زیستی [4] است که منجر به بهبود کیفیت آب رودخانه می‌گردد (۲). مدل‌سازی کیفی رودخانه یکی از ابزارهای کم هزینه و مهم در بررسی مشکلات و راه‌حل‌ها در جهت بهبود وضعیت کیفی رودخانه می‌باشد. مدل $Qual2k_w$ یک مدل یک بعدی است و متغیرهای کیفی آب را در حالت جریان پایدار و غیریکنواخت مدل می‌نماید. Olivei و همکاران (۲۰۱۱) به ارزیابی کاربرد مدل رایج کیفیت آب $Qual2k_w$ برای حوضه رودخانه‌های کوچک و پاسخ رودخانه Certima پرتغال به بارگذاری‌های متفاوت نیتروژن و فسفر با کمک این مدل پرداخته است. نتایج شبیه‌سازی نشان داد برای کاهش واقعی آلودگی‌های حاصل از بارگذاری نیتروژن و فسفر به ترتیب ۵ و ۱۰ دوره لازم است تا کلاس این رودخانه از یوتروفیک به مزوفیک تغییر کند(۳). Cristea و Burges (۲۰۱۰) از مدل $Qual2k_w$ به منظور شبیه‌سازی حداقل و حداکثر دمای آب، در سه رودخانه کشور آمریکا استفاده کردند. هدف اصلی از این شبیه‌سازی، بررسی اثر پوشش‌گیاهی اطراف رودخانه بر دمای آب، طی چند دهه آینده بوده و پس از بررسی سناریوهای مختلف، پیشنهاد به افزایش پوشش‌گیاهی در امتداد رودخانه به منظور حفظ حیات آب‌زیان دادند(۴). قاضی میرسعید (۱۳۹۰) داده‌های جمع‌آوری شده از ۱۰ ایستگاه نمونه‌برداری رودخانه جاجرود در بالادست سد لتیان را توسط دو مدل $Qual2k_w$ و Aquatox مدل‌سازی کیفی نمود. با وجود کم بودن دامنه تغییرات پارامترها، خروجی‌های دو مدل هماهنگی بسیار بالایی را نشان دادند. نتایج نشان داد که در مجاورت مراکز جمعیتی کیفیت آب رودخانه کاهش می‌یابد، ولی به‌علت توان بالای پالایش طبیعی رودخانه، آب ورودی به مخزن دارای کیفیت خوبی می‌باشد(۵). میری (۱۳۸۸) پتانسیل پذیرش بار آلودگی رودخانه قره‌آغاج را با نمونه‌گیری در چهارفصل سال بررسی کرده است. بدین منظور ظرفیت خودپالایی رودخانه و میزان تغییرات اکسیژن‌خواهی زیست شیمیایی، اکسیژن محلول، توسط نرم افزار $QUAL2K_W$ تعیین شد. پس از آنالیز و بررسی مدل مشخص گردید میزان اکسیژن محلول در اسفند ماه بیش‌تر از شهریور بوده و با توجه به مدل، نتایج واقعی در حد استاندارد است که نشان دهنده توان مناسب خودپالایی رودخانه می‌باشد(۶). هدف از این تحقیق شبیه‌سازی تغییرات پارامترهای کیفی آب رودخانه کارون با کمک مدل $Qual2k_w$ و تحلیل خودپالایی رودخانه در بازه زرگان تا کوت امیر می باشد. همچنین قابل ذکراست که تا کنون تحقیقی با استفاده از این مدل در رودخانه کارون صورت نگرفته است، لذا نتایج این بررسی می‌تواند در تدوین برنامه کنترل بارگذاری مواد آلاینده (TMDL) برای رودخانه کارون و کاربری های مشابه در سازمان‌های مربوط به‌کار گرفته شود.

روش بررسی

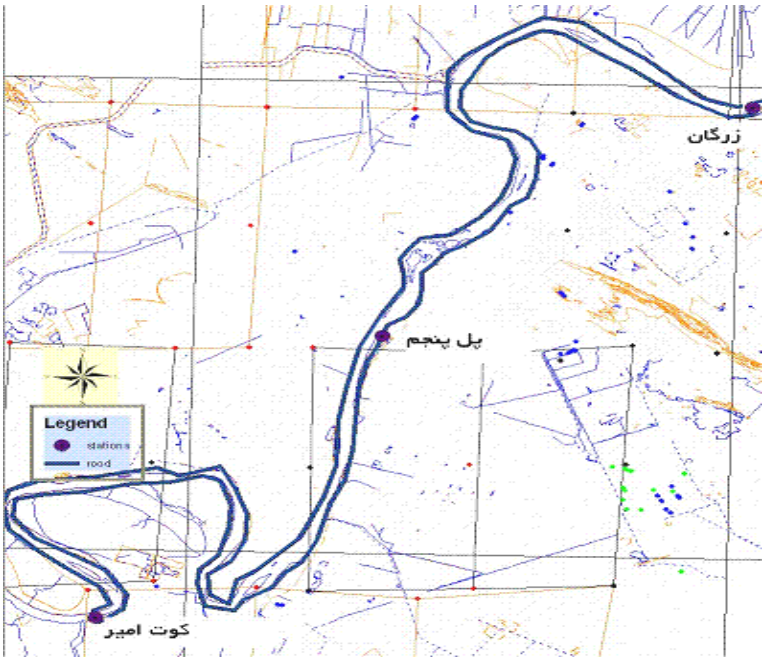
در این تحقیق خودپالایی رودخانه کارون با به‌کارگیری مدل $Qual2k_w$ در نسخه ۵/۱ آن بررسی شده است، از مزیت‌های این نسخه از مدل، کالیبراسیون خودکار آن به کمک الگوریتم ژنتیکی می‌باشد که ترکیبی بهینه از ضرایب و نرخ‌های سینتیک و بیولوژیک را به گونه‌ای می‌یابد که مقادیر شبیه‌سازی بیش‌ترین نزدیکی را با مقادیر مشاهده‌ای داشته باشد(۷). این مدل، ۱۹ پارامتر کیفی آب را در حالت جریان پایدار و

1- Self-purification, Assimilation
2- Rarefaction
3- Sedimentation
4- Re-Composition

غیریکنواخت مدل می‌کند و اثر بارگذاری را به دو صورت نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای منظور می‌نماید.

منطقه مورد مطالعه

به لحاظ این‌که شهر اهواز آلاینده‌ترین عامل در کل حوضه آب‌ریز رودخانه‌های کارون و دز به واسطه تجمع صنایع کانونی است (۸)، محدوده مطالعاتی از ابتدای ورود رود به شهر اهواز در منطقه زرگان به طول‌جغرافیایی ۳۳ ´۴۵ °۴۸ ، عرض ۳۳ ´۲۲ °۳۱ و ارتفاع متوسط ۱۸ متر از سطح دریا تا محل خروج رود از شهر اهواز واقع در منطقه کوت‌امیر به عرض‌جغرافیایی ۵۴ ´۳۳ °۳۱، طول ۱۷ ´۳۶ °۴۸ و به ارتفاع متوسط ۱۳ متر، یعنی حدود ۴۲ کیلومتر از طول رودخانه مورد بررسی کیفی قرار گرفت. براساس مطالعات مقدماتی، تعیین محل برداشت آب و دفع فاضلاب به رودخانه کارون از داده‌های موجود، شامل سه ایستگاه (زرگان، پل‌پنجم و کوت‌امیر) سازمان آب و برق خوزستان که با روش‌های استاندارد در هر ایستگاه اندازه‌گیری شده‌اند، بهره گرفته شد. شکل ۱ موقعیت این ایستگاه‌ها را بر رودخانه کارون نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌ها در رودخانه کارون

Figure 1-Location of stations on the Karun River

کمبود آب شیرین از یک‌سو و تخلیه آلاینده‌های مختلف به آب‌ها از سوی دیگر از مهم‌ترین مشکلات جهان و به‌ویژه ایران است. رودخانه کارون در مسیر جریان خود محل ورود و تخلیه فاضلاب‌های خانگی، پساب‌های صنعتی و زه‌آب‌های کشاورزی بسیار زیادی است و به همین دلیل کیفیت آب آن مرتباً دست‌خوش تغییرات شدیدی می‌باشد و باعث مرگ تدریجی اکوسیستم کارون شده است (۱). لذا توجه به نقش و توان خودپالایی رودخانه کارون به دلیل حجم زیاد تخلیه فاضلاب شهری در محدوده کلان شهر اهواز به‌عنوان مرکز استان خوزستان اهمیت ویژه‌ای دارد. فرایند خودپالایی [1] تأثیر تلفیقی ترقیق [2] ، ته نشینی [3] ، جذب و تجزیه زیستی [4] است که منجر به بهبود کیفیت آب رودخانه می‌گردد (۲). مدل‌سازی کیفی رودخانه یکی از ابزارهای کم هزینه و مهم در بررسی مشکلات و

1- Self-purification, Assimilation
2- Rarefaction
3- Sedimentation
4- Re-Composition

راه‌حل‌ها در جهت بهبود وضعیت کیفی رودخانه می‌باشد. مدل $Qual2k_w$ یک مدل یک بعدی است و متغیرهای کیفی آب را در حالت جریان پایدار و غیریکنواخت مدل می‌نماید. Olivei و همکاران (۲۰۱۱) به ارزیابی کاربرد مدل رایج کیفیت آب $Qual2k_w$ برای حوضه رودخانه‌های کوچک و پاسخ رودخانه Certima پرتغال به بارگذاری‌های متفاوت نیتروژن و فسفر با کمک این مدل پرداخته است. نتایج شبیه‌سازی نشان داد برای کاهش واقعی آلودگی‌های حاصل از بارگذاری نیتروژن و فسفر به ترتیب ۵ و ۱۰ دوره لازم است تا کلاس این رودخانه از یوتروفیک به مزوفیک تغییر کند(۳). Cristea و Burges (۲۰۱۰) از مدل $Qual2k_w$ به منظور شبیه‌سازی حداقل و حداکثر دمای آب، در سه رودخانه کشور آمریکا استفاده کردند. هدف اصلی از این شبیه‌سازی، بررسی اثر پوشش‌گیاهی اطراف رودخانه بر دمای آب، طی چند دهه آینده بوده و پس از بررسی سناریوهای مختلف، پیشنهاد به افزایش پوشش‌گیاهی در امتداد رودخانه به منظور حفظ حیات آب‌زیان دادند(۴). قاضی میرسعید (۱۳۹۰) داده‌های جمع‌آوری شده از ۱۰ ایستگاه نمونه‌برداری رودخانه جاجرود در بالادست سد لتیان را توسط دو مدل $Qual2k_w$ و Aquatox مدل‌سازی کیفی نمود. با وجود کم بودن دامنه تغییرات پارامترها، خروجی‌های دو مدل هماهنگی بسیار بالایی را نشان دادند. نتایج نشان داد که در مجاورت مراکز جمعیتی کیفیت آب رودخانه کاهش می‌یابد، ولی به‌علت توان بالای پالایش طبیعی رودخانه، آب ورودی به مخزن دارای کیفیت خوبی می‌باشد(۵). میری (۱۳۸۸) پتانسیل پذیرش بار آلودگی رودخانه قره‌آغاج را با نمونه‌گیری در چهارفصل سال بررسی کرده است. بدین منظور ظرفیت خودپالایی رودخانه و میزان تغییرات اکسیژن‌خواهی زیست شیمیایی، اکسیژن محلول، توسط نرم افزار $QUAL2K_W$ تعیین شد. پس از آنالیز و بررسی مدل مشخص گردید میزان اکسیژن محلول در اسفند ماه بیش‌تر از شهریور بوده و با توجه به مدل، نتایج واقعی در حد استاندارد است که نشان دهنده توان مناسب خودپالایی رودخانه می‌باشد(۶). هدف از این تحقیق شبیه‌سازی تغییرات پارامترهای کیفی آب رودخانه کارون با کمک مدل $Qual2k_w$ و تحلیل خودپالایی رودخانه در بازه زرگان تا کوت امیر می باشد. همچنین قابل ذکراست که تا کنون تحقیقی با استفاده از این مدل در رودخانه کارون صورت نگرفته است، لذا نتایج این بررسی می‌تواند در تدوین برنامه کنترل بارگذاری مواد آلاینده (TMDL) برای رودخانه کارون و کاربری های مشابه در سازمان‌های مربوط به‌کار گرفته شود.

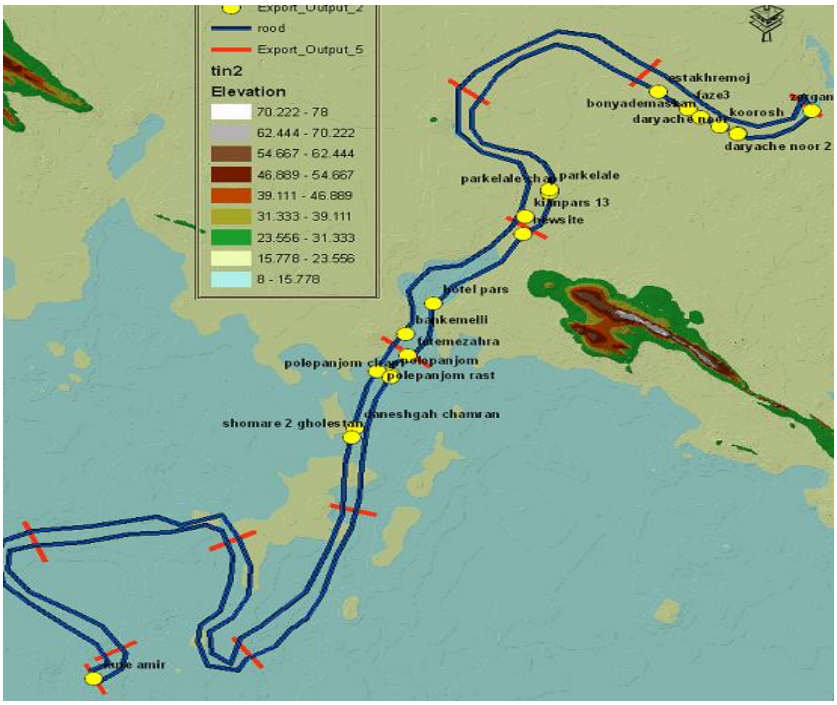
روش بررسی

در این تحقیق خودپالایی رودخانه کارون با به‌کارگیری مدل $Qual2k_w$ در نسخه ۵/۱ آن بررسی شده است، از مزیت‌های این نسخه از مدل، کالیبراسیون خودکار آن به کمک الگوریتم ژنتیکی می‌باشد که ترکیبی بهینه از ضرایب و نرخ‌های سینتیک و بیولوژیک را به گونه‌ای می‌یابد که مقادیر شبیه‌سازی بیش‌ترین نزدیکی را با مقادیر مشاهده‌ای داشته باشد(۷). این مدل، ۱۹ پارامتر کیفی آب را در حالت جریان پایدار و غیریکنواخت مدل می‌کند و اثر بارگذاری را به دو صورت نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای منظور می‌نماید.

منطقه مورد مطالعه

به لحاظ این‌که شهر اهواز آلاینده‌ترین عامل در کل حوضه آب‌ریز رودخانه‌های کارون و دز به واسطه تجمع صنایع کانونی است (۸)، محدوده مطالعاتی از ابتدای ورود رود به شهر اهواز در منطقه زرگان به طول‌جغرافیایی ۳۳ ´۴۵ °۴۸ ، عرض ۳۳ ´۲۲ °۳۱ و ارتفاع متوسط ۱۸ متر از سطح دریا تا محل خروج رود از شهر اهواز واقع در منطقه کوت‌امیر به عرض‌جغرافیایی ۵۴ ´۳۳ °۳۱، طول ۱۷ ´۳۶ °۴۸ و به ارتفاع متوسط ۱۳ متر، یعنی حدود ۴۲ کیلومتر از طول رودخانه مورد بررسی کیفی قرار گرفت. براساس مطالعات مقدماتی، تعیین محل برداشت آب و دفع فاضلاب به رودخانه کارون از داده‌های موجود، شامل سه ایستگاه (زرگان، پل‌پنجم و کوت‌امیر) سازمان آب و برق خوزستان که با روش‌های استاندارد در هر ایستگاه اندازه‌گیری شده‌اند، بهره گرفته شد. شکل ۱ موقعیت این ایستگاه‌ها را بر رودخانه کارون نشان می‌دهد.

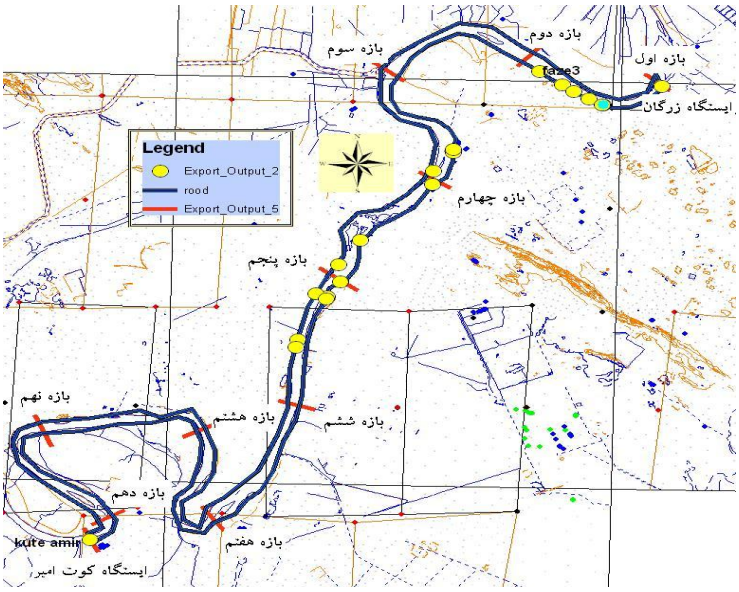
منابع آلاینده وارد شده در مدل، منابع نقطه‌ای بوده زیرا در بازه مطالعاتی بیش‌ترین اثر مربوط به منابع نقطه‌ای حاصل از تخلیه فاضلاب‌های شهری و روستایی به رودخانه می‌باشد که داده‌های مربوط به آن از بخش آزمایشگاه سازمان آب و برق اهواز جمع‌آوری گردیده است. شکل ۲ موقعیت منابع نقطه‌ای ورودی به رودخانه کارون را نشان می‌دهد.



شکل ۲- موقعیت منابع نقطه‌ای ورودی به رودخانه کارون

Figure 2-Location of point sources of input to the Karun River

در مدل‌سازی، مسیر رودخانه به ۱۰ بازه تقسیم‌بندی شد که شکل ۳ موقعیت بازه‌ها را بر رودخانه کارون نشان می‌دهد.



شکل ۳- موقعیت بازه‌های تعیین شده برای اجرای مدل

Figure 3- position specified reachs to run the model

روش

در این تحقیق شبیه‌سازی کیفیت آب رودخانه کارون با مدل $QUAL2k_w$ در سال ۱۳۸۷ (به‌دلیل وجود خشکسالی) انجام یافته است. به جهت این‌که کیفیت آب رودخانه تحت تاثیر دبی و درجه حرارت می‌باشد، برای تعیین ماه بحرانی با تحلیل دبی در شرایط کم آبی در ۲۰ سال آماری در ایستگاه اهواز، ماه مرداد به عنوان ماه کم‌آبی انتخاب گردید. لذا شبیه‌سازی در ماه مرداد برای ۳۰ روز انجام و با میزان پارامترهای کیفی ماه شهریور همین سال مقایسه گردید. همچنین به دلیل اینکه «پیش از فرا رسیدن شرایط جریان کم که ضرایب سینتیکی اهمیت بیش‌تری پیدا می‌کنند، مدل به دقت واسنجی نمی‌شود» (۲). بنابراین مدل در ماه مرداد با استفاده از الگوریتم ژنتیکی تعبیه شده در آن کالیبره (واسنجی) گردید و ضرایب آن در شبیه‌سازی ماه دی به‌کار گرفته شد تا اعتبارسنجی مدل مشخص گردد. در این ماه نیز شبیه‌سازی برای ۳۰ روز انجام و با میزان پارامترهای کیفی ماه بهمن مقایسه گردید. معادله اصلی که مدل مذکور به حل عددی آن می‌پردازد، معادله جابه‌جایی/ پخش یک بعدی است که طی رابطه ۱ آمده است (۹و۷).

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial (AD_L \frac{\partial c}{\partial x})}{A\partial x} - \frac{\partial (Auc)}{A\partial x} + \frac{dc}{dt} + \frac{S}{V} \quad (۱)$$

C: غلظت ماده آلاینده (میلی‌گرم / لیتر)، A: سطح مقطع المان یا بازه[1] عمود برجریان (مترمکعب)، t: زمان (ثانیه)، D_L: ضریب پراکندگی (مترمکعب برثانیه)، x: طول رودخانه (متر)، u: سرعت متوسط جریان (متر/ثانیه)، S: منبع[2] خارجی (میلی‌گرم)، V: حجم المان

پارامترهای هیدرولیکی ورودی مدل شیب کانال در هر بازه، مقدار پارامتر ثابت مانینگ و عرض کف رود بوده است. عرض کف رودخانه[3] با رسم پروفیل هر بازه توسط نرم افزار GIS و براساس براساس سطح مقطع هر بازه محاسبه شد. شیب کانال براساس اختلاف ارتفاع ابتدا و انتهای بازه تقسیم بر طول بازه محاسبه گردید. ضریب زبری رودخانه کارون به میزان ۰/۰۲۸ در نظر گرفته شد (۱۰). مشخصات هواشناسی روزهای مورد بررسی در مدل شامل: سرعت باد، نقطه شبنم، درصد ابرناکی، انرژی تابشی خورشید، دمای هوا طی ۲۴ ساعت از داده‌های سایت بین‌المللی هواشناسی گرفته شده است (۱۱). دراین تحقیق مشخصات کالیبراسیون مدل شامل پارامترهای DO, BOD, NO_3 مطابق جدول ۱ انتخاب شده است (۱۲). همچنین مقادیر BOD_U با استفاده از رابطه ۲ به‌دست آمد و وارد مدل گردید (۱۳ و ۷).

$$(BOD_5)1/5 = BOD_U \quad (۲)$$

جدول ۱- مشخصات اتوکالیبرسیون در اجرای مدل (۱۲)

Table 1- details the implementation of the model calibration (12)

تعداد نسل	۱۰۰
تعداد جمعیت	۵۰
نوع عملگر تقاطع	دو نقطه‌ای
وضعیت جایگزینی نسل جدید	جانشینی کامل
وضعیت نخبه‌گرایی[4]	اعمال شده
نوع عملگر جهش	جهش ثابت
شماره ترکیب	۲

برای مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده مدل در مقابل مقادیر اندازه‌گیری شده از روش استاندارد رگرسیون خطی، برای محاسبه مربع ضریب همبستگی R^2 و خطای استاندارد برآوردها که نشان‌دهنده اختلاف بین داده‌های مشاهداتی و نتایج مدل می‌باشند، استفاده شد (۲). برای آزمون معنی‌دار بودن داده‌های محاسباتی و مشاهداتی از روش‌های آزمون تحلیل واریانس میانگین F و آزمون t استفاده گردید.

1- Reach
2- Source
3- Bot Width
4- Elitism

نتایج و بحث

نتایج شبیه‌سازی شده‌ی پارامترهای EC, DO, BOD, pH, TSS, NO_3و دما توسط مدل در ماه مرداد و دی ۱۳۸۷ رودخانه کارون در شکل‌های ۴ تا ۱۷ آورده شده است.

همچنین جدول ۲ ضرایب سینتیکی به‌کار گرفته شده در مدل را نشان می‌دهد.

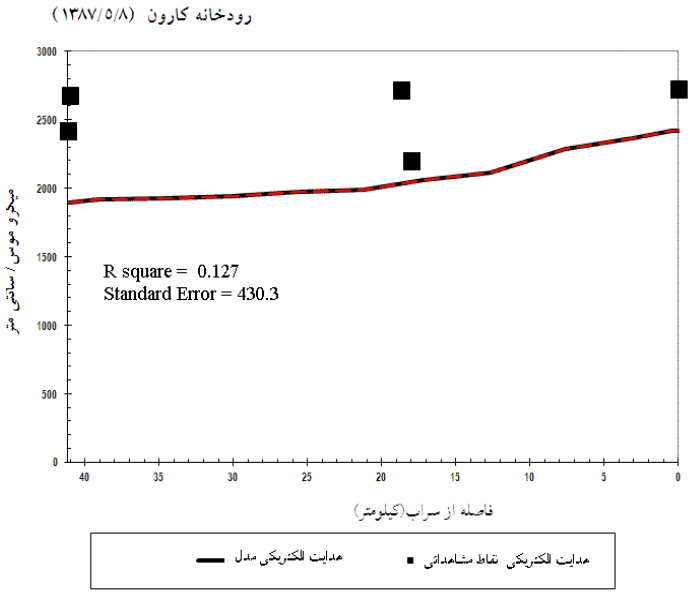
جدول ۲- ضرایب سینتیکی مورد استفاده در مدل

Table 2- The coefficients used in the model

پارامتر	مقدار	واحد	علامت
استوکیومتری:			
کربن	۴۰	gC	gC
نیتروژن	۷/۲	gN	gN
فسفر	۱	gP	gP
Dry Weight	۱۰۰	gD	gD
کلروفیل	۱	gA	gA
مواد معلق غیر آلی:			
سرعت ته نشینی	۰/۵۸۴۵۳	m/d	v_i
اکسیژن:			
مدل بازدمش	O'Connor-Dobbins		
Temp Correction	۱/۰۲۴		θ_a
اکسیژن برای اکسیداسیون کربن	۲/۶۹	gO_2/gC	r_{oc}
اکسیژن برای نیتروفیکشن آمونیاک	۴/۵۷	gO_2/gN	r_{on}
BOD_{slow}			
نرخ هیدرولیز	۰/۲۷۹۸۵	/d	k_{hc}
Temp Correction	۱/۰۴۷		θ_{hc}
نرخ اکسیداسیون	۰/۱۰۵۴۹	/d	k_{dcs}
BOD_{fast}			
نرخ اکسیداسیون	۰/۲۰۵۷۵	/d	k_{dc}
Temp Correction	۱/۰۴۷		θ_{dc}
نیترات:			
دنیتریفیکشن	۱/۷۹۰۹۲	/d	k_{dn}
Temp Correction	۱/۰۷		θ_{dn}
انتقال دنیترفیکشن بستر	۰/۸۳۴۹۱	m/d	v_{di}
pH:			
Partial Pressure of Carbon dioxide	۳۴۷	ppm	p_{CO2}

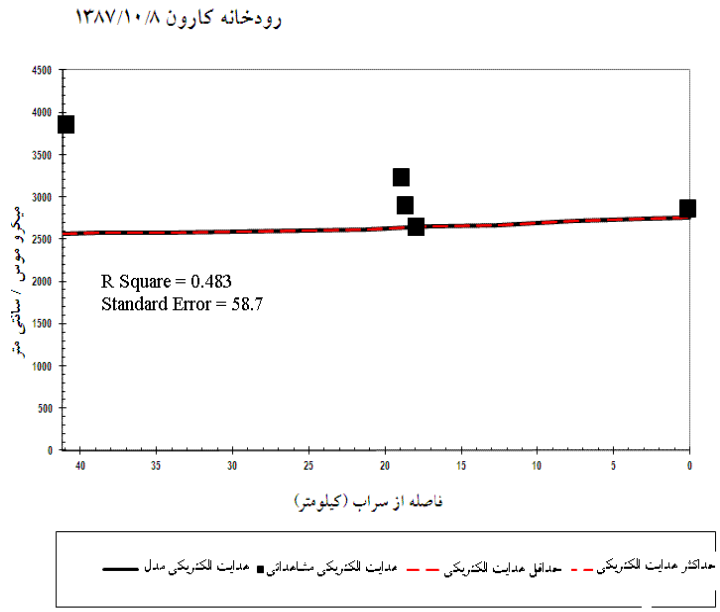
شکل ۴ تغییرات هدایت الکتریکی (EC) شبیه‌سازی شده توسط مدل را در بازه مطالعاتی رودخانه در ماه مرداد نشان می‌دهد. در سراب رودخانه مقدار EC اندازه‌گیری شده با میزان پیش‌بینی مدل هم‌خوانی دارد. در کیلومتر ۱۸محدوده مطالعاتی

مقادیر مشاهداتی نسبت به مقادیر پیش‌بینی شده افزایش نشان می‌دهد که مربوط به تخلیه فاضلاب‌های مرکز شهر اهواز در محدوده پل‌پنجم می‌باشد که باعث افزایش ناگهانی EC در این بازه شده است. در ایستگاه انتهایی به علت کاهش فاضلاب‌های ورودی و خودپالایی آب میزان این پارامتر طبق پیش بینی مدل کاهش یافته است که در نمونه‌گیری‌های انجام یافته این امر به علت اثر منابع غیرنقطه‌ای تا حدودی نامشخص است. نتایج آزمون تجزیه واریانس (F) بین مقادیر مدل و نقاط مشاهداتی نشان از نابرابری واریانس‌ها در این ماه داشت و همچنین نتایج آزمون t با واریانس‌های نابرابر بین مقادیر ذکر شده در سطح ۰/۰۵ تفاوت معنی‌داری برای این پارامتر نشان می‌دهد. شکل ۵ تغییرات EC را در ماه دی در طول بازه نشان می‌دهد. در ماه‌های خنک سال اگرچه میزان تبخیر و اثر کاهش حجم دبی کمتر است اما اثر منابع غیرنقطه‌ای که حاصل شست‌شوی زمین‌های اطراف رودخانه می‌باشد، بیش‌تر است. به همین جهت در ماه دی میزان تغییرات این پارامتر طبق پیش‌بینی‌های مدل کاهش چشم‌گیری را نشان نمی‌دهد. در ایستگاه زرگان (سراب) نتایج نمونه‌گیری و نتایج مدل هم‌خوانی خوبی دارد، در ایستگاه انتهایی افزایش مقدار EC اندازه‌گیری شده به سبب تاثیر نزدیکی مناطق کشاورزی و شست‌شو زمین‌های آن در این منطقه می‌باشد. نوشادی در شبیه‌سازی رودخانه کر در ماه دی و مرداد همین مطلب را برای این پارامتر عنوان نموده است و بیان می‌دارد آلودگی‌های ناشی از رواناب به عنوان یک منبع غیرمتمرکز آلودگی هستند و مدل‌ها به سختی می توانند آن را پیش‌بینی کنند (۱۴). نتایج تحلیل واریانس در سطح ۰/۰۵ نشان می‌دهد که واریانس نقاط مشاهداتی و نتایج مدل در ماه دی با هم برابر نمی‌باشند و آزمون t در سطح ۰/۰۵ و ۰/۰۱ اختلاف معنی‌داری را بین این نقاط نشان نداد. در مجموع با مقایسه مقادیر R^2 و خطای استاندارد برآوردها در دو ماه، شبیه‌سازی در ماه دی نسبت به ماه مرداد بهتر صورت گرفته است.



شکل۴- تغییرات EC اندازه گیری و شبیه سازی شده، ماه مرداد ۱۳۸۷

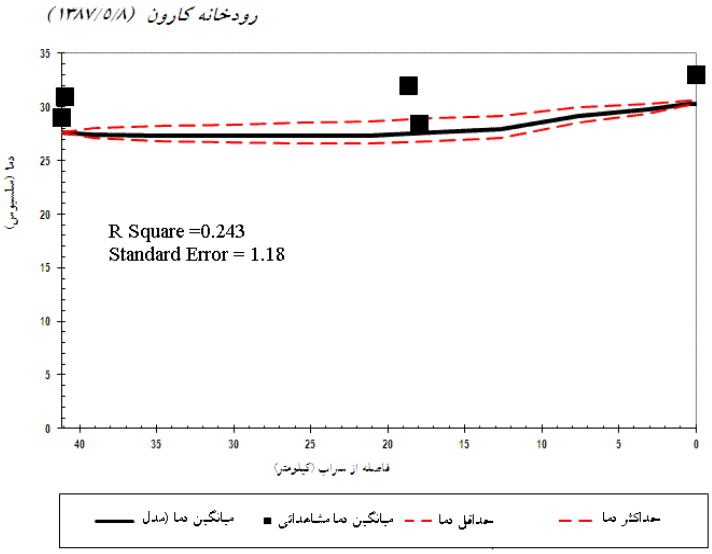
Figure 4- changes measured and simulated EC, August of 2008



شکل۵- تغییرات EC اندازه گیری و شبیه سازی شده، ماه دی ۱۳۸۷

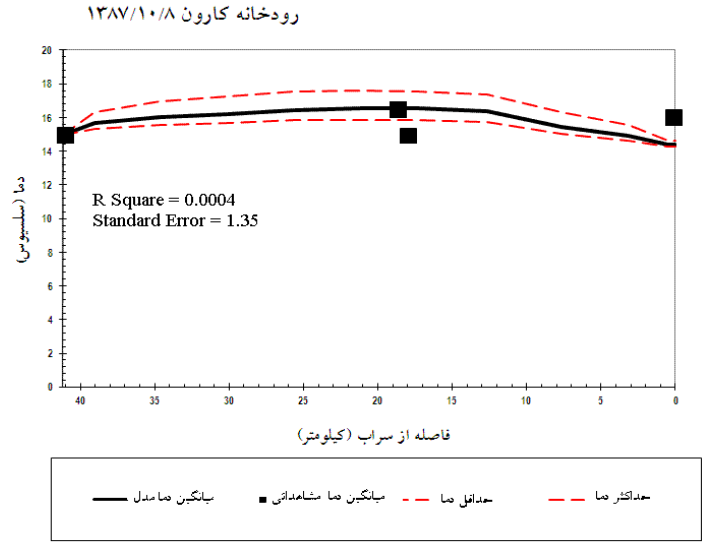
Figure 5- changes measured and simulated EC, January of 2009

شکل۶ تغییرات دما آب رودخانه کارون را در بازه مطالعاتی درماه مرداد نشان می‌دهد، همان‌طور که از شکل پیداست مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده هم‌خوانی خوبی دارند که به معنی شبیه‌سازی خوب مدل برای این پارامتر در این ماه است. به نظر می‌رسد افزایش دما در سراب نسبت به پایاب به علت وجود نیروگاه زرگان قبل این منطقه باشد که از آب این رودخانه استفاده نموده و پساب حاصل از آن باعث افزایش حرارت آب گردیده است. آزمون F واریانس‌های برابر را بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده توسط مدل نشان می‌دهد، همچنین آزمون t در سطح ۰/۰۵ تفاوت معنی‌داری را در بین این مقادیر نشان داد. شکل ۷ تغییرات دما را در ماه دی توسط مدل نشان می‌دهد. دمای آب به طور طبیعی در این ماه کاهش چشم‌گیری می‌یابد، مقادیر منحنی شبیه‌سازی شده به‌علت اثر تخلیه فاضلاب‌های شهری با دبی زیاد، تقریبا در کیلومتر ۲۰ افزایش یافته است. آزمون تجزیه واریانس بین مقادیر مشاهداتی و مقادیر پیش‌بینی مدل ماه دی، واریانس‌های نابرابر را مشخص نمود. آزمون t با واریانس‌های نابرابر تفاوت معنی‌داری را در سطح ۰/۰۵ و ۰/۰۱ نشان نداد. به طور کلی با توجه به R^2 و خطای استاندارد شبیه‌سازی در ماه مرداد نسبت به ماه دی بهتر انجام یافته است.



شکل۶- تغییرات دمای اندازه گیری و شبیه سازی شده ماه مرداد۱۳۸۷

Figure 6- changes measured and simulated Temperature, August of 2008

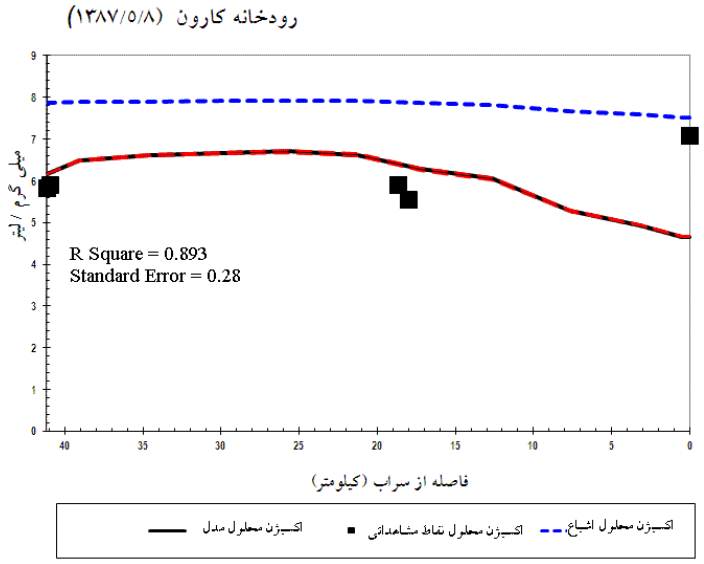


شکل۷- تغییرات دمای اندازه گیری و شبیه سازی شده ماه دی ۱۳۸۷

Figure 7- changes measured and simulated Temperature, January of 2009

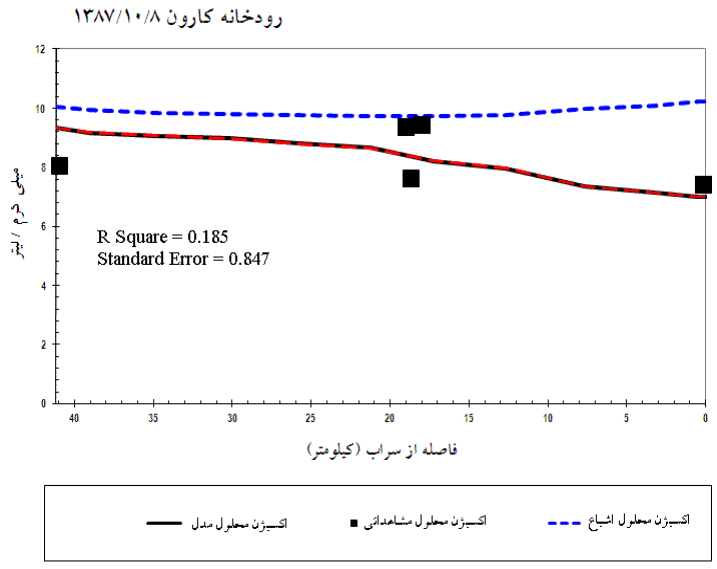
شکل‌های ۸ و ۹ میزان اکسیژن محلول پیش بینی‌شده توسط مدل، اکسیژن محلول اشباع و مقادیر اندازه‌گیری شده را به ترتیب در ماه مرداد و دی در رودخانه نشان می‌دهد. میزان اکسیژن محلول در رودخانه‌ها به عوامل متعددی ازجمله دمای آب، میزان هوادهی مجدد، بارآلی موجود و یا ورودی به رودخانه بستگی دارد. همان‌طور که درشکل ۸ مشاهده می‌گردد، میزان اکسیژن شبیه‌سازی شده در ایستگاه اول (زرگان) کم‌تر از واقعیت است، در حالی که مقادیر اندازه‌گیری شده، آن را نزدیک به خط اشباع نشان می‌دهد. این امر به علت عدم اطلاعات کافی از میزان هواگیری مجدد آب در طول رودخانه می‌باشد. اما در ایستگاه انتهایی (کوت‌امیر) مقادیر مشاهداتی نزدیک به مقادیر پیش‌بینی شده است. این مطلب با نتایج جعفرزاده هماهنگی دارد، ایشان نتیجه گرفته‌اند که اکسیژن محلول تا حد پیش‌بینی شده در مدل برای رودخانه کارون

کاهش نمی‌یابد و علت آن را می توان به تولید اکسیژن توسط فرایند فتوسنتز جلبکی نسبت داد (۱۵). همان‌طور که شکل ۹ نشان می‌دهد، مقادیر اکسیژن محلول در ماه دی نسبت به ماه مرداد بیش‌تر می‌باشد، به طوری که در ایستگاه دوم (پل پنجم) این پارامتر به خط اکسیژن محلول اشباع می‌رسد، زیرا با افزایش بارندگی، کاهش درجه حرارت و افزایش تلاطم در سطح آب رودخانه میزان اکسیژن حل‌شده در آب نیز افزایش می‌یابد. این امر در سایر مطالعات رودخانه های کشور نیز توسط محققان از جمله میری و قاضی میر سعید قابل مشاهده بوده است(۵ و ۶). آزمون تجزیه واریانس نشان‌دهنده نابرابری واریانس‌های نقاط مشاهداتی و مقادیر مدل در هر دو ماه بود و آزمون t با واریانس‌های نابرابر بین مقادیر مشاهده شده و مقادیر مدل تفاوت معنی‌داری در هر دو ماه را در سطح ۰/۰۵ و ۰/۰۱ نشان نداد. با توجه به مقادیر R^2 و خطای استاندارد شبیه‌سازی این پارامتر در ماه مرداد بهتر از ماه دی بوده است.



شکل ۸- تغییرات DO اندازه گیری و شبیه سازی شده ماه مرداد ۱۳۸۷

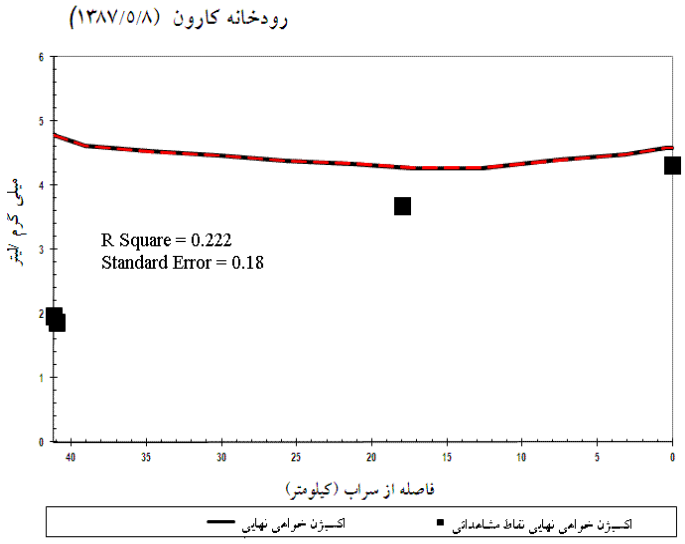
Figure 8- changes measured and simulated DO, August of 2008



شکل۹- تغییرات DO اندازه گیری و شبیه سازی شده ماه دی ۱۳۸۷

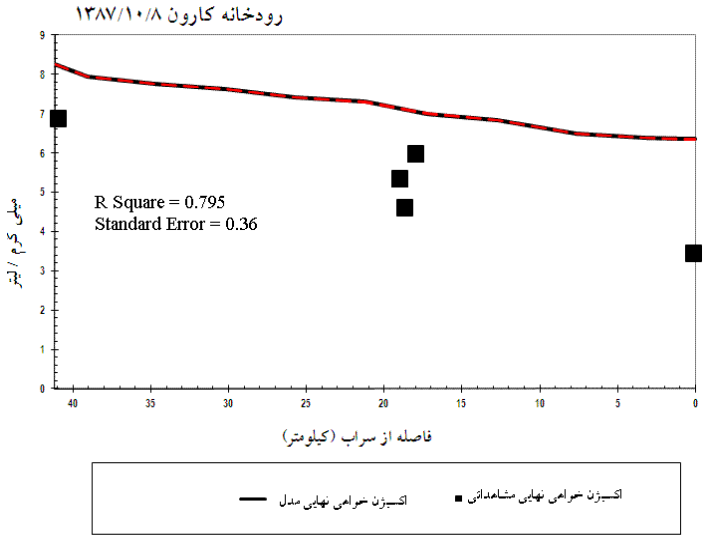
Figure 9- changes measured and simulated DO, January of 2009

شکل ۱۰ تغییرات اکسیژن‌خواهی نهایی (BOD_u) را در ماه مرداد در بازه مطالعاتی نشان می‌دهد. مقادیر BOD_u اندازه‌گیری شده در ماه مرداد به علت نفوذ فاضلاب‌های شهری و روستایی و ورود آب‌مازاد کشاورزی دارای نوساناتی بین ۱/۹ - ۴/۹ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. مقدار BOD_u موجود در ایستگاه اول به‌دلیل ورود رواناب‌های کشاورزی بوده که در ادامه مسیر مقدار آن کاهش می‌یابد تا با ورود فاضلاب‌های متعدد درکیلومتر ۱۸-۱۹ بازه مطالعاتی مانند فاضلاب خروجی روبه‌روی بیمارستان فاطمه الزهرا و فاضلاب خروجی بیمارستان گلستان۲ دوباره افزایش می‌یابد. اختلاف بین نتایج آزمایشگاهی و نتایج مدل را در ایستگاه آخرکوت‌امیر می‌توان به‌علت تفاوت زمان نمونه‌برداری از آب رودخانه با نمونه‌برداری از منابع آلاینده دانست. شکل ۱۱ میزان تغییرات BOD_u را در ماه دی نشان می‌دهد. میزان این پارامتر در این ماه به علت افزایش رواناب‌ها و مواد آلی حاصل از شست‌شوی مزارع نسبت به ماه مرداد افزایش یافته است. از طرفی تخلیه متعدد فاضلاب‌های شهری و روستایی و صنعتی به صورت روزانه مزید برعلت شده است، به طوری که مقادیر اندازه‌گیری شده در این بازه دارای نوساناتی از ۳/۳ تا ۶/۸ می‌باشد. مهردادی و همکاران در ارزیابی پتانسیل خودپالایی رودخانه تجن با استفاده از مدل Qual-2E نیز بیان داشته‌اند که میزان BOD و COD در نیمه‌دوم هر سال بیش‌تر از نیمه‌اول آن است (۱۶). مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل در ایستگاه ابتدایی کمی بیش از واقعیت برآورد گردیده است، اما در ادامه تا حدودی هم‌خوانی بین مقادیر پیش‌بینی شده مدل و مقادیر اندازه‌گیری شده دیده می‌شود. به‌طوری که مقدار این پارامتر از سراب به پایاب درهر دو در حال افزایش است. این مطلب مشابه نتایج مطالعه جعفرزاده بر رودخانه کارون با مدلQual-2E می‌باشد. ایشان نیز مقادیر COD اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های مشابه را بیش‌تر از مقادیر به‌دست آمده از مدل یافتند (۱۵). آزمون تجزیه واریانس بین مقادیر مشاهداتی و مدل نشان‌دهنده نابرابری واریانس‌ها در ماه مرداد و برابری آن در ماه دی بود وآزمون t در هر دو ماه برای این دو مقادیر در سطح ۰/۰۵ تفاوت معنی‌داری را نشان می‌دهد. در کل با توجه به R^2 و خطای استاندارد شبیه‌سازی در مرداد ماه بهتر از ماه دی صورت گرفته است.



شکل۱۰- تغییرات BOD اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده، ماه مرداد ۱۳۸۷

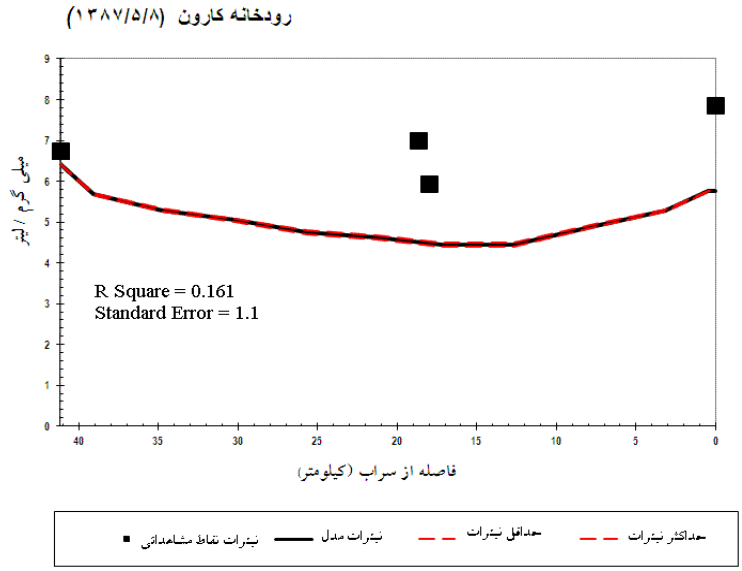
Figure 10- changes measured and simulated BOD, August of 2008



شکل۱۱- تغییرات BOD اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده، ماه دی۱۳۸۷

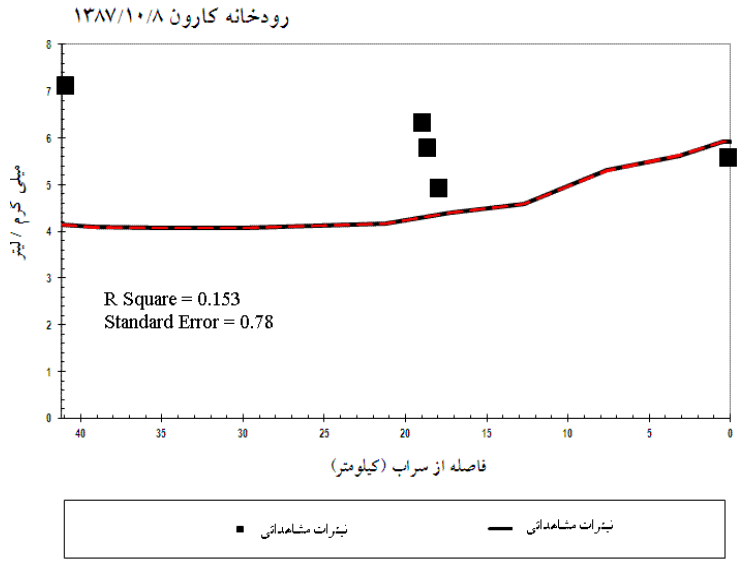
Figure 11- changes measured and simulated BOD, January of 2009

شکل ۱۲ تغییرات مقادیر نیترات را در بازه مطالعاتی در ماه مرداد نشان می‌دهد. در ایستگاه اول زرگان و ایستگاه آخر کوت‌امیر نزدیکی به مزارع و شست‌شوی کودهای شیمیایی این زمین‌ها باعث افزایش قابل توجه نیترات درآب این رودخانه گردیده است که این امر در اندازه‌گیری‌های انجام یافته و نتایج مدل در این ایستگاه‌ها کاملا مشهود می‌باشد. در ایستگاه میانی پل پنجم، مقادیر اندازه‌گیری شده بیش‌تر از مقادیر مدل بوده است. میزان پالایش نیترات مربوط به فرایند دی‌نیتریفیکاسیون است که این فرآیند، در محیط‌های ساکن (مانند عمق زمین) سریع‌تر عمل کرده و به کمک باکتری‌های اکسید و آمین به تجزیه نیترات می‌پردازد (۷). به همین دلیل رودخانه‌ها دارای قدرت کم‌تری در تجزیه نیترات هستند که این امر در بررسی خودپالایی پارامتر نیترات در رودخانه سفید رود توسط عظیمی و همکاران با اجرای مدل $Qual2k_w$ نیز دیده شده است (۹). شکل ۱۳ تغییرات نیترات را در ماه دی توسط مدل نشان می‌دهد. در زمستان تاثیر رواناب‌ها که حاوی مقادیر بالای نیترات است، نسبت به فصل تابستان افزایش می‌یابد. لذا رقیق‌شدن نیترات در رودخانه براساس افزایش دبی در دی ماه مشهود نمی‌باشد. در ایستگاه اول مقادیر اندازه‌گیری شده و مدل هم‌خوانی دارند، اما در ایستگاه میانی و انتهایی به‌سبب تشدید اثر رواناب‌ها هم‌خوانی خوبی بین این مقادیر دیده نمی‌شود. آزمون تجزیه واریانس بین مقادیر اندازه‌گیری شده و مدل در ماه مرداد، واریانس‌های نابرابر و در ماه دی واریانس‌های برابر را نشان داد و آزمون t در هر دو ماه در سطح ۰/۰۵ تفاوت معنی‌داری را مشخص نمود. به‌طور کلی شبیه‌سازی نیترات توسط مدل در حد خوبی صورت نگرفته است و با توجه به R^2 و خطای استاندارد نتایج شبیه‌سازی در دی ماه بهتر از ماه مرداد بوده که عامل آن در نظر نگرفتن روان آب‌ها در دی ماه می‌باشد.



شکل۱۲- تغییرات NO_3 اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده، ماه امرداد ۱۳۸۷

Figure 12- changes measured and simulated NO_3, August of 2008

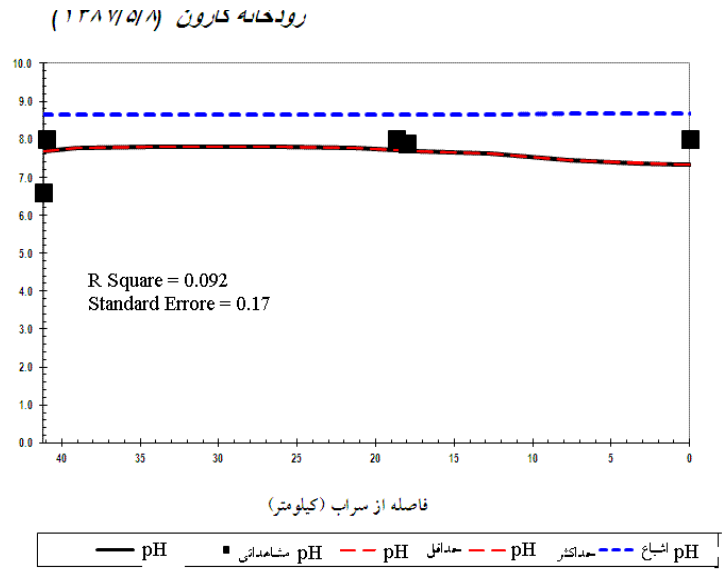


شکل۱۳- تغییرات NO_3 اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده، ماه دی۱۳۸۷

Figure 13- changes measured and simulated NO_3, January of 2009

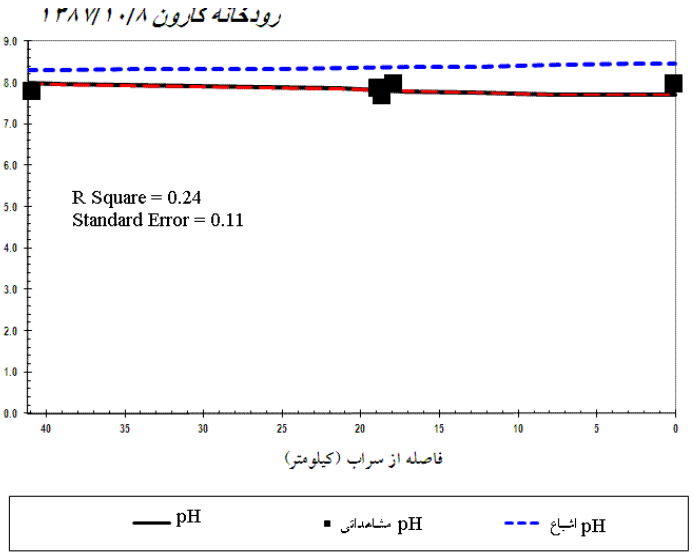
شکل‌های ۱۴و ۱۵ تغییرات pH را در طول رودخانه به ترتیب در ماه مرداد و دی نشان می‌دهد. برای تعیین میزان pH توسط مدل معادلات تعادل، موازنه جرم و الکترون خنثایی که در آن کربن غیرآلی عامل تعیین‌کننده می‌باشد، به‌کار می‌رود. همان‌طور که از اشکال پیداست مقادیر اندازه‌گیری شده و مدل در هر دو ماه هم‌خوانی خوبی با هم دارند و شبیه‌سازی در این پارامتر به‌خوبی صورت گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که مقادیر این پارامتر از یک روند یکنواخت و یکسانی در هر دو ماه تبعیت می‌نماید و همچنین آب رودخانه در هر دو ماه قلیایی می‌باشد که تخلیه زیاد فاضلاب‌های شهری و روستایی در این محدوده را می‌توان از دلایل آن برشمرد. آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه، واریانس‌های نابرابر را بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در ماه مرداد و واریانس‌های برابر را برای مقادیر

ماه دی نشان داد و آزمون t درهر دو ماه در سطح ۰/۰۵ و ۰/۰۱ تفاوت معنی‌داری را بین این مقادیر نشان نداد.



شکل۱۴- تغییرات pH اندازه گیری و شبیه سازی شده، ماه مرداد ۱۳۸۷

Figure 14- changes measured and simulated pH, August of 2008



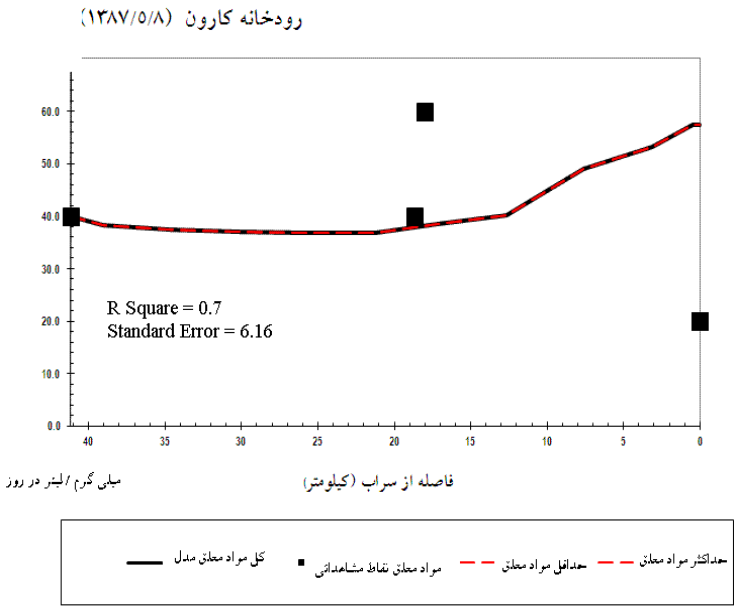
شکل۱۵- تغییرات pH اندازه گیری و شبیه سازی شده، ماه دی ۱۳۸۷

Figure 15- changes measured and simulated pH, January of 2009

با توجه به اشکال مشاهده می‌شود که میزان pH در طول رودخانه در اکثر مواقع بیش از ۷ بوده و حالت بازی دارد که این امر به‌علت وجود یون‌های بی‌کربنات و عدم تخلیه پساب‌های صنعتی اسیدی به داخل رودخانه می‌باشد. در مجموع با توجه به R^2 و خطای استاندارد نتایج شبیه‌سازی شده در ماه دی نسبت به ماه مرداد بهتر بوده است.

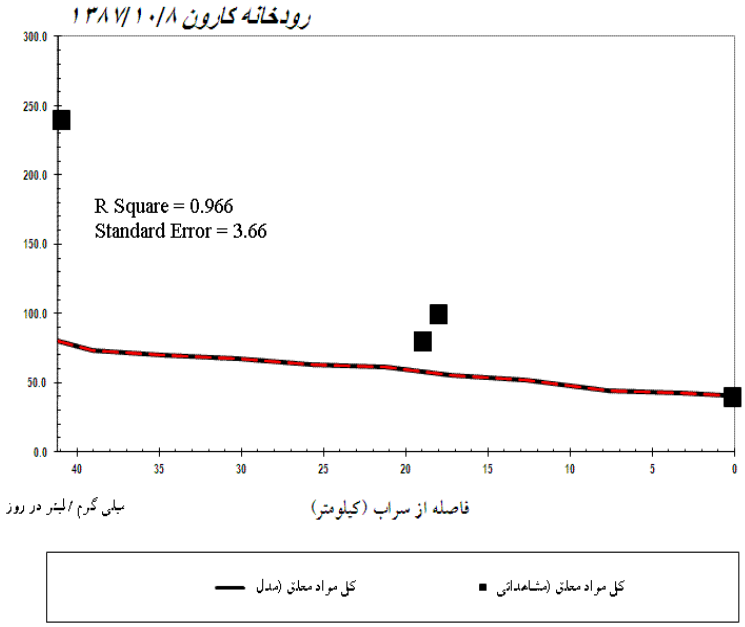
شکل ۱۶ تغییرات شبیه‌سازی شده و مقادیر اندازه‌گیری شده کل مواد معلق یا TSS را در ماه مرداد نشان می‌دهد. میزان TSS در این ماه از ۲۰ تا ۷۰ میلی‌گرم در لیتر در نوسان است.

در کیلومتر ۱۸ محدوده مورد مطالعه واقع در ایستگاه دوم (پل پنجم) بیش‌ترین مواد معلق اندازه‌گیری شده دیده می‌شود که این امر به‌علت واقع شدن این منطقه در مرکز شهر و تخلیه فاضلاب‌های فراوان است. با وجود این در طول مسیر در ایستگاه انتهایی کوت امیر مقدار این پارامتر به واسطه ته‌نشینی و خودپالایی کاهش یافته است. شکل ۱۷ تغییرات میزان پارامتر TSS را در ماه دی مشخص کرده است. همان‌طور که از شکل پیداست، مقدار این پارامتر نسبت به ماه مرداد افزایش یافته است، به طوری که در ایستگاه انتهایی (کوت‌امیر) با تاثیر شست‌شو زمین‌های زراعی و رواناب‌ها مقدار اندازه‌گیری شده تا ۲۵۰ میلی‌گرم بر لیتر بالا رفته است. البته به‌علت در نظر نگرفتن منابع غیرنقطه‌ای در مدل نتایج اندازه‌گیری شده این ایستگاه با نتایج مدل هم‌خوانی خوبی ندارد. به‌طور کلی شاخص کیفی TSS در اکثر ایستگاه‌ها از میزان استاندارد مجاز (۴۰ میلی‌گرم بر لیتر) فراتر رفته و در نیمه‌دوم سال به اوج خود رسیده و زمینه ساز آلودگی رودخانه کارون شده است. البته همین الگو در مطالعات سایر رودخانه‌های کشور نیز مانند رودخانه تجن توسط ورسه و همکاران مشاهده شده است (۱۷). آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه بین مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر پیش‌بینی شده واریانس‌های برابر را در ماه مرداد و واریانس‌های نابرابر را در ماه دی نشان داد و آزمون t آن تفاوت معنی‌داری بین این مقادیر در سطح ۰/۰۵ و ۰/۰۱ در هر دو ماه نشان نداد. با توجه به R^2 و خطای استاندارد برآوردها، پیش بینی مدل در ماه دی بهتر از ماه مرداد بوده است.



شکل۱۶- تغییرات TSS اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده، مرداد ۱۳۸۷

Figure 16- changes measured and simulated TSS, August of 2008



شکل ۱۷- تغییرات TSS اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده، دی ۱۳۸۷

Figure 17- changes measured and simulated TSS, January of 2009

جدول ۳ مقادیر پارامترهای شبیه‌سازی شده در سراب و پایاب را در ماه‌های مرداد و دی که توسط مدل پیش‌بینی شده است، نشان می‌دهد. تفاوت این مقادیر نشان‌دهنده عدم خودپالایی در پارامترهای pH ،BOD_u در هر دوماه، NO_3 در ماه مرداد و TSS در ماه دی می‌باشد. همچنین در دیگر پارامترها خودپالایی کمی صورت گرفته است. در مجموع می‌توان گفت، شرایط فصلی و اقلیمی بیش‌تر از مدیریت فنی کنترل بار مجاز آلودگی قابل رهاسازی در میزان خودپالایی رودخانه کارون در بازه مورد مطالعه نقش داشته است. این مطلب با نتایج تحقیق صفاریان که قدرت خودپالایی رودخانه را در همین بازه کم ارزیابی کرده است، هماهنگی دارد (۱).

جدول۳- مقادیر پارامترهای شبیه‌سازی شده در سراب و پایاب در ماه‌های مرداد و دی ۱۳۸۷

Table 3- simulated parameters values in upstream and downstream in months August of 2008 and January of 2009

پارامتر	مرداد		دی	
	سراب	پایاب	سراب	پایاب
EC(میکروموس/سانتی‌متر)	۲۴۲۰/۹	۱۸۹۷	۲۷۵۹	۲۵۶۰
دما (سلسیوس)	۳۰/۳۱	۲۷/۶	۱۴/۳۶	۱۵
DO (میلی‌گرم /لیتر)	۴/۶۷	۶/۱۶	۶/۹۹	۹/۳۳
BODu (میلی‌گرم /لیتر)	۴/۵۹	۴/۷۸	۶/۳۴	۸/۲۶
NO_3 (میلی‌گرم /لیتر)	۵/۷۶	۶/۴۲	۵/۹۱	۴/۱۴
pH	۷/۳۳	۷/۷	۷/۷	۸
TSS (گرم / لیتر در روز)	۵۷/۳	۴۰	۴۰/۸۶	۸۰

نتیجه‌گیری

نتایج شبیه‌سازی صورت گرفته توسط مدل $Qual2k_w$ برای پارامترهای مختلف با توجه به میزان S_{Er} و R^2 نشان می‌دهد که این مدل بهترین شبیه‌سازی را ابتدا برای pH سپس به ترتیب برای پارامترهای BOD_u, DO, NO_3، دما، TSS و EC انجام داده است. به‌طور کلی مدل $Qual2k_w$ دارای کارایی خوبی برای بررسی خودپالایی رودخانه‌ها است، اما در اجرای کالیبراسیون آن تغییرات در محدوده کوچک صورت می‌گیرد. در مورد رودخانه کارون این مدل توانایی شبیه‌سازی خوبی داشته است و پیشنهاد می‌شود در بررسی خودپالایی رودخانه‌های کوچک و بزرگ به‌کار گرفته شود.

منابع

۱. صفاریان، رضا، « بررسی بار آلایندگی رودخانه کارون و عوامل آلوده‌کننده آن در بازه اهواز»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، ۱۳۸۵، صفحات ۴ و ۱۳۷ تا ۱۳۹.

۲. راهنمای مطالعات تعیین ظرفیت خودپالایی رودخانه، نشریه شماره ۴۸۱ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور، ۱۳۸۸.

3. Oliveir, B., Bola, J., Nadais, H., Arroja, L. 2011. Application of $Qual2K_w$ model as a tool for water quality management, Certima River as a case study, Environ Monit Assess, DOI 10.1007/s10661-011-2413-z.

4. Cristea, N. C., Burges, S. J. 2010. An assessment of the current and future thermal regimes of three streams located in the Wenatchee River basin, Washington State: some implications for regional river basin systems, Climatic Change, 102: 493 – 520.

۵. قاضی میرسعید، ح، « مدل‌سازی کیفی رودخانه‌ی جاجرود و ارزیابی قدرت خودپالایی آن» ، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، دانشکده محیط‌زیست، ۱۳۹۰، ۱۶۳ صفحه.

۶. میری، م، «بررسی پتانسیل پذیرش بارآلودگی رودخانه قره‌آغاج با مدل شبیه‌سازی $QUAL2K_W$»، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه تهران، دانشکده محیط‌زیست، ۱۳۸۸، ۱۸۰ صفحه.

7. Pellerire, G. J., Chapra, S. C. 2008. $Qual2k_w$-Theory and documentation (Version 5.1) A modeling framework for simulating river and stream quality, Washington Department of Ecology-Washington State, see information in: http://www.ecy.wa.gov/programs/eap/models.html.

۸. باروتکوب، ع، « بررسی آلاینده‌های کانونی در حوضه رودخانه‌های دز و کارون»، هشتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، ۱۳۸۸، اهواز، ایران.

۹. عظیمی، م، م، غواصیه، ا، ر، هاشمی، ح، برکتین، س، جعفری‌گل، ف، « ارزیابی قدرت خودپالایی رودخانه به کمک نتایج حاصل از شبیه‌سازی کیفی عنوان مطالعه موردی: رودخانه سفیدرود»، همایش ملی آب با رویکرد آب پاک، ۱۳۸۹، تهران، ایران.

۱۰. رحیمی شوشتری، م، پیرنیا، ع، محمودیان شوشتری، م، رحیمی شوشتری، م، « تخمین ضریب مقاومت مانینگ در بازه‌ای از رودخانه کارون بزرگ توسط نرم افزارMIKE11»، سومین کنفرانس ملی عمران شهری، ۱۳۸۸، سنندج، ایران.

11. See information in: http://www.wunder ground.com.

۱۲. عظیمی، م، م، محمدی، س، ع، هاشمی، ح، غواصیه، ا، ر، «ارائه یک تابع هدف مناسب برای الگوریتم ژنتیک به‌کار رفته در مدل کیفی $QUAL2K_W$ »،

هشتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، ۱۳۸۸، اهواز، ایران.

۱۳. مفتاح هلقی، م، « برآورد حداکثر بار آلودگی مجاز قابل تخلیه به گرگان‌رود»، مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۱۳۸۸، جلد شانزدهم، شماره اول، صفحات ۳۵-۱۹.

۱۴. نوشادی، م، حاتمی‌زاده، م، «اندازه‌گیری و شبیه‌سازی کیفی رودخانه کر با استفاده از مدل QUAL2K»، نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱۳۸۹، شماره ۳(۴)، صفحات ۲۳۸-۲۴۹.

۱۵. جعفرزاده، ن، لاهیجان زاده، ا، کعبی، ه، رستمی، ص، مهدویانی، ا، « تعیین توان خودپالایی رودخانه کارون به طول ۵۵ کیلومتر در محدوده شهر اهواز»، چهارمین همایش ملی بهداشت محیط،۱۳۸۰، یزد، ایران.

16. Mehrdadi, N., Ghobadi, M., Nasrabadi, T. 2006. Evaluation of the quality and self purification potential of Tajan River using qual2e model, Journal of Environmental Health Science and Engineering, No3, pp 199-204.

۱۷. ورسه، س، پناهی، م، خضری، م، محمدی فاضل، ا، «بررسی اثر فعالیت های صنعتی بر نوسان BOD,COD و TSS در رودخانه تجن»، نشریه علوم و مهندسی محیط زیست، ۱۳۹۳، سال اول، شماره ۲، صفحات ۵۷-۴۵.