

بررسی تغییرات توان خودپالایی رودخانه کارون در سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۴ با استفاده از مدل QUAL2KW در محدوده شهر اهواز

پگاه حسینی^۱، یاسر حسینی^{۲*}

^۱ دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

^۲ دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی مغان، دانشگاه محقق اردبیلی، مغان، ایران

تاریخچه داوری:

دریافت: ۲۸ تیر ۱۳۹۲
بازنگری: ۲۸ دی ۱۳۹۴
پذیرش: ۱۹ اسفند ۱۳۹۴
ارائه آنلاین: ۲۵ مرداد ۱۳۹۵

کلمات کلیدی:

رودخانه کارون
خودپالایی
اهواز
اکسیژن خواهی بیوشیمیایی
نرم افزار کیفیت آب

چکیده: رودخانه کارون در مسیر جریان خود محل ورود و تخلیه فاضلاب‌های خانگی، پساب‌های صنعتی و زه‌آب‌های کشاورزی بسیاری است. با توجه به این که هر رودخانه ظرفیت پذیرش آلاینده‌های ورودی و خودپالایی آن‌ها را تا حدود معینی دارد، بنابراین آگاهی از روند تغییرات توان خودپالایی از اهمیت بسیاری برخوردار است. در این پژوهش، تغییرات توان خودپالایی رودخانه کارون در سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۴ در بازه زرگان تا کوت‌امیر به طول ۴۲ کیلومتر مورد بررسی قرار گرفته است. به این منظور، ابتدا تغییرات مؤلفه‌های pH و EC و BOD در سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۴ برای دو ماه دی و مرداد توسط مدل کالیبره شده Qual2kw شبیه‌سازی شد. سپس نتایج بدست آمده با داده‌های مشاهده‌شده در ایستگاه‌های زرگان، پل پنجم و کوت‌امیر مقایسه شدند. به منظور مقایسه داده‌های مشاهده‌شده با داده‌های محاسباتی، از مربع ضریب همبستگی (R^2) و متوسط خطای مطلق (MAE) استفاده شده است. نتایج بدست آمده بیانگر عدم خودپالایی مؤلفه هدایت الکتریکی (EC) در رودخانه کارون برای سال ۲۰۰۸ و عدم خودپالایی مؤلفه اکسیژن خواهی بیوشیمیایی (BOD) در سال ۲۰۱۴ بوده است. همچنین بهترین شبیه‌سازی مدل برای مؤلفه pH بدست آمد و در رتبه‌های بعدی به ترتیب مؤلفه BOD و EC قرار گرفتند.

۱- مقدمه

رودخانه کارون از بزرگترین و طولانی‌ترین رودخانه‌های ایران است که به شمال غرب خلیج فارس می‌ریزد. کارون یکی از منابع اساسی تأمین آب برای مصارف گوناگون از جمله کشاورزی، شرب و صنعت در استان خوزستان است. حفظ این منابع با توجه به اهمیت این مجاری و خشکسالی‌های اخیر، یکی از وظایف مهم بوده و این در حالی است که این منابع به عنوان محلی برای تخلیه فاضلاب‌ها، پساب‌های کارخانه‌ها و زهکش‌های کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به این که هر رودخانه ظرفیت پذیرش آلاینده‌های ورودی و خودپالایی آن‌ها را تا حدود معینی دارد، بنابراین بررسی کیفی آب رودخانه و آگاهی از روند تغییرات توان خودپالایی آن از اهمیت بسیاری برخوردار است [۱]. فرایند خودپالایی^۱ تأثیر تلفیقی از ترقیق^۲، ته‌نشینی^۳، جذب و تجزیه زیستی^۴ دارد که منجر به بهبود کیفیت آب رودخانه می‌شود [۲]. مدلسازی کیفی رودخانه‌ها یکی از ابزارهای کم‌هزینه و مهم در بررسی مشکلات بوده و راه‌حل‌ها در جهت بهبود وضعیت کیفی

می‌کند [۳].
البویر و همکاران^۵ به ارزیابی کاربرد مدل کیفیت آب Qual2kw برای حوضه رودخانه‌های کوچک و پاسخ رودخانه سرتیما^۶ در کشور پرتغال به بارگذاری‌های متفاوت نیتروژن و فسفر با کمک این مدل پرداختند. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که کاهش واقعی آلودگی‌های حاصل از بارگذاری نیتروژن و فسفر به ترتیب ۵ و ۱۰ دوره لازم است تا کلاس این رودخانه از

¹ Self-purification

² Rarefaction

³ Sedimentation

⁴ Re-composition

⁵ Pathogen

⁶ Biological or Biochemical Oxygen Demand

⁷ Dissolve Oxygen

⁸ B. Oliveir et al.

⁹ Certima

*نویسنده عهده‌دار مکاتبات: y_hoseini@uma.ac.ir

بدست آمده در طی دوره مورد مطالعه نشان داد که رودخانه کارون افزایش طولی داشته است؛ به طوری که در سال ۲۰۰۷ میلادی با ۴/۱ درصد نسبت به سال پایه (یعنی سال ۱۹۵۵ میلادی) افزایش مسیر داده است [۹].
شکری و همکاران^۱ شبیه‌سازی کیفی مؤلفه‌های آمونیم و نیترات را در طول رودخانه گرگر^۱ با استفاده از مدل Qual2kw برای سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۱ مطالعه کردند. نتایج حاصل از صحت‌سنجی نشان داد که این مدل تطابق خوبی را با واقعیت دارد و فاضلاب‌های روستاهای مسیر، پساب‌ها و فاضلاب‌های ماهی‌سراها، حوضچه‌های پرورش ماهی و زهکش‌های کشاورزی، مهم‌ترین منابع و مراکز آلوده‌کننده این رودخانه بوده‌اند [۱۰].
در این تحقیق، سعی شده است تا توان‌خودپالایی رودخانه کارون در سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۴ بررسی شود و قدرت خودپالایی این رودخانه طی گذشت زمان پنج‌ساله با توجه به تغییرات اقلیمی، برداشت آب از رودخانه و مدیریت پساب‌ها مورد ارزیابی قرار گیرد. لازم به ذکر است که تا کنون پژوهشی در ارتباط با تغییرات توان خودپالایی رودخانه کارون صورت نگرفته است و نتایج این بررسی با توجه به اهمیت مدیریت منابع آب در کشور می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های آینده در ارتباط با رودخانه کارون در نظر گرفته شود.

۲- مواد و روش‌ها

در این تحقیق، خودپالایی رودخانه کارون برای سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۴ با کمک مدل کالیبره‌شده Qual2kw شبیه‌سازی شده است. سپس نمودار شبیه‌سازی‌شده تغییرات مؤلفه‌های BOD (برحسب $C_{BOD_{slow}}$)، هدایت الکتریکی^{۱۱} (EC) و pH در این دو سال با نقاط اندازه‌گیری‌شده در بازه مطالعاتی (ایستگاه زرگان تا کوت‌امیر) مقایسه شده است. از مزیت‌های نسخه ۵/۱ مدل Qual2kw (که در این پژوهش بکار گرفته شده است)، کالیبراسیون خودکار آن به کمک الگوریتم ژنتیکی^{۱۲} است. در این صورت، ترکیبی بهینه از ضرایب و نرخ‌های سینتیک و زیستی به صورتی که مقادیر شبیه‌سازی بیش‌ترین نزدیکی را با مقادیر مشاهده‌شده داشته باشد را بدست می‌آورد [۳]. جدول ۱ ضرایب سینتیکی بکار گرفته‌شده در مدل را نشان می‌دهد.

معادله اصلی که مدل مذکور به حل عددی آن می‌پردازد، معادله جابجایی-پخش یک‌بعدی است که در رابطه ۱ آمده است [۳،۱۲].

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

که مؤلفه‌های آن به صورت زیر هستند:

C: غلظت ماده آلاینده (میلی‌گرم بر لیتر)

⁹ S. Shokri et al.

¹⁰ Gargar

¹¹ Electrical Conductivity

¹² Genetic Algorithm

یوتروفیک^۱ به مزوفیک^۲ تغییر کند [۴].
متیو و همکاران^۳ در یک تحقیق به بررسی کیفیت آب گل‌آلود رودخانه بستون‌مادی^۴ که در ایالات متحده‌ی آمریکا قرار دارد، با استفاده از مدل Qual2k پرداختند. تجزیه و تحلیل آب رودخانه مذکور با استفاده از این مدل نشان داد که کیفیت آب رودخانه کم‌تر تحت تأثیر بارش و نقطه ورودی فاضلاب قرار می‌گیرد [۵].

کریستی و بورگس^۵ از مدل Qual2kw به منظور شبیه‌سازی کمینه و بیشینه دمای آب در سه رودخانه کشور آمریکا استفاده کردند. هدف اصلی از این شبیه‌سازی، بررسی اثر پوشش گیاهی اطراف رودخانه بر دمای آب در طی چند دهه آینده بوده است. آن‌ها پس از بررسی احتمال‌های مختلف، افزایش پوشش گیاهی در امتداد رودخانه به منظور حفظ حیات آبیان را پیشنهاد دادند [۶].

کنل و همکاران^۶ به شبیه‌سازی اکسیژن محلول در رودخانه‌ای در آمریکا با ۶ مدل مختلف به نام‌های Qual2eu و QUASAR و Qual2kw و TOMCAT و WASP7 و SIMCAT پرداختند. نتایج بدست آمده نشان داد که خروجی‌های دو مدل TOMCAT و SIMCAT بسیار ساده بودند و به منظور بررسی کلی منابع نقطه‌ای مفید هستند. دو مدل WASP7 و QUASAR به علت در نظرگیری اثر مرگ‌ومیر جلبک‌ها، نسبت به مدل Qual2eu بسیار مناسب‌تر است. همچنین آن‌ها بیان کردند که خروجی مفید از یک مدل ریاضی وابسته به هدف مطلوب و مشخصی بوده که شبیه‌سازی برای آن انجام می‌شود [۷].

هاشمی و همکاران^۷ به تعیین سهم بار آلودگی ورودی از زیرحوضه‌های آبریز سد کرج به مخزن سد و به الویت‌بندی زیرحوضه‌های آلوده‌تر آن پرداختند. از این‌رو، مشخصه‌های کیفی مختلفی از جمله کل مواد جامد محلول، BOD_u ، آمونیم، نیترات و فسفات از زیرحوضه‌ها برای ماه آگوست ۱۳۸۵ و خرداد ماه سال ۱۳۸۶ تعیین شد و سپس بار ورودی به مخزن سد با استفاده از مدل QUAL2k شبیه‌سازی گردید. نتایج بدست آمده نشان داد که سهم بار آلودگی ورودی از شاخه‌های فرعی در آلودگی مخزن سد بیشتر از شاخه اصلی رودخانه است؛ به ویژه زیرحوضه‌های ولایت‌رود، شهرستانک و سیرا که در مجموع بیش از یک‌سوم بار آلودگی ورودی به مخزن را به خود اختصاص داده است [۸].

مرشدی و همکاران^۸ به بررسی تغییرات طولی رودخانه کارون از شوشتر تا اروندرود با استفاده از روش میانگین جهت‌دار خطی پرداختند. دوره زمانی بررسی آن‌ها به مدت ۵۲ سال و از سال ۱۹۵۵ تا ۲۰۰۷ میلادی بود. نتایج

¹ Eutrophic

² Mesophytic

³ M. Mathew et al.

⁴ Bostons Muddy

⁵ N. C. Cristea and S. J. Burges

⁶ P. R. Kannel et al.

⁷ H. Hashemi et al.

⁸ J. Morshedi et al.

K : منبع خارجی^۲ (میلی گرم)
 V : حجم المان

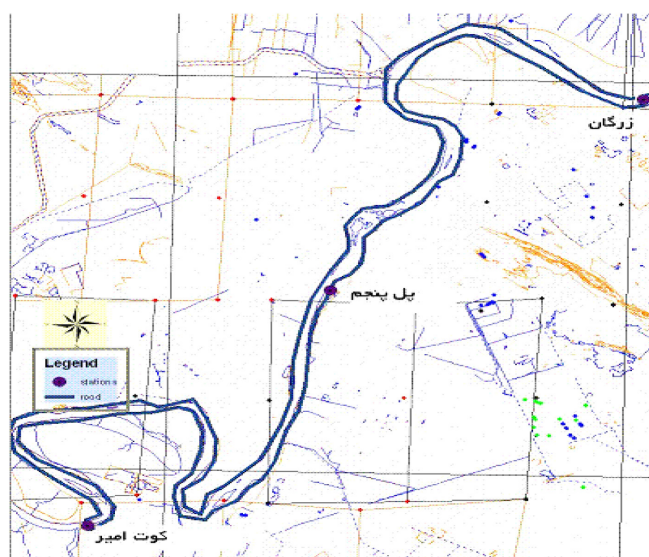
A : سطح مقطع المان یا بازه^۱ عمود بر جریان (متر مکعب)
 t : زمان (ثانیه)
 D_L : ضریب پراکندگی (متر مکعب بر ثانیه)
 x : طول رودخانه (متر)
 u : سرعت متوسط جریان (متر بر ثانیه)

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

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

منابع آلاینده وارد شده در مدل، منابع نقطه‌ای بوده‌اند. زیرا در بازه مطالعاتی، بیش‌ترین اثر مربوط به منابع نقطه‌ای حاصل از تخلیه فاضلاب‌های شهری و روستایی به رودخانه بوده که داده‌های مربوط به آن از بخش آزمایشگاه سازمان آب و برق اهواز جمع‌آوری شده است. شکل ۲ موقعیت فاضلاب‌های شهری ورودی به رودخانه کارون را در سال ۲۰۰۸ نشان می‌دهد.

² Source



شکل ۱: موقعیت ایستگاه‌ها در رودخانه کارون

Fig.1. Location of stations on the Karun River

¹ Reach

جدول ۱: ضرایب سینتیکی مورد استفاده در مدل [۱۱]

Table 1. The kinetic coefficients used in the model

مؤلفه	مقدار	واحد	علامت
استوکيومتری			
کربن	۴۰	gC	gC
نیتروژن	۷/۲	gN	gN
فسفر	۱	gP	gP
وزن خشک	۱۰۰	gD	gD
کلروفیل	۱	gA	gA
مواد معلق غیرآلی			
سرعت ته‌نشینی	۰/۵۸۴۵۳	m/d	v_i
اکسیژن			
مدل بازدمش	اکانر دوپینز (O'Connor-Dobbins)	-	-
ضریب اصلاحی دما	۱/۰۲۴	-	θ_a
اکسیژن برای اکسیداسیون کربن	۲/۶۹	gO_2/gC	r_{oc}
	۴/۵۷	gO_2/gN	r_{on}
اکسیژن خواهی زیست‌شیمیایی کند			
نرخ هیدرولیز	۰/۲۷۹۸۵	$/d$	k_{hc}
ضریب اصلاحی دما	۱/۰۴۷	-	θ_{hc}
نرخ اکسیداسیون	۰/۱۰۵۴۹	$/d$	k_{dcs}
اکسیژن خواهی زیست‌شیمیایی تند			
نرخ اکسیداسیون	۰/۲۰۵۷۵	$/d$	k_{dc}
ضریب اصلاحی دما	۱/۰۴۷	-	θ_{dc}
نیترات			
ازت‌دهی	۱/۷۹۰۹۲	$/d$	k_{dn}
ضریب اصلاحی دما	۱/۰۷	-	θ_{dn}
انتقال ازت‌دهی بستر	۰/۸۳۴۹۱	m/d	v_{di}
نسبت فشار دی‌اکسید کربن	۳۴۷	ppm	p_{CO_2}

می‌شود و با کنترل BOD به رودخانه کارون می‌ریزد.

۲-۲- روش

از آنجایی که کیفیت آب رودخانه تحت تأثیر دبی و درجه حرارت است، بنابراین برای تعیین ماه بحرانی با تحلیل دبی برای شرایط کم‌آبی در ۲۰ سال آماری برای ایستگاه اهواز، ماه آگوست به عنوان ماه کم‌آبی انتخاب شد. به منظور استفاده از مدل، نیاز است تا طول بازه مورد مطالعه به تعدادی بازه کوچکتر تقسیم شود. به این منظور، مسیر رودخانه به ۱۰ بازه تقسیم‌بندی شد. مؤلفه‌های هیدرولیکی ورودی مدل شامل شیب کانال در هر بازه، مقدار مؤلفه ثابت مانینگ^۲ و عرض کف رود بوده است. عرض کف رودخانه با رسم پروفیل هر بازه توسط نرم‌افزار GIS و بر اساس سطح مقطع هر بازه محاسبه شد. شیب کانال بر مبنای اختلاف ارتفاع ابتدا و انتهای بازه تقسیم بر طول بازه محاسبه گردید و ضریب زبری رودخانه کارون به میزان $0.28/0$ در نظر گرفته شد [۱۴]. مشخصات هواشناسی روزهای مورد بررسی در مدل شامل سرعت باد، نقطه شبنم، درصد ابرناکی، انرژی تابشی خورشید و دمای هوا طی ۲۴ ساعت، از داده‌های وبسایت بین‌المللی هواشناسی گرفته شده است [۱۵].

برای ارزیابی دقت هر یک از مؤلفه‌های شبیه‌سازی شده با مقادیر مشاهداتی، از مربع ضریب همبستگی^۳ (R^2) و متوسط خطای مطلق^۴ (MAE) استفاده شد [۲]. در مؤلفه‌های شبیه‌سازی شده، هرچه میزان ضریب همبستگی به عدد یک و متوسط خطای مطلق به عدد صفر نزدیک‌تر باشد، کارکرد مدل از اطمینان بالاتری برخوردار است. مقدار MAE مطابق رابطه ۲ محاسبه شده است.

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |(X_{p_i} - X_{o_i})| \quad (2)$$

که مؤلفه‌های آن به صورت زیر هستند:

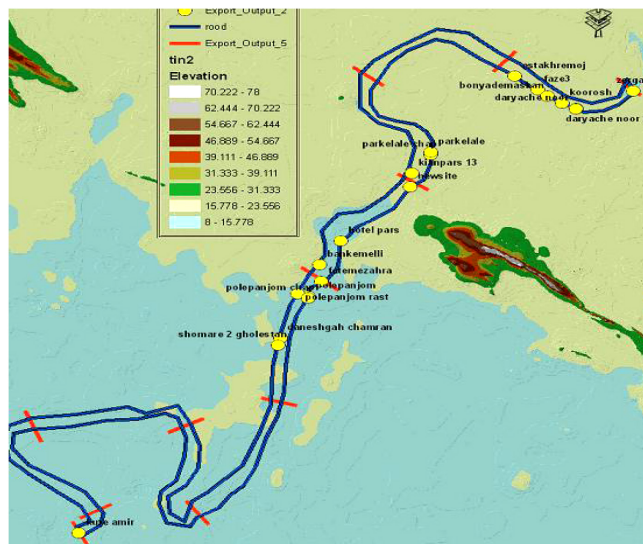
X_o : مقادیر مشاهده‌شده

X_p : مقادیر شبیه‌سازی‌شده

N : تعداد نمونه

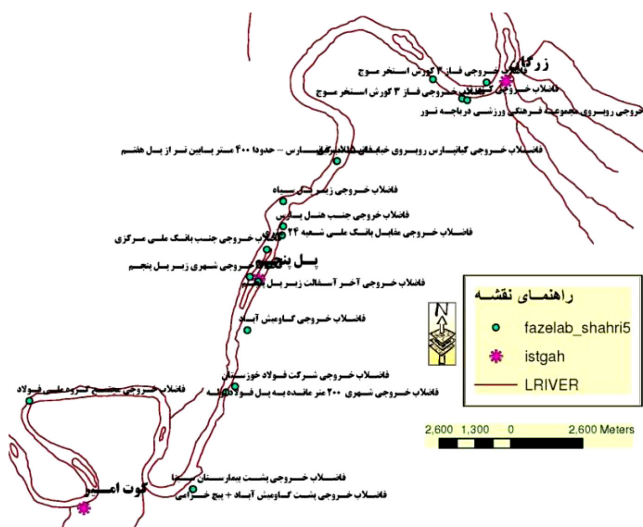
۳- نتایج

شکل ۴ تغییرات مؤلفه هدایت الکتریکی (EC) شبیه‌سازی شده را توسط مدل Qual2kw در ماه ژانویه سال ۲۰۱۴ نشان می‌دهد. در این نمودار، مقدار مؤلفه EC از سراب (ایستگاه زرگان) با ورود فاضلاب‌های ورودی منطقه کوروش (استخر موج) افزایش می‌یابد؛ به صورتی که طبق پیش‌بینی مدل، در کیلومتر $3/1$ به بیشترین میزان خود و معادل با 3020 میکروموس^۵ می‌رسد. در ادامه، بازه مطالعاتی تا کیلومتر ۱۷ کمی کاهش یافته و از آن



شکل ۲: موقعیت فاضلاب‌های شهری ورودی به رودخانه کارون در سال ۲۰۰۸

Fig. 2. Location of urban wastewater input to the Karun River in 2008



شکل ۳: موقعیت فاضلاب‌های شهری و پساب‌های صنعتی ورودی به رودخانه کارون در سال ۲۰۱۴

Fig. 3. Location of urban and industrial wastewater input to the Karun River in 2014

شکل ۳ موقعیت فاضلاب‌ها و پساب‌های صنعتی ورودی به رودخانه کارون را در سال ۲۰۱۴ نشان می‌دهد. شرکت‌های صنعتی واقع در بازه مطالعاتی شامل شرکت ملی فولاد اهواز، نورد لوله اهواز و نورد کاپوین است که دارای تصفیه‌خانه هستند و پساب آن‌ها طی فرآیند لجن فعال^۱ کنترل

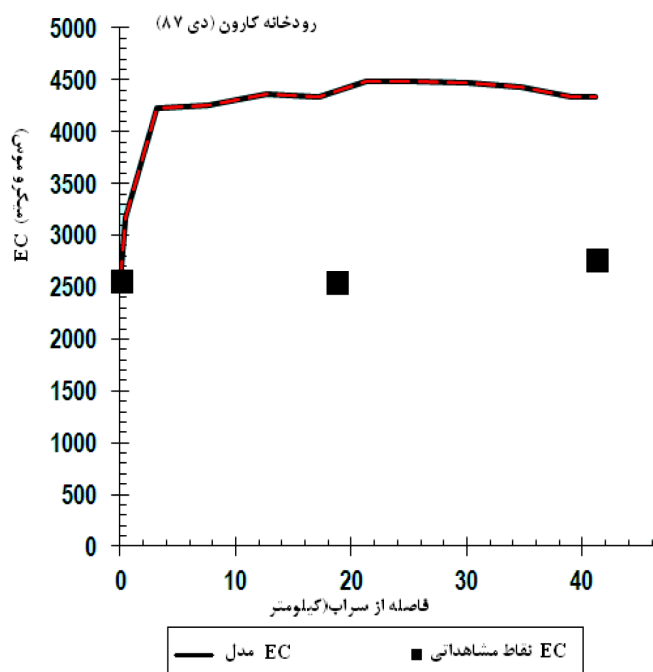
¹ Activated Sludge

² Manning

³ square correlation coefficient

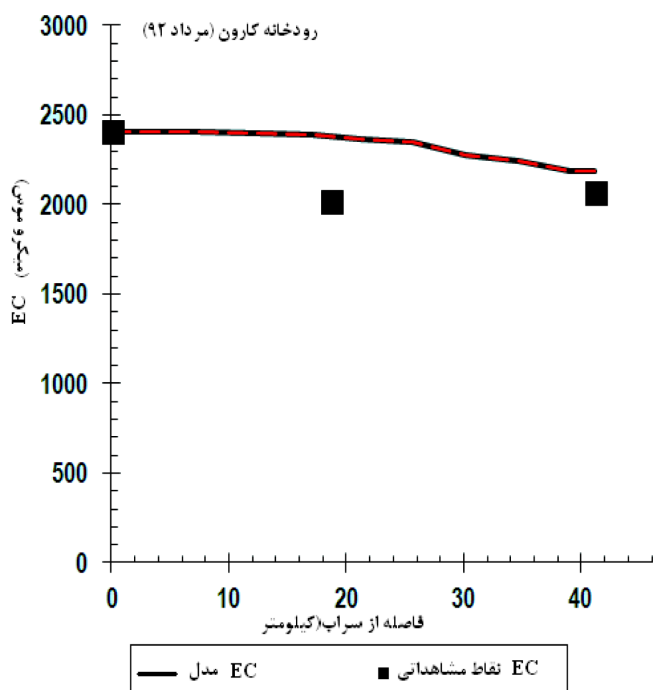
⁴ mean absolute error

⁵ micromhos



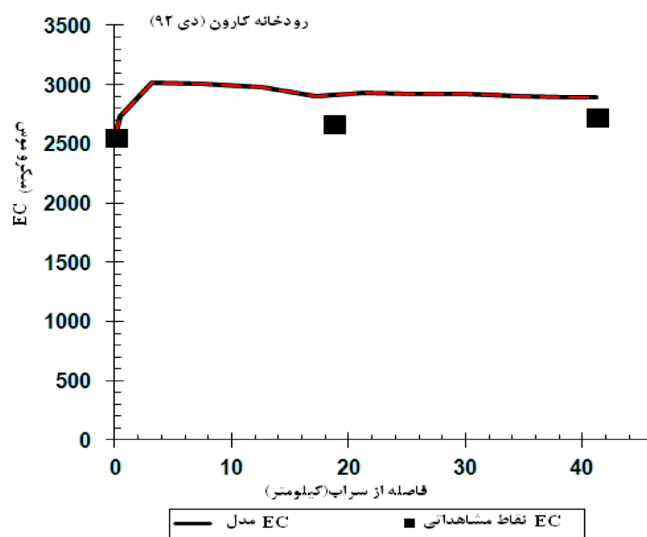
شکل ۵: تغییرات EC اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده در ماه ژانویه ۲۰۰۸

Fig. 5. Measured and simulated changes of EC, January of 2008



شکل ۶: تغییرات EC اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده در ماه آگوست ۲۰۱۴

Fig. 6. Measured and simulated changes of EC, August of 2014



شکل ۴: تغییرات EC اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده در ماه ژانویه ۲۰۱۴

Fig. 4. Measured and simulated changes of EC, January of 2014

پس با یک مقدار تقریباً ثابت تا انتهای مسیر پیش می‌رود. با توجه به شکل ۴، رودخانه در محدوده مورد مطالعه در این ماه قادر به خودپالایی نبوده است؛ به صورتی که اختلاف معنی‌داری بین مقادیر ابتدا و انتهای این بازه مشاهده نشده است. اگرچه میزان تبخیر و اثر کاهش حجم دبی در ماه‌های خنک سال کمتر است، اما اثر منابع غیرنقطه‌ای که حاصل شستشوی زمین‌های اطراف رودخانه بوده، بیش‌تر است. از این‌رو، میزان تغییرات این مؤلفه در ماه ژانویه کاهش چشمگیری را نشان نمی‌دهد. نوشادی^۱ در شبیه‌سازی رودخانه کر در ماه ژانویه و آگوست، همین مطلب را برای این مؤلفه عنوان کرده است و بیان می‌دارد که آلودگی‌های ناشی از رواناب به عنوان یک منبع غیرمتمرکز آلودگی هستند و مدل‌ها به سختی می‌توانند آن را پیش‌بینی کنند [۱۶]. مقادیر نقاط اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های اهواز و کوت‌امیر تا حدودی نزدیک به مقادیر شبیه‌سازی شده بوده است. مقدار R^2 و MAE برای این نمودار به ترتیب برابر با ۰/۸۷ و ۴۴ محاسبه شده است.

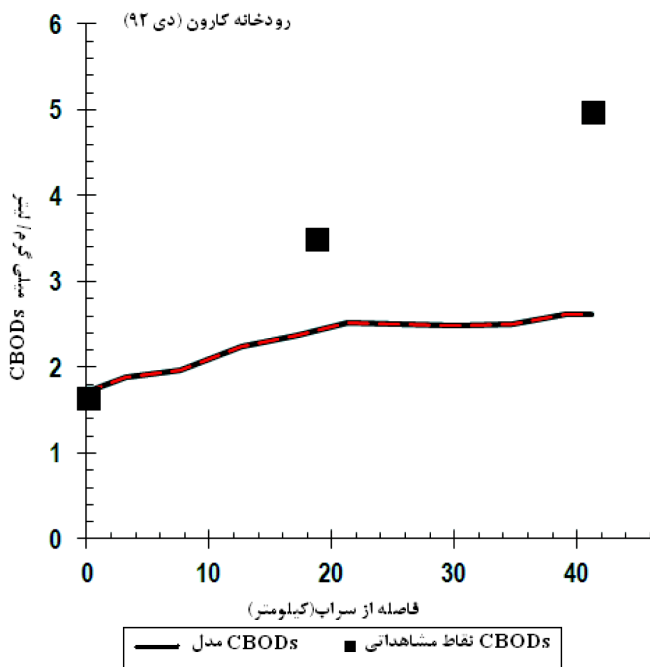
شکل ۵ نمودار تغییرات مؤلفه EC را در ماه ژانویه سال ۲۰۰۸ نشان می‌دهد. مؤلفه EC در ابتدا با شیب تندی تا ۳/۱ کیلومتر افزایش یافته و سپس با شیب ملایم‌تری تا ۱۷ کیلومتر افزایش می‌یابد. پس از آن و با ورود فاضلاب‌های مرکز شهر اهواز، یک افزایش ناگهانی داشته است و در ادامه با شیب بسیار ملایمی تا انتهای مسیر با کمی کاهش ادامه پیدا می‌کند. همچنین بررسی نقاط اندازه‌گیری شده نیز کمی کاهش را در ایستگاه میانی و سپس افزایش این مؤلفه را در انتهای مسیر نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که مقادیر اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌ها با مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل تفاوت دارد که این موضوع، می‌تواند به دلیل فاصله زمانی

^۱ M. Noshadi

مقدار تقریباً ثابتی تا انتهای بازه مطالعاتی طی می‌شود که این موضوع، از خودپالایی کم این مؤلفه حکایت دارد. البته مقادیر اندازه‌گیری شده اعداد کمتری را نشان می‌دهند. اما روند افزایش EC در این بازه در هر دو مورد (مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده) کاملاً مشهود است. مقدار R^2 و MAE به ترتیب برابر با ۰/۷۷ و ۲۴۷ بوده است.

از مقایسه دو نمودار ماه آگوست سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۴، مشخص شد که مقادیر مؤلفه EC در سال ۲۰۱۴ نسبت به سال ۲۰۰۸ کاهش پیدا کرده است و به نظر می‌رسد که کاهش حجم پساب‌های ورودی سبب این امر باشد. همچنین رودخانه کارون در سال ۲۰۱۴ تا حدودی قادر به خودپالایی رودخانه در بازه مطالعاتی بوده است؛ اما در سال ۲۰۰۸ این امر میسر نشده است.

شکل ۸ تغییرات اکسیژن‌خواهی زیست‌شیمیایی آهسته (BODs) را در ماه ژانویه سال ۲۰۱۴ نشان می‌دهد. نمودار گویای افزایش BOD از ابتدای مسیر تا ۲۱ کیلومتر به دلیل ورود فاضلاب‌های ابتدا و مرکز شهر اهواز است. سپس این مؤلفه در رودخانه تا ۳۴ کیلومتر ثابت باقی می‌ماند و با ورود فاضلاب شرکت فولاد کمی افزایش یافته و در ادامه ثابت می‌شود. اما نقاط اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های نامبرده افزایش BOD را با شیب تندی نشان می‌دهند؛ به صورتی که اختلاف مقادیر ابتدا و انتها کاملاً محسوس است و از عدم خودپالایی رودخانه در این مؤلفه حکایت دارد. میزان این مؤلفه در ماه ژانویه به علت افزایش رواناب‌ها و مواد آلی حاصل



شکل ۸: تغییرات BODs اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده در ماه ژانویه ۲۰۱۴

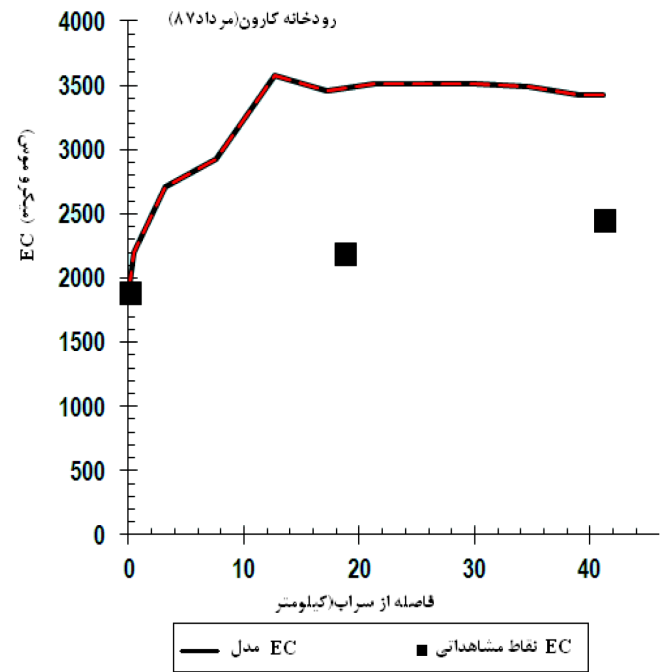
Fig. 8. Measured and simulated changes of BOD, January of 2014

متفاوت نمونه‌گیری‌ها باشد. با توجه به شکل ۵، رودخانه با توجه به حجم فاضلاب‌های ورودی قادر به خودپالایی در بازه مورد مطالعه نبوده و مقادیر R^2 و MAE به ترتیب برابر با ۰/۲۱ و ۳۷۲ بوده است.

مقایسه دو نمودار ماه ژانویه سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۴ مربوط به تغییرات مؤلفه EC نشان می‌دهد که حجم پساب‌های ورودی به رودخانه کارون در سال ۲۰۰۸ بیشتر از سال ۲۰۱۴ بوده است. به همین دلیل، پیش‌بینی مدل مقادیر بیشتری را در این سال نشان می‌دهد و در هر دو سال نیز در مؤلفه EC خودپالایی صورت نگرفته است.

شکل ۶ تغییرات مؤلفه EC را در ماه آگوست سال ۲۰۱۴ نشان می‌دهد. طبق پیش‌بینی مدل، مقدار این مؤلفه با پیمایش تقریباً ۴۲ کیلومتر از ۲۴۱۰ میکروموس به ۲۱۸۹ میکروموس (با شیب ملایم) کاهش می‌یابد که مقادیر اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های واقع در ابتدا و انتهای مسیر نیز این مطلب را تأیید می‌کنند. در واقع، رودخانه کارون در این سال با توجه به حجم منابع نقطه‌ای ورودی قادر به خودپالایی این مؤلفه در این ماه بوده است. نتایج محاسبه R^2 و MAE به ترتیب مقادیر ۰/۲۲ و ۵۴ را نشان داد.

شکل ۷ تغییرات مؤلفه EC را در ماه آگوست سال ۲۰۰۸ نشان می‌دهد که مقدار EC در آن زمان، با طی ۴۲ کیلومتر با توجه به حجم پساب‌های ورودی افزایش می‌یابد و رودخانه قادر به خودپالایی این مؤلفه در این مسیر نبوده است. در شبیه‌سازی مدل، بیشترین EC در ۱۲/۶ کیلومتر بوده است. این مؤلفه از ۱۳ تا ۱۸ کیلومتر کمی کاهش می‌یابد و در ادامه مسیر با



شکل ۷: تغییرات EC اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده در ماه آگوست ۲۰۰۸

Fig. 7. Measured and simulated changes of EC, August of 2008

مستقیم ادامه می‌یابد. به طور کلی، نمودار از خودپالایی BOD در طی این مسیر حکایت دارد؛ به صورتی که مقدار $4/1$ میلی‌گرم بر لیتر در ابتدای مسیر با وجود پساب‌های ورودی در انتهای مسیر به عدد $2/98$ می‌رسد. همچنین مقادیر اندازه‌گیری شده نیز نشان از کاهش BOD در طی مسیر و خودپالایی رودخانه دارد. مقادیر اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های ابتدایی و انتهایی مسیر با مقادیر شبیه‌سازی شده مدل مطابقت دارد. اما مقدار اندازه‌گیری شده در ایستگاه میانی پل پنجم اهواز بیشتر از مقدار شبیه‌سازی شده بوده که این موضوع می‌تواند به علت جریان‌های ورودی غیرنقطه‌ای در این مسیر به داخل رودخانه باشد که این امر با توجه به ماه بارندگی و افزایش ورودی زهکش‌های مختلف قابل قبول است. این مطلب مشابه نتایج مطالعه جعفرزاده و همکاران^۳ بر روی رودخانه کارون با مدل Qual-2E است. آن‌ها مقادیر COD اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های مشابه را بیش‌تر از مقادیر شبیه‌سازی حاصل از مدل یافتند [۱۹]. مقادیر بدست آمده برای R^2 و MAE برابر با $0/41$ و $0/37$ بودند.

مقایسه دو نمودار و نقاط اندازه‌گیری شده در سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۴ برای مؤلفه BOD نشان می‌دهد که اثر منابع غیرنقطه‌ای (لحاظ نشده در مدل) در ماه ژانویه برای هر دو سال کاملاً محسوس و مؤثر بوده است. شکل ۱۰ نمودار تغییرات BOD را در ماه آگوست سال ۲۰۱۴ نشان می‌دهد که در این نمودار، BOD در ابتدای مسیر تا کیلومتر $25/6$ با شیب ملایم کاهش یافته و سپس با ورود فاضلاب پشت بیمارستان سینا افزایش می‌یابد. همچنین مقادیر اندازه‌گیری شده نشان از افزایش BOD در طول مسیر دارد. در کل به نظر می‌رسد که رودخانه در مقدار این مؤلفه نتوانسته است تا کاهش و خودپالایی را صورت دهد. مقادیر R^2 و MAE نیز به ترتیب برابر با $0/48$ و $0/24$ محاسبه شده است.

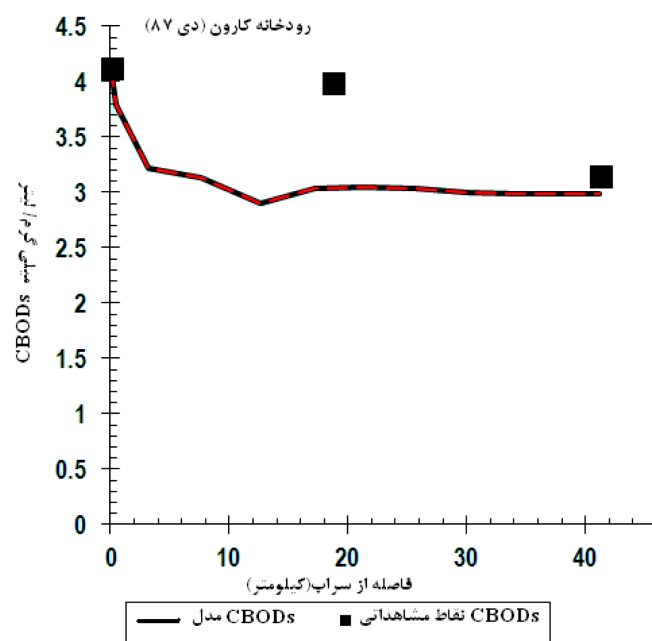
شکل ۱۱ نمودار تغییرات مؤلفه BOD را در ماه آگوست سال ۲۰۰۸ نشان می‌دهد که مطابق با آن، BOD تا ایستگاه میانی (پل پنجم اهواز) افزایش داشته و سپس تا ایستگاه انتهایی (کوت‌امیر) کاهش می‌یابد. این روند در تغییرات مقادیر مشاهداتی این مؤلفه، در ایستگاه‌ها نیز قابل تشخیص است. اگرچه مقادیر اندازه‌گیری شده با خط نمودار شبیه‌سازی شده اختلاف دارند. اما این اختلاف در حدود $0/3$ میلی‌گرم بر لیتر است. در واقع، مدل در این نمودار به جزئیات نپرداخته و تغییرات شبیه‌سازی شده برای این مؤلفه را در حد دهم میلی‌گرم بر لیتر نشان می‌دهد. در کل، مؤلفه BOD با توجه به حجم پساب‌های ورودی طبق مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده کاهش یافته و رودخانه قادر به خودپالایی بوده است. همچنین مقادیر R^2 و MAE به ترتیب برابر با $0/18$ و $0/19$ محاسبه شدند.

مقایسه دو نمودار در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ نشان می‌دهد که مقدار BOD در ماه آگوست سال ۲۰۱۴ به طور کلی بیشتر از مقدار این مؤلفه در ماه مشابه در سال ۲۰۰۸ بوده است.

شکل ۱۲ نمودار تغییرات pH را در ماه ژانویه سال ۲۰۱۴ در بازه

از شستشوی مزارع نسبت به ماه آگوست افزایش یافته است. از طرفی تخلیه متعدد فاضلاب‌های شهری و روستایی و صنعتی به صورت روزانه بر میزان آن می‌افزاید؛ به صورتی که مقادیر اندازه‌گیری شده در این بازه از $1/6$ تا 5 میلی‌گرم بر لیتر نوسان داشته است. مهرداد و همکاران^۱ در ارزیابی پتانسیل خودپالایی رودخانه تجن با استفاده از مدل Qual-2E بیان کردند که میزان BOD و اکسیژن‌خواهی شیمیایی^۲ (COD) در نیمه دوم هر سال بیش‌تر از نیمه اول آن است [۱۷]. به استثنای نقطه ابتدایی، مدل در دیگر نقاط به دلیل تأثیر منابع غیرنقطه‌ای در این ماه به خوبی قادر به شبیه‌سازی نبوده است. در ایستگاه کوت‌امیر، تأثیر منابع غیرنقطه‌ای به حدی بوده که مقدار اندازه‌گیری شده به 5 میلی‌گرم در لیتر رسیده است. مؤلفه BOD شاخص آلودگی آب به مواد آلی است [۱۸] و این مقدار نشان‌دهنده کاهش اکسیژن محلول در آب (DO) و نامناسب بودن آب برای ماهی‌ها و دیگر آبریان آن منطقه است. مقدار R^2 و MAE برای این نمودار به ترتیب برابر با $0/95$ و $1/16$ محاسبه شده است.

شکل ۹ تغییرات BODs را در ماه ژانویه سال ۲۰۰۸ نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، این مؤلفه از ایستگاه زرگان تا کیلومتر $3/16$ با شیب تندی کاهش می‌یابد. سپس در کیلومتر $12/6$ به کمترین میزان خود می‌رسد و در طی 5 کیلومتر بعدی با ورود فاضلاب جنب پارک لاله کمی افزایش می‌یابد و تا انتهای مسیر نیز تقریباً با یک مقدار ثابت و به صورت یک خط



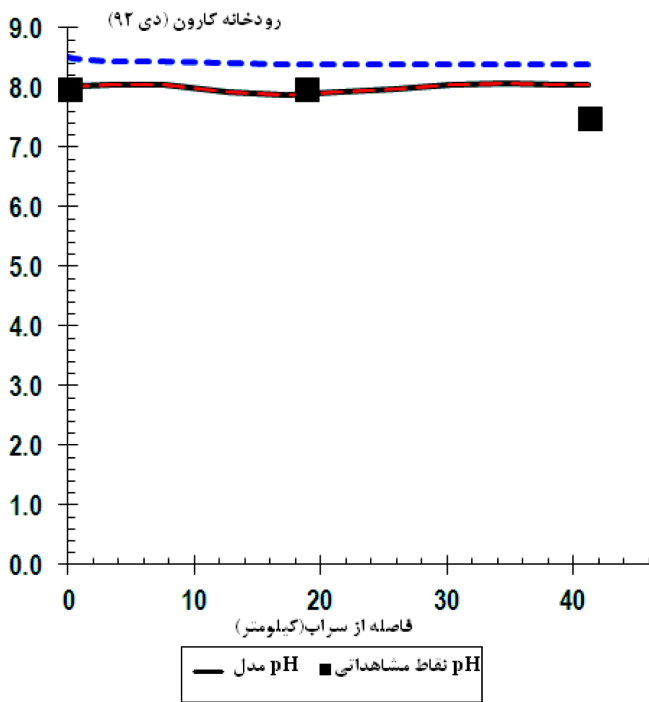
شکل ۹: تغییرات BODs اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده در ماه ژانویه ۲۰۰۸

Fig. 9. Measured and simulated changes of BOD, January of 2008

¹ N. Mehrdadi et al.

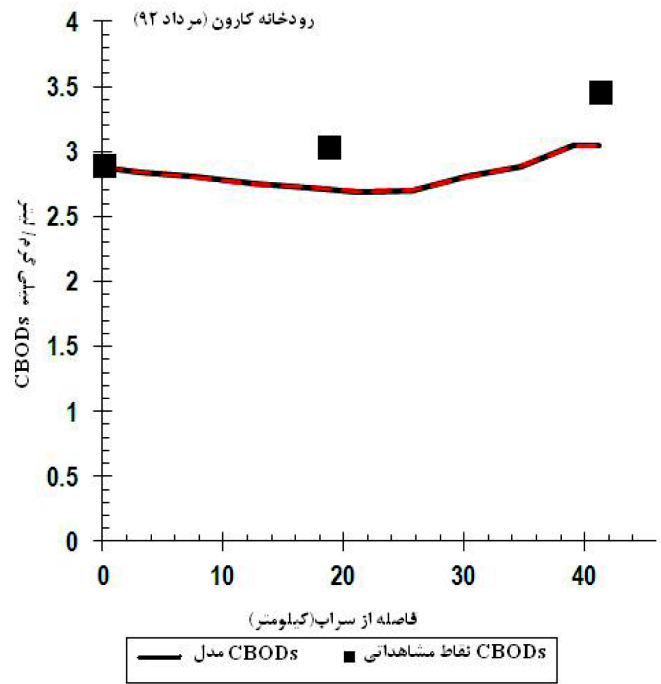
² chemical oxygen demand

³ N. Jafarzadeh et al.



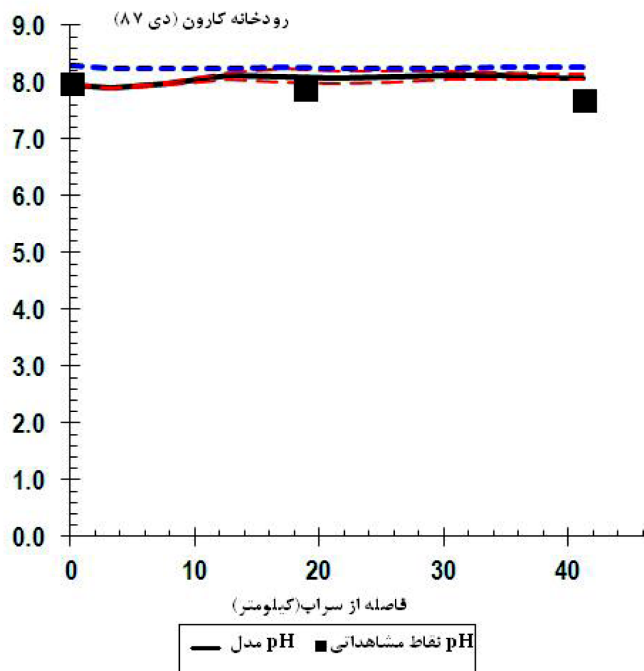
شکل ۱۲: تغییرات pH اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده در ماه ژانویه ۲۰۱۴

Fig. 12. Measured and simulated changes of pH, January of 2014



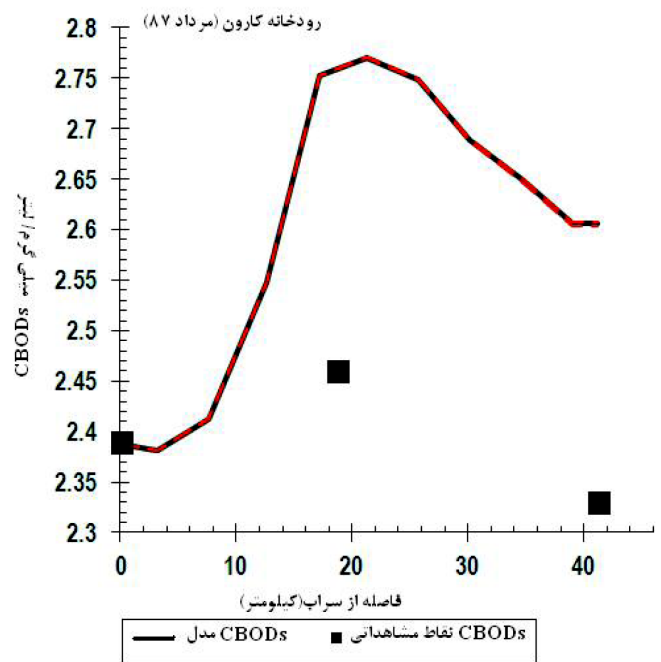
شکل ۱۰: تغییرات BODs اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده در ماه اگوست ۲۰۱۴

Fig. 10. Measured and simulated changes of BOD, August of 2014



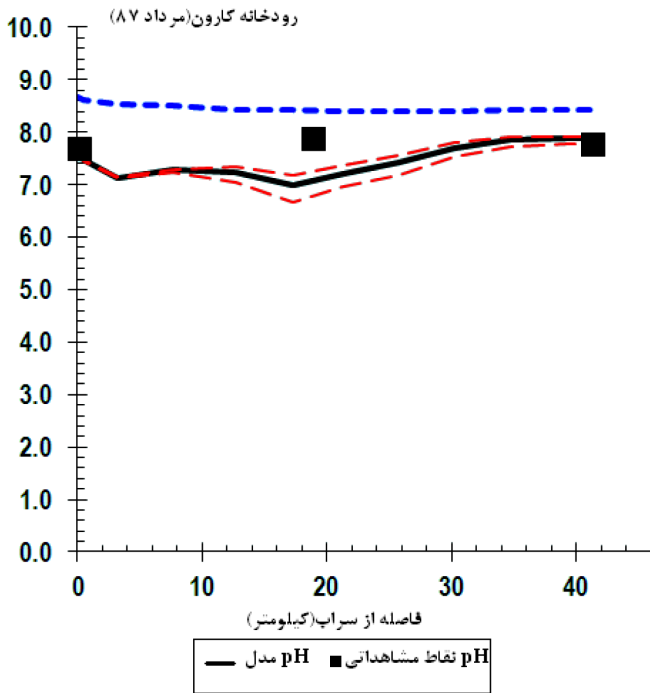
شکل ۱۳: تغییرات pH اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده در ماه ژانویه ۲۰۰۸

Fig. 13. Measured and simulated changes of pH, January of 2008



شکل ۱۱: تغییرات BODs اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده در ماه اگوست ۲۰۰۸

Fig. 11. Measured and simulated changes of BOD, August of 2008



شکل ۱۵: تغییرات pH اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده در ماه آگوست ۲۰۰۸

Fig. 15. Measured and simulated changes of pH, August of 2008

روستایی در این محدوده را می‌توان از دلایل آن برشمرد. شکل ۱۴ نمودار ماه آگوست سال ۲۰۱۴ برای مؤلفه pH است. این نمودار، pH تا کیلومتر ۱۸ با شیب ملایمی افزایش می‌یابد و سپس به شکل یک خط مستقیم تا انتهای مسیر بازه مورد مطالعه پیش می‌رود. اگرچه مقادیر اندازه‌گیری شده در ایستگاه میانی به مقدار کمی از نمودار فاصله دارد، اما شبیه‌سازی خوبی توسط مدل Qual2kw برای این مؤلفه صورت گرفته است. مقادیر R^2 و MAE به ترتیب برابر با ۰/۴۸ و ۰/۲۴ بوده است.

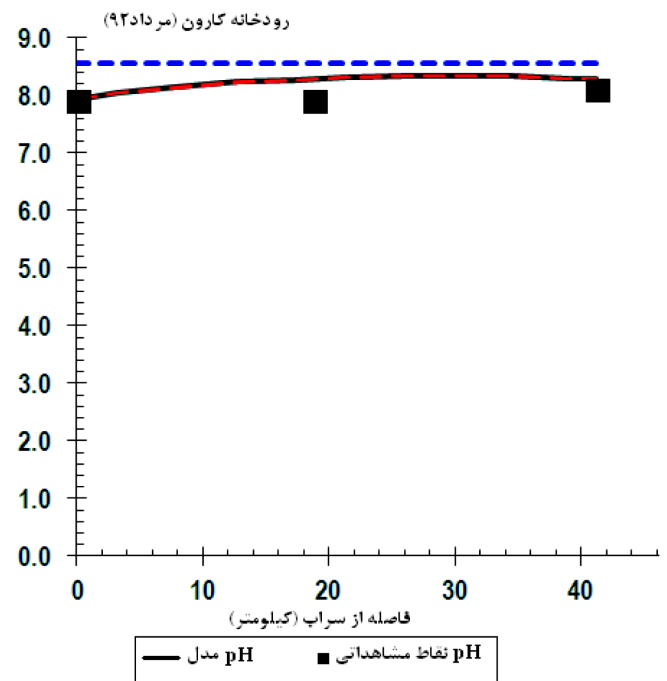
شکل ۱۵ نمودار تغییرات مؤلفه pH در ماه آگوست سال ۲۰۰۸ است. این مؤلفه در ابتدا تا کیلومتر ۳ کاهش می‌یابد. سپس تا کیلومتر ۱۲ افزایش یافته و پس از آن، تا کیلومتر ۱۷ به کمترین مقدار خود طبق پیش‌بینی مدل (یعنی عدد ۶/۹۸) می‌رسد. لازم به ذکر است که مقادیر مشاهده‌شده، اعدادی بیشتر از این مقدار را نشان می‌دهد. در ادامه، مؤلفه pH تا کیلومتر ۳۴ بازه مورد مطالعه افزایش یافته و با عدد ۷/۹۳ تا انتهای مسیر ثابت می‌ماند. مقادیر اندازه‌گیری شده در ایستگاه ابتدایی و انتهایی، کاملاً منطبق با نمودار شبیه‌سازی مدل است. مقادیر R^2 و MAE به ترتیب برابر با ۰/۷۱ و ۰/۳ بوده است.

مقایسه دو نمودار ماه آگوست مربوط به سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۴ برای مؤلفه pH نشان می‌دهد که مقادیر pH در سال ۲۰۱۴ بیشتر شده است و آب در این ماه مانند ماه ژانویه قلیایی بوده است.

مطالعاتی نشان می‌دهد. برای تعیین میزان pH توسط مدل معادلات تعادل، از موازنه جرم و الکترون خنثی (که در آن، کربن غیرآلی عامل تعیین‌کننده است) بهره گرفته می‌شود. این شکل نشان می‌دهد که pH از کیلومتر ۷ تا کیلومتر ۱۸ با شیب ملایم کمی کاهش می‌یابد. اما در ادامه و با ورود فاضلاب‌های مرکز شهر کمی افزایش یافته و تا انتها به صورت مستقیم و با مقدار ثابتی طی می‌شود. اما اختلاف مقادیر این مؤلفه در انتها و ابتدای مسیر، خیلی محسوس نیست و در مجموع، رودخانه کارون قادر به خودپالایی این مؤلفه نبوده است. مقادیر اندازه‌گیری شده در انتهای مسیر، کمی پایین‌تر از خط نمودار شبیه‌سازی شده است. اما به طور کلی، مقادیر اندازه‌گیری شده انطباق خوبی را با نمودار شبیه‌سازی شده توسط مدل داشته و مقادیر R^2 و MAE نیز به ترتیب برابر با ۱ و ۰/۱۸ بوده است.

شکل ۱۳ نمودار ماه ژانویه را برای تغییرات pH در سال ۲۰۰۸ نشان می‌دهد. pH در ابتدای مسیر تا کیلومتر ۱۲/۶ کمی افزایش می‌یابد و این مؤلفه در ادامه مسیر، به شکل خطی مستقیم و با مقدار تقریباً ثابت ۸ مسیر را طی می‌کند. مقادیر اندازه‌گیری شده نیز با نمودار شبیه‌سازی شده همخوانی خوبی دارد و R^2 و MAE نیز به ترتیب برابر با ۰/۱۵ و ۰/۲۶ محاسبه شده است.

مقایسه شکل‌های ۱۲ و ۱۳ تغییرات چشمگیری را در مؤلفه pH برای سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۴ در ماه ژانویه نشان نمی‌دهد. آب رودخانه در هر دو سال برای ماه ژانویه قلیایی بوده است و تخلیه زیاد فاضلاب‌های شهری و



شکل ۱۴: تغییرات pH اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده در ماه آگوست ۲۰۱۴

Fig. 14. Measured and simulated changes of pH, August of 2014

۴- نتیجه گیری

با شبیه‌سازی نمودارهای تغییرات مؤلفه‌های pH و EC و BOD رودخانه کارون در سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۴ توسط مدل QUAL2kw مشخص شد که در سال ۲۰۱۴ برای مؤلفه BOD و در سال ۲۰۰۸ برای مؤلفه EC با توجه به حجم منابع نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای، رودخانه کارون قادر به خودپالایی نبوده است. همچنین عدم خودپالایی در مؤلفه EC برای سال ۲۰۱۴ در ماه ژانویه (ماه بارندگی) نیز مشاهده شد. مقایسه تغییرات توانایی خودپالایی رودخانه کارون در هر دو سال نشان داد که با گذشت ۵ سال مشکل افزایش مؤلفه EC و افزایش شوری آب در رودخانه کارون حل نشده است و افزایش مؤلفه BOD آب و عدم توانایی رودخانه در خودپالایی آن (به ویژه در ماه‌های بارندگی)، از مشکلات آینده این رودخانه خواهد بود. همچنین pH آب رودخانه در هر دو سال بالاتر از عدد ۷ و در نتیجه قلیایی بوده است. مدل با توجه به مقادیر R^2 و MAE بهترین شبیه‌سازی را برای مؤلفه pH و سپس به ترتیب برای مؤلفه‌های BOD و EC داشته است. ترکیب نتایج این پژوهش با مطالعات زیست‌محیطی در ارتباط با مهاجرت گونه‌های ماهی‌ها و الگوی رشد آن‌ها در سال‌های اخیر، به نتایج علمی جدیدتری منجر خواهد شد.

قدردانی

در پایان، نویسندگان مراحل تشکر و قدردانی خویش را از بخش آزمایشگاه سازمان آب و برق اهواز اعلام می‌دارند که در این تحقیق ایشان را یاری نمودند.

مراجع

- Bucci, V.; Leatoo, Ch.; Njoka, D.; Wei, I. and Hellweger, L.; "Anatomy of an urban waterbody, A case study of bostons muddy river", *Environmental Pollution*, Vol. 159, pp. 1996-2002, 2011.
- [6] Cristea, N. C. and Burges, S. J.; "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*, Vol. 102, pp. 493 – 520, 2010.
- [7] Kannel, P, R., kannel, S, R., Lee, S., Lee, y, s., Thian, Y, G; 2011; "A Review of Public Domain Water Quality Models for Simulating Dissolved Oxygen in Rivers and Streams", *Environmental Modeling and Assessment*, 16, 183-204.
- [8] Hashemi, H.; Ghasemieziarani, A.; and Rangkesh, Y.; "Allocation of pollution input from sub basins to AmirKabir dam reservoir using Qual2k model". *Ecology*. Vol. 57, pp. 1-8, 2011. (in Persian).
- [9] Morshedi, j.; Alavipanah, K.; and Moghimi, A. "Investigation of longitudinal variations of Karun River using linear directional mean method (studied area: from Shooshtar to Arvand)", *Ecology*. Vol. 39, No. 4, pp. 89-104, 2014. (in Persian).
- [10] Shokri, S.; Hooshmand, A. R.; and Moazed, H.; "Qualitative Simulation of Ammonium and Nitrate along the Gargar River Using the Qual2Kw Model". *Journal of Wetland Ecology*, Vol. 6, No. 23, pp. 57-68, 2016. (in Persian).
- [11] Hoseini, P.; "Self-Purification of Karun River in Ahvaz city". M.Sc. thesis. Faculty of Natural Resources and Environments, Department of Environment. Malayer University. Iran. 2013. (in Persian).
- [12] Azimi, M. M.; Ghavvasieh, A. R.; Hashemi, H.; Barketin, S. and Jaafari Gol, F.; "Evaluation of the Self-purification Ability of Rivers with the Help of Results Obtained from Qualitative Simulation; Case Study: The Sefid Rud River", *The National Conference on Water with the Clean Water Approach, the Faculty of Power and Water (Shahid Abbaspour), Shahid Beheshti University*, 2010. (in Persian).
- [13] Barutkoob, A.; "Spot pollutants in the basins of the Dez and Karun rivers", *Eighth International River Engineering Conference, Shahid Chamran university of Ahvaz*. 2009. (in Persian).
- [14] Rahimi Shooshtari, M.; Pirnia, A.; Mahmoodian Shooshtari, M. and Rahimi Shooshtari, M.; "Estimating the Manning Resistance Coefficient in a Segment of the Great Karun River using the MIKE11 Software", *the Third National Conference on Urban Development*,
- [1] Mirzaee, M.; Aminirad, H.; Gholbabaiekutnaie, F. and Yusefiekebriaie, D.; "Check the Quality of Water in Babolrood River Basin with Qual2k Software", *6th National Conference and Exhibition of Environmental Engineering*. Tehran, Iran, 2012. (in Persian).
- [2] Office of Deputy for Strategic Supervision.; "Guideline Manual for Assimilative Capacity Studies in Rivers No. 481," *Vice presidency for strategic planning and supervision*, 2009 (in Persian).
- [3] Pellerire, G. J. and Chapra, S. C.; "Qual2kw-Theory and documentation (Version 5.1) A modeling framework for simulating river and stream quality", *Washington Department of Ecology-Washington State*, 2008.
- [4] Oliveir, B.; Bola, J.; Nadais, H. and Arroja, L.; "Application of Qual2Kw model as a tool for water quality management, Certima River as a case study", *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol. 184, No.10, pp.197-210, 2011.
- [5] Mathew, M.; Yao, Y.; Cao, Y.; Shodan, Kh.; Ghosh, I.;

- 2006.
- [18] Erfanmanesh, M. and Afioni, M.; “Environmental Pollution of Water, Soil and Air”, *Arkan Publications. 4th Edition*, pp. 67. (in Persian)
- [19] Gafarzadeh, N.; Lahijanzadeh, A.; Kabi, A.; Rostami, S. and Mahdavian, A.; “Determination Self-Purification Capacity of Karun River in 55 km long in the city of Ahvaz”, *Fourth National Conference on Environmental Health*. Yazd. Iran. 2001. (in Persian).
- Sanandaj. 2009. (in Persian).
- [15] URL <http://www.wunderground.com>.
- [16] Nowshadi, M. and Hatamizadeh, M.; “Simulation and Measuring of Kur River Water Quality Using QUAL2K Model”, *Journal of Irrigation and Drainage*, Vol. 3, No. 4, pp. 238-249, 2010. (In Persian)
- [17] Mehrdadi, N.; Ghobadi, M. and Nasrabadi, T.; “Evaluation of the quality and self-purification potential of Tajan river using qual2e model”, *Environmental Health Science and Engineering*, Vol. 3, pp. 199-204,

Please cite this article using:

P., Hoseini, Y., Hoseini, “Changes in Self-Purification Capacity of the Ahvaz Karun River in 2008 and 2014 using QUAL2K_w Model”. *Amirkabir J. Civil Eng.*, 49(1) (2017) 35-45.

DOI: 10.22060/ceej.2016.691

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:

