بررسی احداث تصفیه‌خانه‌ها بر کیفیت و آلودگی رودخانه کوهستانی عباس‌آباد

عاطفه نورعلیئی[۱]، صفر معروفی[1*۲]، امید بابامیری[۳]

۱. دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران. رایانامه: atefenoorali@ymail.com

*۲.نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران. رایانامه:marofisafar59@gmail.com

۳. پسادکترا، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: babamiri@tabrizu.ac.ir

چکیده

هدف این تحقیق، بررسی وضعیت کیفی رودخانه کوهستانی عباس‌آباد همدان و ارزیابی تاثیر اجرای تصفیه‌خانه فاضلاب شهری و پساب‌های کشاورزی بر روند آلودگی آن است. در این راستا، سه سناریو شامل، شرایط موجود (سناریو مرجع)، احداث تصفیه‌خانه با کاهش مقدار اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی[۲] و شیمیایی[۳] (BOD و COD) در سطح کلاس B_1 مطابق با استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست (سناریو دوم) و احداث تصفیه‌خانه با افزایش مقدار اکسیژن محلول[۱] (DO) در سطح کلاس B_1 (سناریو سوم) بررسی شده و مورد مقایسه قرار گرفتند. بدین منظور ابتدا شبیه‌سازی رودخانه با استفاده از مدل QUAL2Kw صورت پذیرفت و طی سناریو اول با در نظرگرفتن شرایط واقعی تخلیه آلاینده‌ها برای بازه زمانی اردیبهشت و مردادماه ۱۴۰۰ مورد واسنجی و صحت‌سنجی قرار گرفت. سپس با شناسایی شش منبع مهم نقطه‌ای آلوده‌کننده رودخانه، سناریوهای دوم و سوم اجرا شد. نتایج سناریو 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 B_1، مقدار DO در سناریو سوم نسبت به سایر سناریوها افزایش چشم‌گیری خواهد داشت. بنابراین براساس این نتایج عملکرد سناریو سوم نسبت به دیگر سناریوها بهتر بوده و احداث تصفیه‌خانه‌های پیشنهادی تاثیر 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.

کلمات کلیدی: اکسیژن محلول، BOD، COD و Qual2kw

[2]* marofisafar59@gmail.com

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 به منظور 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 زرینه‌رود، برای رسیدن به استانداردهای کیفیت آب به منظور حفظ بقایای 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 به منظور شبیه‌سازی کیفیت آب رودخانه Skudai مالزی تحت سه سناریوی تخلیه آلاینده‌ها به این رودخانه با استفاده از مدل QUAL2Kw انجام گرفت. بر اساس نتایج بدست آمده کیفیت آب رودخانه در اغلب ایستگاه‌ها، بر مبنای شاخص کیفیت آب[۵] (WQI)، در گروه سه (نسبتا آلوده و آلوده) قرار گرفت که نشان‌دهنده کیفیت پایین رودخانه می‌باشد (Kamal et al., 2020).

در 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، NH_4، NO_3 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 دنیتریفیکاسیون بر کیفیت آب موثر بوده‌اند. مطالعه‌ای به منظور 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 به خوبی پارامترهای کیفی را شبیه‌سازی کند (Lakashmi et al., 2020).

تحقیقی به منظور 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، NO_3 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 قابل قبولی 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 موثر هستند (Rafiee et al., 2013). به طور کلی، می‌توان گفت مدل QUAL2Kw پارامترهای کیفی را به خوبی شبیه‌سازی می‌کند و اجرای تصفیه‌خانه‌ها در طول مسیر رودخانه به منظور بهبود کیفیت آب آن می‌تواند موثر باشد.

رودخانه عباس‌آباد در استان همدان، به عنوان یک رودخانه دائمی و نسبتا پرآب، نقش اساسی در بخش‌های مختلف از جمله کشاورزی، زیست‌محیطی، اجتماعی و تفریحی دارد. با این حال، تخلیه پساب‌های ناشی از فعالیت‌های کشاورزی، خانگی و رستوران‌ها در مسیر رودخانه می‌تواند موجب کاهش کیفیت رودخانه مذکور گردد. با توجه به پیشینه تحقیق ، تاکنون ارزیابی احداث تصفیه‌خانه‌ها با دو شرط کاهش BOD و COD و افزایش DO به منظور بهبود کیفیت رودخانه کوهستانی عباس‌آباد انجام نشده است که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته و نوآوری تحقیق حاضر می‌باشد. بنابراین، هدف این تحقیق، شبیه‌سازی پارامترهای کیفی رودخانه مذکور با استفاده از مدل QUAL2Kw، شناسایی منابع نقطه‌ای مهم آلوده کننده 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 جنوب غربی شهر همدان قرار گرفته و از جهت جنوب به شمال جاری می‌گردد. طول و وسعت حوضه آبریز آن به ترتیب برابر با ۱۸ کیلومتر و حدود ٤٠ کیلومتر مربع می‌باشد. این حوضه در فاصلهٔ بین عرض جغرافیایی ´٤٦ °٣٤ تا ´٤٨ °٣٤ و طول جغرافیایی ´٢٧ °٤٨ تا ´٢٩ °٤٨ واقع شده است. ارتفاع متوسط حوضه از سطح دریا حدود ٢٦٠٠ متر، میانگین دما و بارش سالانه به ترتیب 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.

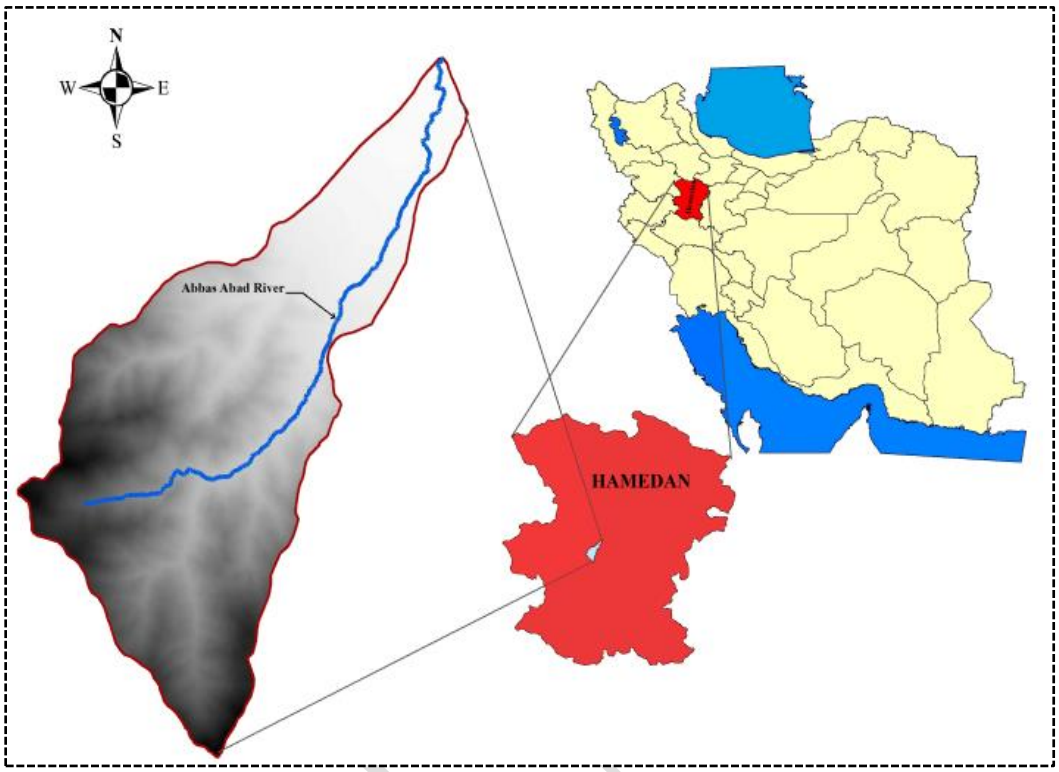

Figure 1. The sit location of the abbas abad river

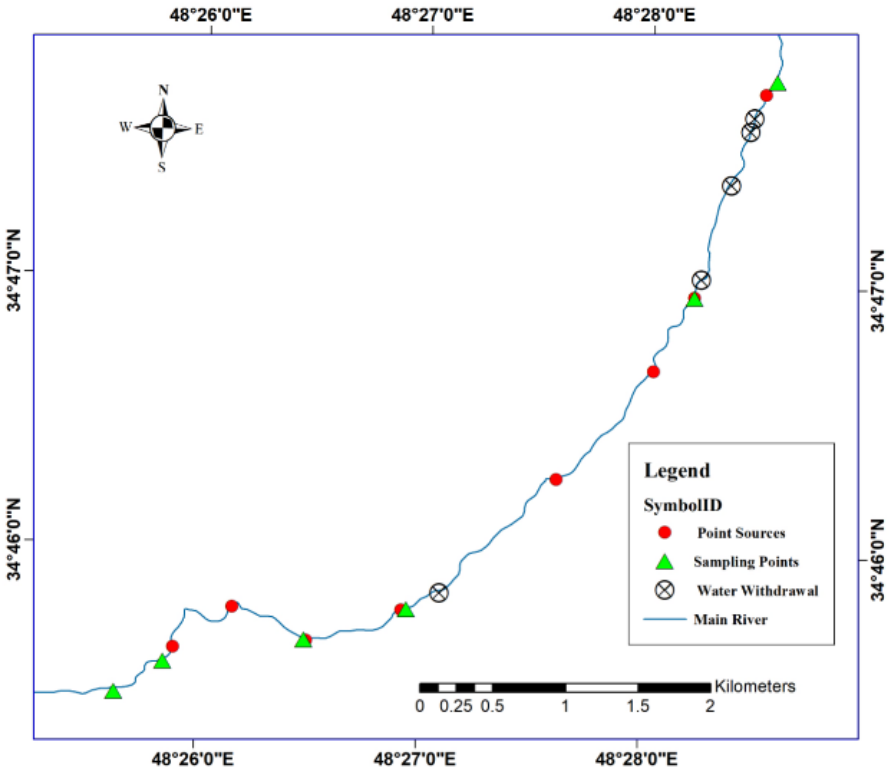

Figure 2. Location of the pollutants point sources, water withdrawal, and sampling points

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 تایید سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا[۴] (USEPA) است و به طور گسترده‌ای جهت شبیه‌سازی کیفیت آب رودخانه‌ها مورد استفاده قرار گرفته است (Kannel et al., 2007). این مدل، رودخانه را به صورت یک بعدی در راستای طولی آن، همراه با جریان دائمی غیریکنواخت شبیه‌سازی می‌کند و می‌تواند اثر بارگذاری را به صورت نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای در نظر بگیرد. در این مدل، به منظور تعیین غلظت پارامترهای کیفی، از روش تفاضل محدود برای حل عددی معادله جابجایی - پخش استفاده می‌شود (Chapra et al., 2006). مدل QUAL2Kw در مقایسه با سایر مدل‌های شبیه‌ساز مانند QUAL2 - CE، WEAP و غیره قادر است بیش از پانزده پارامتر کیفی آب از جمله اکسیژن محلول، نیاز اکسیژن خواهی شیمیایی، دما، نیتروژن نیتراتی، نیتروژن آمونیاکی وغیره 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):

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

که 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 جابجایی - پخش یک‌بعدی است که برای تمامی متغیرها به غیر از جلبک کف، با استفاده از رابطه ۲ محاسبه می‌شود.

$$\frac{dc_i}{dt} = \frac{Q_{i-1}}{V_i}c_{i-1} - \frac{Q_i}{V_i}c_i - \frac{Q_{ab,i}}{V_i}c_i + \frac{E'_{i-1}}{V_i}(c_{i-1} - c_i) + \frac{E'_i}{V_i}(c_{i+1} - c_i) + \frac{W_i}{V_i} + S_i + \frac{E'_{hyp,i}}{V_i}(c_{2,i} - c_i) \qquad (۲)$$

W_i بار آلاینده ورودی به شاخه (g/day) ، S_i منابع ورود و خروج آلاینده ($g/m^3/day$) ، C_i غلظت جزء کیفی در آب رودخانه، C_{2i} غلظت جزء کیفی در منطقه رسوب، V_i حجم آب (m^3) و $E`$ ضریب پخشیدگی حجمی بین i و i+1، (m^3/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.

۲-۳- هیدرولیک و بازه‌بندی رودخانه

در مدل Qual2kw، مدل‌سازی جریان بر اساس 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.

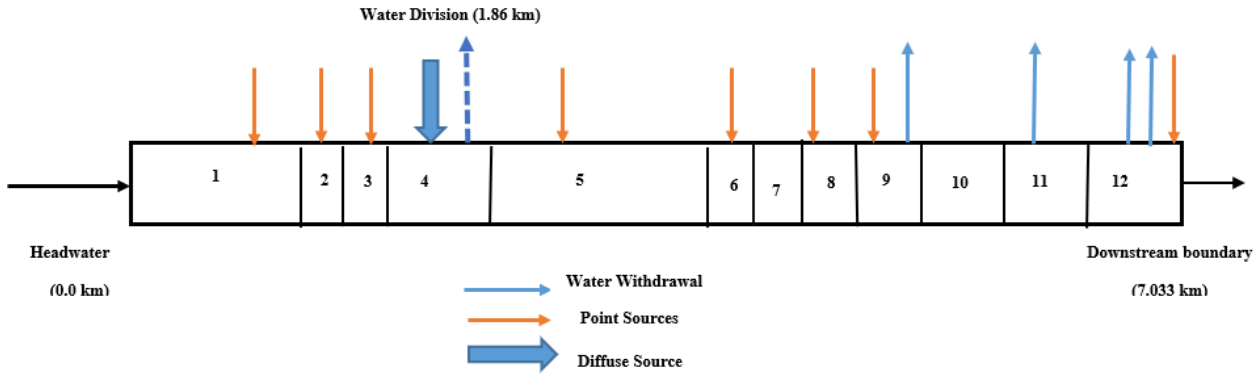

Figure 3. The proposed longitudinal interval to model simulation

در هر بازه مشخصات هندسی از قبیل شیب دیواره‌ها، شیب طولی رودخانه، رقوم ارتفاعی کف، عرض کف و غیره در محیط نرم افزار 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.

۲-٤- 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 ۱٤۰۱- ۱٤۰۰ 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

۲-۵- 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 ۱٤۰۰ 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، ۱٤۰۱)، 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

DO (mg/lit)	COD (mg/lit)	BOD (mg/lit)	T (°C)	Q (m^3/s)	Distance (Km)	Latitude	Longitude	Point sources	
7.15	18.2	9.0	15.7	0.06	7.03	34°46'00"	48°26'00"	S_1	Monitoring station
7.10	19.9	10.0	15.9	0.06	6.14	34°46'02"	48°26'20"	S_2	
7.05	23.0	11.5	16.0	0.11	5.25	34°46'09"	48°26'53"	S_3	
7.03	26.0	13.0	15.6	0.03	4.23	34°46'15"	48°27'12"	S_4	
7.13	31.4	14.6	14.0	0.03	1.86	34°47'57"	48°28'00"	S_5	
5.65	39.9	16.5	14.0	0.03	0	34°47'46"	48°28'34"	S_6	
5.90	21.0	11.0	14.3	0.05	5.60	34°46'05"	48°26'47"	E_2	Agricultural wastewater
5.10	89.9	44.0	15.6	0.04	4.38	34°46'13"	48°27'00"	E_4	
7.10	25	12.0	14.2	0.01	3.55	34°46'38"	48°27'43"	E_5	
5.18	79.5	28.5	19.3	0.07	2.50	34°46'47"	48°27'31"	E_6	
5.18	88.6	27.6	19.4	0.01	1.86	34°47'57"	48°28'00"	E_7	
6.98	145.5	25.7	19.9	0.05	0.20	34°47'44"	48°28'40"	E_8	
7.20	20.5	10.0	13.8	0.02	6.08	34°46'03"	48°26'34"	W_1	Municipal sewage
5.16	97.0	85.0	15.3	0.01	5.20	34°46'10"	48°26'57"	W_3	

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

Water withdrawal (m^3/s)	Distance (Km)	Latitude	Longitude	Monitoring station
0.40	4.23	34°46'15"	48°27'12"	A_1
0.02	1.50	34°47'09"	48°28'10"	A_2
0.02	0.84	34°47'25"	48°28'18"	A_3
0.07	0.38	34°47'30"	48°28'25"	A_4
0.40	0.34	34°47'34"	48°28'27"	A_5

۲-٦- 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 تحقیق، واسنجی برای اردیبهشت‌ماه ۱٤۰۰ 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 ۱٤۰۰ اجرا و صحت آن مورد بررسی قرار گرفت. سپس، مقدار خطا برای شبیه‌سازی با چهار پارامتر ضریب همبستگی[٦] (r)، مجذور میانگین مربعات خطا نرمال شده[۷] (NRMSE)، خطای نش و ساتکلیف[۸] (NSE) و خطای استاندارد[۹] (SE) محاسبه شد که روابط مربوطه به ترتیب در روابط ۳، ٤، ٥ و ٦ 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.

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

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(Y_m - \bar{Y}_p)^2}}{X_{max} - X_{min}} \quad (٤)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(Y_m - Y_p)^2}{\sum_{i=1}^{n}(Y_m - \bar{Y}_m)^2} \quad (٥)$$

$$SE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(Y_m - Y_p)^2}}{\bar{Y}_m} \quad (٦)$$

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

۲-۷- سناریوی شبیه‌سازی و مکان‌یابی تصفیه‌خانه‌ها

شبیه‌سازی کیفیت رودخانه در شرایط موجود و تخلیه آلاینده‌ها، به عنوان 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 تاثیر 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 به منظور 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 ٤ 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 ٤ 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.

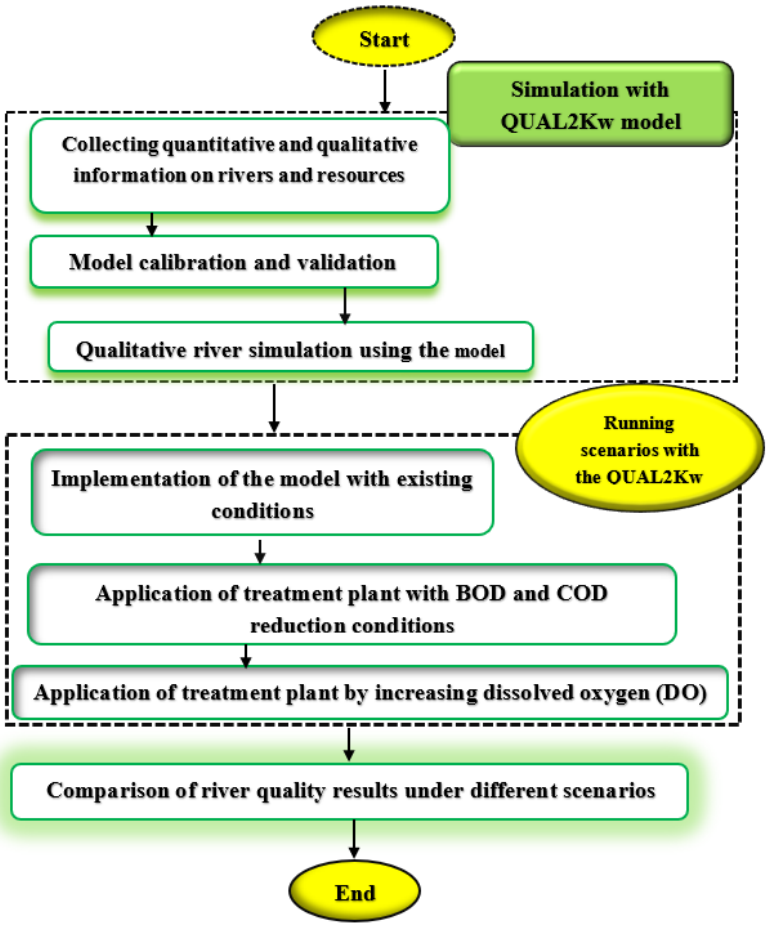

Figure 4. Flowchart of simulator model execution under different scenarios

۳- نتایج و بحث

پس از اجرای مدل و شبیه‌سازی کیفی رودخانه عباس‌آباد، مدل برای اردیبهشت‌ماه سال ۱۴۰۰ مورد واسنجی قرار گرفت و ضرایب مورد نظر به دست آمدند که در جدول ۵ آورده شده‌اند. به منظور اطمینان از صحت شبیه‌سازی، بدون تغییر در ضرایب مدل، صحت‌سنجی و ارزیابی برای مردادماه سال ۱۴۰۰ انجام شد. جدول ٦ 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
Ammonium	Nitrification	0	1/day	0	10
	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 B_1 و مقدار اکسیژن محلول کمتر از استاندارد کلاس B_1 می‌باشند. 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 آلوده کننده، تصفیه‌خانه‌هایی با ظرفیت ۲۰ تا ۸۵ درصد تصفیه و اعمال شرط کاهش مقادیر BOD و COD در سطح کلاس استاندارد B_1 در نظر گرفته شد. پس از اجرای مدل، نتایج با سناریوی مرجع مقایسه گردید (شکل ٦). در جدول ۷ نتایج نشان داد مقادیر BOD و COD به ترتیب ۳۹/٤٤ و ۱۰۱/٦٤ میلی‌گرم بر لیتر نسبت به سناریو مرجع کاهش یافته‌اند و به دنبال آن مقدار DO، ۳/٥٦ میلی‌گرم بر لیتر افزایش یافته است. با توجه به اینکه در این سناریو مقادیر پارامترهای BOD و COD به حد مجاز استاندارد کلاس B_1 رسیده‌اند اما مقدار DO در قسمت انتهایی رودخانه (کیلومتر شش تا هفت) پایین تر از استاندارد کلاس B_1 می‌باشد. پارامترهای BOD و COD، ۲۲ و ۲۷ درصد و DO، ٤/۰٥ درصد نسبت به سناریو مرجع تغییر یافته‌اند. بنابراین تغییرات مقادیر پارامترهای ذکر شده فوق نشان دهنده بهبود وضعیت کیفی رودخانه می‌باشد. در پژوهش Mehrasbi et al. (2015) با احداث تصفیه‌خانه‌ها در برخی از سناریوهای اصلاحی در رودخانه کینه ورس، به نتایج قابل قبولی 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 قابل قبولی درخصوص کاهش مقدار BOD دست یافتند که نتایج آن‌ها با نتایج سناریو دوم این تحقیق هم‌خوانی دارد.

سناریوی سوم، تصفیه‌خانه‌هایی با ظرفیت یک تا ۱۰ درصد به منظور تصفیه شش منبع نقطه‌ای مهم آلوده کننده و شرط افزایش مقدار اکسیژن محلول در سطح کلاس استاندارد B_1 مورد بررسی قرار گرفت. نتایج اجرای این سناریو نشان داد، مقادیر پارامترهای BOD و COD به ترتیب ٦۹/٤۳ و ۱۷۳/۸٦ میلی‌گرم بر لیتر کاهش و مقدار DO، ٥/۹٦ میلی‌گرم بر لیتر افزایش یافته‌اند. همچنین پارامترهای BOD و COD، ۳۹ و ٤۷ درصد و DO با ٦/۷۹ درصد نسبت به سناریو مرجع تغییر داشته‌اند، که در جدول ۷ آورده شده‌اند. بنابراین تغییرات چشم‌گیر مقادیر پارامترهای کیفی نسبت به سناریوهای دیگر نشان دهنده کیفیت خوب رودخانه می‌باشد.

جدول ۸ وزن بار آلودگی‌های ورودی منابع نقطه‌ای به رودخانه (P_1، P_2، P_3، P_4، P_5 و P_6) و درصد تغییرات آن‌ها را نشان می‌دهد. در سناریو مرجع بیشترین بار آلودگی‌های ورودی BOD و COD روزانه به رودخانه و همچنین بیشترین مقدار تصفیه بار آلودگی‌های مذکور در سناریو دوم و سوم با دو شرط بیان شده مربوط به آلاینده نقطه‌ای P_5 می‌باشد. طبق سناریوی مرجع، وزن بار کل آلودگی BOD و COD ورودی به رودخانه ۷٥/۱۱ و ۲۲٤/۷٥ کیلوگرم در روز می‌باشند. با اعمال سناریوهای دوم وزن کل بار BOD و COD ورودی به رودخانه با مقادیر ۳۰/٦۸ و ۹۱/۳۰ کیلوگرم بر روز نسبت به سناریو مرجع کاهش یافته‌اند. در سناریو سوم نیز وزن کل بار BOD و COD ورودی

به رودخانه با مقادیر ۳/۸۲ و ۱۱/۶۲ کیلوگرم بر روز نسبت به سناریو مرجع کاهش چشم‌گیری داشته‌اند. به طور کلی در سناریو سوم تصفیه‌خانه‌ها مقدار آلودگی‌های بیشتری نسبت به سایر سناریوها تصفیه کرده‌اند در نتیجه عملکرد اجرای سناریو سوم نسبت به سایر سناریوها بهتر بوده و به دنبال آن کیفیت رودخانه نیز بهبود یافته است.

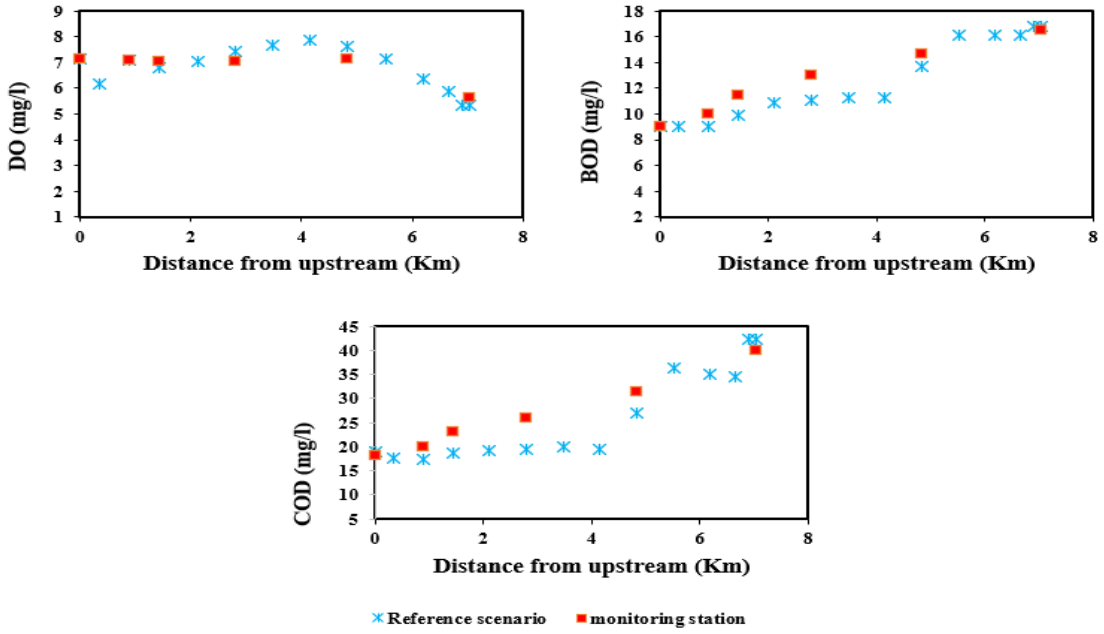

Figure 5. Model calibration results for august 2021 based on existing conditions (scenario 1)

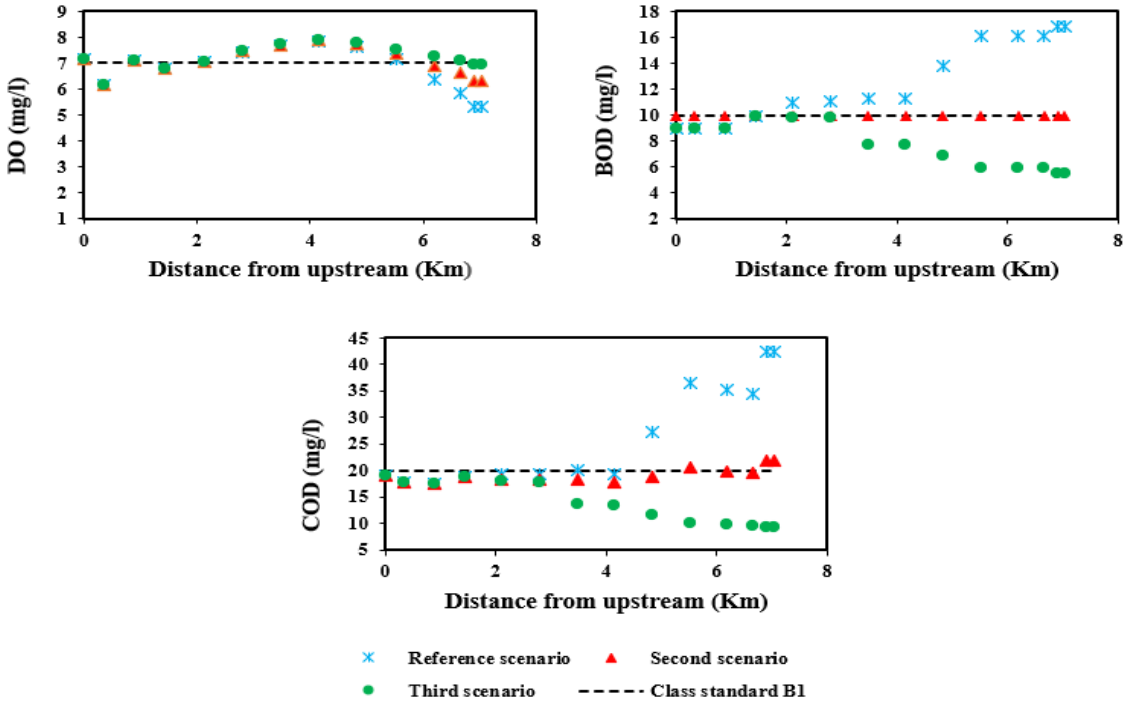

Figure 6. Comparing the results of the scenarios

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

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

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

COD (kg/day)			BOD (kg/day)			Sources of point pollution
Different scenarios						
Third	Second	Reference	Third	Second	Reference	
0.018	2.51	12.57	0.16	2.20	11.01	P_1
0.09	1.08	3.10	0.04	0.53	1.55	P_2
2.16	18.36	21.6	1.03	8.65	10.36	P_3
2.40	17.78	48.08	0.85	6.37	17.23	P_4
3.82	28.32	76.55	1.19	8.82	23.85	P_5
3.14	23.25	62.85	0.55	4.11	11.11	P_6
11.62	91.30	224.75	3.82	30.68	75.11	Total weight (Kg/day)
94.82	59.37	-	94.91	59.15	-	Percentage of changes (%)

٤- نتیجه‌گیری

هدف از تحقیق حاضر، ضمن بررسی روند کیفی رودخانه عباس‌آباد، تعیین منابع نقطه‌ای مهم آلوده کننده و بررسی تاثیر 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 به دست آمده در سناریوی اول نشان داد که تقریبا در قسمت انتهایی رودخانه به دلیل ورود پساب‌های کشاورزی و فاضلاب‌های شهری، برداشت آب از رودخانه و به تبع آن کاهش دبی، با افزایش مقادیر BOD و COD در حد مجاز استاندارد کلاس B_1، مقدار DO کاهش یافته است و این نشان دهنده آلوده بودن رودخانه و کیفیت نامطلوب آن می‌باشد. همچنین شش منبع نقطه‌ای مهم آلوده کننده نیز مشخص شدند. پس از شناسایی نقاط آلوده کننده تصفیه‌خانه‌هایی با ظرفیت مشخص و اعمال دو شرط فوق‌الذکر، سناریو دوم و سوم انجام شد. در سناریو دوم با کاهش مقادیر BOD و COD در سطح استاندارد کلاس B_1، مقدار DO (بجز کیلومتر شش تا هفت) افزایشی بیش از سطح استاندارد کلاس B_1 داشته است و نتایج سناریو سوم نشان داد که با افزایش مقدار DO درسطح کلاس استاندارد B_1، مقادیر BOD و COD در سطح استاندارد کلاس B_1 روند کاهشی چشم‌گیر داشته‌اند. در نتیجه با اعمال تصفیه‌خانه‌ها سناریو سوم نسبت به سایر سناریوها مقدار آلودگی بیشتری را تصفیه کرده‌اند و با کاهش مقادیر آلودگی‌های ورودی به رودخانه، به تبع مقدار DO افزایش چشم‌گیری داشته است. در نتیجه سناریو 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، تاثیر معنی‌داری بر روند کیفی و کاهش مقدار آلودگی ورودی به رودخانه کوهستانی عباس‌آباد دارد.

۵- فهرست علایم (پی نوشت)

اکسیژن محلول	Dissolved Oxygen (DO)
اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی	Biological Oxygen Demand (BOD)
اکسیژن مورد نیاز شیمیایی	Chemical Oxygen Demand (COD)
سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا	United States Environmental Protection Agency (USPA)
شاخص کیفیت آب	Water Quality Index (WQI).
ضریب همبستگی	Correlation Coefficients (r)
مجذور میانگین مربعات خطا نرمال شده	Normalized Root Mean Square Error (NRMSE)
خطای نش و ساتکلیف	Nash – Sutcliffe Efficiency Coefficient (NSE)
خطای استاندارد	Standard Error (SE)

٦- تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافعی بین 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., Fazloula, R., & Khoshravesh, M. (2023). Investigating trends of qualitative changes of Neka River using the QUAL2Kw in the downstream of Gelevard 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).

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

Atefeh Noorali[1], Safar Marofi[*2], Omid Babamiri[3]

1. Doctoral student, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Bu - Ali Sina University, Hamadan, Iran. Email: atefenoorali@ymail.com

2. Corresponding author, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Bu - Ali Sina University, Hamadan, Iran. Email: marofisafar59@gmail.com

3. Postdoctoral, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran. Email: babamiri@tabrizu.ac.ir

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 B_1 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 B_1 (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 B_1, 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.

Keywords: Biochemical and Chemical Oxygen Demand, Dissolved Oxygen and Qual2kw model