

## بررسی کارایی مدل $Qual2k_w$ در خودپالایی رودخانه

(مطالعه موردی رودخانه کارون در بازه زرگان - کوت امیر)

پگاه حسینی<sup>۱\*</sup>

[pegahehosseni@yahoo.com](mailto:pegahehosseni@yahoo.com)

علی رضا ایلدرومی<sup>۲</sup>

یاسر حسینی<sup>۳</sup>

تاریخ پذیرش: ۸۹/۶/۱۶

تاریخ دریافت: ۸۹/۱/۱۹

### 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 کوت امیر 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 شبیه سازی و واسنجی شد و با داده های مشاهداتی در ماه های شهریور و بهمن ماه همان سال در ایستگاه های زرگان، پل پنجم و کوت امیر مقایسه شد. همچنین برای تعیین اعتبار مدل و مقایسه داده های مشاهداتی با داده های محاسباتی از مربع ضریب همبستگی ( $R^2$ )، خطای استاندارد ( $S_{EF}$ ) و برای آزمون معنی دار بودن آن ها از آزمون های t و F استفاده شد.

**یافته ها:** خروجی مدل به طور کلی حکایت از عدم خودپالایی در پارامترهای pH,  $BOD_{10}$  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 رودخانه ها است و در مورد رودخانه کارون، این مدل توانایی شبیه سازی خوبی داشته است.

**واژه های کلیدی:** خودپالایی، رودخانه کارون، پارامترهای فیزیکی شیمیایی،  $Qual2k_w$ .

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

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

۳- استادیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی مغان، دانشگاه محقق اردبیلی.

## **The Study of Qual2k<sub>w</sub> Model Efficacy on River Self-purification (A Case Study of Karun River at Interval of Zargan to Kute Amir)**

**Pegah Hossieni**<sup>\*1</sup>

[pegahehosseni@ymail.com](mailto:pegahehosseni@ymail.com)

**Ali Reza Ildoromi**<sup>2</sup>

**Yasser Hosseini**<sup>3</sup>

### **Abstract**

**Background and Objective:** Karun River is one of the largest rivers in the country and the present paper has studied Qual2k<sub>w</sub> 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<sub>3</sub>, 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<sub>w</sub> model and comparing of observed data with computational data, square of correlation coefficient (R<sup>2</sup>) and Standard Error of Measurement (S<sub>Er</sub>) 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<sub>u</sub> parameters for two months, NO<sub>3</sub> 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 Conclusion:** It also showed that the Qual2k<sub>w</sub> 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<sub>w</sub>.

---

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

میرسعید (۱۳۹۰) داده‌های جمع‌آوری شده از ۱۰ ایستگاه نمونه‌برداری رودخانه جاجرود در بالادست سد لتیان را توسط دو مدل Qual2k<sub>w</sub> 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 به علت 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<sub>w</sub> 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<sub>w</sub> و تحلیل خودپالایی رودخانه در بازه زرگان تا کوت امیر می باشد. همچنین قابل ذکر است 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 کاربری‌های مشابه در سازمان‌های مربوط به کار گرفته شود.

## روش بررسی

در این تحقیق خودپالایی رودخانه کارون با به‌کارگیری مدل Qual2k<sub>w</sub> 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

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<sup>۱</sup> تأثیر تلفیقی ترقیق<sup>۲</sup>، ته‌نشینی<sup>۳</sup>، جذب و تجزیه زیستی<sup>۴</sup> 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<sub>w</sub> 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<sub>w</sub> 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). Burges و Cristea (۲۰۱۰) از مدل Qual2k<sub>w</sub> به منظور شبیه‌سازی حداقل و حداکثر دمای آب، در سه رودخانه کشور آمریکا استفاده کردند. هدف اصلی از این شبیه‌سازی، بررسی اثر پوشش گیاهی اطراف رودخانه بر دمای آب، طی چند دهه آینده بوده و پس از بررسی سناریوهای مختلف، پیشنهاد به افزایش پوشش گیاهی در امتداد رودخانه به منظور حفظ حیات آب‌زیان دادند (۴). قاضی

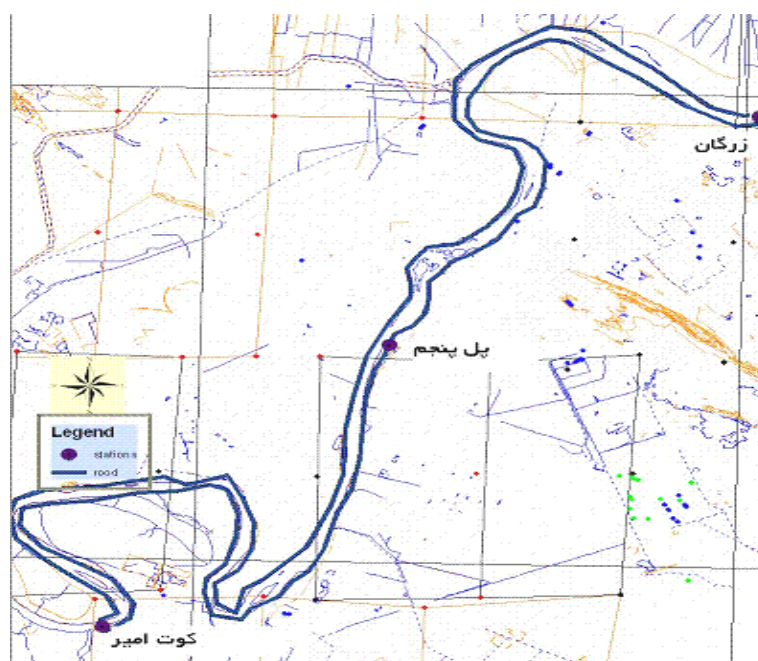
- 1- Self-purification, Assimilation
- 2- Rarefaction
- 3- Sedimentation
- 4- Re-Composition

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 طول جغرافیایی  $33^{\circ} 45' 48''$ ، عرض  $33^{\circ} 22'$  و ارتفاع متوسط ۱۸ متر از سطح دریا تا محل خروج رود از شهر اهواز واقع در منطقه کوت‌امیر به عرض جغرافیایی  $54^{\circ}$

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، پل پنجم 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

شهری در محدوده کلان شهر اهواز به‌عنوان مرکز استان خوزستان اهمیت ویژه‌ای دارد. فرایند خودپالایی<sup>۱</sup> تأثیر تلفیقی ترفیق<sup>۲</sup>، ته‌نشینی<sup>۳</sup>، جذب و تجزیه زیستی<sup>۴</sup> است که منجر به بهبود کیفیت آب رودخانه می‌گردد (۲). مدل‌سازی کیفی رودخانه یکی از ابزارهای کم هزینه و مهم در بررسی مشکلات و

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

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

کارون با کمک مدل Qual2k<sub>w</sub> و تحلیل خودپالایی رودخانه در بازه زرگان تا کوت امیر می باشد. همچنین قابل ذکر است که تا کنون تحقیقی با استفاده از این مدل در رودخانه کارون صورت نگرفته است، لذا نتایج این بررسی می تواند در تدوین برنامه کنترل بارگذاری مواد آلاینده (TMDL) برای رودخانه کارون و کاربری های مشابه در سازمان های مربوط به کار گرفته شود.

#### روش بررسی

در این تحقیق خودپالایی رودخانه کارون با به کارگیری مدل Qual2k<sub>w</sub> در نسخه ۵/۱ آن بررسی شده است، از مزیت های این نسخه از مدل، کالیبراسیون خودکار آن به کمک الگوریتم ژنتیکی می باشد که ترکیبی بهینه از ضرایب و نرخ های سینتیک و بیولوژیک را به گونه ای می یابد که مقادیر شبیه سازی بیشترین نزدیکی را با مقادیر مشاهده ای داشته باشد (۷). این مدل، ۱۹ پارامتر کیفی آب را در حالت جریان پایدار و غیریکنواخت مدل می کند و اثر بارگذاری را به دو صورت نقطه ای و غیرنقطه ای منظور می نماید.

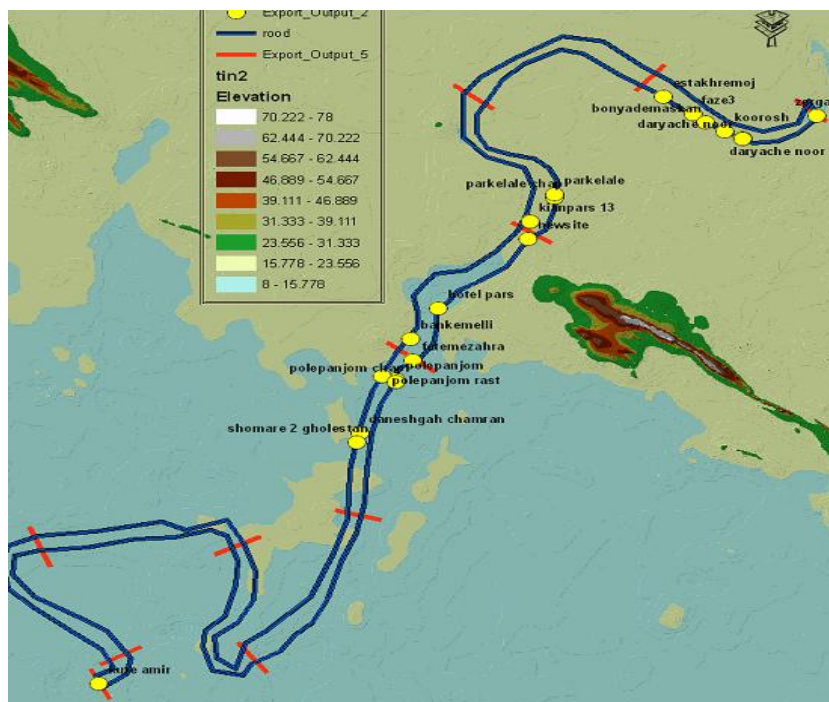
#### منطقه مورد مطالعه

به لحاظ این که شهر اهواز آلاینده ترین عامل در کل حوضه آبریز رودخانه های کارون و دز به واسطه تجمع صنایع کانونی است (۸)، محدوده مطالعاتی از ابتدای ورود رود به شهر اهواز در منطقه زرگان به طول جغرافیایی 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 کوت امیر به عرض جغرافیایی ۳۳° 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 داده های موجود، شامل سه ایستگاه (زرگان، پل پنجم و کوت امیر) سازمان آب و برق خوزستان که با روش های استاندارد در هر ایستگاه اندازه گیری شده اند، بهره گرفته شد. شکل ۱ موقعیت این ایستگاه ها را بر رودخانه کارون نشان می دهد.

راه حل ها در جهت بهبود وضعیت کیفی رودخانه می باشد. مدل Qual2k<sub>w</sub> یک مدل یک بعدی است و متغیرهای کیفی آب را در حالت جریان پایدار و غیریکنواخت مدل می نماید. Olivei و همکاران (۲۰۱۱) به ارزیابی کاربرد مدل رایج کیفیت آب Qual2k<sub>w</sub> برای حوضه رودخانه های کوچک و پاسخ رودخانه Certima پرتغال به بارگذاری های متفاوت نیتروژن و فسفر با کمک این مدل پرداخته است. نتایج شبیه سازی نشان داد برای کاهش واقعی آلودگی های 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). Burges و Cristea (۲۰۱۰) از مدل Qual2k<sub>w</sub> به منظور شبیه سازی حداقل و حداکثر دمای آب، در سه رودخانه کشور آمریکا استفاده کردند. هدف اصلی از این شبیه سازی، بررسی اثر پوشش گیاهی اطراف رودخانه بر دمای آب، طی چند دهه آینده بوده و پس از بررسی سناریوهای مختلف، پیشنهاد به افزایش پوشش گیاهی در امتداد رودخانه به منظور حفظ حیات آب زیان دادند (۴). قاضی میرسعید (۱۳۹۰) داده های جمع آوری شده از ۱۰ ایستگاه نمونه برداری رودخانه جاجرود در بالادست سد لتیان را توسط دو مدل Qual2k<sub>w</sub> و Aquatox مدل سازی کیفی نمود. با وجود کم بودن دامنه تغییرات پارامترها، خروجی های دو مدل هماهنگی بسیار بالایی را نشان دادند. نتایج نشان داد که در مجاورت مراکز جمعیتی کیفیت آب رودخانه کاهش می یابد، ولی به علت توان بالای پالایش طبیعی رودخانه، آب ورودی به مخزن دارای کیفیت خوبی می باشد (۵). میری (۱۳۸۸) پتانسیل پذیرش بار آلودگی رودخانه قره آغاج را با نمونه گیری در چهار فصل سال بررسی کرده است. بدین منظور ظرفیت خودپالایی رودخانه و میزان تغییرات اکسیژن خواهی زیست شیمیایی، اکسیژن محلول، توسط نرم افزار QUAL2K<sub>w</sub> تعیین شد. پس از آنالیز و بررسی مدل مشخص گردید میزان اکسیژن محلول در اسفند ماه بیش تر از شهریور بوده و با توجه به مدل، نتایج واقعی در حد استاندارد است که نشان دهنده توان مناسب خودپالایی رودخانه می باشد (۶). هدف از این تحقیق شبیه سازی تغییرات پارامترهای کیفی آب رودخانه

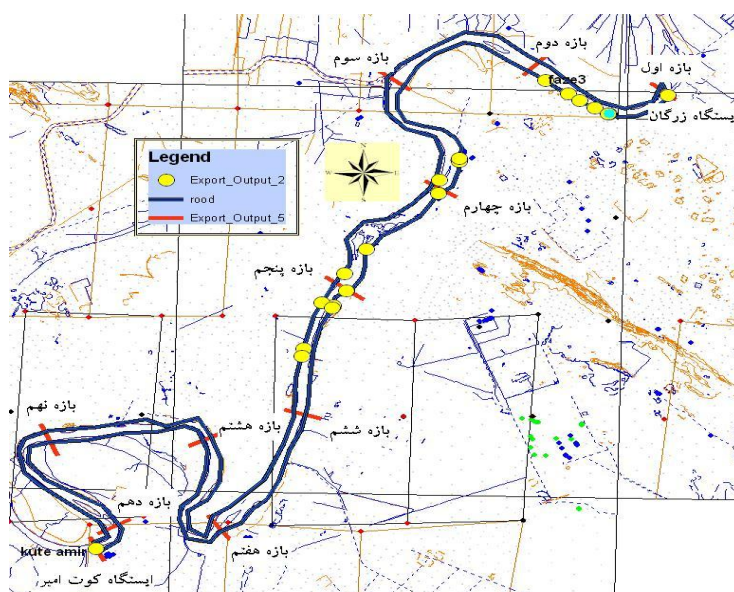
جمع‌آوری گردیده است. شکل ۲ موقعیت منابع نقطه‌ای ورودی به رودخانه کارون را نشان می‌دهد.

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



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 reaches to run the model

روش

در این تحقیق شبیه‌سازی کیفیت آب رودخانه کارون با مدل QUAL2k<sub>w</sub> در سال ۱۳۸۷ (به دلیل 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 به کار 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 (۷ و ۹).

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial(AD_L \frac{\partial c}{\partial x})}{A \partial x} - \frac{\partial(Auc)}{A \partial x} + \frac{dc}{dt} + \frac{S}{V} \quad (1)$$

C: غلظت ماده آلاینده (میلی گرم / لیتر)، A: سطح مقطع المان یا بازه<sup>۱</sup> عمود بر جریان (مترمکعب)، t: زمان (ثانیه)، D<sub>L</sub>: ضریب پراکندگی (مترمکعب بر ثانیه)، x: طول رودخانه (متر)، u: سرعت متوسط جریان (متر/ثانیه)، S: منبع<sup>۲</sup> خارجی (میلی گرم)، 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<sup>۳</sup> 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). در این تحقیق مشخصات کالیبراسیون مدل شامل پارامترهای DO, BOD, NO<sub>3</sub> مطابق جدول ۱ انتخاب شده است (۱۲). همچنین مقادیر BOD<sub>U</sub> با استفاده از رابطه ۲ به دست آمد و وارد مدل گردید (۷ و ۱۳).

$$(BOD_5)1/5 = BOD_U \quad (2)$$

جدول ۱- مشخصات اتوکالیبراسیون 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 <sup>۴</sup>	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<sup>2</sup> 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

## نتایج و بحث

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

نتایج شبیه‌سازی شده‌ی پارامترهای EC, DO, BOD, pH, TSS, NO<sub>3</sub> و دما توسط مدل در ماه مرداد و دی ۱۳۸۷ رودخانه کارون در شکل‌های ۴ تا ۱۷ آورده شده است.

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		$\theta_a$
اکسیژن برای اکسیداسیون کربن	۲/۶۹	gO <sub>2</sub> /gC	$r_{oc}$
اکسیژن برای نیتروfikشن آمونیاک	۴/۵۷	gO <sub>2</sub> /gN	$r_{on}$
BOD <sub>slow</sub>			
نرخ هیدرولیز	۰/۲۷۹۸۵	/d	$k_{hc}$
Temp Correction	۱/۰۴۷		$\theta_{hc}$
نرخ اکسیداسیون	۰/۱۰۵۴۹	/d	$k_{des}$
BOD <sub>fast</sub>			
نرخ اکسیداسیون	۰/۲۰۵۷۵	/d	$k_{dc}$
Temp Correction	۱/۰۴۷		$\theta_{dc}$
نیترات:			
دنیتریفیکشن	۱/۷۹۰۹۲	/d	$k_{dn}$
Temp Correction	۱/۰۷		$\theta_{dn}$
انتقال دنیتریفیکشن بستر	۰/۸۳۴۹۱	m/d	$v_{di}$
pH			
Partial Pressure of Carbon dioxide	۳۴۷	ppm	$p_{CO_2}$

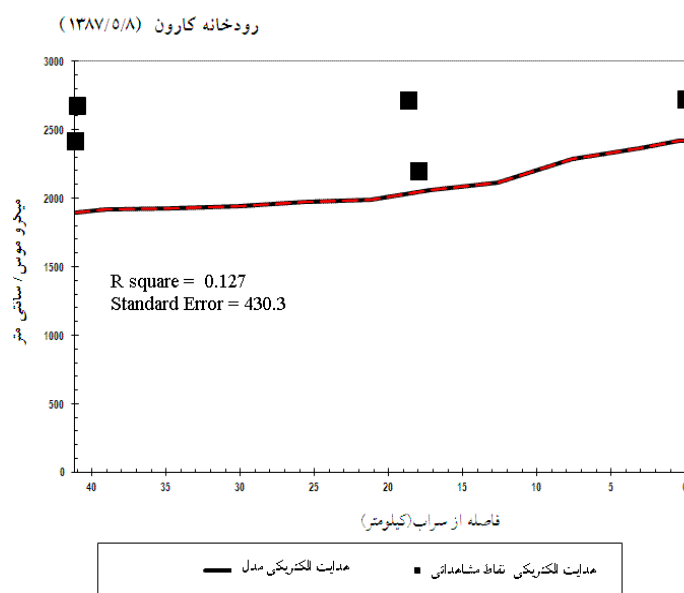
می‌دهد. در سراب رودخانه مقدار EC اندازه‌گیری شده با میزان پیش‌بینی مدل هم‌خوانی دارد. در کیلومتر ۱۸ محدوده مطالعاتی

شکل ۴ تغییرات هدایت الکتریکی (EC) شبیه‌سازی شده توسط مدل را در بازه مطالعاتی رودخانه در ماه مرداد نشان



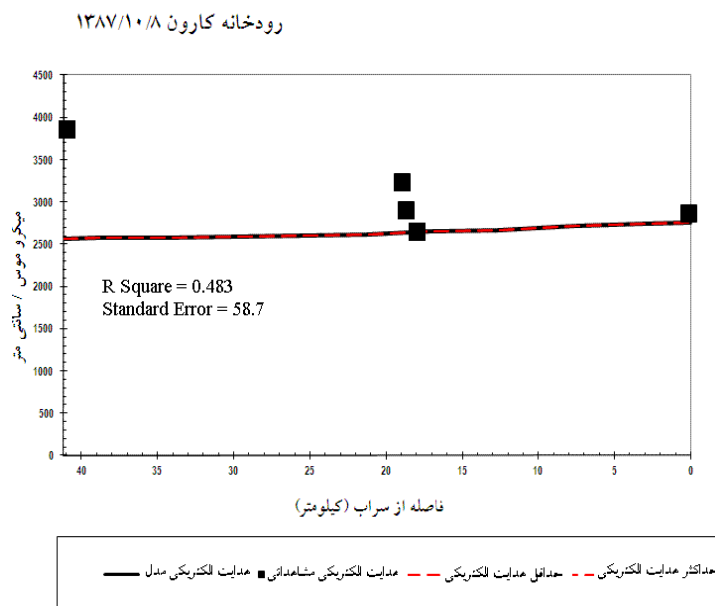
مدل کاهش چشم‌گیری را نشان نمی‌دهد. در ایستگاه زرگان (سراب) نتایج نمونه‌گیری و نتایج مدل هم‌خوانی خوبی دارد، در ایستگاه انتهایی افزایش مقدار EC اندازه‌گیری شده به سبب تاثیر نزدیکی مناطق کشاورزی و شست‌شو زمین‌های آن در این منطقه می‌باشد. نوسادی در شبیه‌سازی رودخانه کر در ماه دی و مرداد همین مطلب را برای این پارامتر عنوان نموده است و بیان می‌دارد آلودگی‌های ناشی از رواناب به عنوان یک منبع غیرمتمرکز آلودگی هستند و مدل‌ها به سختی می‌توانند 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.

مقادیر مشاهداتی نسبت به مقادیر پیش‌بینی شده افزایش نشان می‌دهد که مربوط به تخلیه فاضلاب‌های مرکز شهر اهواز در محدوده پل پنجم 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 پیش‌بینی 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



شکل ۴- تغییرات EC اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده، ماه مرداد ۱۳۸۷

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

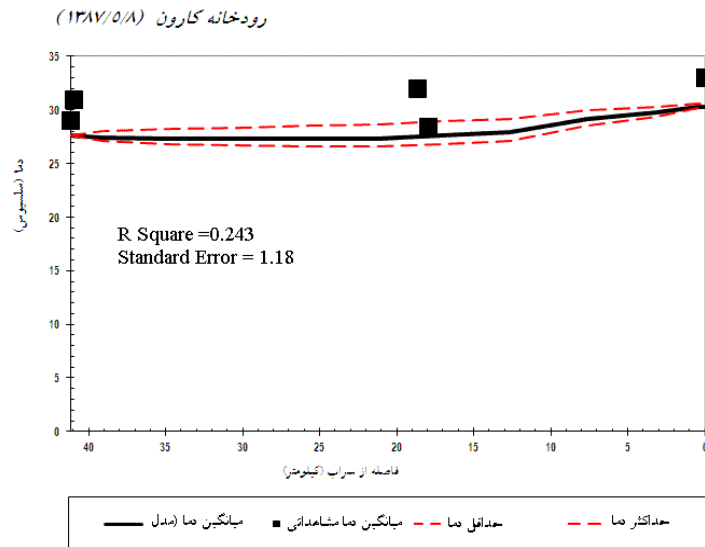


شکل ۵- تغییرات EC اندازه گیری و شبیه سازی شده، ماه دی ۱۳۸۷

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

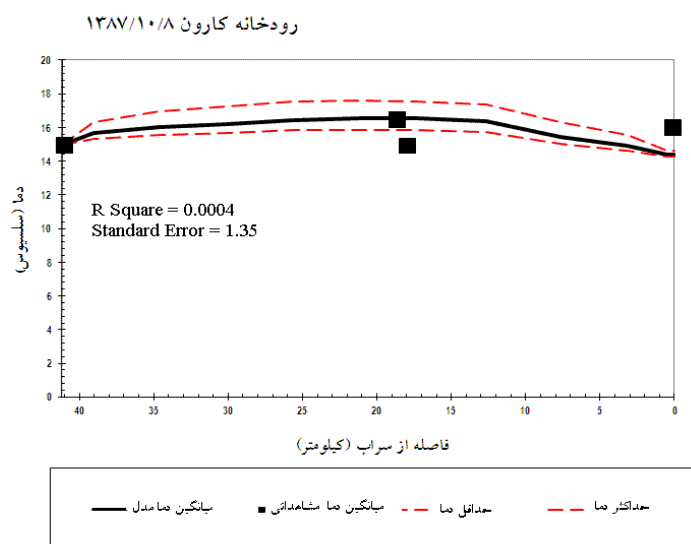
در بین این مقادیر نشان داد. شکل ۷ تغییرات دما را در ماه دی توسط مدل نشان می‌دهد. دمای آب به طور طبیعی در این ماه کاهش چشم‌گیری می‌یابد، مقادیر منحنی شبیه‌سازی شده به علت اثر تخلیه فاضلاب‌های شهری با دبی زیاد، تقریباً در ۲۰ کیلومتر افزایش یافته است. آزمون تجزیه واریانس بین مقادیر مشاهده‌ای و مقادیر پیش‌بینی مدل ماه دی، واریانس‌های نابرابر را مشخص نمود. آزمون  $t$  با واریانس‌های نابرابر تفاوت معنی‌داری را در سطح  $0/05$  و  $0/01$  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.

شکل ۶ تغییرات دما آب رودخانه کارون را در بازه مطالعاتی در ماه 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  $0/05$  تفاوت معنی‌داری را



شکل ۶- تغییرات دمای اندازه گیری و شبیه سازی شده ماه مرداد ۱۳۸۷

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



شکل ۷- تغییرات دمای اندازه گیری و شبیه سازی شده ماه دی ۱۳۸۷

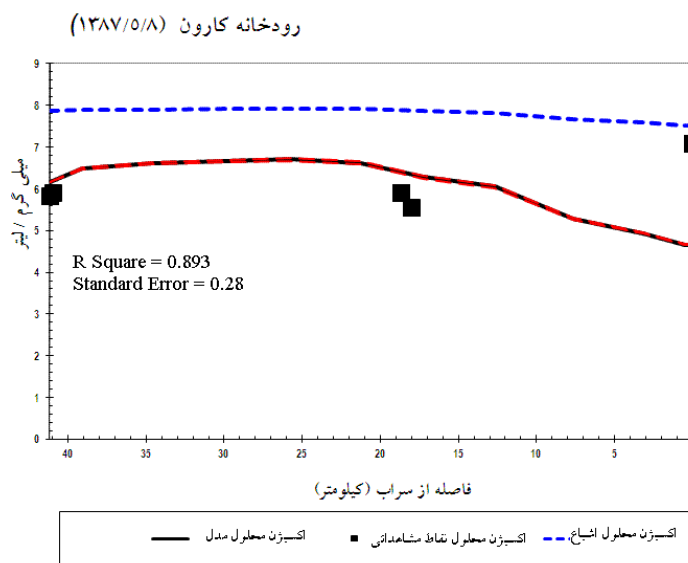
Figure 7- changes measured and simulated Temperature, January of 2009

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

شکل‌های ۸ و ۹ میزان اکسیژن محلول پیش‌بینی شده 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 از جمله دمای آب، میزان هوادهی مجدد، بارآلی موجود و یا ورودی به رودخانه بستگی دارد. همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌گردد، میزان اکسیژن شبیه‌سازی شده در ایستگاه اول (زرگان) کم‌تر از

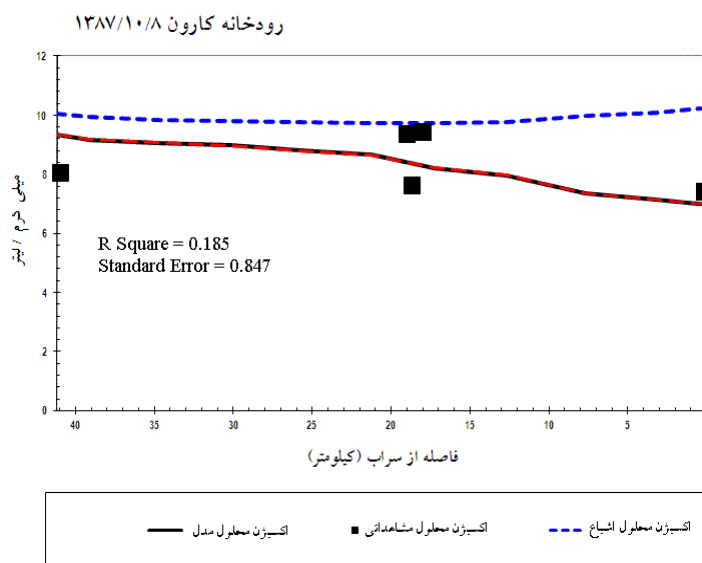
محققان از جمله میری و قاضی میر سعید قابل مشاهده بوده است (۵ و ۶). آزمون تجزیه واریانس نشان دهنده نابرابری واریانس‌های نقاط مشاهداتی و مقادیر مدل در هر دو ماه بود و آزمون t با واریانس‌های نابرابر بین مقادیر مشاهده شده و مقادیر مدل تفاوت معنی‌داری در هر دو ماه را در سطح ۰/۰۵ و ۰/۰۱ نشان نداد. با توجه به مقادیر  $R^2$  و خطای استاندارد شبیه‌سازی این پارامتر در ماه مرداد بهتر از ماه دی بوده است.

کاهش نمی‌یابد و علت آن را می‌توان 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 رودخانه‌های کشور نیز توسط



شکل ۸- تغییرات DO اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده ماه مرداد ۱۳۸۷

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

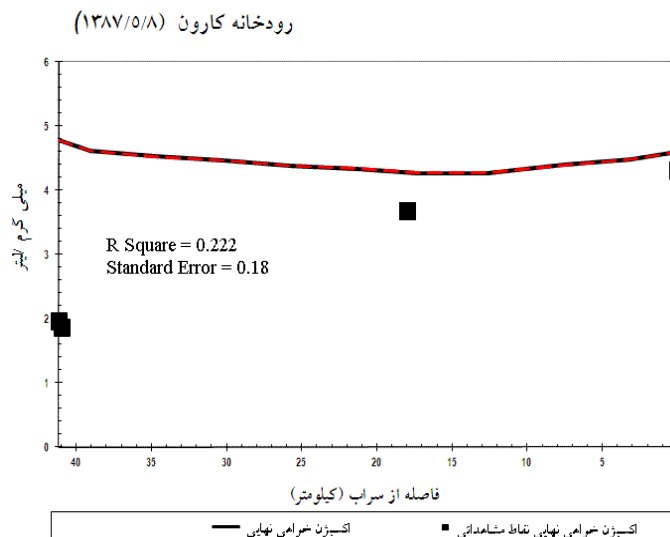


شکل ۹- تغییرات DO اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده ماه دی ۱۳۸۷

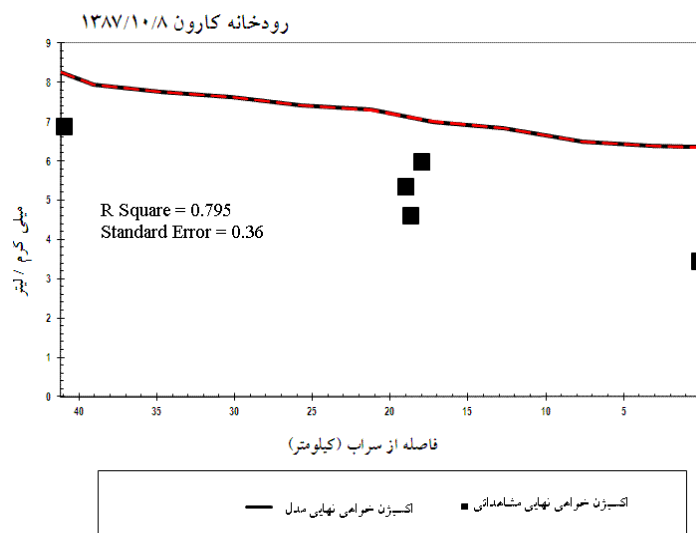
Figure 9- changes measured and simulated DO, January of 2009

نوساناتی از ۳/۳ تا ۶/۸ می‌باشد. مهربادی و همکاران در ارزیابی پتانسیل خودپالایی رودخانه تجن با استفاده از مدل 2E-Qual نیز بیان داشته‌اند که میزان BOD و COD در نیمه دوم هر سال بیش‌تر از نیمه اول 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. به طوری که مقدار این پارامتر از سراب به پایاب در هر دو در حال افزایش است. این مطلب مشابه نتایج مطالعه جعفرزاده بر رودخانه کارون با مدل Qual-2E می‌باشد. ایشان نیز مقادیر COD اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های مشابه را بیش‌تر از مقادیر به دست 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 و آزمون 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.

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 به دلیل ورود رواناب‌های کشاورزی بوده که در ادامه مسیر مقدار آن کاهش می‌یابد تا با ورود فاضلاب‌های متعدد در کیلومتر ۱۸-۱۹ بازه مطالعاتی مانند فاضلاب خروجی روبه‌روی بیمارستان فاطمه الزهرا و فاضلاب خروجی بیمارستان گلستان ۲ دوباره افزایش می‌یابد. اختلاف بین نتایج آزمایشگاهی و نتایج مدل را در ایستگاه آخر کوت‌امیر می‌توان به علت 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 بر علت شده است، به طوری که مقادیر اندازه‌گیری شده در این بازه دارای



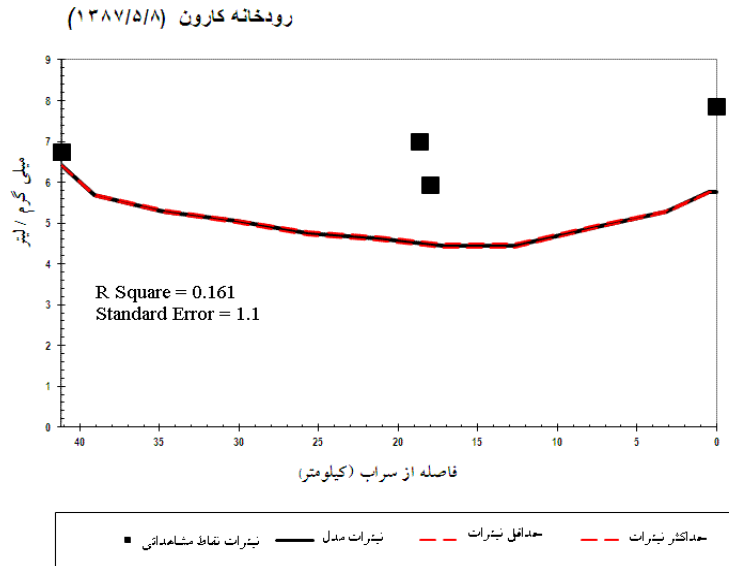
شکل ۱۰- تغییرات  $BOD_u$  اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده، ماه مرداد ۱۳۸۷  
 Figure 10- changes measured and simulated BOD, August of 2008



شکل ۱۱- تغییرات BOD اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده، ماه دی ۱۳۸۷  
Figure 11- changes measured and simulated BOD, January of 2009

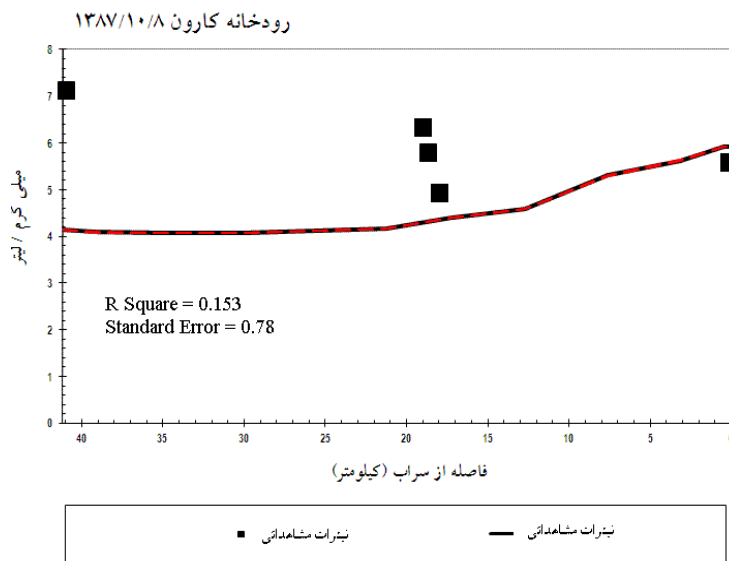
تشدید اثر رواناب‌ها هم‌خوانی خوبی بین این مقادیر دیده نمی‌شود. آزمون تجزیه واریانس بین مقادیر اندازه‌گیری شده و مدل در ماه مرداد، واریانس‌های نابرابر و در ماه دی واریانس‌های برابر را نشان داد و آزمون  $t$  در هر دو ماه در سطح  $0.05$  تفاوت معنی‌داری را مشخص نمود. به‌طور کلی شبیه‌سازی نیترات توسط مدل 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.

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 در آب این رودخانه گردیده است که این امر در اندازه‌گیری‌های انجام یافته و نتایج مدل در این ایستگاه‌ها کاملاً 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



شکل ۱۲- تغییرات  $\text{NO}_3$  اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده، ماه مرداد ۱۳۸۷

Figure 12- changes measured and simulated  $\text{NO}_3$ , August of 2008



شکل ۱۳- تغییرات  $\text{NO}_3$  اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده، ماه دی ۱۳۸۷

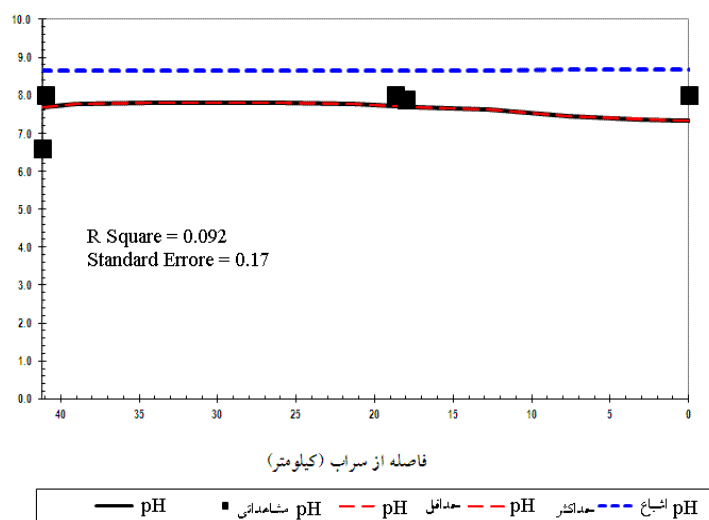
Figure 13- changes measured and simulated  $\text{NO}_3$ , January of 2009

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 مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در ماه مرداد و واریانس‌های برابر را برای مقادیر

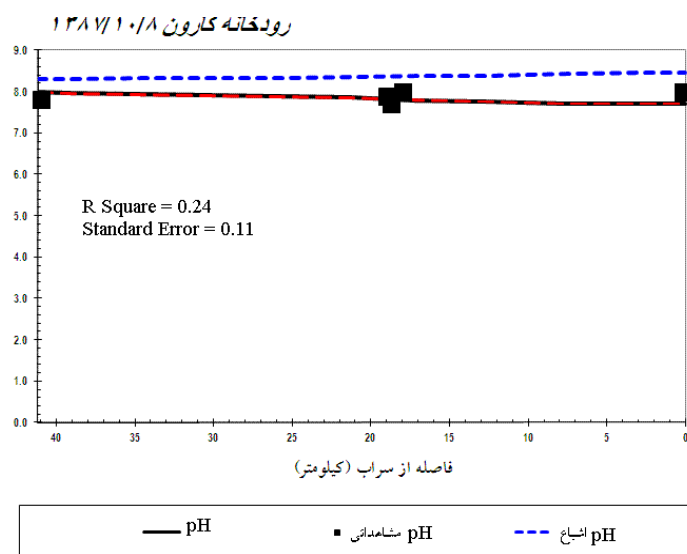
شکل‌های ۱۴ و ۱۵ تغییرات pH را در طول رودخانه به ترتیب در ماه مرداد و دی نشان می‌دهد. برای تعیین میزان pH توسط مدل معادلات تعادل، موازنه جرم و الکترون خنثایی که در آن کربن غیرآلی عامل تعیین‌کننده می‌باشد، به کار می‌رود. همان‌طور که از اشکال پیداست مقادیر اندازه‌گیری شده و مدل در هر دو ماه هم‌خوانی خوبی با هم دارند و شبیه‌سازی در این پارامتر به‌خوبی صورت گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که

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

رودخانه کارون (۱۳۸۷/۵/۸)



شکل ۱۴- تغییرات pH اندازه گیری و شبیه سازی شده، ماه مرداد ۱۳۸۷  
Figure 14- changes measured and simulated pH, August of 2008



شکل ۱۵- تغییرات pH اندازه گیری و شبیه سازی شده، ماه دی ۱۳۸۷  
Figure 15- changes measured and simulated pH, January of 2009

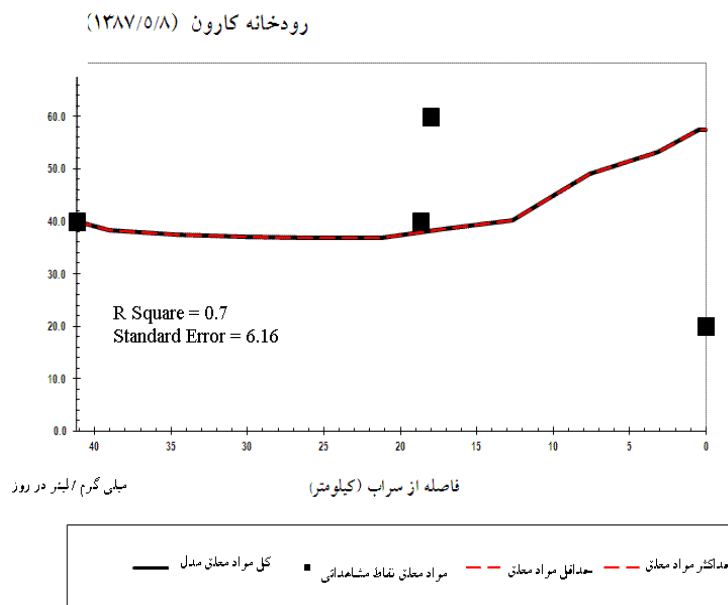
به  $R^2$  و خطای استاندارد نتایج شبیه‌سازی شده در ماه دی نسبت به ماه مرداد بهتر بوده است. شکل ۱۶ تغییرات شبیه‌سازی شده و مقادیر اندازه‌گیری شده کل مواد معلق یا TSS را در ماه مرداد نشان می‌دهد. میزان TSS در این ماه از ۲۰ تا ۷۰ میلی‌گرم در لیتر در نوسان است.

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 به علت وجود یون‌های بی‌کربنات و عدم تخلیه پساب‌های صنعتی اسیدی به داخل رودخانه می‌باشد. در مجموع با توجه

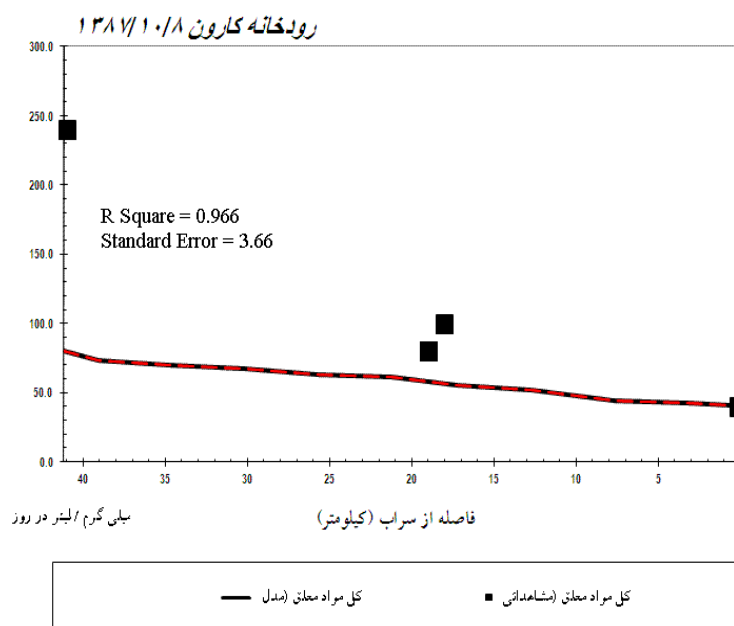


کیفی TSS در اکثر ایستگاه‌ها از میزان استاندارد مجاز (۴۰ میلی‌گرم بر لیتر) فراتر رفته و در نیمه‌دوم سال به اوج خود رسیده و زمینه ساز آلودگی رودخانه کارون شده است. البته همین الگو در مطالعات سایر رودخانه‌های کشور نیز مانند رودخانه تجن توسط ورسه و همکاران مشاهده شده است (۱۷). آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه 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، پیش‌بینی مدل در ماه دی بهتر از ماه مرداد بوده است.

در کیلومتر ۱۸ محدوده مورد مطالعه واقع در ایستگاه دوم (پل پنجم) بیش‌ترین مواد معلق اندازه‌گیری شده دیده می‌شود که این امر به علت 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 به علت در نظر نگرفتن منابع غیرنقطه‌ای در مدل نتایج اندازه‌گیری شده این ایستگاه با نتایج مدل هم‌خوانی خوبی ندارد. به‌طور کلی شاخص



شکل ۱۶- تغییرات TSS اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده، مرداد ۱۳۸۷  
Figure 16- changes measured and simulated TSS, August of 2008



شکل ۱۷- تغییرات TSS اندازه گیری و شبیه سازی شده، دی ۱۳۸۷  
Figure 17- changes measured and simulated TSS, January of 2009

شرایط فصلی و اقلیمی بیش تر 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).

جدول ۳ مقادیر پارامترهای شبیه سازی شده در سراب و پایاب را در ماه های مرداد و دی که توسط مدل پیش بینی شده است، نشان می دهد. تفاوت این مقادیر نشان دهنده عدم خودپالایی در پارامترهای pH، BOD<sub>u</sub> در هر دو ماه، NO<sub>3</sub> در ماه مرداد و TSS در ماه دی می باشد. همچنین در دیگر پارامترها خودپالایی کمی صورت گرفته است. در مجموع می توان گفت،

جدول ۳- مقادیر پارامترهای شبیه سازی شده در سراب و پایاب در ماه های مرداد و دی ۱۳۸۷

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

دی		مرداد		پارامتر
پایاب	سراب	پایاب	سراب	
۲۵۶۰	۲۷۵۹	۱۸۹۷	۲۴۲۰/۹	EC (میکروموس/سانتی متر)
۱۵	۱۴/۳۶	۲۷/۶	۳۰/۳۱	دما (سلسیوس)
۹/۳۳	۶/۹۹	۶/۱۶	۴/۶۷	DO (میلی گرم / لیتر)
۸/۲۶	۶/۳۴	۴/۷۸	۴/۵۹	BOD <sub>u</sub> (میلی گرم / لیتر)
۴/۱۴	۵/۹۱	۶/۴۲	۵/۷۶	NO <sub>3</sub> (میلی گرم / لیتر)
۸	۷/۷	۷/۷	۷/۳۳	pH
۸۰	۴۰/۸۶	۴۰	۵۷/۳	TSS (گرم / لیتر در روز)

## نتیجه‌گیری

نتایج شبیه‌سازی صورت گرفته توسط مدل Qual2k<sub>w</sub> برای پارامترهای مختلف با توجه به میزان  $R^2$  و  $S_{Er}$  نشان می‌دهد که این مدل بهترین شبیه‌سازی را ابتدا برای pH سپس به ترتیب برای پارامترهای DO, BOD<sub>u</sub>, NO<sub>3</sub>، دما، TSS و EC انجام داده است. به‌طور کلی مدل Qual2k<sub>w</sub> 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 آلاینده‌گی 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<sub>w</sub> 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، ۱۳۹۰، ۱۶۳ صفحه.
۶. میری، م، «بررسی پتانسیل پذیرش بارآلودگی رودخانه قره‌آغاج با مدل شبیه‌سازی QUAL2K<sub>w</sub>»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، دانشکده محیط‌زیست، ۱۳۸۸، ۱۸۰ صفحه.
7. Pellerire, G. J., Chapra, S. C. 2008. Qual2k<sub>w</sub>-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 افزار MIKE11»، 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<sub>w</sub>».

- 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 ۴۵-۵۷.
- هشتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، ۱۳۸۸، اهواز، ایران.
۱۳. مفتاح هلقی، م، «برآورد حداکثر بار آلودگی مجاز قابل تخلیه به گرگان رود»، مجله پژوهش های حفاظت آب و خاک، ۱۳۸۸، جلد شانزدهم، شماره اول، صفحات ۱۹-۳۵.
۱۴. نوشادی، م، حاتمی زاده، م، «اندازه گیری و شبیه سازی 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».