تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال یکم، شماره ۲، تابستان ۱۳۸۴
Volume 1, No. 2, Summer 2005 (IR-WRR)
۸۵-۹۶

بررسی تغییرات کیفیت آب رودخانه کارون با کاربرد برنامه Qual2E

نعمت الله جعفرزاده حقیقی[۱]، محمد توسلی[۲]، علی باروتکوب[۳]

چکیده

آگاهی از روند تغییرها و پیش بینی کیفیت حال و آینده آب کارون با توجه به طرحها و برنامه‌های آینده توسعه‌شهری، کشاورزی و صنعتی، امکان پیش بینی مشکلات احتمالی آینده و برنامه ریزی و چاره اندیشی برای آنها رافراهم می‌آورد. بدین لحاظ مطالعات کیفیت آب طرح ساماندهی آبراهه کارون با هدف بررسی وضعیت کیفیت آب دروضع موجود و در شرایط توسعه و نیز مشخص کردن تنگناها و مسائل ناشی از بهره‌برداریهای بی رویه و روزافزون آب این رودخانه از نظر کیفیت، انجام شد. در این مطالعات ضمن بررسی آمار داده‌های اندازه‌گیری شده در سالهای گذشته، نتایج بررسی‌های انجام شده قبلی نیز مورد ارزیابی قرار گرفته است. همچنین با توجه به نقش و اهمیت داده‌های جدید مربوط به پارامترهای کیفی آب رودخانه و توالی زمانی آنها، در این مطالعات یک سال نمونه‌برداری از محلهای مهم ورود پساب شهری، صنعتی و کشاورزی و همچنین از ایستگاههای پیشنهادی بر روی رودخانه انجام و نتایج آزمایش‌ها جهت تجزیه و تحلیل بکار گرفته شد. این نتایج همچنین در یک مدل ریاضی جامع پیش بینی کیفی آب (برنامه Qual2E) مورد استفاده قرار گرفته و پس از کالیبره کردن مدل مزبور، وضعیت کیفیت آب رودخانه در وضع موجود و شرایط توسعه نیز پیش بینی و ارزیابی شده است. در نهایت نتایج مطالعات و کاربرد مدل, بیانگر وضعیت آلوده رودخانه در شرایط موجود و آتی بدون تصفیه پسابهای ورودی است.

۱- استادیار دانشکده بهداشت دانشگاه اهواز
۲- کارشناس ارشد سازه‌هاي آبي ـ شرکت مهندسین مشاور دز آب
۳- کارشناس بهداشت محیط ـ شرکت مهندسین مشاور دزآب

کلمات کلیدی : کیفیت آب کارون، شبیه‌سازی، مدل ریاضی، کیفیت آب

Investigation of Karoon River Water Quality Variations Using Qual2E Program

N. Jafarzadeh- Haghighi[1], M. H. Tavasoli[2], A. Barootkoob [3]

Abstract

Understanding the trend of changes and also prediction of Karoon water quality now and in the future through the development programs for urban, agriculture, and industry sectors enable the policy-maker to predict the future problems and plan accordingly. So, the study of Karoon river training program has been undertaken to investigate the water quality condition. For distinguishing the problems which are emerageing from poor operation of reservoirs in the past as could be seen from the prior investigation, a simulation model is needed. Also considering the importance of new data of the water quality, one year of data is collected and new status have been proposed. Qual2E simulation program has been calibrated and used. The results show the poor water quality of the river at present and in the future if the waste waters are not treated property.

1 – Assistant Professor, Ahvaz University of Medical Science
2 – MS. Hydraulic Structure, Dezab Consulting Eng., Ahvaz-Iran
3 – BS. Environmental Science, Dezab Consulting Eng., Ahvaz-Iran

Keywords: Data sampling, Simulation, Mathematical model , Water quality

۱- مقدمه

رودخانه کارون از پر آب‌ترین رودخانه‌های کشور محسوب می‌شود که در مسیر خود آب شرب مورد نیاز دهها شهر و روستا و هزاران هکتار اراضی کشاورزی، چندین طرح پرورش ماهی و طرحها و کارخانه‌های صنعتی را تأمین می کند. کاهش آبدهی رودخانه در مسیر خود بر اثر برداشتهای روزافزون آب از یک سو و در عین حال تخلیه پساب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی به رودخانه، از سوی دیگر وضعیت کیفی آب رودخانه را در وضع موجود به مخاطره افکنده است. آگاهی از روند تغییرها و پیش بینی کیفیت آینده آب کارون با توجه به طرحها و برنامه‌های آینده توسعه شهری، کشاورزی و صنعتی، امکان پیش‌بینی مشکلات احتمالی آینده و برنامه‌ریزی و چاره‌اندیشی برای آنها را فراهم می‌آورد. بدین لحاظ مطالعات کیفیت آب طرح ساماندهی آبراهه کارون که بزرگترین و جامع‌ترین طرح ساماندهی رودخانه در کشور محسوب می‌شود، با هدف بررسی تغییرها پارامترهای کیفی در بازه‌های محدوده طرح، مقایسه کیفیت آب با استانداردهای مصرف و زیست‌محیطی، شناسایی و تعیین کیفی و کمی آلودگیها، طبقه‌بندی منابع آلاینده درمحدوده طرح، بررسی وضعیت خودپالایی و تعیین حداقل آبگذر ایمن رودخانه در وضع موجود و آتی و بررسی آثار گزینه‌های آتی بر کیفیت آب انجام شد.

رودخانه یک اکوسیستم پیچیده شامل مواد معدنی، تولیدکننده‌ها، مصرف‌کننده‌ها و تجزیه‌کننده‌هاست. قدرت تصفیه طبیعی رودخانه‌که بر پایه عوامل و شرایط هیدرولیکی، هیدرولوژیکی و بیولوژیکی آن استوار است، قابلیت حذف مواد آلاینده آلی و معدنی را از محیط زیست رودخانه فراهم می‌سازد. مهمترین نوع تصفیه‌ای که در شرایط طبیعی رودخانه رخ می‌دهد، تصفیه بیولوژیکی به کمک باکتریهای هوازی است. بنابراین غلظت اکسیژن محلول آب عامل تعیین کننده‌ای در توان تصفیه طبیعی منابع است و از اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی (BOD) می‌توان به عنوان شاخص با ارزشی در ارزیابی کیفیت آب از لحاظ آلودگی‌های بامنشاء آلی استفاده کرد (جعفرزاده و همکاران، ۱۳۷۷) از آنجا که حفاظت کیفی رودخانه به سرمایه‌گذاریهای اضافی برای تصفیه پسابها یا سیستمهای جمع‌آوری و کنترل زه آبها نیاز دارد و ممکن است به محدود کردن توسعه فعالیتها در حوزه رودخانه منجر شود، بنابراین می‌تواند آثار اقتصادی قابل توجهی نیاز داشته باشد. پس وجود ابزاری نظیر یک مدل شبیه ساز کامپیوتری به منظور نشان دادن شرایط موجود و آتی و محدودیتهای لازم برای دستیابی به استانداردهای کیفی مورد نظر ضروری به نظر می‌رسد. در این راستا جهت شبیه‌سازی وضع کیفی رودخانه در محدوده مطالعاتی طرح ساماندهی آبراهه کارون پس از انجام بررسی‌های مقدماتی، نرم‌افزار مورد نظرانتخاب و در دستور کار قرار گرفت (Velz , 1990).

پس از آن با تعیین و برآورد تغییرهای ایجاد شده در اثر انتخاب گزینه‌های مختلف توسعه، چگونگی تغییرهای کیفی رودخانه در بازه‌های مختلف و در افق ۵۰ سال آینده مورد تحلیل قرار گرفته و شرایط لازم جهت حفظ کیفیت آب رودخانه برای مصارف مختلف مشخص شد.

۲- روش تحقیق

مطالعات کیفی آب، بازه‌ای به وسعت رودخانه کارون از محل ورود به دشت خوزستان در حوالی گتوند و رودخانه دز از محل سد تنظیمی دزفول تا اتصال کارون به خلیج فارس از طریق بهمنشیر را در بر می‌گیرد. جهت دستیابی به اهداف طرح پس از بازدیدهای منطقه‌ای و بررسی و مطالعه سوابق و منابع اطلاعاتی موجود، اصول کار بر پایه شناسایی منابع آلاینده و جمع‌آوری پارامترهای کیفی آنها، تجزیه و تحلیل داده‌ها و مقایسه اطلاعات منابع مختلف با هم و در نهایت استفاده از مدل کیفی قرار گرفت.

پساب اراضی کشاورزی، صنایع و مناطق مسکونی، مهمترین منابع آلاینده ورودی به رودخانه هستند؛ ازاین رو در راستای انجام مطالعات در محدوده طرح به بررسی و شناسایی منابع آلاینده و اطلاعات آنها پرداخته شده است. از آنجا که تاکنون مطالعات متعددی در زمینه بررسی کیفیت رودخانه کارون و منابع آلوده کننده مجاور آن صورت گرفته است، برای شناخت هر چه بیشتر رودخانه و به منظور تعیین دقیق‌تر ایستگاههای مطالعاتی، نتایج مطالعات گروههای مختلف (وزارت نیرو، سازمان حفاظت محیطزیست، پایان‌نامه‌های دانشگاهی و گزارش‌های موجود) گردآوری و مورد بررسی قرار گرفتند.

بررسی منابع اطلاعاتی گواه این مطلب است که یک دوره نمونه‌برداری برای در اختیار داشتن جدیدترین اطلاعات در یک دوره آماری معین و متوالی در تمام طول آبراهه لازم و ضروری به نظر می‌رسد (جعفرزاده و همکاران، ۱۳۸۰). در این راستا بازدیدها و عملیات میدانی در امتداد و حاشیه آبراهه در جهت شناسایی ایستگاههای نمونه‌برداری و همچنین شناسایی انواع آلاینده‌های ورودی به آن صورت گرفت. بر این اساس در طول بازه‌مطالعاتی، ۲۵ ایستگاه نمونه‌برداری بر روی رودخانه و نیز ۹ زهکش عمده کشاورزی، ۱۷ ورودی پساب واحدهای صنعتی و ۳۷ ورودی فاضلاب شهری از ۷ شهر مجاور آبراهه (دزفول، گتوند، شوشتر، ملاثانی، ویس، اهواز، آبادان و خرمشهر) تعیین و بمدت یکسال بطور ماهیانه نمونه برداری از این ۸۸ نقطه شد. در هر محل با توجه به ویژگیها و شرایط محلی و نوع پساب، پارامترهای کیفی مورد نیاز توسط آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. پارامترهای کیفی مورد اندازه‌گیری عمدتاً

مجموعه آنیونها وکاتیونهای لازم، بار آلی، شاخصهای بیولوژیکی, یکی از اهداف مطالعه، اطلاع از تغییر یا عدم تغییر پارامترهای کیفی به تفکیک در طول آبراهه کارون ازشمال تا جنوب است و از آنجا که مقایسه میانگین‌ها به تنهائی نمی‌تواند معیار دقیق و مناسبی برای قضاوت باشد بنابراین از روش تجزیه واریانس برای آگاهی از تغییر و یا عدم تغییر پارامترهای اندازه‌گیری شده استفاده شد. همچنین به منظور تجزیه و تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده کیفی آب ایستگاههای مطالعاتی، اقدام به تعیین روابط دبی با پارامترهای کیفی و شاخص‌های کیفی باهم شد.

موضوع بسیار مهم در مطالعات ساماندهی رودخانه‌ها, تعیین کیفیت آب برای مصارف مختلف‌کشاورزی، شرب و صنعت است که هر یک به لحاظ کیفی می‌بایست دارای ویژگیهای کیفی و معیارهای مشخص باشد. در این مطالعات با توجه به اطلاعات حاصل از پارامترهای کیفی اندازه‌گیری شده درمنطقه طرح، دیاگرامهای شولر و ویلکاکس و استانداردهای موجود، طبقه‌بندی آب خام برای مصارف شرب، کشاورزی و صنعت از شمال تا جنوب آبراهه کارون صورت گرفت.

بررسی یافته‌های کیفیت منابع آلاینده (شهری، کشاورزی و صنعتی) و مقایسه آن با استانداردهای زیست‌محیطی جهت آگاهی از تغییرهای این پارامترها نسبت به استانداردها و مشخص کردن نقاط بحرانی رودخانه، تعیین بار آلودگی برای منابع ورودی به رودخانه، همچنین ترسیم نقشه‌های آلودگی (فیزیکی، شیمیایی وبیولوژیکی) و آزمون همگنی داده‌های منابع آلاینده طرح با مطالعات قبلی، فعالیتهای انجام گرفته بر روی داده‌های جمع آوری شده منابع آلاینده جهت تجزیه و تحلیل است.

علاوه بر جمع آوری اطلاعات و تجزیه و تحلیل داده‌های آلودگی و نتایج نمونه برداری مختلف آبراهه،برای تعیین اثر آلاینده‌ها بر بدنه آبهای پذیرنده ضروری است که فرآیند فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی با بهره گیری از معادلات ریاضی و مدل‌ها توصیف شود تا بتوان نتایج کیفی آب را پیش بینی کرد. مدل‌های کامپیوتری به صورت وسیع تحلیل ترکیبی کیفیت آب بکار برده می‌شوند این مدل‌ها بطور معمول شامل آنالیز اکسیژن محلول، نیاز اکسیژن خواهی بیوشیمیایی، چرخه نیتروژن، فلزات سنگین و مواد شیمیایی پایدار در محیط هستند (جعفرزاده- نعمت‌اله ، رستمی- صغرا ، لاهیجان زاده- عبدالرضا ، کعبی- هلنا، ۱۳۷۸). پس از بررسی مدل‌های مختلف همانندساز خودپالایی رودخانه‌ها و با توجه به ویژگیها، مزایا و معایب هر کدام و با عنایت به نوع و سطح اطلاعات شاخصهای فیزیکی و فلزات سنگین هستند.
موجود، نرم‌افزار Qual 2E به عنوان مناسب ترین مدل برای بررسی خودپالایی و شبیه‌سازی وضع کیفی رودخانه در محدوده مطالعاتی طرح ساماندهی آبراهه کارون انتخاب شد و در توصیف وضعیت موجود و پیش بینی وضع آتی برای گزینه‌های مختلف مورد استفاده قرارگرفت.

۳- معرفی مدل Qual 2E

مدل Qual-I در دهه۱۹۶۰ توسط مؤسسه توسعه آب تگزاس[1] تکمیل و پس از آن ویرایشهای‌متعددی از مدل ارائه شد که پس از مطالعه و بررسی کامل سری Qual-II که توسط EPA[2] نیز پشتیبانی می شد، به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفت. ویرایش جدید مدل کیفی رودخانه Qual 2E مدلی جامع و فراگیر در زمینه کیفیت آب رودخانه‌هاست. این مدل می‌تواند تا پانزده جزء کیفی (جدول ۱) را با هرترکیب دلخواه شبیه‌سازی کند که می‌توان آن را در رودخانه‌های شاخه‌دار با اختلاط کامل به کاربرد (کرمی‌زاده، ۱۳۷۶).

این‌مدل از روش تفاضل محدود برای حل معادلات انتقال جرم جابجایی ـ پخش و واکنشها استفاده می‌کند. مدل یک قطعه از رودخانه را به تعدادی عناصر محاسباتی تقسیم و برای هر عنصر محاسباتی موازنه هیدرولوژیکی را برحسب دبی (m^3 /sec) ,موازنهٔ حرارتی را برحسب دما (Ċ) و موازنهٔ جرم را برحسب غلظت (mg/l) انجام می‌دهد. معادله اصلی Qual 2E، معادله انتقال جرم پخش ـ جابجایی یک بعدی است که به صورت عددی برای هر جزء کیفی آب روی فضا و زمان انتگرال گرفته شده است. این معادله شامل جابجایی، پخش، ترقیق، واکنشها و اندرکنشهای اجزاء و منابع و مصارف است. برای هر جزء، C، این‌معادله عبارت است از :

$$\frac{\partial c}{\partial t}=\frac{\partial(A_x D_L \frac{\partial c}{\partial x})}{A_x \partial x}-\frac{\partial(A_x \overline{U} C)}{A_x \partial x}\frac{dc}{dt}+\frac{S}{V} \qquad (۱)$$

که در آن:

C : غلظت (ML^{-3})

V : حجم افزایشی (L^3)

X : فاصله (L)

A_x : سطح مقطع (L^2)

D_L : ضریب پخش (LT^{-1})

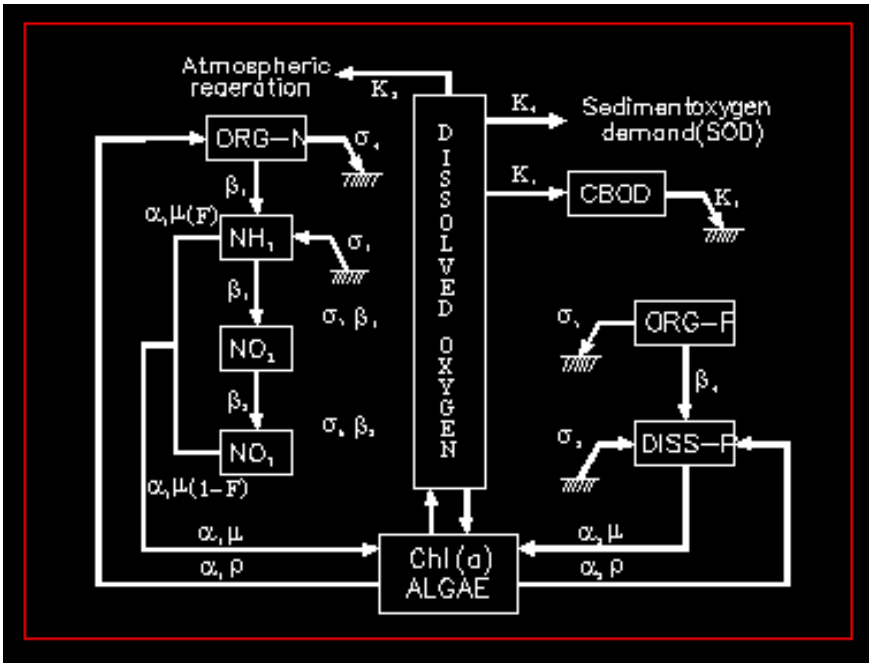
U : میانگین سرعت (LT^{-1})

t : زمان (T)

S : منابع یا مصارف خارجی (MT^{-1})

جدول ۱- پارامترهای کیفی قابل مدل شدن در مدل Qual 2E

Dissolved Oxygen	Ammonia as N	Coliform Bacteria
Biochemical Oxygen demand	Nitrite as N	Arbitrary Nonconservative Constituent
Temperature	Nitrate as N	Conservative Constituent I
Algae as Chlorophyll a	Organic Phosphorus as P	Conservative Constituent II
Organic Nitrogen as N	Dissolved Phosphorus as P	Conservative Constituent III



شکل ۱- اثرات متقابل ضرایب کینیتیکی بارآلی، مواد مغذی و رشد جلبکی در برنامه Qual 2E

مدل Qual 2E از یک برنامه اصلی که به وسیله زیر برنامه‌های مختلف پشتیبانی می‌شود، تشکیل شده‌است. این مدل شامل اندرکنشهای اصلی چرخه‌های غذایی، تولید جلبک، اکسیژن خواهی کف‌زی‌ها، مصرف اکسیژن کربنی، بازدمش اتمسفری و آثار آنها روی رفتار اکسیژن محلول است. شکل (۱) این اندرکنشها را بصورت مفهومی نشان می‌دهد. با این توضیح که کلیفرم‌ها و جزء ناپایدار اختیاری به صورت اجزای ناپایدار زوال‌پذیری که با سایر اجزاء اندرکنش ندارند، مدل می‌شوند. همچنین اجزای پایدار نه زوال پذیرند و نه با سایر اجزا واکنش می‌دهند. میزان آثار متقابل این ترکیبات براساس نمایش توابع ریاضی ارائه شده در برنامه و بادر نظر گرفتن میزان ورودی و ثابتهای بکار رفته در واکنش‌ها، برآورد می‌شود.

موازنه اکسیژن یک سیستم رودخانه‌ای به ظرفیت بازدمش آن بستگی دارد. این ظرفیت تابعی ازفرآیندهای جابجایی و نفوذ است که در درون سیستم، منابع داخلی و مصرف کننده‌های اکسیژن رخ می‌دهد. منابع اصلی اکسیژن علاوه بر بازدمش تولیدی، فتوسنتز و اکسیژن همراه جریانهای ورودی هستند. مصرف کننده‌های اصلی اکسیژن شامل اکسیداسیون بیوشیمیایی، مواد آلی کربنی و نیتروژنی، اکسیژن خواهی مواد بستر و اکسیژن مصرفی توسط تنفس جلبکی هستند. معادله دیفرانسیل نرخ تغییر اکسیژن در Qual 2E برای این مطالعات بصورت زیر است :

(۲)

$$\frac{do}{dt} = K_2(O^* - O) - K_1 L - K_4 / d - a_5\beta_1 N_1 - a_6\beta_2 N_2$$

که در آن :

O : غلظت اکسیژن محلول(mg/l)

K_2: نرخ بازدمش براساس رابطه نفوذفیک، وابسته به دما (day^{-1})

O^* : غلظت اکسیژن محلول اشباع در فشار و دمای‌محل (mg/l)

K_4 : نرخ اکسیژن خواهی‌رسوب، وابسته به دما $(g/ft^{-2}-day)$

a_5 : نرخ مصرف اکسیژن بر واحد اکسیداسیون نیتروژن آمونیاکی (mg-O/mg-N)

K_1 : نرخ اکسیژن خواهی BOD کربنی، وابسته به دما (day^{-1})

β_1 : ضریب نرخ‌اکسیداسیون آمونیاک، وابسته به دما (day^{-1})

a_6 : نرخ مصرف اکسیژن بر واحد اکسیداسیون نیتروژن نیتریتی (mg-O/mg-N)

β_2 : ضریب نرخ‌اکسیداسیون نیتریت، وابسته به دما (day^{-1})

N_1 : غلظت نیتروژن آمونیاکی (mg-N/L)

L : غلظت BOD کربنی نهایی (mg/l)

N_2 : غلظت نیتروژن نیتریتی (mg-N/L)

d : میانگین عمق نهر (ft)

۴- نحوه تهیه مدل و واسنجی آن

برای اجرای مدل, ابتدا تعیین یک سری داده‌ها و ورود آنها به برنامه شامل: محدوده مطالعاتی, پارامترهای کیفی شبیه‌سازی شده, مشخصات هیدرولیکی رودخانه, مشخصات سینتیکی, منابع غیرنقطه ای و نفوذ آب, داده‌های هواشناسی و جغرافیایی, مشخصات کیفی و هیدرولیکی سرآبها, شرایط مرزی پایین دست و مشخصات منابع نقطه ای و برداشتها انجام شد.

این مدل، تغییر شرایط دبی در طول رودخانه را با محاسبه یک سری پروفیلهای سطح آب در حالت پایدار شبیه‌سازی‌می‌کند. دبی محاسبه شده رودخانه، سرعت، سطح و عمق آب اساس تعیین شارهای حرارتی و جرمی ورودی وخروجی ناشی از جریان به هر عنصر محاسباتی هستند.

در این مدل, سیستم رودخانه‌ای با تعداد و نام قطعات, ابتدا و انتهای قطعه و تعیین سرآب توصیف می شود که توالی قطعات , بیانگر نحوه اتصال آنهاست. هر قطعه نیز به تعدادی عنصر محاسباتی با طول یکسان تقسیم می‌شود. از این رو بمنظور تعریف محدوده مورد مطالعه برای مدل, رودخانه کارون (بطول ۷۱۵ کیلومتر با ۱۰۶ قطعه و ۱۷۸۸ عنصر) بر اساس مشخصات هیدرولیکی نواحی مختلف بصورت زیر تقسیم بندی شد:

۱. شاخه دز : از پائین دست سد تنظیمی دزفول تا اتصال به کارون (بطول ۱۸۸ کیلومتر با ۲۶ قطعه و ۴۷۰ عنصر)
۲. شاخه گرگر: ازابتدا تا انتها (بطول ۸۴ کیلومتر با ۱۱ قطعه و ۲۱۰ عنصر)
۳. کارون : از گتوند تا زرگان (بطول ۱۷۰ کیلومتر با ۹۶ قطعه و ۴۲۵ عنصر)
۴. کارون : از زرگان تا دارخوین (بطول ۱۶۲ کیلومتر با ۲۶ قطعه و ۴۰۵ عنصر)
۵. کارون : از دارخوین تا خلیج فارس (بطول ۱۱۱ کیلومتر با ۱۸ قطعه و ۲۷۸ عنصر)

به این منظور مشخصات هیدرولیکی از طریق معرفی ضرایب a،b،c و d در معادلات $V= aQ^{b}$ و $D=cQ^{d}$ که برای تعیین عمق و سرعت جریان هر مقطع از رودخانه در مدل بکار می‌روند، به همراه ضرایب پخش و ضریب مانینگ به‌مدل وارد شد. جدول (۲) مقادیر متوسط این ضرایب را در گزینه وضع موجود (تیرماه) برای پنج محدوده مطالعاتی به عنوان نمونه نشان می‌دهد.

دیگر اطلاعات و داده‌های مورد نیاز مدل شامل ضرایب سینتیکی، داده‌های هواشناسی و جغرافیایی و مقادیر دبی و غلظت پسابها و برداشتها با استفاده از نتایج و مطالعات هواشناسی، هیدرولوژی و برنامه‌ریزی منابع آب و همچنین نتایج نمونه‌برداری کیفی طرح ساماندهی آبراهه کارون و مراجع معتبر فراهم شد. جدول (۳) مقادیر متوسط تعدادی از ضرایب سینتیکی در پنج محدوده مطالعاتی برای وضع موجود تیرماه و نهایی‌شده با واسنجی را نشان می‌دهد. با این توضیح که بسیاری از ضرایب فوق در المانهای هر محدوده (براساس شرایط آن قسمت رودخانه) متفاوت هستند و به همین دلیل متوسط این مقادیر در هر محدوده آورده شده است.

برای واسنجی مدل در این مطالعات نیز تا حد امکان سعی شده تا ضرایب, نرخ ها و پارامترهای مدل بر اساس داده های موجود بدست آید و در برخی موارد نیز از فرمول‌ها و مراجع معتبر استفاده شد. در انتها نیز شرایط مختلف وضع موجود بگونه ای کالیبره شد تا جوابهای آن مطابقت خوبی با شرایط واقعی داشته باشد. البته وجود شرایط جزر و مدی و محدودیتهای مدل در این مورد, ترجیح داده شد که جوابهای مدل تا سه شاخه حفار بررسی شده وقسمت انتهائی طرح (بهمنشیر تا خلیج فارس) نیز در بخش جداگانه‌ای مطالعه شود.

اجزای شبیه‌سازی شده توسط مدل در این مطالعات با توجه به اهداف طرح، نوع و سطح اطلاعات موجود، اکسیژن محلول، نیاز اکسیژن خواهی بیوشیمیایی، دما، چرخه فسفر، چرخه نیتروژن، کلیفرم، جزء ناپایدار قراردادی (COD) و چهار جزء پایدار (فلزات سنگین و EC) هستند. مدل بعد از واسنجی برای وضع موجود, برای گزینه‌های مختلف از جمله وضعیت موجود طی ۱۲ ماهه سال ۱۳۷۸ و وضعیت آتی با شرایط بالاترین دما برای وضعیتهای بدون تصفیه، با تصفیه و

حفظ استاندارد رودخانه‌ای (تعیین حداقل دبی خودپالایی) اجرا و شبیه‌سازی شد.

جدول ۲- متوسط ضرایب هیدرولیکی و پخشیدگی در بخشهای رودخانه (گزینه وضع موجود- تیرماه)

ضرایب بخش رودخانه	Dispersion Constant	Q Coefficent Velocity	Q Exponential Velocity	Q Coefficent Depth	Q Exponential Depth	Manning Coefficent
شاخه دز	۳۳۲/۱۹	۱/۷۳	۰/۳۹	۳/۰۹	۰/۲۲	۰/۰۳۶
شاخه گرگر	۵۶۵/۵۵	۰/۲۴	۰/۳۳	۰/۹۸	۰/۴۳	۰/۰۲۶
کارون ـ گتوند تا زرگان	۴۶۷/۲۱	۰/۶۵	۰/۱۹	۲/۶۵	۰/۱۷	۰/۰۳۲
کارون ـ زرگان تا دارخوین	۱۹۱۷/۵	۰/۰۵	۰/۵	۰/۲۸	۰/۲۷	۰/۰۲
کارون ـ دارخوین تا خلیج	۵۴۹۰/۵۶	۰/۰۳	۰/۴۷	۲/۰۵	۰/۰۳۱	۰/۰۲

جدول ۳- متوسط ضرایب سینتیکی منتخب در بخشهای رودخانه (گزینه وضع موجود- تیرماه)

ضرایب بخش رودخانه	BOD Decay (1/day)	BOD Settling (1/day)	SOD Rate (g/m^2-day)	Nonconstant Dacay (1/day)	Nonconstant Settling (1/day)	Nonconstant Benthos (mg/m2-day)
شاخه دز	۰/۱۴۲	۰/۰۸۵	۴/۳۸	۰/۱۴	۰/۰۷۱	۱/۳۸
شاخه گرگر	۰/۲۰۵	۰/۰۵۱	۱/۷۳	۰/۱۰۵	۰/۰۲۶	۱/۱۱
کارون ـ گتوند تا زرگان	۰/۱۸۴	۰/۰۲۳	۲/۰۹	۰/۰۷۷	۰/۰۳۷	۱/۸۵
کارون ـ زرگان تا دارخوین	۰/۱۷۷	۰/۰۴۴	۲/۹۸	۰/۱۴۱	۰/۰۴۴	۲/۹۸
کارون ـ دارخوین تا خلیج فارس	۰/۲۱	۰/۰۴۷	۳/۱۵۱	۰/۲۱	۰/۰۴۷	۳/۱۵

۵- یافته ها

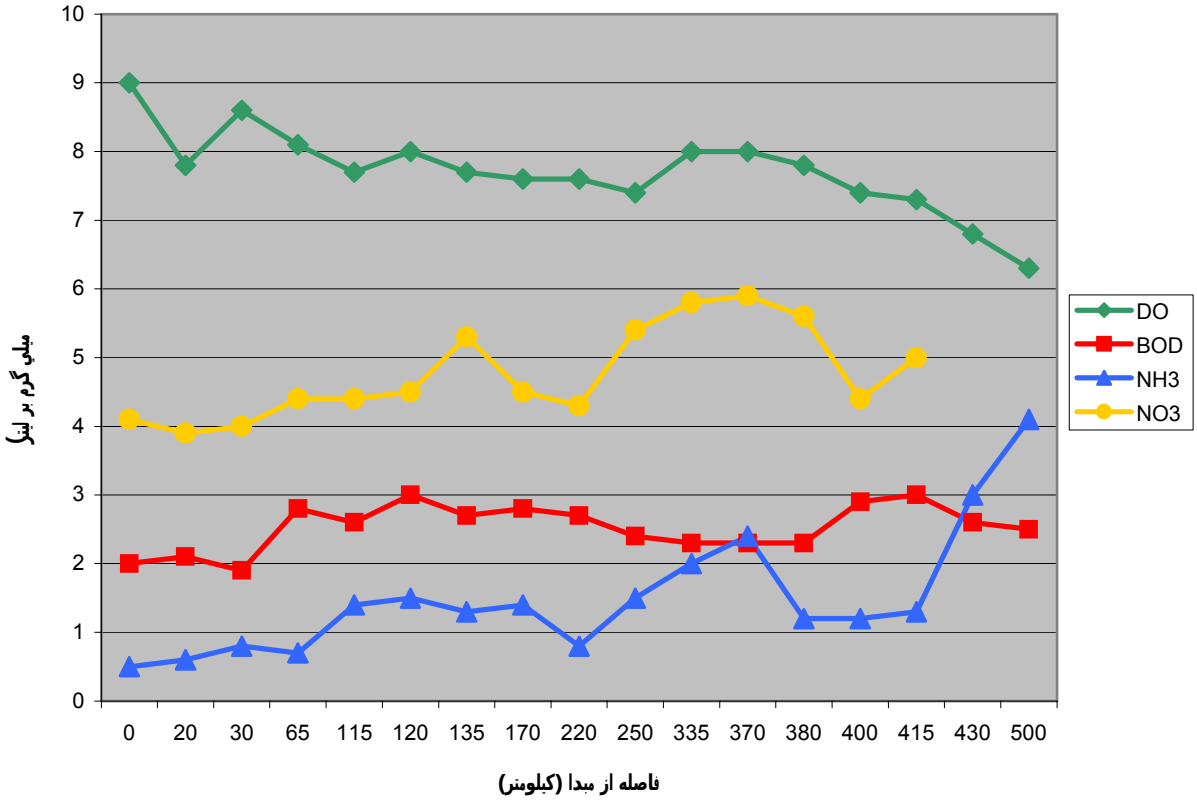
پیشگیری و کنترل آلودگی آب نیاز به مطالعات وسیعی دارد که با شناخت آلاینده‌ها و طبقه بندی آنها می‌توان به شناخت بهتر و مفیدتری دست یافت. در این مطالعات جهت دست یافتن به این شناخت، اقدام به نمونه‌برداری از رودخانه و همچنین منابع آلاینده ورودی به آن شده بود. شکل‌های (۲) و (۳) که حاصل نتایج این نمونه‌برداری بر روی رودخانه هستند، تغییر پارامترهای DO، BOD_5 ، NH_3 و EC در طول رودخانه کارون از سد گتوند تا اتصال بهمنشیر به خلیج فارس را نشان می‌دهند که در واقع بیان‌کننده وضعیت موجود آبراهه هستند. همچنین شکل (۴) نیز میانگین بار آلودگی رودخانه در ایستگاههای شاخص برای پارامترهای منتخب جهت نشان دادن وضعیت آلودگی آبراهه را نشان می‌دهد.

نتایج یافته‌های نمونه‌برداری از منابع آلاینده شهری، کشاورزی و صنعتی برحسب شهرستان جهت‌نشان دادن میزان و سهم بار آلوده ورودی به رودخانه از هر شهرستان برای چند پارامتر منتخب در جدول شماره (۴) آورده شده است. با مقایسه این جدول با برآوردهای بار آلودگی در مسیر رودخانه (شکل۴) قادر خواهیم بود روند افزایشی و یا کاهشی بار آلودگی رودخانه را براساس پساب منابع ورودی تحلیل کنیم.

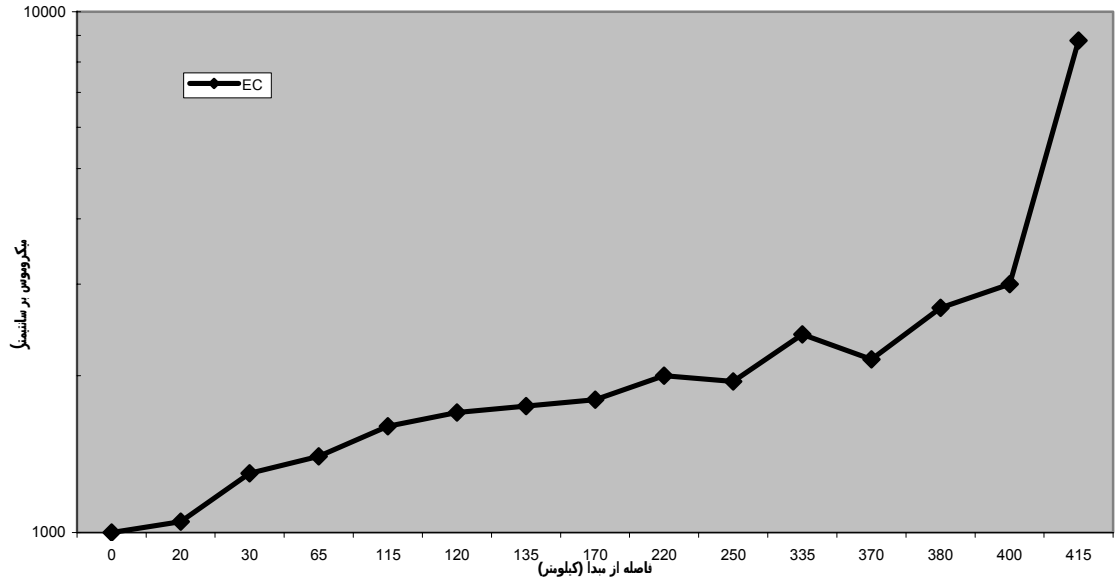
جدول ۴- بار آلودگی پسابهای شهری، صنعتی و کشاورزی ورودی به رودخانه (kg/day)

پارامتر	شهری			صنعتی			کشاورزی		
شهرستان	BOD_5	TSS	NH_3	BOD_5	NH_3	NO_3	BOD_5	TSS	NO_3
دزفول	۴۳۵۴	۲۴۷۳	۵۱۵	۲۸۳۶۹	۴۷۷	۲۸۸	۱۷۳۵۶	۲۰۹۶۷۲	۱۳۳۹۰
شوشتر	۲۸۴۵	۴۹۷۷	۵۴۳	۱۶۱۳	۱۲۷	۱۳۷	۱۰۸۶۷	۸۳۸۸۰	۵۸۲۲
اهواز	۴۲۱۵۰	۱۱۲۶۷۴	۷۶۶۴	۱۳۳۴۶	۱۱۳۶	۹۷۳	۵۷۹	۵۳۰۴	۲۰۹

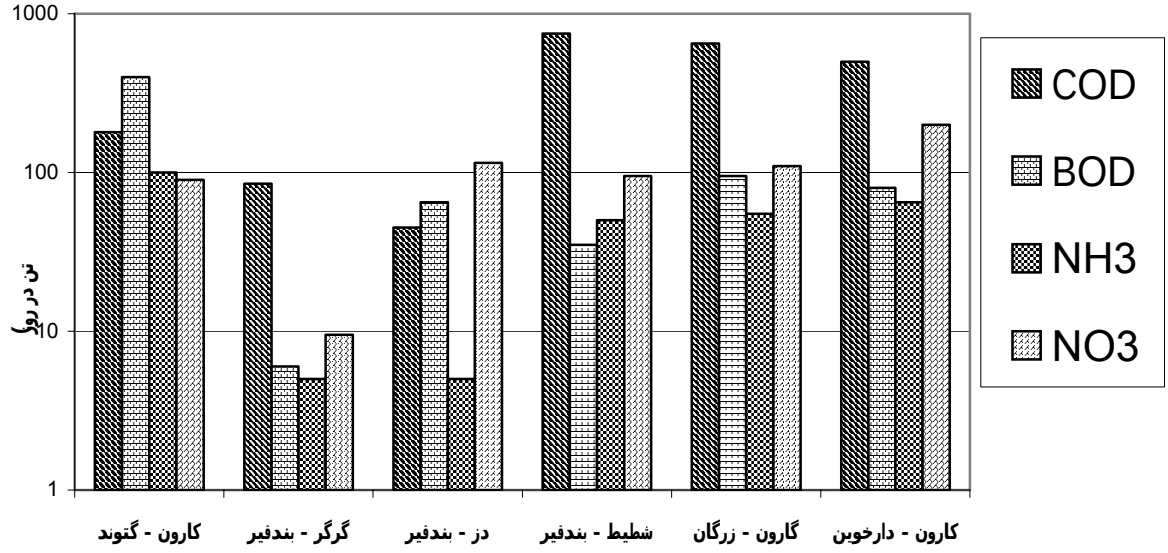
آبادان	۵۷۳۶	۱۳۲۳۷	۷۷۰	۵۰	۱	۱۵	-	-	-
خرمشهر	۵۰۵۶	۱۸۱۸۳	۸۷۳	۷۳۳	۱۵	۷۰۵	-	-	-



شکل ۲- تغییرات پارامترهای منتخب در طول رودخانه کارون



شکل ۳- تغییرات EC در طول رودخانه کارون



شه

کل ۴- بار آلودگی عبوری از ایستگاههای منتخب

جدول ۵- میزان پارامترهای منتخب در محدودهٔ طرح در گزینه‌های مختلف

پارامتر / گزینه	DO (mg/l)				BOD5 (mg/l)				sum N (mg/l)			
	دزفول	ابتدای اهواز	انتهای اهواز	خرمشهر	دزفول	ابتدای اهواز	انتهای اهواز	خرمشهر	دزفول	ابتدای اهواز	انتهای اهواز	خرمشهر
وضع موجود تیرماه	۷/۸	۶/۲	۳/۵	۳/۶	۱/۵	۴/۴	۶/۵	۲/۰	۲/۲	۴/۰	۴/۴	۹/۲
وضع آتی بدون تصفیه	۷/۸	۵/۳	۴/۱	۲/۰	۱/۵	۲/۳	۵/۵	۲/۰	۲/۲	۳/۳	۳/۷	۳/۸
وضع آتی با تصفیه	۷/۸	۵/۵	۵/۰	۳/۲	۱/۵	۶/۱	۱/۴	۰/۴	۲/۲	۲/۹	۳/۱	۳/۰
وضع آتی استاندارد کیفی	۷/۸	۶/۸	۶/۶	-	۱/۵	۰/۷	۰/۸	۱/۰	۰/۶	۰/۴	۰/۴	۰/۴

آگاهی از میزان پارامترهای مهم کیفی و وضعیت خودپالایی رودخانه در هر زمان و با هر شرایطی از مزیتهای مدل سازی است. جدول (۵) میزان پارامترهای منتخب برای محدوده شهرها و محلهای مهم در تعدادی از گزینه‌های شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد.لازم به توضیح است که میزان تصفیه, تا تامین استاندارد مصوب ملی ایران جهت تخلیه فاضلاب به آبهای سطحی در نظر گرفته شده است.

۶- نتیجه گیری

نتایج تجزیه و تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده کیفی آب ایستگاههای مطالعاتی و ضرایب همبستگی بالا بین روابط بدست آمده میان دبی با پارامترهای EC، SAR، PH، TDS، مجموع کاتیونها و آنیونها و پارامترهای کیفی منتخب، امکان ایجاد و استفاده از این روابط همبستگی را بویژه در مواقعی که اندازه‌گیری امکان‌پذیر نباشد، تایید کرد. همچنین طبقه‌بندی آب خام در این مطالعات نشان داد که ایستگاههای بالادست آبراهه مانند ایستگاه دزفول از نظر شرب و کشاورزی مناسب و بهترین شرایط کیفیت را از میان تمام ایستگاههای محدوده داراست و با جریان به سمت جنوب بر میزان شوری و آلودگی افزوده می‌شود طوری که ایستگاه طره بخاخ در پایین‌ترین نقطه محدوده طرح بدترین شرایط را از نظر شرب و کشاورزی دارد.

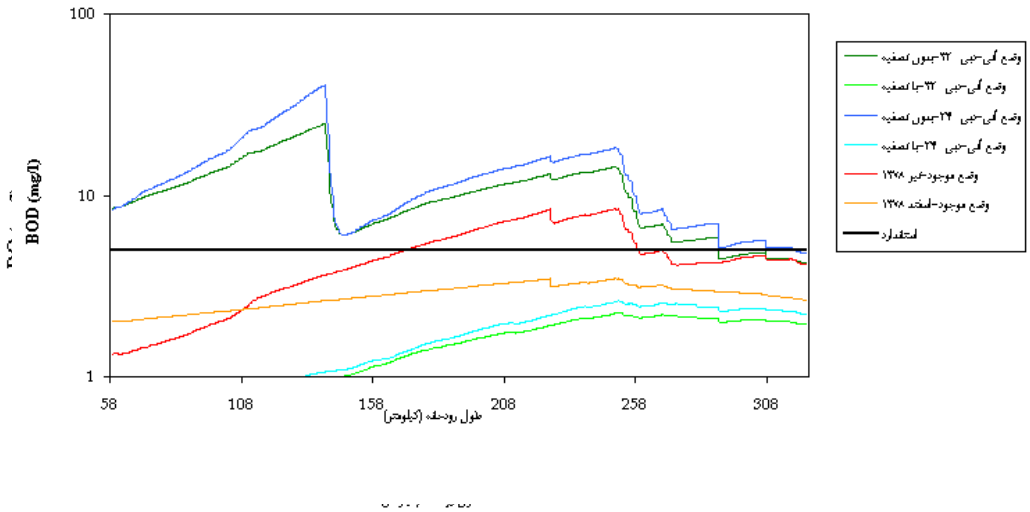
نتایج حاصل از تجزیه واریانس در بررسی نوسان پارامترهای کیفی در طول آبراهه و مطالعه و بررسی نتایج نمونه‌برداریها و برآوردهای بار آلودگی نشان دهنده پراکندگی و تنوع آلودگی در منابع و بازه‌های مختلف محدوده طرح است و امکان تعیین آلوده کننده‌ترین منابع و محل ریزش به رودخانه را مشکل‌می‌سازد. چرا که تأثیر ورود هر ماده

آلاینده به آب رودخانه بستگی مستقیم به مقدار غلظت آن پارامتر در پساب, دبی پساب خروجی و نیز شرایط فیزیکی، شیمیائی, بیولوژیکی و هیدرولیکی دارد. ولی می‌توان در یک نگرش کلی دریافت که کیفیت اکثر پسابهای ورودی به‌رودخانه (شهری، کشاورزی و صنعتی) فراتر از شاخصهای زیست محیطی است.

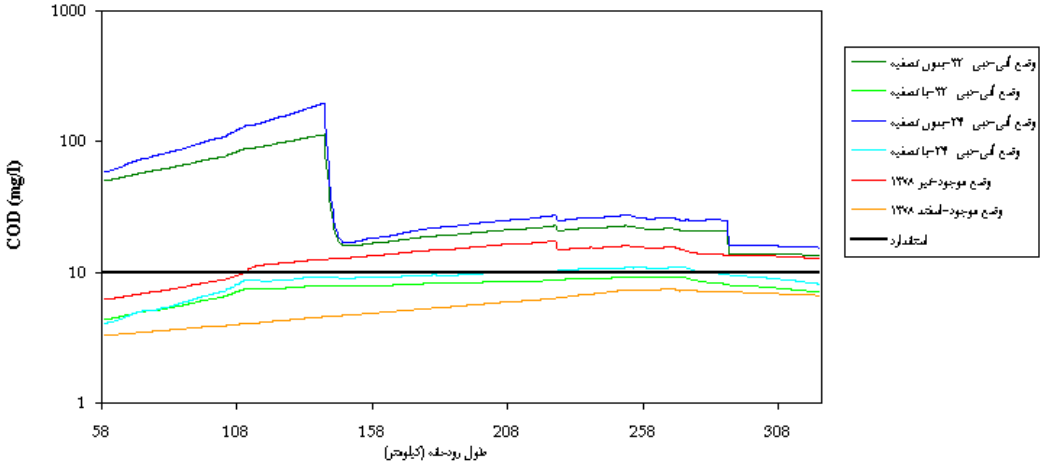
مهمترین کانونهای آلودگی را می‌توان از نظر فاضلاب شهری و زهاب کشاورزی به ترتیب محدوده شهر اهواز و شاخه دز در محدوده ورودی پسابهای کشاورزی معرفی کرد و از نظر پساب صنعتی با توجه به تنوع و پراکندگی صنایع واقع در محدوده طرح و تفاوت نوع آلودگیهای ورودی آنها به رودخانه، می‌توان به صنایع عمده‌ای همچون کارخانه قند دزفول، کاغذسازی پارس و کشت و صنعت هفت تپه، کشت و صنعت کارون و صنایع محدوده اهواز اشاره کرد. همین بررسی‌ها نشان می‌دهد که عمدتاً بالاترین آلودگی‌ها در نیمه شمالی آبراهه (در بالادست اهواز) به رودخانه تخلیه می‌شود.

بررسی نتایج بدست آمده از تحلیل خودپالایی رودخانه کارون نشان می‌دهد که در وضعیت موجود (تیرماه) غلظت پارامترهای COD و BOD_5 در مناطق حساس و بحرانی (مانند محدوده اهواز) فراتر از استاندارد است، اما مقدار DO همیشه در حد مطلوب و بالاتر از استاندارد مورد نظر است (شکل های ۵ و۶ و۷) .منابع آلودگی COD و BOD_5 را می‌توان فاضلابهای شهری و بیمارستانی و پساب صنایع دانست ولی نقش برخی منابع (مانند کاغذ سازی پارس وکشتارگاه اهواز) برجسته تر است. در مورد غلظت بالای DO می‌توان دریافت که با توجه به محدود نمودن غلظت DO در مرز پایین دست با مقادیر واقعی اندازه‌گیری در مدل هنگام واسنجی و باوجود بالا بودن COD و BOD_5 پیش بینی می شود که علت آن در درجه اول وجود جلبک و در مرحله بعد بازدمش بالای آبراهه باشد.

شکل ۵- نتایج شبیه سازی پارامتر DO گزینه های وضع موجود و آتی بازه بندقیر-سه شاخه حفار

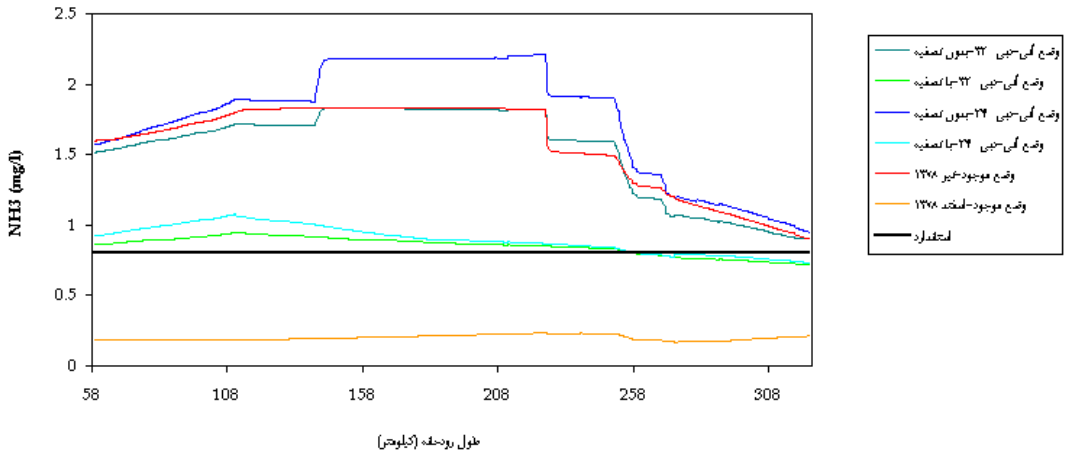


شکل ۶- نتایج شبیه سازی پارامترBOD گزینه های وضع موجود وآتی بازه بندقیر-سه شاخه حفار



شکل ۷- نتایج شبیه سازی پارامتر COD گزینه های وضع موجودوآتی دربازه بندقیر-سه شاخه حفار

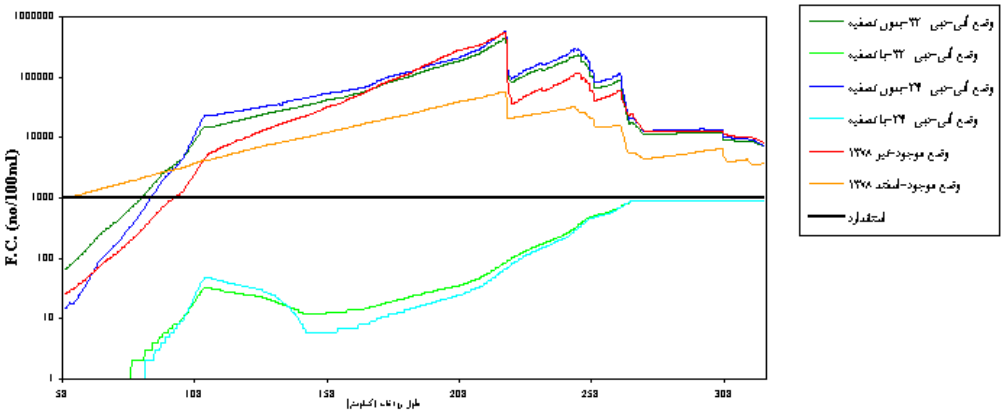
در مورد مواد مغذی (N) مشاهده می‌شود که مشابه BOD_5 و COD به‌دلیل غلظت بالای مواد نیتروژن‌دار در فاضلابهای ورودی به رودخانه، غلظت آن در اغلب موارد بالاتر از استاندارد است (شکل ۸). به خصوص نتایج شبیه‌سازی و همچنین اندازه‌گیری‌های انجام شده نشان می‌دهند که در برخی موارد غلظت آمونیاک بشدت افزایش می‌یابد که این مورد اثر نامطلوبی بر محیط زیست آبی دارد. از جمله منابع عمده آمونیاک می‌توان به فاضلابهای شهری و برخی فاضلابهای صنعتی مانند کشتارگاه‌ها اشاره کرد ولی به نظر می‌آید که مشکل نیتروژن ناشی از غلظت بالای آن در سرآبها (دز و گتوند) است که بجز کنترل غلظت آن با استفاده از روشهای مدیریتی روش دیگری برای کاهش آن وجود ندارد.



شکل ۸- نتایج شبیه سازی پارامتر NH3 گزینه های وضع موجود و آتی بازه بندقیر-سه شاخه حفار

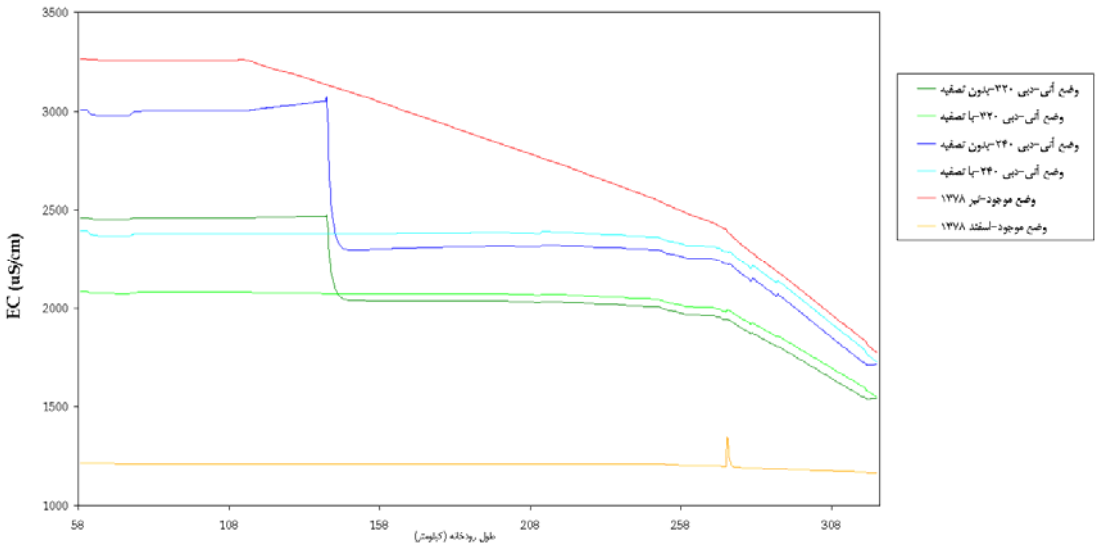
در خصوص کلی فرم های مدفوعی نیز بررسی ها نشان دهنده این است که درکل محدوده مطالعاتی حتی در بهترین گزینه وضع موجود و نیز بخش عمده ای از گزینه‌های وضع آتی, تعداد آنها در آب رودخانه بسیار فراتر از استانداردهای موجود است (شکل ۹).

بررسی شاخص هدایت الکتریکی بعنوان شاخص شوری نیز شوری آب‌افزایش می‌یابد (شکل۱۰) . همچنین در شاخه گرگر به دلیل وجود منابع نقطه‌ای با هدایت بالا افزایش قابل‌توجهی در برخی ماهها در EC دیده می‌شود. از دارخوین تا خلیج فارس بدلیل محدود نشدن مرز پایین‌دست و اثر جزر و مد و پیشروی آب دریا به داخل رودخانه نتایج بدست آمده قابل استناد و تحلیل نیستند.



نشان‌می‌دهد که با رسیدن رودخانه به پایین دست (تا دارخوین)،

شکل ۹- نتایج شبیه سازی پارامتر .F.C گزینه های وضع موجودوآتی دربازه بندقیر-سه شاخه حفار



شکل ۱۰- نتایج شبیه سازی پارامتر EC گزینه های وضع موجودوآتی در بازه بندقیر-سه شاخه حفار

در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که شبیه‌سازی رودخانه در گزینه‌های وضع موجود و آتی بدون تصفیه, بیانگرکیفیت نامناسب رودخانه و غلظت بالای شاخصهای BOD_5، COD , کل نیتروژن و کلی فرم‌های مدفوعی است. بنابراین بهبود کیفیت آب رودخانه و حفظ توان خود پالایی آن منوط به استفاده از دو راهکار افزایش آبدهی رودخانه و یا استفاده از راهکارهای مدیریتی نظیر تصفیه پسابها، توزیع بازدهی تصفیه در منابع و زمان‌های مختلف (اعمال تصفیه با بازدهی‌های متفاوت برای بازه ها یا منابع مختلف) ، توزیع کاهش آلودگی در درون منابع، تغییر محل آبگیرها و موارد مشابه است. البته شرایط بحرانی رودخانه، امکان استفاده از راهکار افزایش آبدهی را به تنهایی غیرممکن ساخته است چرا که اعداد دبی بسیار بالا و غیر منطقی که در سرآبها برای پارامترهای مختلف جهت حفظ استاندارد رودخانه‌ای بدست آمده، گواه این مسئله است. بنابراین راهکارهای مدیریتی را می‌توان به عنوان کاراترین و بهترین راههای کاهش آلودگی معرفی کرد که در این زمینه گزینه‌های مختلف قابل طرح و بررسی هستند. گزینه پیشنهادی این مطالعات جهت تأیید حداقل آبدهی‌های مورد نیاز مطالعات برنامه‌ریزی منابع آب در افق طرح، تصفیه فاضلابهای شهری، زهکش‌های عمده و پساب صنایع و کارخانه‌های بزرگی است که آلودگیهای ورودی آنها به رودخانه بالاتر از استاندارد محیط زیست است.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳ مرداد ۱۳۸۲
تاریخ پذیرش مقاله: ۲۰ اسفند ۱۳۸۳

پی نوشت‌ها

1- TexasWater Development Board
2- Environmental Protction Agency

۷- مراجع

جعفرزاده- نعمت اله ، کعبی- هلنا ، لاهیجان زاده- عبدالرضا ، رستمی- صغرا (۱۳۷۷)، «*مطالعات مدیریت زیست محیطی منابع آبی کارون*»، مرکز تحقیقات محیط زیست خوزستان، اهواز ، خوزستان

جعفرزاده- نعمت اله ، توسلی- محمد ، باروتکوب- علی (۱۳۸۰)، مهندسین مشاور دزآب: (مطالعات *طرح ساماندهی آبراهه گزارش کیفیت آب - قسمت دوم*)، اهواز ، خوزستان

جعفرزاده- نعمت اله ، رستمی- صغرا ، لاهیجان زاده- عبدالرضا، کعبی- هلنا (۱۳۷۸)، «*طرح پایش کیفی رودخانه کارون - گزارش دوم*»، مرکز تحقیقات محیط زیست خوزستان، اهواز، خوزستان

کرمی زاده- محمدرضا (۱۳۷۶)، پایان نامه کارشناسی ارشد : «*شبیه‌سازی اکسیژن محلول رودخانه کارون - از ملاثانی تا دارخوین*»، اهواز ، دانشگاه شهید چمران

Velz. W. J , (1990), *Stream Sanitation*, John Wiley, New York, USA.