



Research Paper

Modeling Effect of Different Pollutant Sources on Water Quality of Atrak River Using QUAL2KW Model

Mohammad Mirnezhad¹ and Ghasem Zolfaghari^{2,*}

¹M.Sc. Alumnus, Department of Environmental Sciences and Engineering, Faculty of Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

²Assoc. Professor, Department of Environmental Sciences and Engineering, Faculty of Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

Article information

Received: September 09, 2023

Revised: November 09, 2023

Accepted: January 23, 2024

Keywords:

Atrak River

Point and Nonpoint Sources

QUAL2KW Model

Water Pollution Modeling

*Corresponding author:

g.zolfaghari@hsu.ac.ir



Abstract

Rivers, where there is a large concentration of human activities, receive a large amount of pollution. The purpose of this study was to monitor and model the water quality of the Atrak River in the geographical area of Bojnurd and to investigate the effect of polluting sources on the river using the QUAL2KW model. After the field visit a study area of 33 km length, with 16 reaches, 11 main sampling stations, 10 sampling stations of point sources, and 2 sampling stations of non-point sources were selected and specified. In this study, four qualitative parameters of temperature, Dissolved Oxygen (DO), Biochemical Oxygen Demand (BOD), and Chemical Oxygen Demand (COD) were measured and simulated in the spring of 2022. Hydraulic geometric data, qualitative data and meteorological data were entered into the QUAL2KW model. The simulation error was calculated using Absolute Mean Error (AME), Mean Absolute Percentage Error (%MAPE), and Root Mean Squared Error (%RMSE). The RMSE for temperature, DO, BOD and COD parameters was determined as 3.68, 4.51, 6.5, and 4.47, respectively. According to the amount of calculated errors, it was found that the QUAL2KW model had a very good accuracy in the qualitative simulation of Atrak River.

How to cite this paper: Mirnezhad, M., & Zolfaghari, G. (2024). Modeling effect of different pollutant sources on water quality of Atrak River using QUAL2KW model. *Environ. Water Eng.*, 10(2), 347-362. <https://doi.org/10.22034/ewe.2024.415209.1889> (In Persian)



© Authors, Published by **Environment and Water Engineering** journal. This is an open-access article distributed under the CC BY (license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Water quality models are accepted as a powerful decision support tool globally. Currently, among the current models of water quality investigation, the QUAL2KW model is widely used to simulate the water quality of rivers. These models are usually developed for specific regions with specific climate and physical characteristics. Therefore, not paying attention to choosing the right model can cause significant errors in water quality simulation. Due to the limitation of usable water resources, maintaining water quality is considered as the first step in water resources management programs. A clear understanding of the quality status of water resources, as well as the correct evaluation and modeling of these resources, should be considered as the most important step in management issues. In the current research, the quality status of Atrak River as one of the most important rivers in the northeast of the country was investigated using the QUAL2KW modeling method, which was used to control the water quality of this river and provide suitable practical solutions for management decisions.

Material and Methods

In this research, about 33 km of the Atrak river length has been selected as the study area. The beginning of the range is before the village of Sisab, and the end of the range is after the entrance of the Baba Aman Bojnurd river to the main river (Atrak river). Petrochemical industry of Khorasan, as one of the most important polluting industries, is located at a distance of 800 meters from the river bank and at a distance of 3 km before the end of the study area. In order to segment or divide Atrak river, several stages of

field visits were carried out in the study area. According to the size of the study area, the said area was divided into 16 reaches. In order to use the QUAL2KW model, first, the river should be divided into smaller longitudinal parts according to the hydraulic and quality conditions. The most important step in river modeling is the correct division of the study area, which is done by the researcher. The data required for simulation includes the geometrical data of the river channel, hydraulic data, qualitative data and meteorological data. Sampling was done in the spring of 2022 in 11 points of the study area. Sampling of point pollutant sources was done before these sources enter the main river.

Results

In this study, four qualitative parameters of temperature, Dissolved Oxygen (DO), Biochemical Oxygen Demand (BOD) and Chemical Oxygen Demand (COD) were investigated and simulated in 11 sampling points from 16 river basins, 10 sampling points from point sources and 2 extensive sources (Table 1). The lowest amount of dissolved oxygen with a concentration of 12.6 mg/l is related to station number 4 in the reach 4 and the highest amount of dissolved oxygen with a concentration of 9 mg/l is related to station number 8 in reach 8. According to the calculation of the absolute mean error of 0.23, the root mean square error percentage of 4.51 and the mean absolute percentage error of 1.57, the high accuracy of the model in simulating dissolved oxygen is confirmed.

In the field visit of the study area, point sources were examined and sampled, and the results of the analysis of qualitative parameters and other required information are recorded in Table 2.

Table 1 Geographical location of sampling points and water quality parameters* in study stations of Atrak River

Reach no.	Sampling points	Geographical location		COD (mg/l)	BOD (mg/l)	DO (mg/l)	Temperature (°C)
		Latitude	Longitude				
1	1	37° 26' 47.18"N	57° 40' 12.53"E	18	8.76	6.2	17
2	2	37° 27' 25.24"N	57° 39' 27.44"E	20	11.68	6.51	15.4
3	3	37° 27' 18.74"N	57° 38' 24.87"E	20	10.22	7.11	15.5
4	4	37° 27' 16.06"N	57° 36' 56.35"E	18	7.3	6.12	15
5	5	37° 28' 8.62"N	57° 36' 6.02"E	16	7.3	7.11	14
6	6	37° 28' 44.82"N	57° 35' 5.64"E	16	5.84	8.18	14.2
8	7	37° 28' 48.77"N	57° 32' 24.19"E	15	4.38	9	13.8
9	8	37° 29' 59.21"N	57° 32' 9.75"E	14	4.38	8.91	14
10	9	37° 30' 31.95"N	57° 30' 19.11"E	17	5.84	8.52	13.2
13	10	37° 31' 28.07"N	57° 29' 30.59"E	14	4.38	8.55	14.12
16	11	37° 31' 56.14"N	57° 28' 50.64"E	20	10.22	7.13	15.7

*Chemical Oxygen Demand (COD), Biochemical Oxygen Demand (BOD), Dissolved Oxygen (DO)

Table 2 Analysis results of qualitative and hydraulic parameters of input and output point sources

Distance from downstream of the river (km)	River discharge (m ³ /s)	Wastewater discharge (m ³ /s)	Inlet wastewater temperature (°C)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	DO (mg/l)
33.07	-	0.0250	-	-	-	-
33.01	-	0.0250	-	-	-	-
30.70	0.0180	-	26.20	53	55	3.00
30.53	0.0130	-	21.45	50	65	2.00
30.31	-	0.0330	-	-	-	-
30.64	-	0.0250	-	-	-	-
30.79	-	0.0250	-	-	-	-
20.66	-	0.0350	-	-	-	-
3.04	0.0112	-	21.70	42	66	4.86
0.841	0.4100	-	18.00	15	23	5.63

The highest BOD concentration of 10.22 mg/l was related to station 11 in the 16th reach and the lowest value was 4.38 mg/l in the 10th station of the 13th reach. According to the output information of the model, the absolute mean error was 0.28, the root mean square error percentage was 6.50, and the mean absolute percentage error was 1.77 for the biochemical oxygen demand factor. The highest value of river water COD in the study area is 20 mg/l in stations number 2, 3 and 11, respectively, in reaches 2, 3 and 16, and the lowest value of this parameter is 14 mg/l in station number 8 in reach 9 and station number 9 was in the 13th reach. The increase in COD concentration in the 2nd and 3rd reachess is due to the river passing through the residential area of Sisab village and affected by the uses of this area . According to the observational data and the data calculated in the model, the absolute mean error is 0.461, the root mean square error percentage is 3.68, and the mean absolute percentage error is 1.61. Therefore, the model had a very good accuracy in temperature simulation.

Conclusions

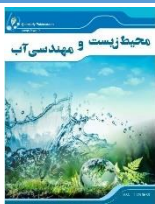
The QUAL2KW model has a proper precision in the qualitative simulation of the Atrak River (according to the amount of calculated errors), and the decrease in the flow of the Atrak River due to improper exploitation is one of the most fundamental problems of this water ecosystem in the study area. According to the analysis of the contribution of pollutant sources in the qualitative state of the river, pollutants from surface runoff and non-point sources in the initial reaches of the river, especially in the area of Sisab village, have had a significant effect on reducing water quality.

Data Availability

The data used in this research are presented in the text of the article.

Conflicts of interest

The authors of this paper declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.



ISSN: 2476-3683

محیط زیست و مهندسی آب

Homepage: www.jewe.ir

مقاله پژوهشی

مدل سازی اثر منابع مختلف آلاینده بر کیفیت آب رودخانه اترک با استفاده از مدل QUAL2KW

محمد میرنژاد^۱ و قاسم ذوالفقاری^{۲*}

^۱دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

^۲دانشیار، گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخ دریافت: [۱۴۰۲/۰۶/۱۸]
تاریخ بازنگری: [۱۴۰۲/۰۸/۱۸]
تاریخ پذیرش: [۱۴۰۲/۱۱/۰۳]

واژه های کلیدی:

رودخانه اترک
مدل سازی آب
مدل QUAL2KW
منابع آلاینده

*نویسنده مسئول:

g.zolfaghari@hsu.ac.ir



رودخانه ها که تمرکز گسترده ای از فعالیت های بشر روی آنها وجود دارد، پذیرنده حجم وسیعی از آلودگی ها می باشند. هدف از این پژوهش، پایش و مدل سازی کیفی آب رودخانه اترک در حوزه جغرافیایی بجنورد و بررسی اثر منابع آلوده کننده در مسیر رودخانه با استفاده از مدل QUAL2KW می باشد. پس از بازدید میدانی، محدوده مطالعاتی به طول ۳۳ km با ۱۶ بازه، ۱۱ ایستگاه نمونه برداری اصلی، ۱۰ ایستگاه نمونه برداری منابع نقطه ای، و ۲ ایستگاه نمونه برداری منابع غیر نقطه ای مشخص شد. در این مطالعه چهار پارامتر کیفی دما، اکسیژن محلول (DO)، اکسیژن خواهی زیست شیمیایی (BOD)، و اکسیژن خواهی شیمیایی (COD) در بهار سال ۱۴۰۱ اندازه گیری و شبیه سازی شد. داده های هندسی- هیدرولیکی، داده های کیفی و داده های هواشناسی وارد مدل QUAL2KW شد. خطای شبیه سازی با استفاده از میانگین خطای مطلق (AME)، درصد میانگین خطای مطلق (MAPE%) و درصد خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) محاسبه شد. خطای جذر میانگین مربعات برای پارامترهای دما، DO، BOD و COD به ترتیب ۳/۶۸، ۴/۵۱، ۶/۵ و ۴/۴۷ تعیین شد. با توجه به میزان خطاهای محاسبه شده، مدل QUAL2KW از دقت بسیار مطلوبی در شبیه سازی کیفی رودخانه اترک برخوردار بوده است.

نحوه استناد به این مقاله:

میرنژاد، محمد، & ذوالفقاری، قاسم. (۱۴۰۳). مدل سازی اثر منابع مختلف آلاینده بر کیفیت آب رودخانه اترک با استفاده از مدل QUAL2KW. محیط زیست و مهندسی آب. 10(2) 347-362. <https://doi.org/10.22034/ewe.2024.415209.1889>



۱- مقدمه

باشد. در این مدل، افزایش سرعت مدل سازی با تعیین ضرایب مناسب امکان پذیر می باشد (Chapra and Pelletier 2003). Darajati Setiawan et al. (2018) با استفاده از مدل QUAL2KW، ظرفیت حمل آلاینده ها در رودخانه کشور اندونزی را مورد ارزیابی قرار دادند. در این پژوهش مشخص شد با توجه به تراکم کاربری های کشاورزی و صنعتی اطراف رودخانه، مقدار BOD و COD آب رودخانه در چند نقطه هدف بالاتر از توان خودپالایی رودخانه می باشد. Almeida et al (2021)، به مطالعه اثرات تخلیه فاضلاب تصفیه خانه به رودخانه Ramalhoso در کشور پرتغال پرداختند. در این مطالعه، مدل سازی کیفی آب رودخانه با استفاده از مدل QUAL2KW، با هدف انتخاب رویکردهای بهبود کیفیت آب و کاهش بار آلودگی بهینه انجام شد. نتایج حاصل نشان داد که شبیه سازی کیفی آب با مدل QUAL2KW، با مطالعات میدانی مطابقت دارد. هم چنین مشخص شد این مدل از پتانسیل لازم برای پیش بینی، برنامه ریزی و مدیریت و اقدامات اصلاحی برای بهبود کیفیت آب رودخانه Ramalhoso برخوردار می باشد. Angello et al. (2021) با هدف انتخاب روش های کاهش بار آلودگی و بهبود کیفیت آب رودخانه Akaki در اتیوپی، از مدل سازی QUAL2KW استفاده کردند. نتایج حاصل نشان داد که مدیریت کیفیت آب رودخانه های شهری در کشور اتیوپی، بسیار ضعیف بوده و نیاز به یک مدیریت یکپارچه می باشد. در این مطالعه شبیه سازی کیفی آب برای پارامترهای اکسیژن محلول (DO)، اکسیژن مورد نیاز زیست شیمیایی (BOD)، نیترات، فسفات، سختی کل و پارامترهای بیولوژیکی، با دقت نسبتاً خوبی انجام شد. (Lestari et al. 2019). از مدل QUAL2KW، جهت بررسی وضعیت کیفی آب رودخانه Mumus Karang استفاده نمودند. در این مطالعه از پارامترهای BOD، DO، جامدات معلق، کلیفرم، و فسفات، جهت مدل سازی آلودگی استفاده گردید. نتایج نشان داد آلودگی رودخانه بیش تر تحت تأثیر افزایش میزان کلیفرم بوده است که این موضوع می تواند ناشی از ورود فاضلاب انسانی به رودخانه باشد. (Vichotama et al. 2021). از مدل QUAL2KW، در تحلیل کیفیت آب رودخانه Badung

آلودگی محیط زیست امروزه به یک مشکل بزرگ تبدیل شده که سلامت انسان را به مخاطره انداخته است (Esmaili Sari et al. 2007). شناسایی و بررسی پارامترهای کیفیت آب در مدیریت هماهنگ منابع آبی دارای اهمیت بوده و فرصت مناسبی برای بهبود پایداری این منابع در آینده ایجاد خواهد نمود (Albuquerque et al. 2019). ارزیابی کیفی آب و تعیین شاخص های کیفی آب در پایداری محیط زیست و حفظ سلامت انسان ضروری است (Salam et al. 2019). رشد سریع اقتصادی در بازارهای جهانی، رشد جمعیت و افزایش استانداردهای زندگی، تقاضای دسترسی به آب شیرین و با کیفیت را افزایش داده است (Shi et al. 2018; Ben Moussa et al. 2021). گسترش سریع شهرها یکی از مهم ترین عوامل مرتبط با آلودگی آب می باشد که نتایج اندازه گیری آلاینده ها این امر را در بوم سازگان آبی نشان می دهد (Zolfaghari et al. 2006; Zolfaghari et al. 2016; Zolfaghari, 2018a,b). افزایش هزینه های مربوط به تصفیه آب مصرفی، افزایش هزینه های بهداشت و درمان به دلیل گسترش بیماری ها (Ferreira et al. 2021)، کاهش بهره وری در کشاورزی و دامپروری (Giri et al. 2020) و کاهش ارزش های فرهنگی و تفرجگاهی (Mulvaney et al. 2020)، نتیجه این آلودگی ها خواهد بود. مدل های کیفیت آب به عنوان یک ابزار پشتیبانی قدرتمند، برای تصمیم گیری در سطح جهانی پذیرفته شده است (Atabati et al. 2022). هم اکنون در بین مدل های فعلی بررسی کیفیت آب، مدل QUAL2KW به طور گسترده ای جهت شبیه سازی کیفیت آب رودخانه ها مورد استفاده قرار می گیرد (Tran et al. 2022). این مدل ها معمولاً برای مناطق خاصی با اقلیم و ویژگی های فیزیکی خاص، توسعه می یابند. بنابراین عدم توجه به انتخاب مدل مناسب، می تواند موجب ایجاد خطاهای قابل توجه در شبیه سازی کیفی آب گردد (Pelletier & Chapra 2008). مدل QUAL2KW در سال ۲۰۰۶ ارائه شد (Pelletier & Chapra 2008). این برنامه یک مدل نسبتاً جامع و کامل جهت شبیه سازی کیفی رودخانه ها بوده و روش به کار گرفته شده در آن، جهت پیدا کردن مقادیر بهینه، ضرایب و آهنگ های پارامترهای کیفی و الگوریتم ژنتیک می -

می‌باشد. درک روشن از وضعیت کیفی منابع آب، همچنین ارزیابی و مدل‌سازی صحیح این منابع، باید به‌عنوان مهم‌ترین قدم در مباحث مدیریتی مورد توجه قرار گیرد (Mohammadi et al. 2019). در پژوهش حاضر، پس از شبیه‌سازی روند تغییرات پارامترهای کیفی رودخانه اترک به‌عنوان یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های شمال شرق کشور، کیفیت آب برای کاربری‌های مختلف مشخص شد. این پژوهش در ارزیابی کیفیت آب این رودخانه و ارائه راهکارهای کاربردی مناسب جهت تصمیم‌گیری‌های مدیریتی مورد استفاده قرار گرفته است.

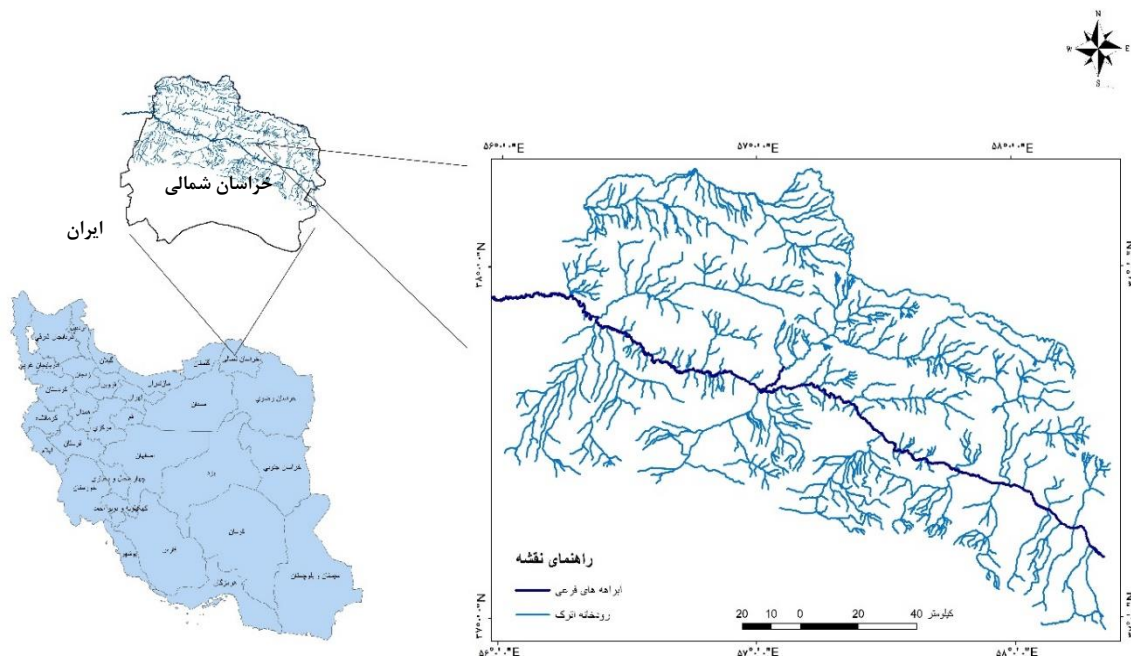
۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

استان خراسان شمالی دارای سه حوزه آبخیز اصلی اترک، کال شور و گرگان رود می‌باشد. رودخانه‌های متعددی در این استان جریان دارند که اترک، مهم‌ترین و پرآب‌ترین رودخانه آن محسوب می‌شود. حوضه اترک در سه استان خراسان شمالی، خراسان رضوی و گلستان و بخشی از آن نیز در کشور ترکمنستان گسترده شده است. شکل (۱) موقعیت رودخانه اترک را نشان می‌دهد. مساحت کل حوزه آبخیز اترک km^2 ۳۳۸۱۲ بوده که بیش از km ۲۶۰۰۰ و معادل ۷۹٪ کل این حوزه آبخیز در ایران و حدود ۲۱٪ آن در کشور ترکمنستان قرار گرفته است. ۱۸ رودخانه دائمی و مهم در حوزه آبخیز اترک وجود دارد. رودخانه اصلی این حوضه، رودخانه اترک بوده و به طول km ۵۰۰ از شرق به غرب در جریان است. طول شاخه اصلی رود اترک در استان خراسان شمالی حدود km ۲۳۰ می‌باشد. در طول مسیر حرکت رودخانه، مواد آلاینده زیادی به رودخانه وارد می‌شود. صنایع، اراضی کشاورزی و روستاهای حاشیه‌ای، منابع اصلی ورود انواع آلاینده‌ها به این رودخانه محسوب می‌شود. در این پژوهش حدود km ۳۳ از طول رودخانه اترک، به‌عنوان محدوده مطالعاتی انتخاب شده است. ابتدای محدوده، قبل از روستای سیسب بوده و انتهای محدوده پس از ورودی رودخانه بابامان بجنورد به رودخانه اترک می‌باشد. صنعت پتروشیمی خراسان به‌عنوان یکی از مهم‌ترین صنایع بزرگ آلاینده، با فاصله m ۸۰۰ از حاشیه رودخانه و در فاصله km ۳ قبل از انتهای محدوده مطالعاتی قرار دارد. جهت بازه‌بندی یا تقسیم‌بندی رودخانه اترک، چند مرحله بازدید میدانی از محدوده مطالعاتی انجام شد.

Tukad کشور اندونزی استفاده نمودند. در این مطالعه هشت پارامتر DO، جامدات معلق، فسفات، pH، کلی‌فرم، BOD، COD و درجه حرارت مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مدل‌سازی به آنالیز فاکتورهای کیفی بسیار نزدیک بوده و افزایش غلظت دو فاکتور BOD و فسفات از حد استاندارد، موجب کاهش کیفیت آب رودخانه شده است. مطابق پیش‌بینی‌های این مدل در سال 2024، کیفیت آب رودخانه کاهش محسوسی خواهد داشت. در مطالعه‌ای که توسط Ghorbani et al. (2020) جهت بررسی کیفیت آب رودخانه دز انجام گردید، از مدل QUAL2KW برای شبیه‌سازی دبی، دما، هدایت الکتریکی و BOD در رودخانه با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های هیدرومتری موجود استفاده شد. نتایج نسبتاً دقیق و قابل اعتماد کالیبراسیون مدل و اعتبارسنجی، نشان داد که این مدل می‌تواند پارامترهای کیفیت رودخانه را با دقت بالایی شبیه‌سازی کند. ورود حجم زیاد پساب کشاورزی از زمین‌های اطراف و صنایع وابسته، آفت‌کش‌ها و کودهای شیمیایی، به‌عنوان دلایل افزایش فاکتور هدایت الکتریکی بیان گردید و مشخص شد ورودی زهکشی-های کشاورزی و فاضلاب صنعتی به رودخانه، تاثیر زیادی بر کیفیت آب رودخانه دارد. در پژوهشی که توسط Fan et al. (2021) انجام شد، ظرفیت بار آلودگی یک رودخانه با استفاده از دو مدل HEC-RAS و QUAL2KW مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه جهت مدیریت کیفیت آب رودخانه، سه بازه زمانی بلندمدت، میان‌مدت و کوتاه‌مدت در نظر گرفته شد. همچنین جهت کنترل آلودگی، دو استراتژی کاهش فاضلاب مطرح گردید. بر اساس این پژوهش، ضمن تعیین ظرفیت بار آلودگی، یک سیستم حداکثر بار روزانه با استفاده از مدل‌سازی کیفیت آب ایجاد شد. همچنین Angello et al. (2021) جهت بررسی کیفیت آب رودخانه آکاکیا از مدل QUAL2KW استفاده نمودند. در این مطالعه سناریوهای مختلف با هدف انتخاب روش‌های بهبود کیفیت آب و کاهش بار آلودگی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با به کارگیری روش‌های بهتر مدیریتی و کنترل منابع آلاینده، می‌توان به هدف ارتقای کیفیت آب رودخانه، حفاظت از آبزیان و کاهش آلودگی دست یافت.

با توجه به محدودیت منابع آبی قابل استفاده، حفظ کیفیت آب به‌عنوان اولین قدم در برنامه‌های مدیریت منابع آبی مطرح



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی رودخانه اترک

Fig. 1 Geographical location of Atrak River

رودخانه (شکل مقطع، ضریب زبری، شیب دو طرف دیواره های رودخانه و اختلاف ارتفاع ابتدا و انتهای بازه ها)، داده های هیدرولوژیکی (دبی، عمق و سرعت جریان)، داده های کیفی و داده های هواشناسی (دمای محیط، دمای نقطه شبنم، سرعت باد، میزان ابر، سالیانه دما و انرژی خورشیدی) می باشد (Ranjith et al. 2019). علاوه بر پارامترهای هیدرولیکی، ۱۹ پارامتر کیفی آب رودخانه را می توان در این مدل بررسی و شبیه سازی نمود. در مدل QUAL2KW، رودخانه به صورت یک بعدی با جریان دائمی غیر یکنواخت شبیه سازی می شود. در این برنامه امکان وارد کردن پارامترهای کمی و کیفی منابع نقطه ای و گسترده برای کاربر وجود دارد. با توجه به مقادیر شبیه سازی شده و مقادیر وارد شده به مدل، خطای مدل سازی در برنامه محاسبه می گردد. هر چقدر مقدار خطا کمتر باشد دقت مدل سازی بیشتر است (Tran et al. 2022). در این پژوهش میانگین خطای مطلق (AME)^۱، درصد میانگین خطای مطلق (MAPE)^۲ و خطای جذر میانگین مربعات (RMSE)^۳ محاسبه شد.

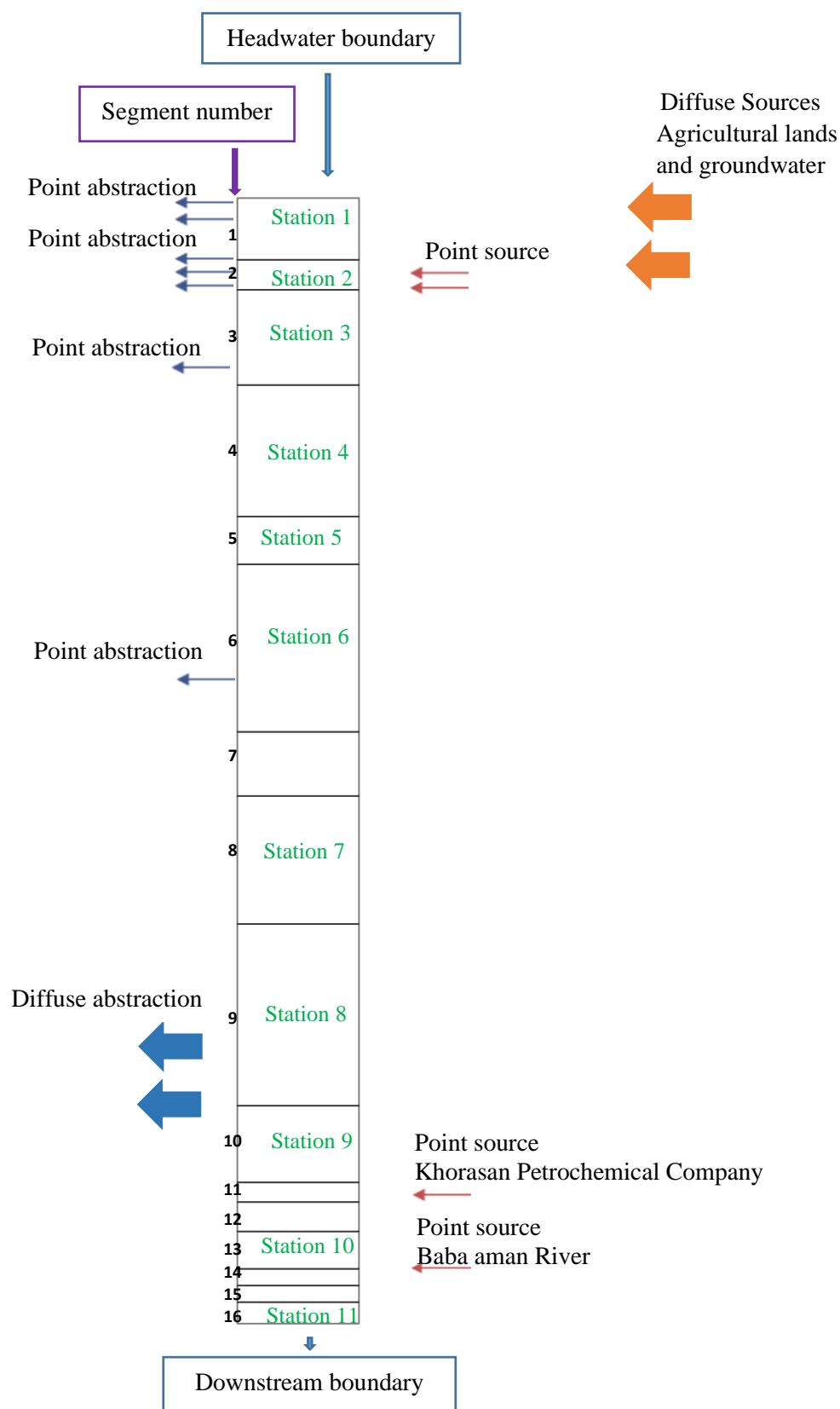
صنعت پتروشیمی خراسان به عنوان یکی از مهم ترین صنایع بزرگ آلاینده، با فاصله ۸۰۰ m از حاشیه رودخانه و در فاصله ۳ km قبل از انتهای محدوده مطالعاتی قرار دارد. جهت بازه بندی یا تقسیم بندی رودخانه اترک، چند مرحله بازدید میدانی از محدوده مطالعاتی انجام شد. با توجه به وسعت، وضعیت هیدرولوژیکی رودخانه، مسیر رودخانه، موقعیت رودخانه فرعی، موقعیت منابع نقطه ای، موقعیت منابع گسترده (غیر نقطه ای)، موقعیت مناطق مسکونی، صنایع و وضعیت اراضی کشاورزی در اطراف رودخانه، محدوده مذکور به ۱۶ بازه تقسیم شد.

۲-۲- مدل QUAL2KW

جهت استفاده از مدل QUAL2KW ابتدا باید رودخانه را با توجه به شرایط هیدرولیکی و کیفی، به بازه های کوچکتر تقسیم نمود (شکل ۲). اطلاعات مربوط به موقعیت بازه ها وارد مدل شده و مدل به طور خودکار در وسط هر بازه (Reach) که یک المان نامیده می شود، یک گره محاسباتی تشکیل می دهد. معادلات دیفرانسیل مربوط به شبیه سازی رودخانه نیز در هر گره از المان، محاسبه می شود. داده های مورد نیاز جهت شبیه سازی، شامل داده های هندسی کانال

³Root Mean Squared Error¹Absolute Mean Error²Mean Absolute Percentage Error

Atrak River Segmentation



شکل ۲- بازه‌بندی محدوده مطالعاتی رودخانه اترک

Fig. 2 Division schematic image of Atrak River

۲-۳- اطلاعات جغرافیایی بازه ها

بازه و طول و عرض جغرافیایی ابتدای هر بازه با استفاده از اطلاعات جغرافیایی بازه ها شامل طول بازه، فاصله بازه تا انتهای رودخانه (انتهای محدوده مطالعاتی)، ارتفاع نقطه ابتدا و انتهای دستگاه GPS و نرم افزار گوگل ارث مشخص شد. جدول (۱) مربوط به اطلاعات جغرافیایی بازه ها می باشد.

جدول ۱- اطلاعات موقعیت جغرافیایی محدوده مطالعاتی رودخانه اترک

Table 1 Geographical location information of Atrak River study area

Reach Number	Length (km)	Distance and elevation			Geographical coordinates (downstream)					
		Distance from downstream (km)	Reach height-upstream (m)	Reach height-downstream (m)	Latitude		Degrees		Longitude	
					Degrees	Minutes	Seconds	Degrees	Minutes	Seconds
0	-	33.090	-	979	37	26	47	57	40	13
1	1.85	31.240	979	977	37	27	19	57	39	39
2	0.90	30.340	977	972	37	27	28	57	39	8
3	2.85	27.490	972	966	37	27	15	57	37	46
4	3.93	23.560	966	963	37	27	51	57	36	19
5	1.43	22.130	963	960	37	28	18	57	35	50
6	5.02	17.110	960	948	37	28	34	57	34	9
7	1.92	15.190	948	929	37	28	56	57	33	32
8	3.83	11.360	929	915	37	29	13	57	32	6
9	5.44	5.920	915	907	37	30	17	57	30	42
10	2.29	3.630	907	906	37	30	50	57	30	1
11	0.59	3.040	906	905	37	30	60	57	29	48
12	0.88	2.160	905	903	37	31	16	57	29	39
13	1.12	1.040	903	902	37	31	44	57	29	16
14	0.20	0.840	902	901	37	31	48	57	29	11
15	0.20	0.640	901	900	37	31	50	57	29	7
16	0.64	0.000	900	899	37	31	56	57	28	50

جدول ۲- اطلاعات هواشناسی مورد نیاز مدل در محدوده مطالعاتی رودخانه

Table 2 Meteorological information required by the model in the study area of the river

Data and time	Cloud cover (%)	Wind speed (m/s)	Air temperature (°C)	Dew point temperature (°C)
04/10/2022 00:00	7	1	12.8	8.2
04/10/2022 03:00	7	1	12.6	8.2
04/10/2022 06:00	6	9	15.5	7.8
04/10/2022 09:00	4	13	15.1	8.2
04/10/2022 12:00	7	10	14	7.9
04/10/2022 15:00	7	11	11.7	8.5
04/10/2022 18:00	2	2	10.2	8.3
04/10/2022 21:00	6	5	9.3	7.9

۴-۲- اطلاعات هواشناسی و هیدرولوژی

متغیرهای هواشناسی مورد نیاز مدل در محدوده مطالعاتی شامل دمای هوا، دمای نقطه شبنم، سرعت باد و درصد پوشش ابر، از اداره کل هواشناسی استان خراسان شمالی دریافت شد. ایستگاه اقلیم‌شناسی سیسپاب و ایستگاه هواشناسی بجنورد، نزدیک‌ترین ایستگاه‌ها به محدوده مطالعاتی می‌باشند با توجه به اینکه ایستگاه اقلیم‌شناسی سیسپاب، فاقد داده‌های ابرناکی و دمای نقطه شبنم در زمان نمونه‌برداری بوده است، از اطلاعات ایستگاه هواشناسی بجنورد در مدل استفاده شد (جدول ۲). اطلاعات هواشناسی به صورت داده های ساعتی وارد مدل شد.

۵-۲- ایستگاه‌ها یا نقاط پایش و نمونه برداری

نمونه‌برداری برای یک روز در تاریخ ۱۴۰۱/۰۱/۲۱ در ۱۱ نقطه از محدوده مطالعاتی انجام شد. جهت افزایش دقت در مدل-سازی، تمام نمونه‌ها در طول یک روز برداشت شده و با شرایط استاندارد به آزمایشگاه محیط‌زیست منتقل شد. همچنین متغیر دما و اکسیژن محلول با استفاده از دستگاه پرتابل در محل نمونه‌برداری از رودخانه نیز مورد سنجش قرار گرفت. در جدول (۳) مختصات جغرافیایی و موقعیت نقاط نمونه‌برداری نسبت به بازه‌های رودخانه مشخص شده است.

جدول ۳- موقعیت جغرافیایی نقاط نمونه برداری و پارامترهای کیفی* آب در ایستگاه های مطالعاتی رودخانه اترک

Table 3 Geographical location of sampling points and water quality parameters* in study stations of Atrak River

Reac h no.	Sampling points	Geographical location		COD (mg/l)	BOD (mg/l)	DO (mg/l)	Temperatur (°C) e
		Latitude	Longitude				
1	1	37° 26' 47.18"N	57° 40' 12.53"E	18	8.76	6.2	17
2	2	37° 27' 25.24"N	57° 39' 27.44"E	20	11.68	6.51	15.4
3	3	37° 27' 18.74"N	57° 38' 24.87"E	20	10.22	7.11	15.5
4	4	37° 27' 16.06"N	57° 36' 56.35"E	18	7.3	6.12	15
5	5	37° 28' 8.62"N	57° 36' 6.02"E	16	7.3	7.11	14
6	6	37° 28' 44.82"N	57° 35' 5.64"E	16	5.84	8.18	14.2
8	7	37° 28' 48.77"N	57° 32' 24.19"E	15	4.38	9	13.8
9	8	37° 29' 59.21"N	57° 32' 9.75"E	14	4.38	8.91	14
10	9	37° 30' 31.95"N	57° 30' 19.11"E	17	5.84	8.52	13.2
13	10	37° 31' 28.07"N	57° 29' 30.59"E	14	4.38	8.55	14.12
16	11	37° 31' 56.14"N	57° 28' 50.64"E	20	10.22	7.13	15.7

* اکسیژن محلول (DO)، اکسیژن خواهی زیست‌شیمیایی سریع تجزیه‌شونده (BOD)، و اکسیژن خواهی شیمیایی (COD)

جدول ۴- نتایج آنالیز پارامترهای کیفی و هیدرولیکی منابع نقطه‌ای ورودی و خروجی

Table 4 Analysis results of qualitative and hydraulic parameters of input and output point sources

Distance from downstream of the river (km)	River discharge (m ³ /s)	Wastewater discharge (m ³ /s)	Inlet wastewater temperature (°C)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	DO (mg/l)
33.07	-	0.0250	-	-	-	-
33.01	-	0.0250	-	-	-	-
30.70	0.0180	-	26.20	53	55	3.00
30.53	0.0130	-	21.45	50	65	2.00
30.31	-	0.0330	-	-	-	-
30.64	-	0.0250	-	-	-	-
30.79	-	0.0250	-	-	-	-
20.66	-	0.0350	-	-	-	-
3.04	0.0112	-	21.70	42	66	4.86
0.841	0.4100	-	18.00	15	23	5.63

نمونه برداری از منبع آلاینده با رعایت حداقل فاصله از محل پیوستن به رودخانه اصلی انجام شد.

نمونه برداری از منابع غیرنقطه ای که در محدوده مطالعاتی شامل زه آب کشاورزی و رواناب سطحی می باشد، از پایین دست اراضی کشاورزی انجام شد. میزان تقریبی دبی منابع غیرنقطه ای با توجه به شبیه سازی اولیه در مدل QUAL2KW محاسبه شد. در این پژوهش پس از انجام بازدید میدانی، نمونه برداری از اراضی کشاورزی شیب دار اطراف رودخانه، مطابق با جدول شماره (۵) جهت تعیین بار آلودگی منابع غیر-نقطه ای انجام گردید.

جدول ۵- نتایج آنالیز پارامترهای کیفی و هیدرولیکی منابع غیر نقطه ای ورودی و خروجی

Table 5 The results of analysis of qualitative and hydraulic parameters of non-point sources of input and output

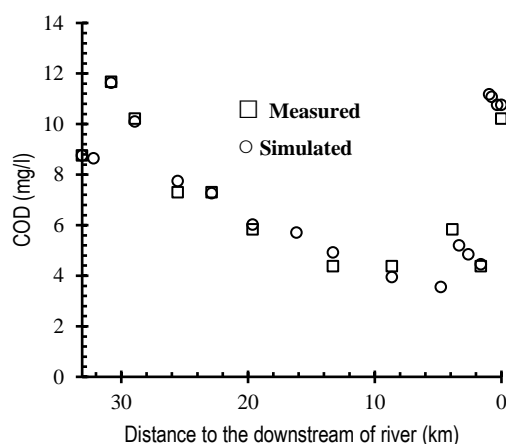
Non-point source length (km)		River discharge (m ³ /s)	Wastewater discharge (m ³ /s)	Temperature (°C)	DO (mg/l)	Fast BOD (mgO ₂ /l)	Generic constituent (COD) (mg/l)
Start point (km)	End point (km)						
33.09	30.79	-	0.13	18	4.2	14	22
8.64	3.86	0.1	-	-	-	-	-

(Robert et al. 1987; Zhenyang et al. 2022). شبیه سازی ۴ پارامتر کیفی در ۱۶ بازه از محدوده مطالعاتی، با در نظر گرفتن منابع نقطه ای و منابع گسترده انجام شد. در نمودارهای خروجی مدل، دایره های زرد رنگ، مقادیر اندازه گیری شده پارامتر در نقاط نمونه برداری و نقاط آبی رنگ، مقادیر شبیه سازی شده توسط مدل می باشد. شکل (۳) تغییرات غلظت DO در طول محدوده مطالعاتی را نشان می دهد. میزان DO در آب به عواملی مانند درجه اشباع DO آب، در مقایسه با اکسیژن هوا، میزان املاح و درجه حرارت آب، تراکم موجودات آبی، فرآیند تنفس و فتوسنتز و اکسیداسیون مواد آلی بستگی دارد. فتوسنتز گیاهان و جلبک ها و هوادهی (در صورت عدم اشباع آب از اکسیژن)، موجب افزایش DO و فرآیندهای اکسیداسیون، BOD، شوره سازی، انتقال اکسیژن از آب به هوا (در صورت اشباع آب از اکسیژن) و تنفس گیاهی، موجب کاهش میزان DO در آب رودخانه می شود. این روابط در معادلات مدل QUAL2KW محاسبه می گردد. کمترین میزان DO با غلظت ۱۲/۶ mg/l مربوط به ایستگاه شماره ۴ در بازه ۴ و بیشترین میزان DO با غلظت ۹ mg/l مربوط به ایستگاه شماره ۸ در بازه ۸ می باشد. با توجه به محاسبه

۳- یافته ها و بحث

در این مطالعه چهار پارامتر کیفی دما، DO، BOD و COD در ۱۱ نقطه نمونه برداری از ۱۶ بازه رودخانه، ۱۰ نقطه نمونه برداری از منابع نقطه ای و ۲ منبع گسترده، مورد بررسی و شبیه سازی قرار گرفت (جدول ۳). در بازدید میدانی از محدوده مطالعاتی، منابع نقطه ای مورد بررسی و نمونه برداری قرار گرفت که نتایج آنالیز پارامترهای کیفی و سایر اطلاعات مورد نیاز در جدول (۴) ثبت شد. همچنین نتایج آنالیز منابع غیر-نقطه ای یا گسترده به شرح جدول (۵) می باشد. تعیین محل دقیق ورود منابع غیرنقطه ای به رودخانه امکان پذیر نمی باشد. این موضوع یکی از عوامل کاهش دقت در شبیه سازی سامانه های آبی محسوب می گردد. برای تعیین غلظت پارامترهای کیفی ناشی از منابع غیرنقطه ای می توان از روش های تخمین و برآورد بار آلودگی استفاده نمود. به عنوان مثال در مدل های Wennerblom و SWAT برای غلظت نیترات، فسفر و نیتروژن کل در دوره های زمانی یک ماهه و یک ساله، مقدار مشخصی تعیین گردیده است (Emami Qara 2018). در برخی از منابع با توجه به محدوده مکانی و زمانی مشخص، مقادیری برای آلاینده های گسترده در نظر گرفته شده است

BOD مدل، تطابق مناسبی با مقادیر مشاهداتی داشته است. این موضوع نشان دهنده شبیه‌سازی مناسب این پارامتر می‌باشد. بیش‌ترین مقدار غلظت BOD 10.22 mg/l مربوط به ایستگاه ۱۱ در بازه ۱۶ و کم‌ترین مقدار آن با 4.38 mg/l در ایستگاه ۱۰ از بازه ۱۳ بوده است. با توجه به اطلاعات خروجی مدل، میانگین خطای مطلق 0.28 ، خطای جذر میانگین مربعات $0.6/50$ و میانگین مطلق خطاهای پیش‌بینی $1.77/1$ برای متغیر BOD محاسبه شده است. در مدل‌سازی رودخانه شاهرود که توسط Aryaee Nezhad et al. (2019) انجام شد، کم‌ترین خطای قدر مطلق این پارامتر 5.20 و بیش‌ترین خطا، 36.77 بوده است.

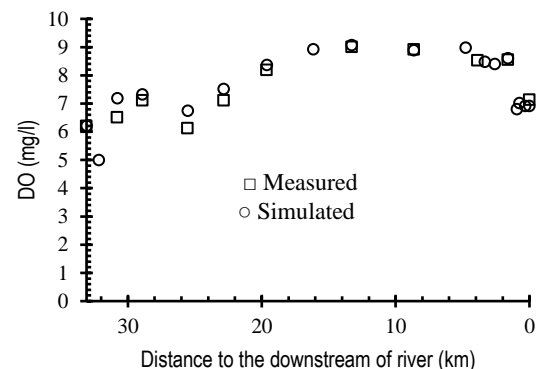


شکل ۴- شبیه‌سازی تغییرات اکسیژن خواهی بیوشیمیایی سریع تجزیه شونده آب رودخانه

Fig. 4 Simulation of changes in fast decomposing biochemical oxygen demand of rapidly decomposing river water

بیش‌ترین مقدار COD آب رودخانه در محدوده مطالعاتی، 20 mg/l در ایستگاه‌های شماره ۲، ۳ و ۱۱ به ترتیب در بازه-های ۲، ۳ و ۱۶ و کم‌ترین مقدار این پارامتر 14 mg/l در ایستگاه شماره ۸ در بازه ۹ و ایستگاه شماره ۹ در بازه ۱۳ بوده است. افزایش غلظت COD در بازه ۲ و ۳ به دلیل عبور رودخانه از منطقه مسکونی روستای سیسب و متاثر از کاربری‌های این منطقه می‌باشد. در بازه ۱۶ به دلیل ورود رودخانه بابامان به رودخانه اترک، کیفیت رودخانه اترک تحت تاثیر غلظت بالای COD رودخانه فرعی قرار گرفته و میزان COD افزایش یافته است. غلظت COD رودخانه بابامان در محل ورود به رودخانه اترک، 23 mg/L اندازه‌گیری شده است. شکل (۵) مربوط به تغییرات و شبیه‌سازی اکسیژن خواهی

میانگین خطای مطلق 0.23 ، خطای جذر میانگین مربعات $4/51$ و میانگین مطلق خطای‌های پیش‌بینی $1.57/1$ دقت بالای مدل در شبیه‌سازی DO مورد تایید می‌باشد. هر چه مقادیر خطاها به سمت صفر میل کند دقت مدل‌سازی بیش‌تر می‌باشد (Chanasyk et al. 2004). کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار خطای قدر مطلق برای DO در مطالعه Aryaee Nezhad et al. (2019) در مدل‌سازی کیفی رودخانه شاهرود، به ترتیب 0.86 و 1.29 بوده است. کاهش DO در بازه ۱۴، متأثر از ورود جریان رودخانه بابامان به رودخانه اترک می‌باشد. غلظت DO با ورود منابع آلاینده به رودخانه کاهش می‌یابد. افزایش غلظت DO از بازه ۸ تا ۱۳ رودخانه، می‌تواند نشان دهنده توان خودپالایی رودخانه باشد. همچنین علت کاهش ناگهانی DO در بازه ۲، ورود مواد مغذی در محدوده روستای سیسب، کاهش سرعت جریان رودخانه و در نتیجه کاهش ظرفیت هوادهی است. آلودگی آب به مواد مغذی می‌تواند غلظت DO را از طریق افزایش تنفس گیاهان آبی و متابولیسم میکروارگانیسم‌ها کاهش دهد (Kannel et al. 2007).



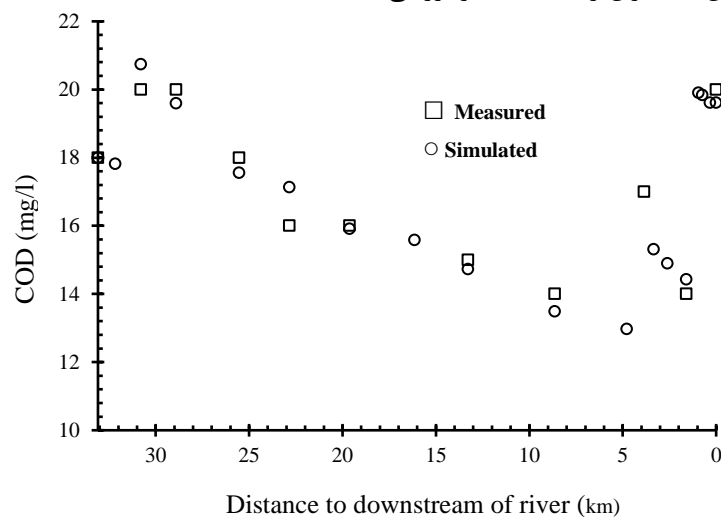
شکل ۳- شبیه‌سازی تغییرات DO
Fig. 3 Simulation of changes of DO

BOD از مهم‌ترین شاخص‌ها در بررسی کیفیت آب رودخانه است. در مدل QUAL2KW، با در نظر گرفتن سرعت تجزیه مواد آلی توسط میکروارگانیسم‌ها، دو نوع اکسیژن‌خواهی زیست‌شیمیایی سریع تجزیه‌شونده (Fast Reacting BOD) و کند تجزیه‌شونده (Slowly Reacting BOD) قابل شبیه‌سازی می‌باشد. با توجه به راهنمای تئوری مدل، در صورت عدم وجود اطلاعات کافی، Fast reacting BOD به‌عنوان BOD نهایی وارد مدل می‌گردد. در شکل (۴)، داده‌های

فاکتورهای اکسیژن محلول، فسفات، آمونیوم، نیتрат، BOD، و COD انجام دادند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد آهنگ جریان، تاثیر زیادی بر ظرفیت خودپالایی رودخانه داشته و در رودخانه های کوهستانی، آهنگ اکسیداسیون و آهنگ شوره سازی، بیشترین تاثیر را بر خروجی کیفیت آب دارند. (Ranjith et al. (2019 از مدل QUAL2KW جهت بررسی کیفیت آب رودخانه Tungabhadra در کشور هندوستان استفاده نمودند. در این مطالعه داده های مربوط به ۸ پارامتر کیفی آب در ۴۰/۵ km مسیر رودخانه و ۸۱ بازه جهت واسنجی مدل و بررسی کیفی آب رودخانه مورد استفاده قرار گرفت و بر اساس نتایج حاصل از صحت سنجی ها، عملکرد مدل QUAL2KW در بررسی کیفی آب این رودخانه مناسب تشخیص داده شد.

شیمیایی می باشد. با توجه به نتایج مدل، میانگین خطای مطلق ۰/۵۶، خطای جذر میانگین مربعات ۴/۴۷ و میانگین مطلق خطای های پیش بینی ۱/۶۴٪، برای فاکتور COD به دست آمد.

(Setiawan and Saily (2021 با استفاده از مدل QUAL2KW، وضعیت کیفی آب رودخانه Batu Bukit را در اندونزی مورد ارزیابی قرار دادند. طبق نتایج این مدل سازی، کاهش کیفیت آب رودخانه به دلیل افزایش بیش از حد BOD و COD اعلام شد. همچنین مشخص گردید در صورت مدیریت صحیح، امکان توسعه فعالیت ها و بهبود اقتصاد جوامع بومی در این منطقه وجود خواهد داشت. Babamiri et al. (2021 با استفاده از مدل QUAL2KW، شبیه سازی کیفی و خودپالایی رودخانه عباس آباد ایران را با استفاده از بررسی



شکل ۵- شبیه سازی تغییرات COD آب رودخانه

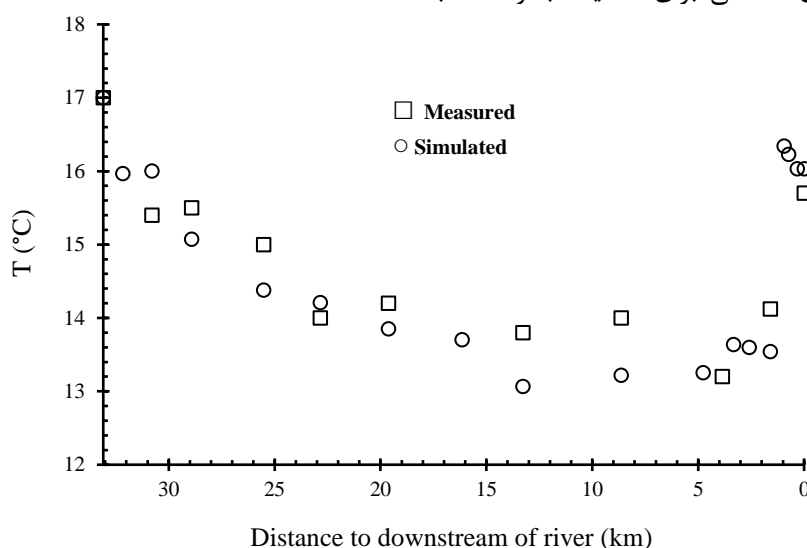
Fig. 5 Simulation of changes in COD of river water

مدل دقت بسیار مناسبی در شبیه سازی دما داشته است. با توجه به ورود جریان قابل توجه رودخانه باباامان در بازه ۱۴ به رودخانه اترک، دما در بخش های انتهایی رودخانه با افزایش تقریبی $2/5^{\circ}\text{C}$ همراه بوده است. تاثیر این پارامتر در کاهش اکسیژن محلول رودخانه نیز تاثیرگذار می باشد. در مطالعه ای که توسط Aryaee Nezhad et al. (2019 با هدف مدل سازی کیفی رودخانه شاهرود، با استفاده از مدل QUAL2KW انجام گردید، کمترین مقدار خطای قدر مطلق دمای رودخانه ۱/۵ و بیشترین مقدار خطا، ۴/۱۶ گزارش شده است. با توجه به اینکه فاضلاب های روستایی و پساب واحدهای صنعتی حاشیه رودخانه وارد بوم سازگان رودخانه می گردند و

تعیین متغیر دما به دلیل تاثیر بر واکنش های شیمیایی و پارامترهای کیفی آب، از اهمیت بالایی برخوردار است. دمای آب رودخانه به دمای هوای محیط اطراف، دمای منابع ورودی، تغییرات دما به واسطه منابع خروجی، تابش های خورشیدی، سرعت وزش باد، درصد پوشش ابر و رطوبت اتمسفر، ساعات آفتابی و درصد سایه اندازی عوارض طبیعی و مصنوعی بر رودخانه بستگی دارد. شکل (۶) تغییرات دما در طول محدوده مطالعاتی رودخانه اترک را نشان می دهد. با توجه به داده های مشاهداتی و داده های محاسبه شده در مدل، میانگین خطای مطلق ۰/۴۶۱، خطای جذر میانگین مربعات ۳/۶۸ و درصد میانگین مطلق خطای های پیش بینی ۱/۶۱٪ می باشد. بنابراین

واحدهای صنعتی وجود دارد که می تواند در این زمینه به کار گرفته شود (Zolfaghari and Zolfaghari et al. 2011; Kargar, 2019).

باعث کاهش کیفیت آب رودخانه در ایستگاههای مختلف می- شوند لازم است که کلیه این واحدها از سیستم مجهز به تصفیه پساب و فاضلاب استفاده نمایند تا به بهبود کیفیت آب کمک کند. امروزه روشهای مختلفی برای تصفیه آب و فاضلاب



شکل ۶- شبیه سازی تغییرات دمای آب رودخانه

Fig. 6 Simulation of changes in river water temperature

۳- با توجه به تحلیل سهم منابع آلاینده در وضعیت کیفی رودخانه، آلاینده های ناشی از رواناب های سطحی و منابع غیر- نقطه ای در بازه های ابتدایی رودخانه به ویژه در منطقه روستای سیساب، اثر قابل توجهی در کاهش کیفیت آب داشته است.

دسترسی به داده ها

داده های استفاده شده در این پژوهش در متن مقاله ارائه شده است.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می دارند که، هیچ گونه تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

۴- نتیجه گیری

با توجه به نتایج این مطالعه می توان موارد زیر را نتیجه گیری نمود:

۱- با توجه به میزان خطاهای محاسبه شده، مدل QUAL2KW از دقت بسیار مطلوبی در شبیه سازی کیفی رودخانه اترک برخوردار بوده است.

۲- وضعیت بحرانی رودخانه اترک در سال های اخیر به دلیل برداشت غیرمجاز آب از رودخانه باعث کاهش کیفیت آب این رودخانه شده و افزایش دبی رودخانه موجب انتقال سریع آلاینده ها و کاهش آثار سوء بوم شناسی خواهد شد.

References

- Albuquerque, M. T. D., Antunes, I. M. H. R., Oliveira, N. P., & Pelletier, G. (2019). Impact of sewage effluent discharges prediction using QUAL2Kw in a sensitive protected area Portugal. *SN Appl. Sci.*, 1(10), 1–8. DOI: [10.1007/s42452-019-1095-y](https://doi.org/10.1007/s42452-019-1095-y)
- Almeida, P., Albuquerque, T., Antunes, M., Ferreira, A., & Pelletier, G. (2021). Effects of wastewater treatment plant's discharges on a freshwater ecosystem—a case study on the Ramalhoso river (Portugal). *Water Air Soil Pollut.*, 232(5), 1–11. DOI: [10.1007/s11270-021-05131-1](https://doi.org/10.1007/s11270-021-05131-1)
- Angello, Z. A., Behailu, B. M., & Tränckner, J. (2021). Selection of optimum pollution load reduction and water quality improvement approaches using scenario based water quality modeling in little akaki river, Ethiopia. *Water*, 13(5), 584. DOI: [10.3390/w13050584](https://doi.org/10.3390/w13050584)
- Aryaee Nezhad, R., Sarai Tabrizi, M., &

- Babazadeh, H. (2019). Modeling water quality of rivers using QUAL2KW model (case study: Shahroud river). *J. Env. Sci. Tech.*, 21(7), 1-13 [In Persian]. DOI: [10.22034/jest.2018.30267.3894](https://doi.org/10.22034/jest.2018.30267.3894)
- Atabati, A., Adab, H., Zolfaghari, G., & Nasrabadi, M. (2022). Modeling groundwater nitrate concentrations using spatial and non-spatial regression models in a semi-arid environment. *Water Sci. Eng.*, 15(3), 218-227. DOI: [10.1016/j.wse.2022.05.002](https://doi.org/10.1016/j.wse.2022.05.002)
- Babamiri, O., Vanaei, A., Guo, X., Wu, P., Richter, A., & Ng, K. T. W. (2021). Numerical simulation of water quality and self-purification in a mountainous river using QUAL2KW. *J Environ. Informatics.*, 37(1), 26-35. DOI: [10.3808/jei.202000435](https://doi.org/10.3808/jei.202000435)
- Ben Moussa, A., Chandoul, S., Mzali, H., Bel Haj Salem, S., Elmejri, H., Zouari, K., Hafiane, A., & Mrabet, H. (2021). Hydrogeochemistry and evaluation of groundwater suitability for irrigation purpose in the Mornag region, northeastern Tunisia. *Environ. Dev. Sustain.*, 23(2), 2698-2718. DOI: [10.1007/s10668-020-00696-z](https://doi.org/10.1007/s10668-020-00696-z)
- Chanasyk D. S., Mapfumo E., Willms W. D., & Naeth, M. A. (2004). Quantification and simulation of soil water on grazed fescue watersheds. *J. Range Manage.*, 57, 169 -177. DOI: [10.2111/1551-5028\(2004\)057\[0169:QASOSW\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2111/1551-5028(2004)057[0169:QASOSW]2.0.CO;2)
- Chapra, S., & Pelletier, G. (2003). *A modeling framework for simulating river and stream water quality: Documentation and users manual, report*. Civ Environ Eng Dep, Tufts Univ, Medford, Mass.
- Darajati Setiawan, A., Widyastuti, M., & Pramono Hadi, M. (2018). Water quality modeling for pollutant carrying capacity assessment using QUAL2KW in Bedog river. *Indones J Geogr.*, 50(1), 49-56. DOI: [10.22146/ijg.16429](https://doi.org/10.22146/ijg.16429)
- Emami Qara, F. (2018). *Investigating and simulating the process of quality changes in Nekarod using the QUAL2KW model*. University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Faculty of Agricultural Engineering Sari (Iran).
- Esmaili Sari, A., Zolfaghari, G., Ghasempouri, S. M., Shayegh, S. S., & Hasani Tabatabaei, M. (2007). Effect of age, gender, years of practice, specialty and number of amalgam restorations on mercury concentration in nails of dentists practicing in Tehran. *J. Iran. Dent. Assoc.*, 19(1), 97-104 [in Persian].
- Fan, C., Chen, K. H., & Huang, Y. Z. (2021). Model-based carrying capacity investigation and its application to total maximum daily load (TMDL) establishment for river water quality management: A case study in Taiwan. *J. Clean Prod.*, 291 (1), 125-251. DOI: [10.1016/j.jclepro.2020.125251](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125251)
- Ferreira, D. C., Grazielle, I., Marques, R. C., & Gonçalves, J. (2021). Investment in drinking water and sanitation infrastructure and its impact on waterborne diseases dissemination: The Brazilian case. *Sci. Total Environ.*, 779. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2021.146279](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146279)
- Ghorbani, Z., Amanipoor, H., & Battaleb-Looie, S. (2020). Water quality simulation of Dez river in Iran using QUAL2KW model. *Geocarto Int.*, 37(4), 1126-1138. DOI: [10.1080/10106049.2020.1762763](https://doi.org/10.1080/10106049.2020.1762763)
- Giri, A., Bharti, V. K., Kalia, S., Arora, A., Balaje, S. S., & Chaurasia, O. P. (2020). A review on water quality and dairy cattle health: a special emphasis on high-altitude region. *Appl Water Sci.*, 10(3). DOI: [10.1007/s13201-020-1160-0](https://doi.org/10.1007/s13201-020-1160-0)
- Kannel, P. R., Lee, S., Lee, Y. S., Kanel, S. R., & Pelletier, G. J. (2007). Application of automated QUAL2Kw for water quality modeling and management in the Bagmati river, Nepal. *Ecol Modell.*, 202(3-4), 503-517. DOI: [10.1016/j.ecolmodel.2006.12.033](https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2006.12.033)
- Lestari, S., Arfiati, D., Masrevaniah, A., & Sholichin, M. (2019). Study of carrying capacity of Karang Mumus River using the QUAL2KW Program. *Int. J. Agric. Environ. Sci.*, 6(6), 67-72. DOI: [10.14445/23942568/IJAES-V6I6P110](https://doi.org/10.14445/23942568/IJAES-V6I6P110)
- Mohammadi, M., Qaderi, K., & Ahmadi, M. M. (2019). Performance evaluation of the water cycle optimizing algorithm for calibration of QUAL2KW Model. *Iran J. Soil. Water. Res.*, 50(4), 911-920 [in Persian]. DOI: [10.22059/IJSWR.2018.252649.667853](https://doi.org/10.22059/IJSWR.2018.252649.667853)

- Mulvaney K. K., Merrill H. N., & Mazzotta, J. M. (2020). Sense of place and water quality: applying sense of place metrics to better understand community impacts of changes in water quality. *Water Qual - Sci Assessments Policy*, DOI: [10.5772/intechopen.91480](https://doi.org/10.5772/intechopen.91480)
- Pelletier, G., & Chapra, S. (2008). QUAL2KW user manual (version 5.1) A modeling framework for simulating river and stream water quality. *Washington*.
- Ranjith, S., Shivapur, A. V., Kumar, P. S. K., Hiremath, C. G., & Dhungana, S. (2019). Utilization of water quality modeling and dissolved oxygen control in river Tungabhadra, Karnataka (India). *OALib. J.*, 6(5), 1–17. DOI: [10.4236/oalib.1105397](https://doi.org/10.4236/oalib.1105397)
- Saily, R., & Setiawan, B. (2021). Determination of carrying and load capacity using QUAL2KW modeling simulation. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, 737(1). DOI: [10.1088/1755-1315/737/1/012022](https://doi.org/10.1088/1755-1315/737/1/012022)
- Salam, M. A., Kabir, M. M., Yee, L. F., Rak, A. E., & Khan, M.S. (2019). Water quality assessment of Perak river. *Malaysia Pollution*, 5(3), 637–48. DOI: [10.22059/poll.2019.274543.570](https://doi.org/10.22059/poll.2019.274543.570)
- Shi, X., Wang, Y., Jiao, J. J., Zhong, J., Wen, H., & Dong, R. (2018). Assessing major factors affecting shallow groundwater geochemical evolution in a highly urbanized coastal area of Shenzhen City, China. *J. Geochemical Explor.*, 184, 17–27. DOI: [10.1016/j.gexplo.2017.10.003](https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2017.10.003)
- Tran, C. N., Yossapol, C., Tantemsapya, N., & Kosa, P. (2022). Water quality simulation and dissolved oxygen change scenarios in lam Takhong river in Thailand. *J. Sustain. Dev. Energy Water Environ. syst.*, 10(1), 1–13. DOI: [10.13044/j.sdewes.d9.0389](https://doi.org/10.13044/j.sdewes.d9.0389)
- Tran, H. D., Le, H.V., Tran, H. D. M., & Nguyen, Q. D. (2020). Forecast on water quality of To Lich river based by scenes of Ha Noi sewerage planning by model QUAL2KW. *Vietnam J. Sci. Technol.*, 58(3A), 75. DOI: [10.15625/2525-2518/58/3A/14269](https://doi.org/10.15625/2525-2518/58/3A/14269)
- Vichotama, R., Haribowo, R., & Prayogo, T. B. (2021). Water quality analysis at Tukad Badung, Denpasar, Bali Using the QUAL2KW program. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 1(1), 40-51. DOI: [10.21776/ub.jtresda.2021.001.01.04](https://doi.org/10.21776/ub.jtresda.2021.001.01.04)
- Zhenyang, Q. (2022). *Evaluations of the environmental effects of controlled tile drainage on watershed and river using the improved SWAT and the QUAL2Kw under current and future climate regimes*. University Ottawa.
- Zolfaghari, G. (2018a). Risk assessment of mercury and lead in fish species from Iranian international wetlands. *MethodsX*, 5, 438–447. DOI: [10.1016/j.mex.2018.05.002](https://doi.org/10.1016/j.mex.2018.05.002)
- Zolfaghari, G., Akhgari Sang Atash, Z., & Sazgar, A. (2018b). Baseline heavy metals in plant species from some industrial and rural areas: Carcinogenic and non-carcinogenic risk assessment. *MethodsX*, 5, 43-60. DOI: [10.1016/j.mex.2018.01.003](https://doi.org/10.1016/j.mex.2018.01.003)
- Zolfaghari, G., Delsooz, M., & Rajaei, S. (2016). Study of mercury pollution in water, sediments, and fish from Hamoon international wetland. *J. Water Wastewater*, 27(5), 25-37 [in Persian].
- Zolfaghari, G., Esmaili Sari, A., Ghasempouri, S. M., Ghorbani, F., Ahmadifard, N., & Shokri, N. (2006). Relationship between age, gender and weight with mercury concentration in different organs of *Chalcalburnus chalcalburnus* from Anzali wetland. *Iran. J. Mar. Sci. Technol.*, 5(3-4), 23-31 [in Persian].
- Zolfaghari, G., Esmaili-Sari, A., & Younesi, H. (2011). Surface modification of ordered nanoporous carbons CMK-3 via a chemical oxidation approach and its application in removal of lead pollution from water. *Proceedings of the 2nd International Conference on Environmental Science and Technology, IPCBEE*, 6, 174-178.
- Zolfaghari, G., & Kargar, M. (2019). Nanofiltration and microfiltration for the removal of chromium, total dissolved solids, and sulfate from water. *MethodsX*, 6, 549–557. DOI: [10.1016/j.mex.2019.03.012](https://doi.org/10.1016/j.mex.2019.03.012)