



Examining the effect of treatment plant construction on Abbas Abad Mountainous River's quality and pollution

Atefeh Noorali¹ | Safar Marofi²✉ | Omid Babamiri³

1. Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran. E-mail: atefenoorali@gmail.com
2. Corresponding Author, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran. E-mail: marofisafar59@gmail.com
3. Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran. E-mail: babamiri@tabrizu.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 16 December 2023

Received in revised form

11 June 2024

Accepted 5 August 2024

Published online 10 February 2025

Keywords:

Biochemical Oxygen Demand

Chemical Oxygen Demand

Dissolved Oxygen

Qual2kw model

ABSTRACT

The purpose of this research is to investigate the quality status of the Abbas-Abad Mountainous River in Hamedan and evaluate the impact of the implementation of the urban sewage treatment plant and agricultural effluents on its pollution process. In this regard, three scenarios include the existing conditions (reference scenario), the construction of a treatment plant by reducing the amount of biochemical and chemical oxygen (BOD and COD) at the level of class B₁ in accordance with the standard of the Environmental Protection Organization (the second scenario) and the construction of a treatment plant with an increase in the amount Dissolved Oxygen (DO) at the level of class B₁ (third scenario) was investigated and compared. For this purpose, the simulation of the river was done using the QUAL2Kw model and during the first scenario, taking into account the actual conditions of pollutant discharge for the period of May and August 1400, it was calibrated and validated. Then, by identifying six important point sources polluting the river, the second and third scenarios were implemented. The results of the reference scenario showed that with the increase of BOD and COD values of water, its DO value also decreases and the quality of the river is in a critical condition. Also, with the reduction of BOD and COD values at the standard level of class B₁, the value of DO in the third scenario will increase dramatically compared to other scenarios. Therefore, based on these results, the performance of the third scenario is better than the other scenarios, and the construction of the proposed treatment plants has a significant effect on improving the quality of the Abbas-Abad River. It is also suggested to prevent pollutants from entering the riverbed in order to improve the quality of rivers.

Cite this article: Noorali, A., Marofi, S., & Babamiri, O. (2025). Examining the effect of treatment plant construction on Abbas Abad Mountainous River's quality and pollution. *Journal of Water and Irrigation Management*, 14 (4), 863-875. DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2024.369706.1127>



© The Author(s).

DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2024.369706.1127>

Publisher: University of Tehran Press.



بررسی احداث تصفیه‌خانه‌ها بر کیفیت و آلودگی رودخانه کوهستانی عباس آباد

عاطفه نورعلی^۱ | صفر معروفی^۲ | امید بابامیری^۳

۱. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران. رایانامه: atefenooral@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران. رایانامه: marofisafar59@gmail.com
۳. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: babamiri@tabrizu.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

هدف این پژوهش، بررسی وضعیت کیفی رودخانه کوهستانی عباس‌آباد همدان و ارزیابی تأثیر اجرای تصفیه‌خانه فاضلاب شهری و پساب‌های کشاورزی بر روند آلودگی آن است. در این راستا، سه سناریو شامل شرایط موجود (سناریوی مرجع)، احداث تصفیه‌خانه با کاهش مقدار اکسیژن موردنیاز بیوشیمیایی^۲ و شیمیایی^۳ (COD و BOD) در سطح کلاس B₁ مطابق با استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست (سناریوی دوم) و احداث تصفیه‌خانه با افزایش مقدار اکسیژن محلول^۱ (DO) در سطح کلاس B₁ (سناریوی سوم) بررسی شده و مورد مقایسه قرار گرفتند. بدین منظور ابتدا شبیه‌سازی رودخانه با استفاده از مدل QUAL2Kw صورت پذیرفت و طی سناریوی اول با در نظر گرفتن شرایط واقعی تخلیه آلاینده‌ها برای بازه زمانی اردیبهشت‌ماه و مردادماه سال ۱۴۰۰ مورد واسنجی و صحت‌سنجی قرار گرفت. سپس با شناسایی شش منبع مهم نقطه‌ای آلوده‌کننده رودخانه، سناریوهای دوم و سوم اجرا شد. نتایج سناریوی مرجع نشان داد با افزایش مقادیر BOD و COD آب، مقدار DO آن نیز کاهش می‌یابد و رودخانه از نظر کیفی در شرایط بحرانی قرار می‌گیرد. همچنین با کاهش مقادیر BOD و COD در سطح استاندارد کلاس B₁، مقدار DO در سناریوی سوم نسبت به سایر سناریوها افزایش چشم‌گیری خواهد داشت. بنابراین، براساس این نتایج عملکرد سناریوی سوم نسبت به دیگر سناریوها بهتر بوده و احداث تصفیه‌خانه‌های پیشنهادی تأثیر معنی‌داری در بهبود روند کیفی رودخانه عباس‌آباد دارد. همچنین پیشنهاد می‌گردد به منظور بهبود وضعیت کیفی رودخانه‌ها از ورود آلاینده‌ها به درون بستر رودخانه جلوگیری شود.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۲۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۳/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۱۵

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۱/۲۲

کلیدواژه‌ها:

اکسیژن محلول

BOD

COD

Qual2kw

استناد: نورعلی، عاطفه؛ معروفی، صفر و بابامیری، امید (۱۴۰۳). بررسی احداث تصفیه‌خانه‌ها بر کیفیت و آلودگی رودخانه کوهستانی عباس‌آباد. نشریه مدیریت آب و آبیاری، ۱۴ (۴)، ۸۶۳-۸۷۵. DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2024.369706.1127>



۱. مقدمه

در پی افزایش جمعیت و رقابت در مصرف، تعارض و تضاد در چگونگی بهره‌برداری از رودخانه‌ها رو به افزایش است. در نتیجه، شناخت خصوصیات و رفتار طبیعی رودخانه‌ها به‌منظور اجرای برنامه‌های نگهداری و اعمال مدیریت صحیح، برای سلامت رودخانه‌ها و حیات جامعه امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است (Babamiri et al., 2021b). افزایش جمعیت، صنعتی شدن جوامع، توسعه شهرنشینی و فعالیت‌های کشاورزی باعث ورود حجم گسترده‌ای از آلودگی‌ها به منابع آب‌های سطحی از جمله رودخانه‌ها شده است. بنابراین، کیفیت آب رودخانه‌ها در معرض بحران قرار گرفته و کنترل آلودگی‌های ورودی به این منابع از ملزومات است (Farkhani, 2021). برای کنترل آلودگی‌های ورودی به رودخانه‌ها، استفاده از ابزارهای مدیریتی از جمله مدل‌های شبیه‌سازی کیفیت آب می‌تواند سودمند باشد (Herbay et al., 1983). در همین راستا، یک مدل شبیه‌سازی کیفیت آب توسط Chapra and Pelletier (2003) ارائه شده است که مدل Qual2kw می‌باشد. این مدل یک‌بعدی، پایدار، کاربرپسند بوده و می‌تواند پارامترهای کیفی رودخانه و جریان آب را شبیه‌سازی کند. تاکنون مطالعات زیادی در زمینه شبیه‌سازی کیفیت آب با استفاده از مدل QUAL2Kw انجام گرفته است.

در پژوهشی، ضمن شناسایی منابع آلاینده رودخانه زرنه‌رود، برای رسیدن به استانداردهای کیفیت آب به‌منظور حفظ بقای آب‌زیان، سناریوهای متعددی مورد مطالعه قرار گرفت. برای این منظور، مدل QUAL2Kw برای داده‌های سال ۱۳۹۵ اجرا و صحت‌سنجی گردید. نتایج نشان داد که در برخی فصول سال و برخی بازه‌های رودخانه، شرایط کیفیت آب برای حیات آب‌زیان مساعد نمی‌باشد (Biglari et al., 2019). مطالعه‌ای به‌منظور شبیه‌سازی کیفیت آب رودخانه Skudai مالزی تحت سه سناریوی تخلیه آلاینده‌ها به این رودخانه با استفاده از مدل QUAL2Kw انجام گرفت. براساس نتایج به‌دست‌آمده کیفیت آب رودخانه در اغلب ایستگاه‌ها، بر مبنای شاخص کیفیت آب^۵ (WQI)، در گروه سه (نسبتاً آلوده و آلوده) قرار گرفت که نشان‌دهنده کیفیت پایین رودخانه می‌باشد (Kamal et al., 2020).

در پژوهش Emami Ghara et al. (2023)، روند تغییرات کیفی رودخانه نکا با استفاده از مدل QUAL2Kw مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مدل مذکور در شبیه‌سازی کیفیت آب رودخانه نکارود از دقت مناسبی برخوردار است. در Pashazadelaleh et al. (2021) کیفیت آب رودخانه آجیچای با استفاده از مدل QUAL2Kw شبیه‌سازی شد. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که رودخانه از نظر آلودگی در شرایط بحرانی بوده و از کیفیت نامطلوبی برخوردار است. در Abdveis et al. (2020) با توجه به وقوع خشکسالی و رشد صنعتی، شاخص کیفیت رودخانه دز با استفاده از مدل QUAL2Kw مورد ارزیابی قرار گرفت. پارامترهای DO، COD، BOD، EC و pH با استفاده از مدل مذکور مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که رودخانه از کیفیت خوبی برخوردار است. در Babamiri et al. (2021a) با استفاده از مدل QUAL2Kw وضعیت کیفی رودخانه عباس‌آباد و ظرفیت خودپالایی آن مورد بررسی قرار گرفت و پارامترهای BOD، COD، DO، NH₄، NO₃ و EC با استفاده از مدل مذکور شبیه‌سازی شد و نتایج با مشاهدات میدانی مقایسه شد. نتایج نشان داد که نرخ اکسیداسیون، نرخ نیتریفیکاسیون و دینیتریفیکاسیون بر کیفیت آب مؤثر بوده‌اند. مطالعه‌ای به‌منظور تعیین کیفیت رودخانه هراز با استفاده از مدل QUAL2Kw انجام گرفت. نتایج نشان داد که رودخانه در شش ماه اول سال از نظر اکسیژن محلول بحرانی بوده است (Farkhani, 2018). در مطالعه‌ای از مدل QUAL2Kw برای شبیه‌سازی پارامترهای کیفی رودخانه استفاده شد. نتایج نشان داد که مدل قادر است به‌خوبی پارامترهای کیفی را شبیه‌سازی کند (Lakashmi et al., 2020).

پژوهشی به‌منظور بررسی شرایط کیفی و ارزیابی اجرای تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری، کشاورزی و صنعتی بر میزان آلودگی رودخانه دز انجام شد. نتایج نشان داد که از بین پارامترهای DO، BOD، NO₃ و EC، مقدار آلودگی BOD

و EC نسبت به سایر پارامترها بیش‌تر می‌باشد. همچنین، نتایج نشان داد که وضعیت رودخانه از نظر آلودگی BOD با اجرای تصفیه‌خانه تا حد قابل‌قبولی بهبود یافته است (Rafiee *et al.*, 2020). در پژوهشی، تصفیه‌خانه‌هایی در نقاط حساس و بحرانی که دارای مقدار آلودگی بیش‌تری می‌باشند، اجرا گردید. نتایج نشان داد اجرای تصفیه‌خانه‌ها در بهبود کیفیت رودخانه مؤثر هستند (Rafiee *et al.*, 2013). به‌طور کلی، می‌توان گفت مدل QUAL2Kw پارامترهای کیفی را به‌خوبی شبیه‌سازی می‌کند و اجرای تصفیه‌خانه‌ها در طول مسیر رودخانه به‌منظور بهبود کیفیت آب آن می‌تواند مؤثر باشد.

رودخانه عباس‌آباد در استان همدان، به‌عنوان یک رودخانه دائمی و نسبتاً پر آب، نقش اساسی در بخش‌های مختلف از جمله کشاورزی، زیست‌محیطی، اجتماعی و تفریحی دارد. با این‌حال، تخلیه پساب‌های ناشی از فعالیت‌های کشاورزی، خانگی و رستوران‌ها در مسیر رودخانه می‌تواند موجب کاهش کیفیت رودخانه مذکور گردد. با توجه به پیشینه پژوهش، تاکنون ارزیابی احداث تصفیه‌خانه‌ها با دو شرط کاهش BOD و COD و افزایش DO به‌منظور بهبود کیفیت رودخانه کوهستانی عباس‌آباد انجام نشده است که در این پژوهش موردبررسی قرار گرفته و نوآوری مطالعه حاضر می‌باشد. بنابراین، هدف این پژوهش، شبیه‌سازی پارامترهای کیفی رودخانه مذکور با استفاده از مدل QUAL2Kw، شناسایی منابع نقطه‌ای مهم آلوده‌کننده رودخانه و عملکرد تصفیه‌خانه‌ها برای بهبود کیفیت رودخانه کوهستانی عباس‌آباد می‌باشد.

۲. روش تحقیق

۲.۱. منطقه مورد مطالعه

رودخانه عباس‌آباد واقع در استان همدان، از کوه فخرآباد به ارتفاع ۳۳۱۲ متر (ارتفاعات الوند) در ۱۲ کیلومتری جنوب‌غربی شهر همدان قرار گرفته و از جهت جنوب به شمال جاری می‌گردد. طول و وسعت حوضه آبریز آن به‌ترتیب برابر با ۱۸ کیلومتر و حدود ۴۰ کیلومترمربع می‌باشد. این حوضه در فاصله بین عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۴۶ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۴۸ دقیقه و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۷ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۲۹ دقیقه واقع شده است. ارتفاع متوسط حوضه از سطح دریا حدود ۲۶۰۰ متر، میانگین دما و بارش سالانه به‌ترتیب ۱۱/۳ درجه سانتی‌گراد و ۳۱۷/۷ میلی‌متر می‌باشد (Ranjbar, 2019). در شکل‌های (۱) و (۲) منطقه مطالعاتی، موقعیت مکانی آلاینده‌های نقطه‌ای، برداشت آب و نقاط نمونه‌برداری (ایستگاه‌های پایش) نشان داده شده است.

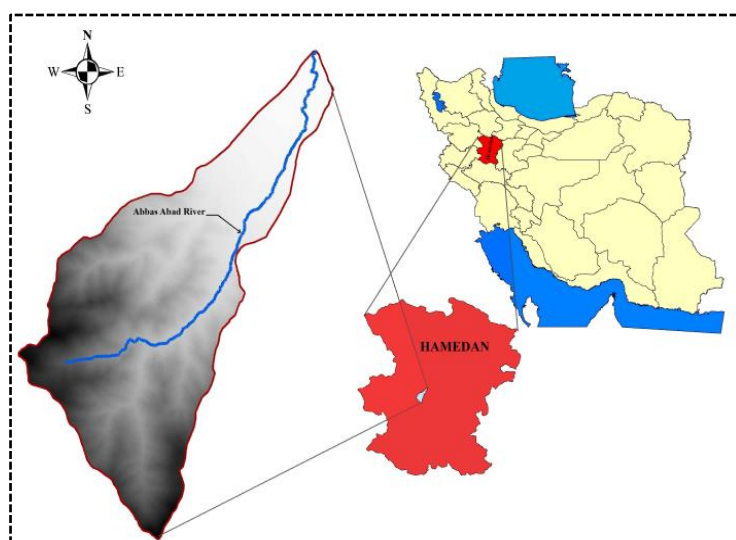


Figure 1. The sit location of the abbas abad river

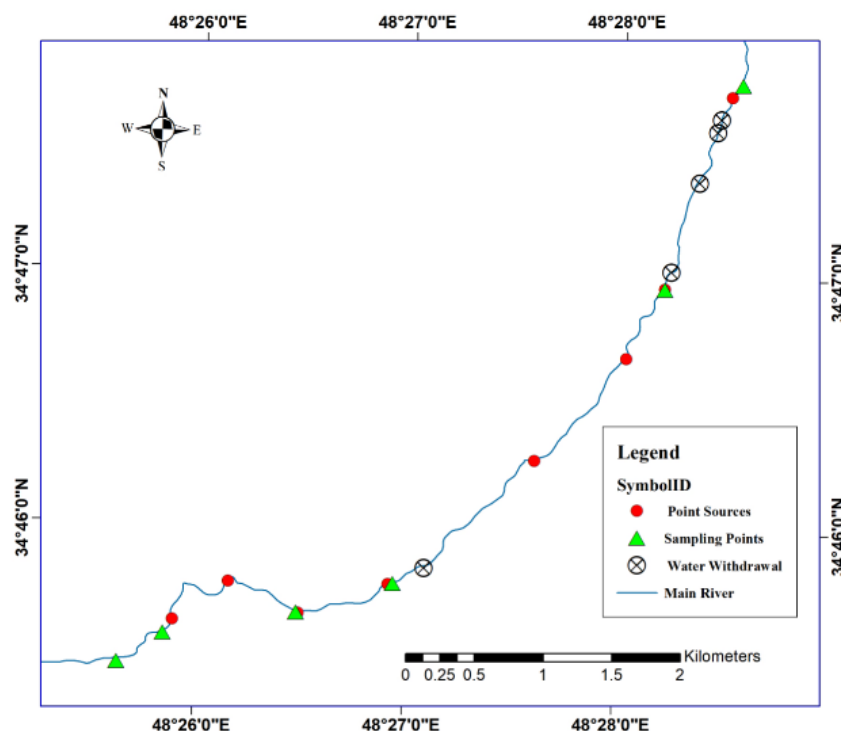


Figure 2. Location of the pollutants point sources, water withdrawal, and sampling points

۲.۲. مدل QUAL2Kw و معادلات حاکم بر آن

مدل QUAL2K توسط Chapra *et al.* (2006) توسعه یافت که در واقع ویرایش جدیدی از مدل Qual2e می‌باشد. مدل مذکور آخرین مدل از سری مدل‌های QUAL می‌باشد که مورد تأیید سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا^۴ (USEPA) است و به‌طور گسترده‌ای جهت شبیه‌سازی کیفیت آب رودخانه‌ها مورد استفاده قرار گرفته است (Kannel *et al.*, 2007). این مدل، رودخانه را به‌صورت یک بعدی در راستای طولی آن، همراه با جریان دائمی غیریکنواخت شبیه‌سازی می‌کند و می‌تواند اثر بارگذاری را به‌صورت نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای در نظر بگیرد. در این مدل، به‌منظور تعیین غلظت پارامترهای کیفی، از روش تفاضل محدود برای حل عددی معادله جابه‌جایی-پخش استفاده می‌شود (Chapra *et al.*, 2006). مدل QUAL2Kw در مقایسه با سایر مدل‌های شبیه‌ساز مانند WEAP، CE-QUAL2 و غیره قادر است بیش از پانزده پارامتر کیفی آب از جمله اکسیژن محلول، نیاز اکسیژن خواهی شیمیایی، دما، نیتروژن نیتراتی، نیتروژن آمونیاکی و غیره را در رودخانه شبیه‌سازی نماید.

در طول رودخانه، با فرض اختلاط کامل، برای هر المان موازنه جریان در حالت پایدار طبق رابطه (۱) صورت می‌گیرد (Chapra *et al.*, 2006):

$$Q_i = Q_{i-1} + Q_{in,i} - Q_{ab,i} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن، Q_i میزان جریان خروجی از بازه i ، Q_{i-1} میزان جریان خروجی از بازه $i-1$ ، $Q_{in,i}$ جریان ورودی از تمامی منابع نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای به بازه i ، $Q_{ab,i}$ جریان خروجی از تمامی منابع نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای از بازه i می‌باشد. یکی از اصول پایه در فرمول‌بندی مدل‌های کیفی آب، اصل تعادل جرم است. در واقع معادله اصلی که

مدل مذکور آن را حل می‌کند، معادله جابه‌جایی-پخش یک‌بعدی است که برای تمامی متغیرها به غیر از جلبک کف، با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

$$\frac{dc_i}{dt} = \frac{Q_{i-1}}{V_i} c_{i-1} - \frac{Q_i}{V_i} c_i - \frac{Q_{ab,i}}{V_i} c_i + \frac{E'_{i-1}}{V_i} (c_{i-1} - c_i) + \frac{E'_i}{V_i} (c_{i+1} - c_i) + \frac{W_i}{V_i} + S_i + \frac{E'_{hyp,i}}{V_i} (c_{2,i} - c_i) \quad (2)$$

که در آن، W_i بار آلاینده ورودی به شاخه S_i (g/day)، منابع ورود و خروج آلاینده C_i (g/m³/day)، غلظت جزء کیفی در آب رودخانه، $C_{2,i}$ غلظت جزء کیفی در منطقه رسوب، V_i حجم آب (m³) و E' ضریب پخشیدگی حجمی بین i و $i+1$ (m³/day) می‌باشد (Chapra and Pelletier, 2008).

اطلاعاتی که در مدل Qual2kw جهت شبیه‌سازی کیفی رودخانه نیاز است شامل بازه‌بندی و تعیین مشخصات هیدرولیکی رودخانه، داده‌های هواشناسی، داده‌های کیفی مربوط به رودخانه، منابع آلاینده ورودی و موقعیت و دبی برداشتی می‌باشند که در ادامه توضیح داده می‌شوند.

۳.۲. هیدرولیک و بازه‌بندی رودخانه

در مدل Qual2kw، مدل‌سازی جریان براساس بازه‌بندی مسیر رودخانه انجام می‌شود. با توجه به شرایط هیدرولیکی رودخانه عباس‌آباد، از محل گنج‌نامه تا موزه تاریخ طبیعی که هفت کیلومتر طول دارد، مسیر رودخانه به ۱۲ مقطع با طول‌های متفاوت تقسیم‌بندی شد. بازه‌های رودخانه، محل ورود منابع آلاینده‌ی نقطه‌ای و محل برداشت آب از رودخانه در شکل (۳) نشان داده شده است.

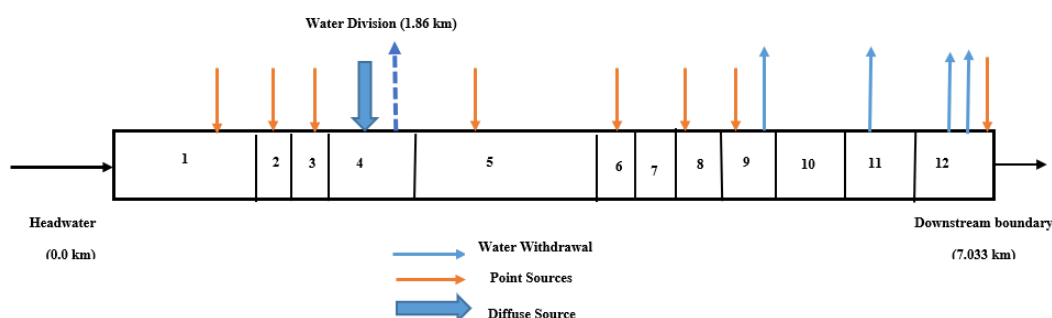


Figure 3. The proposed longitudinal interval to model simulation

در هر بازه مشخصات هندسی از قبیل شیب دیواره‌ها، شیب طولی رودخانه، رقوم ارتفاعی کف، عرض کف و غیره در محیط نرم‌افزار AutoCAD 2018 ترسیم و وارد مدل شد. مدل QUAL2Kw با فرض ذورنقه‌ای بودن مسیر رودخانه و با استفاده از معادله مانینگ، عمق و سرعت جریان را محاسبه می‌کند (Chapra and Pelletier, 2008). پس از بازدید از منطقه مورد مطالعه و با توجه به وضعیت بستر و دیواره رودخانه، ضریب مانینگ به مقدار ۰/۰۳۵ تخمین زده شد.

۴.۲. پارامترهای هواشناسی

پارامترهای هواشناسی مورد نیاز برای شبیه‌سازی پارامترهای دمای هوا، دمای نقطه شبنم، سرعت باد، پوشش ابر و سطح سایه‌انداز می‌باشد. جدول (۱) متوسط مقادیر پارامترهای هواشناسی ایستگاه عباس‌آباد همدان در طول دوره آماری ۱۴۰۰-۱۴۰۱ را نشان می‌دهد. این پارامترها از اداره هواشناسی استان همدان دریافت شد.

Table 1. Average meteorological parameters of the abbas abad station

Parameter	Temperature (°C)	Dew point temperature (°C)	Wind speed (m/s)	Cloud cover (%)	Shader surface (%)
Value	13.29	4.25	3.08	30	70

۵.۲ پارامترهای آلودگی در نقاط تخلیه/برداشت به/از رودخانه

مقدار آب برداشتی از رودخانه عباس‌آباد و آلودگی‌های ورودی نقطه‌ای به آن در نقاط مختلف برای سال ۱۴۰۰ از شرکت آب منطقه‌ای همدان و محیط زیست همدان دریافت گردید. با داشتن موقعیت جغرافیایی این نقاط و با عملیات میدانی در فصل خشک (مردادماه ۱۴۰۱)، نمونه‌برداری از این نقاط به عمل آمد. سپس غلظت آلودگی این نقاط در آزمایشگاه اندازه‌گیری گردید. همچنین، مقدار دبی و دمای آب این آلودگی‌ها و مقدار دبی برداشتی از رودخانه در محل اندازه‌گیری شد. مقدار میانگین پارامترهای نقاط آلودگی و ایستگاه‌های هیدرومتری در جدول (۲) ارائه شده است. جدول (۳) مقدار میانگین برداشت از رودخانه را نشان می‌دهد.

Table 2. Average values of pollution parameters in the polluting points and monitoring stations

	Point sources	Longitude	Latitude	Distance (Km)	Q (m ³ /s)	T (°C)	BOD (mg/lit)	COD (mg/lit)	DO (mg/lit)
Monitoring station	S ₁	48°26'00"	34°46'00"	7.03	0.06	15.7	9.0	18.2	7.15
	S ₂	48°26'20"	34°46'02"	6.14	0.06	15.9	10.0	19.9	7.10
	S ₃	48°26'53"	34°46'09"	5.25	0.11	16.0	11.5	23.0	7.05
	S ₄	48°27'12"	34°46'15"	4.23	0.03	15.6	13.0	26.0	7.03
	S ₅	48°28'00"	34°47'57"	1.86	0.03	14.0	14.6	31.4	7.13
	S ₆	48°28'34"	34°47'46"	0	0.03	14.0	16.5	39.9	5.65
Agricultural wastewater	E ₂	48°26'47"	34°46'05"	5.60	0.05	14.3	11.0	21.0	5.90
	E ₄	48°27'00"	34°46'13"	4.38	0.04	15.6	44.0	89.9	5.10
	E ₅	48°27'43"	34°46'38"	3.55	0.01	14.2	12.0	25	7.10
	E ₆	48°27'31"	34°46'47"	2.50	0.07	19.3	28.5	79.5	5.18
	E ₇	48°28'00"	34°47'57"	1.86	0.01	19.4	27.6	88.6	5.18
	E ₈	48°28'40"	34°47'44"	0.20	0.05	19.9	25.7	145.5	6.98
Municipal sewage	W ₁	48°26'34"	34°46'03"	6.08	0.02	13.8	10.0	20.5	7.20
	W ₃	48°26'57"	34°46'10"	5.20	0.01	15.3	85.0	97.0	5.16

Table 3. The average of water withdrawal abbas-abad river

Monitoring station	Longitude	Latitude	Distance (km)	Water withdrawal (m ³ /s)
A ₁	48°27'12"	34°46'15"	4.23	0.40
A ₂	48°28'10"	34°47'09"	1.50	0.02
A ₃	48°28'18"	34°47'25"	0.84	0.02
A ₄	48°28'25"	34°47'30"	0.38	0.07
A ₅	48°28'27"	34°47'34"	0.34	0.40

۶.۲ واسنجی و صحت‌سنجی مدل

واسنجی در مدل Qual2kw به دو صورت خودکار و دستی انجام می‌شود. واسنجی خودکار Qual2kw توسط خود مدل با استفاده از الگوریتم ژنتیک انجام می‌شود. در روش دستی، واسنجی به صورت سعی و خطا انجام می‌شود. در این پژوهش، واسنجی برای اردیبهشت‌ماه ۱۴۰۰ به صورت دستی انجام شد و در نهایت ضرایب واسنجی شد.

در مرحله صحت‌سنجی بدون تغییر در مقادیر ضرایب و پارامترها، مدل مجدد برای مردادماه ۱۴۰۰ اجرا و صحت آن مورد بررسی قرار گرفت. سپس، مقدار خطا برای شبیه‌سازی با چهار پارامتر ضریب همبستگی^۶ (r)، مجذور میانگین مربعات خطا نرمال‌شده^۷ (NRMSE)، خطای نش و ساتکلیف^۸ (NSE) و خطای استاندارد^۹ (SE) محاسبه شد که روابط

مربوطه به ترتیب در روابط (۳)، (۴)، (۵) و (۶) ارائه شده است. هرچه مقادیر آماره‌های NRMSE و SE به صفر و r و NSE به یک نزدیک‌تر باشند، مدل از دقت بالایی برخوردار است.

$$r = \frac{\sum(Y_m - \bar{Y}_m)(Y_p - \bar{Y}_p)}{\sqrt{(\sum(Y_m - \bar{Y}_m)^2 - (\sum(Y_p - \bar{Y}_p))^2)}} \quad \text{رابطه ۳}$$

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Y_m - \bar{Y}_p)^2}}{X_{max} - X_{min}} \quad \text{رابطه ۴}$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_m - Y_p)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_m - \bar{Y}_m)^2} \quad \text{رابطه ۵}$$

$$SE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Y_m - Y_p)^2}}{\bar{Y}_m} \quad \text{رابطه ۶}$$

که در این روابط، Y_m مقدار مشاهداتی، \bar{Y}_m میانگین مقدار مشاهداتی، Y_p مقدار پیش‌بینی شده، \bar{Y}_p میانگین مقدار پیش‌بینی شده، X_{min} و X_{max} به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار مشاهداتی می‌باشند.

۷.۲. سناریوی شبیه‌سازی و مکان‌یابی تصفیه‌خانه‌ها

شبیه‌سازی کیفیت رودخانه در شرایط موجود و تخلیه آلاینده‌ها، به‌عنوان اولین سناریو مورد بررسی قرار گرفت. در این سناریو ضمن بررسی روند کیفی رودخانه، شش منبع نقطه‌ای مهم آلوده‌کننده نیز مشخص شدند. در سناریوی دوم، پس از شناسایی شش منبع نقطه‌ای، تصفیه‌خانه‌هایی با شرط کاهش BOD و COD در سطح استاندارد کلاس B_1 در طول مسیر رودخانه در نظر گرفته شد تا تأثیر آن‌ها بر کاهش آلودگی و بهبود کیفیت رودخانه مشخص گردد. تصفیه‌خانه‌های مذکور با قابلیت تصفیه ۲۰ تا ۸۵ درصد، نقاط مذکور را تصفیه و سپس به رودخانه تخلیه می‌کنند.

سناریوی سوم، تصفیه‌خانه‌هایی با افزایش اکسیژن محلول، طی مسیر رودخانه به‌منظور تصفیه شش منبع نقطه‌ای که سهم بیش‌تری در آلوده‌کنندگی آن دارند، در نظر گرفته شد. تصفیه‌خانه‌های مذکور یک تا ۱۰ درصد میلی‌گرم بر لیتر آلودگی را تصفیه می‌کنند. این تصفیه‌خانه‌ها با رعایت استاندارد تخلیه فاضلاب به آب‌های سطحی مطابق با استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست در سال ۱۳۸۷، آلاینده‌های نقطه‌ای را اصلاح کرده و سپس به درون رودخانه تخلیه می‌کنند. مقادیر ماکزیمم BOD، COD و DO طبق استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست در جدول (۴) آمده است.

Table 4. Values of quality parameters according to the standards of the Iranian environmental protection organization

Parameters	COD (mg/lit)	BOD (mg/lit)	DO (mg/lit)
Standard class	B_1 (Upper threshold of the entering pollution)		
Amounts	20	10	7

شکل (۴) نمای کلی از رویکرد شبیه‌سازی کیفی و اجرای تصفیه‌خانه‌هایی با دو شرط کاهش BOD، COD و افزایش DO را نشان می‌دهد. با توجه به طرح‌واره، ابتدا داده‌های مورد نیاز برای شبیه‌سازی مدل کیفی مهیا گردیده و مدل شبیه‌ساز واسنجی و صحت‌سنجی می‌شود. سپس مدل برای سناریوهای مختلف با دو شرط فوق‌الذکر اجرا می‌شود و در نهایت نتایج سناریوها مقایسه شده و بهترین سناریو انتخاب می‌گردد.

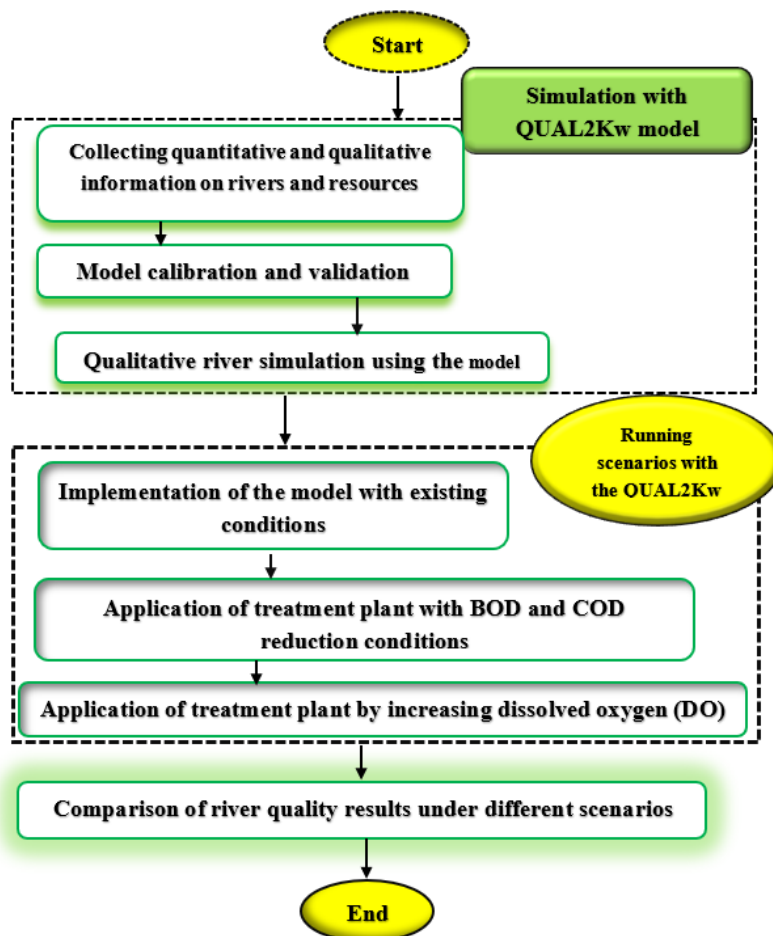


Figure 4. Flowchart of simulator model execution under different scenarios

۳. نتایج و بحث

پس از اجرای مدل و شبیه‌سازی کیفی رودخانه عباس‌آباد، مدل برای اردیبهشت‌ماه سال ۱۴۰۰ مورد واسنجی قرار گرفت و ضرایب موردنظر به‌دست آمدند که در جدول (۵) آورده شده‌اند. به‌منظور اطمینان از صحت شبیه‌سازی، بدون تغییر در ضرایب مدل، صحت‌سنجی و ارزیابی برای مردادماه سال ۱۴۰۰ انجام شد. جدول (۶) نتایج حاصل از واسنجی و صحت‌سنجی را براساس آماره‌های SE، NSE، NRMSE و r نشان می‌دهد. بیش‌ترین مقدار r برای واسنجی و صحت‌سنجی مربوط به پارامترهای BOD و COD با مقدار ۰/۹۹ می‌باشد. بیش‌ترین NSE در شرایط واسنجی مربوط به BOD با مقدار ۰/۹۷، کم‌ترین SE در صحت‌سنجی مربوط به پارامتر DO با مقدار ۰/۰۱ و کم‌ترین NRMSE نیز مربوط به BOD با مقدار ۰/۰۲ در مرحله واسنجی می‌باشند. بنابراین شبیه‌سازی پارامترهای کیفی و آلودگی در مرحله صحت‌سنجی از دقت بالایی برخوردارند.

Table 5. Variation ranges of the model calibration coefficients

Parameters		Value	Unit	Lower limit	Upper limit
Fast BOD	Oxidation rate	0	1/day	0	5
	Nitrification	0	1/day	0	10
Ammonium	Denitrification	0.316	m/d	0	2

Table 6. The NSE, SE, NRMSE and r criteria values for calibration and validation of the QUAL2Kw model

Parameter	Calibration				Validation			
	r	NSE	NRMSE	SE	r	NSE	NRMSE	SE
DO	0.98	0.30	0.11	0.02	0.95	.65	0.07	0.01
BOD	0.99	0.97	0.02	0.02	0.97	0.85	0.16	0.09
COD	0.99	0.93	0.15	0.12	0.99	0.77	0.67	0.55

شکل (۵) روند تغییرات پارامترهای COD، BOD و DO را در طول رودخانه عباس‌آباد نشان می‌دهد. در انتهای رودخانه (کیلومتر چهار تا هفت) به دلیل تخلیه پساب‌های کشاورزی، فاضلاب‌های شهری، برداشت آب از رودخانه و کاهش دبی، مقادیر BOD و COD بیش‌تر از استاندارد کلاس B₁ و مقدار اکسیژن محلول کم‌تر از استاندارد کلاس B₁ می‌باشند. به عبارت دیگر، تغییرات BOD و COD در طول رودخانه مشابه DO هستند، اما برعکس. بنابراین می‌توان گفت رودخانه از کیفیتی نامطلوب برخوردار است.

در سناریوی دوم، پس از شناسایی شش منبع نقطه‌ای مهم آلوده‌کننده، تصفیه‌خانه‌هایی با ظرفیت ۲۰ تا ۸۵ درصد تصفیه و اعمال شرط کاهش مقادیر BOD و COD در سطح کلاس استاندارد B₁ در نظر گرفته شد. پس از اجرای مدل، نتایج با سناریوی مرجع مقایسه گردید (شکل ۶). در جدول (۷) نتایج نشان داد مقادیر BOD و COD به ترتیب ۳۹/۴۴ و ۱۰۱/۶۴ میلی‌گرم بر لیتر نسبت به سناریوی مرجع کاهش یافته‌اند و به دنبال آن مقدار DO، ۳/۵۶ میلی‌گرم بر لیتر افزایش یافته است. با توجه به این‌که در این سناریو مقادیر پارامترهای BOD و COD به حد مجاز استاندارد کلاس B₁ رسیده‌اند، اما مقدار DO در قسمت انتهایی رودخانه (کیلومتر شش تا هفت) پایین‌تر از استاندارد کلاس B₁ می‌باشد. پارامترهای BOD و COD، ۲۲ و ۲۷ درصد و DO، ۴/۰۵ درصد نسبت به سناریوی مرجع تغییر یافته‌اند. بنابراین تغییرات مقادیر پارامترهای ذکر شده فوق نشان‌دهنده بهبود وضعیت کیفی رودخانه می‌باشد. در پژوهش Mehraşbi *et al.* (2015) با احداث تصفیه‌خانه‌ها در برخی از سناریوهای اصلاحی در رودخانه کینه‌ورس، به نتایج قابل‌قبولی درخصوص کاهش غلظت BOD دست یافتند. در Rafiee *et al.* (2019) با بررسی احداث تصفیه‌خانه‌ها در برخی از سناریوهای اصلاحی در رودخانه دز، به نتایج قابل‌قبولی درخصوص کاهش مقدار BOD دست یافتند که نتایج آن‌ها با نتایج سناریوی دوم این پژوهش هم‌خوانی دارد.

سناریوی سوم، تصفیه‌خانه‌هایی با ظرفیت یک تا ۱۰ درصد به‌منظور تصفیه شش منبع نقطه‌ای مهم آلوده‌کننده و شرط افزایش مقدار اکسیژن محلول در سطح کلاس استاندارد B₁ موردبررسی قرار گرفت. نتایج اجرای این سناریو نشان داد، مقادیر پارامترهای BOD و COD به ترتیب ۶۹/۴۳ و ۱۷۳/۸۶ میلی‌گرم بر لیتر کاهش و مقدار DO، ۵/۹۶ میلی‌گرم بر لیتر افزایش یافته‌اند. همچنین پارامترهای BOD و COD، ۳۹ و ۴۷ درصد و DO با ۶/۷۹ درصد نسبت به سناریوی مرجع تغییر داشته‌اند که در جدول (۷) آورده شده‌اند. بنابراین تغییرات چشم‌گیر مقادیر پارامترهای کیفی نسبت به سناریوهای دیگر نشان‌دهنده کیفیت خوب رودخانه می‌باشد.

جدول (۸) وزن بار آلودگی‌های ورودی منابع نقطه‌ای به رودخانه (P₁, P₂, P₃, P₄, P₅ و P₆) و درصد تغییرات آن‌ها را نشان می‌دهد. در سناریوی مرجع بیش‌ترین بار آلودگی‌های ورودی BOD و COD روزانه به رودخانه و همچنین بیش‌ترین مقدار تصفیه بار آلودگی‌های مذکور در سناریوهای دوم و سوم با دو شرط بیان‌شده مربوط به آلاینده نقطه‌ای P₅ می‌باشد. طبق سناریوی مرجع، وزن بار کل آلودگی BOD و COD ورودی به رودخانه ۷۵/۱۱ و ۲۲۴/۷۵ کیلوگرم در روز می‌باشند. با اعمال سناریوهای دوم وزن کل بار BOD و COD ورودی به رودخانه با مقادیر ۳۰/۶۸ و ۹۱/۳۰ کیلوگرم بر روز نسبت به سناریوی مرجع کاهش یافته‌اند. در سناریوی سوم نیز وزن کل بار BOD و COD ورودی به رودخانه با مقادیر ۳/۸۲ و ۱۱/۶۲ کیلوگرم بر روز نسبت به سناریوی مرجع کاهش چشم‌گیری داشته‌اند. به‌طور کلی، در سناریوی

سوم تصفیه‌خانه‌ها مقدار آلودگی‌های بیش‌تری نسبت به سایر سناریوها تصفیه کرده‌اند در نتیجه عملکرد اجرای سناریوی سوم نسبت به سایر سناریوها بهتر بوده و به‌دنبال آن کیفیت رودخانه نیز بهبود یافته است.

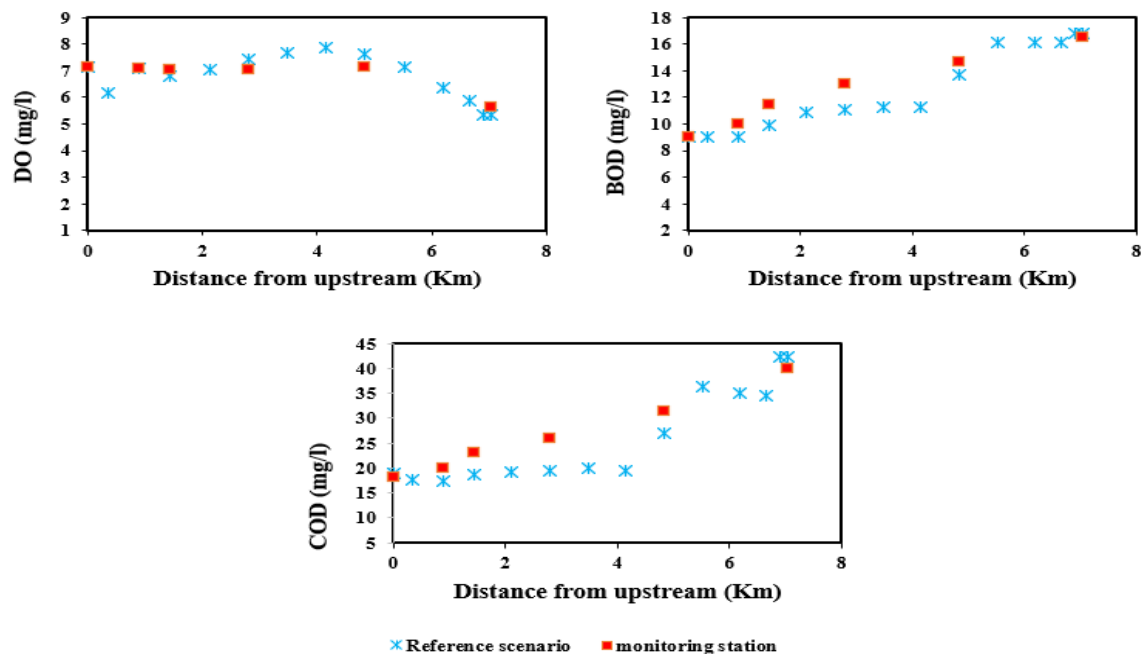


Figure 5. Model calibration results for august 2021 based on existing conditions (scenario 1)

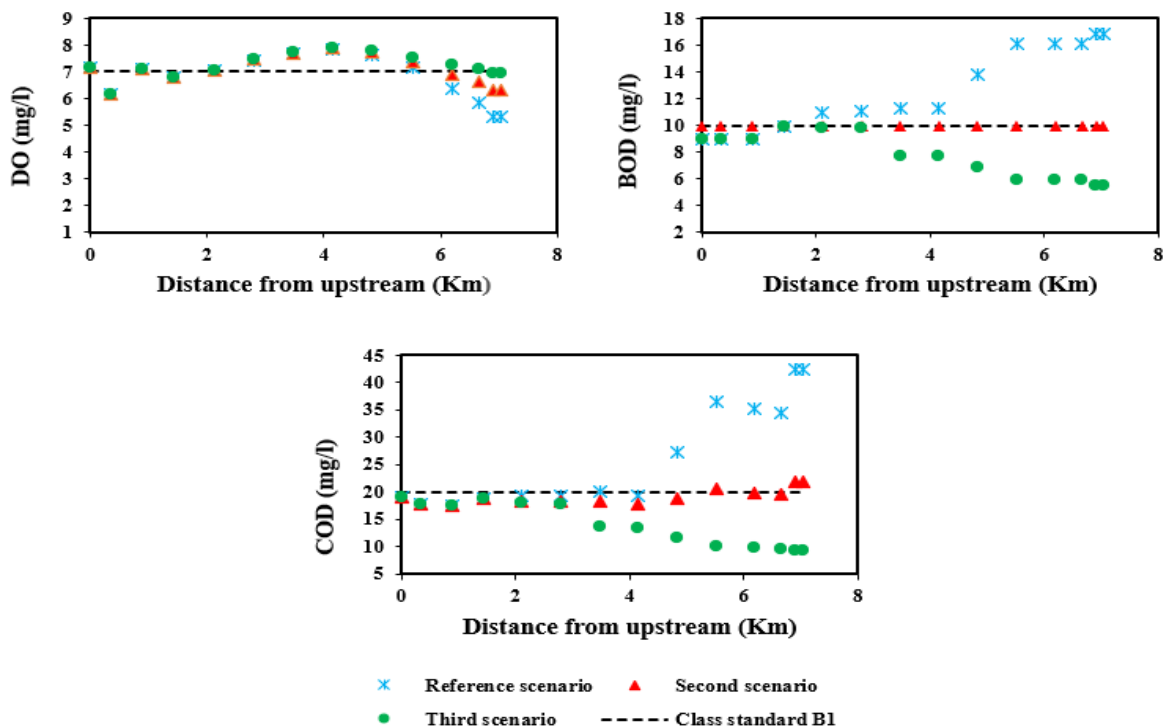


Figure 6. Comparing the results of the scenarios

Table 7. Values of qualitative parameters by applying different scenarios and their percentage changes

Different scenarios	Qualitative parameters and percentage of changes								
	BOD (mg/lit)	Amount of changes BOD (mg/lit)	BOD changes (%)	COD (mg/lit)	Amount of changes COD (mg/lit)	COD changes (%)	DO (mg/lit)	Amount of changes DO (mg/lit)	DO changes (%)
Reference	177	-	-	368.63	-	-	87.70	-	-
Second	137.56	39.44	22	266.99	101.64	27	91.26	3.56	4.05
Third	107.57	69.43	39	194.77	173.86	47	93.66	5.96	6.79

Table 8. The weight of the total load of pollution entering the abbas-abad river based on the different scenarios and their percentage changes

Sources of point pollution	BOD (kg/day)			COD (kg/day)		
	Different scenarios					
	Reference	Second	Third	Reference	Second	Third
P ₁	11.01	2.20	0.16	12.57	2.51	0.018
P ₂	1.55	0.53	0.04	3.10	1.08	0.09
P ₃	10.36	8.65	1.03	21.6	18.36	2.16
P ₄	17.23	6.37	0.85	48.08	17.78	2.40
P ₅	23.85	8.82	1.19	76.55	28.32	3.82
P ₆	11.11	4.11	0.55	62.85	23.25	3.14
Total weight (Kg/day)	75.11	30.68	3.82	224.75	91.30	11.62
Percentage of changes (%)	-	59.15	94.91	-	59.37	94.82

۴. نتیجه‌گیری

هدف از پژوهش حاضر، ضمن بررسی روند کیفی رودخانه عباس‌آباد، تعیین منابع نقطه‌ای مهم آلوده‌کننده و بررسی تأثیر احداث تصفیه‌خانه‌ها با دو شرط کاهش BOD و COD و افزایش DO در طول مسیر رودخانه می‌باشد. برای شبیه‌سازی این رودخانه از مدل QUAL2Kw استفاده شد و نتایج واسنجی و صحت‌سنجی، نشانگر دقت مدل می‌باشد.

نتایج به‌دست‌آمده در سناریوی اول نشان داد که تقریباً در قسمت انتهایی رودخانه به دلیل ورود پساب‌های کشاورزی و فاضلاب‌های شهری، برداشت آب از رودخانه و در نتیجه آن کاهش دبی، با افزایش مقادیر BOD و COD در حد مجاز استاندارد کلاس B₁، مقدار DO کاهش یافته است و این نشان‌دهنده آلوده‌بودن رودخانه و کیفیت نامطلوب آن می‌باشد. همچنین شش منبع نقطه‌ای مهم آلوده‌کننده نیز مشخص شدند. پس از شناسایی نقاط آلوده‌کننده تصفیه‌خانه‌هایی با ظرفیت مشخص و اعمال دو شرط فوق‌الذکر، سناریوهای دوم و سوم انجام شد. در سناریو دوم با کاهش مقادیر BOD و COD در سطح استاندارد کلاس B₁، مقدار DO (به‌جز کیلومتر شش تا هفت) افزایشی بیش از سطح استاندارد کلاس B₁ داشته است و نتایج سناریو سوم نشان داد که با افزایش مقدار DO در سطح استاندارد کلاس B₁، مقادیر BOD و COD در سطح استاندارد کلاس B₁ روند کاهشی چشم‌گیر داشته‌اند. در نتیجه با اعمال تصفیه‌خانه‌ها سناریوی سوم نسبت به سایر سناریوها مقدار آلودگی بیش‌تری را تصفیه کرده‌اند و با کاهش مقادیر آلودگی‌های ورودی به رودخانه، بالطبع مقدار DO افزایش چشم‌گیری داشته است. در نتیجه سناریوی سوم عملکرد بهتری نسبت به دیگر سناریوها در بهبود وضعیت کیفی رودخانه عباس‌آباد دارد. با توجه به نتایج مشخص شد که راه‌کار احداث تصفیه‌خانه‌ها در منابع نقطه‌ای آلوده‌کننده، تأثیر معنی‌داری بر روند کیفی و کاهش مقدار آلودگی ورودی به رودخانه کوهستانی عباس‌آباد دارد.

۵. پی‌نوشت‌ها

1. Dissolved Oxygen (DO)
2. Biological Oxygen Demand (BOD)
3. Chemical Oxygen Demand (COD)
4. United States Environmental Protection Agency (USPA)
5. Water Quality Index (WQI)
6. Correlation Coefficients (r)
7. Normalized Root Mean Square Error (NRMSE)
8. Nash–Sutcliffe Efficiency Coefficient (NSE)
9. Standard Error (SE)

۶. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۷. منابع

- Abdeveis, S., Sedghi, H., Hassonizadeh, H., & Babazadeh, H. (2020). Application of water quality index and water quality model QUAL2K for evaluation of pollutants in Dez River, Iran. *Journal of Water Resources*, 47, 892-903.
- Babamiri, O., & Marofi, S. (2021b). A multi-objective simulation–optimization approach for water resource planning of reservoir–river systems based on a coupled quantity–quality model. *Environmental Earth Sciences*, 80(11), 389.
- Babamiri, O., Venae, A., Guo, X., Wu, P., Richter, A., & Ng, K. T. W. (2021a). Numerical Simulation of Water Quality and Self-Purification in a Mountainous River Using QUAL2KW. *Journal of Environmental Informatics*, 37(1).
- Biglari, M. R., Sima, S., & Saadat pour, M. (2019). Modeling and management of the river water quality for aquatic life using a source control approach (case study: The Zarrineh River). *Iran-Water Resources Research*, 14(5), 57-70. (In Persian).
- Chapra, S. C., Pelletier, G. J., & Tao, H. (2008). QUAL2K: A modeling framework for simulating river and stream water quality, version 2.11: *Documentation and user's manual*. Civil and Environmental Engineering Department, Tufts University, Medford, MA, 109.
- Chapra, S. C., Pelletier, G. J., & Tao, H. (2006). QUAL2K: A modeling framework for simulating river and stream water quality, version 2.04: *Documentation and user's manual*. Civil and Environmental Engineering Department, Tufts University, Medford, MA.
- Chapra, S. C., & Pelletier, G. J. (2003). QUAL2K, A modeling framework for simulating river and stream water quality (beta version): *Documentation and user's manual*. Civil and Environmental Engineering Department, Medford, Tufts University.
- Environmental Protection Organization, environmental rules and standards (in the field of human environment), publications of Environmental Protection Organization. (2017).
- Emami Ghara, F., Fazloulou, R., & Khoshravesh, M. (2023). Investigating trends of qualitative changes of Neka River using the QUAL2Kw in the downstream of Gelevar Dam. *Irrigation and Water Engineering*, 14(1), 266-283.
- Farkhani, Sh. (2018). Qualitative modeling of Haraz River using QUAL2K model. In: *Proc. of Conference on Civil engineering, Architecture and Urbanism of the Islamic Countries*, 16-17 May, Tabriz, Iran. (In Persian).
- Herbay, J. P., Smeers, Y., & Tyteca, D. (1983). Water quality management with time varying river flow and discharger control. *Water Resources Research*, 19(6), 1481-1487.
- Kamal, N. A., Muhammad, N. S., & Abdullah, J. (2020). Scenario - based pollution discharge simulations and mapping using integrated QUAL2K-GIS. *Environmental Pollution*, 259, 113909.
- Karamouz, M., & Karachian, R. (2013). *Planning and quality management of water resources systems*. Amir Kabir University of Technology Publications, Iran, 35-40.

- Lakshmi, E., & Madhu, G. (2020). Evaluation and modeling of dissolved oxygen and re - aeration rate in river Periyar, south India. *Indian Journal of Scientific Research* 10(2), 1-15.
- Mehrasbi, M.R., & Farahmand Kia, Z. (2015). Water Quality Modeling and Evaluation of Nutrient Control Strategies Using QUAL2K in the Small Rivers. *Journal of Human Environment and Health Promotion*, 1(1), 1-11.
- Pasha Zadeh Laleh, Z., Jafari, H., & Vaezihir, A. (2021). Qualitative assessment of the Aji-Chay River (Tabriz plain) based on the specific use's quality indices. *Irrigation and Water Engineering*, 11(4), 344-367. (In Persian).
- Pelletier, G., & Chapra, S. (2008). QUAL2Kw theory and documentation. A modeling framework for simulating river and stream water quality. *Environmental Assessment Program Olympia*, Washington, 98504-7710.
- Rafiee, N., & Azari, A. (2020). Evaluating the Effects of Constructing Urban and Agricultural Wastewater Treatment Plants on Improvement of Quality and Contamination Trends of Dez River. *Journal of Civil and Environmental Engineering*, 50(98), 33-41. (In Persian).
- Rafiee, M., Akhond Ali, A. M., Moazed, H., Jaafarzadeh, N., & Zahraie, B. (2013). A Case Study of Water Quality Modeling of the Gargar River, Iran. *Journal of Hydraulic Structures*, 1(2), 10-22.
- Ranjbar, M. (2006). Management of natural heritage and environmental hazards of river basins in order to strengthen its touristic and ecotourism potential (case study of Abbas Abad River basin in Hamadan). *Geographical quarterly of the land, Scientific - Research*, 3(10). (In Persian).