Shahid Chamran University of Ahvaz
Irrigation Sciences and Engineering (JISE) Vol. 43, No. 3, Fall 2020, Original Paper, p. 71-85

EXTENDED ABSTRACT

The Quality Study and Simulation by Qual2k Model in Dez River, Iran

S. Abdeveis[1], H. Sedghi[2], H. Hassonizadeh[3*] and H. Babazadeh[4]

1- Ph.D. Candidate, Department of Water Sciences and Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2- Professor, Department of Water Sciences and Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
3*- Corresponding Author, Executive Director of Water Resources Division, Khuzestan Water and Power Authority, Ahwaz, Iran. *(hassoni44@hotmail.com).*
2- Associate Professor, Department of Water Sciences and Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Received:14 April 2018 Revised: 1 September 2018 Accepted: 11 September 2018

Keywords: Krinkel standard, IRWQI, QUAL2K model, Dez River.
DOI: 10.22055/jise.2018.25434.1752.

Introduction

According to the standard of Krenkel and Novotny (1980), the proposed concentrations of different water quality variables are categorized into four different groups. In this category, group 1 (A1, B1) represents a water quality which is suitable for all general applications. Group 4 is the worst water quality which is inappropriate for most applications. Moravej et al. (2017) investigated the water quality of the Karun River using the water quality index and GIS (Geographic Information system) time series modeling during 2007-2012. The results showed that the water quality index decreases (at the point where it joins the Dez River) meaning that lower quality of the river water is due to pollutants entering into the river at the downstream of the Dezful station. So, it is necessary to have control measures in this river. Recently, $IRWQI_{SC}$ indicator has been presented by researchers of the Iranian Environmental Protection Agency. Hamedi et al. (2015) used the $IRWQI_{SC}$ indicator to determine the changes in river flow volume due to seasonal variation. In addition, Azami et al., (2015) reviewed changes of the $IRWQI_{SC}$ indicator for Tjan River. Bagherian Marzouni et al. (2014) conducted "DO" and "BOD" parameters in the Karun River with Q2k model. The results showed that by changing the entry points of the pollutants into the river (especially in low-flow condition) we will achieve the environmental goals for the river water. Nakhaei and Shahidi (2010), using the Qual2k model, showed that the water quality at the downstream of the Zayandehrood River is very poor due to the input of industrial pollutants. Rafiee et al. (2013) simulated the sources of pollutants input into the Gargar River in Khuzestan province, by Qual2k model. The results showed that the Qual2k model is sensitive to inflow and input pollutants such as BOD and Nitrate (NO_3-N).

In this study, the qualitative changes of the Dez River have been investigated using the Kerincell Standard and $IRWQI_{SC}$ indicator in recent years. Then, the qualitative status of the river was simulated by Qual2k model. This model was calibrated and verified to forecast the water quality of the Dez River in the future.

Methodology

The Dez River (after the Karun River) is one of the largest and longest rivers in Iran, the Gulf and Oman Sea basins. The quality of water in this river has been of acceptable level for a long time. However, its quality has declined in recent years due to drought, industrial and agricultural development. The monthly average flow of the Dez River has been 50-70 m^3/s over the past 10 years. Five quality monitoring stations on the river and fifteen stations at the input points of pollutants into the river have been established. The Water Quality Standard (Kinkel indicator)

and $IRWQI_{SC}$ indicator were applied. The water quality of the Dez River in different periods was investigated, so that its qualitative changes during the ten recent developing years would be noticed. Then, the river water quality situation was simulated by Qual2k Model. In this model, the Electrical Conductivity (EC), Dissolved Oxygen (DO), Biological Oxygen Demand (BOD), PH, Nitrate (NO_3-N), Amonium (NH_4-N) parameters were simulated along the river.

Results and discussion

In the present study, the qualitative status of the Dez River using the Krinkel Standard, $IRWQI_{SC}$ indicator and Qual2k model were investigated. The results are as follows:

1- A review of the Krinkel Standard at the downstream of the Dez River showed that the water quality class (grade) has declined at least 1 degree during the last 10 years.
2- The river quality index has changed from very good to good and fairly good -standards, during the drought and development period.
3- The electrical conductivity values estimated through the Qual2k model (using time series between March and July 2013) is very close to its observed value. The DO value decreases in the distance of 80 to 160 kilometers at the downstream of the river and then increases due to the natural self-purification of the river and the reduction of the input drainage. The input density of agricultural, industrial and urban drainages is very high at this point of the river. The NH_4 and NO_3 parameters increase in the distance of 140 to 150 kilometers of the river due to the input of a higher amount of the linear pollutant. PH is normal along the river. The water quality of the river has significantly declined, due to the deviation of the large volume of river's water from the western and eastern cannels and input density more than 10 agricultural and industrial polluting sources (in the distance of 140 to 160 kilometers at the downstream of the Dez river).
4- The results from the model showed that in the rainy season (March), the concentration of river pollutants and amount of DO parameter are lower and higher, respectively. Furthermore, the water quality of the river during the rainy season is more desirable than the low-flow condition.

Conclusion

Due to lack of qualitative information in developing countries, this model is functional and its results can be used. Using the calibrated model in the future, it is possible to calculate and forecast the trend of quality changes and pollution at each point of the river (considering the agricultural and industrial development and pollutant entry changes into the Daz River). It is suggested that other rivers that are facing a change in their water quality should be calibrated with a qualitative model for simulation and future projections.

Acknowledgments

We are grateful to the Applied Research Office of the Khuzestan Water and Power Authority for their support.

References

1- Aazami, J., Esmaili-Sari, A., Abdoli, A., Sohrabi, H. and Van den Brink, P.J., 2015. Monitoring and assessment of water health quality in the Tajan River, Iran using Physicochemical, fish and macro invertebrate's indices. Journal of Environmental Health Science and Engineering, 56(1), pp. 260–269.

2- Bagherian Marzouni, M., Akhoundali, A.M., Moazed. H., Jaafarzadeh, N.A., 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.

3- Hamedi, H., Mobarghai, N., Soufizadeh, S. and Rasouli, S.A., 2015. Survey of qualitative conditions and seasonal variation of the urban watercourses pollutants. Journal of Material and Environmental Science, 6 (2), pp. 322-332.

4- Krenkel, P.A. and Novotny, V., 1980. Water quality management. Academic press, New York, NY 10003.

5- Moravej, M., Maryami rad, I. and Ibrahimi, K., 2016. Evaluating the Karoun river quality status based on water quality index using the GIS. Ecohydrology, 4 (1), pp. 225-235. (In Persian).

6- Nakhaei, N. and Shahidi, A.E., 2010. Wastewater discharge impact modeling with Qual2k, case study: the Zayandeh-rood River. International Environmental Modeling and Software Society (IEMSs), Ottawa, Canada.

7- Rafiee, M., Akhond Ali, A.M., Moazed, H., Lyon, WS., Jaafar zadeh, N. and Zahraie, B., 2013. A case Study of water quality modeling of the Gargar river, Iran. Journal of Hydraulic Structures (ISC), 1(2), pp. 10-22.



© 2020 by the authors. Licensee SCU, 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/).

علوم و مهندسی آبیاری جلد ۴۳، شماره‌ی۳، پاییز ۹۹، مقاله پژوهشی، ص. ۸۵-۷۱

بررسی کیفی و شبیه سازی با مدل Qual2k در رودخانه دز

سمانه عبدویس[۱]، حسین صدقی[۲]، هوشنگ حسونی زاده[۳*] و حسین بابازاده[۴]

۱- دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲- استاد گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۳*- نویسنده مسئول، معاون مطالعات پایه منابع آب، سازمان آب و برق خوزستان، اهواز، ایران.hassoni44@hotmail.com

۴- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

دریافت: ۱۳۹۷/۱/۲۵ بازنگری: ۱۳۹۷/۶/۱۰ پذیرش: ۱۳۹۷/۶/۲۰

چکیده

رودخانه دز یکی از رودخانه‌های بلند، پرآب و دارای کیفیت خوب است. کیفیت آب این رودخانه در سال‌های اخیر به علت خشک‌سالی، توسعه صنعتی و کشاورزی کاهش یافته است. این رودخانه همچنین نقش تعدیل‌کننده کیفی را برای رودخانه کارون پس از ملحق‌شدن به آن دارد. لذا حفظ کیفیت آن بسیار مهم است. در این مقاله ابتدا منابع آلاینده ورودی به رودخانه شناسایی و سپس با استفاده از استاندارد کرینکل و شاخص کیفیت منابع آب ایران (IRWQI) تغییرات کیفی و آلودگی رودخانه دز طی سال‌های ۹۲-۸۴ بررسی شده است. به این منظور پارامترهای هدایت الکتریکی (EC)، اکسیژن محلول (DO)، نیاز اکسیژن‌خواهی بیولوژیکی (BOD)، اسیدیته (pH)، نیترات (NO_3) و آمونیوم (NH_4)، مدنظر قرار گرفت. نتایج بررسی با استاندارد و شاخص کیفی نشان داد که کیفیت رودخانه در زمان خشک‌سالی و بر اثر توسعه از توصیف بسیار خوب به خوب و نسبتاً خوب تنزل یافته است. سپس با استفاده از مدل یک‌بعدی کیفی QUAL2K نیز وضعیت کیفی رودخانه برای دو فصل خشک و تر شبیه‌سازی، کالیبراسیون و صحت‌سنجی شد و ضرایب کالیبراسیون مدل کیفی رودخانه دز استخراج گردید. با توجه به محاسبه این ضرایب و افزایش خشک‌سالی و توسعه صنعت و کشاورزی، از این مدل می‌توان برای برنامه‌ریزی منابع آب و پیش‌بینی‌های کیفی رودخانه دز در آینده بهره جست.

کلید واژه‌ها: استاندارد کرینکل، شاخص کیفی IRWQI، مدل کیفی QUAL2K، رودخانه دز.

مقدمه

رودخانه‌ها از مهمترین منابع مصرف شرب، کشاورزی و صنعت می‌باشند. توسعه صنعت، کشاورزی، شهرنشینی، خشک‌سالی و انتقال آب بین حوضه‌ای و تغیرات الگوی کشت موجب کاهش کمی و کیفی آب رودخانه‌ها در سال‌های اخیر شده است. لذا اولین قدم در حفاظت منابع آبی و احیای آن‌ها توجه به مسأله کیفیت اولیه آب در حوضه است. بر طبق استاندارد Krenkel و Novotny (1980) غلظت‌های پیشنهادی متغیرهای کیفی مختلف آب رودخانه در چهار گروه مختلف دسته‌بندی می‌گردد. در این دسته‌بندی گروه یک (A1,B1) نشانگر کیفیت مناسب آبی است که برای کلیه کاربردهای عمومی مناسب است و گروه چهار بدترین کیفیت آب را نشان می‌دهد که برای اغلب کاربردها نامناسب است. Moravej et al. (2016) کیفیت آب رودخانه کارون را با استفاده از شاخص کیفیت آب و GIS و مدل‌سازی سری زمانی بین سال‌های ۸۶ تا ۹۱ ارزیابی نمودند. نتایج نشان داد با اتصال رودخانه دز، شاخص کیفیت آب کاهش می‌یابد که می‌تواند بیانگر پایین‌تر بودن کیفیت آب رودخانه دز به دلیل ورود آلودگی به آن در پایین‌دست ایستگاه دزفول باشد و اقدامات کنترلی را در این رودخانه ضروری می‌سازد. شاخص کیفیت منابع آب ایران یا (IRWQIsc) شاخصی جدید است که در سال‌های اخیر توسط محققین سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران ارائه شده است. Hamedi et al. (2015) این شاخص را برای تغییرات حجم جریان رودخانه بر اثر تغییر فصل تعیین نمودند. هم‌چنین Azami et al (2015) تغییرات این شاخص را برای رودخانه تجن بررسی و تعیین نمودند. Bottino et al (2010) کیفیت آب رودخانه Canha در یک زیرحوضه از برزیل را با استفاده از Qual2K ارزیابی نمودند. نتایج نشان داد این مدل دارای محدودیت‌هایی است اما استفاده از آن برای برنامه‌ریزی منابع آب با اهداف بلندمدت مفید می‌باشد. Camargo et al. (2010) کیفیت آب را با استفاده از مدل کیفی Qual2k برای حوضه‌های کوچک کارستی در برزیل پیش‌بینی نمودند. در این تحقیق مدل به خوبی توانست خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و هیدرولیکی حوضه فیداگو را نشان دهد. Bagherian Marzouni et al. (2014) دو پارامتر DO وBOD را در رودخانه کارون با مدل Qual2k مورد بررسی قرار دادند. نتایج رسیدن به اهداف محیط زیستی را با تغییر نقاط ورود آلاینده‌ها به رودخانه خصوصاً در زمان کم‌آبی نشان داد. Nakhaei و Shahidi (2010) با استفاده از مدل Qual2k برای رودخانه زاینده‌رود نشان دادند کیفیت آب در پایین‌دست این رودخانه به علت ورود آلاینده-های صنعتی بسیار ضعیف است. Rafiee et al. (2013) منابع ورود آلاینده‌ها به رودخانه گرگر در خوزستان را با مدل Qual2k

شبیه‌سازی نمودند. نتایج نشان داد که مدل به میزان جریان رودخانه و آلاینده‌های ورودی نظیر BOD و نیترات حساس است. با توجه به خشک‌الی و توسعه کشاورزی، اهمیت تحقیقات بر وضعیت کیفی رودخانه‌ها در سال‌های اخیر افزایش یافته است. لذا رودخانه دز نیز از این موضوع مستثنی نبوده است. هم‌چنین این رودخانه پالاینده مهم رودخانه کارون نیز به‌شمار می‌رود. در این تحقیق تقریبا تمامی منابع آلاینده ورودی به دز شناسایی و با استفاده از استاندارد کرینکل و شاخص کیفیت منابع آب ایران وضعیت کیفی رودخانه بررسی و مشخص گردید. هم‌چنین برای اولین بار وضعیت کیفی و آلودگی رودخانه دز با مدل Qual2k شبیه‌سازی و کالیبره شد. با استخراج ضرایب کالیبراسیون این مدل در رودخانه دز، می‌توان در آینده با توجه به میزان توسعه و تغییرات اقلیمی، وضعیت کیفی رودخانه دز را پیش‌بینی و برای بهبود کیفیت آن برنامه‌ریزی نمود.

مواد و روش‌ها

محدوده مطالعاتی

رودخانه دز بعد از رودخانه کارون یکی از رودخانه‌های بزرگ و طولانی در ایران و حوضه خلیج فارس و دریای عمان است. این رودخانه شامل دو شاخه اصلی سزار و بختیاری بوده که از کوه‌های شمال اندیمشک و دزفول سرچشمه می‌گیرد و پس از ورود به شهر دزفول در ۴۰ کیلومتری شمال اهواز در محلی به نام بندقیر به کارون می‌پیوندد. محدوده مطالعاتی در حدود ۱۹۲ کیلومتر از رودخانه دز بوده که از سد تنظیمی دزفول تا بند قیر ادامه می‌یابد. متوسط ماهانه جریان رودخانه دز بین ۵۰ تا ۷۰ مترمکعب در ثانیه طی ده سال اخیر بوده است. متوسط دمای ماهانه بین ۱۱ تا ۳۷ درجه سانتی‌گراد به‌ترتیب در خنک‌ترین و گرم‌ترین ماه سال متغیر است. مختصات جغرافیایی و فاصله از انتهای رودخانه برای ایستگاه‌های پایش کیفی در جدول (۱) نشان داده شده است که به‌ترتیب ایستگاه‌های دزفول (S_1)، حمیدآباد (S_2)، حرمله (S_3)، بامدژ (S_4) و بندقیر (S_5) می‌باشند. جانمایی این ایستگاه‌ها و نقاط ورود آلاینده‌ها نیز در شکل (۱) نشان داده شده است.

بررسی روند کیفی و آلودگی رودخانه دز

با استفاده از استاندارد کیفیت آب رودخانه‌ها و هم‌چنین شاخص کیفیت منابع آب‌های سطحی ایران ($IRWQI_{SC}$)، کیفیت آب رودخانه دز برای چند دوره زمانی بررسی و مقایسه شد تا تغییرات کیفی آن در طول سال‌های توسعه (ده سال اخیر) نمایان شود. در جدول (۲) استاندارد کرینکل جهت بررسی پارامترهای متداول آب آورده شده است (Krenkel and Novotny, 1980). هم‌چنین در شکل‌های (۲) تا (۷) روند تغییرات جریان و پارامترهای کیفی رودخانه دز از سال ۸۳ تا ۹۳ با توجه به حدود استاندارد نشان داده شده است.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های پایش کیفی آب و منابع آلاینده ورودی به رودخانه دز

Table 1- Specifications of water quality monitoring stations and sources of pollutants enter to Dez River

Station	Station name	Dis of downstream (km)	X(UTM)	Y(UTM)
	(S1) Dezful	192	255616	3587560
	(S2) Hamidabad	164	248810	3570250
	(S3)Harmale	100	269463	3537173
	(S4) Bamdej	37	280735	3507323
	(S5) Bandghir	0	298858	3503267
	(W1) Dezful sewage	183	253550	3583164
	(W2) Sabzab	166	243084	3576285
	(W3) Saghari	162	253992	3566388
	(W4) Bonehasan	158	250095	3564587
	(W5) Haftape Sugarcane	149	256066	3556454
	(W6) Drainage 6	148	256066	3556454
	(W7) Drainage 8	146	256266	3554400
	(W8) Agerob & Salime	145	262540	3558218
	(W9) Pars paper	143	256413	3552859
	(W10) Tapdrain	128	268720	3550451
	(W11) Kohnak	108	272486	3545815
	(W12) K,LDrain	104	274302	3541360
	(W13) Mianab	66	275936	3522121
	(W14) Kharor	37	277928	3505757
	(W15) Shoaibie	6	292718	3503771

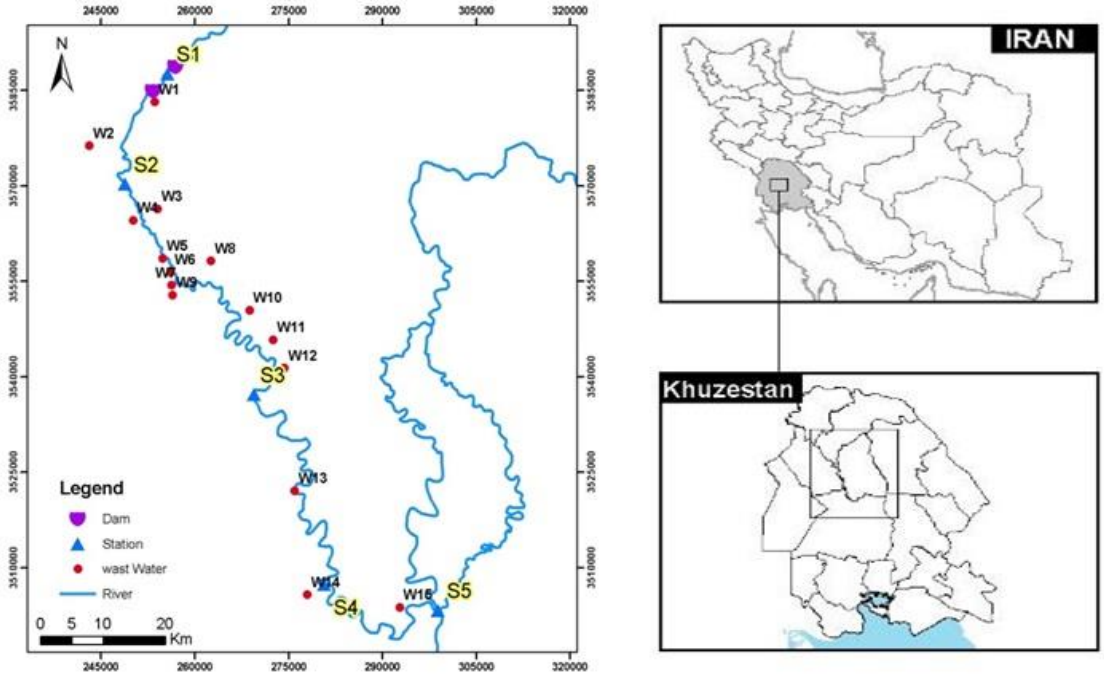


Fig. 1- Location of Dez River quality monitoring stations and sources of pollutants, Regulatory Dam Dez-Bandaghir Interval

شکل ۱- جانمایی ایستگاه‌های پایش کیفی رودخانه دز و منابع ورود آلاینده‌ها، بازه سد تنظیمی-بندقیر

جدول ۲- استانداردهای کیفیت آب رودخانه‌ها

Table 2- River water quality standards

Parameter	Unite	Classification				
		1A	1B	2	3	4
T	(°C)	≤20	20-22	22-25	25-30	>30
pH	-	6.5-8.5	6.5-8.5	6.5-8.5	5.5-8.5	5.5> یا 9.5<
DO	mg/L	7<	5-7	3-5	<3	<3
BOD5	mg/L	3≤	3-5	5-10	10-25	>25
COD	mg/L	20≤	20-25	25-40	40-80	>80
NH_4	mg/L	≤0.1	0.1-0.5	0.5-2	2-8	>8
NO_3	mg/L	≤44	≤44	44-100	44-100	>100
EC	µmho/cm	≤400	400-750	750-1500	1500-3000	>3000

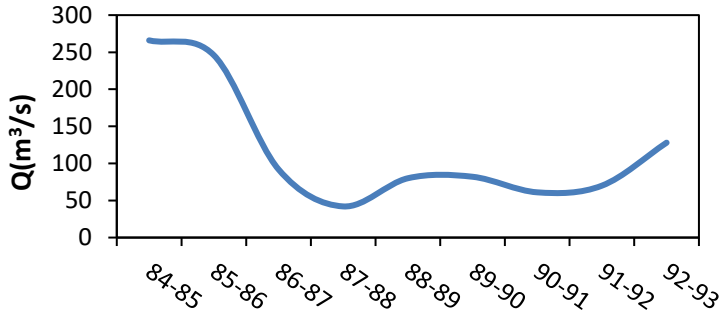


Fig. 2- Average annual discharge of Dez- River, Bamdej

شکل ۲- میانگین دبی سالانه رودخانه دز – بامدژ

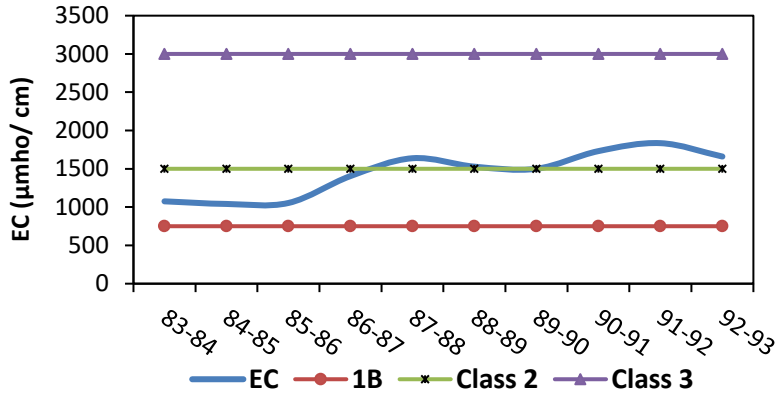


Fig. 3- Average annual electrical conductivity of Dez- River, Bamdej

شکل۳- متوسط سالانه هدایت الکتریکی رودخانه دز- بامدژ

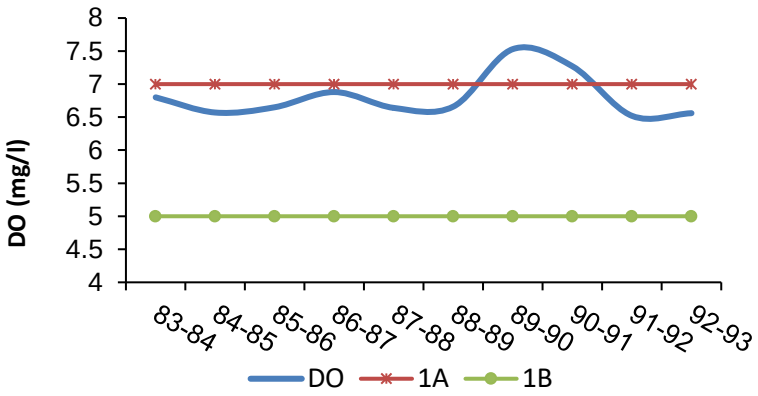


Fig. 4- Average annual Dissolved Oxygen of Dez- River, Bamdej

شکل٤- متوسط سالانه اکسیژن محلول رودخانه دز- بامدژ

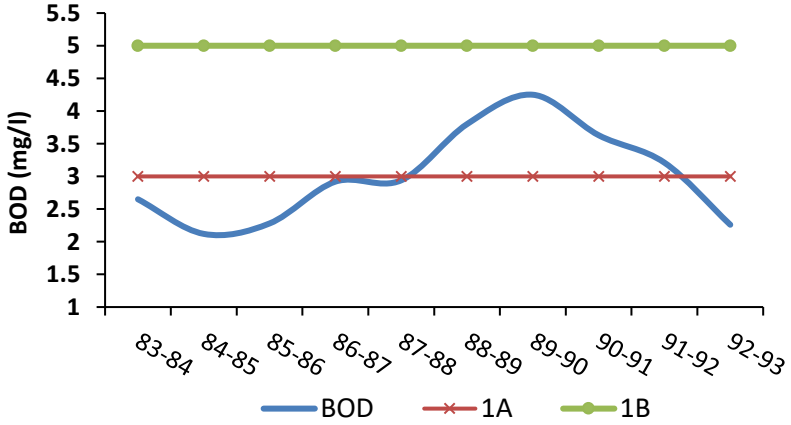


Fig. 5- Average annual biological Oxygen demand of Dez- River, Bamdej

شکل٥- متوسط سالانه اکسیژن خواهی بیولوژیکی رودخانه دز- بامدژ

 DOI: 10.22055/jise.2018.25434.1752

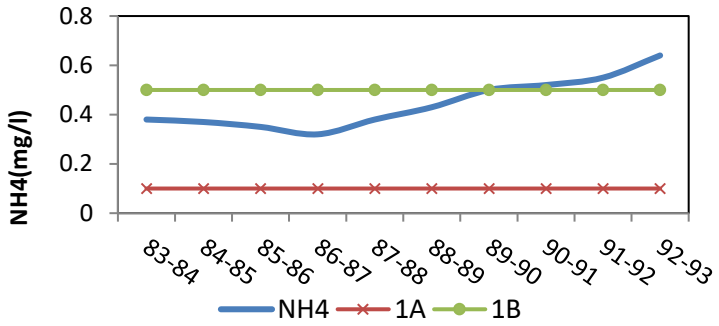


Fig. 6- Average annual Ammonium of Dez- River, Bamadej

شکل٦- متوسط سالانه آمونیوم رودخانه دز- بامدژ

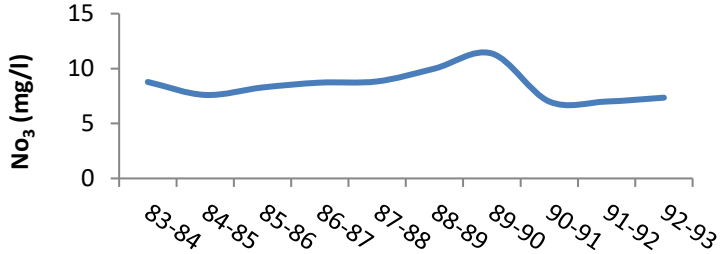


Fig.7- Average annual Nitrat of Dez- River, Bamadej

شکل۷- متوسط سالانه نیترات رودخانه دز- بامدژ

جدول ۳- پارامترهای شاخص (IRWQIsc) و وزن آن‌ها

Table 3- Index parameters (IRWQISC) and their weight

Parameter	Wight	Unite
Coliform	0.14	MPN/100 ml
BOD_5	0.117	mg/l
DO	0.097	Mg/l
Hardness	0.059	mg/l-$caco_3$
Ammonium	0.09	mg/l
Phosphate	0.087	mg/l
Nitrate	0.108	mg/l
Turbidity	0.062	NTU
EC	0.096	µmhos/cm
COD	0.093	Mg/l
pH	0.051	Non dimension

بررسی کیفیت آب با استفاده از محاسبه شاخص کیفیت منابع آب سطحی ایران (IRWQIsc)

این شاخص با بررسی یازده پارامتر وضعیت کیفی آب را در هفت دسته توصیف می‌کند. این شاخص برای رودخانه دز در دو ایستگاه حرمله و بامدژ با انتخاب سه سال با خصوصیات قبل از توسعه (۱۳۸۴)، وقوع خشک‌سالی (۱۳۸۶) و بعد از توسعه (۱۳۹۳) بررسی و محاسبه گردید. مراحل محاسبه شاخص عبارتند از:

الف) انتخاب پارامترهای شاخص و تعیین وزن آن‌ها با استفاده از جدول(۳) . ب) به‌دست آوردن مقدار شاخص هر پارامتر با منحنی‌های رتبه‌بندی ج) قرار دادن مقادیر به‌دست آمده در رابطه (۱)، محاسبه شاخص و تعیین عدد شاخص د) قرار دادن عدد شاخص در جدول (۴) برای تعیین معادل توصیفی آن. نتایج طبق جدول (۵) ارائه شده است.

$$IRWQI_{sc} = \left[\prod_{i=1}^{n} I_i^{w_i}\right]^{\frac{1}{\gamma}} \quad \gamma = \sum_{k=1}^{n} \mathrm{wi} \qquad (۱)$$

W_i = وزن پارامتر iام ، n = تعداد پارامترها، I_i= مقدار شاخص برای پارامتر i ام از منحنی رتبه‌بندی می‌باشد.

جدول ٤- راهنمای تعیین معادل توصیفی شاخص محاسبه شده

Table 4- Guide to determining the descriptive equivalent of the calculated index

Descriptive equivalent	Index value
Extremely poor	<15
poor	15-29.9
relatively poor	30-44.5
Average	45-55
relatively good	55.1-70
good	70.1-85
Extremely good	85 <

جدول ٥- تعیین معادل توصیفی شاخص IRWQI رودخانه دز - ایستگاه حرمله و بامدژ

Table 5- Determining the descriptive equivalent of IRWQI index of Dez River,

year	Harmaleh		Bamdej	
	Index value	Descriptive equivalent	Index value	Descriptive equivalent
2005	37.6	relatively poor	40	relatively poor
2007	29	poor	34	relatively poor
2013	33	relatively poor	34	relatively poor

Table 6- Average quality parameters of Dez River in July 2012

جدول ٦- متوسط پارامترهای کیفی رودخانه دز در تیرماه ۱۳۹۲

Name station	Q (m3/s)	T (0C)	EC (µmhos/cm)	DO (mg/li)	BOD5 (mg/li)	NH4-N µgr.N/l)	NO_3-N (µgr.N/l)	pH
Dezful	150	17	607	8.7	4.35	400	3400	7.4
Hamidabad	28	23	734	6	4	430	6500	7.8
Harmaleh	62	25	1520	5.4	4.8	450	8000	7.8
Bamdej	64	26	1800	6.1	4.3	300	7000	7.8
Bandghir	49	26	2700	6.5	4.7	300	7000	8

جدول ۷- متوسط پارامترهای کیفی رودخانه دز در اسفندماه ۱۳۹۲

Table 7- Average quality parameters of Dez River in March 2013

Name station	Q (m3/s)	T (0C)	EC (µmhos/cm)	DO (mg/li)	BOD5 (mg/li)	NH4-N µgr.N/l)	NO_3-N (µgr.N/l)	pH
Dezful	165	17	575	10.5	4	380	3400	7.5
Hamidabad	53	18	630	7.8	3.3	400	5000	7.8
Harmaleh	88	18	1099	6.5	3.9	450	7800	7.6
Bamdej	91	17	1400	7.2	3.75	400	7400	7.5
Bandghir	75	17	1900	7.5	4.05	350	7000	8

شبیه‌سازی کیفی با مدل Qual2k

داده‌های ورودی مدل کیفی

در فصل خشک و تر مقادیر مشاهداتی به‌ترتیب برای تیر و اسفند سال ۱۳۹۲ در پنج ایستگاه پایش کیفی رودخانه دز مطابق با جدول‌های (۶) و (۷) مدنظر قرار گرفت (Anonymous, 2015a). هم‌چنین نمونه‌های زه‌آب‌ها نیز در هر دو ماه تیر و اسفند ۹۲ برای هر ایستگاه اندازه‌گیری شدند که در جدول (۸) ارایه گردیده است. در فاصله بین ایستگاه دزفول تا حمیدآباد، بعد از سد تنظیمی دو کانال انحراف آب به نام کانال شرقی و کانال غربی حدود ۱۰۰ تا ۱۳۰ مترمکعب بر ثانیه، آب را به شبکه‌های کشاورزی ناحیه شمال دزفول منحرف می‌کنند که موجب کاهش دبی رودخانه در ایستگاه حمیدآباد می‌گردد (Anonymous, 2014).

در ادامه آب از زهکش‌ها و شاخه‌های فرعی نظیر کهنک وارد رودخانه شده و به‌تدریج دبی افزایش می‌یابد. فاصله و میزان دبی دو کانال انحرافی و دیگر نقاط برداشت آب از رودخانه (حقابه‌بران سنتی) با دبی بیش از یک مترمکعب در ثانیه در جدول (۹) ارایه شده است (Anonymous, 2015b).

جدول۸- مقادیر آلاینده‌های نقطه‌ای ورودی به رودخانه دز- تیرماه ۱۳۹۲

Table 8- Contaminant values of entry points to Dez river (July 2012)

Name station	Q (m^3/s)	Temperature (^0C)	EC (µmhos/cm)	DO (mg/l)	BOD_5 (mg/l)	NH_4-N (µgr.N/l)	NO_3-N (µgr.N/li)	pH
W1	1.5	24	1052	1	90	1200	15000	7.5
W2	3	24	787	8.1	3.6	800	10000	7.7
W3	5.5	23	708	7	5.6	850	11000	7.4
W4	1.3	26	778	8.7	4.8	900	7450	7.8
W5	3	26	1600	1	80	1500	6200	7.4
W6	1.3	26	1300	8	4.2	1300	9870	7.6
W7	1.5	25	1600	6	2.5	1300	8500	7.5
W8	13	24	747	5.5	4	1200	11000	7.5
W9	2	27	1450	1	130	1200	4000	6.8
W10	1.2	26	1400	7.4	6	1200	15000	7.5
W11	11	26	2200	6.5	6.9	1200	15000	7.8
W12	8.5	26	3080	6	5.9	1200	7810	7.8
W13	3.5	29	3310	4.5	3.2	1000	9650	7.5
W14	2.5	31	2000	4.4	3	1000	7000	7.8
W15	11	27	5000	8.5	7.5	1100	12000	7.8

جدول ۹- موقعیت و میزان برداشت آب از رودخانه دز-تیرماه ۱۳۹۲

Table 9- Location and amount of water withdrawal from Dez River -July 2012

water outlet	Dis of down(km)	Q (m3/s)
Eastern channel (Dezful)	184	31
Western channel (Dezful)	183	94.5
Traditional water users	175	2
Traditional water users (Haftape)	154	13
Traditional water users (Mianab)	75	6
Traditional water users(Shoybieh)	13.4	28

پارامترهای اندازه‌گیری شده در هر یک از این ایستگاه‌ها شامل دبی، دمای آب، هدایت الکتریکی (EC)، اکسیژن محلول (DO)، نیاز اکسیژن خواهی بیولوژیکی (BOD_5)، آمونیوم (NH_4)، نیترات (NO_3) و اسیدیته (pH)، می‌باشد. نمونه زه‌آبها و آب رودخانه طبق استانداردهای معمول جمع‌آوری، منتقل و آنالیز شده‌اند که در جدول‌های (۶)، (۷) و (۸) ارایه شده‌اند. این نمونه‌ها در آزمایشگاه بخش مطالعات محیط‌زیست و کیفیت منابع آب سازمان آب و برق خوزستان اندازه‌گیری شدند.

معادله حاکم و ساختار مدل کیفی Qual2k

در دهه‌های اخیر مدل‌های کیفیت آب بسیاری توسعه یافته‌اند (Zhang et al., 2012). مدل Qual2k یک مدل کیفی آب سطحی است که می‌تواند بهترین ضرایب و ثابت‌ها را برای استفاده در پروژه‌های محیط‌زیستی تولید کند. این مدل توسط United State Environmental Protection Agency (USEPA) در سال2007 توسعه داده شد (Anonymous, 2007). Qual2k مدلی یک بعدی است که جریان را به‌صورت غیریکنواخت پایدار شبیه‌سازی می‌کند و می‌تواند بار آلودگی منابع نقطه‌ای و خطی را لحاظ نماید (Chapra and Pelletier, 2003). معادله حاکم عبارت است از :

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial\left(A_c E \frac{\partial c}{\partial x}\right)}{\partial x} dx - \frac{\partial (A_c U c)}{\partial x} dx + V\frac{dc}{dt} + s \qquad (۲)$$

که در آن U متوسط سرعت (L/T)، Ac مساحت مقطع عرضی (L^2)، E پراکندگی طولی (L^2T^{-1})، C غلظت (ML^{-3})، V حجم، (L^3) و S فاصله (L) می‌باشد. طول رودخانه دز ۱۹۲ کیلومتر است که به ۱۱۶ بازه تقسیم گردید (با طول متوسط ۱/۶۶ کیلو متر). با توجه به مقاطع رودخانه دز، متوسط عرض کف، شیب کناره‌ها، ضریب زبری و شیب کف رودخانه، به‌ترتیب برابر ۹۴ متر، یک، ۰/۰۳۸ و ۰/۰۰۰۳۹ محاسبه، استخراج و در مدل وارد شد (Anonymous, 2011). برای مدل مقدار BOD در حدود ۱/۵ برابر BOD_5 تعریف شد (Kannel et al. 2007). پارامترهای دبی، دمای آب، EC، pH، DO، BOD، NH_4 و NO_3 در ایستگاه‌ها و محل‌های ورود نقاط آلاینده‌ها برای دو زمان کم‌آبی (تیرماه ۹۲) و پرآبی (اسفندماه ۹۲) به مدل وارد گردید. مقادیر مربوط به اندازه‌گیری فیتوپلانکتون‌ها و جلبک‌ها در دسترس نبود و بنابراین اطلاعاتی از این قبیل به مدل وارد نگردید (Rasti et al., 2007). البته فقدان این اطلاعات در نتایج نهایی مدل تاثیر بسیار اندکی دارند. جلبک و

نیاز اکسیژن رسوب کف برحسب متداول این اعداد در راهنمای مدل به‌ترتیب ۴۰ و ۷۰ درصد در نظر گرفته شد. با توجه به بازدیدهای میدانی و تعاریف راهنمای مدل، کیفیت آب در اولین ایستگاه پایش کیفی رودخانه دز، S_1 دزفول، به‌عنوان شرایط مرزی بالادست در مدل Qual2k در نظر گرفته شد. رابطه (۳) برای محاسبه نرخ اکسیژن‌خواهی انتخاب شد (Tsivoglou-Neal, 1976).

$$k_a = \acute{k}(\Delta H/\Delta X)U \qquad (۳)$$

که در آن k_a ضریب هوادهی مجدد در دمای ۲۰ درجه، سرعت جریان آب (U)، شیب سطح آب ($\Delta H/\Delta X$) و'k یک ضریب تجربی است که مقدار آن برای دبی‌های بین ۹۰ تا ۰/۷۵ متر مکعب بر ثانیه برابر ۰/۰۱۶۲ (m^{-1}) و برای دبی‌های بین ۰/۳ تا ۰/۰۳ برابر ۰/۰۳۳ (m^{-1}) می‌باشد. از پارامترهای هواشناسی ایستگاه سینوپتیک دزفول به‌عنوان نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی در محدوده مورد مطالعه استفاده گردید. برای مابقی پارامترها به علت در دسترس نبودن اطلاعات اندازه‌گیری، پیش‌فرض نرم‌افزار Qual2k در نظر گرفته شد.

کالیبراسیون و صحت‌سنجی مدل

مدل با مقادیر اندازه‌گیری شده در تیرماه ۹۲ اجرا و سپس برای کالیبره نمودن مدل، ضرایب پارامترهایی نظیر BOD، آمونیوم، نیترات و سرعت ته نشینی نیتروژن به‌صورت دستی تغییر داده شد تا آنجا که اختلاف بین مشاهدات و شبیه سازی مقادیر پارامترهای کیفی آب حداقل گردد. تعیین بهترین برازش با روش میانگین مربع خطا (RMSE) و خطای مطلق میانگین (MAE) و ضریب تعیین (R) طی روابط (۴)، (۵) و (۶) انجام شد.

این آماره‌ها معمولاً برای اعتبارسنجی و صحت‌سنجی مدل‌ها استفاده می‌شوند (Moriasi et al., 2007; Najafzadeh and Barani, 2011):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(p_i - o_i)^2} \qquad (۴)$$

$$MAE = \frac{\sum_{1}^{N}|(p_i - o_i|}{N} \qquad (۵)$$

$$r = \frac{n\sum(xy)-(\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n\sum(x^2)-(\sum x)^2][n\sum y^2)-(\sum y)^2]}} \qquad (۶)$$

که در آن P_i و y مقادیر محاسباتی مدل، O_i و x مقادیر مشاهداتی مدل و N تعداد جفت‌های مشاهداتی و محاسباتی می‌باشند.

برای آزمون توانایی مدل کالیبره‌شده یا در واقع صحت‌سنجی آن، مدل بار دیگر با استفاده از اطلاعات کیفی رودخانه و زهکش‌ها در اسفند ۹۲ (پرآبی)، بدون تغییر ضرایب کالیبراسیون به‌دست آمده از مرحله قبل (تیرماه- کم‌آبی) اجرا گردید تا از صحت ضرایب کالیبراسیون مدل کیفی رودخانه دز اطمینان حاصل گردد. مجدداً روابط (۴)، (۵) و (۶) جهت برآورد میزان خطای مدل به‌کار برده شدند.

نتایج و بحث

کالیبراسیون و صحت‌سنجی

بعد از ورود اطلاعات شامل خصوصیات هیدرولیکی، هواشناسی و کیفی آب رودخانه و زه‌آب‌ها، مدل اجرا، کالیبراسیون و صحت‌سنجی گردید. نتایج تعیین ضرایب کالیبراسیون مدل کیفی رودخانه دز در تیرماه ۹۲ در جدول (۱۰) ارایه شده است.

جدول ۱۰- مقادیر ضرایب کالیبراسیون مدل کیفی رودخانه دز

Table 10- Values of calibration coefficients of Dez River quality model

Calibration parameter	Coefficient	Unit	Low limit	up limit
ISS Settling velocity	0.2	m/d	0	2
Fast CBOD Oxidation rate	0.05	1/d	0	5
Organic N Settling velocity	0.025	m/d	0	2
Organic N Hydrolysis	0.05	1/d	0	5
Ammonium Nitrification	1.25	1/d	0	10
Nitrate Denitrification	0.6	1/d	0	2
Sed denitrification transfer coeff	0.2	m/d	0	1

DOI: 10.22055/jise.2018.25434.1752

مقایسه مشاهدات و پیش بینی‌های مدل

در این مطالعه حداکثر میزان ثبت‌شده هدایت الکتریکی، اکسیژن‌خواهی بیولوژیکی، آمونیوم و نیترات به‌ترتیب برابر و یا کمتر از ۲۷۰۰، ۴/۸، ۰/۴۵ و ۸ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. کمترین میزان اکسیژن محلول (DO) مشاهداتی در حدود ۵/۴ میلی‌گرم در تیرماه بوده است. مدل یک بار با استفاده از مقادیر مشاهدات کیفی و کمی تیرماه ۹۲ اجرا و کالیبره گردید (شکل ۸).

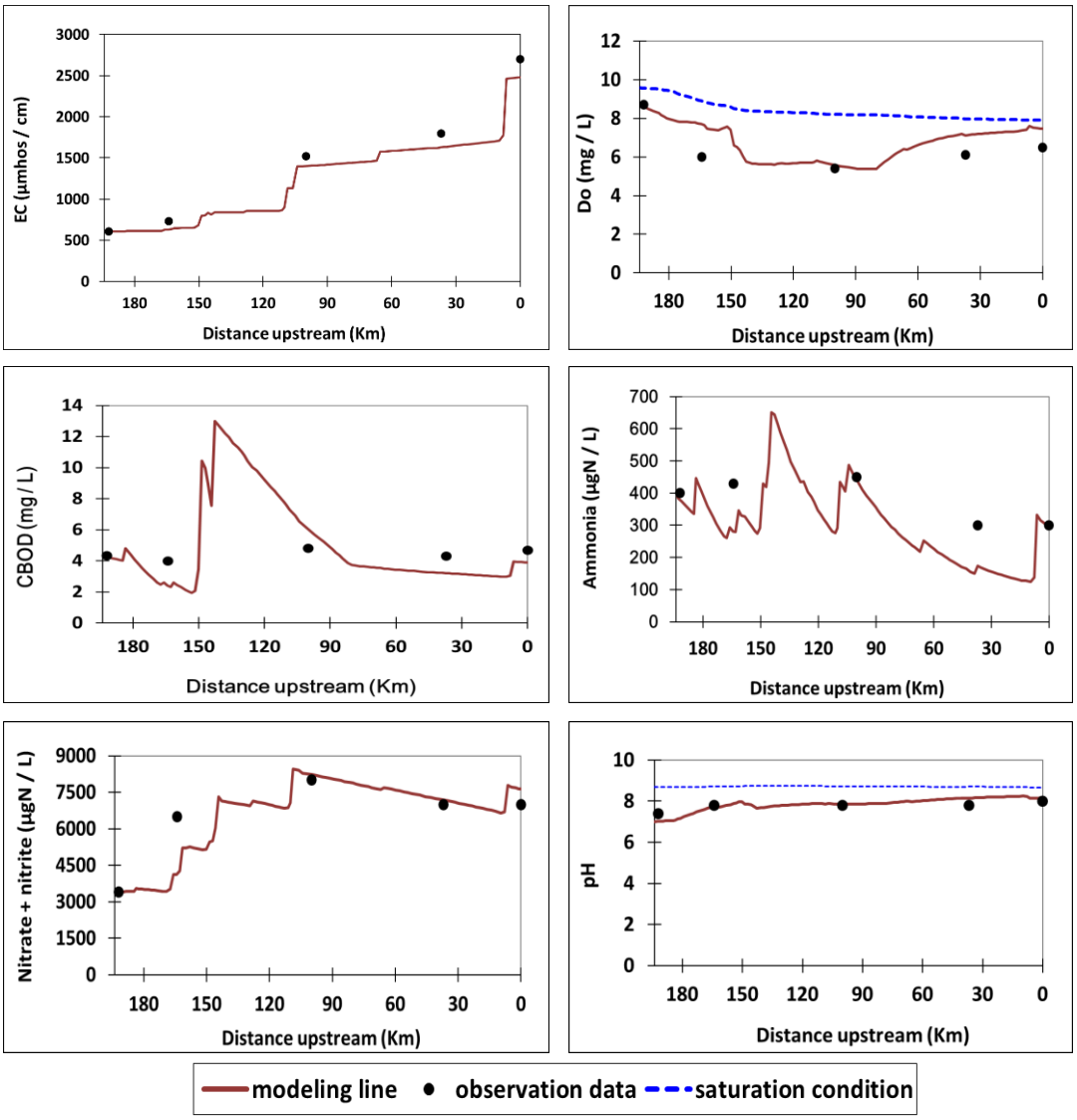


Fig. 8- Model results in Dez River based on the data gathered on July 2012
شکل ۸- نتایج مدل کیفی Qual2k در رودخانه دز با استفاده از داده‌های تیرماه ۹۲ (کالیبراسیون مدل)

مدل با استفاده از مقادیر مشاهداتی اسفند ۹۲ و ضرایب کالیبراسیون به دست آمده از اجرای قبلی، مجدداً اجرا و صحت‌سنجی شد (شکل ۹). مقایسه نتایج مدل در مرحله صحت‌سنجی با اطلاعات مشاهداتی اسفند ۹۲ تطابق مناسبی داشت که نشان می‌دهد پارامترهای کالیبراسیون به‌خوبی تخمین زده شده‌اند. بر اساس نتایج مدل، متوسط سرعت و عمق آب به‌ترتیب ۰/۵ متر بر ثانیه و ۱/۲ متر محاسبه شد. مدل مقدار هدایت الکتریکی را بسیار نزدیک به مقدار مشاهداتی آن محاسبه نمود. درحالی‌که هیچ‌گونه ضریب کالیبره‌ای برای EC در مدل وجود ندارد. میزان تغییرات EC در طول رودخانه در حدود ۶۰۰ در ایستگاه دزفول و۲۷۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر در ایستگاه بندقیر است. نتایج مدل نشان داد مقدار DO در فاصله ۸۰ تا۱۶۰ کیلومتری روند کاهشی داشته و پس از آن افزایش می‌یابد. این موضوع به علت خودپالایی طبیعی رودخانه و کاهش زه‌آب‌های ورودی است.

میزان پارامتر BOD_5 بین کیلومتر ۱۴۰ تا ۱۵۰ به‌طور ناگهانی افزایش می‌یابد. تراکم ورود زه‌آب‌های کشاورزی، صنعتی و شهری در این بازه از رودخانه بسیار بالاست. پارامترهای NH_4 و NO_3 در فاصله ۱۴۰ تا ۱۵۰ کیلومتری رودخانه به علت ورود حجم بیشتری از آلاینده‌ها نیز افزایش نشان می‌دهند.

میزان pH در طول رودخانه نرمال است. پارامترهای کیفی و آلودگی محاسبه‌شده با مدل در رودخانه با استفاده از سری داده‌های مشاهداتی اسفندماه ۹۲ به‌علت افزایش بارندگی و جریان در رودخانه مقادیر مطلوب‌تری را نشان می‌دهند. نتایج صحت‌سنجی در شکل (۹) ارائه شده است.

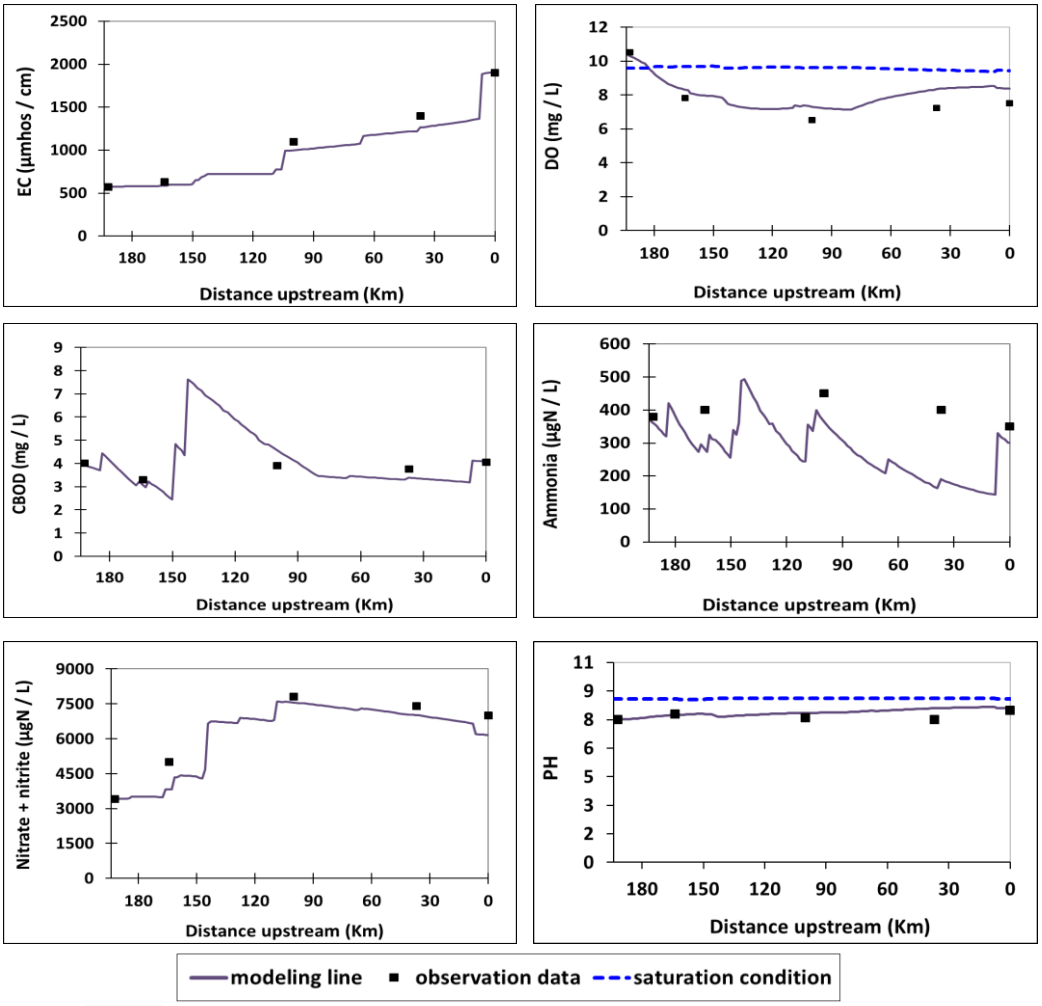


Fig. 9- Model results in Dez River based on the data gathered on March 2013

شکل ۹- نتایج مدل کیفی Qual2k در رودخانه دز با استفاده از داده‌های اسفندماه ۹۲ (صحت‌سنجی مدل)

جدول ۱۱- میزان خطای پارامترهای کیفی مدل در دو مرحله کالیبراسیون و صحت‌سنجی(درصد)

Table 11- Root mean squared errors (RMSE), mean absolute error (MAE) and (R^2) For modeled versus measured water quality parameters

parameter	RMSE		MAE		R^2	
	validation	calibration	validation	calibration	validation	calibration
EC	3	9.6	4.1	8.3	99.8	99
DO	4.5	14	8.5	11.4	99.8	99
CBOD	8.3	22	6.1	19.5	99.8	97
NH_4-N	12	18	20	11.2	98	98
NO_3-N	3.7	10	6	6	99.8	99
PH	1.3	2.6	1.3	1.5	99.9	99

میزان خطای مدل در دو مرحله کالیبراسیون و صحت‌سنجی با استفاده از سه آماره میانگین مربع خطا (RMSE)، خطای مطلق میانگین (MAE) و ضریب تعیین (R^2) مطابق جدول (۱۱) محاسبه گردید. مقادیر نشان می‌دهند که مدل به‌خوبی با ضرایب کالیبراسیون تعیین‌شده کالیبره و اعتبارسنجی شده و با خطای کمتر از ۳۰ درصد برای پیش‌بینی و بهره‌برداری در آینده معتبر است.

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر خصوصیات کیفی و آلودگی رودخانه دز بررسی گردید. لذا پنج ایستگاه پایش کیفی در طول رودخانه و ۱۵ منبع مهم ورود آلاینده در طول رودخانه دز مدنظر قرار گرفت و روند تغییرات شش پارامتر کیفی و آلودگی آن طی ده ساله اخیر با استفاده از استاندارد کرینکل و شاخص کیفیت منابع آب ایران تحلیل گردید. سپس با استفاده از مدل کیفی Qual2k وضعیت کیفی رودخانه دز شبیه‌سازی و مدل کالیبره و اعتبارسنجی شد. تحلیل نتایج به شرح ذیل می‌باشد:

- بررسی استاندارد کرینکل در ایستگاه بامدژ در انتهای رودخانه دز نشان داد که طی ده ساله اخیر روند کیفی رودخانه کاهشی بوده و کلاس کیفی آب حداقل یک درجه کاهش یافته است.
- شاخص کیفی IRWQI برای رودخانه دز در دو ایستگاه حرمله و بامدژ با انتخاب سه سال با خصوصیات قبل از توسعه (۱۳۸۴)، وقوع خشک‌سالی (۱۳۸۶) و بعد از توسعه (۱۳۹۳) بررسی و محاسبه شد. نتایج در هر دو ایستگاه نشان داد شاخص کیفی رودخانه در زمان خشکسالی و بر اثر توسعه دارای توصیف ضعیف است.
- وضعیت کیفی آب رودخانه دز با مدل کیفی یک بعدی Qual2k شبیه‌سازی گردید در هر دو مرحله واسنجی و صحت‌سنجی نتایج مدل به مشاهدات سری تیرماه و اسفندماه ۹۲ بسیار نزدیک بوده که نشان می‌دهد ضرایب کالیبراسیون به‌خوبی تخمین زده شده‌اند.
- مقادیر هدایت الکتریکی محاسبه‌شده توسط مدل (با هر دو سری داده‌های تیر و اسفند ۹۲) بسیار نزدیک به مقدار مشاهداتی آن بود. مقدار DO در فاصله ۸۰ تا ۱۶۰ کیلومتری از پایین‌دست رودخانه دز روند کاهشی داشته و پس از آن به علت خودپالایی طبیعی رودخانه و کاهش زه‌آب‌های ورودی افزایش می‌یابد.
- میزان پارامتر BOD بین کیلومتر ۱۴۰ تا ۱۵۰ به‌طور ناگهانی افزایش می‌یابد. این موضوع به‌دلیل انحراف حجم زیادی از آب رودخانه توسط کانال‌های غربی و شرقی و تراکم ورود بیش از ده منبع آلاینده کشاورزی و صنعتی به این بازه از رودخانه است.
- در فاصله ۲۰ تا ۶۰ کیلومتری رودخانه به‌علت ورود آلاینده‌های خطی که محل و میزان ورود آن‌ها مشخص نیست نمی‌باشد، پارامترهای NH_4 و NO_3 محاسبه‌شده توسط مدل در این بازه از رودخانه با مقادیر اندازه‌گیری شده اختلاف نشان می‌دهند. میزان pH در طول رودخانه نرمال است.
- میزان خطای محاسبه‌شده با استفاده از آماره‌ها در دو مرحله واسنجی و صحت‌سنجی مدل کمتر از ۲۵ درصد بوده که با توجه به کمبود اطلاعات کیفی درکشورهای در حال توسعه قابل قبول است و می‌توان به نتایج مدل اعتماد نمود.
- با استفاده از مدل کالیبره‌شده در آینده می‌توان با توجه به توسعه و تغییرات منابع آلاینده ورودی به رودخانه دز، میزان و روند تغییرات کیفی و آلودگی را در هر نقطه از رودخانه محاسبه و پیش‌بینی نمود.

تشکر و قدردانی

از حمایت دفتر پژوهش‌های کاربردی سازمان آب و برق خوزستان تشکر می‌گردد.

References

1- Aazami, J., Esmaili-Sari, A., Abdoli, A., Sohrabi, H. and Van den Brink, P.J., 2015. Monitoring and assessment of water health quality in the Tajan River, Iran using Physicochemical, fish and macro invertebrate's indices. Journal of Environmental Health Science and Engineering, 56(1), pp. 260–269.

2- Anonymous, 2015 a. Data bank of the preliminary studies and comprehensive hydro projects division, Khuzestan water and power authority co, Ministry of energy, Iran.

3- Anonymous, 2015 b. Data bank of water resources conversation and exploitation division, Khuzestan water and power authority (Kwpa) co, Ministry of energy, Iran. .

4- Anonymous, 2014. Irrigation and drainage networks in North of Khozestan., The monthly water balance reports. Irrigation Company of the north of Dezful, Khozestan, Iran.

5- Anonymous, 2007. Operating procedure, sediment oxygen demand. U.S. Environmental protection agency (USEPA), Region 4 science and ecosystem support division (SESD), Ecological assessment Branch, Athens, GA.

6- Anonymous, 2011. Report of cross section operation of the Karoun and Dez rivers, 2011(c). Sediment center, preliminary studies and comprehensive hydro projects division, Khuzestan water and power authority co, Ministry of energy, Iran.

7- Bagherian Marzouni, M., Akhoundali, A.M., Moazed. H., Jaafarzadeh, N.A., 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.

8- Bottino, F., Ferraz, I.C., Mendiondo, E.M. and Calijuri, M.C., 2010. Calibration of Qual2k model in Brazilian micro watershed: effects of the land use on water quality. Acta Limnologica Brasiliensia, 22(4), pp 474-458.

9- Camargo, R.A., Calijuri, M.L., Santiago, A.F., Couto, E.A. and Silva, M.D.F.M., 2010. Water quality prediction using the QUAL2Kw model in a small karstic watershed in Brazil. Acta Limnologica Brasiliensia. 22(4), pp. 486 -498.

10- Chapra, S.C. and Pelletier, G.J., 2003. Qual2k: A modeling framework for simulating river and stream water quality documentation and user manual, Civil and Environmental Engineering Department., Tufts University, Medford, MA, USA.

11- Hamedi, H., Mobarghai, N., Soufizadeh, S. and Rasouli, S.A., 2015. Survey of qualitative conditions and seasonal variation of the urban watercourses pollutants. Journal of Material and Environmental Science, 6 (2), pp. 322-332.

12- Kannel, P.R., Lee, S., Kanel, S.R., Lee, Y.S. and Ahn, K.H., 2007. Application of Qual2kw for water quality modeling and dissolved oxygen control in the river Bagmati. Environmental Monitoring and Assessment, 125 (1), pp. 201–217.

13- Krenkel, P.A. and Novotny, V., 1980. Water quality management. Academic press, New York, NY 10003.

14- Moravej, M., Maryami rad, I. and Ibrahimi, K., 2016. Evaluating the Karoun river quality status based on water quality index using the GIS. Ecohydrology, 4 (1), pp. 225-235. (In Persian).

15- Moriasi, D.N., Arnold, J.G., Van Liew, M.W., Bingner, R.L., Harmel, R.D. and Veith, T.L., 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 50(3), pp. 885-900.

16- Najafzadeh, M. and Barani, Gh.A. 2011. Comparison of group method of data handling based genetic programming and back propagation systems to predict scour depth around bridge piers. Scientia Iranica, 18(6), pp. 1207–1213.

17- Nakhaei, N. and Shahidi, A.E., 2010. Wastewater discharge impact modeling with Qual2k, case study: the Zayandeh-rood River. International Environmental Modeling and Software Society (IEMSs), Ottawa, Canada.

18- Rafiee, M., Akhond Ali, A.M., Moazed, H., Lyon, WS, Jaafar zadeh, N. and Zahraie, B., 2013. A case Study of water quality modeling of the Gargar River, Iran. Journal of Hydraulic Structures (ISC), 1(2), pp. 10-22.

19- Rasti, M., Nabavi, S.M. and Jaafar zadeh, N., 2007. Investigation of fish farm wastewater on Gargar River using algae as biologic indicator, In 7th International River Engineering Conference (IREC), Shaid Chamran University of Ahvaz, Iran. (In Persian).

20- Tsivoglou, E. C., Neal, L. A., 1976, Tracer measurement of reaeration. III. Predicting the reaeration capacity of inland streams, J. Water Pollution Control Federation, vol 48, Issue 12, pp 2669–2689.

21- Zhang, R., Qian, X., Li, H., Yuan, X. and Rui, Y., 2012. Selection of optimal river water quality improvement programs using Qual2k: A case study of Taihu lake basin, China. Science of the Total Environment. 431, pp. 278-285.