نشریه مهندسی عمران امیرکبیر

نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، دوره ۴۹، شماره ۴، سال ۱۳۹۶، صفحات ۶۲۱ تا ۶۳۴
DOI: 10.22060/ceej.2016.866

مطالعه تغییرات فصلی خودپالایی رودخانه کارون

سمیه مقیمی نژاد[۱]، کیومرث ابراهیمی*[۱]، رضا کراچیان[۲]

[۱] گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران
[۲] دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

چکیده: مطالعات ظرفیت خودپالایی رودخانه، اطلاعات مورد نیاز برای محاسبه حداکثر بار آلودگی قابل تحمل در رودخانه را فراهم می‌کند. در مقاله حاضر به مطالعه تغییرات فصلی پدیده خودپالایی رودخانه کارون پرداخته شده است. برای این منظور در طول ۱۱۳ کیلومتر از رودخانه متغیرهای کیفی DO، BOD، نیترات و کلیفرم با استفاده از مدل QUAL۲Kw شبیه‌سازی و مطالعه گردید. داده‌های سال ۱۳۸۹ به دلیل کفایت مورد نیاز به منظور واسنجی و صحت‌سنجی استفاده گردید. هم‌چنین زمان‌های بحرانی پدیده خودپالایی رودخانه برای پارامترهای BOD، نیترات و کلیفرم مطالعه و بررسی گردید. سپس سه حالت کاهش ۳۰ درصدی دبی و یا غلظت جریان آلاینده‌های ورودی به رودخانه و افزایش ۳۰ درصدی جریان رودخانه در بالادست برای بهبود کیفیت کاربری آب رودخانه، در ماه‌هایی که استاندارد کاربری ارضاء نشده بود، بررسی گردید. نتایج نشان می‌دهد که کاهش ۳۰% غلظت آلاینده‌های ورودی برای نیترات در ماه‌های دی و بهمن و برای BOD در تمام ماه‌ها بجز مهر ماه که بیشتر از حد استاندارد کاربری بوده‌اند، بیشترین تاثیر را در بهبود مقدار این متغیرهای کیفیت آب داشته است. برای متغیر کلیفرم ۳۰% کاهش غلظت آلاینده‌های ورودی رودخانه‌های دز و گرگر به رودخانه کارون و آلاینده‌های ورودی در بازه ملاثانی تا اهواز بیشترین تاثیر بهبود مقدار کلیفرم را داشته است.

تاریخچه داوری:
دریافت: ۱۵ تیر ۱۳۹۴
بازنگری: ۲۰ شهریور ۱۳۹۵
پذیرش: ۳ آبان ۱۳۹۴
ارائه آنلاین: ۱۵ آذر ۱۳۹۵

کلمات کلیدی:
QUAL۲Kw
توان خودپالایی
مدل‌سازی
رودخانه کارون
آلاینده‌های ورودی

۱- مقدمه

میزان بارآلاینده‌های قابل تحمل برای رودخانه‌های مختلف، بر حسب عوامل زمانی و مکانی و هم‌چنین نوع و شدت بار مواد زاید، متفاوت است. با توجه به تنوع و تعدد منابع آلاینده و هم‌چنین متغیر بودن توان خودپالایی رودخانه‌ها، اعمال استاندارد تخلیه پساب، به تنهایی کافی نمی‌باشد و علاوه بر آن، متناسب کردن میزان بارگذاری مواد زاید با توان خودپالایی یک رودخانه، بر اساس وضعیت اقلیمی، هیدرولوژیکی، هندسی و هم‌چنین شرایط اقتصادی، اجتماعی، سیاسی بر اساس استانداردهای کیفیت آب و کاربری آن امری ضروری است[۱]. روابط پیچیده میان بار آلاینده‌ها و کیفیت آب با مدل‌های ریاضی به بهترین وجه توصیف می‌شود. عظیمی و همکاران (۱۳۸۹) قدرت خودپالایی رودخانه سفید رود را مورد ارزیابی قرار دادند. این ارزیابی برای چهار پارامتر کیفی NO_3، COD، BOD و کلیفرم انجام شد. پس از واسنجی مدل کیفی Qual۲kw با استفاده از داده‌های مشاهداتی در یک دوره یک ساله، شبیه‌سازی ظرفیت خودپالایی دو بازه رودخانه در سرآب و پایاب سد سفید رود انجام شد. درصدهای خودپالایی بدست آمده نشان دهنده‌ی آن است که بیشترین میزان خودپالایی برای پارامتر کلیفرم و کمترین آن برای پارامتر نیترات رخ داده است. علت اصلی پایش قابل توجه کلیفرم، محاسبه تابش نور آفتاب در مدل می‌باشد [۲]. مهردادی و همکاران (۲۰۰۶) با استفاده از مدل QUAL۲E به بررسی کیفیت و خودپالایی پتانسیل رودخانه تجن در حوضه آبریز دریای خزر پرداختند. آن‌ها با بررسی پارامتر کل جامدات محلول به این نتیجه رسیدند که در فصل‌های زمستان و پاییز رودخانه کیفیت قابل قبولی دارد، اما در فصل‌های بهار و تابستان کیفیت رودخانه تنزل پیدا می‌کند و این به علت کاهش دبی رودخانه برای مصارف کشاورزی است. هم‌چنین ایشان نتیجه گرفتند که آلاینده‌های غیرنقطه‌ای سهم بیشتری در تنزل کیفیت آب رودخانه تجن دارند [۳]. فان[۱] و همکاران (۲۰۰۹) در تحقیقی تحت عنوان مدل سازی با رویکردی ابتکاری با استفاده از ترکیب HEC-۵ و QUAL۲K برای شناسایی اثر جزر و مدی بر شبیه‌سازی کیفیت آب رودخانه نشان دادند که ترکیب این دو مدل برای شبیه سازی کیفیت آب رودخانه‌های جزر و مدی نتیجه قابل قبولی برای شبیه‌سازی خصوصیات کیفی آب خصوصاً در رودخانه‌های آلوده خواهد داشت[۴]. کامارگو[۲] و همکاران (۲۰۱۰)، از مدل QUAL۲Kw در حوضه کوچک Karstic در برزیل برای پیش‌بینی کیفیت آب مورد استفاده قرار

*نویسنده عهده‌دار مکاتبات: EbrahimiK@ut.ac.ir

1 Fan
2 Camargo R

دادند. در این مطالعه مشکلات زیست محیطی در حال ظهور در منطقه به دلیل عدم وجود زیرساخت‌های اساسی از جمله تاسیسات تصفیه‌خانه فاضلاب را بررسی کردند. آن‌ها هدف اندازه‌گیری و واسنجی و اعتبار سنجی مدل پیش بینی کیفیت آب و ارزیابی ظرفیت‌های حوضه کوچک Karstic برای جذب بارهای آلودگی غیر نقطه‌ای را دنبال کردند. در این بررسی مدل به شایستگی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، و جنبه‌های هیدرولیک حوضه Fidalgo را بیان کرد. پارامترهای TP، TDS، EC، pH، قلیائیت و E.coli به‌عنوان نزدیک‌ترین مقادیر شبیه‌سازی برای دوره بارانی معرفی شدند. برای دوره خشک، بهترین شبیه‌سازی برای TP، TDS، EC، pH، و قلیاییت بدست آمد. در نهایت نتیجه گیری شد که حفاظت از منابع آب در این منطقه باید بهبود یابد و با توجه به اتخاذ اقدامات پیشگیرانه از جمله حفاظت از خاک در معرض و کاهش هجوم مواد مغذی ناشی از فعالیت‌های کشاورزی و دام باید انجام شود [۵]. باتینو[1] و همکاران (۲۰۱۰)، مطالعه‌ای با هدف ارزیابی کیفیت آب از حوضه‌ی آبریز کوچک رودخانه Canha و واسنجی مدل QUAL۲K با انجام دادند. در این مطالعه پنج متغیر از کیفیت آب شامل درجه حرارت، اکسیژن محلول، pH، هدایت الکتریکی و کدورت و هم‌چنین جریان و سرعت، در هشت ایستگاه نمونه برداری از سپتامبر ۲۰۰۶ تا ژوئیه ۲۰۰۷ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تحقیق مذکور نشان داد که غلظت اکسیژن محلول در طول دوره نمونه برداری بیش از نیم میلی‌گرم بر لیتر بوده و کمترین غلظت متغیرهای مورد مطالعه در سراب معرفی شد. هم‌چنین نتیجه‌گیری شد که میزان بارندگی مرتبط با کاربری اراضی برای نتایج به دست آمده مهم بوده و مشخصات حوضه، همانند شیب زیاد، به طور عمده بر غلظت اکسیژن محلول اثر گذار بوده است و اگر QUAL۲K دارای برخی محدودیت‌ها است استفاده از آن برای مدیریت منابع آب و مقاصد آینده توصیه شده است [۶]. ژانگ[2] و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از مدل QUAL۲K کیفیت آب حوضه دریاچه تایهو[3] را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که کیفیت آب این دریاچه تحت تاثیر تخلیه فاضلاب‌ها و پساب در رودخانه هنگکی[4] که نهایتاً به دریاچه تایهو جریان می‌یابد است [۷].

رودخانه کارون به عنوان تأمین کننده آب مورد نیاز ۱۶ شهر، چندین روستا، هزاران هکتار اراضی کشاورزی و چندین نیروگاه برق‌آبی دارای اهمیت ویژه‌ای می‌باشد. شمسائی و همکاران (۱۳۸۴) وضعیت کیفی رودخانه کارون را در بازه شهر اهواز با استفاده از شاخص‌های کیفیت آب مورد تحلیل قرار دادند و نتایج تحقیق ایشان نشان داد که رودخانه در فصل تابستان بدترین و در فصل زمستان بهترین شرایط کیفی را داراست [۸]. بنی سعید و همکاران (۱۳۸۶) میزان آلودگی و هم‌چنین توان خودپالایی رودخانه کارون را در بازه گرگر با کاربرد مدل QUAL۲E و استفاده از نتایج آزمایش‌های کیفی در تیرماه ۱۳۷۸ به عنوان گرمترین ماه سال و حداقل آبدهی ماهانه را مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق ایشان بیانگر نامطلوب بودن غلظت اکسیژن محلول و فراتر از حد استاندارد پارامترهای BOD وCOD بوده و در تیرماه وضعیتی آلوده کننده‌ای برای رودخانه کارون ایجاد می‌کنند [۹]. کارآموز و همکاران (۲۰۰۴) برای بررسی شاخص کیفیت آب رودخانه کارون، طبقه‌بندی با استفاده از روش C-mean و طرح خوشه‌بندی فازی را ارائه دادند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که کیفیت آب در بازه‌ی گرگر-بند قیر و بازه‌ی بین دارخوین و خلیج فارس که تحت تاثیر خلیج فارس می‌باشد وضعیت بحرانی است [۱۰]. باقریان مرزونی و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از مدل QUAL۲K کیفیت آب رودخانه کارون را بررسی کردند. در این مطالعه، با توجه به پارامترهای کیفیت و با توجه به استانداردهای کیفیت آب سناریوهای مختلف تعریف شد و دو پارامتر BOD و DO را به‌عنوان پارامتر شاخص برای ارزیابی این سناریوها انتخاب کردند. ایشان مدل را با استفاده از داده‌های بهار ۲۰۱۲ واسنجی و با استفاده از داده‌های بهار و زمستان ۲۰۱۳ صحت‌سنجی و اعتبارسنجی کردند. سپس از نتایج مدل برای اتخاذ تصمیمات مدیریتی برای شرایط بحرانی استفاده کردند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که با تغییر در محل ورود آلاینده‌ها به رودخانه می‌توان به اهداف زیست محیطی دست یافت [۱۱].

تاکنون اکثر تحقیقات گذشته به بررسی پارامترهای کیفی DO، BOD و COD پرداخته‌اند ولی تعیین زمان بحرانی توان خودپالایی این پارامترها و تأثیر تغییرات فصلی آن بر کیفیت آب مؤثر تاکنون مورد بررسی قرار نگرفته است. بنابر این هدف از انجام مقاله حاضر: ۱) بررسی پارامترهای کیفی DO، BOD، نیترات، کلیفرم و تغییرات فصلی این پارامترها و زمان بحرانی پدیده خودپالایی در مورد متغیرهای DO، BOD، نیترات و کلیفرم و ۲) بررسی کیفیت کاربری آب با استفاده از نتایج شبیه‌سازی و ارائه سناریوهای متصور ممکن برای بهبود کیفیت کاربری آب رودخانه در صورتی که استاندارد کاربری ارضاء نشود، می‌باشد.

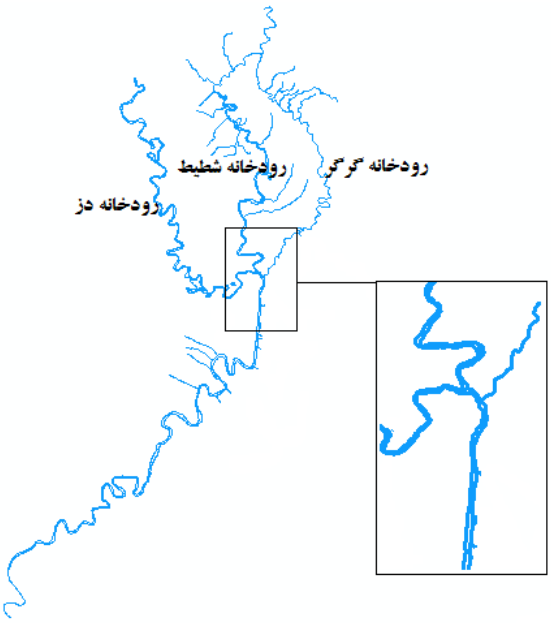
۲- مواد و روش ها

۲- ۱- منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز رودخانه کارون بزرگترین حوضه آبریز رودخانه‌ای در ایران است که در جنوب غرب کشور واقع شده است. در امتداد رودخانه کارون چند شهر واقع شده که مهم‌ترین آن‌ها شهر اهواز مرکز استان خوزستان است [۱۲]. آلودگی آب رودخانه کارون به دلیل افزایش برداشت آب از رودخانه و تخلیه‌ی فاضلاب به این رودخانه زندگی آبزیان را به خطر انداخته است. علاوه بر این استانداردهای کیفیت آب آشامیدنی و کیفیت زیست محیطی آب‌های جاری در بسیاری از موارد نقص شده است [۱۰]. سهم آلودگی آب از بخش صنعت در منطقه مورد مطالعه حدود ۲۳ درصد است. این مقدار از ۱۲ تا ۶۰ درصد در مکان و فصل‌های متفاوت متغیر است [۱۳]. وضعیت فعلی کیفیت آب سیستم رودخانه کارون در مقایسه با استانداردهای کیفیت

1 Bottino F
2 Zhang R
3 Taihu
4 Hongqi

آب نگران کننده است [۱۴]. شکل ۱ منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در مقاله حاضر با بررسی شبکه رودخانه‌ای و وجود چهار ایستگاه هیدرومتری به بررسی کیفیت آب این زیرحوضه پرداخته شد. در شاخه اصلی رودخانه کارون از رودخانه شطیط تا اهواز پس از وارد شدن دو شاخه فرعی به رودخانه در محدوده کیلومتر ۴۱ رودخانه بارهای آلودگی نقطه‌ای موجود باعث افزایش آلودگی در این منطقه و کاهش میزان اکسیژن محلول می‌شود. شرایط حیاتی رودخانه کارون و هم‌چنین آلودگی‌های اشاره شده نیاز به یک مدل کیفی برای پیش‌بینی کیفیت آینده رودخانه را ضروری می‌سازد.



شکل ۱: موقعیت منطقه مطالعاتی

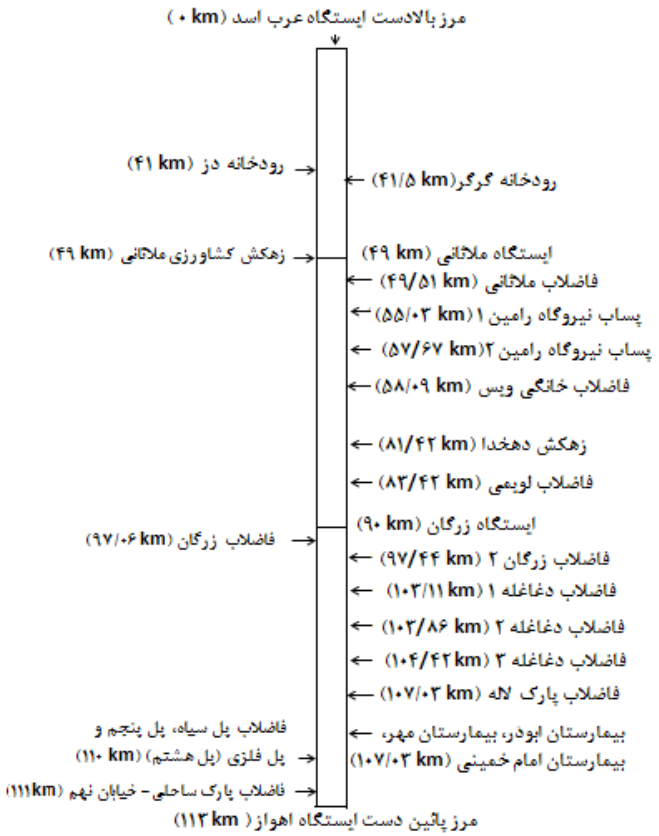
Fig. 1. Case study location

۲- ۲- ابزار مدل‌سازی

نرم‌افزار Qual۲k نرم‌افزاری برای مدل‌سازی کیفیت آب‌های سطحی به منظور استفاده در پروژه‌های زیست محیطی است .این مدل کیفیت آب‌های سطحی که توط چاپرا[1] و همکاران در سال ۲۰۰۶ توسعه یافته است، ویرایش مدرنی از مدل معروف کیفیت آب رودخانه ها یعنی Qual۲e است که در سال ۱۹۸۷ توسط برون و بارن‌ول[2] ارائه گردیده بود. این مدل رودخانه را بصورت یک بعدی، همراه با جریان دائمی غیر یکنواخت شبیه سازی می‌کند و می‌تواند اثر بارگذاری را، هم بصورت نقطه‌ای و هم غیر نقطه‌ای در نظر بگیرد. این مدل قادر است تا ۱۵ پارامتر کیفی آب را شبیه‌سازی کند و به منظور تعیین غلظت پارامترهای کیفی، به حل عددی معادله جابجائی-انتشار (Advection-Dispersion) در رودخانه می‌پردازد [۱۵- ۱۷].

۲- ۳- روش تحقیق

با توجه به ایستگاه‌های هیدرومتری موجود، رودخانه کارون به چهار محدوده تقسیم‌بندی شد و مشخصات سطح مقطع هر محدوده به مدل داده شد و برای حل معادلات عددی از روش اویلر روش نیوتن-رافسون برای مدل سازی و شبیه‌سازی pH استفاده شد. با توجه به تاثیر پارامترهای هیدرولیکی مانند سرعت در سرنوشت و انتقال آلودگی‌ها، به منظور شبیه‌سازی سرعت از رابطه‌ی مانینگ[3] در set up مدل استفاده گردید. طول محدوده مطالعاتی انتخاب شده از رودخانه کارون برابر با ۱۱۳ کیلومتر بوده و همان‌گونه که شکل ۲ نشان می‌دهد در مسیراین رودخانه دو شاخه فرعی و ورودی آلاینده نقطه‌ای به درون سیستم وارد می‌شوند.



شکل ۲: شماتیک بازه‌بندی و جانمائی ورودی‌ها به رودخانه کارون

Fig. 2. Intervals and entrance locations of Karun River

برای ۱۲ ماه سال ۹۰-۸۹ تمامی اطلاعات از سازمان آب و برق خوزستان و شرکت منابع آب ایران جمع آوری شده و برای هر ماه نسبت به اجرای مدل اقدام شد. جزئیات مربوط به مقدار حداکثر و حداقل مقدار پارامترهای کیفی و جریان سال ۹۰-۸۹ قبل از شبیه‌سازی در جدول ۱ و ۲ آمده است.

1 Chapra
2 Brown and Barnwell
3 Manning

جدول ۱: مشخصات آماری جریان رودخانه کارون سال ۹۰-۸۹

Table 1. Statistical properties of the Karun River current year 89-90

مشخصات آماری	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
دبی (m^3/s)	۱۰۰ (su)	۵۰۰ (w)	۲۸۱/۷۵	۱۱۲/۱۳

جدول ۲: مشخصات آماری متغیرهای کیفیت آب در سال ۹۰-۸۹ رودخانه کارون (داده‌های مشاهداتی سازمان آب و برق خوزستان)

Table 2. Statistical properties of water quality in 2010-2011 for Karun River (data collected by Khuzestan Power and Water Corporation)

پارامتر	حداکثر	حداقل	میانگین	انحراف معیار
DO(mg/l)	۸/۲۳۶ (W)	۶/۵۴۵ (Su)	۷/۴۶۷	۰/۴۹۸
BOD(mg/l)	۴/۰۳۶ (Su)	۲/۳۶ (a)	۳/۲۸	۰/۵۱۲
NO_3(mg/l)	۱۲/۰۷ (W)	۷/۱۷۵ (a)	۸/۰۱۶	۱/۳۰۴
Pathogens(cfu/۱۰۰ml)	۱/۱ (a)	۰/۰۱۵ (a)	۰/۵۰۹	۰/۴۲۴
TEMP(deg C)	۳۱ (Su)	۱۳/۷۵ (W)	۲۳/۰۵	۵/۳۹۳

توضیح جدول: علائم a ،su ،s و w به ترتیب نشان دهنده‌ی مقدار پارامتر مورد نظر در فصل‌های بهار، تابستان، پائیز و زمستان می‌باشد.

منظور از شبیه‌سازی کیفی آب رودخانه در واقع تخمین تغییرات پارامترهای کیفی آب رودخانه (تا جای امکان به صورت دقیق) است به نحوی نتایجی که مدل می‌دهد با نتایجی که بصورت واقعی در رودخانه وجود دارد، مشابه باشد. برای اینکه نتایج مدل بر داده‌ها منطبق شود نیاز داریم تا کالیبراسیون انجام دهیم. برای کالیبراسیون (واسنجی) از داده‌های ۶ ماه اول سال ۸۹ استفاده شده است. پس از واسنجی، مدل باید صحت‌سنجی شود. روشی که برای صحت سنجی نتایج یک مدل مورد استفاده قرار می‌گیرد، به صورت زیر می‌باشد:

با در اختیار داشتن یک مجموعه اطلاعات اندازه‌گیری شده، آن‌ها به دو زیر مجموعه برای استفاده در بخش واسنجی و صحت‌سنجی تقسیم می‌شوند، به طوری که بخش اعظم آن برای قسمت اول مورد استفاده قرار گیرد. پس از واسنجی مدل با اطلاعات اندازه‌گیری شده، می‌توان مدل را با استفاده از باقی مانده اطلاعات اندازه‌گیری شده، صحت‌سنجی نمود. یعنی بدون تغییر دادن پارامترهای واسنجی، مدل با شرایط جدید اجرا می‌شود. سپس با مقایسه نتایج به دست آمده از مدل و مقادیر اندازه‌گیری شده می‌توان صحت عملکرد مدل را برای شرایط جدید بررسی نموده و میزان اطمینان به مدل واسنجی شده را برآورد نمود [۱۸]. برای صحت سنجی از داده‌های دو ماه پائیز ۸۹ استفاده شده است.

سپس با استفاده از پارامترهای مجذور متوسط مربعات خطا (RMSE) و خطای نسبی (SE) مقایسه‌ای میان نتایج شبیه‌سازی با مدل QUAL۲Kw در مقابل داده‌های مشاهداتی انجام شده است. رابطه این معیارها در روابط ۱ و ۲ ذکر شده است.

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(Y_{si}-Y_{oi})^2}{N}}}{\bar{Y}} \quad (۱)$$

$$SE = \sum_{i=1}^{n}\left[\frac{(Y_{ti}-Y_{mi})^2}{N}\right]^{0.5} \quad (۲)$$

در فرهنگ متداول امروزی در زمینه قدرت خودپالایی رودخانه[1]، ظرفیت بارگذاری[2] (LC) یا حداکثر بار کل روزانه(TMDL[3])، بیشترین مقدار بار آلاینده قابل تحمل توسط یک رودخانه است به شرط آن که استانداردهای کیفیت آب رعایت شود. سهم‌بندی بار مواد زاید (WLA[4]) بخشی از حداکثر بار کل روزانه است که به یک منبع آلودگی نقطه‌ای فعلی یا آتی تخصیص داده می‌شود. مجموع سهم‌بندی بار مواد زاید برای منابع نقطه‌ای (WLA) و سهم‌بندی بار برای منابع غیرنقطه‌ای (LA[5]) به اضافه حاشیه ایمنی (MOS[6]) معادل ظرفیت خودپالایی یا TMDL (معادله ۳) است [۱].

$$LC = TMDL = WLA + LA + MOS \quad (۳)$$

در خصوص مقادیر بار آلودگی ورودی به پیکره‌های آبی، بار آلودگی از تعریف حاصل‌ضرب دبی جریان آلاینده در غلظت آلاینده از هر واحد صنعتی/ کشاورزی تعریف می‌گردد (Qw.Cw).

$$\bar{C} = \frac{Q_r.C_r + Q_w.C_w}{Q_r + Q_w} \qquad Q_w << Q_r \qquad \rightarrow \bar{C} = \frac{Q_w.C_w + Q_r.C_r}{Q_r}$$
$$\bar{C} = \frac{Q_r.C_r + Q_w.C_w}{Q_r + Q_w} \qquad Q_w << Q_r ; if\ C_r \approx 0 \Rightarrow \quad \bar{C} = \frac{Q_w.C_w}{Q_r} \quad (۴)$$

کاربری تعیین شده برای رودخانه کارون کلاس دو تامین آب برای مصرف آشامیدنی است. این کلاس برای منابعی از آب است که نیازمند تصفیه کامل (انعقاد، ته‌نشینی، فیلتراسیون، گند زدائی و غیره) برای فراهم

1 Assimilative Capacity
2 Loading Capacity
3 Total Maximum Daily Load
4 Waste Load Allocation
5 Load Allocation
6 Margin of Safety

کردن آب شرب‌اند. حد استاندارد و حاشیه ایمنی در جدول ۳ برای پارامترهای مختلف ارائه شده و در نتایج شبیه‌سازی مشخص شده‌اند.

جدول ۳: استاندارد کاربری کلاس آب آشامیدنی رودکارون (۱۹ و ۲۰)

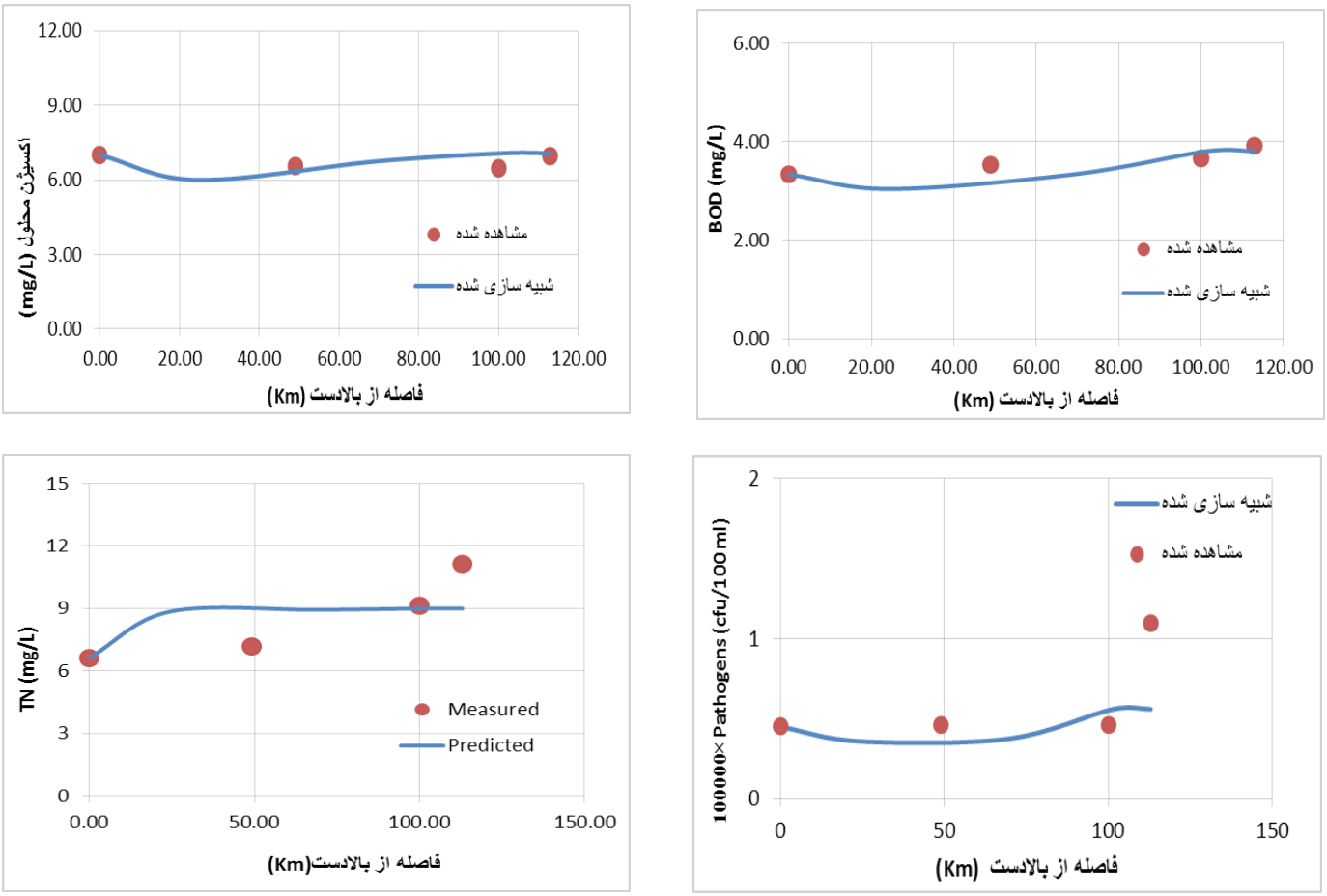
Table 3. Drinking water usage class standards for Karun River

	کلیفرم	نیترات	BOD	DO
	تعداد در ۱۰۰ میلی لیتر	میلی گرم بر لیتر	میلی گرم بر لیتر	میلی گرم بر لیتر
حد استاندارد کاربری	۵۰۰۰	۱۰	۳	۵
حاشیه ایمنی	۵۰۰	۱	۰/۳	۰/۵
حد استاندارد کاربری در نظر گرفته شده	۴۵۰۰	۹	۲/۷	۴/۵

۳- نتایج و بحث

با توجه به توضیحات ارائه شده در ادامه به بررسی نتایج شبیه‌سازی مدل پرداخته شده است. در جدول ۳ مقایسه‌ای میان نتایج شبیه‌سازی با مدل QUAL۲Kw و داده‌های مشاهداتی انجام شده است. با توجه به نتایج به دست آمده مشخص می‌شود که تمام پارامترهای کیفی دارای کمترین مقدار خطای نسبی و مجذور متوسط مربعات خطا را دارند. نتایج واسنجی ماه فروردین سال ۸۹ و صحت‌سنجی ماه‌های آبان و دی در جدول ۴ و شکل‌های ۳ تا ۵ ارائه شده است.

لازم به ذکر است که داده‌های میدانی توسط نقاط مربعی شکل نمایش داده شده‌اند و نمودار پیوسته نتایج شبیه‌سازی است. این نمودار پیوسته باید تا جای امکان نزدیک به نقاط مربع شکل (داده‌های واقعی) باشد تا شبیه‌سازی مناسبی انجام شده باشد. همانطور که در اشکال ۳ تا ۵ نشان داده شده است نتایج شبیه‌سازی با داده‌های پایش انطباق مناسبی دارد. این انطباق نشان دهنده واسنجی و صحت‌سنجی مناسب مدل است



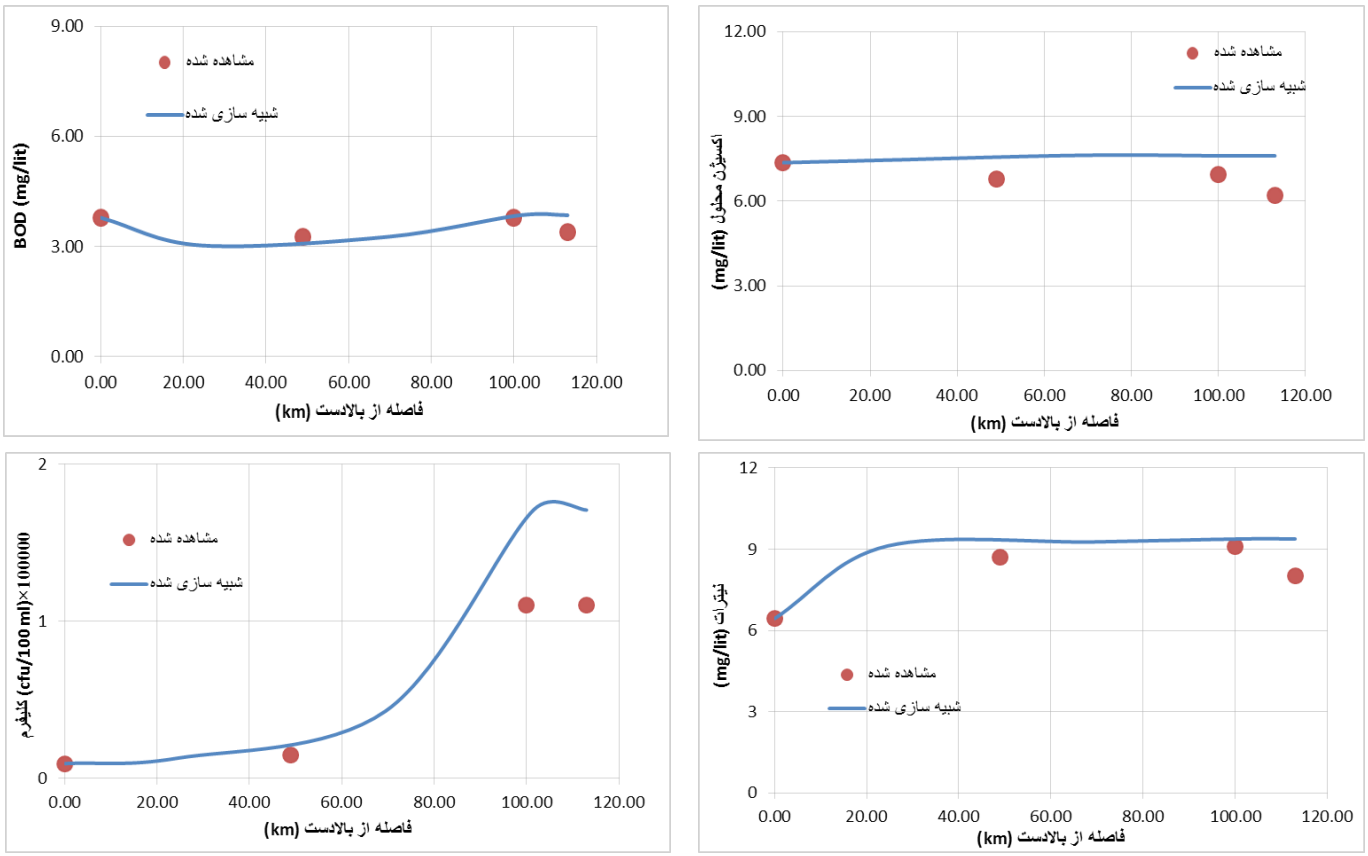
شکل۳: پارامترهای واسنجی فروردین ۱۳۸۹ رودخانه کارون

Fig. 3. Calibration parameters of March 2010 for Karun River

جدول ۴: پارامترهای آماری به دست آمده از نتایج شبیه‌سازی مدل QUAL۲Kw در مقابل داده‌های مشاهداتی

Table 4. Statistical parameters of QUAL2Kw simulated data compared to observed data

سال ۸۹	SE				RMSE			
	Pathogens	NO_3	BOD	DO	Pathogens	NO_3	BOD	DO
فروردین	۰/۱۰۹	۰/۲۳۶	۰/۰۶۴	۰/۰۸۸	۰/۴۵۹	۰/۱۲۷	۰/۰۲۹	۰/۰۳۸۴
اردیبهشت	۰/۲۰۱	۰/۱۵۱	۰/۱۹۵	۰/۱۶۲	۰/۱۵۸	۰/۰۶۶	۰/۰۷۳	۰/۰۷۹
خرداد	۰/۷۰۵	۰/۳۰۲	۰/۰۶۸	۰/۲۷۸	۰/۵۸۶	۰/۱۱۱	۰/۰۶۹	۰/۰۹۲
تیر	۰/۰۸۱۷	۰/۳۸۱	۰/۰۹۵	۰/۱۷۶	۰/۵۵۹	۰/۱۶۳	۰/۰۹۵	۰/۰۹۵
مرداد	۰/۳۴	۰/۵۲	۰/۱۳۹	۰/۱۸	۰/۳۷۹	۰/۲۱۷	۰/۰۷۹	۰/۰۸۷
شهریور	۰/۷۳۴	۰/۱۱۷	۰/۱۸۳	۰/۲۶۲	۰/۲۹۴	۰/۰۶۸	۰/۰۶۱	۰/۱۳۳
آبان	۰/۴۸۳	۰/۰۵۹۹	۰/۱۲۹	۰/۲۰۸	۰/۴۴۱	۰/۸۹۷	۰/۲۱۶	۰/۸۷
آذر	۲/۶۵	۰/۳۰۳	۰/۰۷۵	۰/۱۵۱	۰/۷۷	۰/۱۰۱	۰/۰۸	۰/۰۶۱

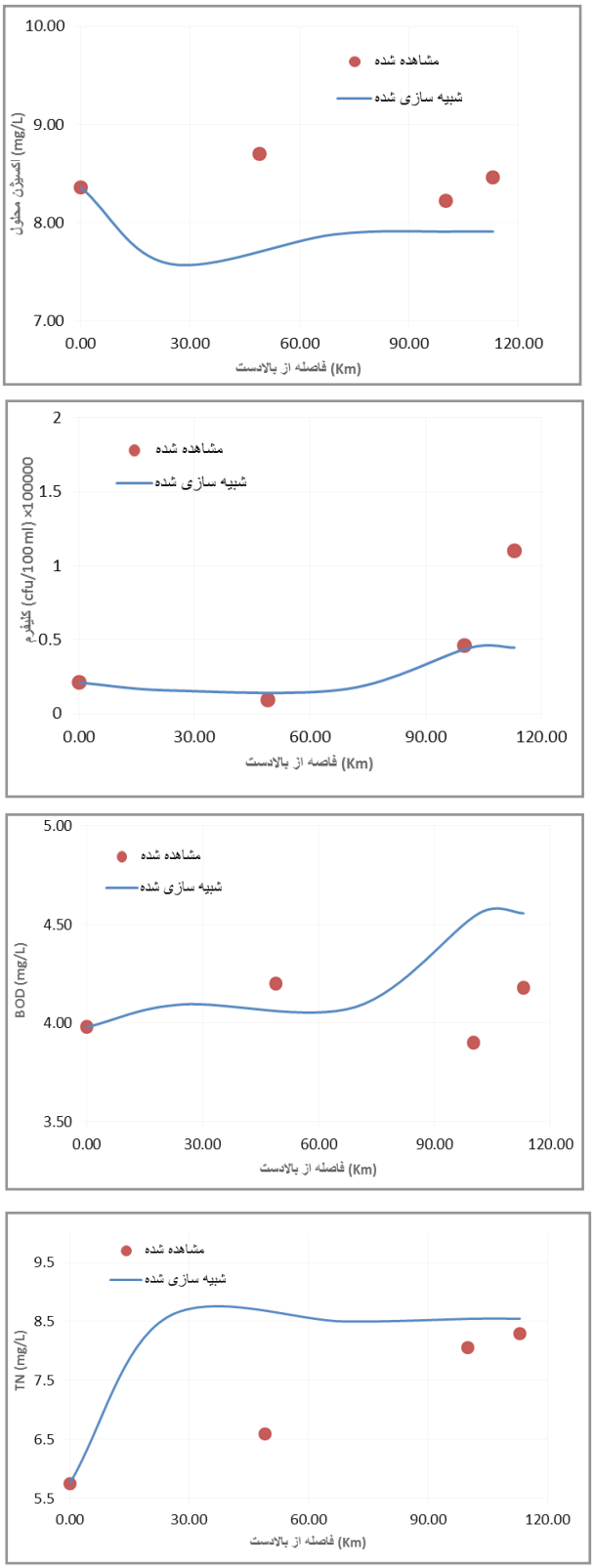


شکل۴: پارامترهای صحت سنجی آبان ۱۳۸۹ رودخانه کارون

Fig. 4. Validation results of Karun River's water quality variables, October 2010

برای بررسی اثر تخلیه پساب و فاضلاب بر کیفیت آب رودخانه کارون تغییرات متغیرهای کیفی BOD، کلیفرم و نیترات مد نظر قرار گرفت. با استفاده از معادله ۳ قدرت خودپالایی BOD، کلیفرم و نیترات برای سال ۹۰-۸۹ محاسبه شد و نتایج در جدول ۵ و نمودار ۶ ارائه شده است. ظرفیت بارگذاری ظرفیتی است که مجموع بار آلاینده به صورت نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای به رودخانه وارد شده است و ظرفیت مازاد ظرفیتی بار آلاینده‌هایی است که با وارد شدن به رودخانه استاندارد کیفیت آب نقض نمی‌گردد.

با توجه به جدول ۵، رودخانه کارون برای متغیر کیفی BOD در ماه اردیبهشت بیشترین بارگذاری آلاینده‌های ورودی برای این متغیر را داشته و بیشترین قدرت خودپالایی را در ماه اردیبهشت با مقدار ۳۴۴/۵۴ تن در روز دارد و در ماه مهر کمترین بارگذاری آلاینده‌ها با مقدار ۱۵۰/۷۹ تن در روز را داشته و با این‌که کمترین قدرت خودپالایی را در ماه مهر با مقدار ۱۶۹/۷۸ تن در روز دارد ولی ظرفیت مازاد ۱۸/۹۸ تن در روز را برای خودپالایی BOD در این ماه را دارد. قدرت خودپالایی رودخانه کارون برای متغیر کیفی نیترات در ماه اردیبهشت با مقدار ۹۴۰/۷۱ تن در روز بیشترین مقدار است که بیشترین بارگذاری برای این متغیر در ماه اردیبهشت با مقدار ۷۰۴/۳۵ تن در روز بوده است و در ماه مهر با مقدار ۳۳۳/۱۳ تن در روز کمترین قدرت خودپالایی را دارد. مقدار غلظت نیترات در ماه بهمن بیشتر از حد استاندارد کاربری است و رودخانه کارون در ماه دی و مهر به ترتیب ۶۳/۲۴ و ۶۱/۳۶ تن در روز توان خودپالائی این متغیر را دارد که نسبت به سایر ماه‌ها قدرت خودپالائی کمتری دارد. رودخانه کارون برای متغیر کیفی کلیفرم در ماه اسفند با مقدار ۷۳۰/۷۵ ده میلیارد تن در روز بیشترین مقدار قدرت خودپالایی را دارد و در ماه مهر با مقدار ۲۷۰/۰۰۴ کمترین قدرت خودپالایی را دارد. غلظت متغیر کیفی کلیفرم در ماه‌های دی و اسفند بیشتر از حد استاندارد کاربری است و در ماه‌های آبان، بهمن و فروردین از کیلومتر ۷۰ بیشتر از حد استاندارد کاربری است. با توجه به جدول ۵ و شکل ۶، به طور متوسط توان خودپالایی رودخانه برای BOD و نیترات در فصل بهار و زمستان که مقدار دبی در این فصل‌ها زیاد است میزان خودپالایی بیشتر است و قدرت خودپالایی رودخانه در حذف آلودگی کلیفرم در ماه‌های دی و اسفند به دلیل سرعت و دبی بالای جریان آب رودخانه و در ماههای گرم به دلیل تابش نور آفتاب قابل توجه است. بررسی دقیقتر نتایج نشان می دهد انتقال نقش موثرتری در حذف کلیفرم نسبت به واکنش دارد که این نتیجه مشابه نتایج شبیه سازی عظیمی ۱۳۸۹ بر رودخانه سفید رود با اجرای مدل Qual۲kw می‌باشد.



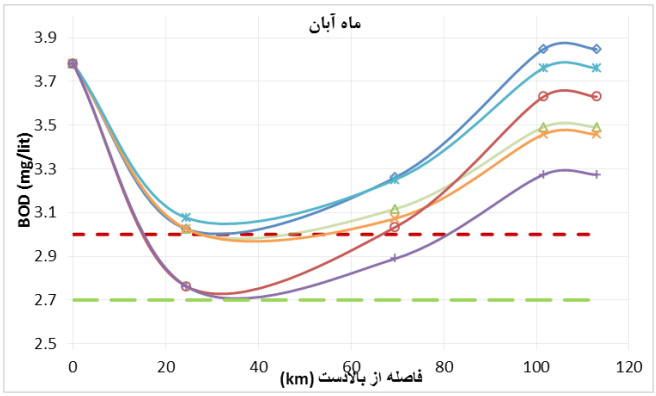
شکل ۵: پارامترهای صحت سنجی آذر ۱۳۸۹ رودخانه کارون

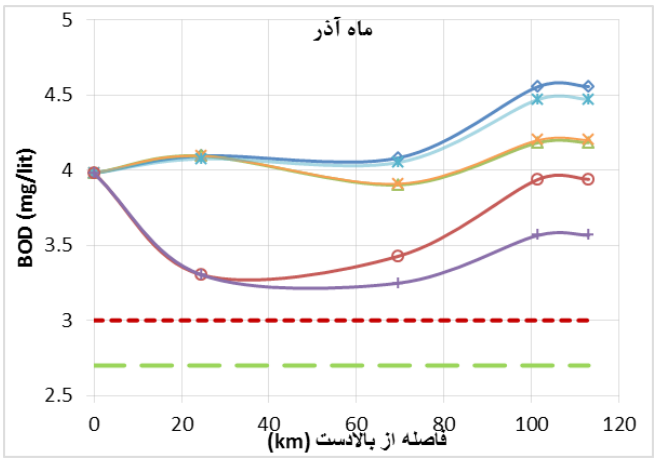
Fig. 5. Validation results of Karun River's water quality variables, November 2010

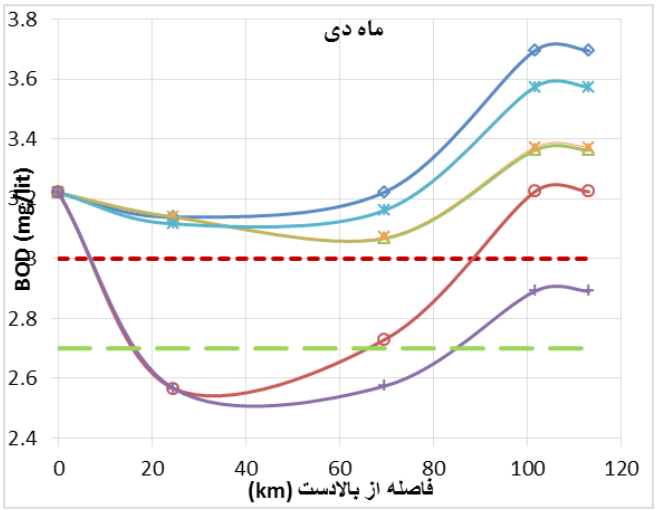
جدول ۵: قدرت خودپالایی متغیرهای کیفی رودخانه کارون سال آبی ۹۰-۸۹

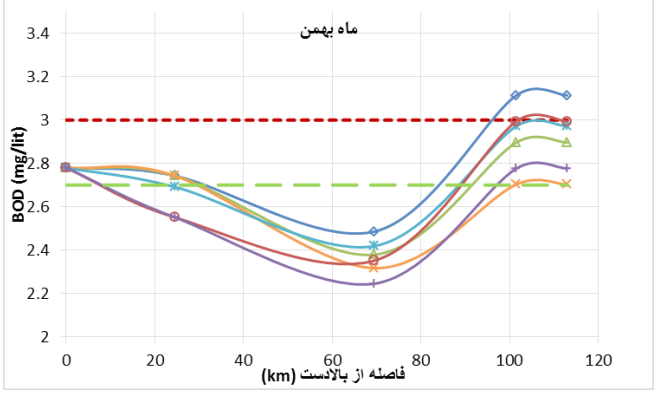
Table 5. Self-purification potential of Karun River for qualitative variables in 2010-2011

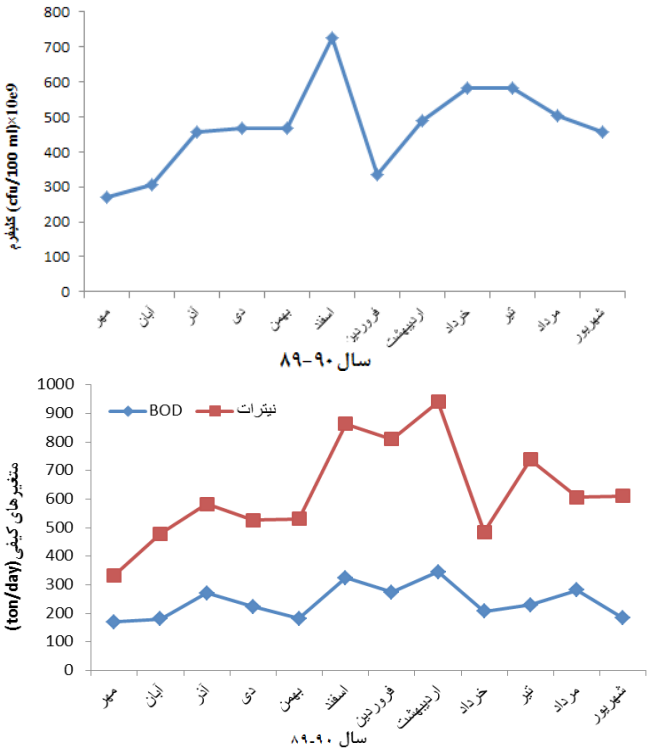
کلیفرم (ده میلیارد تعداد در روز)	نیترات (تن در روز)	BOD (تن در روز)		کلیفرم (ده میلیارد تعداد در روز)	نیترات (تن در روز)	BOD (تن در روز)
ماه مهر سال ۹۰				ماه فروردین سال ۹۰		
۱۴۶/۱۹	۲۷۶/۷۶	۱۵۰/۷۹	ظرفیت بارگذاری	۲۶۱/۵۵	۶۴۰/۹۴۹	۲۷۳/۹۴
۱۲۳/۸	۶۱/۳۶	۱۸/۹۸	ظرفیت مازاد	۷۲/۰۷۳	۱۶۸/۱۷	۰
۲۷۰/۰۰۴	۳۳۳/۱۳	۱۶۹/۷۸	قدرت خودپالایی	۳۳۳/۶۲	۸۰۹/۱۲	۲۷۳/۹۴
ماه آبان سال ۸۹				ماه اردیبهشت سال ۹۰		
۱۵۸/۲۵	۳۶۸/۸۲	۱۸۰/۲۸	ظرفیت بارگذاری	۳۷۷/۵۵	۷۰۴/۳۵	۳۴۴/۵۴
۱۴۶/۶۹	۱۰۹/۲۲	۰	ظرفیت مازاد	۱۱۱/۳۴	۲۳۶/۳۶	۰
۳۰۴/۹۴	۴۷۸/۰۳	۱۸۰/۲۸	قدرت خودپالایی	۴۸۸/۸۹	۹۴۰/۷۱	۳۴۴/۵۴
ماه آذر سال ۸۹				ماه خرداد سال ۹۰		
۲۶۷/۸۲	۴۰۹/۵۸	۲۷۰/۶۶	ظرفیت بارگذاری	۱۸۱/۶۹	۳۳۱/۷۹	۲۰۶/۹۳
۱۸۷/۷۴	۱۷۳/۱۳	۰	ظرفیت مازاد	۳۹۹/۸۵	۱۵۳/۳۸	۰
۴۵۵/۵۶	۵۸۲/۷۲	۲۷۰/۶۶	قدرت خودپالایی	۵۸۱/۵۴	۴۸۵/۱۷	۲۰۶/۹۳
ماه دی سال ۸۹				ماه تیر سال ۹۰		
۴۵۹/۱۸	۴۶۲/۷۸	۲۲۳/۱۸	ظرفیت بارگذاری	۲۴۱/۴۸	۲۲۳/۹۴	۲۲۹/۰۷
۸/۰۵۲	۶۳/۲۴	۰	ظرفیت مازاد	۳۳۹/۲۲	۵۱۴/۶۱	۰
۴۶۷/۲۴	۵۲۶/۰۲	۲۲۳/۱۸	قدرت خودپالایی	۵۸۰/۷	۷۳۸/۵۶	۲۲۹/۰۷
ماه بهمن سال ۸۹				ماه مرداد سال ۹۰		
۳۵۵/۵۵	۵۳۰/۴۹	۱۵۹/۴	ظرفیت بارگذاری	۵۰۲/۰۷	۳۶۷/۸۵	۲۸۰/۲۷
۱۱۳/۴۱	۰	۲۱/۵۷	ظرفیت مازاد	۰	۲۳۸/۱۸	۰
۴۶۸/۹۷	۵۳۰/۴۹	۱۸۰/۹۸	قدرت خودپالایی	۵۰۲/۰۷	۶۰۶/۰۲۹	۲۸۰/۲۷
ماه اسفند سال ۸۹				ماه شهریور سال ۹۰		
۷۰۳/۵۶	۶۴۰/۶۹	۳۲۳/۳۷۵	ظرفیت بارگذاری	۱۸۹/۳۸	۱۶۱/۸۴	۱۸۲/۸۶
۲۷/۱۹	۲۲۲/۲۸	۰	ظرفیت مازاد	۲۶۹/۱۷	۴۴۸/۲۵	۰
۷۳۰/۷۵	۸۶۲/۹۷	۳۲۳/۳۷۵	قدرت خودپالایی	۴۵۸/۵۵	۶۱۰/۰۹	۱۸۲/۸۶









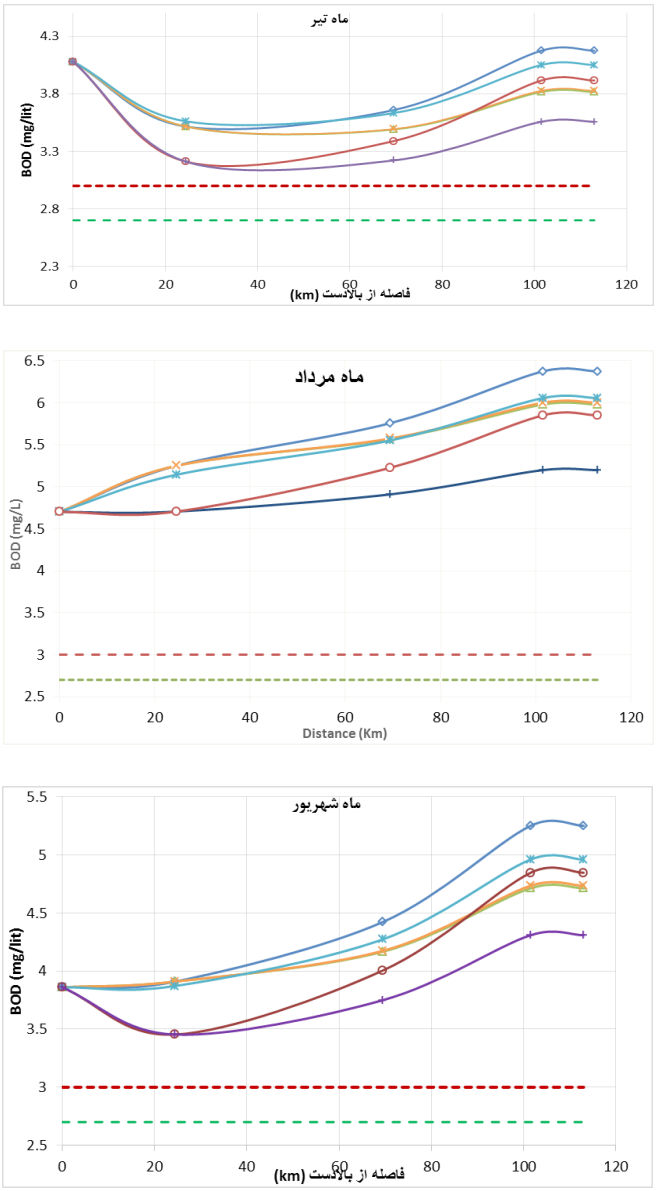


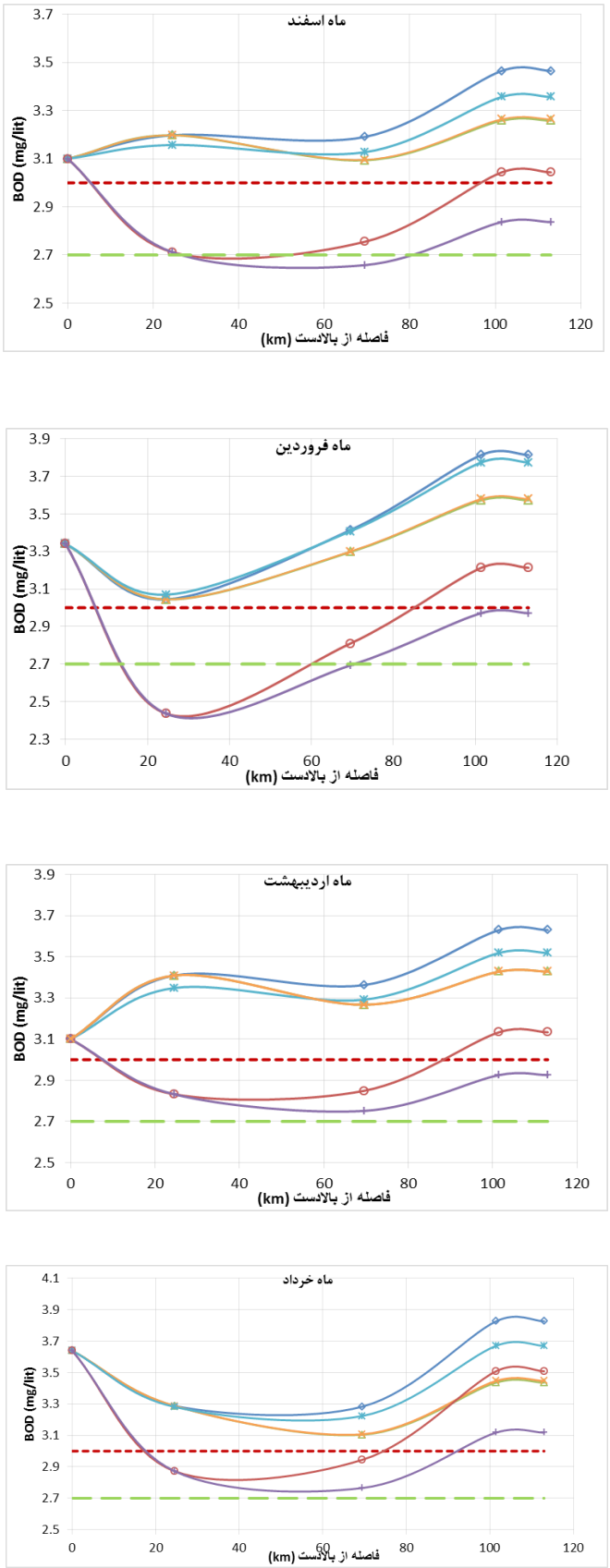
شکل ۶: قدرت خودپالایی متغیرهای کیفی رودخانه کارون سال ۹۰-۸۹

Fig. 6. Karun river self-purification potential for qualitative parameters

با توجه به نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی متغیرهای کیفی رودخانه کارون سال ۹۰-۸۹، سه شرایط ۳۰% کاهش جریان بار آلاینده‌های ورودی به رودخانه، ۳۰% کاهش غلظت بار آلاینده‌های ورودی، افزایش ۳۰% جریان در بالادست و کاهش ۳۰% بار آلاینده‌های ورودی از شاخه‌های فرعی رودخانه دز وگرگر به رودخانه کارون برای بهبود کیفیت کاربری آب رودخانه برای متغیرهای کیفت آب در ماه‌هایی که استاندارد کاربری ارضاء نشده، مورد بررسی قرار گرفته است.

WQS
Before Defining Scenario
30% reduction pollution load
30% reduction inflow
30% Increase Upstream inflow
30% reduction of pollution load of dez & gargar river
30% reduction of pollution load of dez & gargar river +30% reduction of pollution load
WQS-Safty Margin



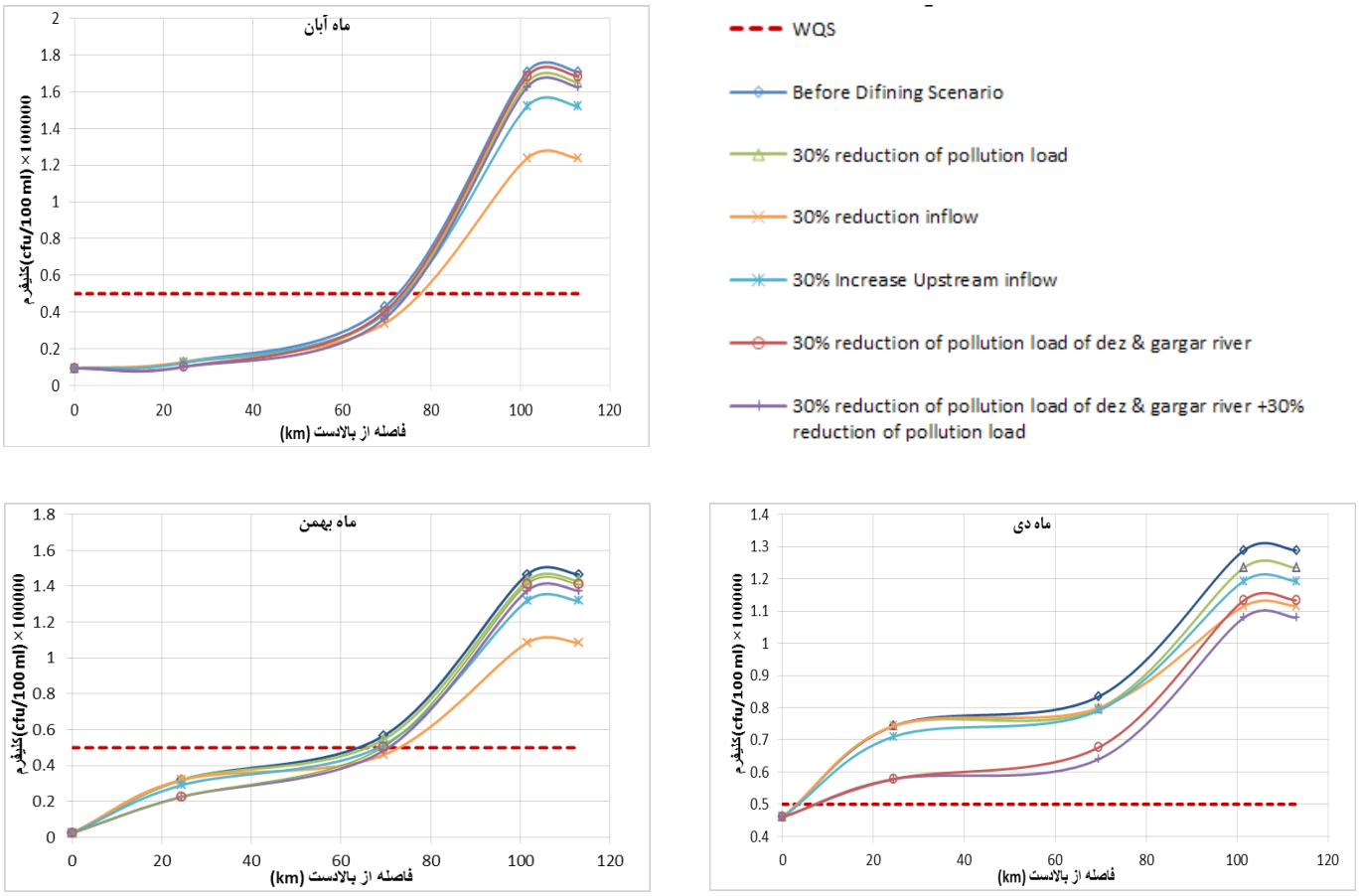


شکل ۷: شبیه‌سازی BOD تحت شرایط افزایش جریان در بالادست، کاهش جریان و غلظت بارآلاینده‌های ورودی رودخانه کارون سال ۹۰-۸۹

Fig. 7. Modelling BOD in situations of increasing flow rate in Karun River upstream, deceasing flow rate and concentration of entering pollutants 2010-2011

با توجه به شکل ۷ مقدار متغیر کیفی BOD، به جز در ماه مهر در سایر ماه‌ها بیشتر از حد استاندارد کاربری است. با کاهش ۳۰% بار آلاینده‌های ورودی از رودخانه‌های دز و گرگر به رودخانه کارون، وضعیت خودپالایی این متغیر کیفی بهبود می‌یابد که در ماه‌های آبان، دی، اسفند، فروردین و

اردیبهشت مقدار BOD بهبود زیادی پیدا کرده و به حد مجاز رسیده است که با ورود آلاینده‌ها در بازه ملاثانی تا اهواز باعث افزایش این متغیر کیفی شده و از کیلومتر ۸۰ از بالادست بیشتر از استاندارد کاربری است که با کاهش ۳۰% بار آلاینده‌های ورودی از رودخانه‌های دز و گرگر به رودخانه کارون و آلاینده‌های ورودی در بازه ملاثانی تا اهواز، استاندارد کاربری را ارضاء کرده است. در سایر ماه‌ها هرچند باعث به حد استاندارد رسیدن مقدار این متغیر کیفی نشده‌اند اما باعث بهبود شرایط کیفی رودخانه برای خودپالایی BOD شده‌اند. در ماه بهمن کاهش ۳۰% جریان آلاینده‌های ورودی در بازه ملاثانی تا اهواز تاثیر زیادی بر بهبود قدرت خودپالایی رودخانه برای این متغیر کیفی داشته است که از کیلومتر ۸۰ از بالادست به حد استاندارد رسیده است. در سایر ماه‌ها تاثیر کاهش ۳۰% جریان آلاینده‌ها و کاهش ۳۰% بار آلاینده‌های ورودی تاثیر یکسانی بر بهبود مقدار BOD دارند.

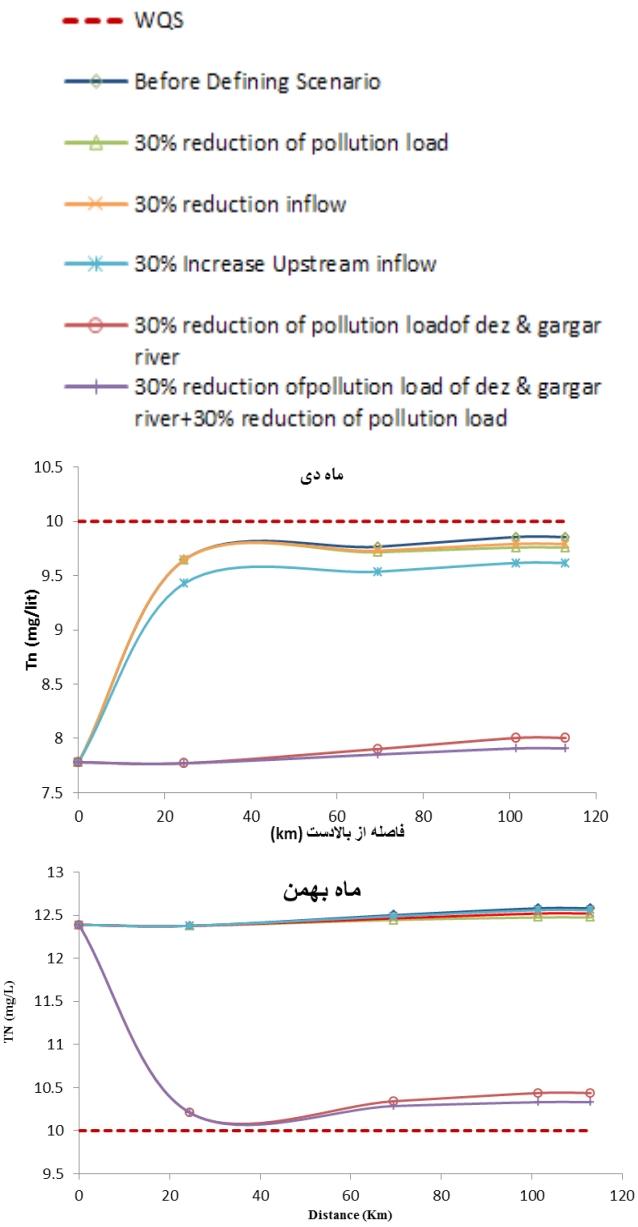


شکل ۸: شبیه‌سازی کلیفرم تحت شرایط افزایش جریان در بالادست، کاهش جریان و غلظت بارآلاینده‌های ورودی رودخانه کارون سال ۹۰-۸۹

Fig. 8. Modelling Pathogens in situations of increasing flow rate in Karun River upstream, deceasing flow rate and concentration of entering pollutants 2010-2011

همان‌طور که از شکل ۸ مشاهده می‌شود، در ماه‌های آبان، دی، بهمن و اسفند غلظت زمینه تاثیر قابل توجه‌ای بر روی کیفیت آب رودخانه داشته بطوریکه غلظت کلیفرم در ماه‌های آبان، بهمن و اسفند از کیلومتر ۸۰ از ایستگاه عرب اُسد بالاتر از استاندارد کاربری بوده و مناسب برای ورود بار آلاینده نیست و در ماه دی با اینکه شرایط اعمال شده برای بهبود مقدار کلیفرم رودخانه، مقدار این متغیر کیفی بیشتر از حد استاندارد کیفی است. ۳۰% کاهش غلظت آلاینده‌های ورودی، کاهش جریان آلاینده‌های ورودی به رودخانه کارون و افزایش جریان در بالادست رودخانه تا کیلومتر ۸۰ تاثیر یکسانی بر بهبود مقدار کلیفرم داشته‌اند و از کیلومتر ۸۰، ۳۰% کاهش جریان آلاینده‌های ورودی، افزایش جریان در بالادست و کاهش آلاینده‌های ورودی در بازه ملاثانی تا اهواز به ترتیب در بهبود مقدار کلیفرم تاثیر داشته‌اند. ۳۰% کاهش غلظت آلاینده‌های ورودی رودخانه‌های دز و گرگر به رودخانه کارون و آلاینده‌های ورودی در بازه ملاثانی تا اهواز بیشترین تاثیر بهبود مقدار کلیفرم را داشته است. در ماه‌های آبان، بهمن و اسفند کاهش ۳۰%

جریان آلاینده‌های ورودی به رودخانه در بازه ملاثانی تا اهواز و سپس ۳۰% افزایش جریان در بالادست بیشترین تاثیر را در بهبود مقدار کلیفرم داشته‌اند.



شکل ۹: شبیه‌سازی نیترات تحت شرایط افزایش جریان در بالادست، کاهش جریان و غلظت بارآلاینده‌های ورودی رودخانه کارون سال ۹۰-۸۹

Fig. 9. Modelling Nitrate in situations of increasing flow rate in Karun River upstream, deceasing flow rate and concentration of entering pollutants 2010-2011

همان‌طور که از شکل ۹ مشاهده می‌شود، در ماه دی غلظت نیترات در طول مسیر افزایش یافته و در محدوده بحرانی نزدیک به استاندارد کاربری است و غلظت نیترات در ماه بهمن بیشتر از حد مجاز بوده است. در فصل زمستان به دلیل استفاده از کودهای نیتراته برای رشد گیاهان و ورود پساب این آلاینده به رودخانه غلظت نیترات بیشتر از فصل‌های دیگر است و این فصل مناسب برای ورود آلاینده‌ها به رودخانه کارون نیست. کاهش ۳۰% آلاینده‌های ورودی از رودخانه‌های دز و گرگر به رودخانه کارون و آلاینده‌های ورودی در بازه ملاثانی تا اهواز تاثیر زیادی در کاهش مقدار نیترات داشته‌اند به طوری که در ماه بهمن مقدار این متغیر کیفی تا رسیدن به حد استاندارد کاربری بهبود یافته است. در ماه دی افزایش ۳۰% جریان در بالادست تاثیر بیشتری نسبت به ۳۰% کاهش غلظت یا جریان آلاینده‌های ورودی در بازه ملاثانی تا اهواز در بهبود مقدار نیترات داشته است. با توجه به معادله (۴) و شکل ۷ تا ۹ کاهش α درصدی هر یک از مقادیر غلظت یا دبی واحد صنعتی/کشاورزی، تاثیر یکسانی دارد مگر اینکه دبی جریان واحد صنعتی در مقابل دبی جریان رودخانه، عدد قابل توجهی باشد.

در تحقیقاتی که توسط باقری مرزونی و همکاران (۲۰۱۴)، شمسائی و همکاران (۱۳۸۴) و کارآموز و همکاران (۲۰۰۴) به بررسی کیفیت آب رودخانه کارون پرداخته شده است وضعیت بحرانی رودخانه را گزارش داده‌اند و رودخانه در فصل زمستان بیشترین توان خودپالایی را داشته و در فصل تابستان توان خودپالایی کمتر بوده است. در این تحقیق با تحلیل متغیرهای کیفی BOD، کلیفرم و نیترات فصلی بر آن این نتیجه دریافت شد که رودخانه کارون برای متغیرهای کیفیت آب در فصل زمستان از توان خودپالایی بالائی برخوردار است و در فصل تابستان توان خودپالایی کم می‌شود.

۴- نتیجه‌گیری

نتایج شبیه‌سازی صورت گرفته برای متغیرهای کیفی BOD، کلیفرم و نیترات نشان می‌دهد که غلظت نیترات در فصل زمستان به دلیل استفاده از کودهای نیتراته برای رشد گیاهان و ورود پساب این آلاینده به رودخانه بیشتر از سایر فصل‌ها است و این فصل مناسب برای ورود آلاینده‌ها به رودخانه کارون نیست. رودخانه کارون بیشترین خودپالایی را برای کلیفرم در ماه اسفند دارد اما به طور کلی در ماه‌های گرم سال به دلیل از بین رفتن کلیفرم در اثر نور خورشید این متغیر در حد استاندارد کاربری است. کاهش ۳۰% غلظت آلاینده‌های ورودی از رودخانه‌های دز و گرگر به رودخانه کارون و آلاینده‌های ورودی در بازه ملاثانی تا اهواز در ماه‌هائی که این متغیرهای کیفی بیشتر از حد استاندارد کیفی بوده‌اند بیشترین تاثیر را در بهبود مقدار متغیرهای کیفی BOD و نیترات داشته است. ۳۰% کاهش غلظت آلاینده‌های ورودی رودخانه‌های دز و گرگر به رودخانه کارون و آلاینده‌های ورودی در بازه ملاثانی تا اهواز بیشترین تاثیر بهبود مقدار کلیفرم را داشته است.

سپاسگزاری

این تحقیق و تهیهٔ مقالات مربوط با پشتیبانی دانشگاه تهران و شرکت سهامی آب و برق خوزستان انجام شده است که بدینوسیله قدردانی می‌شود.

مراجع

[1] Vice Presidency for Strategic Planning and Supervision, Guideline Manual For Assimilative Capacity Studies in Rivers, Islamic Republic of Iran, 2009.

[2] G.A. Azimi M, Hashemi S, Barekatin S, Jafari Gol F Investigation of self-purification With the help of the results of qualitative simulation (study area: Sefidrood river), in: National Water Conference with Clean Water Approach, University of Water and Power Industry (Shahid Abbaspour), 2009.[In Persion]

[3] N. Mehrdadi, M. Ghobadi, T. Nasrabadi, H. Hoveidi, Evaluation of the quality and self purification potential of Tajan river using QUAL2E model, Journal of Environmental Health Science & Engineering, 3(3) (2006) 199-204.

[4] C. Fan, C.-H. Ko, W.-S. Wang, An innovative modeling approach using Qual2K and HEC-RAS integration to assess the impact of tidal effect on River Water quality simulation, Journal of Environmental Management, 90(5) (2009) 1824-1832.

[5] R.d.A. Camargo, M.L. Calijuri, A.d.F. Santiago, E.d.A.d. Couto, Water quality prediction using the QUAL2Kw model in a small karstic watershed in Brazil, Acta Limnologica Brasiliensia, 22(4) (2010) 486-498.

[6] F. Bottino, I.C. Ferraz, E.M. Mendiondo, M.d.C. Calijuri, Calibration of QUAL2K model in Brazilian micro watershed: effects of the land use on water quality, Acta Limnologica Brasiliensia, 22(4) (2010) 474-485.

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

[8] M. Shamsaei, S. Oraei Zare, A. Srang, Investigation of quality and zoning of Karun and Dez river, in: Water and Wastewater Isfahan, 2005. [In Persion]

[9] J.N. Bani Saeid N, Hashemi H and Tavasoli A Investigation of Karun water qoality in GarGar reach by Qoual2k, in: Third National Congress of Civil Engineering, Tabriz University of Tabriz, Depatrement of Civil Engineering, 2008. [In Persion]

[10] M. Karamouz, N. Mahjouri, R. Kerachian, River water quality zoning: a case study of Karoon and Dez River system, (2004).

[11] M.M. BAGHERIAN, A.M. Akhoundali, H. Moazed, N. Jaafarzadeh, J. Ahadian, H. Hasoonizadeh, Evaluation of Karun River Water Quality Scenarios Using Simulation Model Results, (2014).

[12] M. Afkhami, M. Shariat, H.N.E. JAFARZADEH, H. Ghadiri, N.R. NABIZADEH, Developing a water quality management model for Karun and Dez Rivers, (2007).

[13] M. Karamouz, A master plan for water pollution reduction of Karoon River in the province of Khuzestan, Khuzestan Department of Environment, (2002).

[14] M. Karamouz, R. Kerachian, M. Akhbari, B. Hafez, Design of river water quality monitoring networks: a case study, Environmental Modeling & Assessment, 14(6) (2009) 705.

[15] L.C. Brown, T.O. Barnwell, The enhanced stream water quality models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS: documentation and user manual, US Environmental Protection Agency. Office of Research and Development. Environmental Research Laboratory, 1987.

[16] S. Chapra, G. Pelletier, H. Tao, Documentation and Users Manual QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality, Version 2.11, Civil and Environmental Engineering Dept., Tufts University, Medford, MA, (2008) 109.

[17] S.C. Chapra, G. Pelletier, H. Tao, QUAL2K: A modeling framework for simulating river and stream water quality: Documentation and users manual, Civil and Environmental Engineering Dept., Tufts University, Medford, MA, (2003).

[18] Vice Presidency for Strategic Planning and Supervision, Guideline for Application of Physical and Mathematical Models in River Engineering, Islamic Republic of Iran, 2012.

[19] United States Environmental Protection Agency (EPA), Technical Guidance Manual for Developing Total Maximum Daily Loads. Book II: Streams and Rivers. Part 1: Biochemical Oxygen Demand/Dissolved Oxygen and Nutrients/Eutrophication, 1995.

[20] WWF – Pakistan through consultation with stakeholders, National Surface Water Classification Criteria and Irrigation Water Quality Guidelines for Pakistan, 2007.

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:

Please cite this article using:

S. Moghimi Nezad, K. Ebrahimi, R. Kerachian, Investigation of Seasonal Self-purification Variations of Karun River, Iran. *Amirkabir J. Civil Eng.*, 49(4) (2018) 621-634.

DOI: 10.22060/ceej.2016.866