تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۲، شماره ۹، آذر ۱۴۰۰ (ص ۲۴۹۹-۲۴۸۵)
(علمی - پژوهشی)
https://dx.doi.org/10.22059/ijswr.2021.327872.669036

Investigation of the effects of Beheshtabad River Water Abstraction on Downstream Water Quality

REZA MAGHSOUDI[1], JAHANGIR ABEDI-KOUPAI[1*], RASOUL MIRABBASI NAJAFABADI[2]
1. Department of Water Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
2. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.
(Received: July. 27, 2021- Revised: Sep. 11, 2021- Accepted: Sep. 25, 2021)

ABSTRACT

The river is one of the most important water sources for drinking and agriculture. Therefore, evaluating and modeling the water quality of rivers and examining its qualitative effects on human life, living things, and the environment is undeniable. In this study, the water quality of the Beheshtabad River was simulated using the QUAL2Kw simulation model. The water quality of this river in its two tributaries was analyzed by designing two scenarios to improve it downstream. The simulated qualitative parameters (temperature, Ec, TS, DO, BOD, COD, pH, nitrate, orthophosphate, ammonium, and fecal coliform) were simulated in two scenarios with different flow rates. The results show that by preventing the discharge of water from the upstream rivers (Kiar and Juneqan) due to high pollution and also the addition of water from Bagh-e-Rostam spring along the route, the water quality of this river will improve downstream. Including BOD concentration will improve from 7.32 to 4.23 mg /L, COD parameter concentration will improve from 19.30 to 12 mg/L, DO parameter concentration from 4.9 to 5.9 mg/L, and fecal coliform parameter concentration from 1500 to MPN/100 mL160.

Keywords: Beheshtabad River, Water Abstraction, Water Quality, Pollution, QUAL2K.

*Corresponding Author's Email: koupai@cc.iut.ac.ir

بررسی اثرات برداشت آب رودخانه بهشت‌آباد بر کیفیت آب پایین‌دست با استفاده از مدل QUAL2Kw

رضا مقصودی[۱]، جهانگیر عابدی‌کوپایی[۱*]، رسول میرعباسی نجف آبادی[۲]

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

۲. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۵/۵- تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۶/۲۰- تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۷/۳)

چکیده

رودخانه از مهمترین منابع برداشت آب جهت شرب وکشاورزی می‌باشد. از این رو ارزیابی و مدلسازی کیفیت آب رودخانه‌ها و بررسی تأثیرات کیفی آن بر زندگی انسان، جانداران و محیط زیست غیر قابل انکار است. در این پژوهش، کیفیت آب رودخانه بهشت آباد با استفاده از مدل شبیه سازی QUAL2Kw، شبیه سازی شد. کیفیت آب این رودخانه در دو سرشاخه تشکیل دهنده آن، با طراحی دو سناریو جهت بهبود آن در پایین دست، تحلیل گردید. پارامترهای کیفی شبیه سازی شده (دما، EC، TS، DO، BOD، COD، pH، نیترات، اورتوفسفات، آمونیوم و کلیفرم مدفوعی) در دو سناریو با دبی متفاوت شبیه‌سازی شدند. نتایج نشان می دهد با جلوگیری از تخلیه آب رودخانه‌های بالادست (کیار و جونقان) به دلیل آلودگی زیاد و همچنین اضافه شدن آب چشمه باغ رستم در ادامه مسیر، کیفیت آب این رودخانه در پایین دست بهبود خواهد یافت. از جمله غلظت BOD از مقدار ۷/۳۲به ۴/۲۳ mg/L، غلظت پارامتر COD از ۱۹/۳۰ به ۱۲mg/L، غلظت پارامتر DO از ۴/۹ به ۵/۹ mg/L و غلظت پارامتر کلیفرم مدفوعی از ۱۵۰۰ به ۱۶۰MPN/100 mL بهبود خواهد یافت.

واژه‌های کلیدی: رودخانه بهشت آباد، برداشت آب، کیفیت آب، آلودگی، QUAL2K.

مقدمه

در سال‌های اخیر با رشد فزاینده جمعیت و توسعه صنایع، ورودی آلاینده ها به محیط زیست به‌خصوص منابع آبی مانند آب‌های زیرزمینی، رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، مرداب‌ها و آب‌های ساحلی به شدت افزایش یافته است. در این میان، رودخانه‌ها از اهمیت ویژه برخوردارند چرا که وظیفه پر و خالی نمودن دریاچه‌ها و تالاب‌ها را بر عهده دارند، آب‌های زیرزمینی را تغذیه می‌کنند و در آخر به آب‌های ساحلی تخلیه می‌شوند. رودخانه‌ها نقش زیادی در تأمین آب لازم برای مصارف مختلف را بر عهده دارند، بنابراین کنترل، ارزیابی و بررسی کیفیت آب آنها قطعاً گامی اساسی و اجتناب ناپذیر حفاظت از محیط زیست و مدیریت منابع آبی می‌باشد.

یکی از متداول‌ترین و بزرگ‌ترین معضلات که اثرات زیانباری بر انسان، سایر موجودات، گیاهان و منابع طبیعی دارد، تخلیه کنترل نشده فاضلاب درون رودخانه و بسترهای آبی است که با آلوده نمودن آبخوان‌ها، آب موجود را غیر قابل استفاده می‌نماید. همچنین فعالیت‌های پاکسازی و تصفیه آب مستلزم هزینه‌های سنگینی می‌باشد که این هزینه‌ها فشار زیادی بر جامعه تحمیل خواهد کرد. در حفاظت از محیط زیست مهمترین وظیفه، کنترل کیفیت آب و جلوگیری از عدول آلاینده‌ها از استانداردهای مشخص شده با تخلیه پسماندهای شهری، کشاورزی و صنعتی است. در دهه‌های اخیر، مدل‌های ریاضی یکی ابزارهای اساسی شبیه سازی کمی و کیفی منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی به شمار می‌روند که می توانند اثرات تنش‌های وارده به منابع آب و مشکلات زیست محیطی، مانند تخلیه مواد آلوده کننده به منابع آب‌های زیرزمینی و سطحی را پیش‌بینی کنند. با توسعه ابزارها، گستردگی مدل‌های مورد استفاده، دسترسی به داده‌های مناسب و به کارگیری آن توسط کاربران متخصص، به راحتی راه حل‌های قابل اطمینان جهت برنامه ریزی‌ها با اهداف بلند مدت شناسایی و بهینه سازی می‌شوند (Pelletier *et al.*, 2006). Shayannejad *et al.* (2015) اذعان داشت، مدل‌های استاندارد شده کیفیت آب می‌تواند یک رابطه‌ای تجربی را با استفاده از مجموعه‌ای از معادلات تعادل جرمی و یا یک بسته نرم افزار پیچیده، برقرار نماید. Yuceer and Coskun (2016) به بررسی کیفیت آب رودخانه بیلردرسی در شهر ماتایا ترکیه پرداخته اند. بدین منظور، از یک رآکتور مخزنی همزن (CSTR) برای شبیه سازی جریان رودخانه استفاده شده است. در رودخانه بیلردرسی، نمونه‌برداری از ۵ ایستگاه انجام شد که ۹ متغیر نیتروژن آمونیاک، نیتروژن ازت، نیترات ازت، نیتروژن آلی، تقاضای اکسیژن بیوشیمیایی، اکسیژن

* نویسنده مسئول: koupai@cc.iut.ac.ir

محلول، فسفر آلی، فسفر محلول و کلراید اندازه گیری شدند. مقایسه نتایج شبیه‌سازی با داده‌های مشاهداتی نشان داد که بین مقادیر مدل شده و داده‌های تجربی، توافق خوبی وجود دارد. دو مورد از مهم ترین شاخص‌های سلامت جریان، میزان اکسیژن محلول و نیاز به اکسیژن بیوشیمیایی یک جریان است که در این رودخانه به ترتیب دارای متوسط خطای مطلق به‌ترتیب ۰/۹۵ درصد و ۱/۳۹ درصد بود. Sakizadeh and Khani Havizavi (2017) خصوصیات فیزیکی- شیمیایی و غلظت‌های عناصر سنگین در رسوبات رودخانه کارون را مطالعه نموده‌اند و با اندازه گیری عناصر Ni، Pd، Zn، Cu، Co، Cd، ازت، فسفر، پتاسیم، هدایت الکتریکی، pH، مواد آلی، به بررسی واکنش‌های عناصر سنگین با رسوبات پرداخته‌اند. نتایج حاکی از افزایش جذب عنصر سرب و عنصر کادمیوم، کبالت، مس، فسفر و مواد آلی در سطح ۱ (لایه تحتانی) بود. نتایج این مطالعه نشان داد که غلظت عناصر آلاینده سنگین، ازت کل، فسفر کل و مواد آلی در رسوبات سطحی بیشتر از رسوبات عمقی است و با مقایسه مقدار غلظت عناصر مورد بررسی با حدود مجاز در خاک، خطرات ناشی از عنصر آلاینده مس را نمی‌توان نادیده گرفت.

Sener *et al.* (2017) کیفیت آب رودخانه بیوکمندرسی ترکیه (منتهی به دریای مدیترانه) بر اساس هفت متغیر آمونیاک، نیترات، نیتریت، مواد جامد معلق، فسفات، COD و BOD مورد بررسی قرار داد و با توجه به طبقه بندی استاندارد کیفیت آب ترکیه، طبقه بندی کرد. با توجه به نتایج به دست آمده توصیه شد که برای اطمینان از بهبود کیفیت آب رودخانه باید یک نظارت مؤثر بر منابع آلاینده حوضه، ایجاد گردد تا بتواند دولت ترکیه را با پروتکل حمایت از دریای مدیترانه در برابر آلودگی از منابع زمینی تطبیق دهد.

Lai *et al.* (2013) به بررسی کیفیت آب رودخانه داهان تایوان در بالادست رودخانه ی دانشویی در شمال غرب تایوان پرداختند. این مطالعه یک طرح تجزیه و تحلیل سیستماتیک (SAS) برای ارزیابی متقابل فاصله زمانی کیفیت آب در یک رودخانه شهری و ساخت مدل‌های تخمین کیفیت آب با استفاده از دو شبکه عصبی مصنوعی استاتیک و پویا همراه با آزمون گاما مبتنی بر کیفیت آب در داده‌های هیدرولوژیک و اقتصادی بود که نیتروژن آمونیاک به عنوان پارامتر نماینده یک شاخص همبستگی در قضاوت میزان آلودگی در طول مطالعه در نظر گرفته شد و سعی گردید تا پارامتر نماینده کیفیت آب این منطقه برجسته شود و به‌طور قابل توجهی غلظت آن با عوامل نسبتاً بی دردسر برای ارزیابی محیط زیست و مدیریت آلودگی تخمین زده شود. نتایج نشان داد که پارامتر نیتروژن آمونیاک با سایر پارامترهای کیفی آب ارتباط معناداری دارد و طرح تحلیلی پیشنهادی، اندازه-گیری غلظت نیتروژن آمونیاک و تخمین سایر پارامترها با توجه به غلظت نیتروژن آمونیاک ارائه شد.

Egyptian National Water Research Center (2014) آلودگی‌های کانال محمودیه که منبع اصلی تأمین آب شهری و صنعتی برای شهر اسکندریه دهها شهر و دهکده دیگر است را مورد بررسی قرار داد. آب رودخانه محمودیه با مدل QUAL2K نسبت به مقدار اندازه گیری شده اعتبارسنجی گردید و مقدار میانگین خطای مدل (RSME) در محدوده ۰/۹۴ تا ۱/۰۹ گزارش شد که این مقدار با مقادیر اندازه‌گیری شده تطابق خوبی داشت. بیشترین آلودگی مربوط به فصل پائیز می‌باشد و در طبقه آلودگی متوسط گزارش گردید.

Khosravi Nia *et al.* (2009) به بررسی کیفیت آب حوضه کارون در محدوده ملاثانی- فارسیات پرداختند. پارامترهای DO و BOD در ۱۵ بازه مختلف نمونه برداری و با مدل WASP شبیه سازی شدند. سپس عملیات واسنجی مدل به روش سعی و خطا انجام گردید. نتایج نشان داد که تطابق خوبی بین نتایج مدل و مقادیر اندازه‌گیری شده وجود دارد. لذا نتیجه‌گیری کردند که از مدل WASP برای پیش بینی غلظت پارامترهای مذکور در رودخانه کارون می توان استفاده کرد.

Rafiee *et al.* (2017) به شبیه سازی کیفیت آب رودخانه گرگر ایران با مدل QUAL2K پرداختند. رودخانه گرگر، شاخه‌ای از رودخانه کارون می‌باشد. به علت تخلیه فاضلاب و استخرهای پرورش ماهی به درون رودخانه، کیفیت آب رودخانه تا حد زیادی نامطلوب گزارش شده است. نتایج شبیه سازی نشان داد که پروفیل‌های کیفیت آب در رودخانه از تناسب اندکی برخوردار بودند. چرا که مقادیر CBOD، نیترات و DO بین دو ایستگاه تفاوت فاحشی داشت، که به دلیل تخلیه فاضلاب به رودخانه در بین این دو ایستگاه است.

Chuersuwan *et al.* (2013) کیفیت آب رودخانه لامتاخونگ پاکستان را با مدلQUAL2K شبیه‌سازی کردند. در این ۲۵ کیلومتر پساب صنایع نساجی، رستوران‌ها، هتل‌ها و پساب فاضلاب خانگی در رودخانه تخلیه می‌شود. مقایسه مقادیر اندازه گیری شده و پیش بینی مدل QUAL2K، حاکی از کارایی خوب این مدل در شبیه سازی متغیرهای کیفی بود.

Abedi Koupai *et al.* (2008) به بررسی امکان آلودگی آب زاینده رود اصفهان و آلودگی برخی از چاه های فلمن به سم دیازینون پراختند. آب رودخانه زاینده رود در چند ایستگاه مورد بررسی قرار گرفت و از نظر کیفی طبقه بندی گردید.

Mohammadi *et al.* (2018) با استفاده از مدل QUAL2Kw

به شبیه‌سازی کیفیت آب مخزن سد پرداخته اند. Khosravi Nia *et al.* (2009) نیز برای بررسی و شبیه سازی کیفیت آب رودخانه کارون، از مدل WASP استفاده کرده‌اند. درحالی که کاربرد مدل QUAL2Kw به منظور شبیه سازی کیفیت آب رودخانه، سازگاری و قرابت بیشتری با واقعیت دارد و عملکرد مدل WASP در شبیه سازی کیفیت آب مخازن دقیق‌تر ارزیابی شده است (Kannel *et al*., 2007).

هدف از مطالعه حاضر، شبیه سازی کیفیت آب رودخانه بهشت آباد با استفاده از مدل QUAL2Kw می باشد. در این مطالعه با الهام از پژوهش‌های انجام شده توسط Sener *et al.* (2017)، Rafiee *et al.* (2017) و Lai *et al.* (2013) و Chuersuwan *et al.* (2013) در تعریف سناریوها برای بهبود کیفیت آب، سعی شده است اثرات اعمال سناریوها جهت بهبود کیفیت آب در پایین دست، مورد بررسی قرار گیرد. از آنجایی که به‌واسطه شرایط محیطی، امکان تغییر برداشت آب در بالا دست امکان‌پذیر است، برخلاف پژوهش‌های انجام شده در منابع ذکر شده، در این مطالعه با تغییرات برداشت آب در بالادست و تغییر دبی رودخانه، کیفیت آب در پایین دست بررسی می‌شود و در صورت بهبود کیفیت این آب در سناریو های تغییر دبی، می‌توان این روش را برای مدیریت کیفی آب آن رودخانه، پیشنهاد نمود.

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه

بهشت آباد نام منطقه‌ای است از توابع شهرستان اردل که در ۴۵ کیلومتری شهرکرد مرکز استان چهارمحال و بختیاری و به لحاظ موقعیت جغرافیایی، در ۵۰ درجه و ۳۹ دقیقه و ۵۹ ثانیه طول شرقی و ۳۲ درجه و ۴ دقیقه و ۳۰ ثانیه عرض شمالی واقع شده است. امروزه حساسیت و جذابیت این منطقه به دلیل وجود منابع آبی و عبور رودخانه، دوچندان شده است. حوضه بهشت آباد یا رودخانه بهشت آباد یکی از سرشاخه‌های مهم حوضه کارون محسوب می‌شود و از الحاق دو رودخانه کیار و جونقان به‌وجود می‌آید.

لازم به ذکر است که پساب فاضلاب‌های شهرکرد، فرخشهر، سورک، ایرانچه، دستگرد، دزک، قلعه سلیم، گشنیزجان، موسی آباد، سرتشنیز، خراجی، تشنیز، شلمزار، دستنا، سلم، اسلام آباد و امیرآباد، بابا حیدر، فارسان، پردنجان، سورشجان، چلیچه و جونقان به همراه پساب فاضلاب روستاهای امید آباد، عیسی آباد، فیل آباد، ده چشمه، گوجان، کران، گوشه، چقاهست، مصطفی آباد و راستاب بعد از تصفیه، در این رودخانه تخلیه می‌شود. همچنین پساب صنعتی کارخانه‌های مالت هفشجان، نساجی شهرکرد، قند هفشجان، آرد دزک، کشتارگاه جونقان کارخانه‌های گچ فارسان، شن وسنگ شکن پردنجان و آرد چلیچه نیز در این حوضه تخلیه می‌گردد. در مسیر رودخانه مورد مطالعه، بعد از الحاق دو شاخه جونقان و کیار، بنا به مقدار مصرف کشاورزی تعیین شده، در محلی از رودخانه آب برداشت می‌شود. در این مسیر بعد از طی حدود ۹ کیلومتر چشمه‌ای به نام چشمه باغ رستم در این رودخانه تخلیه می‌شود. در این شبیه سازی از داده های کیفی دوره زمانی مهر ماه ۹۷، در سه ایستگاه استفاده شده است.

مدل QUAL2K

مدل QUAL2K با نام اختصاریQ2K، نسخه ارتقاء یافته مدل QUAL2E می باشد. در این مدل یک بعدی، جریان رودخانه کاملاً مخلوط شده فرض می‌شود و هیدرولیک جریان به صورت پایدار و غیر یکنواخت شبیه سازی می‌شود. رژیم حرارتی نیز به عنوان تابعی از فرآیندهای هواشناسی در مقیاس روزانه شبیه سازی می‌شود.

در مدل QUAL2K متغیرهای کیفی آب به صورت روزانه شبیه سازی می شود و تمامی بارگذاری‌ها، نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای در نظر گرفته می‌شود. این مدل به زبان VBA[1]در محیط Windows برنامه نویسی و اجرا می‌شود (Kannel *et al*., 2007) .

مدل Q2K که برای شبیه سازی کمی و کیفی رودخانه‌ها و نهرها استفاده می‌شود، یک مدل یک بعدی در طول می‌باشد و رودخانه‌ها را با شکل هندسی و غیر هندسی مختلفی می‌تواند شبیه سازی کند. یعنی یک مدل غیر یکنواخت است (تغییر در مکان) و قابلیت شبیه سازی مقاطع مختلف با اندازه و مشخصات مختلف را دارد (Chapra *et al*., 2012).

مدل QUAL2Kw

در مدل QUAL2Kw، رودخانه جونقان و رودخانه بهشت آباد به عنوان یک رودخانه واحد و اصلی در نظر گرفته شده که رودخانه کیار (رودخانه فرعی) در رودخانه اصلی، به عنوان یک منبع نقطه‌ای تخلیه می‌شود. مدل QUAL2Kw منطقه مورد مطالعه را به‌صورت یک محیط بسته در نظر می‌گیرد که به ازای ورودی‌های مشخص، تغییرات مشخص را بر حسب شرایط تعیین شده بر محیط و پارامترهای اعمال می‌کند که در نتیجه خروجی‌های متناسب با آن را گزارش می‌دهد (Pelletier *et al*., 2006).

---

[1]- Visual Basic for Applications

ورود اطلاعات به مدل برای شبیه‌سازی

در برگه QUAL2K اطلاعات اولیه شبیه‌سازی، مانند نام رودخانه، محل ذخیره فایل خروجی، تاریخ و ساعت نمونه‌برداری، فاصله زمانی UTC و ذخیره یا عدم ذخیره روزانه مدل ثبت می شود. گام زمانی برای انجام عملیات شبیه سازی، تعداد روزهای رسیدن به پایداری، روش حل عددی معادلات، روش حل معادله pH، نوع خروجی مدل، تأثیر و یا عدم تأثیر دما بر دیگر پارامترها، شبیه سازی سخت شدگی رسوبات، تأثیر چرخه نیتروژن در قلیائیت و نوع فایل خروجی و متنی تعیین می‌شود.

عملیات واسنجی مدل QUAL2Kw

برای واسنجی مدل اصول و ضوابطی رعایت می شود تا اختلاف مقادیر برداشت شده و شبیه سازی شده تا حد امکان منطبق شود. به توصیه Kannel *et al*. (2007) و Sener *et al*. (2017) ، ابتدا به ترتیب پارامترهای دبی، سرعت و عمق جریان و سپس پارامترهای دما، هدایت الکتریکی و در انتها پارامترهای وابسته به اکسیژن واسنجی می‌شود. علت این ترتیب، تأثیر سایر پارامترها بر روی پارامترهای BOD و DO می باشد. عملیات واسنجی برای تک تک پارامترها انجام می‌شود تا با کاهش مقدار خطای مدل، مقادیر برداشت شده و شبیه سازی شده به یکدیگر نزدیک شوند (Kannel *et al*., 2007).

با مقایسه اطلاعات برداشتی و شبیه سازی شده، می‌توان علت عدم تطابق این مقادیر را مشخص کرد. به‌طور مثال اگر دبی شبیه‌سازی شده کمتر از دبی اندازه گیری شده باشد، با اطمینان از داده‌های ورودی و بررسی دلیل این اختلاف به‌وجود آمده، مشخص می‌شود در جایی از رودخانه تخلیه آب به رودخانه انجام می‌شود. با مشخص شدن این تخلیه ها، کمبود آب در منبع گسترده، منبع نقطه‌ای و یا غیره جبران می‌شود تا دبی واسنجی شود.

هدف از واسنجی، صرفا یکی کردن نتایج مدل با نتایج اندازه گیری شده نیست، بلکه عملیات واسنجی باید با دید میدانی، دقت مهندسی و دلیل منطقی برای ایجاد تغییرات باشد. همچنین تاثیر تغییر پارامترها بر دیگر پارامترها مشخص می‌شود.(Turner et al., 2009).

محاسبه خطا در مدل QUAL2Kw

در مقالات و پژوهش‌های متعدد، خطای مدل QUAL2Kw با روش‌های گوناگون محاسبه شده است. در اینجا به سه نمونه از رابطه‌های محاسبه خطا که در راهنمای تئوری مدل پیشنهاد شده بود اشاره شده است. برای تعیین خطای هر پارامتر می‌توان از رابطه‌های زیر استفاده کرد(Kannel *et al*., 2007).

الف) میانگین خطای مطلق[۱] (AME)

محاسبه میانگین خطای مطلق

(رابطه ۱)

$$AME = \frac{\sum_{i=1}^{n}|\hat{y}_i - y_i|}{n}$$

ب) خطای جذر میانگین مربعات[۲] (RMSE)

محاسبه خطای جذر میانگین مربعات

(رابطه ۲)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\hat{y}_i - y_i)^2}{n}}$$

ج) درصد خطای جذر میانگین مربعات[۳](%RMSE)

محاسبه درصد خطای جذر میانگین مربعات

(رابطه ۳)

$$\%RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left[\frac{(\hat{y}_i - y_i)\times 100}{\hat{y}_i}\right]^2}{n}}$$

$\hat{y}_i$: مقدار شبیه سازی شده

y_i :مقدار اندازه گیری شده

n :تعداد ایستگاه‌های پایش

در محاسبه خطاها باید توجه داشت، که هر چه مقدار خطاها کمتر باشد، ارزیابی‌ها قابل قبول‌تر است.

تعریف سناریوها

با توجه با پژوهش انجام شده توسط Lai *et al*. (2013) ، که برای بهبود کیفیت آب رودخانه داهان تایوان، تأثیر تغییر مقدار نیتروژن آمونیاک را برکیفیت آب، تحلیل کردند، در این مطالعه برای بهبود کیفیت آب رودخانه بهشت آباد، دو سناریو برداشت و عدم برداشت آب از بالادست رودخانه درمحل برداشت آب برای کشاورزی تعریف شده است. برداشت آب در مهر ماه ۰/۵ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد. در ادامه با توجه به شرایط هیدرولیکی و هیدرولوژیکی رودخانه، دو سناریو زیر برای بهبود و ارزیابی بیشتر کیفیت آب رودخانه تعریف شده است. همچنین باید توجه داشت که مقدار آب را فقط در یک نقطه از رودخانه می‌توان تغییر داد. مقدار آب برداشت شده در بازه ۷، در سناریوهای مختلف کاهش و افزایش می‌یابد.

۱. کاهش و حذف برداشت آب از رودخانه: میزان برداشت

۱- Absolut Mean Error

۲- Root Mean Squared Error

۳- Root Mean Squared Error Rate

آب از رودخانه را در بازه ۷، صفر در نظر گرفته می‌شود. به‌عبارت دیگر، یعنی منبع نقطه‌ای برداشت آب از رودخانه حذف می‌شود.

۲. افزایش برداشت آب از رودخانه: میزان برداشت آب از رودخانه در بازه۷، تا ۳ برابر افزایش می‌یابد. دلیل ۳ برابر بودن مقدار برداشت، مقدار دبی آب در پایین دست (بهشت آباد) است، که اگر بیشتر از ۳ برابر از آب رودخانه برداشت شود، مقدار دبی بعد از برداشت صفر می‌شود.

نتایج و بحث

شبیه سازی چند پارامترکیفی (دما، هدایت الکتریکی، جامدات محلول، اکسیژن محلول، اکسیژن خواهی بیوشیمیایی، اکسیژن خواهی شیمیایی، اورتوفسفات، آمونیوم، نیترات، قلیائیت و اسیدیته) آب رودخانه بهشت آباد در دوره مهر۹۷ صورت پذیرفت و برای بهبود کیفیت این آب سناریوهای حذف برداشت و برداشت ۳ برابر آب رودخانه در دوره ذکر شده تعریف گردید. عملیات برداشت اطلاعات و داده‌های کیفی رودخانه بهشت آباد در تاریخ ۱۰ ام مهر ماه توسط گروه متخصص تحقیقاتی سازمان حفاظت از محیط زیست استان چهار محال و بختیاری انجام گرفت.

داده‌های قابل اندازه گیری در مکان نمونه برداری با رعایت اصول نمونه برداری صورت پذیرفت و با رعایت کلیه استانداردها برای انجام آزمایش‌های مربوطه به آزمایشگاه منتقل شدند.

با توجه به جدول (۱) کلیه پارامترهای کیفی برای بررسی و شبیه سازی کیفیت آب رودخانه بهشت آباد مورد استفاده قرار گرفت.

خروجی مدل

کیفیت آب رودخانه بهشت آباد در ۱۴ بازه در دوره مهر ماه ۹۷ شبیه سازی شد که نتایج آن در جداول (۲) و (۳) ارائه شده است. بر اساس همین جداول، نمودارهای تغییرات مقادیر و غلظت‌های پارامترهای مورد مطالعه در رودخانه ترسیم شده اند.

جدول ۱- پارامترهای برداشت شده از رودخانه برای شبیه سازی

ایستگاه	جونقان	کیار	بهشت آباد
دمای آب (درجه سانتی گراد)	۱۳	۱۱	۱۳
دمای هوا (درجه سانتی گراد)	۲۸	۲۸	۲۸
هدایت الکتریکی (میکروزیمنس بر سانتیمتر)	۴۸۴	۷۴۳	۵۴۳
pH	۷/۸۶	۷/۲۴۶	۸/۰۶
HCO_3 (mg/L)	۵	۰/۷۴	۲/۵
$CaCO_3$ (mg/L)	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
SO_4 (mg/ L)	۰/۲	۰/۴۵	۰/۸۴
Cl (mg/ L)	۰/۸	۰/۵	۴/۳۲
TDS (mg/ L)	۳۸۷	۲۴۹	۵۰۳
TSS (mg/ L)	۱۲۳	۷۳	۱۰۰
DO(mg/ L)	۵/۳	۷/۹	۵/۱
TH(mg/ L)	۲۸۰	۲۱۶	۲۴۹
NO_3(mg/ L)	۱۵/۹	۱۰/۷	۲۲/۱
NH_4 (mg/ L)	۰/۱	۰/۳۹	۰/۱۱
PO_4(mg/ L)	۰/۴	۰/۷۴	۰/۰۷
Na (mg/ L)	۰/۴۷	۰/۳۵	۲/۶۵
Ca (mg/ L)	۴/۲	۲/۷	۳/۲۵
Mg (mg/ L)	۱/۴	۱/۶۲	۱/۷۳
K (mg/ L)	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۵
COD(mg/ L)	۱۹/۳	۲۰	۱۴/۵
BOD_5(mg/ L)	۵	۴/۳۸	۳/۷
Coliform(MPN/100 mL)	۱۵۰۰	۷۱۰	۳۵۰
Q(m^3/s)	۱/۴۷	۰/۸۴	۲/۲۸

(مقدار آمونیوم+ آمونیاک برحسب آمونیوم اندازه‌گیری شده)

جدول ۲- مقادیر پارامترهای شبیه سازی شده در مهر ماه ۱۳۹۷

بازه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
L(km)	۱۲/۵	۱۱/۹۵	۱۱/۳۵	۱۰/۷۵	۱۰/۱۲	۹/۷۴	۹/۳۴
DO(mg/L)	۵/۳۰	۵/۴۵	۵/۵۵	۵/۶۷	۵/۵۰	۶/۳۷	۶/۱۵

BOD(mg/L)	۷/۳۰	۷/۲۳	۷/۱۸	۷/۱۱	۷/۰۲	۶/۷۷	۶/۷۰
NH_4(mg/L)	۱۰۰	۹۷/۲۵	۹۵/۳۱	۹۲/۶۳	۸۹/۴۱	۱۹۷/۴۲	۱۹۰/۶۶
NO_3(mg/L)	۱۵۳۰۰	۱۵۲۹۶۰۹	۱۵۲۹۳	۱۵۲۹۰	۱۴۲۲۰	۱۳۶۱۸	۱۳۶۲۰
PO_4(mg/L)	۴۰۰	۳۹۱/۵۸	۳۸۵/۶۲	۳۷۷/۳۶	۳۶۷/۳۱	۵۰۰/۳۹	۴۸۷/۵۳
COD(mg/L)	۱۹/۳۰	۱۹/۱۳	۱۹	۱۸/۸۳	۱۸/۶۱	۱۹/۰۸	۱۸/۸۷
Coliform (MPN/100 mL)	۱۵۰۰	۱۳۵۹/۸۰	۱۲۷۴/۳۱	۱۱۷۶/۶۰	۱۱۰۸/۸۶	۹۴۳/۶۱	۸۸۶/۸۰
Q(m^3/s)	۱/۴۷	۱/۴۷	۱/۴۷	۱/۴۷	۱/۴۷	۲/۳۱	۲/۱۰
$\Delta(water)(^{\circ}C)$	۱۳	۱۳/۱۴	۱۳/۲۵	۱۳/۳۹	۱۳/۴۹	۱۲/۶۲	۱۲/۷۱
EC(µSiemens/cm)	۴۸۴	۴۸۴	۴۸۴	۴۸۴	۴۸۴	۵۷۸/۱۸	۵۷۸/۱۸
pH	۷/۸۶	۷/۸۸	۷/۹۰	۷/۹۱	۷/۹۱	۷/۷۶	۷/۷۵
TS(mg/L)	۱۲۳	۱۲۳	۱۲۳	۱۲۳	۱۲۳	۱۰۴/۸۲	۱۰۴/۸۲

جدول ۳- مقادیر پارامترهای شبیه‌سازی شده در مهرماه ۱۳۹۷

بازه	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴
L(km)	۸/۸۵	۸/۴۰	۷/۰۴	۴/۸۴	۳/۱۷	۲/۱۳	۰
DO(mg/L)	۴/۳۲	۵/۸۱	۵/۱۳	۴/۵۵	۴/۳۲	۵/۲۳	۴/۹۲
BOD(mg/L)	۶/۶۵	۶/۵۸	۶/۲۶	۵/۸۹	۵/۷۱	۵/۴۴	۵/۲۳
NH_4(mg/L)	۱۸۶/۷۲	۱۸۰/۳۳	۱۵۸/۹۲	۱۳۹/۳۱	۱۳۰/۳۲	۱۱۳/۶۹	۱۰۳/۵۵
NO_3(mg/L)	۱۳۶۲۱	۱۳۶۲۱	۱۳۶۰۸	۱۳۵۷۵	۱۳۵۵۴	۱۲۳۸۴	۱۲۳۶۸
PO_4(mg/L)	۴۷۹/۹۸	۴۶۸/۵۸	۴۲۴/۰۹	۳۸۲/۲۴	۳۶۲/۵۶	۳۱۷/۰۲	۲۹۴/۸۱
COD(mg/L)	۱۸/۷۵	۱۸/۵۴	۱۷/۷۷	۱۶/۹۹	۱۶/۶۱	۱۵/۲۷	۱۴/۸۰
Coliform (MPN/100 mL)	۸۵۵/۵۸	۸۰۸/۷۱	۶۷۰/۱۱	۵۴۷/۷۱	۴۹۱/۷۳	۴۰۷/۰۴	۳۴۰/۹۳
Q(m^3/s)	۲/۱۰	۲/۱۰	۲/۱۰	۲/۱۰	۲/۱۰	۲/۳۰	۲/۳۰
$\Delta(water)(^{\circ}C)$	۱۲/۷۷	۱۲/۸۶	۱۳/۲۱	۱۳/۵۷	۱۳/۷۴	۱۳/۲۱	۱۳/۴۷
EC(µSiemens/cm)	۵۷۸/۱۸	۵۷۸/۱۸	۵۷۸/۱۸	۵۷۸/۱۸	۵۷۸/۱۸	۵۴۶/۱۷	۵۴۶/۱۷
pH	۷/۷۵	۷/۷۴	۷/۷۳	۷/۷۳	۷/۷۳	۷/۷۹	۷/۷۹
TS(mg/L)	۱۰۴/۸۲	۱۰۴/۸۲	۱۰۴/۸۲	۱۰۴/۸۲	۱۰۴/۸۲	۹۶/۷۵	۹۶/۷۵

تحلیل مقادیر به دست آمده از مدل QUAL2KW

عملیات شبیه سازی از بالا دست رودخانه (ایستگاه جونقان) آغاز و تا پایین دست رودخانه (ایستگاه بهشت آباد) ادامه یافته است. این نمودارها بیانگر مقادیر شبیه سازی شده در ۱۴ بازه مدل QUAL2KW می‌باشد. به ترتیب پارامترهای دبی جریان، سرعت جریان، عمق جریان، اکسیژن محلول، اسیدیته، آمونیوم، نیترات و نیتریت، دمای آب، اکسیژن خواهی شیمیایی و بیوشیمیایی، قلیائیت و فسفر غیرآلی (اورتوفسفات) شبیه سازی شده اند. با توجه به مقادیر به دست آمده، از آنجایی که در اصول بازه‌بندی، باید ابتدا و انتهای عملیات شبیه‌سازی را برای مدل مشخص کرد، آغاز شبیه سازی، ایستگاه جونقان، و انتهای آن ایستگاه بهشت آباد تعیین شده است.

به‌طور خلاصه، مدل عملیات شبیه سازی را از نقطه ۱۲/۳ کیلومتر (ایستگاه جونقان)، با توجه به مقادیر وارد شده شروع کرده و تا نقطه صفر (ایستگاه بهشت آباد) ادامه می‌دهد و در طی این مسیر، برای هر پارامتر، ۱۴ مقدار برای هریک از ۱۴ بازه، گزارش می‌کند. با توجه به جدول شماره (۲) و (۳)، بیشتر تغییرات ناگهانی در نقاطی است که یا آبی از رودخانه برداشته شده یا آبی در آن تخلیه گردیده است. که از این نقاط به عنوان منابع نقطه‌ای نام برده شده است.

مقادیر جهش یا افت در بازه‌های ۶، ۷ و ۱۳ اتفاق افتاده است. علت این تغییر ناگهانی در مقادیر پارامترها، تخلیه رودخانه کیار در بازه ۶، برداشت آب برای کشاورزی در بازه ۷ و تخلیه آب چشمه باغ رستم در بازه ۱۳ به این رودخانه می‌باشد.

در ادامه، علت جهش یا افت هر پارامتر در این نقاط و تاثیرات منابع نقطه‌ای مذکور را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

دبی جریان

در بازه ۶، به دلیل تخلیه آب رودخانه کیار، دبی رودخانه ۰/۸۴ متر مکعب، افزایش پیدا می‌کند. اما در بازه ۷، به دلیل برداشت از آب رودخانه، به اندازه ۰/۵متر دبی رودخانه کاهش پیدا می‌کند. در بازه ۱۳ نیز به دلیل تخلیه آب چشمه باغ رستم درون رودخانه اصلی، دبی آن ۰/۲ متر مکعب افزایش پیدا می‌کند.

هدایت الکتریکی

هدایت الکتریکی آب رودخانه اصلی، با تخلیه آب رودخانه کیار، کمی کاهش پیدا می‌کند و تا بازه ۱۳ روند کاهشی، ثابت است. اما بعد از ورود آب چشمه به رودخانه، کمی شدت روند کاهشی افزایش پیدا می‌کند. Razdar and Ghavidel (2009) تأثیر متقابل هدایت الکتریکی و دیگر پارامترهای کیفی را ارزیابی کردند. در نتیجه آن پژوهش روند هدایت الکتریکی در رودخانه با کیفیت آب آن رابطه معنا داری داشت.

اکسیژن‌خواهی بیولوژیکی

با تخلیه آب رودخانه کیار، نرخ زوال BOD به مقدار ناچیزی شدت پیدا می‌کند و از بازه ۶ تا ۱۳ با شدت ثابت از مقدار آن کاسته می‌شود. با تخلیه آب چشمه در رودخانه اصلی، روند کاهشی این پارامتر کمی افزایش پیدا می‌کند.

اکسیژن‌خواهی شیمیایی

با تخلیه آب رودخانه کیار در رودخانه اصلی، مقدار COD افزایش پیدا می‌کند. اما در مسیر رودخانه از بازه ۷ تا ۱۳ مقدار COD روند کاهشی دارد. با اضافه شدن آب چشمه در بازه ۱۳ این روند کاهشی بیشتر می‌شود.

جامدات معلق

با تخلیه رودخانه کیار در رودخانه اصلی، مقدار جامدات معلق کاهش پیدا می‌کند. که این مقدار تا بازه ۱۳ ثابت است و با اضافه شدن آب چشمه مقدار جامدات معلق، حدود ۱۰ واحدکاهش پیدا می‌کند.

اورتوفسفات

مقدار اورتوفسفات آب رودخانه اصلی، در بازه ۶، با اضافه شدن آب رودخانه کیار، افزایش پیدا می‌کند. اما در بازه‌های ۷ تا ۱۳روند نزولی و کاهشی این پارامتر، در طول رودخانه یکسان است، تا زمانی که آب چشمه در بازه ۱۳ در رودخانه اصلی تخلیه می‌شود، روند زوال فسفر غیر آلی (اورتوفسفات) را افزایش می‌دهد.

نیترات

مقدار نیترات آب رودخانه، به دلیل مزارع اطراف رودخانه جونقان، تخلیه فاضلاب شهر و روستاهای اطراف در داخل این آب و وجود کارخانه‌های نساجی، قند، آرد، گچ، کشتارگاه، سنگ شکن و غیره، زیاد می‌باشد. با تخلیه آب رودخانه کیار در رودخانه اصلی، مقدار نیترات تا حدودی کاهش پیدا می‌کند. Chuersuwan *et al.* (2013) دلیل افزایش آلودگی در رودخانه لامتاخونگ پاکستان را تخلیه پساب فاضلاب صنعتی، شهری و کشاورزی در آن رودخانه عنوان کرد. دلیل کمبود نیترات در رودخانه کیار را می‌توان نبود مزارع کشاورزی در بالا دست این رودخانه نسبت به رودخانه جونقان ارزیابی کرد. و با تخلیه آب چشمه به رودخانه اصلی در بازه ۱۳، مقدار نیترات تا حدی کاهش پیدا می‌کند.

آمونیوم

غلظت آمونیوم در رودخانه به صورت جزئی می‌باشد، که با ورود آب رودخانه کیار این مقدار جهش پیدا می‌کند و رفته رفته با طی مسیر تا بازه ۱۳، این مقدار کاهش پیدا می‌کند، اما با ورود آب چشمه باغ رستم، مقدار آمونیوم آب رودخانه، کمی افزایش پیدا می‌کند، اما با ادامه مسیر رودخانه، مقدار آمونیوم به روند نزولی خود ادامه می‌دهد.

اکسیژن محلول

پارامتر اکسیژن محلول بنا به مقدار اولیه شبیه سازی شده است، که این مقدار به مرور و با شدت کم در حال بهبود بوده است. به دلیل وجود بستر نامسطح رودخانه و با ورود آب رودخانه کیار در بازه ۶، روند صعودی اکسیژن محلول یکباره شدت می‌گیرد. اما تا بازه ۱۳ به خاطر مصرف اکسیژن در آب، روند آن کاهشی ادامه پیدا می‌کند. در بازه ۷، برداشت آب تأثیر زیادی بر روند اکسیژن محلول ندارد. با اضافه شدن آب چشمه در بازه ۱۳، مقدار اکسیژن محلول آب رودخانه حدود یک میلی گرم بر لیتر افزایش داشت. Yuceer and Coskun (2016) اذعان داشتند مهمترین شاخص-های سلامت جریان، BOD و DO می‌باشند.

با افزایش پارامتر اکسیژن محلول در رودخانه مقدار اکسیژن خواهی بیولوژیکی کاهش می‌یابد و کیفیت آب بهبود پیدا می‌کند.

دمای آب

دمای آب رودخانه در شرایط اولیه، حدود ۱۳ درجه سانتی گراد می‌باشد، که این مقدار با تخلیه آب رودخانه کیار کمی کاهش پیدا می‌کند و با برداشت آب از رودخانه اصلی و کاهش عمق آب، دمای آب با طی مسیر افزایش می‌یابد. تا در بازه ۱۳ با تخلیه آب چشمه به رودخانه، دمای آب کاهش پیدا می‌کند.

pH آب

آب رودخانه بهشت آباد، دارای pH تقریباً قلیایی می‌باشد، این پارامتر با ورود آب رودخانه کیار کمی کاهش پیدا می‌کند و در بازه ۱۳، با ورود آب چشمه، کمی ارتقا پیدا می‌کند.برداشت آب از رودخانه تاثیر چندانی بر pH آب ندارد.

کلیفرم مدفوعی

مقدار پاتوژن و کلیفرم مدفوعی در رودخانه به طور نسبی دارای روند کاهشی است. مقدار کلیفرم مدفوعی به خاطر تخلیه

فاضلاب‌های شهری، در بالادست رودخانه می‌باشد، که مقدار آن رفته رفته با طی مسیر در رودخانه، به تدریج کاهش پیدا کرده است.

محاسبه خطای مدل QUAL2Kw

با استفاده از رابطه‌های ۱، ۲، ۳ (رابطه‌های ذکر شده برای محاسبه خطا) مقادیر هر یک از خطاها محاسبه گردید که در جدول (۴) گزارش داده شده است.

جدول ۴- مقادیر خطای AME، RMSE وRMSE٪ مدل در دوره مهر ۱۳۹۷

AME	RMSE%	RMSE	
۲/۶۵	۲/۵۰	۰/۱۳	DO(mg/L)
۳/۲۲	۲۲/۵۱	۰/۱۲	BOD(mg/L)
۰/۰۵	۴۵	۰	NH_4(mg/L)
۴/۴۵	۳۱/۱۴	۳/۸۸	NO_3(mg/L)
۴/۹۵	۳۴/۰۸	۳/۴۱	TS(mg/L)
۰/۱۸	۱۲/۲۶	۰	PO_4(mg/L)
۰/۹۳	۶/۲۰	۰/۰۱	Q(m^3/s)
۳/۴۵	۲۵/۵۶	۰/۳۳	$\Delta(water)$(°C)
۴/۰۵	۲۳/۶۹	۰/۱۹	pH
۴/۱۱	۱۴/۶۳	۰/۲۱	COD(mg/L)
۲/۸۰۴	۲۱/۷۵۷	۰/۸۲۸	میانگین خطا

با توجه به پژوهش‌های انجام شده در این زمینه، Kannel *et al*. (2007)، Egyptian National Water Research Center (2014) مقدار کمتر از ۵۲ درصد را برای شاخص RMSE% به منظور سنجش نتایج شبیه سازی کیفی رودخانه قابل قبول گزارش کردند. همچنین در راهنمای تئوری مدل، شاخص خطای RMSE کمتر از ۴/۲ (برحسب میلی گرم بر لیتر) و خطای AME کمتر از ۵ درصد برای شبیه سازی اکسیژن محلول، نیترات، آمونیوم، اورتوفسفات، اکسیژن خواهی بیوشیمیایی و شیمیایی، قابل قبول گزارش شده است.

Egyptian National Water Research Center (2014) با شبیه‌سازی کیفیت آب رودخانه محمودیه با مدل QUAL2K، مقدار میانگین خطای (RMSE)۰/۹۴ تا ۱/۰۹ گزارش داده‌اند، اما در این مطالعه با واسنجی مدل، همان گونه که از جدول (۴) مشاهده می شود، مقدار این خطا به‌طور میانگین تا مقدار ۰/۸۲۸ رسیده است.

در صورت عبور مقادیر خطای پارامترها از استاندارد، برای بهبود آنها در برگه Rate، پارامترهای مؤثر (افزاینده و کاهنده) را با رعایت استاندارد، تغییر می‌دهیم و دوباره مدل را اجرا می‌کنیم تا مدل بتواند این بار عملیات شبیه سازی را نزدیک به واقعیت انجام دهد. در راهنمای مدل نیز از تمام پارامترهای مرتبط، برای افزایش یا کاهش دیگر پارامترها به تفصیل نام برده شده است.

تحلیل سناریوها

با توجه به مقادیر کیفی شبیه سازی شده و مقادیر به دست آمده از سناریوها، مقادیر پارامتر های کیفی به صورت نمودار ترسیم شده است. این مقادیر در دوره مهرماه۹۷، در شکل‌های (۱) تا (۱۲) گزارش گردیده است. که با مقایسه مقادیر سناریوها و مقادیر شبیه سازی شده می‌توان به علت آلودگی آب رودخانه بهشت آباد پی برد.

در نمودارها مقادیر شبیه سازی شده را با S_{IC}، مقادیر سناریو حذف برداشت آب را با S_{NWH} و مقادیر سناریو برداشت ۳ برابر آب را با S_{3WH} مشخص گردیده است.

دبی جریان

با توجه به شکل (۱۳)، مقدار جریان، با حذف برداشت آب از رودخانه، ۰/۵ متر مکعب افزایش می‌یابد و با ۳ برابر کردن برداشت آب، دبی رودخانه تا ۱/۵ متر مکعب افت می‌کند.

هدایت الکتریکی

با توجه به شکل (۱۴)، مقدار هدایت الکتریکی در شرایط برداشت، ۳ برابر آب از رودخانه نسبت به شرایط اولیه، کمی کمتر است. مقدار این پارامتر در شرایط حذف برداشت آب از رودخانه نسبت به شرایط اولیه تفاوت محسوسی ندارد. از آنجایی که دبی رودخانه از بازه ۷ تا ۱۲ تغییر نمی کند، مقدار هدایت الکتریکی آب رودخانه در این بازه‌ها تغییر چندانی ندارد.

نیازاکسیژن بیولوژیکی

با توجه به شکل (۱۵)، حذف برداشت آب تاثیری بر مقدار BOD ندارد. اما در سناریو برداشت ۳ برابر آب، مقدار BOD حدود یک میلی گرم بر لیتر کاهش می‌یابد.

نیاز اکسیژن شیمیایی

با توجه به شکل (۱۶)، مقدار COD، در حالت حذف برداشت آب تفاوت چندانی با شرایط اولیه ندارد. اما در سناریو برداشت ۳ برابر، حدود ۵ میلی گرم کاهش پیدا کرد. Rafiee *et al.* (2017) در رودخانه گرگر، دو پارامتر BOD و COD را مورد بررسی قرار داد و علت افزایش غلظت این دو پارامتر را تخلیه فاضلاب شهری در بالادست این رودخانه معرفی کرد. از آنجایی که در بالادست رودخانه بهشت آباد، پساب فاضلاب چندین شهر تخلیه می شود، افزایش غلظت این پارامتر ها را می توان به همین علت دانست.

جامدات محلول

مقدار جامدات محلول نیز با توجه به شکل (۱۷)، در هر سه شرایط، تا بازه ۱۳ برابر است اما با تخلیه آب چشمه در رودخانه اصلی، مقدار این پارامتر در شرایط برداشت ۳ برابر، ۰/۰۲کمتر از دو حالت مذکور است. از آنجایی که دبی رودخانه از بازه ۷ تا ۱۲ تغییر نمی کند، مقدار پارامتر جامدات محلول آب رودخانه در این بازه ها تغییر چندانی ندارد.

اورتوفسفات

در بررسی و مقایسه نمودارهای اورتوفسفات در شکل (۱۸)، مقدار این پارامتر در شرایط حذف برداشت آب نسبت به شرایط اولیه تفاوتی ندارد، اما در شرایط برداشت ۳ برابر حدود ۰/۱میلی گرم کاهش یافته است.

نیترات

با توجه به شکل (۱۹)، مقدار پارامتر و نیترات، در سناریوهای حذف برداشت و برداشت ۳ برابر، تفاوتی با حالت اولیه ندارد. اما در سناریو برداشت ۳ برابر، در بازه ۱۳، با اضافه شدن آب چشمه، حدود ۲ میلی گرم بر لیتر کاهش یافته است

آمونیوم

با توجه به شکل (۲۰)، مقدار پارامتر آمونیوم با حذف برداشت آب از رودخانه نسبت به شرایط اولیه، تغییر زیادی نداشته است اما با افزایش برداشت ۳ برابر آب نسبت به شرایط اولیه، مقدار آمونیوم نزدیک به ۵۰ درصد کاهش یافته است.

Lai *et al.* (2013) در بررسی کیفیت آب رودخانه داهان تایوان پارامترهای نیترات و آمونیاک را از شاخص ترین پارامترهای مؤثر در کیفیت آب رودخانه معرفی کرد. در این مطالعه نیز تأثیر پذیری این پارامترها از تغییرات دبی رودخانه در بررسی بهتر کیفیت آب و امکان بهبود آن نقش بسزایی دارد.

اکسیژن محلول

با توجه به شکل (۲۱)، در بازه‌های ۷ تا ۱۳، مقدار اکسیژن محلول در سناریو برداشت آب ۳ برابر حالت اولیه، کمتر از از سناریو حذف برداشت آب و شرایط اولیه است. اما با تخلیه آب چشمه باغ رستم در رودخانه، غلظت اکسیژن محلول حدود ۲/۵ میلی گرم بر لیتر افزایش پیدا می‌کند و از دو حالت دیگر هم بیشتر می‌شود. Rafiee *et al.* (2017) مهمترین پارامترهای موثر بر کیفیت آب رودخانه گرگر را نیترات، BOD و DO معرفی کردند. در رودخانه بهشت آباد نیز پارامتر اکسیژن محلول تاثیر بسزایی بر کیفیت آب دارد.

دمای آب

مقدار پارامتر دما در شکل (۲۲) در سناریو برداشت ۳ برابر آب از رودخانه نسبت به شرایط اولیه افزایش پیدا می‌کند و با حذف برداشت از رودخانه مقدار دمای آب رودخانه نسبت به دمای شرایط اولیه، کمتر است.

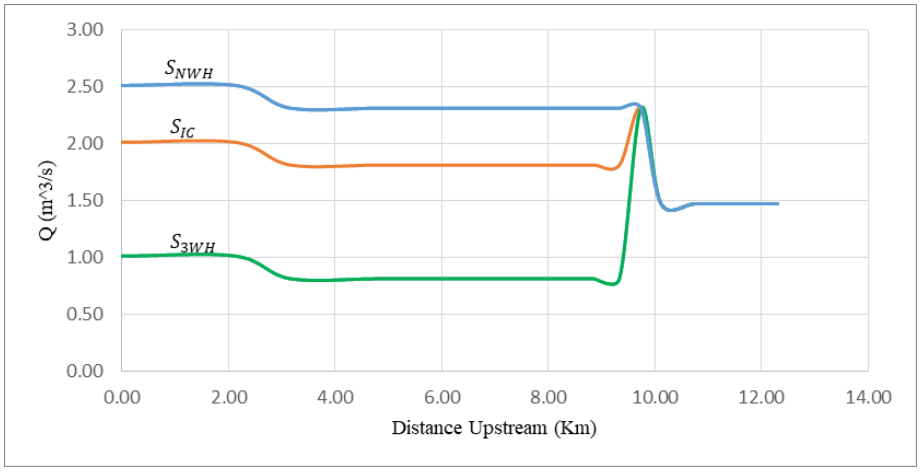
pH آب

با توجه به شکل (۲۳)، مقدار pH آب رودخانه در شرایط سناریو، حذف برداشت آب کمتر از شرایط اولیه (با تفاوت ناچیز) و مقدار این پارامتر در شرایط برداشت ۳ برابر از رودخانه، با اختلاف محسوسی بیشتر از شرایط اولیه گزارش شده است.

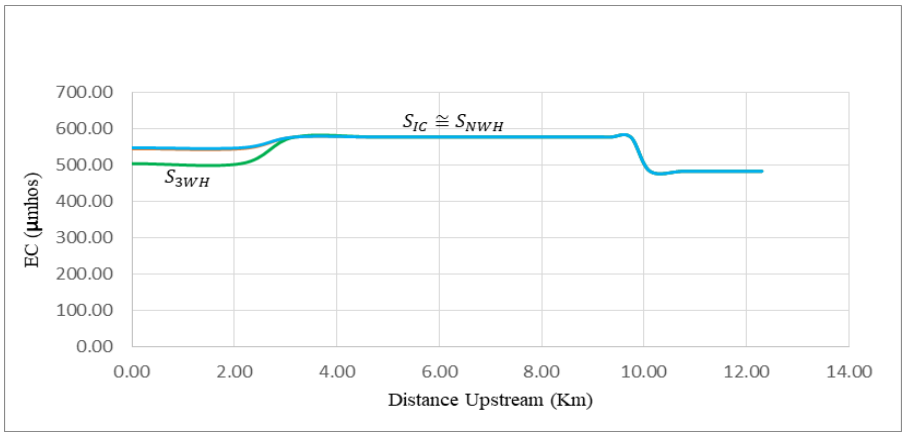
کلیفرم مدفوعی

با توجه به شکل (۲۴)، مقدار کلیفرم مدفوعی در حالت حذف برداشت آب از رودخانه با شرایط اولیه تفاوت چندانی ندارد اما در سناریو برداشت ۳ برابر آب، حدود ۲ میلی گرم در لیتر کاهش یافته است.

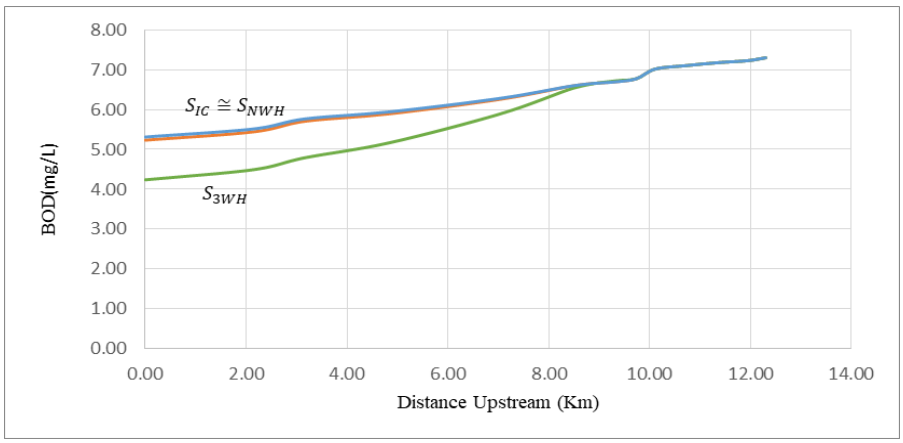
Sener *et al.* (2017) برای بهبود کیفیت آب رودخانه بیوکمندرسی ترکیه و اطمینان از آن، نظارت موثر بر منابع آلاینده حوضه و تخلیه پساب های شهری، صنعتی، کشاورزی دانست. با توجه به نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر، با نظارت بر آلاینده-های حوضه بهشت آباد و طریقه کاهش آن، می‌توان پروتکلی جهت حمایت از این رودخانه در برابر آلودگی ناشی از مزارع کشاورزی و کارخانه‌جات اطراف آن تنظیم و ابلاغ کرد.



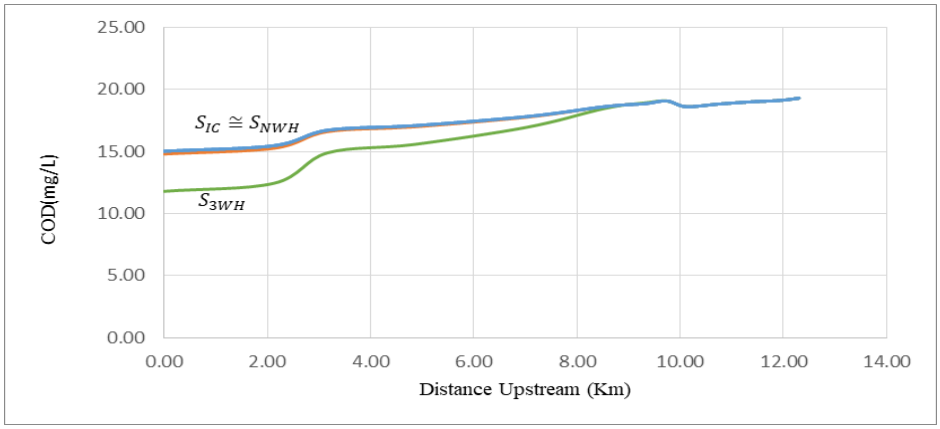
شکل ۱- مقایسه دبی جریان شبیه‌سازی شده با شرایط سناریوها



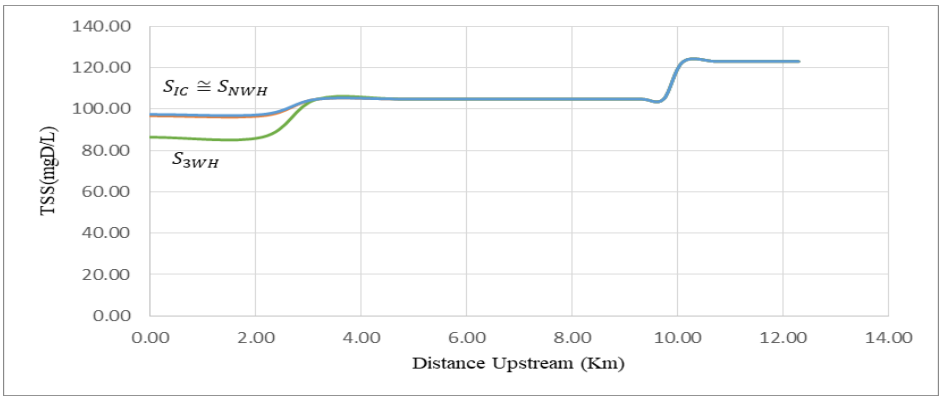
شکل ۲- مقایسه هدایت الکتریکی شبیه‌سازی شده با شرایط سناریوها



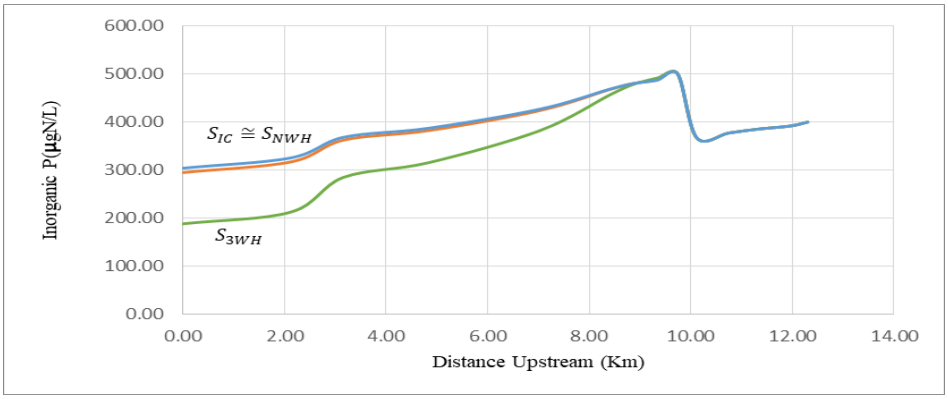
شکل ۳- مقایسه نیازاکسیژن بیولوژیکی شبیه‌سازی شده با شرایط سناریوها



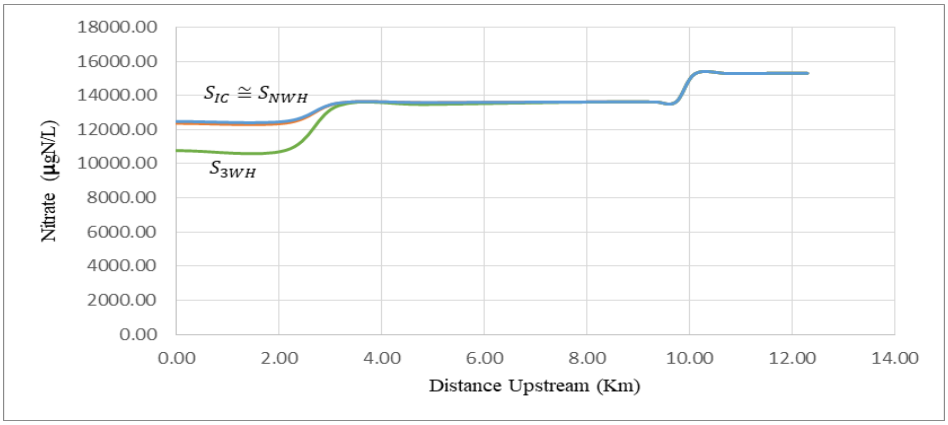
شکل ۴- مقایسه نیاز اکسیژن شیمیایی شبیه‌سازی شده با شرایط سناریوها



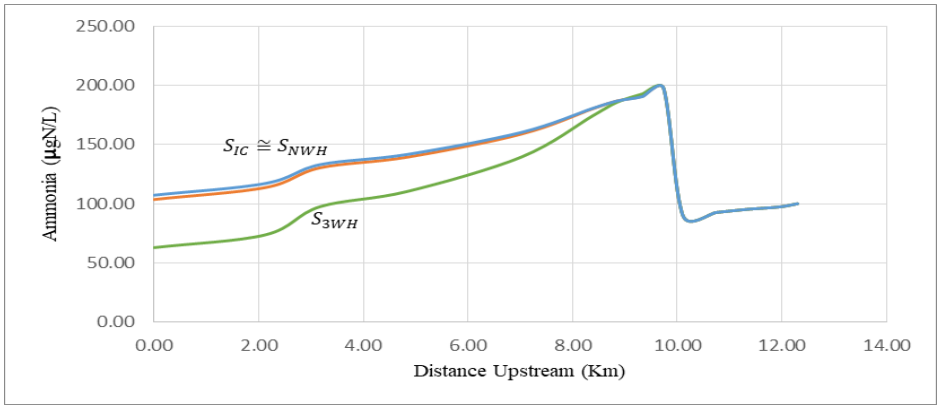
شکل ۵- مقایسه جامدات محلول شبیه‌سازی شده با شرایط سناریوها



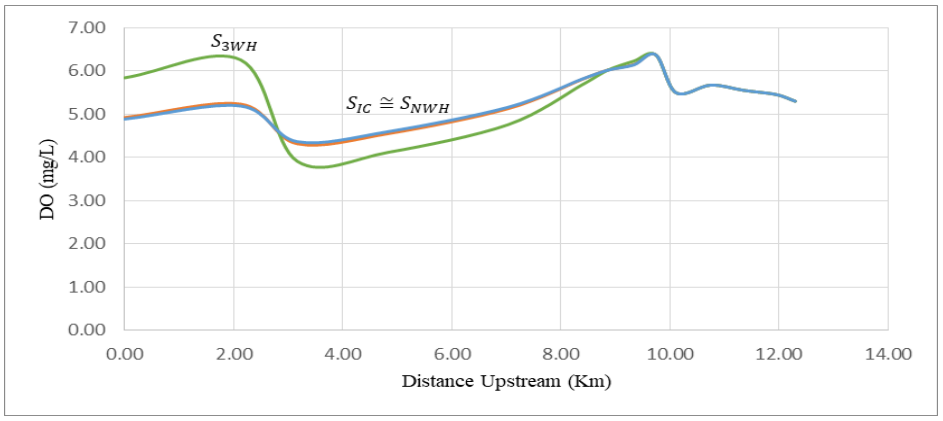
شکل ۶- مقایسه اورتوفسفات شبیه‌سازی شده با شرایط سناریوها



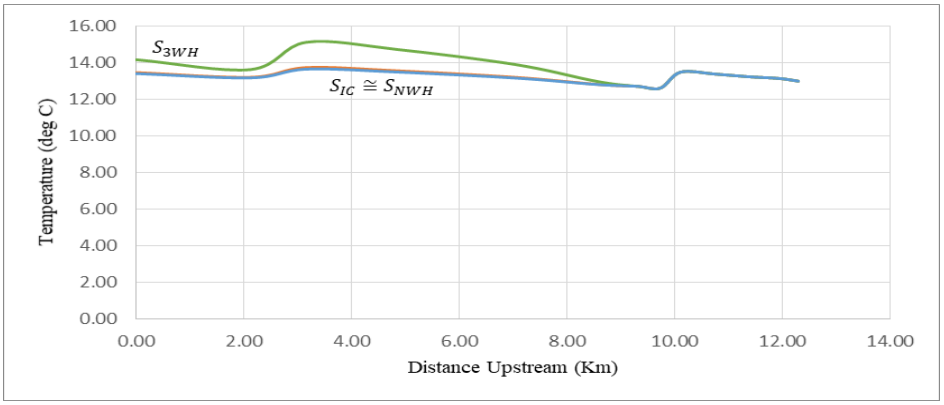
شکل ۷- مقایسه نیترات و نیتریت شبیه‌سازی شده با شرایط سناریوها



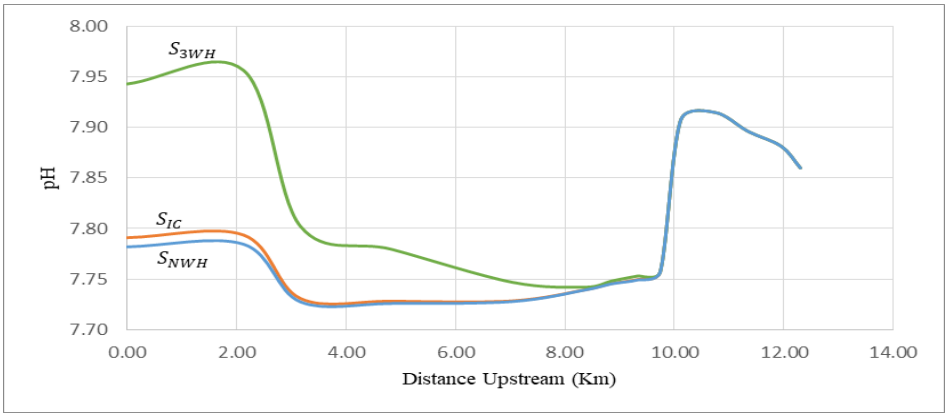
شکل ۸- مقایسه آمونیوم شبیه‌سازی شده با شرایط سناریوها



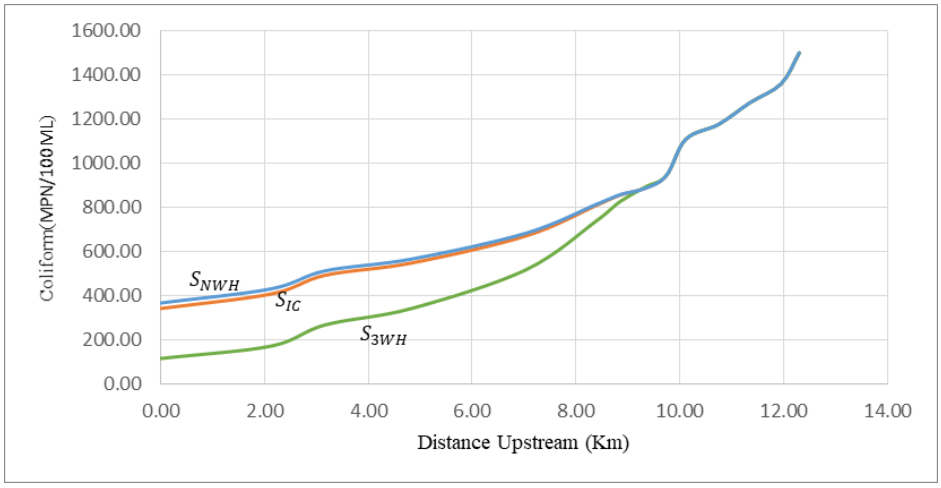
شکل ۹- مقایسه اکسیژن محلول شبیه‌سازی شده با شرایط سناریوها



شکل ۱۰- مقایسه دمای آب شبیه‌سازی شده با شرایط سناریوها



شکل ۱۱- مقایسه pH آب شبیه‌سازی شده با شرایط سناریوها



شکل ۱۲-مقایسه کلیفرم مدفوعی شبیه‌سازی شده با شرایط سناریوها

نتیجه‌گیری

آب رودخانه بهشت آباد چند دهه‌ای است که به طور ویژه مورد پژوهش و مطالعه پژوهشگران علم آب قرار گرفته است. دلیل این امر می‌تواند وجود طرح‌هایی مبنی بر انتقال این آب به فلات مرکزی باشد.

به استناد پژوهش Salehian and Rahmani Fazli (2018) در محدوده حوضه آبریز زاینده‌رود، با توجه به افزایش شدت خشکسالی، تغییرات کاربری اراضی، گسترش سکونت گاه‌های انسانی و فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی، که منجر به کاهش کیفیت آب رودخانه شده است، در رودخانه بهشت آباد نیز موارد اشاره شده را می‌توان دلیل اصلی کاهش کیفیت آب دانست.

در پژوهش‌های Khosravi Nia *et al.* (2009) ، Sener *et al.* (2017) و Rafiee *et al.* (2017) تنها چند پارامتر BOD، CBOD و DO مورد بررسی قرار گرفته است. اما از آنجایی که پارامترهای کلیفرم گوارشی، آمونیوم، نیترات، اورتو فسفات، هدایت الکتریکی، دما، pH و TSS تاثیر بسزایی بر کیفیت آب دارد، در این پژوهش تمامی پارامتر های ذکر شده مورد بررسی و شبیه سازی قرار گرفته و برای بهبود کیفیت آب، سناریو هایی تعریف و اعمال شده است. Lai *et al.* (2013) با تغییر غلظت پارامتر NH_4، غلظت دیگر پارامترهای کیفی را مورد بررسی قرار داده‌اند، در صورتی که در این مطالعه بدون تغییر پارامتر و فقط با تغییر میزان آب عبوری از رودخانه سعی شده برای بهبود کیفیت آب راهکارهایی ارائه شود.

در پژوهش Mohammadi and Kashefipour (2015) که به بررسی و شبیه‌سازی کلیفرم گوارشی در رودخانه کارون پرداخته‌اند، برای افزایش نرخ زوال کلیفرم گوارشی، دو پارامتر کدورت و دما را تغییر داده‌اند و از آنجایی که تاثیر تغییر یک پارامتر بر دیگر پارامتر ها اجتناب ناپذیر است، در این پژوهش برای کاهش غلظت کلیفرم گوارشی از سناریو های حذف برداشت و برداشت سه برابر به شرح زیر استفاده شد.

در این پژوهش با استفاده از مدل QUAL2Kw، پارامترهای دبی، هدایت الکتریکی، اکسیژن مورد نیازبیولوژیکی، اکسیژن مورد نیاز شیمیایی، جامدات محلول، اورتوفسفات، نیترات، آمونیوم، اکسیژن محلول، دمای آب، مقدار pH آب و کلیفرم مدفوعی در ۱۴ بازه شبیه‌سازی شدند. برای بهبود کیفیت آب رودخانه، دو سناریو تعریف گردید تا تحت شرایط آن‌ها، نتایج را مقایسه و بهترین سناریو برای بهبود کیفیت آب پیشنهاد شود.

سناریو اول، حذف برداشت آب برای مصارف کشاورزی، در بازه ۷ است. با مقایسه نتایج به‌دست آمده از این سناریو با شرایط فعلی، مشخص گردید که عدم برداشت کشاورزان از آب رودخانه در بالا دست، کیفیت آب رودخانه در پائین دست را کاهش می‌دهد. در این سناریو با اضافه شدن ۰/۵مترمکعب به دبی رودخانه، غلظت پارامتر BOD و COD و DO در پایین دست با شرایط فعلی تفاوت چندانی ندارد. یعنی با حذف برداشت آب، کیفیت آب در پایین دست تفاوت چندانی پیدا نکرد.

سناریو دوم، برداشت ۳ برابر مقدار فعلی، با مقایسه نتایج به دست آمده از این سناریو (برداشت ۳ برابر آب) با شرایط فعلی، مشخص گردید که با افزایش برداشت تا ۳ برابر از آب رودخانه در بازه ۷ (۹/۳۴ کیلومتری از خروجی)، کیفیت آب رودخانه در پائین دست را تا حدی افزایش می‌دهد. دلیل بهبود کیفیت آب رودخانه، علیرغم کاهش دبی در بالادست، آلودگی زیاد آب بالادست به‌خصوص آب رودخانه جونقان و همچنین تخلیه آب چشمه باغ رستم در بازه۱۳ (۲/۱۳ کیلومتری از خروجی مدل) به رودخانه می باشد. در این سناریو با کم شدن آب دبی رودخانه نسبت به شرایط فعلی و رسیدن دبی رودخانه به مقدار ۱/۵ متر مکعب، غلظت پارامتر BOD از ۷/۳۲ به۴/۲۳ mg/L، غلظت پارامتر COD

از ۱۹/۳۰ به ۱۲mg/L، غلظت پارامتر DO از ۴/۹ به ۵/۸ mg/L و غلظت پارامتر کلیفرم مدفوعی از ۱۵۰۰ به ۱۶۰MPN/100 mL رسیده است. از این رو نتیجه می‌شود که آلودگی دو شاخه (کیار و جونقان)، به ویژه رودخانه جونقان، کیفیت آب پائین دست را تحت تأثیر قرار می‌دهد و باعث افت کیفیت آب در پایین دست رودخانه می شود. با وجود برداشت آب از رودخانه و کم شدن عمق جریان، تلاطم‌های جریان ناشی از شیب تند، وجود صخره‌ها، آبشارها، پدیده خودپالایی رودخانه و وجود چشمه باغ‌رستم، افت کیفیت ناشی از جریان کم، جبران می‌شود.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

Abedi Kopaei, J., Talebi Jahromi, Kh, Bahrami, B., and Nasri, Z. (2008). Investigation of the possibility of water pollution of Zayandehrud river and some Felman wells with diazinon toxin, *Journal of Soil and Water Sciences, Agricultural Sciences and Industries*, 15(4), 1-16. (In Farsi)

Chapra, S.C., Pelletier, G.J. and Tao, H. (2012). *A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality (Version 2.12)*. Environmental Engineering Dept. New York.

Chuersuwan, N., Nimrat, S. and Chuersuwan, S. (2013). Water Quality Management in Lamtakhong River. *Journal of Pakistan Water Resources Management*, 10, 22-41.

Egyptian National Water Research Center (2014) Mahmoudieh channel water quality study with QUAL2k model. Cairo.

Kannel, P, R., Lee, S., Lee, Y,S., Kannel, S,R. and Gia, J, P. (2007). Application of automated QUAL2Kw for water quality modeling and management in the Bagmati River, *Journal of Ecological Modelling*, 202, 503–517.

Khosravi Nia, H., Mir Khaleq, Z., Ahmadi, T., Golmaei, H. (2009*) Quality Management of River Systems by Wasp7 Mathematical Model Case Study of Karun River*, Iranian Watershed Management Association 5th National Conference on Watershed Management Science and Engineering . Tehran. (In Farsi)

Lai, Y.C., Tu, Y. T., Yang, C. P., Surampalli, R. Y. (2013). Water quality study of Dahan river in Taiwan. *Journal of Environmental Protection*, 9(3), 31-47.

Mohammadi, M. ghaderi,k.. and Ahmadi, M, M. (2018). Performance Evaluation of the Water Cycle Optimizing Algorithmfor Calibration of QUAL2Kw Model. *Journal of Iranian Soil and Water Research*, 50(4), 911-920.(In Farsi)

Mohammadi, S. and Kashefipour, M. (2015). Effect of Environmental Factors on Numerical Simulation of Coliform in Riverine Basins. *Journal of Water and Sewerage*, 25(2), 2-11.(In Farsi)

Pelletier, G. J., Chapra, S. C. and Tao, H. (2006) QUAL2Kw- A framework for modeling water quality in streams and rivers using a genetic algorithm for calibration, *Journal of Environmental Modeling & Software*, 21, 419-425

Rafiee, M., Akhond Ali, A. M., Moazed, H. and Steve, W. (2017). A Case Study of Water Quality Modeling of the Gargar River. *Journal of Iran Water Sciences*. 35, 25-36.

Razdar, B. and Ghavidel, A. (2009). Study of water quality in Anzali wetland using WQI quality index, the seventh collection of articles of the National Conference on Sustainable Development Models in Water Management, Mashhad, 23(5), 467 -470.

Sakizadeh, M., and Khani Havizavi, A. (2017). Investigation of the trend of qualitative changes and factors affecting the water

quality of Karun River in Ahvaz, *Journal of Environment and Water Engineering*, 2(2), 13- 22. (In Farsi)

Salehian, S. and Rahmani Fazli, A. (2018). Investigation of environmental consequences of water resources instability in Zayandehrood river basin. *Journal of natural Geography Research*, 50(2), 391-406.(In Farsi)

Sener, S., Sener, E. and Davraz, A. (2017). Evaluation of water quality using water quality index method and GIS in Aksu River (Turkey). *Journal of Water Management*, 584, 131-144.

Shayannejad, M., Taheri, H., and Barati, Kh. (2015). Introduction of basic equations of QUAL2K model and practical guide,

Water and Sustainable Development of Ferdowsi University of Mashhad.

Turner, D,. Pelletier, G. J. and Kasper, B. (2009). Disosolved Oxygen and pH Modeling of a Periphyton Dominated, Nutrient Enriched River. *Journal of Soil and Water Sciences*, 135, 86-99.

Yuceer, M. and Coskun, M. (2016). A Modeling Water Quality In Rivers: A Case Study Of Beylerderesi River In Turkey, *Journal of the Environment*.4(1), 383-395.