



## Simulation of quality and pollution of Dez river using QUAL2Kw model

Mohsen Lashani<sup>1</sup> , Saeid Shabanlou<sup>2</sup> , Mohsen Najarchi<sup>3✉</sup> , Mohammad Reza Basiri<sup>4</sup> ,  
Hosein Mazaheri<sup>5</sup> 

<sup>1</sup> Ph. D student of Civil Engineering, Department of Civil Engineering, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran. E-mail: parseyan\_saze@yahoo.com

<sup>2</sup> Associate Professor, Department of Water Engineering, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran. E-mail: saeid.shabanlou@gmail.com

<sup>3</sup> Corresponding Author, Associate Professor, Department of Civil Engineering, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran. E-mail: mohsen.najarchi@iau.ac.ir

<sup>4</sup> Assistant Professor, Department of Textile Engineering, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran. E-mail: mohammad.r.basiri51@gmail.com

<sup>5</sup> Associate Professor, Department of Chemical Engineering, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran. E-mail: Hossein.mazaheri@iau.ac.ir

---

### ABSTRACT

---

The Dez River, as the third largest river in the country, plays an essential role in the economic, social and environmental life of North Khuzestan. Also, it is very important because it supplies water to more than 125 thousand hectares from the Dez plain and the lands downstream of this plain to the place of Bituminous Dam and provides a significant part of the environmental needs of the Karun River. The purpose of this research is to investigate the trend of quality and pollution along the Dez River and evaluate the effects of urban, agricultural and industrial wastewater discharges on the trend of pollution and quality of the Dez River in 131 intervals based on the QUAL2Kw model. In the calibration and validation stages of the model, it was determined that wide parameters such as flow geometry, river hydraulic conditions, water flow rate, aeration coefficients, pollutant entry points, nitrification rate, oxygen demand, etc. in the river are involved in qualitative modeling results. The results showed that QUAL2Kw water quality model is highly accurate in simulating quality parameters and pollution in Dez River. The trend of changes in quality parameters and pollution in the Dez River showed that this river is better in terms of BOD pollution due to the discharge of urban and industrial sewage, in terms of EC pollution due to the discharge of agricultural land drains (mainly sugarcane plan) and in terms of N-NH<sub>4</sub> pollution It is in a critical condition due to urban and industrial sewage and drainage of agricultural lands. Therefore, it is suggested that all the wastewater of Dezful city, fish farming effluent, Haft Tepe complex and Pars paper factory should be treated and then discharged, but regarding agricultural drains, corrective measures such as improvement in the type of irrigation systems, fertilizers, the cultivation pattern of the area, etc., should be done at the source.

**Keywords:** QUAL2Kw, Qualitative simulation, Pollution trends, Dez River

**Article Type:** Research Article

**Article history:** Received: 03 February 2024 Revised: 17 April 2024 Accepted: 05 May 2024 ePublished: 21 June 2024

### 1. Introduction

The Dez River, as the third largest river in the country, plays an essential role in the economic, social and environmental life of North Khuzestan. Also, it is very important because it supplies water to more than 125 thousand hectares from the Dez plain and the lands downstream of this plain to the place of Bituminous Dam and provides a significant part of the environmental needs of the Karun River. The purpose of this research is to investigate the trend of quality and pollution along the Dez River and evaluate the effects of urban, agricultural and industrial wastewater discharges on the trend of pollution and quality of the Dez River in 131 intervals based on the QUAL2Kw model.

---

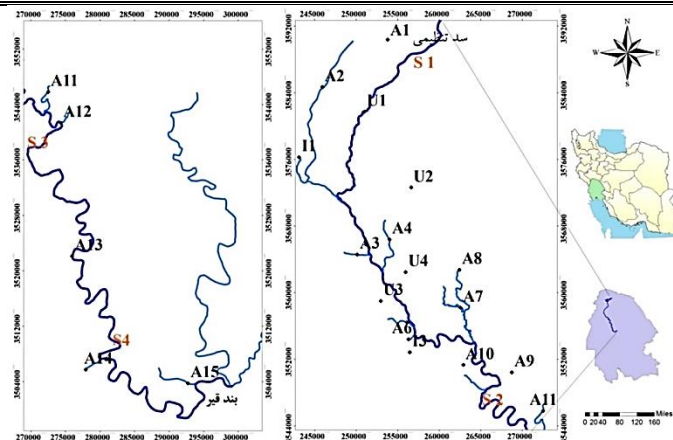


Figure 1. The location of the study area (a- the range of the regulatory dam to Abshirin station b- the range of Harmaleh station to Bamdeh station)

## 2. Methodology

The QUAL2Kw model simulates the river in one dimension (one dimension along the length of the river) along with non-uniform permanent flow and can consider the effect of loading both point and non-point. In this model, in order to determine the concentration of qualitative parameters, the finite difference method is used to numerically solve the displacement-diffusion equation (Chapra et al., 2006). In this research, the QUAL2Kw model was used to simulate the process of pollution and quality in Dez River. This model is able to solve the equations related to the river in both permanent and quasi-dynamic conditions. Also, simulate parameters such as dissolved oxygen, biochemical oxygen demand, temperature, ammonia nitrogen, etc. in the river network. In this model, the qualitative simulation is done based on the river course spacing. Spacing is done according to the hydraulic conditions of the river and the place of discharge of pollutants. Therefore, the distance between the regulatory dam and Bandaghir was divided into 131 intervals with variable lengths. In the calibration and validation stages of the model, it was determined that wide parameters such as flow geometry, river hydraulic conditions, water flow rate, aeration coefficients, pollutant entry points, nitrification rate, oxygen demand, etc. in the river are involved in qualitative modeling results.

## 3. Results and discussion

The results showed that QUAL2Kw water quality model is highly accurate in simulating quality parameters and pollution in Dez River. The trend of changes in quality parameters and pollution in the Dez River showed that this river is better in terms of BOD pollution due to the discharge of urban and industrial sewage, in terms of EC pollution due to the discharge of agricultural land drains (mainly sugarcane plan) and in terms of N-NH<sub>4</sub> pollution It is in a critical condition due to urban and industrial sewage and drainage of agricultural land. Therefore, it is suggested that all sewage of Dezful city, sewage of fish farming, Haft Tepe complex and Pars paper factory be treated and then discharged, but regarding agricultural drains, corrective measures such as improvement in the type of irrigation systems, fertilizers, the cultivation pattern of the area, etc., should be done at the source.

## 4. Conclusions

The construction of a treatment plant as a solution for all polluting sources seems to be expensive and impossible. Therefore, it is suggested that all sewage of Dezful city, sewage of fish farming, Haft Tepe complex and Pars paper factory be treated and then discharged, but regarding agricultural drains, corrective measures such as improvement in the type of irrigation systems, fertilizers, the cultivation pattern of the area, etc., should be done at the source.

## 5. References

Chapra, S., Pelletier, G., & Tao, H. (2006). A Modeling framework for simulating river and stream water quality, Version 2.04: Documentation and user's manual. Civil and Environmental Engineering Dept, Tufts University, Medford, MA. <https://www.semanticscholar.org/paper/>

## 6. Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

**Cite this article:** Lashani, M., Shabanlou, S., Najarchi, M., Basiri, M.R., & Mazaheri, H. (2024). Simulation of quality and pollution of Dez river using QUAL2Kw model, *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 4(2), 1-21. DOI: 10.22126/atwe.2024.10383.1115



## شبیه سازی روند کیفیت و آلودگی رودخانه دز با استفاده از مدل QUAL2Kw

محسن لشنی<sup>۱</sup>، سعید شعبانلو<sup>۲</sup>، محسن نجارچی<sup>۳</sup>، محمدرضا بصیری<sup>۴</sup>، حسین مظاهری<sup>۵</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری مهندسی عمران، گروه مهندسی عمران، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران. رایانامه: parseyan\_saze@yahoo.com  
<sup>۲</sup> دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمانشاه، کرمانشاه، ایران. رایانامه: saeid.shabanlou@gmail.com  
<sup>۳</sup> نویسنده مسئول، دانشیار، گروه مهندسی عمران، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران. رایانامه: mohsen.najarchi@iau.ac.ir  
<sup>۴</sup> استادیار، گروه مهندسی نساجی، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران. رایانامه: mohammad.r.basiri51@gmail.com  
<sup>۵</sup> دانشیار، گروه مهندسی شیمی، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران. رایانامه: hossein.mazaheri@iau.ac.ir

### چکیده

رودخانه دز به عنوان سومین رودخانه پرآب کشور نقش اساسی در حیات اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی شمال خوزستان دارد. همچنین به دلیل تأمین آب بیش از ۱۲۵ هزار هکتار از اراضی دشت دز و اراضی پایین دست این دشت تا محل بندقیبر و تأمین بخش قابل توجهی از نیاز زیست محیطی رودخانه کارون بسیار حائز اهمیت است. هدف از این تحقیق بررسی روند کیفیت و آلودگی در طول رودخانه دز و ارزیابی اثرات تخلیه فاضلاب های شهری، کشاورزی و صنعتی بر روند آلودگی و کیفیت رودخانه دز، در ۱۳۱ بازه بر اساس مدل QUAL2Kw است. در مراحل واسنجی و صحت سنجی مدل مشخص شد، پارامترهای گسترده ای مانند خصوصیات هندسی جریان، شرایط هیدرولیکی رودخانه، میزان جریان آب، ضرایب هوادهی، نقاط ورودی آلاینده ها، نرخ نیتریفیکاسیون، اکسیژن خواهی و غیره در رودخانه در نتایج مدل سازی کیفی دخالت دارند. نتایج نشان داد مدل کیفیت آب QUAL2Kw در شبیه سازی پارامترهای کیفی و آلودگی در رودخانه دز از دقت بالایی برخوردار است. روند تغییرات پارامترهای کیفی و آلودگی در رودخانه دز نشان داد که این رودخانه از نظر آلودگی BOD به دلیل تخلیه فاضلاب های شهری و صنعتی، از نظر آلودگی EC به سبب تخلیه زهکش اراضی کشاورزی (عمدتاً طرح نیشکر) و از نظر آلودگی N- NH4 به علت فاضلاب های شهری، صنعتی و زه آب اراضی کشاورزی در شرایط بحرانی قرار دارد. لذا پیشنهاد می شود تمامی فاضلاب شهر دزفول، پساب پرورش ماهی، مجتمع هفت تپه و کارخانه کاغذسازی پارس تصفیه و سپس تخلیه گردند اما در خصوص زهکش های کشاورزی اقدامات اصلاحی مانند اصلاح در نوع سیستم های آبیاری، کودهای مصرفی، الگوی کشت منطقه و غیره در مبدأ صورت گیرد.

**واژه های کلیدی:** QUAL2Kw، شبیه سازی کیفی، روند آلودگی، رودخانه دز

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

سابقه مقاله: دریافت: ۱۴ بهمن ۱۴۰۲ اصلاح: ۲۹ فروردین ۱۴۰۳ پذیرش: ۱۶ اردیبهشت ۱۴۰۳ چاپ الکترونیکی: ۰۱ تیر ۱۴۰۳

**استناد:** لشنی، م، شعبانلو، س، نجارچی، م، بصیری، م، ر، و مظاهری، ح. (۱۴۰۳). شبیه سازی روند کیفیت و آلودگی رودخانه دز با استفاده از مدل QUAL2Kw، فناوری های پیشرفته در بهره وری آب، (۲)۴، ۲۱-۱، شناسه دیجیتال: 10.22126/atwe.2024.10383.1115



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه رازی

## مقدمه

رودخانه‌ها مهم‌ترین منابع حیاتی تأمین آب دریاها، دریاچه‌ها و در اکثر موارد اصلی‌ترین شریان‌های انتقال و توزیع آب بخش‌های صنعت، کشاورزی و شهری به شمار می‌آیند. نتایج بررسی وضعیت کیفی رودخانه‌های داخل کشور نشان می‌دهد که کیفیت آب رودخانه‌ها پس از عبور از مناطق با کاربری شهری، روستایی، صنعتی و کشاورزی به واسطه‌ی ورود آلاینده‌ها کاهش می‌یابد و این کاهش کیفیت اغلب در فصول خشک که حداقل جریان برقرار است اتفاق می‌افتد.

رودخانه دز به‌عنوان سومین رودخانه پرآب کشور نقشی اساسی در حیات اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی شمال خوزستان دارد. تخلیه پساب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی و طرح نیشکر در مسیر رودخانه حیات رودخانه را بخصوص در مقاطع بحرانی با مشکل مواجه نموده است. همچنین افزایش جمعیت، کاهش آبدی رودخانه‌ها و انتقال آب بین حوضه‌ای اثر مستقیم در تشدید وضعیت آلودگی رودخانه دارد. هدف از این تحقیق شبیه‌سازی وضعیت کیفیت و آلودگی قسمتی از رودخانه دز با استفاده از مدل QUAL2Kw و واسنجی و صحت‌سنجی آن بر اساس داده‌های کیفیت و آلودگی در محل ایستگاه‌های بر روی رودخانه دز است. تعیین نقاط یا بازه‌های بحرانی در طول رودخانه دز از نظر پارامترهای آلودگی و کیفیت از اهداف دیگر این تحقیق است. بر اساس مدل واسنجی شده در رودخانه دز، می‌توان در آینده با توجه به میزان توسعه و تغییرات اقلیمی و تغییر الگوی بهره‌برداری از رودخانه، وضعیت کیفی رودخانه دز را پیش‌بینی نموده و برای بهبود کیفیت آن برنامه‌ریزی نمود.

## مبانی نظری و پیشینه پژوهش

در پی افزایش جمعیت و رقابت در مصرف، تعارض و تضاد در چگونگی بهره‌برداری از رودخانه‌ها رو به فزونی است. لذا برای بهره‌برداری بهینه از این منابع، درک خصوصیات و رفتار طبیعی رودخانه‌ها به‌منظور حفظ سلامت رودخانه‌ها و حیات جامعه بشری امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است (گیلبرت و ماکسول<sup>۱</sup>، ۲۰۱۷، هو و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۶، لی و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۱۶)

مدیریت امروز حوضه‌های آبریز و رودخانه‌ها اقتضا می‌کند که تعادل منطقی و مناسبی بین مصارف منابع آب و توانایی و قابلیت پیش‌بینی بازتاب رودخانه نسبت به تغییرات و اشاره‌ای تحمیلی برقرار شود. نیل به این هدف جز بافهم و درک درستی از وظایف رودخانه و اثرات متغیرهای فیزیکی بر رفتار کلی رودخانه میسر نیست. مدل‌های شبیه‌ساز کیفیت آب ابزاری کارآمد و رایج در امر برنامه‌ریزی و مدیریت کیفی رودخانه‌ها به شمار می‌آیند. از بین مدل‌های شبیه‌ساز موجود، مدل QUAL2Kw به‌طور گسترده‌ای جهت شبیه‌سازی کیفیت آب رودخانه‌ها مورداستفاده قرار گرفته و قابلیت انجام تحلیل عدم قطعیت را داراست (چاپرا و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۰۶).

هاشمی و همکاران (۱۳۹۱) برای ارزیابی کیفیت آب رودخانه کرج، ۱۴ پارامتر کیفی آب را در ۴۲ ایستگاه با استفاده از مدل QUAL2K و روش تحلیل عاملی موردبررسی قراردادند. نتایج نشان داد روش تحلیل عاملی می‌تواند به‌عنوان یک روش مناسب برای تعیین مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر رتبه‌بندی کیفیت آب در ایستگاه‌ها استفاده شود. نجفی و محمود پور (۱۳۹۱) مدل‌سازی کیفی رودخانه قره‌سو را بر اساس آلاینده‌های نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای شهرها، کارخانه‌های صنعتی، اراضی کشاورزی با استفاده از مدل QUAL2K انجام دادند. نتایج نشان داد بحرانی‌ترین بازه، بازه بعد از شهر کرمانشاه است که بیشترین مقدار TN، TP و کمترین مقدار DO را داراست و اعمال سناریوی کاهش بار آلودگی‌های ورودی به رودخانه در اثر احداث تصفیه‌خانه سبب بهبود وضعیت کیفی رودخانه می‌شود.

بیگلری و همکاران (۱۳۹۵) با بررسی شرایط کیفی رودخانه زرینه‌رود با استفاده از مدل QUAL2K به این نتیجه رسیدند که مدل مذکور قابلیت مناسبی در شبیه‌سازی بیش‌تر پارامترهای کیفیت آب رودخانه را دارد و مقادیر TN، TP و DO در شرایط بحرانی از حدود مجاز برای حیات آزیان تجاوز نموده‌اند. هم‌چنین از بین دو سناریوی افزایش جریان سرشاخه و کنترل منابع آلاینده جهت بهبود وضعیت کیفیت آب رودخانه، سناریوی دوم به‌عنوان سناریوی برتر معرفی گردید.

<sup>1</sup> Gilbert and Maxwel

<sup>2</sup> Hu et al

<sup>3</sup> Li et al

<sup>4</sup> Chapra et al

عاشق معلا و حمامی (۱۳۹۳) از مدل کیفیت آب QUAL2K برای شبیه سازی پارامترهای کیفی DO و BOD رودخانه قشلاق کردستان استفاده نمودند. در این پژوهش دو سناریوی تخلیه پساب طبق استانداردهای تخلیه (DO) و BOD به ترتیب ۲ و ۳۰ میلی-گرم بر لیتر (و تخلیه پساب بر اساس توان خود پالایی رودخانه و به شرط حفظ شرایط کیفی مناسب رودخانه اجرا گردید. سناریوی دوم با صرفه اقتصادی ده میلیارد ریالی به عنوان سناریوی برتر انتخاب شد. نتایج نشان داد با استفاده بهینه از توان خود پالایی هر رودخانه می توان استانداردی تعیین کرد که توجیه اقتصادی مناسبی هم برای تخلیه کنندگان داشته باشد.

رفیعی و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۳) در رودخانه گرگر، پارامترهای  $N-NH_4$ ،  $N-NO_3$ ، CBOD و DO را با به کارگیری مدل QUAL2K مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که مدل مذکور با وجود کمبود اطلاعات، ارزیابی قابل قبولی از وضعیت رودخانه ارائه می دهد. نتایج آنالیز حساسیت نشان داد مدل نسبت به دبی رودخانه، دبی منابع نقطه ای، نرخ نیتریفیکاسیون و CBOD حساسیت بیش تری دارد. بررسی کیفیت آب گل آلود رودخانه بستونیا با استفاده از مدل QUAL2K نشان داد که کیفیت آب رودخانه کم تر تحت تأثیر بارش و نقطه ورودی فاضلاب قرار می گیرد (متو و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۱).

ژانگ و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۲) با هدف ارائه مبنایی جهت تصمیم گیری مدیریت آب زیست محیطی، با استفاده از مدل QUAL2K کیفیت رودخانه تایهو چین را مورد تحلیل و بررسی قرار دادند. ظرفیت بار آلودگی آب زیست محیطی پارامترهای BOD،  $NH_3-N$ ، TN و TP به ترتیب ۱۷/۵۱، ۱/۵۲، ۲/۷۴، ۰/۳۷ تن برای است. نتایج نشان داد که برای برآورد اهداف کیفیت آب،  $NH_3-N$ ، TN و TP که بارهای آلودگی رودخانه مورد مطالعه هستند بایستی به ترتیب به میزان ۵۰.۹۶٪، ۴۴.۱۱٪ و ۲۲.۹۲٪ کاهش یابند.

استفاده از مدل ترکیبی HEC-5 و QUAL2K تحت عنوان مدل سازی با رویکرد ابتکاری برای شناسایی اثر جزر و مد بر شبیه سازی کیفیت آب رودخانه، نشان داد که ترکیب این دو مدل برای شبیه سازی کیفیت آب رودخانه های جزر و مدی نتیجه ی قابل قبولی برای شبیه سازی خصوصیات کیفی آب خصوصاً در رودخانه های آلوده خواهد داشت (فن و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۰۹).

محرابی و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۱۵)، با به کارگیری مدل QUAL2K، کیفیت آب رودخانه کین وارس شهر زنجان و پاسخ آن به راهبردهای مدیریت مواد مغذی را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج شبیه سازی نشان داد رودخانه مذکور از مواد مغذی چون نیتروژن و فسفر اشباع شده که می تواند موجب کاهش اکسیژن محلول آب گردد.

سنر و همکاران<sup>۶</sup> (۲۰۱۷) کیفیت آب رودخانه بیوک مندرسی ترکیه (منتهی به دریای مدیترانه) بر اساس هفت متغیر آمونیاک، نیترات، نیتريت، مواد جامد معلق، فسفات، COD و BOD مورد بررسی قرار داد و با توجه به طبقه بندی استاندارد کیفیت آب ترکیه، طبقه بندی کرد. با توجه به نتایج به دست آمده توصیه شد که برای اطمینان از بهبود کیفیت آب رودخانه باید یک نظارت مؤثر بر منابع آلاینده حوضه، ایجاد گردد تا بتواند دولت ترکیه را با پروتکل حمایت از دریای مدیترانه در برابر آلودگی از منابع زمینی تطبیق دهد.

خسروی نیا و همکاران<sup>۷</sup> (۲۰۰۹) به بررسی کیفیت آب حوضه کارون در محدوده ملاتانی-فارسیات پرداختند. پارامترهای DO و BOD در ۱۵ بازه مختلف نمونه برداری و با مدل WASP شبیه سازی شدند. سپس عملیات واسنجی مدل به روش سعی و خطا انجام گردید. نتایج نشان داد که تطابق خوبی بین نتایج مدل و مقادیر اندازه گیری شده وجود دارد. لذا نتیجه گیری کردند که از مدل WASP برای پیش بینی غلظت پارامترهای مذکور در رودخانه کارون می توان استفاده کرد.

چوئرسوان و همکاران<sup>۸</sup> (۲۰۱۳) کیفیت رودخانه آب المتاخونگ پاکستان را با مدل QUAL2K شبیه سازی کردند. در این ۲۵ کیلومتر پساب صنایع نساجی، رستوران ها، هتل ها و پساب فاضلاب خانگی در رودخانه تخلیه می شود. مقایسه مقادیر اندازه گیری شده و پیش بینی مدل QUAL2K، حاکی از کارایی خوب این مدل در شبیه سازی متغیرهای کیفی بود.

عابدی کوپایی و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۰۸) به بررسی امکان آلودگی آب زاینده رود اصفهان و آلودگی برخی از چاه های فلمن به سم دیازینون پرداختند. آب رودخانه زاینده رود در چند ایستگاه مورد بررسی قرار گرفت و از نظر کیفی طبقه بندی گردید.

<sup>1</sup> Rafiee et al

<sup>2</sup> Mathew et al

<sup>3</sup> Zhang et al

<sup>4</sup> Fan et al

<sup>5</sup> Mehrabi et al

<sup>6</sup> Sener et al

<sup>7</sup> Khosravi Nia et al

<sup>8</sup> Chuersuan et al

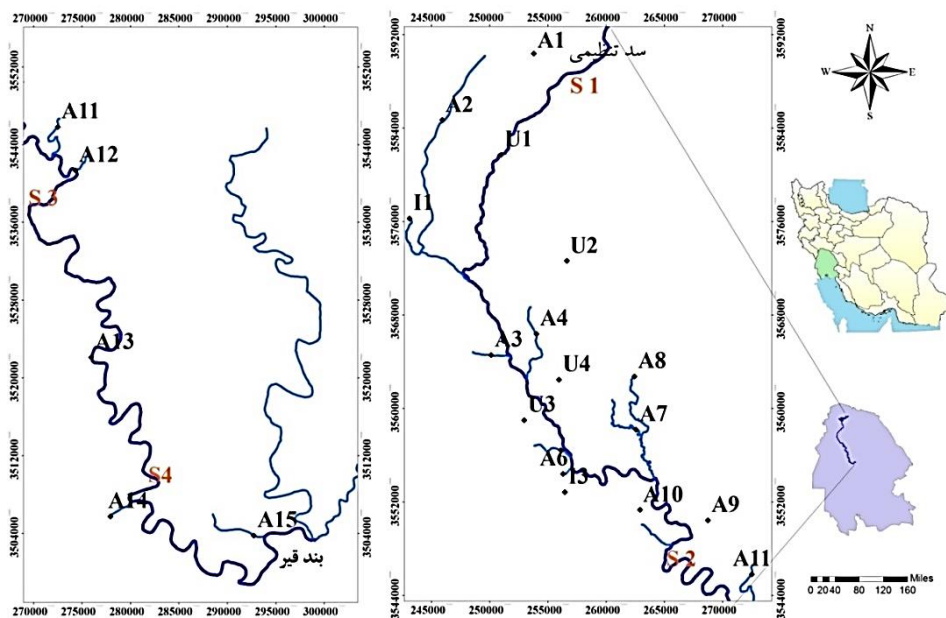
وارکار و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۲۱) یک شبکه پایش کیفیت آب برای شبیه سازی آلودگی های غیر نقطه ای طراحی کردند. این روش با در نظر گرفتن هر دو منبع آلودگی نقطه ای و بازه ای، در تعیین مکان های بهینه و تعداد مکان های پایش که در آن تغییرات فصلی در طول سال های آزمایشی مشهود است، بسیار مفید است.

فن و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۲۳) با ترکیب مدل های GEFIC، QUAL2K و GIS یک رویکرد یکپارچه برای پهنه بندی شاخص کیفیت آب رودخانه پیشنهاد کردند تا بتوانند نقاط بحرانی آلودگی در رودخانه را شناسایی کند و سطوح تصفیه مورد نیاز را پیدا کند.

از دیگر تحقیقات در زمینه موضوع این تحقیق می توان به تحقیقات محمد و همکاران (۲۰۲۳)، عزیز پور و همکاران (۲۰۲۱، ۲۰۲۲)، مزرعه و همکاران (۲۰۲۳، ۲۰۲۴)، رجیبی و شعبانلو (۲۰۱۲)، گرامی مقدم و همکاران (۲۰۱۹)، غریب و همکاران (۲۰۲۰)، شعبانلو (۲۰۱۸)، عظیمی و همکاران (۲۰۱۶)، و علیزاده و همکاران (۲۰۲۱) اشاره کرد.

### روش پژوهش

رودخانه دز بعد از شاخه کارون یکی از بزرگترین و طویل ترین رودخانه های ایران و حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان به شمار می آید که از دوشاخه اصلی به نام سزار و بختیاری تشکیل شده است. رودخانه دز پس از عبور از تنگ پنج و تنگ هفت و تله زنگ و پشت سر گذاشتن دریاچه سد دز، وارد جلگه خوزستان می شود. سپس با گذر از شهر دزفول و طی مسافت پریپچ و خمی به طول تقریبی ۱۹۴ کیلومتر (دزفول - بند قیر)، در فاصله ۴۰ کیلومتری شمال شهرستان اهواز و در محلی به نام بند قیر با رودخانه شطیط و گرگر یکی شده و کارون بزرگ را تشکیل می دهند. طول رودخانه دز از سرچشمه تا محل تلاقی با کارون در حدود ۵۲۰ کیلومتر بوده و حوضه آبریز آن منطقه ای به وسعت ۲۲۵۰۰ کیلومتر مربع را شامل می گردد. رودخانه دز به عنوان یکی از بزرگترین و پرآب ترین رودخانه های ایران به دلیل توسعه اراضی کشاورزی و کارخانه های صنعتی و همچنین مجاورت با شهرها پذیرای پساب های مختلف ناشی از زهکش های کشاورزی و شهری و صنعتی بوده که باعث شده وضعیت کیفیت و آلودگی در برخی از بازه های رودخانه به شدت تحت تأثیر قرار گیرد. به دلیل اهمیت این رودخانه در تأمین بخش وسیعی از مصارف مختلف دشت دز و نقش آن در تأمین نیاز زیست محیطی منطقه برای این تحقیق انتخاب شده است. لذا منطقه مورد مطالعه قسمتی از رودخانه دز در بازه سد تنظیمی دزفول تا محل بند قیر انتخاب شده که در شکل (۱) نشان داده شده است. در این شکل، علامت های اختصاری S، A، U و I به ترتیب نشان دهنده محل ایستگاه های هیدرومتری و محل تخلیه پساب های کشاورزی، شهری و صنعتی است.



<sup>1</sup> Abedi Koupai et al

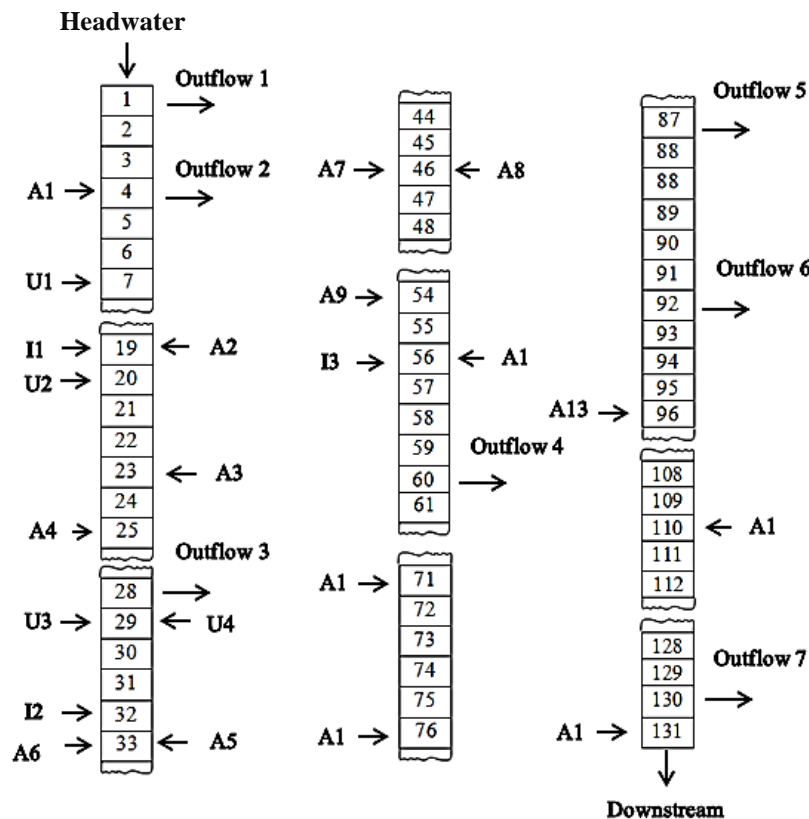
<sup>2</sup> Varekar et al

<sup>3</sup> Fan et al

شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعاتی (الف- بازه سد تنظیمی تا ایستگاه آب شیرین ب- بازه ایستگاه حرمله تا ایستگاه بامدن)

### شبیه سازی کیفیت و آلودگی

مدل QUAL2Kw در سال ۲۰۰۶ توسط چاپرا<sup>۱</sup> و همکاران توسعه یافت که در واقع ویرایش مدرنی از مدل Qual2e است (چاپرا و همکاران، ۲۰۰۶). مدل مذکور آخرین مدل از سری مدل های QUAL است که مورد تأیید سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا<sup>۲</sup> (USEPA) بوده و به طور گسترده ای جهت شبیه سازی کیفیت آب رودخانه ها مورد استفاده قرار گرفته است (کانل و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۰۷). مدل QUAL2Kw رودخانه را به صورت یک بعدی (یک بعد در راستای طول رودخانه) همراه با جریان دائمی غیریکنواخت شبیه سازی می کند و می تواند اثر بارگذاری را هم به صورت نقطه ای و هم غیر نقطه ای در نظر بگیرد. در این مدل به منظور تعیین غلظت پارامترهای کیفی، از روش تفاضل محدود<sup>۴</sup> برای حل عددی معادله جابجایی- پخش<sup>۵</sup> استفاده می شود. در این تحقیق از مدل QUAL2KW برای شبیه سازی روند آلودگی و کیفیت در رودخانه دز استفاده شد. این مدل قادر است معادلات مربوط به رودخانه را هم در شرایط دائمی و هم شبه دینامیکی حل کند. همچنین پارامترهایی چون اکسیژن محلول، نیاز اکسیژن خواهی بیوشیمیایی، دما، نیتروژن آمونیاکی و ... را در شبکه رودخانه شبیه سازی نماید (چاپرا و همکاران، ۲۰۰۶). در این مدل شبیه سازی کیفی بر اساس بازه بندی مسیر رودخانه انجام می شود. بازه بندی، متناسب با شرایط هیدرولیکی رودخانه و محل تخلیه آلاینده ها صورت می گیرد؛ بنابراین حداقل سد تنظیمی تا محل بندگیر به ۱۳۱ بازه با طول های متغیر تقسیم شد. بازه های رودخانه، محل ورود منابع آلاینده نقطه ای و محل برداشت آب از رودخانه در شکل (۲) نشان داده شده است.



<sup>1</sup> Chapra

<sup>2</sup> United States Environmental Protection Agency

<sup>3</sup> Kannel et al

<sup>4</sup> Finite difference

<sup>5</sup> Advection-Diffusion

شكل ۲. بازه بندى رودخانه دز و جانمايى منابع نقطه‌اى ورودى و خروجى

در هر بازه مشخصات هندسى از قبيل شيب طولى كانال، شيب ديواره‌ها، شيب طولى رودخانه، رقوم ارتفاعى كف، عرض كف و غيره در محيط نرم‌افزار Auto CAD 2018 محاسبه و وارد مدل شد. مدل QUAL2Kw با فرض دوزنقه‌اى بودن مسير رودخانه و با استفاده از معادله مانينگ، عمق و سرعت جريان را محاسبه مى‌كند (پلتير و چاپرا<sup>۱</sup>، ۲۰۰۸). بعد از بازه بندى، برخى اطلاعات ديگر موردنياز مدل نظير ضريب مانينگ با توجه به جنس زمين منطقه، بازديدهاى ميدانى و اطلاعات مربوط به مقاطع رودخانه‌اى در حدود ۰/۰۳۳ انتخاب شد. منابع برداشت نقطه‌اى از رودخانه دز نيز در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱. منابع برداشت نقطه‌اى از رودخانه دز

فاصله تا انتهاى رودخانه (km)	برداشت آب	معرف نقطه برداشت	رديف
۱۹۳/۵	كانال سيبلى	Outflow 1	۱
۱۸۸	آبگير شرقى و غربى	Outflow 2	۲
۱۵۵	هفت تپه	Outflow 3	۳
۱۲۱	مياناب	Outflow 4	۴
۸۰	امام خمينى	Outflow 5	۵
۷۲	شعيبه	Outflow 6	۶
۸	دهخدا	Outflow 7	۷

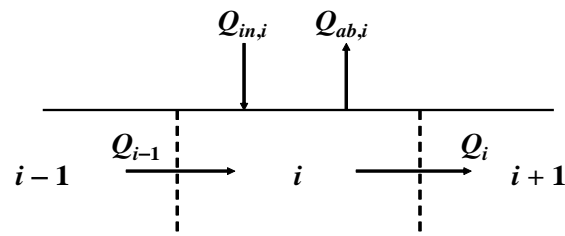
معادلات حاكم بر مدل سازى

رابطه بيلان جريان در مدل QUAL2Kw

در طول رودخانه، با فرض اختلاط كامل، براى هر المان موازنه جريان در حالت پايدار طبق رابطه زير صورت مى‌گيرد (چاپرا و همكاران، ۲۰۰۶):

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

كه در آن  $Q_i$  ميزان جريان خروجى از بازه  $i$ ،  $Q_{i-1}$  ميزان جريان خروجى از بازه  $i-1$ ،  $Q_{in,i}$  جريان ورودى از تمامى منابع نقطه‌اى و غير نقطه‌اى به بازه  $i$  و  $Q_{ab,i}$  جريان خروجى از تمامى منابع نقطه‌اى و غير نقطه‌اى از بازه  $i$  است. شكل (۳) شماتيك بيلان جريان را نشان مى‌دهد.



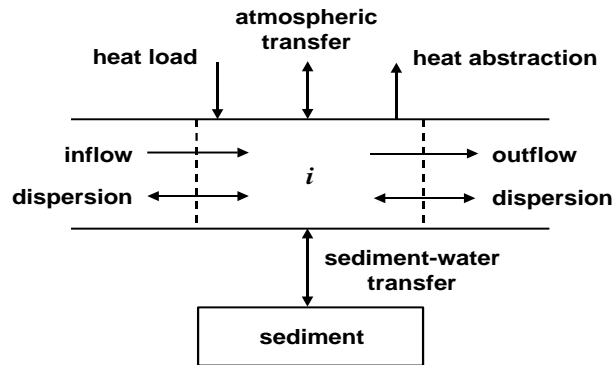
شكل ۳. بيلان جريان براى بازه  $i$  ام از رودخانه

<sup>1</sup> Pelletier r and Chapra



### رابطه بیلان دما در مدل QUAL2Kw

یکی از پارامترهای مهم در شبیه سازی، میزان درجه حرارت در هر نقطه از رودخانه است. تغییرات درجه حرارت بر کیفیت آب رودخانه، میزان اکسیژن محلول، نرخ کاهش BOD و... تأثیرگذار است. عواملی که در تعیین میزان درجه حرارت مؤثرند عبارتند از: دمای اولیه آب رودخانه، دمای هوا، دمای سطح زمین و بستر رودخانه، دمای منابع ورودی نقطه‌ای یا غیر نقطه‌ای ورودی به رودخانه و غیره. عوامل مؤثر بر درجه حرارت و چگونگی موازنه‌ی آن برای بازه  $\Delta t$  در شکل (۴) نشان داده شده است.



شکل ۴. بیلان دما برای بازه  $\Delta t$  ام از رودخانه

همچنین موازنه گرما در هر بازه از رابطه (۲) محاسبه می‌گردد (چاپرا و همکاران، ۲۰۰۶):

$$\frac{dT_i}{dt} = \frac{Q_{i-1}}{V_i} T_{i-1} - \frac{Q_i}{V_i} T_i - \frac{Q_{ab,i}}{V_i} T_i + \frac{E'_{i-1}}{V_i} (T_{i-1} - T_i) + \frac{E'_i}{V_i} (T_{i+1} - T_i) + \frac{W_{h,i}}{\rho_w C_{pw} V_i} \left( \frac{m^3}{10^6 cm^3} \right) + \frac{J_{h,i}}{\rho_w C_{pw} H_i} \left( \frac{m}{100cm} \right) + \frac{J_{s,i}}{\rho_w C_{pw} H_i} \left( \frac{m}{100cm} \right) \quad (2)$$

در این رابطه:

$Q$ : دبی ( $m^3/day$ ),  $T$ : درجه حرارت آب ( $^{\circ}C$ ),  $t$ : زمان ( $day$ ),  $V_i$ : حجم آب ( $m^3$ ),  $E'$ : ضریب پخشیدگی حجمی بین بازه  $i$  و  $i+1$   
 $W_{h,i}$ : مقدار خالص حرارت دریافت شده از منابع نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای به بازه  $i$  ام ( $cal/day$ ),  $\rho_w$ : چگالی آب ( $gr/cm^3$ ),  $C_{pw}$ : گرمای ویژه آب ( $cal/gr^{\circ}C$ ),  $J_{h,i}$ : شار حرارت بین بازه  $i$  ام و هوا ( $cal/cm^2.day$ ),  $J_{s,i}$ : شار حرارت بین آب و رسوب ( $cal/cm^2.day$ ),  $H_i$ : عمق متوسط آب در بازه  $i$  ام در رودخانه ( $m$ ) است.

### رابطه بیلان جرم در مدل QUAL2Kw

یکی از اصول پایه در فرمول بندی مدل های کیفی آب، اصل تعادل جرم است. در واقع معادله اصلی که مدل مذکور به حل آن می پردازد، معادله جابجایی- پخش یک بعدی است که برای تمامی متغیرها به غیر از جلبک کف، از رابطه (۳) محاسبه می شود:

$$\frac{dc_i}{dt} = \frac{Q_{i-1}}{V_i} c_{i-1} - \frac{Q_i}{V_i} c_i - \frac{Q_{ab,i}}{V_i} c_i + \frac{E'_{i-1}}{V_i} (c_{i-1} - c_i) + \frac{E'_i}{V_i} (c_{i+1} - c_i) + \frac{W_i}{V_i} + S_i + \frac{E'_{hyp,i}}{V_i} (c_{2,i} - c_i) \quad (3)$$

$W_i$  بار وارده آلاینده به شاخه ( $g/day$ ),  $S_i$  منابع ورود و خروج آلاینده ( $g/m^3/day$ ),  $C_i$ : غلظت جزء کیفی در آب رودخانه و  $c_{2,i}$  غلظت جزء کیفی در منطقه رسوب های پرهیئیک است. سایر اجزاء در روابط قبل، تعریف شده اند لذا از تکرار آنها خودداری می شود.

### معرفی منابع آلاینده عمده رودخانه دز و پارامترهای شبیه‌سازی شده

رودخانه‌ها به‌عنوان یکی از منابع آب‌های سطحی قادرند مواد آلاینده‌ای که به‌صورت تصفیه‌شده یا نشده وارد آن‌ها می‌شوند را پایش کنند. فاضلاب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی با ویژگی‌های کیفی متفاوت، از جمله مهم‌ترین منابع آلاینده‌ای هستند که همواره کیفیت آب رودخانه را تهدید می‌کنند. اگر مقادیر غلظت و میزان تخلیه فاضلاب‌های ورودی به رودخانه‌ها از حد معین و استاندارد مجاور فراتر رود، آب سطحی قادر به تصفیه آن نخواهد بود و تهدیدهای جدی‌تری را برای اکوسیستم به بار خواهد آورد. در ذیل به معرفی انواع این منابع آلاینده پرداخته شده است:

الف) آلودگی‌های ناشی از فاضلاب‌های شهری

فاضلاب‌های شهری با توجه به ویژگی‌های فرهنگی، عادات غذایی، کیفیت آب مصرفی و همچنین شرایط آب و هوایی و فرآیند تصفیه حاوی مقادیر بالای BOD و COD، عناصر غذایی (N) و میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا (باکتریایی و انگلی) آب می‌باشند. این فاضلاب‌ها شامل فاضلاب انسانی و مصارف خانگی و اماکن عمومی، حمام، بیمارستان‌ها، مؤسسات و ادارات و همچنین رواناب ناشی از شستشوی سطح معابر و خیابان‌ها بر اثر بارندگی می‌باشند که در بیشتر موارد مستقیماً و بدون تصفیه وارد آب رودخانه می‌شوند. منابع آلاینده شهری عمده در محدوده مطالعه شامل فاضلاب شهرهای دزفول، صفی‌آباد، حر و میانرود است که در حاشیه رودخانه دز واقع شده‌اند و فاضلاب خود را به شاخه دز تخلیه می‌کنند. دفع فاضلاب مابقی شهرک‌ها و روستاهای دشت از یا طریق سیستم چاه جذبی و سپتیک انجام می‌شود و یا به شاخه‌های فرعی رودخانه (مانند بالارود و کهنک) تخلیه می‌گردد.

ب) زه آب‌های کشاورزی

توسعه کشاورزی و لزوم تهیه مواد غذایی بر اثر افزایش جمعیت مستلزم آبیاری وسیع است. لذا پس از آبیاری مقادیر زیادی زه‌آب سطحی و یا زیرزمینی از مزرعه خارج می‌شود. زه آب‌های کشاورزی وابسته به کیفیت آب مصرفی، نوع و راندمان سامانه آبیاری، نوع سامانه زهکشی، میزان مصرف نهاده‌های کشاورزی، نوع و ویژگی‌های خاک و همچنین شرایط اقلیمی منطقه است. مشخصه اصلی زه آب‌های کشاورزی دارا بودن EC بالا، وجود عناصر مغذی (N و P) در غلظتی قابل توجه و همچنین وجود بقایای سموم و آفت‌کش‌ها و در درجه‌های کم‌تر، عوامل میکروبی است. اطلاعات مربوط به کیفیت و آلاینده‌های کشاورزی که در رودخانه دز تخلیه می‌شوند از آزمایشگاه امور آب سازمان آب و برق خوزستان اخذ شد. بر اساس این اطلاعات، زه آب اراضی کشاورزی دشت دز شرقی و غربی، پساب اراضی نیشکر هفت‌تپه، نیشکر میاناب، نیشکر امام خمینی، نیشکر شعبیه و بخشی از پساب نیشکر کارون که بخش وسیعی از اراضی منطقه را دربر دارند، توسط ۱۵ زهکش ب صورت نقطه-ای وارد رودخانه می‌شود.

ج) فاضلاب‌های صنعتی و پرورش ماهی

فاضلاب‌های صنعتی با دامنه تغییرات کیفی وسیع، نقش مهمی در آلاینده‌های منابع آب دارند. مصرف آب در اغلب صنایع زیاد است به طوری که کارخانه‌های مختلف نظیر مجتمع هفت‌تپه، کاغذسازی پارس و پرورش ماهی آن‌هم در نزدیکی منابع آب، از یک‌سو با بهره‌برداری از آب رودخانه و از سوی دیگر با برگشت آب آلوده به منبع آبی مقادیر زیادی BOD و COD را به رودخانه دز تخلیه می‌نمایند. ته‌نشینی مقادیر زیادی مواد جامد معلق در رودخانه و افزایش تیرگی و کدورت آب و همچنین افزایش املاح و مواد شیمیایی و سمی و روغنی و نفتی باعث تغییر در طعم، بو، رنگ آب می‌گردند. در جدول (۲) این آلاینده‌ها به تفکیک معرفی شده‌اند.

جدول ۲. منابع آلاینده نقطه‌ای ورودی به رودخانه دز (منبع: سازمان آب و برق خوزستان)

فرم آلاینده ورودی	معرف آلاینده	منبع آلاینده‌گی	فاصله تا انتهای رودخانه (km)
	A1	لور	۱۸۹
	A2	سبز آب	۱۷۰/۲۳
زهکش کشاورزی	A3	بنه حسن	۱۶۲/۳۶
	A4	ساغری	۱۶۰/۵۲
	A5	هفت‌تپه (۶)	۱۴۹/۴۳

۱۴۹	هفت تپه (۸)	A6	
۱۳۸/۴۱	سلیمه	A7	
۱۳۸	عجیرب	A8	
۱۳۰/۵	تاپ درین	A9	
۱۲۸/۵	عتیج	A10	
۱۰۹/۷۷	کهنک- لوره	A11	
۱۰۴/۹	کارون	A12	
۶۶/۲	میانب	A13	
۳۹	خارور	A14	
۶	شعیبه	A15	
۱۸۵/۱	دزفول	U1	
۱۶۸	صفی آباد	U2	فاضلاب شهری
۱۵۴/۱	حر	U3	
۱۵۳/۲	میانرود	U4	
۱۷۰/۵	پرورش ماهی	I1	
۱۵۰	مجموع کارخانه های هفت تپه	I2	فاضلاب صنعتی
۱۲۷/۵	کاغذسازی پارس	I3	

پارامترهای شبیه سازی شده شامل دما، هدایت الکتریکی آب (EC)، PH، اکسیژن محلول (DO)، اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی (BOD)، نیتروژن نیتراتی (N-NO<sub>3</sub>) و نیتروژن آمونیاکی (N-NH<sub>4</sub>) است. میانگین مقدار پارامترهای مذکور برای تمامی منابع آلاینده تخلیه شده به رودخانه دز طی دوره آماری در جدول (۳) آورده شده است.

جدول ۳. میانگین پارامترهای شبیه سازی شده منابع نقطه ای ورودی به رودخانه دز در تیرماه طی دوره آماری (۹۳-۸۷) (منبع: سازمان آب و برق خوزستان)

منبع آلاینده	دبی	T	EC	pH	DO	Fast BOD	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>
	m <sup>3</sup> /s	°C	umhos	-	mg/L	mgO <sub>2</sub> /L	ugN/L	ugN/L
لور	۱/۳	۱۶	۶۹۷	۷/۸	۸/۵	۳/۸۶	۱۶۳۸	۴۰۰
سبز آب	۳	۲۴	۷۸۷	۷/۷	۸/۱	۴/۲	۲۷۴۵	۵۵۷
بنه حسن	۱/۳	۲۶	۷۷۸	۷/۸	۸/۷	۳/۲	۱۶۸۳	۲۳۹
ساغری	۵/۵	۲۳	۷۰۸	۷/۴	۷/۶	۳/۷	۲۵۹۶	۶۶۹
هفت تپه (۶)	۱/۳	۲۶	۱۲۸۱	۷/۶	۷/۶	۲/۸	۲۲۳۰	۱۲۴
هفت تپه (۸)	۱/۵	۲۵	۱۵۴۵	۷/۵	۶/۰۶	۱/۷	۱۹۲۰	۶۵۰
سلیمه	۴/۲	۲۴	۷۴۷	۷/۵	۶	۲/۷	۲۵۲۴	۶۶۰
عجیرب	۱۰/۰۵	۲۴	۷۸۹	۷/۳	۶/۶	۲/۹	۴۶۹۰	۶۶۰
تاپ درین	۱/۲	۲۶	۸۸۸	۷/۵	۷/۴	۴	۳۸۸۴	۱۵۸
عتیج	۲/۲۵	۲۵	۱۲۴۲	۷/۷	۶/۸۶	۳	۱۹۲۰	۷۳۸

كهنك- لوره	۱۹/۳	۲۵	۲۶۰۸	۷/۷	۶/۷۱	۴/۴۵	۳۸۶۴	۸۲۳
كارون	۱۰	۲۶	۳۰۸۰	۷/۸	۷/۷	۳/۹	۱۷۶۵	۸۲۳
مياناب	۳/۵	۲۹	۳۳۱۰	۷/۵	۳/۱۴	۲/۸۶	۲۱۸۰	۵۵۷
خارور	۲/۵	۳۱	۴۹۵۲	۷/۹	۳/۴۹	۲/۰۳	۲۹۴۰	۸۵۷
شعبييه	۱۱	۲۷	۵۰۲۰	۷/۸	۸/۵۸	۴/۹۸	۲۶۵۰	۱۱۵۰
دزفول	۲/۴۴	۲۸	۱۷۵۰	۷/۴	۱	۱۱۳/۵	۱۷۵۰	۱۴۶۶۵
صفى آباد	۰/۰۴	۲۴	۱۷۵۰	۷/۴	۵	۲۰/۸	۳۱۶	۳۰۴۴
حر	۰/۰۴	۲۴	۱۷۵۰	۷/۴	۵	۲۳/۸	۳۶۲	۳۴۵۶
ميانرود	۰/۰۵	۲۴	۱۷۵۰	۷/۴	۵	۲۳/۸	۳۶۲	۳۴۵۶
پرورش ماهى	۷/۲	۲۴	۱۷۰۰	۷	۰/۹۷	۲۲	۴۶۸۸	۳۵۰
كارخانه هفت تپه	۱/۸	۲۶	۱۸۰۰	۶/۹	۴	۱۱۴	۴۴۷	۱۲۴
كاغذ پارس	۰/۶۳	۲۸/۵	۱۴۵۰	۶/۸	۱	۲۵۰	۲۲۶۶	۱۳۰۰

#### كيفيت آب رودخانه ها

در جدول (۴) غلظت متغيرهاى كيفى آب رودخانه در چهار گروه مختلف آورده شده است. در اين دسته بندى، گروه يك (1A، 1B) نشانگر كيفيت مناسب آبي است كه براى كلييه کاربردهاى عمومى مناسب است و گروه چهار بدترين كيفيت آب را نشان مى دهد كه براى اغلب کاربردها نامناسب است. با توجه به شرايط اقليمي و اقتصادى ايران، مى توان كيفيت آب گروه ۲ را براى اغلب رودخانه ها توصيه نمود (كارآموز و كراچيان، ۱۳۹۳). در اين تحقيق، استاندارد منتخب با توجه به استاندارد ملي ايران و گروه هاى 1A و 1B انتخاب شد.

جدول ۴. نمونه اى از توصيه هاى موجود براى كيفيت آب رودخانه ها (كرنكل و نواتنى)<sup>۱</sup>

پارامتر	واحد سنجش	گروه هاى مختلف				استاندارد	استاندارد منتخب	
		1A	1B	2	3	4		ملى
دما	°C	<=۲۰	۲۰-۲۲	۲۲-۲۵	۲۵-۳۰	> ۳۰	< ۲۱	1B
PH	-	۶/۵-۸/۵	۶/۵-۸/۵	۶/۵-۸/۵	۵/۵-۹/۵	< ۵/۵ يا > ۹/۵	۷/۵	1B
EC	umhos	<=۴۰۰	۴۰۰-۷۵۰	۷۵۰-۱۵۰۰	۱۵۰۰-۳۰۰۰	> ۳۰۰۰	< ۵۰۰	استاندارد ملى
DO	mg/l	> ۷	۵-۷	۳-۵	-	< ۳	> ۷	1A
BOD <sub>5</sub>	mg/l	<=۳	۳-۵	۵-۱۰	۱۰-۲۵	> ۲۵	< ۱۰	2
NO <sub>3</sub>	mg/l	-	<=۴۴	-	۴۴-۱۰۰	> ۱۰۰	< ۴۴	استاندارد ملى
NH <sub>4</sub>	mg/l	<=۰/۱	۰/۱-۰/۵	۰/۵-۲	۲-۸	> ۸	< ۰/۵	1B

#### واسنجى مدل

در مرحله واسنجى پس از ورود اطلاعات هيدروليكي، هواشناسى و كيفى، مدل براى چهار سال آمارى، تيرماه (فصول كم آبي) سال ۸۷ تا ۹۰ اجرا شد و سپس مقادير محاسباتى توسط مدل با مقادير مشاهداتى مقايسه گرديد. با توجه به وجود برخى اختلاف مقادير لازم است تا مدل

<sup>1</sup> Krenkel and Novotny

واسنجی گردد. به عبارت دیگر هدف از واسنجی، حداقل کردن اختلاف بین خروجی پیش‌بینی شده توسط مدل و داده‌های مشاهداتی است و این کار ممکن است به وسیله اندازه‌گیری دقیق پارامترها و یا به وسیله روش‌های بهینه‌سازی انجام شود. معمولاً اختلافاتی میان شکل خروجی مدل و فیزیک سیستم واقعی مورد مطالعه وجود دارد که لازم است با تغییر و تخمین برخی پارامترها و ضرایب، دقت مقادیر حاصل از مدل را افزایش و برازش خوبی بین خروجی مدل و مشاهدات ثبت شده ایجاد نمود. ایده آل، آن است که مدل تا حد امکان واقعیت را منعکس کند. به طور معمول دو روش عمومی واسنجی که در اکثر مدل‌ها بکار می‌رود به شرح زیر است.

۱- واسنجی مدل به وسیله آزمون و خطا (روش دستی)

۲- واسنجی مدل به صورت خودکار (سیستمی)

در روش اول، کاربر تمام پارامترهایی را که می‌تواند بر اساس مشاهدات فیزیکی انجام دهد وارد کرده و تخمینی از پارامترهای ناشناخته را به عنوان برآورد اولیه انجام می‌دهد. سپس مدل اجرا می‌شود و خروجی آن با مقادیر مشاهده شده مقایسه می‌گردد. این کار تا بهترین تطبیق این دو خروجی ادامه می‌یابد. این روش در مدل QUAL2Kw توسط تنظیم پارامترهای مختلف در کاربرگ Rates انجام می‌گیرد. پس از تغییرات دستی پارامترها و ضرایب مدل به صورت سعی و خطا و اجرای مکرر مدل ادامه می‌یابد، نهایتاً پس از نزدیک شدن محاسبات به مشاهدات مقادیر نهایی پارامترهای واسنجی به عنوان بهترین مقادیر در مرحله واسنجی پذیرفته می‌شوند.

در روش دوم، مدل QUAL2Kw با استفاده از روابط آزمون Fitness، فاصله نتایج مشاهداتی و نتایج محاسباتی را حداقل می‌نماید که رابطه میانگین مربعات خطا (RMSE) جزء کاربردی‌ترین روابط برای این برازش است (پلیتیر و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۵). آنگاه از نتیجه این برازش در الگوریتم ژنتیک برای کالیبراسیون خودکار مدل استفاده می‌شود. الگوریتم ژنتیک یکی از تکنیک‌های مقایسه‌ای برای فرآیندهای انتخاب به صورت تکاملی و تدریجی است (گلدبرگ<sup>۲</sup>، ۱۹۸۹). در این تحقیق از روش واسنجی دستی استفاده شد، بدین صورت که برای داده‌های هر سال واسنجی ابتدا به صورت جداگانه انجام و در نهایت ضرایب واسنجی که برای تمامی چهار سال مذکور مشترک است، به دست آمد.

### صحت‌سنجی مدل

در مرحله صحت‌سنجی با در اختیار داشتن یک یا چند سری دیگر از داده‌های اندازه‌گیری شده و با توجه به تخمین پارامترها و ضرایب به دست آمده در مرحله واسنجی و بدون تغییر آن‌ها مدل را بار دیگر با سری جدید اطلاعات اجرا می‌شود تا میزان نزدیکی و خطا میان محاسبات و مشاهدات اندازه‌گیری گردد. چنانچه واسنجی پارامترهای مدل به خوبی انجام شده باشد در مرحله صحت‌سنجی مدل پاسخگوی هرگونه تغییر در مقدار پارامترهای ورودی به مدل خواهد بود.

صحت‌سنجی مدل کیفی برای تیرماه سال‌های ۹۱ تا ۹۳ اجرا شد و برای ارزیابی هر یک از پارامترهای شبیه‌سازی شده، از ضرایب همبستگی (r)، مجذور میانگین مربعات خطا نرمال شده (NRMSE) و پارامتر نش (NASH) استفاده گردید.

$$r = \frac{\sum (Y_m - \bar{Y}_m)(Y_p - \bar{Y}_p)}{\sqrt{\sum (Y_m - \bar{Y}_m)^2 \sum (Y_p - \bar{Y}_p)^2}} \quad (4)$$

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (Y_m - Y_p)^2}}{X_{max} - X_{min}} \quad (5)$$

$$NASH = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (Y_m - Y_p)^2}{\sum_{t=1}^n (Y_m - \bar{Y}_p)^2} \quad (6)$$

که در آن  $Y_m$  مقدار مشاهداتی،  $\bar{Y}_m$  میانگین مقادیر مشاهداتی،  $Y_p$  مقدار پیش‌بینی شده،  $\bar{Y}_p$  میانگین مقادیر پیش‌بینی شده،  $X_{max}$  و  $X_{min}$  به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار مشاهداتی است. در پارامترهای شبیه‌سازی شده هرچه میزان ضریب همبستگی و آماره نش به یک و مجذور میانگین مربعات خطا نرمال شده به صفر نزدیک‌تر باشد، نتایج مدل از اطمینان بالاتری برخوردار خواهد بود.

<sup>1</sup> Pelletier et al

<sup>2</sup> Goldberg

### تحليل حساسيت مدل

تحليل حساسيت مدل برای اينکه پارامترهاى كیفى كه مدل QUAL2Kw به آنها حساسيت بيشتري دارد مشخص شود انجام شد. اين آناليز برای ۷ پارامتر و بر اساس ميزان حساسيت چند پارامترها به تغييرات اكسيژن محلول سنجيده شد برای اين كار با افزايش يا كاهش ۲۰ درصدی اكسيژن و ثابت نگه داشتن ديگر پارامترها ميزان حساسيت مدل بر اساس تغييرات پارامترهاى كیفى شبیه سازی شده سنجيده شد.

### يافته ها

مدل QUAL2Kw برای پارامترهاى كیفى و آلودگى شامل دما، PH، هدايت الكتريكى (EC)، اكسيژن محلول (DO)، نياز اكسيژن خواهى بيولوژيكي (BOD)، نيتروژن نيتراتى (N-NO<sub>3</sub>) و نيتروژن آمونياكى (N-NH<sub>4</sub>) و اسنجى و صحت سنجى شد. بدین صورت كه ابتدا تمامی داده هاى هيدروليكي، هواشناسى و كیفى وارد مدل شد. سپس مدل برای تيرماه سال هاى ۸۷ تا ۹۰ و اسنجى شد. ضرايب و اسنجى در هر بار اجراى مدل تغيير داده شدند تا آنجا كه خروجى مدل با داده هاى مشاهداتى در ۵ ايستگاه پايش كیفى بسيار نزديك گرديد. در مرحله صحت سنجى، مدل با استفاده از سرى دوم داده هاى مشاهداتى (تيرماه سال هاى ۹۱ تا ۹۳) و بدون تغيير دادن ضرايب و اسنجى شده مجدداً اجرا گرديد. اين ضرايب كه به صورت دستى تغيير داده می شد ضرايب نهايى در نظر گرفته شدند كه در جدول (۵) نشان داده شده اند.

جدول ۵. ضرايب و اسنجى مدل كیفى QUAL2Kw در رودخانه دز

پارامتر	مقدار	واحد	حد بالا	حد پايين
ISS Settling velocity	0.2	mg/day	0	2
Fast CBOD Oxidation rate	0.05	1/day	0	5
Organic N Settling velocity	0.025	mg/day	0	2
Organic N Hydrolysis	0.05	1/day	0	5
Ammonium Nitrification	1.25	1/day	0	10
Nitrate Denitrification	0.6	1/day	0	2
Sed denitrification transfer coeff	0.2	mg/day	0	1

جدول (۶)، نتايج حاصل از صحت سنجى، بر اساس آماره هاى ضريب همبستگى، مجذور ميانگين مربعات خطا نرمال شده و آماره نش را نشان می دهد. بر اساس پارامترهاى ذكر شده، هر چه مقدار آماره هاى r و Nash به يك و NRMSE به صفر نزديك تر باشد، مدل دقت بيشتري خواهد داشت.

جدول ۶. مقدار آماره هاى آزمون در مرحله صحت سنجى

پارامترها	دما	PH	EC	DO	Fast CBOD	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>
r	۰/۹۷	۰/۹۹	۰/۹۸	۱	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۳
NRMSE	۰/۰۹	۰/۳	۰/۱	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۱۱	۰/۲

NASH      ۰/۹۴      ۰/۹۵      ۰/۹۳      ۰/۹۹      ۰/۹۵      ۰/۹۳      ۰/۹۳

بر اساس آنچه گفته شد و اعداد جدول فوق، می توان نتیجه گرفت که مدل کیفیت آب QUAL2Kw در شبیه سازی پارامترهای کیفی و آلودگی برای رودخانه دز، از دقت بالایی برخوردار است.

### نتایج تحلیل حساسیت مدل QUAL2Kw

در جدول (۷) پارامترهای کیفی که مدل QUAL2Kw به آن ها حساسیت بیشتری دارد مشخص گردیده است. این آنالیز بر اساس میزان حساسیت چند پارامترها به تغییرات اکسیژن محلول سنجدیده شد. این آنالیز برای هفت پارامتر انجام گردید که از این میان با افزایش یا کاهش ۲۰ درصدی اکسیژن و ثابت نگه داشتن دیگر پارامترها میزان حساسیت مدل سنجدیده شد.

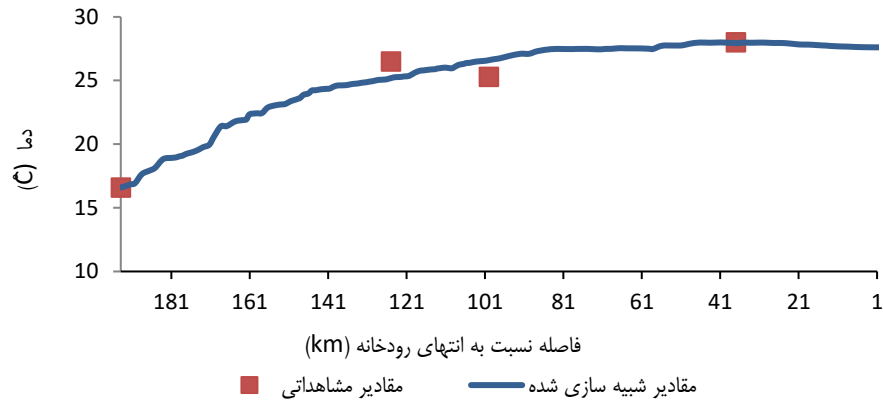
جدول ۷. تحلیل حساسیت مدل کیفی QUAL2Kw برای رودخانه دز

PARAMETER	Description	DO Change (%)	
		+20% Parameter	-20% Parameter
Q	River flow	2.89	-3.39
q	Point source flow	-2.1	2.63
$k_{dc}$	Fast CBOD oxidation rate	-0.54	1.75
$k_{na}$	Nitrification rate	-1.24	1.6
n	Manning coefficient	-0.45	0.91
CBOD	Point sources CBOD	-0.72	0.78
$k_{dn}$	Denitrification rate	0.67	-0.6

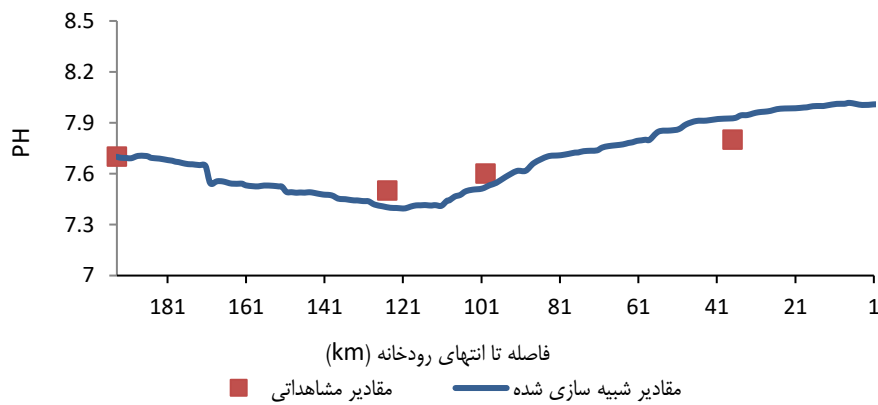
مشخص شد که مدل بیشترین حساسیت را به میزان جریان، نقاط ورود منابع آلودگی، نیاز اکسیژن بیولوژیکی و سرعت نیتریفیکاسیون داراست.

### نتایج حاصل از شبیه سازی کمی-کیفی

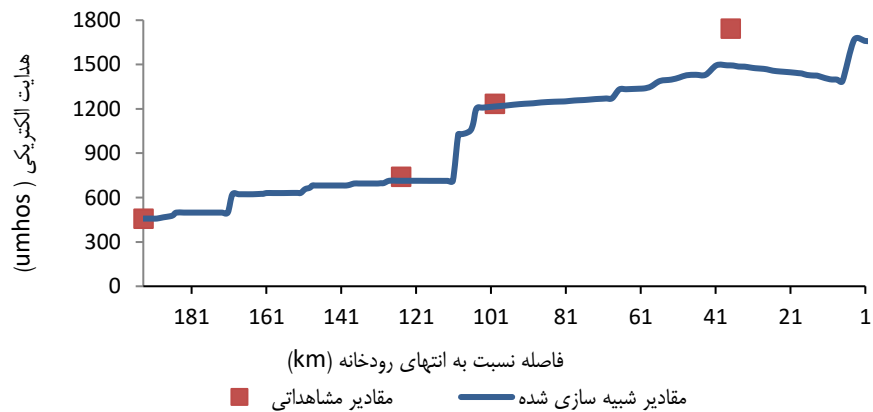
با استفاده از ضرایب واسنجی شده می توان برای مدل سازی کیفی رودخانه دز از هر سری داده های تخمینی مربوط به منابع آلاینده ورودی به رودخانه در هر زمانی استفاده نموده و تغییرات کیفیت و آلودگی رودخانه را در هر نقطه از آن برای آینده پیش بینی کرد. نتایج حاصل از اجرای مدل QUAL2Kw، برای پارامترهای کیفی در طول رودخانه دز، در شکل های (۵) تا (۷) نشان داده شده است. از سرشاخه به سمت انتهای رودخانه، به ترتیب از مقادیر ثبت شده در ایستگاه های دزفول، آب شیرین، حرمله و بام دژ به عنوان مقادیر مشاهداتی استفاده گردید همان طور که از نمودارها مشخص است، بین مقادیر شبیه سازی شده توسط مدل QUAL2Kw و مقادیر مشاهداتی در ایستگاه های پایش کیفی، اختلاف ناچیزی وجود دارد. به دلیل تخلیه منابع آلاینده نقطه ای با دماهای متفاوت، میزان دمای آب انتهای رودخانه نسبت به سرشاخه افزایش یافته است. مقدار PH نیز بین بازه ۸/۸-۷ تغییر می کند که با توجه به استاندارد کیفیت آب رودخانه ها قابل قبول است. پارامتر هدایت الکتریکی در طول مسیر رودخانه بخصوص در دونقطه تخلیه شاخه کهنک به رودخانه دز و تخلیه زه آب اراضی طرح نیشکر امام خمینی و شعیبیه توسط زهکش شعیبیه در نزدیکی بند قیر سیر صعودی دارد.



شکل ۵. شبیه سازی دما در طول رودخانه دز (تیرماه ۱۳۹۰)



شکل ۶. شبیه سازی پارامتر PH در طول رودخانه دز (تیرماه ۱۳۹۰)

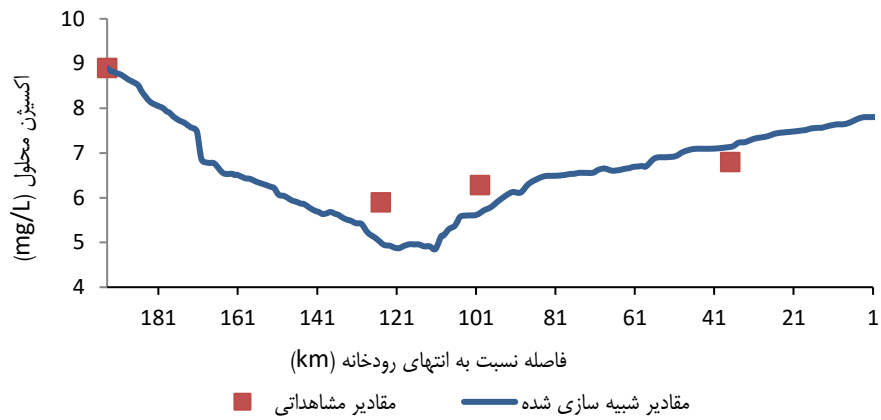


شکل ۷. شبیه سازی پارامتر EC در طول رودخانه دز (تیرماه ۱۳۹۰)

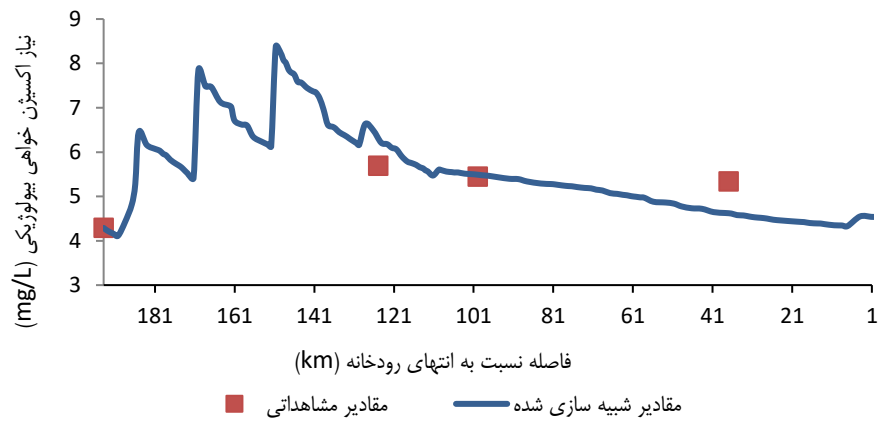
همچنین نتایج حاصل از اجرای مدل QUAL2Kw، برای پارامترهای آلودگی در طول رودخانه دز، در شکل های (۸) تا (۱۱) نشان داده شده است. در نیمه ابتدایی رودخانه، به دلیل تخلیه متوالی فاضلاب شهر دزفول، پساب پرورش ماهی، مجتمع هفت تپه و کارخانه کاغذسازی پارس (به ترتیب در کیلومترهای ۱۸۵، ۱۷۰، ۱۵۰ و ۱۲۷) با BOD بالا و از سوی دیگر کاهش قابل ملاحظه دبی به دلیل برداشت آب توسط دو آبگیر بزرگ شرقی و غربی، رودخانه از نظر میزان BOD در شرایط بحرانی قرار دارد که همین امر موجب کاهش اکسیژن محلول نیز گردیده است. باوجوداینکه تخلیه زهکش های کشاورزی چون میاناب، خارور، شعیبیه و گسترش اراضی طرح نیشکر امام خمینی و شعیبیه در مجاورت رودخانه باعث افزایش میزان نیترژن نیتراتی در طول رودخانه شده است اما مغایرتی با استانداردهای مربوطه ندارد. مقدار نیترژن آمونیاکی در برخی از



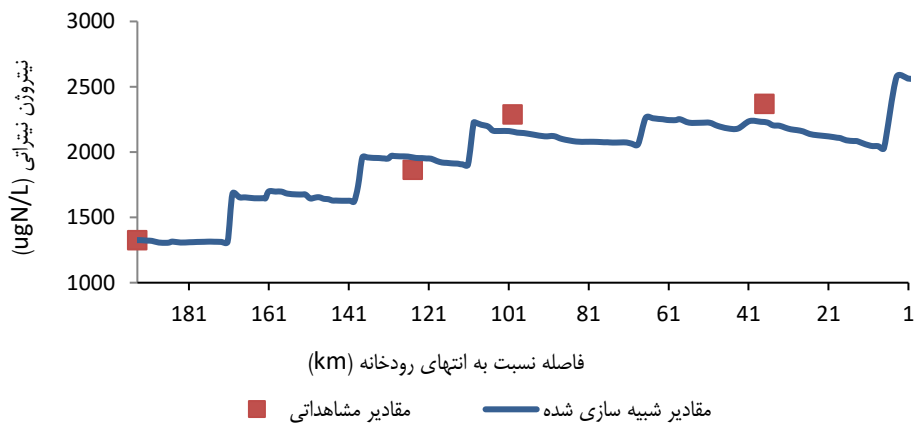
بازه‌های رودخانه بخصوص پایین دست نقاط تخلیه فاضلاب‌های شهری، تخلیه رودخانه کهنگ و زهکش‌های کشاورزی نیمه انتهایی رودخانه، از حدود استاندارد مجاز رودخانه‌ها فراتر رود.



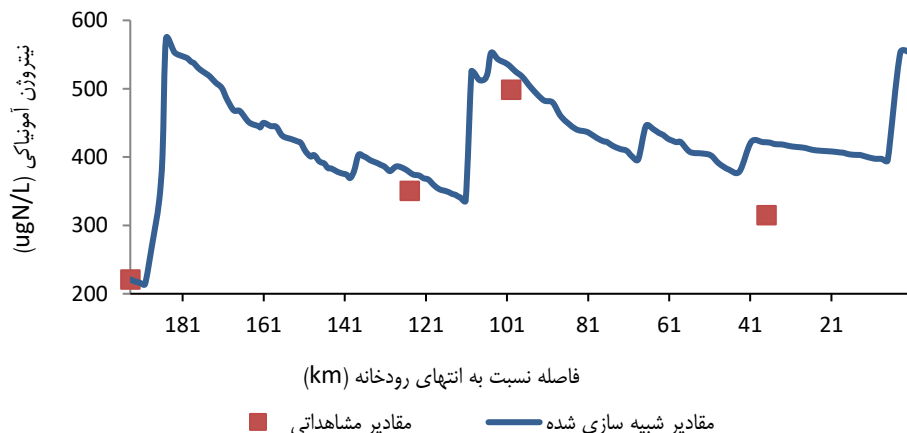
شکل ۸. شبیه‌سازی پارامتر DO در طول رودخانه دز (تیرماه ۱۳۹۰)



شکل ۹. شبیه‌سازی پارامتر BOD در طول رودخانه دز (تیرماه ۱۳۹۰)



شکل ۱۰. شبیه‌سازی پارامتر N-NO3 در طول رودخانه دز (تیرماه ۱۳۹۰)



شکل ۱۱. شبیه‌سازی پارامتر  $N-NH_4$  در طول رودخانه دز (تیرماه ۱۳۹۰)

## بحث

پژوهش حاضر با اهداف بررسی روند کیفیت و آلودگی رودخانه دز به سبب تخلیه آلاینده‌های شهری، صنعتی و کشاورزی، تعیین بازه‌های بحرانی از نظر شدت آلودگی در طول مسیر رودخانه با استفاده از مدل QUAL2Kw انجام شد. در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی مدل مشخص شد، پارامترهای گسترده‌ای مانند خصوصیات هندسی جریان، شرایط هیدرولیکی رودخانه، میزان جریان آب، ضرایب هواذی، نقاط ورودی آلاینده‌ها، نرخ نیتریفیکاسیون، اکسیژن خواهی و ... در رودخانه در نتایج مدل‌سازی کیفی دخالت دارند. رفیعی و همکاران (۲۰۱۳) با مدل نمودن کیفی آب رودخانه گرگر به برخی از این پارامترها اشاره کرده و به نتایج مشابهی دست یافتند. نتایج نشان داد در طول رودخانه دز، بازه حمیدآباد (ورودی شاخه بالا رود) تا ایستگاه حرمله به علت تراکم بالای ورود انواع زهکش‌ها و آلاینده‌های صنعتی و کشاورزی بالاترین مقادیر پارامترهای آلودگی و کیفی را داراست و تا ایستگاه بامدژ به علت افزوده شدن چند منبع آلودگی دیگر مقادیر برخی از پارامترها به تدریج نیز افزایش می‌یابد. به دلیل انحراف حجم گسترده‌ای از آب رودخانه توسط کانال‌های غربی و شرقی بند انحرافی دزفول (با حداکثر ظرفیت ۱۵۷ و ۹۲ مترمکعب بر ثانیه) و توزیع آن روی دشت‌های غربی و شرقی، سپس تراکم ورود بیش از ۱۰ منبع آلاینده کشاورزی و صنعتی در حدود طول ۶۰ کیلومتر از رودخانه و دیگر نقاط آلاینده در ادامه رودخانه، موجب کاهش کیفیت آب در حدود ۱۶۰ کیلومتر بازه انتهایی دز می‌گردد. با توجه به اینکه این رودخانه به‌عنوان یک منبع آب پاک و پالایش‌کننده آب رودخانه کارون پس از الحاق به آن به شمار می‌رود لذا کنترل کیفی آن از این جنبه نیز بسیار مهم است.

## نتیجه‌گیری

احداث تصفیه‌خانه به‌عنوان یک راهکار برای تمامی منابع آلاینده امری پرهزینه و غیرممکن به نظر می‌رسد؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود تمامی فاضلاب شهر دزفول، پساب پرورش ماهی، مجتمع هفت‌تپه و کارخانه کاغذسازی پارس تصفیه و سپس تخلیه گردند اما در خصوص زهکش-های کشاورزی اقدامات اصلاحی مانند اصلاح در نوع سیستم‌های آبیاری، کودهای مصرفی، الگوی کشت منطقه و غیره در مبدأ صورت گیرد. روند تغییرات پارامترهای کیفی و آلودگی در رودخانه دز نشان داد که این رودخانه از نظر آلودگی BOD به دلیل تخلیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی، از نظر آلودگی EC به سبب تخلیه زهکش‌های کشاورزی (عمدتاً طرح نیشکر) و از نظر آلودگی  $N-NH_4$  به علت فاضلاب‌های شهری، صنعتی و زه آب‌های کشاورزی در شرایط بحرانی قرار دارد. بر اساس آماره‌های آزمون محاسبه‌شده در مرحله صحت‌سنجی، می‌توان نتیجه گرفت که مدل کیفیت آب QUAL2Kw در شبیه‌سازی پارامترهای کیفی و آلودگی در رودخانه دز از دقت بالایی برخوردار است. لذا پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی از مدل کیفی واسنجی شده QUAL2Kw رودخانه دز جهت پیش‌بینی میزان آلودگی آن با توجه به میزان توسعه شهری و صنعتی در آینده و ارائه راهکارهای مدیریتی بهره‌مند گردید.

## منابع

- بیگلری، محمدرضا، سیما، سمیه، و سعادت پور، مطهره. (۱۳۹۵). شبیه‌سازی کیفیت آب رودخانه در شرایط بحرانی و اثربخشی اقدامات مدیریتی: مطالعه موردی زرینه‌رود. کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران، دانشگاه تهران، ایران. <https://civilica.com/doc/600286/>
- عابدی کوپایی، جهانگیر، نصری، زهره، طالبی، خلیل، مأمّن پوش، علیرضا، و موسوی، سید فرهاد. (۱۳۹۰). مطالعه کیفیت شیمیایی و آلودگی آب زاینده‌رود در بالادست به دیازینون و توان خودپالایی آن. علوم آب‌و‌خاک، ۱۵(۵۶)، ۱-۲۰. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.24763594.1390.15.56.1.1>
- خسروی نیا، احسان، گلماهی، سیدحسن، و ضیاءتباراحمدی، میرخالق. (۱۳۸۸). مدیریت کیفی سیستم های رودخانه‌ای به‌وسیله مدل ریاضی WASP7 مطالعه موردی رودخانه کارون. پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، گرگان، ایران. <https://civilica.com/1/3869/>
- عاشق‌مولا، مریم، محمدی فاضل، اصغر، و حمای، مجید. (۱۳۹۳). نقش توان خودپالایی رودخانه‌ها در تعیین مجاز پارامترهای کیفی پساب‌ها. نشریه علوم و مهندسی محیط‌زیست، ۱(۴)، ۴۹-۳۷. <https://www.magiran.com/paper/1408039>
- میرباقری، سید احمد، محمودی، شاهرخ، و خضری، سید مصطفی. (۱۳۹۰). مدل‌سازی تغییرات نیتروژن و فسفر در طول رودخانه چالوس با استفاده از نرم‌افزار QUAL2K. نشریه مهندسی عمران و محیط‌زیست، ۴۰(۳)، ۶۰-۴۹. <https://www.magiran.com/paper/950002>
- نجفی، حسین، و محمود پور، طاهر. (۱۳۹۱). مدل‌سازی کیفی رودخانه قره‌سو با استفاده از مدل QUAL2K. همایش ملی جریان و آلودگی آب، دانشگاه تهران، تهران، ایران. <https://civilica.com/doc/148298/>
- هاشمی، سید حسین، رنج‌کش، یوسف، رضانی، سعیده، و قاسمی زبیرانی، الهام. (۱۳۹۱). تحلیل مقایسه‌ای کیفیت آب رودخانه کرج با تکنیک آماری تحلیل عاملی و مدل QUAL2K. همایش ملی جریان و آلودگی آب، دانشگاه تهران، تهران، ایران. <https://civilica.com/doc/148297/>

## References

- Abedi-Koupai, J., Nasri, Z., Talebi, Kh., Mamanpoush, A., & Mousavi, S.F. (2011). Investigation of Zayandehrud Water Pollution by Diazinon and its Assimilative Capacity. *Jwss*, 15(56), 1-20. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.24763594.1390.15.56.1.1> [In Persian]
- Alizadeh, A., Rajabi, A., Shabanlou, S., Yaghoubi, B., & Yosefvand, F. (2021). Modeling long-term rainfall-runoff time series through wavelet-weighted regularization extreme learning machine. *Earth Sci Inform* 14, 1047–1063. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12145-021-00603-8>
- Amiri, S., Rajabi, A., Shabanlou, S., Yosefvand, F., & Izadbakhsh, M.A. (2023). Prediction of groundwater level variations using deep learning methods and GMS numerical model. *Earth Science Informatic*. <https://doi.org/10.1007/s12145-023-01052-1>
- Ashiq-Moala, M., Mohammadi Fazel, A., & Hamami, M. (2013). The role of self-purification power of rivers in the permissible determination of quality parameters of effluents. *Journal of Environmental Sciences and Engineering*, (4)1, 49-37. <https://www.magiran.com/paper/1408039> [In Persian]
- Azimi, H., Shabanlou, S., Ebtehaj, I., & Bonakdari, H. (2016). Discharge Coefficient of Rectangular Side Weirs on Circular Channels. *International Journal of Nonlinear Sciences and Numerical Simulation*, 17(7-8), 391-399. <http://dx.doi.org/10.1515/ijnsns-2016-0033>
- Azizpour, A., Izadbakhsh, M.A., Shabanlou, S., Yosefvand, F., & Rajabi, A. (2021). Estimation of water level fluctuations in groundwater through a hybrid learning machine. *Groundwater for Sustainable Development*, 15, 100687. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2021.100687>
- Azizpour, A., Izadbakhsh, M.A., Shabanlou, S., Yosefvand, F., & Rajabi, A. (2022). Simulation of time-series groundwater parameters using a hybrid metaheuristic neuro-fuzzy model. *Environment Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17879-4>

- Bigleri, M.R., Sima, S., & Saadatpour, M. (2015). Simulation of river water quality in critical conditions and the effectiveness of meditative measures: a case study of Zarineh Rood. Iran Water and Wastewater Science and Engineering Congress, University of Tehran, Iran. <https://civilica.com/doc/600286/> [In Persian]
- Chapra, S., Pelletier, G., & Tao, H. (2006). A Modeling framework for simulating river and stream water quality, Version 2.04: Documentation and user's manual. Civil and Environmental Engineering Dept, Tufts University, Medford, MA. <https://www.semanticscholar.org/paper/>
- Chuersuwan, N., Nimrat, S., & Chuersuwan, S. (2013). Water Quality Management in Lamtakhong River. Journal of Pakistan Water Resources Management, 10, 22-41. <http://dx.doi.org/10.19026/rjaset.6.3456>
- Fan, C., Ko, C.H., & Wang, W.S. (2009). An innovative modeling approach using qual2k and HEC-RAS integration to assess the impact of tidal effect on River Water quality simulation. Journal of Environmental Management, 90(5), 1824-1832. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.11.011>
- Gharib, R., Heydari, M., Kardar, S., & Shabanlou, S. (2020). Simulation of discharge coefficient of side weirs placed on convergent canals using modern self-adaptive extreme learning machine. Appl Water Sci 10, 50. <https://doi.org/10.1007/s13201-019-1136-0>
- Gilbert, J. M., & Maxwel, R. M. (2017). Examining regional groundwater-surface water dynamics using an integrated hydrologic model of the San Joaquin River basin. Hydrol. Earth Syst. Sci., 21, 923-947. <https://doi.org/10.5194/hess-21-923-2017>
- Hashemi, S.H., Rangeekesh, Y., Ramezani, S., & Ghasemi Ziyarani, E. (2012). Comparative analysis of Karaj river water quality with statistical technique of factor analysis and QUAL2K model. National Conference on Water Flow and Pollution, University of Tehran, Tehran, Iran. <https://civilica.com/doc/148297/> [In Persian]
- Hu, L., Xu, Z., & Huang, W. (2016). Development of a river-groundwater interaction model and its application to a catchment in Northwestern China. Journal of Hydrology, 543, 483-500. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.10.028>
- Khosravi Nia, H., Golmaei, H., Mir Khaleq, Z., & Ahmadi, T. (2009). Quality Management of River Systems by Wasp7 Mathematical Model Case Study of Karun River, Iranian Watershed Management Association 5th National Conference on Watershed Management Science and Engineering. Gorgan, Iran. <https://civilica.com/1/3869/> [In Persian]
- Li, Z., Quan, J., Li, X-Y., Wu, X-C., Wu, H-W., Li, Y-T., & Li, G-Y. (2016). Establishing a model of conjunctive regulation of surface water and groundwater in the arid regions. Agricultural Water Management, 174: 30- 38. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.04.030>
- Mathew, M., Yao, Y., Cao, Y., Shodan, K.h., Ghosh, I., Bucci, V., Leatao, Ch., Njoka, D., Wei, I., & Hellweger, L. (2011). Anatomy of an urban waterbody: A case study of bostons mudyy river. Environmental Pollution, 159(8-9), 1996-2002. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2011.02.018>
- Mazraeh, A., Bagherifar, M., Shabanlou, S., & Ekhlasmad, R. (2023). A Hybrid Machine Learning Model for Modeling Nitrate Concentration in Water Sources. Water, Air, & Soil Pollution, 234(11), 1-22. <http://dx.doi.org/10.1007/s11270-023-06745-3>
- Mazraeh, A., Bagherifar, M., Shabanlou, S., & Ekhlasmad, R. (2024). A novel committee-based framework for modeling groundwater level fluctuations: A combination of mathematical and machine learning models using the weighted multi-model ensemble mean algorithm. Groundwater for Sustainable Development, 24, 101062. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2023.101062>
- Moghadam, R.G., Izadbakhsh, M.A., Yosefvand, F., & Shabanlou, S. (2019). Optimization of ANFIS network using firefly algorithm for simulating discharge coefficient of side orifices. Appl Water Sci, 9, 84. <https://doi.org/10.1007/s13201-019-0950-8>
- Mirbagheri, S.A., Mahmoudi, S., & Khazri, S.M. (2019). Modeling of Nitrogen and Phosphorus Changes along Chalus River Using QUAL2K Software. Journal of Civil and Environmental Engineering, 40(3), 49-60. <https://www.magiran.com/paper/950002> [In Persian]

- Mohammed, K.S., Shabanlou, S., Rajabi, A., Yosefvand, F., & Izadbakhsh, M.A. (2023). Prediction of groundwater level fluctuations using artificial intelligence-based models and GMS. *Applied Water Science*, 13, 54. <https://doi.org/10.1007/s13201-022-01861-7>
- Mummidivarapu, S. K., Rehana, S., & Satyaji Rao, Y. R. (2023). Mapping and assessment of river water quality under varying hydro-climatic and pollution scenarios by integrating QUAL2K, GEFC, and GIS. *Environmental Research*, 239 (1), 117250. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.117250>
- Najafi, H., & Mahmoudpour, T. (2012). Qualitative modeling of Qarasu river using QUAL2K model. National Conference on Water Flow and Pollution, University of Tehran, Tehran, Iran. <https://civilica.com/doc/148298/> [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. <https://doi.org/10.22055/jhs.2014.10533>
- Rajabi, A., & Shabanlou, S. (2012). Climate index changes in future by using SDSM in Kermanshah, Iran. *Journal of Environmental Research and Development*, 7(1), 37-44. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20123377231>
- 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2005.07.002>
- Sener, S., Sener, E., & Davraz, A. (2017). Evaluation of water quality using water quality index method and GIS in Aksu River (Turkey). *Journal of Water Management*, 584, 131-14. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.102>
- Shabanlou, S. (2018). Improvement of extreme learning machine using self-adaptive evolutionary algorithm for estimating discharge capacity of sharp-crested weirs located on the end of circular channels. *Flow Measurement and Instrumentation*, 59, 63-71. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2017.11.003>
- Varekar, V., Yadav, V., & Karmakar, S. (2021). Rationalization of water quality monitoring locations under spatiotemporal heterogeneity of diffuse pollution using seasonal export coefficient. *Journal of Environmental Management*, 277, 111342. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111342>
- Zhang, R., Qian, X., Yuan, X., Ye, R., Xia, B., & Wang, Y. (2012). Simulation of Water Environmental Capacity and Pollution Load Reduction Using QUAL2K for Water Environmental Management. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 9(12), 4504-4521. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph9124504>