Archive of SID.ir

Shahid Chamran University of Ahvaz

Irrigation Sciences and Engineering (JISE)
Vol. 45, No. 1, Spring 2022, p. 19-34

Journal homepage: https://jise.scu.ac.ir

Research Paper

# Simulation of Pollution in the Steep Mountainous Rivers, using QUAL2KW

A. Vanaei[1], S. Marofi[2]* and A. Azari[3]

*1- M. Sc. Graduate of Water Resources, Department of Water Engineering, Bu-Ali Sina University in Hamedan.*
*2*- Professor, Department of Water Engineering, Bu-Ali Sina University in Hamedan (marofisafar59@gmail.com).*
*3- Associate Professor, Department of Water Engineering, Razi University.*

**ARTICLE INFO**

*Artlcle history:*
Received: 20 February 2020
Revised: 25 November 2020
Accepted: 30 November 2020

*Keywords:*
DO, BOD, COD, Self-purification capacity, Abbas-Abad of Hamedan, Water quality.

**TO CITE THIS ARTICLE:**

Vanaei, A., Marofi, S., Azari, A. (2022). 'Simulation of Pollution in the Steep Mountainous Rivers, using QUAL2KW', Irrigation Sciences and Engineering, 45(1), pp. 19-34. doi: 10.22055/jise.2017.21674.1557

## Introduction

In general, the entry of sewage into rivers and the decomposition into river water has led to a reduction in water quality and, in particular, a decrease in DO concentration (Sarda and Sadgir 2015). To have the optimal water quality characteristic, river reception capacity should remain within acceptable limits along the river. Using management tools, including water quality simulation models, can benefit can be very beneficial in this context. QUAL2KW is one of the best tools to simulate water quality due to its flexibility, ease of use, and availability. Studies with the QUAL2KW model for simulating water quality in rivers and basins using parameters BOD (Fang et al. 2008), Nitrogen, Phosphorus, and COD (Grabiç et al., 2011) have been carried out. This study aims to provide a model for simulating water quality parameters in rivers with steep slopes and short paths. Therefore, the analysis of BOD, DO, and COD qualitative parameters and awareness of the Abbas-Abad River's location and time trends (seasonal) in Hamadan during dry and wet seasons were considered.

## Materials and methods

This study used the QUAL2KW model to simulate the Abbas-Abad River's qualitative parameters (COD, BOD, and DO). The model sensitivity analysis was made on BOD oxidation rates, nitrification, denitrification, and the MODEL sensitivity to changes in river inlet discharge and point load inlet discharge. The Environmental Protection Agency of Hamedan prepared the information for 2011-2012 to calibrate the model. We used the measured data for the model validating and testing in 2015. The simulation was carried out for each parameter in two seasons (May and June) and summer (August). For evaluation and validation of the model results, the statistical indices of $R^2$ SE and NRMSE were applied. Five sampling stations on the river were elected from the Ganjnameh historical site to the faculty of agriculture (7.43 km).

## Results and discussion

Based on the results of the sensitivity analysis of the model, the DO and BOD parameters to the BOD oxidation rates and COD parameter to the river inlet discharge are most sensitive. Accordingly, the BOD oxidation rate has the highest effect on the dissolved oxygen content at 80%.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



DO: The results show that steep gradient and high water velocity cause suitable aeration for the river, so that the variation of DO in the wet and dry seasons is uniform and linear, without much change. For example, its concentration ranges from 7.22 upstream in the river (at the beginning of the river path) up to 6.39 mg/l (at 6.44 km) in the wet season, compared to 6.48 (at 2.61 km) up to 5.97 mg/l (at 5.94 km) decreased in the dry season. Also, SE, $R^{2,}$ and NRMSE values for this parameter were 0.509 to 0.870, 0.007 to 0.04, and 0.173 to 1.305. The research results by Sharma et al. (2017) also showed that this model could simulate a wide range of data with minor errors for this parameter.

BOD: In the case of the BOD, the variation in the two wet and dry seasons differed and changed from the minimum to the maximum values. As an example, the corresponding concentration from 0.62 (at the beginning of the river) path changed to 4.67 mg/l (at 4.69 km) in the wet season, compared to the value of 2.37 (at the beginning of the river path) up to 7.31 mg/l (at the end of the river path) in the dry season. The BOD concentration in the wet season is lower than that in the dry season due to less pollution and more river discharge in the wet season than in the dry season. The values of SE, $R^{2,}$ and NRMSE for this parameter in the stage of verification range from 0.336 to 0.971, from 0.225 to 0.385, and from 0.108 to 0.315, respectively. The results of this research are in line with those of Kalburgi et al. (2015).

COD: Overall, the COD and BOD changes are relatively similar and considerably more than DO variations and increase from a minimum value to the maximum value several times as high as the initial value. For example, COD concentration ranged from 1.09 (at the beginning of the river path) to 6.08 mg/l (at 4.69 km) in the wet season to the value of 6.33 (at 0.76 km) to 20.25 mg/l (at the end of river path) in the dry season. The amount of COD in the wet season is lower than that in the dry season due to the humble discharge of the river in the dry season and more pollutants than those in the wet season. The values of SE, $R^{2,}$ and NRMSE for this parameter in the validation step range from 0.780 to 0.954, 0.166 to 0.216, and 0.081 to 0.173. These results are consistent with those of Grabiç et al. (2011).

## Conclusion

The results showed that aeration in the high and shallow mountain rivers is well implanted, as the river self-purification capacity, especially in high discharges, in wet seasons, significantly increases compared to low-slope and low-speed rivers. The primary sources of pollution of the Abbas-Abad River in Hamedan of Iran are restaurants, hotels, gardens, recreational facilities, and camps of government agencies. This model can be successfully used to define managerial scenarios for the future study of the area. Based on these results, using the model potential as a management support tool, short-term corrective actions such as stream reinforcement and discharges control of pollutants in Hamedan are suggested to improve the water quality of the Abbas-Abad River in Hamedan to achieve a safe environmental balance.

## Acknowledgment

The authors consider it their duty to appreciate and thank the Vice Chancellor for Research at Bu Ali Sina University for their financial support of this research.

## References

1- Fang, X., Zhang, J., Chen, Y. and Xu, X., 2008. QUAL2K model used in the water quality assessment of Qiantang River, China. *Water Environment Research*, 80(11), pp. 2125-2133.

2- Grabic, J., Bezdan, A., Benka, P. and Salvai, A., 2011. Spreading and transformation of Nutrients in the reach of the Becej-Bogojevo Canal, Serbia. Carpathian. *Journal of Earth and Environmental Sciences*, 6(1), pp. 277-284.

3- Kalburgi, P. B., Shareefa, R. N. and Deshannavar, U. B., 2015. Development and evaluation of BOD–DO model for River Ghataprabha near Mudhol (India), using QUAL2K. *Engineering and Manufacturing*, 1, pp. 15-25.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



4- Sarda, P. and Sadgir, P., 2015. Water quality modeling and management of surface water using soft tool. *International Journal of Science, Engineering and Technology Research* (IJSETR), 4(9) , pp. 2988-2992.

5- Sharma, D., Kansal, A. and Pelletier, G., 2017. Water quality modeling for urban reach of Yamuna river, India (1999–2009), using QUAL2KW. *Applied Water Science*, 7(3) , pp. 1535-1559.

© 2022 Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license) (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



علوم و مهندسی آبیاری

جلد ٤٥، شماره‌ی ۱، بهار ۱٤۰۱، مقاله پژوهشی، ص. ۳٤-۱۹

# شبیه‌سازی آلودگی در رودخانه‌های پر شیب کوهستانی با استفاده از مدل QUAL2KW

علی ونائی[۱]، صفر معروفی[۲*] و آرش آذری[۳]

۱- دانش آموخته کارشناسی‌ارشد مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشگاه بوعلی سینا.

۲*- نویسنده مسئول، استاد، گروه مهندسی آب و رییس پژوهشکده آب دانشگاه بوعلی سینا، marofisafar59@gmail.com.

۳- دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه رازی.

دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۲۷ بازنگری: ۱۳۹۹/۹/۵ پذیرش: ۱۳۹۹/۹/۱۰

## چکیده

**در این مطالعه پارامترهای اکسیژن محلول، اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی و شیمیایی رودخانه عباس‌آباد همدان با استفاده از مدل QUAL2KW در فصل‌های بهار (تر) و تابستان (خشک) بررسی گردید. پس از آنالیز حساسیت مدل، داده‌های اردیبهشت، خرداد و مردادماه سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ برای واسنجی و داده‌های مشابه ۱۳۹٤ برای صحت‌سنجی استفاده گردید. دقت مدل از طریق محاسبه شاخص‌های آماری ضریب تعیین، خطای استاندارد و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال بررسی شد. خطای استاندارد اکسیژن محلول، اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی و شیمیایی در مرحله واسنجی، به‌ترتیب در محدوده ۰/۰۳۸ تا ۰/۰۹۲، ۰/۰۵۸ تا ۰/۱۸۰ و ۰/۰۷۵ تا ۰/۱۵٦، در مرحله صحت‌سنجی به‌ترتیب در محدوده ۰/۰۰۷ تا ۰/۰٤۰، ۰/۲۲۵ تا ۰/۳۸۵، ۰/۱٦٦ تا ۰/۲۱٦ محاسبه شد. نتایج نشان داد روند تغییرات اکسیژن محلول در فصول تر و خشک تقریباً یکنواخت و خطی بوده که ناشی از شیب زیاد و هوادهی بالای رودخانه است. همچنین تغییرات اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی و شیمیایی نسبتاً مشابه و دارای روند افزایشی است.**

**کلید واژه‌ها:** مدل QUAL2KW، خودپالایی رودخانه، عباس‌آباد همدان، کیفیت آب.

## مقدمه

افزایش جمعیت و توسعه‌ی شهری، کشاورزی و صنعتی، اهمیت توجه به کیفیت منابع آب موجود را بیش از پیش نمایان می‌سازد. محدودیت منابع آب، پایین بودن قیمت آن، مدیریت نادرست آب کشاورزی، قدیمی بودن روش‌های تولید صنعتی و آلوده‌سازی آن‌ها و ناکارایی سامانه‌های کنترل و نظارت بر آلودگی منابع آب، از جمله عواملی است که ضرورت توجه بیشتر به کیفیت منابع آب موجود را ایجاب می‌نماید. این موضوع در حالی است که در دهه‌های اخیر گسترش آلودگی منابع آب خصوصاً آب‌های سطحی، جوامع انسانی و اکوسیستم‌های طبیعی را به شدت تهدید می‌کند، آب‌های سطحی جاری یا رودخانه‌ها از مهمترین منابع آبی هستند که نقش مهمی در تأمین آب مورد نیاز فعالیت‌های مختلف مانند کشاورزی، صنعت، شرب و تولید برق دارند. از طرفی این منابع به‌عنوان محل تخلیه فاضلاب‌ها، پساب کارخانه‌ها و زهکش‌های کشاورزی قرار گرفته‌اند. بسیاری از برنامه‌ریزی‌های منابع آب در کشورها براساس پتانسیل بالقوه منابع آب سطحی می‌باشد. آگاهی از کیفیت منابع آب یکی از نیازمندی‌های مهم در برنامه‌ریزی و توسعه منابع آب و حفاظت و کنترل آن‌ها می‌باشد.

شناخت و بررسی کیفیت منابع آب و استفاده بهینه از آن، اهمیت بالایی در مدیریت منابع آبی دارد. بررسی تغییرات فصلی کیفیت آب‌های سطحی، از ابعاد مهم در ارزیابی تغییرات موقتی آلودگی رودخانه‌ها بر اثر منابع نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای طبیعی و انسانی می‌باشد (Ouyang et al., 2006).به‌طور کلی ورود فاضلاب‌ها به رودخانه‌ها و تجزیه آن‌ها در آب رودخانه‌ها منجر به کاهش کیفیت آب و به‌خصوص کاهش غلظت اکسیژن محلول (Dissolved Oxygen) می‌گردد (Sarda and Sadgir., 2015). این مواد همچنین موجب ایجاد شرایط بی‌هوازی و یک اکوسیستم نامتعادل شامل مرگ و میر ماهیان همراه با بوی آزاردهنده می‌شوند (Cox., 2003). با توجه به این‌که مشکلات زیست‌محیطی مرتبط با آب رودخانه سبب نگرانی‌های گسترده‌ای شده است لذا ارزیابی کیفیت آب به‌عنوان هدف اصلی در مدیریت حوضه رودخانه‌ها شناخته شده است (Ye et al., 2013). برای داشتن آبی با کیفیت مطلوب، ظرفیت پذیرش رودخانه‌ها باید در طول رودخانه در حد قابل قبول باقی بماند (Campolo et al., 2002). دست‌یابی به این مهم به یکی از روش‌های کنترل نرخ جریان رودخانه Hayes et al. (1998)، کنترل بارهای آلودگی فاضلاب Herbay et al. (1983) و استفاده

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



از وسایل اکسیژن‌دهی Campolo et al. (2002) ممکن می‌باشد. در این زمینه استفاده از ابزارهای مدیریتی از جمله مدل‌های شبیه‌سازی کیفیت آب، می‌تواند بسیار سودمند باشد. انواع مختلفی از این مدل‌ها در طول چند دهه گذشته توسعه یافته‌اند. برخی از مدل‌ها پیچیده و برخی دیگر نسبتاً ساده می‌باشند (Cox, 2003 and Lindenschmidt 2006). مدل‌های ساده (1D) توانایی توصیف فرایندهای پیچیده هیدرودینامیکی را نداشته، بنابراین نتایج شبیه‌سازی شده آن‌ها ممکن است قابل اعتماد نباشد، از طرفی اجرای مدل‌های پیچیده (2D و 3D) نیز نیازمند تعدادی از پارامترهای خاص بوده که به آسانی قابل اندازه‌گیری نمی‌باشند (Ye et al., 2013). نمونه‌ای از مدل‌های پیچیده شامل برنامه شبیه‌سازی و تجزیه و تحلیل کیفیت آب (WASP)، هیدرودینامیک و مدل کیفیت آب (CE-QUAL-W2)، کیفیت آب برای سیستم‌های رودخانه-مخزن (WQRRS)، و غیره می‌باشد.

با توجه به محدودیت داده‌ها برای شبیه‌سازی، به‌طور گسترده‌ای مدل‌های یک بعدی (1D) کیفیت آب پذیرفته شده است (Mahamah, 1998). به‌عنوان یک مدل 1D، QUAL2K یکی از بهترین ابزارها برای شبیه‌سازی کیفیت آب با توجه به انعطاف‌پذیری آن، سهولت استفاده و در دسترس بودن آن می‌باشد (Ye et al., 2013). Razaghian et al. (2015) وضعیت کیفی رودخانه قره‌سو در محدوده شهرستان کرمانشاه را با استفاده از مدل QUAL2KW مورد بررسی قرار داده و پارامترهای اکسیژن محلول، اکسیژن‌خواهی بیوشیمی (Biochemical oxygen demand: BOD)، نیتروژن کل و فسفر کل را در دو ماه مرداد (ماه کم آب و خشک) و بهمن (ماه پر آب) کالیبره و صحت‌سنجی نمودند. این محققان با استفاده از خروجی‌های مدل مذکور تأثیرات آلاینده‌های شهری را بر این رودخانه مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها با توجه به شیب بسیار ملایم و طولانی بودن مسیر این رودخانه، اعمال سناریوی احداث تصفیه‌خانه و کاهش پنجاه درصدی بار آلودگی را پیشنهاد دادند. به‌طور مشابه Noshadi و Hatamizadeh (2010) در تحقیقی به بررسی کیفیت آب رودخانه کر در بازه‌ای به طول ۱۸۷ کیلومتر با استفاده از مدل QUAL2KW پرداختند. نتایج نشان داد که دقت شبیه‌سازی در ماه‌های کم‌آب بیشتر از ماه‌های پرآب است که دلیل آن افزایش روان‌آب در ماه‌های پر آب می‌باشد. زیرا این روان‌آب‌ها غیرمتمرکز بوده و در نتیجه پیش‌بینی آن‌ها توسط مدل به‌خوبی صورت نمی‌گیرد. هم‌چنین در تحقیقی دیگر (Hossain et al., 2014) شبیه‌سازی کیفیت آب رودخانه تونگاک مالزی را با استفاده از مدل QUAL2KW در دو فصل تر و خشک انجام دادند. تحقیقات این محققان نشان داد که به‌دلیل ورود پساب‌های صنعتی غلظت اکسیژن محلول در تمام نقاط رودخانه بسیار پایین و غلظت‌های اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی و اکسیژن‌خواهی شیمیایی (Chemical oxygen demand: COD) نسبت به استاندارد مالزی بسیار بیشتر می‌باشند.

Kalburgi et al. (2015) با به‌کارگیری مدل کیفیت آب QUAL2KW برای رودخانه گاتاپراب‌ها پس از کالیبراسیون و صحت‌سنجی مقادیر پارامترهای اکسیژن محلول و اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی به پیش‌بینی کیفیت آب تحت شرایط مختلف داده‌ها پرداختند و دریافتند که مقادیر پیش‌بینی‌شده توسط مدل با مقادیر اندازه‌گیری‌شده تطابق نزدیکی دارد. Shahriari et al. (2011) تاثیر تغییرات میزان جریان بر کیفیت آب رودخانه کارون را با مدل ریاضی QUAL2KW شبیه‌سازی نمودند. نتایج شبیه‌سازی این محققان حاکی از نامطلوب بودن کیفیت رودخانه در ماه‌های خشک و کم‌آب می‌باشد. از طرفی مطالعاتی با مدل QUAL2KW برای شبیه‌سازی کیفیت آب رودخانه‌ها و حوضه‌ها با استفاده از پارامترهای اکسیژن خواهی بیوشیمیایی Fang et al. (2008)، DO، CBOD، $NH_4$-N و $NO_3$-N Rafiee et al. (2013) نیتروژن، فسفر و اکسیژن‌خواهی شیمیایی توسط Grabic et al. (2011) و Fan et al. (2009) انجام شده است. نتایج شبیه‌سازی، یک ابزار مدیریتی مفید است که می‌تواند به سیاستگذاران در تعیین استراتژی‌های واقع‌بینانه با در نظر گرفتن شرایط خاص هر حوضه و هم‌چنین پیش‌بینی اثر تخلیه تصادفی یا بارهای آلاینده اضافی یاری رساند (Oliveira et al., 2012).

با توجه به مطالعات صورت گرفته، این تحقیقات در رودخانه‌هایی با شیب‌های ملایم و مسیرهای طولانی انجام یافته است. لذا هدف از این تحقیق ارایه مدلی برای شبیه‌سازی پارامترهای کیفی آب در رودخانه‌هایی است که دارای شیب تند و مسیر کوتاه می‌باشد. از این‌روی، مطالعه پارامترهای کیفی اکسیژن محلول، اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی و شیمیایی و هم‌چنین آگاهی از روند تغییرات زمانی (فصلی) و مکانی آلاینده‌های رودخانه عباس‌آباد همدان طی فصول تر و خشک مورد توجه بوده است. این مطالعه پایه و اساس مهمی برای بررسی رابطه بین کیفیت آب و استراتژی‌های کنترل آلودگی در رودخانه‌های پرشیب کوهستانی می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

رودخانه عباس‌آباد یکی از شاخه‌های آبشینه بوده که از کوه فخرآباد به ارتفاع ۳۳۱۲ متر (ارتفاعات الوند) واقع در ۱۲ کیلومتری جنوب غربی شهر همدان سرچشمه و در جهت شمال جاری می‌گردد. این رودخانه در مسیر خود (در حد فاصل مناطق گنج‌نامه و عباس‌آباد)، شاخه‌هایی را از اطراف دریافت و به رودخانه خاکو

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir


DOI: 10.22055/JISE.2017.21674.1557

(گیشین) می‌ریزد. در شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است. رودخانه عباس‌آباد به‌دلیل آن‌که دارای حوضه آبریزی کوهستانی و با شیبی تند می‌باشد، دارای جریانی با سرعت زیاد است. طول رودخانه عباس‌آباد ۱۸ کیلومتر بوده و وسعت حوضه آبریز آن در حدود ۴۰ کیلومترمربع می‌باشد. این رودخانه به‌دلیل داشتن حوضه‌ای برفی، دارای رژیمی دایمی است (Anonymous, 2005).

## روش تحقیق

در این تحقیق برای شبیه‌سازی پارامترهای کیفی (اکسیژن محلول، اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی، اکسیژن‌خواهی شیمیایی) رودخانه عباس‌آباد از مدل QUAL2KW استفاده گردید. به‌منظور کاربرد مدل ابتدا آنالیز حساسیت بر روی ضرایب و پارامترهای ورودی بررسی و سپس مدل واسنجی و صحت‌سنجی شد.ضریب حساسیت به معنی میزان تغییرات در متغیر خروجی، به ازای درصد مشخصی تغییر در هر یک از متغیرهای ورودی است. برای تحلیل حساسیت مدل، از رابطه (۱) استفاده شد.

$$S_{ij} = \left(\frac{\Delta y / y_i}{\Delta x / x_i}\right) \qquad (۱)$$

در این رابطه $S_{ij}$ ضریب حساسیت، $\Delta y_j$ میزان تغییر در متغیر حالت ژام، $y_j$ مقدار اولیه متغیر حالت j (قبل از اعمال تغییر)، $\Delta x_i$ مقدار تغییر در مقدار متغیر ورودی iام و $x_i$ مقدار اولیه متغیر ورودی است.در مطالعه حاضر تحلیل‌های حساسیت در نرخ‌های اکسیداسیون BOD، نیتریفیکاسیون، دنیتریفیکاسیون و هم‌چنین حساسیت مدل به تغییر در دبی ورودی رودخانه و تغییر در دبی ورودی بار نقطه‌ای انجام پذیرفت. به‌منظور واسنجی مدل، اطلاعات لازم برای سال‌های ۱۳۹۱-۱۳۹۰ از سازمان حفاظت محیط زیست همدان تهیه شد و به‌منظور آزمایش و صحت‌سنجی مدل، از داده‌های اندازه‌گیری‌شده در اردیبهشت، خرداد و مرداد سال ۱۳۹۴ استفاده گردید. برای هر پارامتر، شبیه‌سازی در دو فصل بهار (اردیبهشت و خرداد) و تابستان (مرداد) صورت گرفت. داده‌های فصل بهار به‌عنوان الگویی از فصل تر، و داده‌های فصل تابستان به‌عنوان الگویی از فصل خشک در نظر گرفته شدند. درصد اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی و مشاهداتی فصول تر و خشک، به‌عنوان الگویی از رفتار رودخانه نسبت به آلاینده‌ها در نظر گرفته شد.

برای مقایسه مقادیر شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری‌شده از روش‌های آماری استفاده گردید تا میزان اعتبار مدل مورد بررسی قرار گیرد. به‌منظور ارزیابی و اعتباریابی نتایج مدل، از شاخص‌های آماری ضریب تعیین (Coefficient of Determination, $R^2$)، خطای استاندارد (Standard Error, SE) و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال (Normalized Root Mean Square Error, NRMSE) استفاده شد. شکل ریاضی این آماره‌ها در روابط (۲) و (۳ و ۴) ارایه گردیده است.

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^{n}(Y_m - \bar{Y}_m)(Y_p - \bar{Y}_p)]^2}{\sum_{i=1}^{n}(Y_m - \bar{Y}_m)^2 \sum_{i=1}^{n}(Y_p - \bar{Y}_p)^2} \qquad (۲)$$

$$SE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n-1}\sum(Y_m - Y_p)^2}}{\bar{Y}_m} \qquad (۳)$$

$$NRMSE = \frac{RMSE}{Y_{max} - Y_{min}} \qquad (۴)$$

که در این روابط n تعداد نمونه‌های مورد مطالعه، $Y_m$ مقادیر اندازه‌گیری‌شده در هر روز، $Y_p$ مقدار پیش‌بینی‌شده با استفاده از مدل، $\bar{Y}_m$ میانگین داده‌های اندازه‌گیری‌شده، $\bar{Y}_p$ میانگین داده‌های پیش‌بینی شده، $Y_{max}$ مقدار حداکثر داده‌ها و $Y_{min}$ مقدار حداقل داده‌ها می‌باشد. به‌منظور محاسبه درصد اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری از رابطه (۵) استفاده شد (Rafiee et al., 2013).

$$MAPE = (\sum(|P_{i,j} - O_{i,j}|)/\sum(O_{i,j}) * 100/m) \qquad (۵)$$

در این رابطه: MAPE میانگین قدرمطلق درصد خطا، $O_{i,j}$ مقادیر مشاهده‌شده، $P_{i,j}$ برابر با مقادیر پیش‌بینی‌شده و m برابر تعداد جفت از مقادیر پیش‌بینی‌شده و مشاهده‌شده متغیرهای حالت است. مقدار ضریب تعیین در محدوده صفر تا یک بوده و بیانگر میزان احتمال همبستگی میان دو دسته داده در آینده می‌باشد. این ضریب در واقع نتایج تقریبی پارامتر مورد نظر در آینده را براساس مدل ریاضی تعریف‌شده که منطبق بر داده‌های موجود است، بیان می‌دارد. و چنان‌چه مقدار مذکور به یک نزدیک‌تر باشد نتایج دقیق‌تر خواهد بود. شاخص‌های SE و NRMSE و MAPE بی‌بعد بوده و هر چه این ضرایب به صفر نزدیک‌تر باشند، مدل ارایه شده از دقت بالاتری برخوردار است. مقادیر این پارامترها برای همه اندازه‌گیری‌ها و شبیه‌سازی‌ها محاسبه شده است.

.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



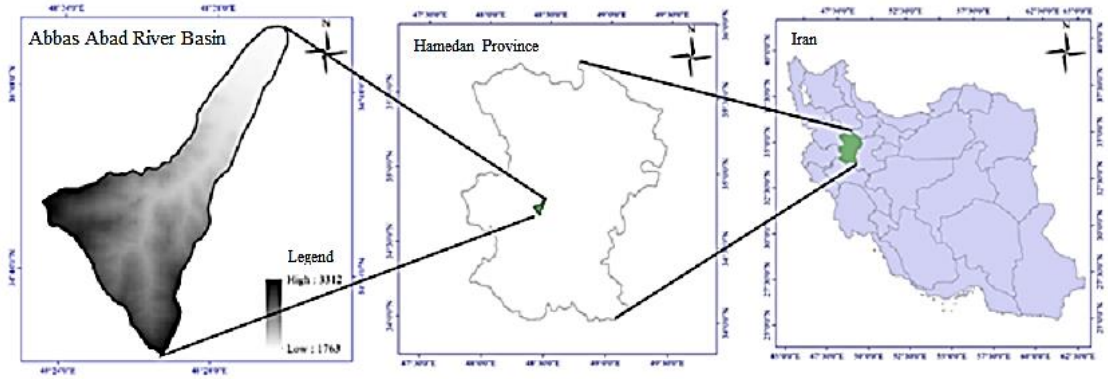


**Fig. 1- Geographical location of the study area**

**شکل ۱- موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه**

### داده‌های مورد نیاز

به‌منظور شناسایی موقعیت رودخانه عباس‌آباد همدان، حوضه آبریز این رودخانه، زمین‌های کشاورزی، راه‌های دسترسی به رودخانه، مراکز اقامتی اطراف رودخانه و منابع آلاینده نقطه‌ای آن‌ها بر روی نقشه‌های توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰ تعیین گردید برای شبیه‌سازی کیفی رودخانه عباس‌آباد دبی، شیب طولی رودخانه بین هر ایستگاه، ضریب مانینگ، عرض کف، شیب دیواره، فاصله بین هر کدام از ایستگاه‌ها، دمای متوسط هوا، دمای نقطه شبنم، دمای آب، سرعت باد، اکسیژن محلول، اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی، اکسیژن‌خواهی شیمیایی، تعداد روزهای ابری، درصدی از رودخانه که در اثر کوه‌ها و پوشش گیاهی زیر سایه قرار گرفته‌اند، و این‌که آیا در کف رودخانه جلبک وجود دارد یا خیر، مورد نیاز مدل می‌باشد که برخی از این شاخص‌ها براساس بازدیدهای محلی در زمان‌های مختلف این شاخص‌ها تعیین گردیدند. از بین این پارامترها دمای آب، اکسیژن محلول، اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی و شیمیایی برای سال ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ از سازمان حفاظت محیط زیست همدان و برای سال ۱۳۹۴ در محل و یا در آزمایشگاه اندازه‌گیری شدند. ضریب مانینگ با توجه به وضعیت بستر و جداره رودخانه و مسیر رودخانه براساس بازدیدهای صحرایی منطقه و هم‌چنین با مقایسه عکس‌های مرجع بین ۰/۰۳۰ تا ۰/۰۳۵ انتخاب شد. بقیه پارامترها با توجه به آمار ایستگاه‌های هواشناسی فرودگاه همدان و نقشه‌برداری‌های صورت‌گرفته، تعیین گردیدند.

براساس اطلاعات به‌دست‌آمده از مطالعات مقدماتی و شناسایی رودخانه و تعیین محل‌های برداشت آب (تقسیم آب یک و دو)، شاخه فرعی (تاریک‌دره) اضافه شده و دفع فاضلاب به رودخانه عباس‌آباد، تعداد پنج ایستگاه نمونه‌برداری بر روی رودخانه عباس‌آباد از محل گنج‌نامه تا محل موزه در پشت دانشکده کشاورزی (به طول ۷/۴۳ کیلومتر) انتخاب گردید (شکل ۲). از این ایستگاه‌ها در ماه‌های مورد بررسی نمونه‌برداری گردید و آزمایش‌های کیفی مورد نیاز انجام شد. ایستگاه‌های مورد مطالعه به نحوی انتخاب گردیدند که نتایج به‌دست آمده از هر ایستگاه بتواند شاخص گویایی از وضعیت بالادست خود بوده و اثر ورود منابع آلاینده را در مقایسه با ایستگاه‌های پایین‌دست روشن نماید (Noshadi and Hatamizadeh, 2010). با توجه به این‌که کیفیت آب رودخانه تحت‌تأثیر دبی و درجه‌حرارت می‌باشد برای تعیین ماه بحرانی از نظر کیفیت آب رودخانه، میانگین متحرک سه ساله بر روی آمار دبی ۴۳ ساله رودخانه انجام پذیرفت و ماه مرداد به‌عنوان ماه خشک انتخاب گردید. علاوه بر ماه مرداد، به‌منظور شناسایی پارامترهای کیفی آب در دیگر ماه‌های سال و روند تغییرات آن در طول سال، ماه اردیبهشت و خرداد نیز به‌عنوان ماه تر انتخاب و شبیه‌سازی در این ماه‌ها نیز انجام گردید.

### شبیه‌سازی هندسه رودخانه در مدل QUAL2KW

مدل QUAL2KW شامل کنش‌های اصلی چرخه غذایی، تولید جلبک، اکسیژن‌خواهی کف‌زی‌ها، مصرف اکسیژن کربنی، بازدمش اتمسفری و آثار آن‌ها روی رفتار اکسیژن محلول است. کلیفرم‌ها و اجزای ناپایدار اختیاری به‌صورت اجزای ناپایدار زوال‌پذیری که با سایر اجزا اندرکنش ندارند، مدل می‌شوند(Rosgen, 1996) .

مطابق شکل (۳) در طول رودخانه با فرض اختلاط کامل، برای هر المان i موازنه جریان رودخانه در حالت جریان پایدار طبق رابطه (۶) صورت می‌گیرد.

$$Q_i = Q_{i-1} + Q_{in,i} - Q_{out,i} \qquad (۶)$$

که در آن: $Q_i$ میزان جریان خروجی از المان i به المان i+1 برحسب $(m^3/d)$، $Q_{i-1}$ میزان جریان خروجی از المان i-1 برحسب $(m^3/d)$، $Q_{in,i}$ کل جریان ورودی از منابع نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای به i برحسب $(m^3/d)$ و $Q_{out,i}$ کل جریان خروجی از المان i به‌صورت نقطه‌ای یا غیر نقطه‌ای برحسب $(m^3/d)$ می‌باشد.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



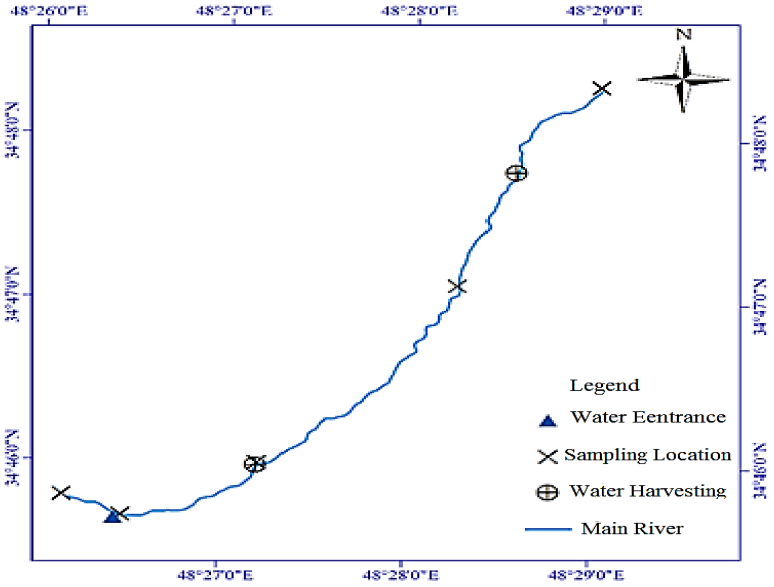


**Fig. 2– Geographical location of water taking, sub-branches and sampling sites**

**شکل ۲- موقعیت جغرافیایی محل‌های برداشت آب، شاخه فرعی و محل‌های نمونه‌برداری**

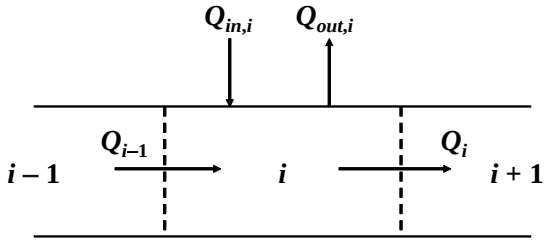


**Fig. 3– Flow balance for each element**

**شکل ۳- موازنه جریان برای هر المان**

کل جریان ورودی به بازه i :

$$Q_{in,i} = \sum_{j=1}^{psi} Q_{ps,i,j} + \sum_{j=1}^{npsi} Q_{nps,i,j} \qquad (۷)$$

کل جریان خروجی از بازه i :

$$Q_{out,i} = \sum_{j=1}^{pai} Q_{pa,i,j} + \sum_{j=1}^{npai} Q_{npa,i,j} \qquad (۸)$$

در روابط بالا منظور از ps منبع نقطه‌ای و nps منبع غیرنقطه‌ای می‌باشد.

این مدل، سیستم رودخانه را به‌صورت شبکه‌ای متشکل از سراب، بازه و تقاطع تقسیم می‌کند. سراب محل شروع رودخانه یا آب‌راهه است. بازه، طول رودخانه یا آب‌راهه و تقاطع محل ریختن شاخه فرعی به شاخه اصلی و یا محل برداشت آب است. انتخاب طول بازه باید به گونه‌ای انجام شود که در طول آن، مشخصات هندسی (نظیر سطح مقطع، شیب، ضریب‌زبری) و ضرایب بیولوژیکی (نظیر سرعت زوال، ثابت سرعت ته‌نشینی) در آن ثابت باشد این تقسیم‌بندی برای رودخانه عباس‌آباد مطابق شکل (۴) انجام پذیرفت.

## نتایج و بحث

به‌منظور تحلیل حساسیت مدل از نرخ‌های نیتریفیکاسیون آمونیاک ($K_{na}$)، دنیتریفیکاسیون نیترات ($K_{dn}$)، اکسیداسیون BOD ($K_{dc}$) و افزایش و کاهش ۲۰ درصدی دبی رودخانه و حجم فاضلاب ورودی به رودخانه استفاده گردید. در این‌خصوص موارد مربوطه در جدول (۱) آورده شده است. بر اساس این جدول پارامترهای اکسیژن محلول و اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی به‌ترتیب نسبت به نرخ‌های دنیتریفیکاسیون و نیتریفیکاسیون دارای کمترین حساسیت و نسبت به اکسیداسیون BOD دارای بیشترین حساسیت بودند. هم‌چنین پارامتر

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



اکسیژن‌خواهی شیمیایی نسبت به دبی ورودی رودخانه دارای بیشترین حساسیت و نسبت به نرخ اکسیداسیون BOD، نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون حالت خنثی داشت. براساس نتایج بیشترین تاثیر را نرخ اکسیداسیون BOD به میزان ۸۰ درصد بر اکسیژن محلول رودخانه دارا می‌باشد. نتایج می‌تواند مبنایی برای سازمان‌های متولی منابع آب برای اتخاذ مناسب‌ترین استراتژی‌های مدیریت برای کاهش بار آلودگی باشد.

به‌منظور واسنجی مدل QUAL2KW از داده‌های مربوط به سال ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ استفاده گردید که به‌عنوان نمونه‌ای از فصول تر و خشک، به‌ترتیب نتایج مربوط به اردیبهشت و مردادماه سال ۱۳۹۱، در شکل (۵) ارایه شده است.

در مرحله صحت‌سنجی مدل، از داده‌های مربوط به سال ۱۳۹۴ استفاده گردید که به‌عنوان نمونه نتایج این صحت‌سنجی برای اردیبهشت ماه به‌عنوان نماینده فصل تر و مردادماه به‌عنوان نماینده فصل خشک در شکل (۶) ارایه گردید.

براساس این نتایج، میزان اختلاف (درصد) بین مقادیر مشاهده‌شده و شبیه‌سازی‌شده، برای پارامترهای مورد بررسی در جدول (۲) ارایه شده است.

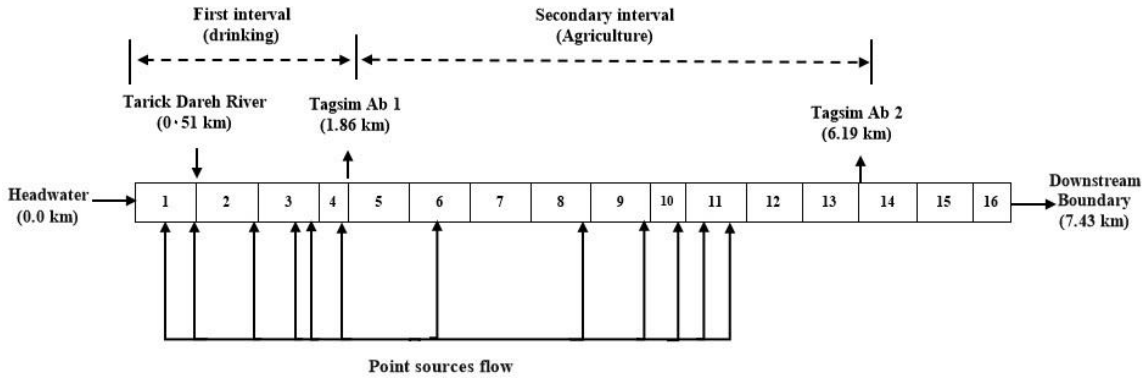


**Fig. 4– How to reconfigure the route of Abbas-Abad River without sub-branch**

**شکل ٤- نحوه بازه‌بندی مسیر رودخانه عباس‌آباد همدان بدون شاخه فرعی**

**جدول ۱- حساسیت پارامترهای مورد بررسی به ضرایب و دبی آب و فاضلاب ورودی به رودخانه**

**Table 1– Sensitivity of the parameters studied to the coefficients and discharges of water and wastewater to the river**

| | Inlet Sewage Discharge | River Inlet Discharge | Denitrification Rate | Nitrification Rate | Oxidation Rate |
|---|---|---|---|---|---|
| DO | 0.119 | 0.072 | 0.039 | 0.711 | 0.8 |
| BOD | 0.026 | 0.143 | 0.028 | 0.006 | 0.217 |
| COD | 0.019 | 0.121 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir


DOI: 10.22055/JISE.2017.21674.1557

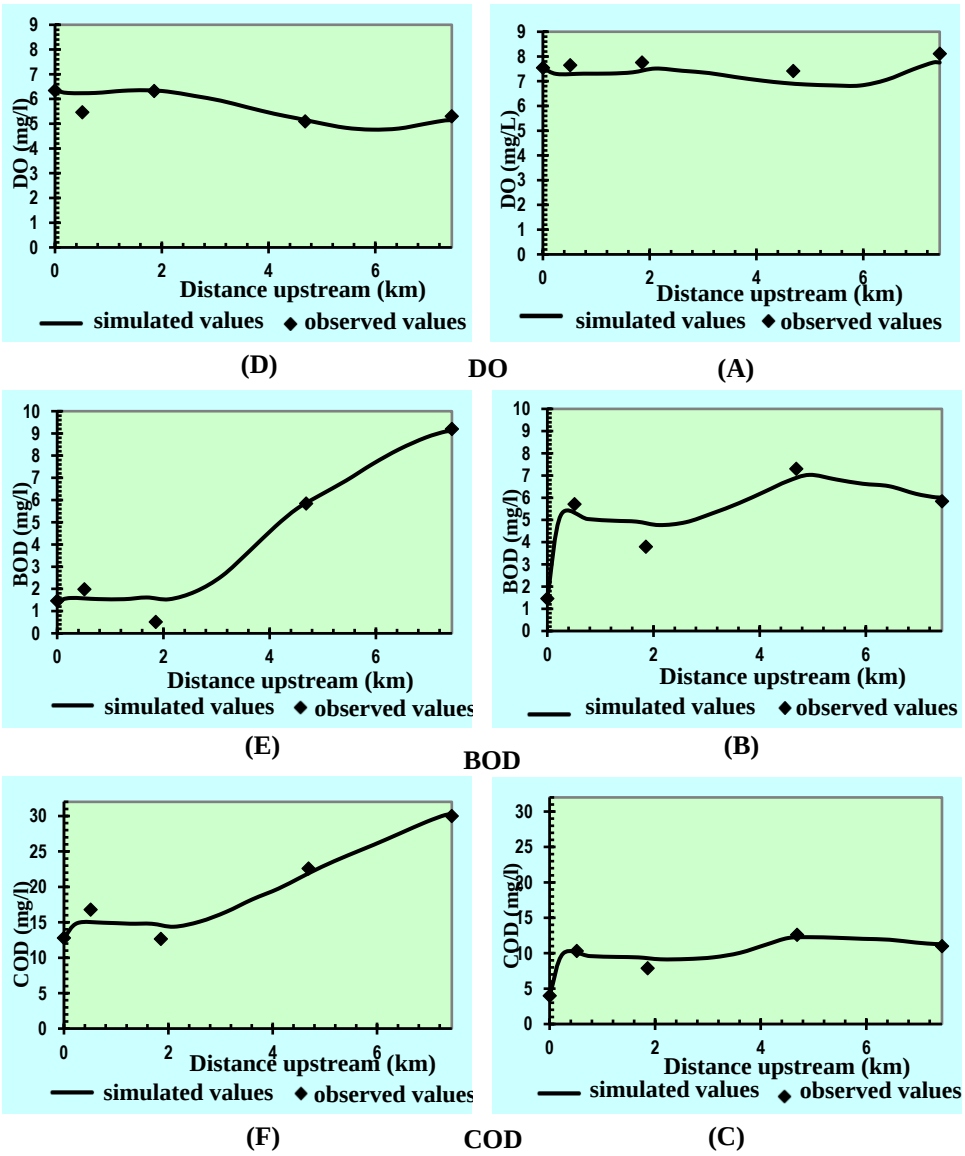


**Fig. 5- Calibration of QUAL2KW model for DO, BOD and COD (mg/l) parameters in wet (A, B and C) and dry seasons (D, E and F) in Abbas-Abad River, Hamedan**

**شکل ۵- واسنجی مدل QUAL2KW برای پارامترهای DO، BOD و COD (میلی‌گرم در لیتر) در فصول تر (A، B و C) و خشک (D، E و F) در رودخانه عباس‌آباد همدان**

**جدول ۲- میزان اختلاف (درصد) بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی مدل QUAL2KW برای پارامترهای DO، BOD و COD**

**Table 2. Percentage difference between observed values and simulation of QUAL2KW model for DO, BOD and COD parameters**

| Parameter | Difference between observed and simulated values in the wet period | Differences between observed and simulated values in the dry period | Difference of simulation values in wet and dry seasons |
|---|---|---|---|
| DO | 0.60 | 0.11 | 0.43 |
| BOD | 5.40 | 3.88 | 3.04 |
| COD | 2.77 | 3.22 | 3.02 |

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



**اکسیژن محلول:** نتایج حاصل از صحت‌سنجی مدل QUAL2KW برای پارامتر اکسیژن محلول نشان می‌دهد، شیب تند و سرعت بالای آب سبب هوادهی مناسب رودخانه شده است به‌طوری که روند تغییرات اکسیژن محلول در فصول تر و خشک یکنواخت بوده و به‌شکل خطی است و تغییرات زیادی ندارد. به‌عنوان نمونه در شکل (۶) غلظت آن از مقدار ۷/۲۲ (در ابتدای مسیر رودخانه) تا ۶/۳۹ میلی‌گرم در لیتر (در کیلومتر ۶/۴۴) در فصل تر، نسبت به مقدار ۶/۴۸ (در کیلومتر ۲/۶۱) تا ۵/۹۷ میلی‌گرم در لیتر (در کیلومتر ۵/۹۴) در فصل خشک کاهش یافته است. میزان اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی در فصل تر و خشک برابر ۰/۴۳ درصد می‌باشد. درصد اختلاف بین نقاط اندازه‌گیری و شبیه‌سازی در فصل تر ۰/۶۰ و در فصل خشک ۰/۱۱ است (جدول ۲). همچنین مقادیر $R^2$، SE و NRMSE برای این پارامتر مورد بررسی در مرحله واسنجی به‌ترتیب در محدوده ۰/۳۸۹ تا ۰/۶۶۹، ۰/۰۳۸ تا ۰/۰۹۲ و ۰/۲۹۱ تا ۲/۷۵۱ است. برای مرحله صحت‌سنجی نیز این مقادیر به‌ترتیب ۰/۵۰۹ تا ۰/۸۷۰، ۰/۰۰۷تا ۰/۰۴۰ و ۰/۱۷۳ تا ۱/۳۰۵ می‌باشد (جدول ۳). نتایج پژوهش‌های Sharma et al. (2017)، Hossain et al. (2014)، Bustani (Rafiee et al. (2013) و Guharani (2014) نیز نشان داد که این مدل قادر به شبیه‌سازی مجموعه گسترده‌ای از داده‌ها با خطاهای کم برای این پارامتر است.

**اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی:** در مورد اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی روند تغییرات در دو فصل تر و خشک متفاوت بوده و از مقدار حداقل به سمت مقادیر حداکثر تغییر نموده است. در هر صورت دو فصل تر و خشک از نظر اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی دارای تغییرات متفاوتی می‌باشد. به‌عنوان نمونه در شکل (۶) غلظت مربوطه از مقدار ۰/۶۲ (در ابتدای مسیر رودخانه) تا ۴/۶۷ میلی‌گرم در لیتر (در کیلومتر ۴/۶۹) در فصل تر، نسبت به مقدار ۲/۳۷ (در شروع مسیر رودخانه) تا ۷/۳۱ میلی‌گرم در لیتر (انتهای مسیر رودخانه) در فصل خشک، تغییر پیدا کرده است. میزان غلظت اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی در فصل تر نسبت به فصل خشک کمتر می‌باشد، علت این امر را نیز می‌توان ورود کمتر آلودگی و همچنین دبی بیشتر رودخانه در فصل تر نسبت به فصل خشک دانست. هم‌چنین نتایج شکل (۶) برای این پارامتر نشان داد که غلظت اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی در فصل تر از ابتدای مسیر تا کیلومتر ۰/۵۱ (محل اضافه شدن آب شاخه فرعی تاریک‌دره) افزایش یافته است. ولی در فصل خشک به‌دلیل غلظت بالای آلاینده‌ها و دبی کم رودخانه، این مقدار از ابتدای مسیر، نسبت به فصل تر قابل توجه بوده و افزایش نداشته است. در ادامه مسیر با اضافه شدن آب شاخه فرعی تاریک‌دره وضعیت کیفی رودخانه بهبود یافته و مانع افزایش غلظت این پارامتر شده است. از کیلومتر ۱/۸۶ (محل تقسیم آب ۱) به بعد، به‌دلیل برداشت آب و اضافه شدن فاضلاب در طول مسیر رودخانه، غلظت اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی در طی فصول تر و خشک روند افزایشی داشته است که تا کیلومتر ۴/۶۹ ادامه می‌یابد. مجدداً از این نقطه به بعد، غلظت اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی در فصل تر کاهش یافته، در صورتی که این کاهش غلظت، در فصل خشک اتفاق نمی‌افتد و تا انتهای مسیر رودخانه روند افزایشی ادامه پیدا می‌کند. علت این امر نیز به‌دلیل آن است که اولاً از این نقطه به بعد، هیچ گونه آلاینده نقطه‌ای وارد رودخانه نمی‌شود، ثانیاً دبی رودخانه در فصل تر قابل توجه می‌باشد که نشان از توان خودپالایی رودخانه دارد. در فصل خشک علی‌رغم عدم ورود آلاینده، با کاهش دبی، رودخانه توان خودپالایی را نداشته و غلظت پارامتر مورد بررسی تا انتهای مسیر افزایش می‌یابد.

درصد اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی‌شده در فصول تر و خشک برابر ۳/۰۴ می‌باشد. هم‌چنین درصد اختلاف بین نقاط اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده نیز در فصل تر ۵/۴۰ و در فصل خشک ۳/۸۸ است (جدول ۲). مقادیر $R^2$، SE و NRMSE مربوطه در مرحله واسنجی، به‌ترتیب در محدوده ۰/۸۳۵ تا ۰/۹۸۶، ۰/۰۵۸ تا ۰/۱۸۰ و ۰/۰۵۰ تا ۰/۱۴۳ و برای مرحله صحت‌سنجی ۰/۳۳۶ تا ۰/۹۷۱، ۰/۲۲۵ تا ۰/۳۸۵ و ۰/۱۰۸ تا ۰/۳۱۵ است (جدول ۳). نتایج فوق نشان می‌دهد شبیه‌سازی اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی توسط مدل، رضایت‌بخش بوده است. نتایج این پژوهش هم‌راستا با نتایج Kalburgi et al. (2015)، Marzouni et al. (2014) و Parmar و Keshari (2012) می‌باشد.

**اکسیژن‌خواهی شیمیایی:** به‌طور کلی میزان تغییرات اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی و شیمیایی نسبتاً مشابه بوده و نسبت به تغییرات اکسیژن محلول به‌طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر می‌باشد و از یک مقدار حداقل به مقدار حداکثری که چند برابر اولیه بوده است، ارتقا می‌یابد. به‌عنوان نمونه در شکل (۶) غلظت اکسیژن‌خواهی شیمیایی از مقدار ۱/۰۹ (در ابتدای مسیر رودخانه) تا ۶/۰۸ میلی‌گرم در لیتر (در کیلومتر ۴/۶۹) در فصل تر نسبت به مقدار ۶/۳۳ (در کیلومتر ۰/۷۶) تا ۲۰/۲۵ میلی‌گرم در لیتر (در انتهای مسیر رودخانه) در فصل خشک تغییر پیدا کرده است. میزان غلظت اکسیژن‌خواهی شیمیایی در فصل تر نسبت به فصل خشک کمتر می‌باشد، که علت این امر نیز می‌تواند دبی کم رودخانه در فصل خشک و ورود بیشتر آلاینده‌ها نسبت به فصل تر دانست. نتایج تحقیقات Hossain et al. (2014)، نیز نشان داد که افزایش مقدار اکسیژن‌خواهی شیمیایی به‌دلیل افزایش ورود آلاینده‌های صنعتی به رودخانه تونگاک است. هم‌چنین نتایج شکل (۶) نشان می‌دهد تغییرات غلظت اکسیژن‌خواهی شیمیایی در طی فصول تر و خشک مشابه تغییرات غلظت اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی می‌باشد. بدین صورت که در فصل تر از ابتدای مسیر تا کیلومتر ۰/۵۲، مقدار آن افزایش یافته است.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



*DOI:* 10.22055/JISE.2017.21674.1557

در این نقطه اضافه شدن آب شاخه فرعی تاریک‌دره مانع افزایش غلظت این پارامتر می‌گردد. در ادامه مسیر، از کیلومتر ۱/۸۶ تا کیلومتر ۴/۶۹ غلظت اکسیژن‌خواهی شیمیایی در طی فصول تر و خشک افزایش یافت. از این نقطه به بعد، غلظت اکسیژن‌خواهی شیمیایی در فصل تر کاهش و در فصل خشک افزایش داشته است. کوهستانی بودن منطقه، شیب تند رودخانه، تغییرات دبی و درجه حرارت پایین از جمله عواملی است که باعث هوادهی مناسب رودخانه در فصول تر شده است و با وجود تمرکز بیشتر منابع آلاینده در ابتدای مسیر، رودخانه دارای ظرفیت خودپالایی مناسب‌تری نسبت به فصول خشک می‌باشد. درصد اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی در فصول تر و خشک برابر ۳/۰۲ می‌باشد. این اختلاف بین نقاط اندازه‌گیری و شبیه‌سازی در فصل تر ۲/۷۷ و در فصل خشک ۳/۲۲ درصد می‌باشد (جدول ۲). مقادیر $R^2$، SE و NRMSE برای این پارامتر مورد بررسی در مرحله واسنجی به‌ترتیب در محدوده ۰/۸۵۴ تا ۰/۹۷۴، ۰/۰۷۵ تا ۰/۱۵۶ و ۰/۰۶۵ تا ۰/۱۳۳ است. برای مرحله صحت‌سنجی نیز این مقادیر به‌ترتیب ۰/۷۸۰ تا ۰/۹۵۴، ۰/۱۶۶ تا ۰/۲۱۶ و ۰/۰۸۱ تا ۰/۱۷۳ می‌باشد (جدول ۳). این نتایج نشان‌دهنده شبیه‌سازی مناسب پارامتر اکسیژن‌خواهی شیمیایی توسط مدل است. نتایج این پژوهش با نتایج Hossain et al. (2014)، Grabic et al. (2011) و Fan et al. (2009) همخوانی دارد.

**جدول ۳- مقادیر برآورد خطا (mg/l) برای واسنجی و صحت‌سنجی**

**Table 3. Estimated error values (mg/l) for calibration and validation**

| Month | DO | | | BOD | | | COD | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Calibration | | Verification | Calibration | | Verification | Calibration | | Verification |
| | 90 | 91 | 94 | 90 | 91 | 94 | 90 | 91 | 94 |
| | | | | | $R^2$ | | | | |
| May | 0.46 | 0.646 | 0.514 | 0.933 | 0.912 | 0.336 | 0.854 | 0.943 | 0.780 |
| June | 0.39 | 0.389 | 0.509 | 0.921 | 0.835 | 0.904 | 0.963 | 0.932 | 0.950 |
| August | 0.627 | 0.669 | 0.870 | 0.986 | 0.976 | 0.971 | 0.974 | 0.955 | 0.954 |
| | | | | | SE | | | | |
| May | 0.038 | 0.046 | 0.040 | 0.180 | 0.126 | 0.385 | 0.156 | 0.081 | 0.194 |
| June | 0.092 | 0.060 | 0.027 | 0.144 | 0.129 | 0.225 | 0.111 | 0.092 | 0.166 |
| August | 0.044 | 0.064 | 0.007 | 0.058 | 0.140 | 0.245 | 0.091 | 0.075 | 0.216 |
| | | | | | NRMSE | | | | |
| May | 2.751 | 0.508 | 1.305 | 0.120 | 0.104 | 0.315 | 0.133 | 0.087 | 0.173 |
| June | 0.399 | 0.302 | 0.663 | 0.104 | 0.143 | 0.108 | 0.065 | 0.088 | 0.081 |
| August | 0.840 | 0.291 | 0.173 | 0.050 | 0.061 | 0.120 | 0.077 | 0.082 | 0.116 |

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



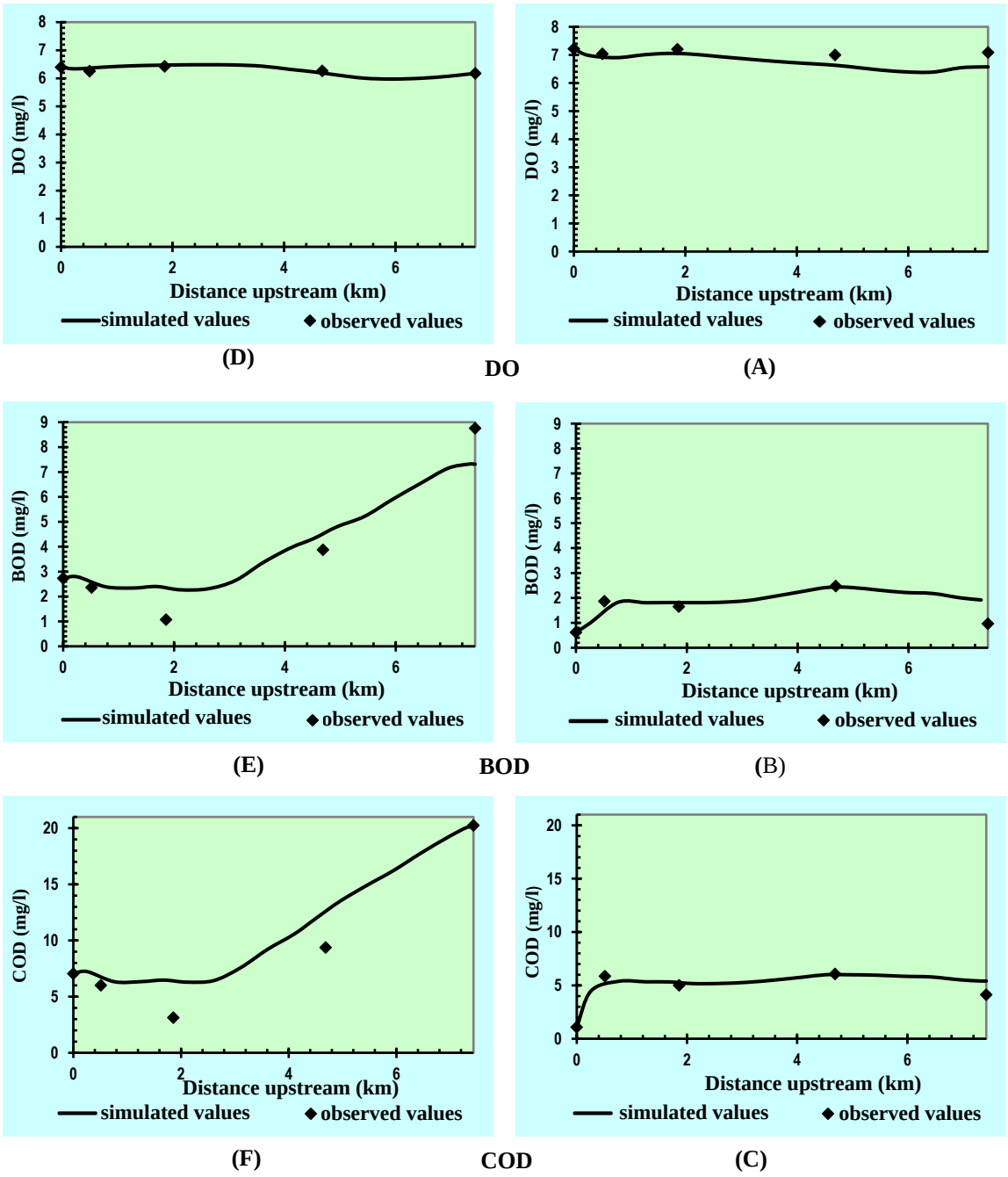


**Fig. 6- QUAL2KW model validation for DO, BOD and COD (mg/l) parameters in wet (A, B and C) and dry seasons (D, E and F) in Abbas-Abad River, Hamadan**

**شکل ٦- صحت‌سنجی مدل QUAL2KW برای پارامترهای DO، BOD و COD (میلی‌گرم در لیتر) در فصول تر (A، B و C) و خشک (D، E و F) در رودخانه عباس‌آباد همدان**

## نتیجه‌گیری

در این پژوهش رودخانه عباس‌آباد همدان که داری آب و هوای سرد کوهستانی، با میانگین بارش سالانه در حدود ۳۱۸ میلی‌متر می‌باشد، مورد مطالعه قرار گرفت. اگرچه این حوضه به دلیل شیب زیاد از توان سیل‌خیزی بالایی برخوردار است اما به‌دلیل حاکم بودن رژیم برف‌آبی سیلاب‌های آن عمدتاً در نیمه بهار و تحت تاثیر شرایط ذوب

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



DOI: 10.22055/JISE.2017.21674.1557

برف می‌باشد. آب‌دهی رودخانه عباس‌آباد در ایستگاه تقسیم آب از سال ۱۳۴۸ اندازه‌گیری و متوسط گذر حجمی آب این رودخانه در این محل معادل ۱۹/۵۵ میلیون‌مترمکعب در سال با میانگین آبدهی سالانه ۰/۶۲ متر مکعب در ثانیه برآورد شده است. این مقدار آورد سالانه در مقایسه با سطح حوضه مقدار قابل توجه بوده و در روند خودپالایی رودخانه و شستشوی آلاینده‌ها نقش به‌سزایی را ایفا می‌کند. در همین راستا، معیارهای کیفی آب شامل اکسیژن محلول، اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی و شیمیایی در رودخانه عباس‌آباد همدان، توسط مدل QUAL2KW مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد روند تغییرات اکسیژن محلول در فصول تر و خشک یکنواخت می‌باشد و به‌صورت خطی است و نوسانات زیادی ندارد که ناشی از شیب زیاد و هوادهی بالای رودخانه می‌باشد. در مورد اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی روند تغییرات در فصول تر و خشک متفاوت بوده و از مقدار حداقل به سمت مقادیر حداکثر تغییر نموده است به نحوی که مقدار این پارامتر در فصل تر با میانگین آب‌دهی حداکثر سالانه ۱/۲ متر مکعب در ثانیه به مراتب کمتر از فصل خشک می‌باشد. تغییرات اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی و شیمیایی نسبتاً مشابه بوده و نسبت به تغییرات اکسیژن محلول به‌طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر می‌باشد و از یک مقدار حداقل به مقدار حداکثری که چند برابر اولیه بوده افزایش می‌یابد. هم‌چنین با توجه به نتایج‌به‌دست‌آمده، در رودخانه‌های کوهستانی پر شیب و کوچک، هوادهی به نحو مناسبی صورت می‌پذیرد به‌طوری‌که ظرفیت خودپالایی رودخانه خصوصاً در دبی‌های بالا در فصول تر، به‌طور قابل ملاحظه‌ای نسبت به رودخانه‌های کم شیب و با سرعت کم، افزایش می‌یابد. منابع اصلی آلودگی رودخانه عباس‌آباد همدان رستوران‌ها، هتل‌ها، باغ‌ها و هم‌چنین امکانات تفریحی و اردوگاه‌های سازمان‌های دولتی می‌باشند که عمدتاً در بازه اول شکل (۴) در مقطع رودخانه تخلیه می‌شوند. خوشبختانه در این مقطع رودخانه دارای شیب بیشتری نسبت به بازه دوم می‌باشد و عمل خودپالایی و هوادهی در این بازه بهتر از بازه دوم صورت می‌پذیرد. نتایج مدل‌سازی برای رسیدن به اهداف مدیریتی به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه که به‌طور معمول در بسیاری از رودخانه‌ها با کمبود شدید داده مواجه می‌باشند، کاملا قابل قبول می‌باشد. با این حال می‌توان، نتایج بهتری از طریق نظارت دقیق با افزایش تعداد نمونه‌برداری‌ها در طول روز، ایجاد ایستگاه‌های پایش مداوم در برنامه نظارت و اضافه کردن متغیرهای ورودی مختلف در طول زمان به‌دست آورد. هم‌چنین این مدل می‌تواند برای تعریف سناریوهای مدیریتی برای منطقه مورد مطالعه در آینده با موفقیت استفاده شود. براساس این نتایج و با بهره‌گیری از پتانسیل مدل به‌عنوان یک ابزار برای حمایت از مدیریت، اقدامات اصلاحی کوتاه-مدت، نظیر تقویت جریان و کنترل تخلیه آلاینده‌ها، به‌منظور بهبود کیفیت آب رودخانه عباس‌آباد همدان به‌منظور دست‌یابی به یک تعادل زیست‌محیطی سالم پیشنهاد می‌گردد.

## تقدیر و تشکر

نویسندگان وظیفه خود می‌دانند که از حوزه معاونت پژوهشی دانشگاه بوعلی سینا به‌دلیل حمایت مالی از این پژوهش، تقدیر و تشکر نمایند.

## Refrences

1- Anonymous., 2005. Semi-detailed water resources information of Hamadan plain - spring. *Hydrology Report, Ministry of Energy, Hamadan Regional Water Company*. (In Persian).

2- Bustani, F. and Guharani. A., 2014. Water quality simulation of Bashar River area in Yasuj city using QUAL2K simulation. *Journal of Water Resources Engineering*, 7 (23) , pp. 85-98. (In Persian).

3- Campolo, M., Andreussi, P. and Soldati, A., 2002. Water quality control in the river Arno. *Water research*, 36(10) , pp. 2673-2680.

4- Cox, B. A., 2003. A review of currently available in-stream water-quality models and their applicability for simulating dissolved oxygen in lowland rivers. *Science of the Total Environment*, 314, pp. 335-377.

5- Fan, C., Ko, C. H. and 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), pp. 1824-1832.

6- Fang, X., Zhang, J., Chen, Y. and Xu, X., 2008. QUAL2K model used in the water quality assessment of Qiantang River, China. *Water Environment Research*, 80(11), pp. 2125-2133.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



7- Grabic, J., Bezdan, A., Benka, P. and Salvai, A., 2011. Spreading and transformation of Nutrients in the reach of the Becej-Bogojevo Canal, Serbia. Carpathian. *Journal of Earth and Environmental Sciences*, 6(1), pp. 277-284.

8- Hayes, D.F., Labadie, J.W., Sanders, T.G. and Brown, J.K., 1998. Enhancing water quality in hydropower system operations. *Water Resources Research*, 34(3), pp. 471-483.

9- Herbay, J.P., Smeers, Y. and Tyteca, D., 1983. Water quality management with time varying river flow and discharger control. *Water Resources Research*, 19(6), pp. 1481-1487.

10- Hossain, M.A., Sujaul, I.M. and Nasly, M.A., 2014. Application of QUAL2KW for water quality modeling in the Tunggak River, Kuantan, Pahang, Malaysia. *Journal of Recent Sciences*, 3(6), pp. 6-14.

11- Kalburgi, P.B., Shareefa, R.N. and Deshannavar, U.B., 2015. Development and evaluation of BOD–DO model for River Ghataprabha near Mudhol (India), using QUAL2K. *Engineering and Manufacturing*, 1, pp. 15-25.

12- Lindenschmidt, K.E., 2006. The effect of complexity on parameter sensitivity and model uncertainty in river water quality modelling. *Ecological Modelling*, 190(1-2), pp. 72-86.

13- Mahamah, D.S., 1998. Simplifying assumptions in water quality modeling. *Ecological Modelling*, 109(3) , pp. 295-300.

14- Marzouni, M.B., Akhoundalib, A.M., Moazed, H., Jaafarzadeh, N., Ahadian, J. and Hasoonizadeh, H., 2014. Evaluation of Karun river water quality scenarios using simulation model results. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 2(2) , pp. 339-358.

15- Noshadi, M. and Hatamizadeh, MR., 2010. Measurement and qualitative simulation of the Kor River using QUAL2K model. *Journal of Irrigation and Drainage*, 4 (3), pp. 338-349. (In Persian).

16- Oliveira, B., Bola, J., Quinteiro, P., Nadais, H. and Arroja, L. 2012. Application of QUAL2KW model as a tool for water quality management: Cértima River as a case study. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184(10) , pp. 6197-6210.

17- Ouyang, Y., Nkedi-Kizza, P., Wu, Q.T., Shinde, D. and Huang, C.H., 2006. Assessment of seasonal variations in surface water quality. *Water Research*, 40(20), pp. 3800-3810.

18- Parmar, D. L. and Keshari, A. K., 2012. Sensitivity analysis of water quality for Delhi stretch of the River Yamuna, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184(3) , pp. 1487-1508.

19- Rafiee, M., Akhond Ali, A.M., Moazed, H., Lyon, S.W., Jaafarzadeh, N., & Zahraie, B. 2014. A case study of water quality modeling of the Gargar river, Iran. *Journal of Hydraulic Structures*, 1(2), pp. 10-22.

20- Razaghian, F., Sabzipour, B. and. Sarang, A., 2015. Qualitative modeling of Gharasoo river in Kermanshah city with QUAL2KW model. *10th International Congress of Civil Engineering*, Tabriz, Tabriz University Faculty of Civil Engineering. (In Persian).

21- David L. 1996. Applied River Morphology. Wildland Hydrology Books, Pagosa Springs, Colorado, p 6-42. SAS Institute, 1989. GLM Procedures, SAS Users Guide, Cary, North Carolina.

22- Sarda, P. and Sadgir, P., 2015. Water quality modeling and management of surface water using soft tool. *International Journal of Science, Engineering and Technology Research* (IJSETR), 4(9) , pp. 2988-2992.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



23- Shahriari, F., Javadifar, N. and Akhundali, AM., 2011. Investigation of flow rate changes on Karun river water quality using QUAL2KW model. *5th National Conference and Specialized Exhibition of Environment*, Tehran (In Persian).

24- Sharma, D., Kansal, A. and Pelletier, G., 2017. Water quality modeling for urban reach of Yamuna river, India (1999–2009), using QUAL2KW. *Applied Water Science*, 7(3) , pp. 1535-1559.

25- Ye, H., Guo, S., Li, F. and Li, G., 2013. Water quality evaluation in tidal river reaches of Liaohe River estuary, China using a revised QUAL2K model. *Chinese Geographical Science*, 23(3) , pp. 301-311.

Archive of SID.ir