

EXTENDED ABSTRACT

Modeling and investigation of annual Nitrate pollution trend of Tajan River with QUAL2Kw and HEC-RAS

M. Radfar^{1*} and F. Alipour Nasirmahale²

1 - Corresponding Author, Assistant Professor, Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. (radfar@sku.ac.ir)*

2- PhD Student of Water Resources Engineering, Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 06 March 2023

Revised: 28 July 2023

Accepted: 31 July 2023

Keywords:

Nitrate pollution, Water Quality

Modeling, Water Quality

Management, Nitrification.

TO CITE THIS ARTICLE :

Radfar, M., Alipour Nasirmahale, F. (2024). 'Modeling and Investigation of Annual Nitrate Pollution Trend of Tajan River with QUAL2Kw and HEC-RAS', Irrigation Sciences and Engineering, 47(2), pp. -. doi: 10.22055/jise.2023.43193.2060

Introduction

Water pollution, is considered one of the most important challenges of human societies, has increased in importance day by day due to the limitation of fresh water resources in the world. The expansion of urbanization, the development of industries, and the expansion of agriculture, especially inorganic cultivation, are important factors that cause pollution in water sources, and the increase of these factors has caused changes in the quality of river water (Enrique et al., 2007). These changes have become a serious threat to humans and natural ecosystems in recent decades, and therefore the investigation of water quality changes has become one of the most important subjects in studies (Faryadi et al. 2012) and researches. Due to the direct impact on the existing ecosystem in the water area and its surrounding environment, the investigation of river water quality is a sensitive and vital issue that depends on the knowledge of the changes in water quality along with the identification of the main factors of its pollution (Tahmasebi et al. 2011). Over the years, modeling has been considered as a useful tool for optimizing water quality, which is used to check the appropriateness of pollution control policies (Bui et al., 2019) and this issue has progressed in such a way that today water quality models they are increasingly used to obtain valuable and effective information for optimal water quality management (Fan et al., 2009).

Study area

Tajan River is one of the most important rivers of Mazandaran province, which originates from the Alborz mountain and flows from the southwest to the northeast direction and finally reaches to the Caspian Sea (Figure 1).

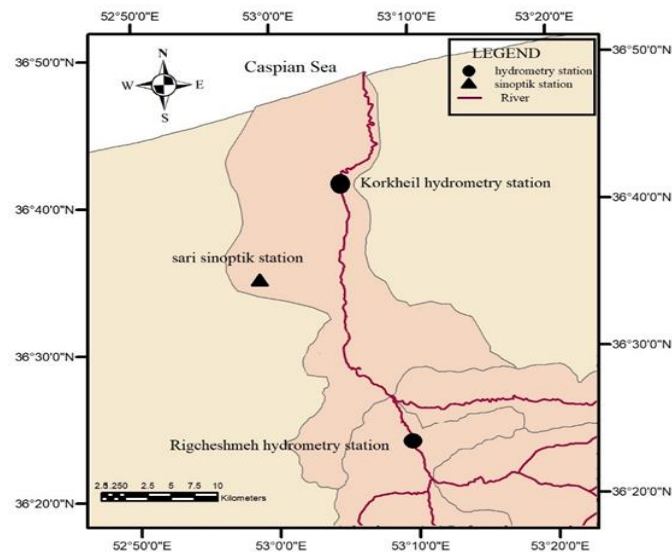


Fig. 1- Research area and location of the hydrometry stations and the sari synoptic station

Methodology

In this research the water quality of Tajan River was evaluated in term of nitrate along with about 50 km from the upstream (Rigcheshmeh hydrometry station) to the Kordkheyl hydrometry station in the down stream. Quantitative and qualitative data of the flow path were collected from the Regional council of Water management of Mazandaran and the General Department of Environmental Protection of Mazandaran. Required meteorological data for qualitative modeling were also obtained from Sari synoptic station. The statistical summary of quantitative and qualitative data of hydrometry stations is presented in table (1). The maps of the geometric sections of the Tajan River (prepared by the Mazandaran Regional Water Company and with a scale of 1:2000) were transferred to the Arc-GIS 10.8 software and according to the latitudinal conditions, the changes in the river slope and the vegetation cover of the area were divided into 14 intervals and were transferred to the HEC-RAS software using the HEC-GeoRAS.

The HEC-RAS model was calibrated under steady state condition and according to the information of hydrometry stations the optimal value of Manning's coefficient of flow path in Tajan river was determined and the model was validated in the period of 2017-2018. Then, the final model is extracted in the fourteen executed intervals in order to evaluate the hydrodynamic characteristics of the river including the depth and flow speed in each of 14 intervals. Then the Leopold and Maddock (1953) equations (equation 1 and 2) are fitted to the found out characteristics along with Tajan river and the equations coefficients are determined for the qualitative modeling of water flow in the QUAL2Kw model.

$$U = aQ^b \quad (1)$$

$$H = cQ^d \quad (2)$$

Table 1- Average quantitative and qualitative parameters of hydrometry stations

STATION	Mean Daily Discharge (m ³ /s)	Mean Density of Nitrate (mg/lit)
Rigcheshmeh	9.2	5.1
Korkheil	3.8	5.5

Findings

The graph of the qualitative values measured and simulated by the Kval model in the calibration phase (cultivation season), is shown in Figure (2) and the validation phase (non-

cultivation season) in Figure (3). In these graphs, measured data with square points and simulated results are displayed by a continuous graph, which shows the desired calibration and validation of the model. The results of the statistical comparison of the output values of the QUAL2Kw model and the corresponding measured data are also presented in Table (2). As can be seen, the values of NRMSE and (R^2) show a good agreement between the observed data and the simulated model and also indicate an acceptable degree of accuracy and ability of the qualitative model.

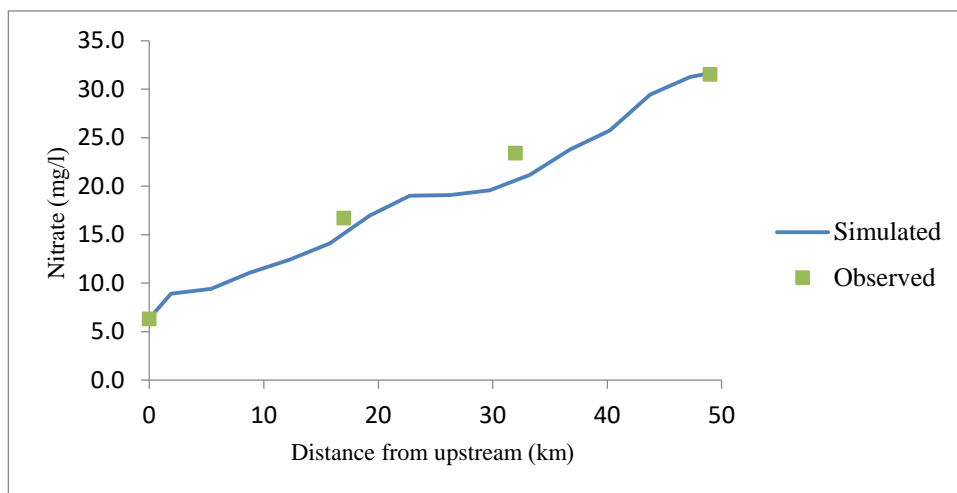


Fig. 2- Nitrate calibrated model results and corresponding measured values in flow path during cultivation season.

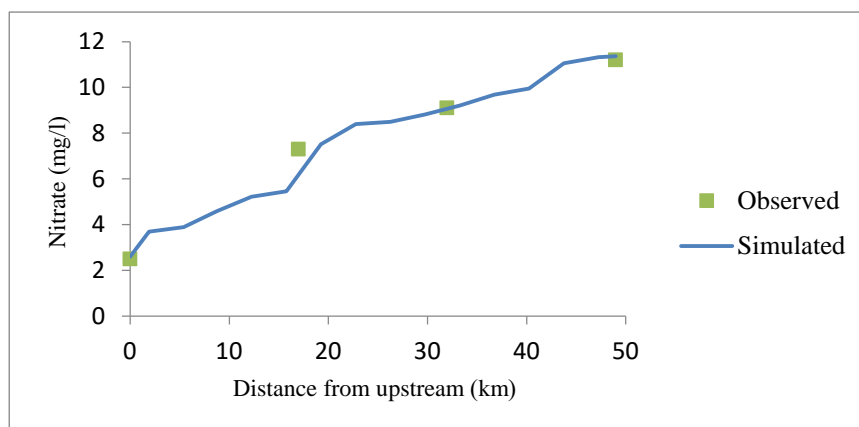


Fig. 3- Nitrate calibrated model results and corresponding measured values in flow path during non-cultivation season.

Table 2- Accuracy indices of QUAL2Kw model during calibration and verification

Factor	NRMSE	R^2
Calibration (Agricultural season)	0.11	0.971
Verification (Non-agricultural season)	0.053	0.970

Conclusion

1- Combining the output of the HEC-RAS hydraulic model with the QUAL2Kw model leads to favorable results in the qualitative analysis of the river.

2- Investigating the quality condition of Tajan River showed that in the cultivation season, the nitrate concentration has increased about 2.8 times more than non-cultivation season, which is caused by non-point polluting sources.

3- The concentration of nitrate in the river during the growing season in the mouth of the Caspian sea tends to 50 mg/liter, which is higher than the permissible level for drinking water and aquatic life's. Therefore determining a framework to reduce the nitrate load entering to Tajan

river, focusing on non-point sources of pollution, are necessary in the water ecosystem management policies of Tajan River.

Acknowledgements

We are thankful from Regional Water Company and Environmental Protection Department of Mazandaran for providing essential data for this article.

References

- 1- Bui, H.H., Ha, N.H., Nguyen, T.N.D., Nguyen, A.T., Pham, T.T.H., Kandasamy, J. and Nguyen, T.V., 2019. Integration of SWAT and QUAL2K for water quality modeling in a data scarce basin of Cau River basin in Vietnam. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 19(2), pp.210-223. DOI: 10.1016/j.ecohyd.2019.03.005.
- 2- Enrique, S., Manuel, F., Colmenarejo, J.A., Angel, R.G., Garcı, L.T., and Borja, R., 2007. Use of the water quality index and dissolved oxygen deficit as simple indicators of watersheds pollution. *Journal of Ecological Indicators*. 7(2), pp315-328. DOI: 10.1016/j.ecolind.2006.02.005.
- 3- 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. DOI: 10.1016/j.jenvman.2008.11.011.
- 4- Faryadi S., Shahedi K., and Nabatpoor M., 2012. Investigation of Water Quality Parameters in Tadjan River Using Multivariate Statistical Techniques. *journal of watershed management research*. Vol 3. No 6. pp. 75-92(In Persian).
- 5- Tahmasebi, S., Afkhami, M., and Takdastan, A., 2011. Study of Chemical, Physical and Microbial Quality of Gargar River, Sw, Iran, Using Nsf Water Quality Index. *jundishapur journal of health sciences*. pp. 55- 64 (In Persian).
- 6- Leopold, L. B., and Maddock, T., 1953. *The hydraulic geometry channels and some physiographic implications, geological survey professionals*. Washington, DC.



© 2024 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/>).



مدل سازی و بررسی روند آلودگی سالیانه نیترات رودخانه تجن با QUAL2Kw و HEC-RAS

مهدی رادفر^{۱*} و فرشاد علی پور نصیرمجله^۲

^۱- نویسنده مسئول، استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد radfar@sku.ac.ir

^۲- دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۰۹

بازنگری: ۱۴۰۲/۰۵/۰۶

دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۱۵

چکیده

ارزیابی مداوم آلودگی آب موضوعی مهم و حیاتی در مدیریت بهینه پهنه‌های آبی است. در این تحقیق به بررسی روند آلودگی نیترات در طول حدود ۵۰ کیلومتری از رودخانه تجن، حد فاصل بین ایستگاه هیدرومتری ریگ‌چشمه در بالادست و ایستگاه کردخیل در پایین‌دست در طی سال ۱۳۹۷ پرداخته شد. برای تحقق این امر ابتدا شرایط هیدرولیکی حاکم بر جریان با استفاده از مدل HEC-RAS تعیین و وارد مدل QUAL2Kw شد. پس از واسنجی و صحت‌سنجی مدل، تغییرات زمانی- مکانی آلاینده نیترات در مسیر رودخانه بررسی گردید. نتایج نشان دهنده بیشتر بودن بار ورودی از منابع آلاینده غیرنقطه‌ای و در فصل کشت به رودخانه بود که سبب بیشتر شدن بار نیترات از حداکثر مجاز می‌گردد. روند افزایش غلظت نیترات در طول مسیر ۵۰ کیلومتری در فصل غیرکشت حدود ۱۹ درصد است و حال آنکه به دلیل مصرف بی‌رویه کود در فصل کشت این رقم با افزایش حدود ۲/۸ برابری به حدود ۵۰ درصد می‌رسد. غلظت نیترات در فصل کشت، در بخش انتهایی و ادامه مسیر جریان به حدود ۴۷ میلی‌گرم بر لیتر رسیده که نزدیک به میزان مجاز ۵۰ mg/lit برای کاربری شرب و بسیار بیشتر از ۳۰ mg/lit برای کاربری کشاورزی بوده که برداشت آب برای کاربری‌های مربوطه را با محدودیت مواجه می‌نماید. از طرفی مناطق پایین‌دست رودخانه که محل تخم‌ریزی ماهیان بوده با روند افزایش نیترات منجر به تغذیه‌گرایی و کاهش جمعیت آبزیان خواهد شد. لذا تعیین چارچوبی برای کاهش و کنترل بار نیترات، با تمرکز بر منابع آلاینده غیرنقطه‌ای در سیاست‌های مدیریتی اکوسیستم آبی رودخانه تجن ضروری است.

کلید واژه‌ها: آلودگی نیتراتی، مدل سازی کیفیت آب، مدیریت کیفی آب، نیتریفیکاسیون.

مقدمه

آلودگی (Pollution) آب یکی از مهمترین چالش‌های جوامع بشری به‌شمار می‌رود که با توجه به محدودیت در منابع آب شیرین جهان روز به روز بر اهمیت موضوع افزوده شده است. گسترش شهرنشینی، توسعه صنایع و گسترش کشاورزی به‌ویژه کشت غیرآرگانیک (Inorganic) از عوامل مهم ایجاد آلودگی در منابع آبی می‌باشد، که افزایش این عوامل سبب تغییر در کیفیت آب رودخانه‌ها شده است (Enrique et al., 2007). این تغییرات به گونه‌ای بوده که در دهه‌های اخیر به تهدیدی جدی برای انسان و اکوسیستم‌های طبیعی تبدیل و لذا بررسی تغییرات کیفیت آب به یکی از موضوعات مهم در مطالعه‌ها بدل شده است (Faryadi et al., 2012). به دلیل تأثیر مستقیم بر اکوسیستم موجود در پهنه آبی و نیز محیط اطراف آن بررسی کیفیت آب رودخانه‌ها موضوعی حساس و حیاتی است که در گروهی آگاهی از روند تغییرات کیفیت آب همراه با شناسایی عوامل اصلی آلودگی آن قرار دارد (Tahmasebi et al., 2011).

در طول سال‌ها، مدل‌سازی به‌عنوان ابزاری مفید برای بهینه‌سازی کیفیت آب در نظر گرفته شده است که از آن برای بررسی مناسب بودن سیاست‌های کنترل آلودگی بهره می‌برند (Bui et al., 2019). این موضوع به نحوی پیش رفته که امروزه

مدل‌های کیفیت آب به‌طور فزاینده‌ای برای کسب اطلاعاتی ارزشمند و کارا در جهت مدیریت بهینه کیفیت آب مورد استفاده قرار می‌گیرند (Fan et al., 2009).

مدل QUAL2Kw از ابزارهای مفید برای شبیه‌سازی کیفی رودخانه است که به‌علت انعطاف پذیری، سهولت استفاده و دسترسی آزاد بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد (Ye et al., 2013). مدل QUAL2Kw مدلی یک بعدی است که متغیرهای کیفی آب را در حالت جریان پایدار و جریان غیریکنواخت مدل می‌کند (Hossieni et al., 2016). تا کنون مطالعه‌های بسیاری در زمینه کیفیت آب با استفاده از مدل QUAL2Kw انجام گرفته است. Torabi Maybodi (2011) در تحقیقی با استفاده از مدل QUAL2K روی کیفیت آب زیرحوضه قره‌سو رودخانه کرخه مشخص نمود که مدل به خوبی کاهش اکسیژن محلول در پایین دست، به علت ورود فاضلاب‌های خانگی و نیز آلودگی سطحی ناشی از سفر و نیتروژن ورودی از اراضی کشاورزی و مراتع را شبیه سازی تحلیل می‌نماید. Shokri et al. (2015) برای شبیه‌سازی آمونیوم و نیترات در رودخانه گرگر مدل QUAL2Kw را به‌کار برده و از مدل HEC-RAS برای برآورد خصوصیات هیدرولیکی جریان بهره گرفتند. نتایج آن‌ها نشان از توانایی خوب مدل

کردند. نتایج نشان داد که اکسیژن رسانی موضعی در بالا بردن سطح اکسیژن محلول مؤثر است. همچنین ترکیبی از اصلاح فاضلاب، افزایش جریان و اکسیژن رسانی موضعی می تواند برای اطمینان از برآورده شدن الزامات حداقل غلظت DO استفاده شود. ظرفیت حمل بار رودخانه جینگ-می کریک در کشور تایوان با استفاده از ترکیب مدل های HEC-RAS و QUAL2K توسط Fan et al. (2021) مورد بررسی قرار گرفت و نتایج به دست آمده برای تعیین حداکثر بار روزانه (TMDL) به منظور مدیریت کیفیت آب، با در نظر گرفتن سه چشم انداز بلند مدت، میان مدت و کوتاه مدت و دو سناریو کاهش فردی و گروهی آلاینده استفاده شد. در این تحقیق ظرفیت حمل بار آلودگی کمی سازی شد و یک سیستم TMDL بر اساس معیارهای کیفیت آب مربوطه با استفاده از مدل سازی کیفیت آب ایجاد گردید. نتایج نشان داد که سناریو کاهش گروهی، عملکرد بهتری برای کنترل آلودگی از خود نشان می دهد و طی آن کاهش آلودگی در فاضلاب های با دبی بیشتر منجر به بهبود کیفیت آب رودخانه می شود.

نیتراژ از مهمترین آلاینده های ورودی به رودخانه ها به ویژه در مناطقی است که رودخانه از میان مناطق مسکونی و اراضی کشاورزی می گذرد. غلظت های بالای نیتراژ می تواند موجب سرطان معده، بیماری متهموگلوبینمی در نوزادان، عفونت در دستگاه تنفس و حتی سقط جنین در انسان و دام گردد (Ahmadpari and Hashemi Garmdareh, 2019). در این تحقیق از مدل های QUAL2Kw و HEC-RAS برای مدل سازی آلودگی ناشی از ورود نیتراژ به رودخانه تجن که از رودخانه های مهم استان مازندران بوده و بیشتر اراضی اطراف آن به زمین های کشاورزی تبدیل شده و از حاشیه شهر ساری (مرکز استان) نیز می گذرد، پرداخته شده است.

منطقه مورد مطالعه

رودخانه تجن از مهمترین رودخانه های استان مازندران می باشد که از ارتفاعات رشته کوه البرز سرچشمه گرفته و در جهت جنوب غربی به شمال شرقی جریان و در نهایت به دریای مازندران می ریزد (شکل ۱). در طول مسیر این رودخانه بخش زیادی از اراضی محدوده کیفی، به زمین های کشاورزی تبدیل شده و زیر کشت برنج (در بالادست رودخانه)، باغ مرکبات و سیاه ریشه ها (در پایین دست رودخانه) قرار گرفته است. کشت غیرارگانیک و آبیاری به روش های سنتی عاملی است تا رودخانه تجن متأثر از آلاینده های غیرنقطه ای (Nonpoint source pollution) فراوان منتج از این اراضی باشد. از مهمترین آلاینده های خروجی از اراضی کشاورزی نیتروژن است که به صورت کودهای شیمیایی مورد استفاده قرار گرفته و مشکلات و مخاطرات زیست محیطی فراوانی را باعث می گردد. علاوه بر اراضی کشاورزی، عبور رودخانه تجن از حاشیه شرقی شهر ساری

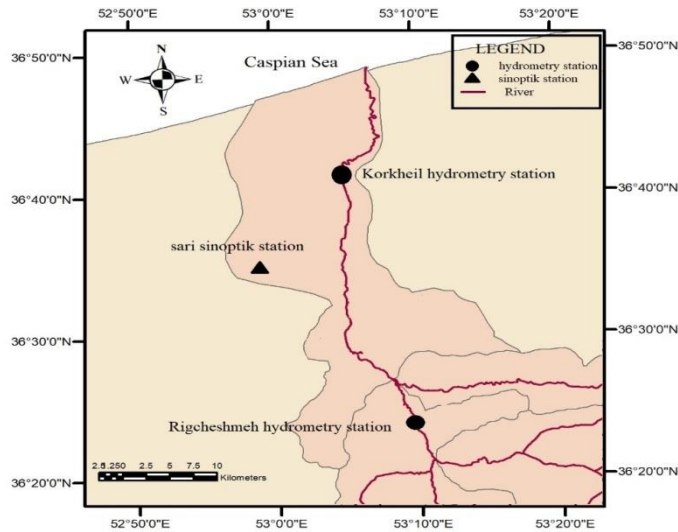
برای شبیه سازی کیفی رودخانه داشت. ایشان منابع و مراکز آلوده کننده رودخانه گرگر را فاضلاب های روستاهای مسیر، پساب ها و فاضلاب های مراکز پرورش ماهی و نیز زهکش های کشاورزی برشمردند.

Aryaee Nezhad et al. (2019) دقت مدل QUAL2Kw را برای شبیه سازی پارامترهای کیفیت آب رودخانه شاهرود مناسب توصیف نموده و بیان داشتند که مدل سازی هیدرولیکی دقیق از تغییرات پارامترهای هیدرولیکی رودخانه و جریان در طول رودخانه تأثیر زیادی در مدل سازی کیفی آب رودخانه دارد. Farkhani (2021) از مدل QUAL2K برای شبیه سازی کیفی رودخانه هراز بهره برده و توانایی مدل را در این امر مطلوب دانست. ایشان با ذکر خاصیت کلی قلیائیت آب رودخانه هراز به افزایش مقادیر غلظت نیتراژ بعد از بند انحرافی آمل اشاره نموده اما عنوان داشت که مقدار افزایش قابل توجه نمی باشد.

Fan et al. (2009) مدل QUAL2K را با مدل HEC-RAS برای ارزیابی کیفی آب رودخانه جزر و مدی (Tidal river) کیلونگ در شمال تایوان ترکیب کردند. ایشان در این تحقیق از مدل HEC-RAS برای تخمین ثابت های هیدرولیکی و تغییرات سطح آب برای محاسبه ثابت هوادهی و تغییرات غلظت در نتیجه اثر جزر و مدی بهره بردند. نتایج این تحقیق نشان داد که شبیه سازی های QUAL2K به کمک HEC-RAS با در نظر گرفتن اثر جزر و مد، سبب تطابق بالاتر شاخص های کیفی آب تولیدی با داده های پایش رودخانه می گردد. Rocha et al. (2015) رودخانه های سبالوس و سالیسیودس در آرژانتین را که تحت تأثیر ناحیه شهری سیراشیکا دچار مشکلات کیفی گردیده اند، با استفاده از مدل QUAL2Kw مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق غلظت بالایی از سولفات ها، کلریدها، سدیم، نیتراژ، فسفر، کلیفرم و باکتری های مدفوعی شناسایی شد. ایشان عنوان داشتند که استفاده از نرم افزار QUAL2Kw امکان تجزیه و تحلیل تغییرات مکانی پارامترهای فیزیوشیمیایی و نیز مدل سازی و تعیین میزان تأثیر انسان بر کیفیت آب را فراهم می آورد که این موضوع پتانسیل مدل سازی ژئوشیمیایی برای مدیریت یکپارچه منابع آب را برجسته می کند.

Setiawan et al. (2017) شرایط کیفی منابع آلوده کننده و ظرفیت بار قابل حمل رودخانه بادونگ در اندونزی را که به محلی برای تخلیه فاضلاب تمامی فعالیت های حاشیه رودخانه شده است، مورد بررسی قرار دادند. این تحقیق در سه بخش و چهار سناریو برای تعیین میزان بار مجاز آلاینده در طول رودخانه انجام و سطوح کاهش آلاینده محاسبه و تخصیص های لازم برای رعایت استانداردهای کیفی آب مورد تایید، ثبت شد.

Ranjith (2019) در رودخانه تانگابادرا هند تأثیر سه سناریو: افزایش جریان، اکسیژن رسانی موضعی و مدیریت بار آلودگی در مبدا را بر غلظت DO با مدل QUAL2Kw بررسی



و چندین روستا در مسیر این رودخانه باعث شده تا منابع آلاینده این مناطق نیز بر کیفیت آب رودخانه تأثیر سوء بگذارند.

Fig. 1- Research area and location of hydrometry stations and sari sinoptik station

شکل ۱- محدوده مورد تحقیق و محل ایستگاه‌های هیدرومتری و ایستگاه سینوپتیک ساری

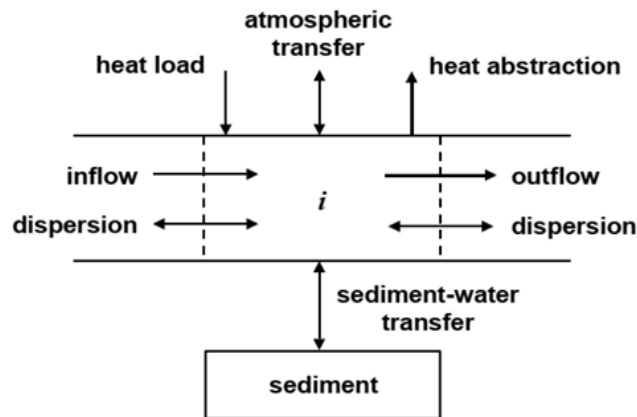


Fig. 2- Heat balance (Pellerire and Chapra, 2008)

شکل ۲- موازنه دما (Pellerire and Chapra, 2008)

مدل‌سازی

مدل‌سازی دما

در مدل QUAL2Kw موازنه دما از طریق انتقال از بازه‌های مجاور، ناخالصی‌ها، جریان‌های خروجی و ورودی، هوا و رسوبات انجام می‌گیرد (Nikakhtar et al., 2020). تحقیقات نشان داده‌است که افزایش دما باعث افزایش غلظت پارامتر نیترات در آب می‌گردد (Gholipour and Alamatian, 2015). از این رو معادله‌های موازنه دما از بخش‌های مهم مدل QUAL2Kw در بررسی این پارامتر می‌باشد. براساس شکل (۲) برای یک بازه در مدل، موازنه دما با معادله (۱) ارائه می‌گردد:

برای مدل‌سازی کیفیت آب رودخانه تجن از مدل QUAL2Kw نسخه ۵/۱ استفاده شد. این نسخه دارای قابلیت کالیبراسیون خودکار با الگوریتم ژنتیک بوده که می‌تواند مناسب‌ترین ترکیب برای ضرایب و نرخ‌های سینتیک و بیولوژیک را به نحوی بیابد که معیارهای ارزیابی بهترین نتایج را ارائه دهند (Pellerire and Chapra, 2008). این مدل رودخانه را به بازه‌هایی تقسیم‌بندی می‌کند که در هر یک از آن‌ها شرایط هیدرولیکی مانند شیب طولی، عرض کف، شیب دیواره‌ها و... یکسان فرض شده و منابع آلاینده نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای در هر بخش از طول مسیر به رودخانه وارد یا از آن خارج گردند (Chapra et al., 2008).

$$\frac{E_{i-1}}{V_i} (C_{i-1} - C_i) + \frac{E_i}{V_i} (C_{i+1} - C_i) + \frac{W_i}{V_i} + S_i \quad (۲)$$

که در آن: Q_i : میزان جریان در المان i ($\frac{m^3}{day}$), V_i : حجم المان i (m^3), W_i : بارهای خارجی وارد بر المان i ($\frac{mg}{day}$), S_i : منابع و مصارف ناشی از انتقال جرم ($\frac{mg}{m^3/day}$), E : ضریب پخش طولی بین المان i و $i+1$ ($\frac{L}{day}$), C_i : غلظت در المان i ($\frac{mg}{l}$) و $Q_{out,i}$ میزان دبی خروجی از المان i (m^3/day) می باشد (Fan et al., 2021). میزان دبی جرمی ورودی به سیستم از معادله (۳) محاسبه می گردد:

$$W_i = \sum_{j=1}^{psi} Q_{ps,i,j} c_{psi,j} + \sum_{j=1}^{npsi} Q_{nps,i} c_{npsi,j} \quad (۳)$$

که در آن $Q_{ps,i,j}$: دبی ژ امین منبع آلاینده نقطه‌ای در بازه i ام ($\frac{m^3}{day}$), $Q_{nps,i}$: دبی ژ امین منبع آلاینده غیرنقطه‌ای در بازه i ام ($\frac{m^3}{day}$), $c_{psi,j}$: غلظت آلاینده نقطه‌ای ز ام در بازه i ام ($\frac{mg}{l}$) و $c_{npsi,j}$: غلظت آلاینده غیرنقطه‌ای ز ام در بازه i ام ($\frac{mg}{l}$) می باشد (Pellerire and Chapra, 2008). مکانیزم این فرآیند به صورت شماتیک در شکل (۳) نشان داده شده است.

$$\begin{aligned} \frac{dT_i}{dt} = & \frac{Q_{i-1}}{V_i} T_{i-1} - \frac{Q_i}{V_i} T_i - \frac{Q_{ab,i}}{V_i} T_i + \frac{E'_{i-1}}{V_i} (T_{i-1} - T_i) + \frac{E'_i}{V_i} (T_{i+1} - T_i) + \frac{W_{h,i}}{\rho_w c_{pw} V_i} \left(\frac{m^3}{10^6 cm^3} \right) + \\ & \frac{J_{h,i}}{\rho_w c_{pw} H_i} \left(\frac{m}{100 cm} \right) + \frac{J_{s,i}}{\rho_w c_{pw} H_i} \left(\frac{m}{100 cm} \right) \end{aligned} \quad (۱)$$

که در آن: T_i : دما در بازه i ($^{\circ}C$), t : زمان برحسب روز, E'_i : ضریب پراکندگی توده در بازه‌های i و $i+1$ ($\frac{m^3}{day}$), $W_{h,i}$: دمای خالص انتقالی از منابع آلاینده و غیر آلاینده به بازه i ($\frac{cal}{day}$), ρ_w : چگالی آب ($\frac{g}{cm^3}$), c_{pw} : دمای ویژه آب ($\frac{cal}{g}$), $J_{h,i}$: شار حرارتی آب- هوا ($\frac{cal}{cm^2}$), $J_{s,i}$: شار حرارتی آب- رسوب ($\frac{cal}{cm^2}$) می باشد (Pellerire and Chapra, 2008).

موازنه جرم

مدل QUAL2Kw معادله توازن جرمی برای غلظت جزء C_i در هر المان i نسبت به زمان را به صورت معادله (۲) ارائه می کند:

$$\frac{dC_i}{dt} = \frac{Q_{i-1}}{V_i} C_{i-1} - \frac{Q_i}{V_i} C_i - \frac{Q_{out,i}}{V_i} C_i +$$

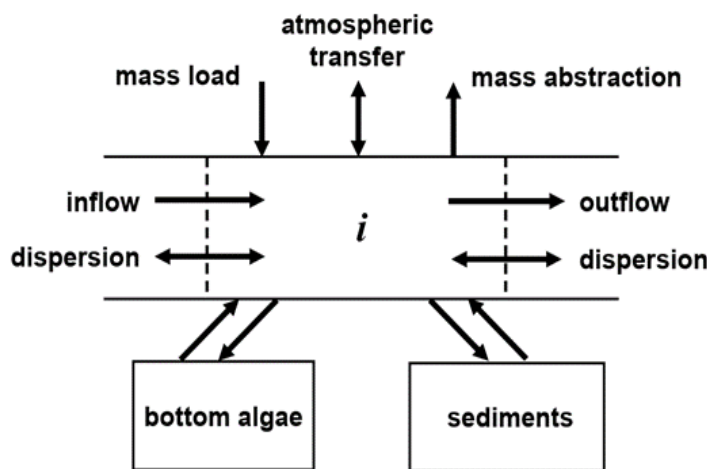


Fig. 3- Mass-balance in segment I (Pellerire and Chapra, 2008) شکل ۳- موازنه جرم در بازه i ام (Pellerire and Chapra, 2008)

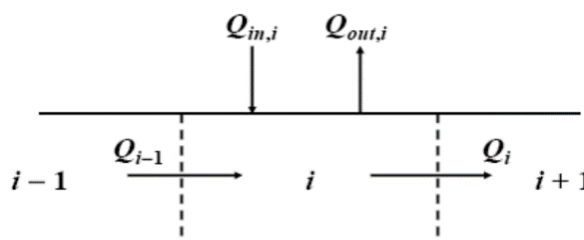


Fig. 4- Equality of surface flow for each element in QUAL2Kw (Chapra et al., 2008) شکل ۴- موازنه جریان سطحی برای هر المان در مدل QUAL2Kw (Chapra et al., 2008)

موازنه جریان

طبق شکل (۴) جریان در رودخانه تحت شرایط پایدار در مدل به صورت معادله (۴) ارائه می‌گردد:

$$Q_i = Q_{i-1} + Q_{in,i} - Q_{out,i} \quad (4)$$

که در این معادله: Q_i : میزان جریان خروجی از المان i ($\frac{m^3}{day}$) ، Q_{i-1} : میزان جریان خروجی از المان $i-1$ ($\frac{m^3}{day}$) و $Q_{in,i}$: کل جریان ورودی از منابع نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای به المان i ($\frac{m^3}{day}$) و $Q_{out,i}$: کل جریان خروجی به صورت نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای از المان i ($\frac{m^3}{day}$) می‌باشد (Chapra et al., 2008).

برای محاسبه کیفیت آب در مدل QUAL2Kw نیاز به تعیین خصوصیات هیدرولیکی حاکم بر جریان رودخانه است. این پارامترها با استفاده از معادله‌های (۵) و (۶) (Leopold and Maddock, 1953) قابل محاسبه هستند:

$$U = aQ^b \quad (5)$$

$$H = cQ^d \quad (6)$$

که در این معادله‌ها: U و H به ترتیب سرعت (m/s) و عمق جریان (m)، Q دبی جریان ($\frac{m^3}{s}$) و a ، b ، c و d ضرایب ثابت می‌باشند. این ضرایب را به یکی از سه روش زیر می‌توان به دست آورد: (۱) مطالعه‌های انجام گرفته؛ (۲) محاسبه معادله‌های مانینگ و (۳) محاسبه با استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS (Fan et al., 2021). در این پژوهش روش (۳) به شرح ذیل به کار گرفته شد.

تعیین خصوصیات هیدرولیک جریان

نرم‌افزار HEC-RAS توسط بخش تحلیل رودخانه مرکز مهندسی هیدرولوژی گروه مهندسی ارتش آمریکا ارائه گردیده است. این نرم‌افزار شبیه‌سازی جریان درحالت‌های ماندگار و غیرماندگار و نیز محاسبات هیدرولیکی جریان را برای سیستم کامل رودخانه‌های طبیعی و کانال‌های انسان‌ساز انجام می‌دهد (Brunner, 2008; USACE, 2016). در HEC-RAS فرایند اصلی محاسبات بر روش حل معادله انرژی استوار است که از یک مقطع به مقطع دیگر با استفاده از روش گام به گام و طبق معادله (۷) محاسبه می‌شود:

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (7)$$

که در آن: Y : عمق جریان (m)، Z : ارتفاع آب در رودخانه (m)، V : سرعت متوسط جریان ($\frac{m}{s}$)، α : ضریب وزنی

سرعت، h_e : افت انرژی (m) و g : شتاب گرانشی ($\frac{m}{s^2}$) در مقاطع یک و دو می‌باشند (Fan et al., 2009). افت انرژی (h_e) بین دو مقطع شامل افت اصطکاکی و افت ناشی از انبساط و انقباض می‌باشد که براساس معادله (۸) محاسبه می‌گردد:

$$h_e = L\bar{S}_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \quad (8)$$

که در این معادله: L : طول بازه (m)، \bar{S}_f : شیب اصطکاک بین دو مقطع، C : ضریب انقباض و انبساط در مقاطع می‌باشند. لازمه تعیین ضریب انتقال کل و ضریب سرعت برای هر مقطع، تقسیم مقطع به قطعات کوچکتر است به نحوی که بتوان توزیع سرعت را یکنواخت فرض کرد. در اینصورت ضریب انتقال برای هر زیر مقطع از رابطه مانینگ به صورت معادله‌های (۹) و (۱۰) برآورد می‌شود:

$$Q = KS^{1/2} \quad (9)$$

$$K = \frac{1.486}{n} AR^{2/3} \quad (10)$$

که در این معادله‌ها: K : ضریب انتقال برای هر زیر مقطع، n : ضریب زبری مانینگ برای هر زیر مقطع، A : مساحت زیر مقطع و R : شعاع هیدرولیکی می‌باشد (USACE, 2016).

کالیبراسیون و صحت‌سنجی مدل‌های HEC-RAS و QUAL2Kw

واسنجی مدل به معنای تنظیم پارامترهای مدل در یک دوره آزمایشی- آموزشی به صورت دستی و یا خودکار است (Gupta et al., 2014) تا خروجی‌های مدل تا حد ممکن با داده‌های اندازه‌گیری شده موجود تطابق پیدا کنند (Arsenault et al., 2018). به عبارت دیگر هدف از کالیبراسیون حداقل کردن اختلاف بین خروجی پیش‌بینی و مشاهده شده است. برای ارزیابی عملکرد مدل در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی از دو شاخص خطای جذر میانگین مربعات نرمال شده (NRMSE) یا ضریب تعیین (R^2) استفاده می‌شود که با معادله‌های (۱۱) و (۱۲) محاسبه می‌گردند. NRMSE حالت نرمال شده RMSE است و همانند دیگر معیارهای خطا، کوچکی آن نشانگر آن است که مقادیر پیش‌بینی شده به مقادیر واقعی نزدیک‌تر می‌باشد (Khodaparast et al., 2016). R^2 نیز ضریب تعیین است که مقدار آن بین صفر تا یک بوده و درجه اطمینان به پیش‌بینی مدل را مشخص می‌کند (Abbasi, 2017).

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_{oi} - Y_{pi})^2}}{\bar{Y}_o} \quad (11)$$

محیط زیست مازندران گردآوری شدند. با بررسی های میدانی و بهره گیری از نقشه کاربری اراضی، میزان زمین های تحت هر کاربری در محدوده مورد مطالعه تعیین و با استفاده از ضرایب راهبردی برآورد بار آلاینده هر یک از کاربری ها (Jamshidi and Niksookhan, 2015). میزان آلاینده های غیرنقطه ای در مسیر جریان برآورد گردید. خلاصه آماری داده های کمی و کیفی ایستگاه های هیدرومتری در جدول (۱) ارائه شده است. داده های هواشناسی مورد نیاز در مدل سازی کیفی نیز از ایستگاه سینوپتیک ساری اخذ گردید. مشخصات این ایستگاه و متوسط پارامترهای هواشناسی آن در جدول (۲) آورده شده است. نقشه های مقاطع هندسی رودخانه تجن (تهیه شده توسط شرکت سهامی آب منطقه ای مازندران و با مقیاس ۱:۲۰۰۰) به محیط Arc-GIS 10.8 منتقل و با توجه به شرایط عرضی، تغییرات شیب رودخانه و پوشش گیاهی منطقه به ۱۴ بازه طبق شکل (۵) تقسیم و با استفاده از HEC-GeoRAS به محیط HEC-RAS انتقال یافتند. مدل HEC-RAS تحت شرایط جریان ماندگار و به ازای اطلاعات ایستگاه های هیدرومتری کالیبره و مقدار ضریب مانینگ بهینه مشخص و مدل در بازه زمانی ۱۳۹۵-۱۳۹۷ صحت سنجی گردید. سپس مدل نهایی در بازه های چهارده گانه اجرا و مقادیر عمق و سرعت جریان در هر یک از آنها استخراج و معادله های (۵) و (۶) بر آن ها برازش و ضرایب a, b, c و d تعیین و برای مدل سازی کیفی جریان آب در مدل QUAL2Kw مورد استفاده قرار گرفت.

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_{oi} - \bar{Y}_o)(Y_{pi} - \bar{Y}_p)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_{oi} - \bar{Y}_o)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_{pi} - \bar{Y}_p)^2}} \right]^2 \quad (12)$$

که در این معادله ها: Y_{oi} : مقادیر مشاهداتی Y_{pi} : مقادیر مدل شده \bar{Y}_o : میانگین مقادیر مشاهداتی، \bar{Y}_p : میانگین مقادیر مدل می باشد.

روش تحقیق

برای استفاده از مدل QUAL2Kw برای شبیه سازی رودخانه نیاز به داده های اولیه مورد نیاز مدل می باشد. این داده ها به طور کلی شامل: داده های هندسی رودخانه، داده های هیدرولیکی، داده های هواشناسی، داده های کیفیت آب رودخانه، ضرایب سینتیکی مورد استفاده در معادله های مدل و داده های کمی و کیفی منابع ورودی به رودخانه می باشند (Shokri et al., 2015).

در این تحقیق کیفیت آب رودخانه تجن طبق شکل (۱) در بازه تقریبی ۵۰ کیلومتری از ایستگاه هیدرومتری ریگ چشمه در بالادست تا ایستگاه هیدرومتری کردخیل در پایین دست از نظر نترات مورد ارزیابی قرار گرفت. در کیلومترهای ابتدایی مسیر، شاخه فرعی گرم رود به رودخانه تجن می پیوندد که به عنوان ورودی منبع آلاینده نقطه ای در نظر گرفته شد. دیگر منابع نقطه ای نترات در طول مسیر شامل شهر ساری و روستای آکند می باشند. اراضی شالی کاری و باغ های موجود در حاشیه رودخانه نیز منابع آلاینده غیرنقطه ای را تشکیل می دهند. داده های کمی و کیفی مسیر جریان از شرکت سهامی آب منطقه ای و اداره کل حفاظت

جدول ۱- متوسط آماره های کمی و کیفی در ایستگاه های آبنجی مورد مطالعه

Table 1- Average quantitative and qualitative parameters of hydrometric stations

STATION	Mean Daily Discharge (m ³ /s)	Mean Density of Nitrate (mg/lit)
Rigcheshmeh	9.2	5.1
Korkheil	3.8	5.5

جدول ۲- متوسط پارامترهای هواشناسی ایستگاه سینوپتیک ساری

Table 2- Average meteorological parameters of Sari synoptic station

STATION	Min Temperature (°C)	Max Temperature (°C)	Precipitation (mm)	Wind Speed (m/s)	Relative Humidity (%)
Sari	8.8	21.2	792.1	0.55	60.6

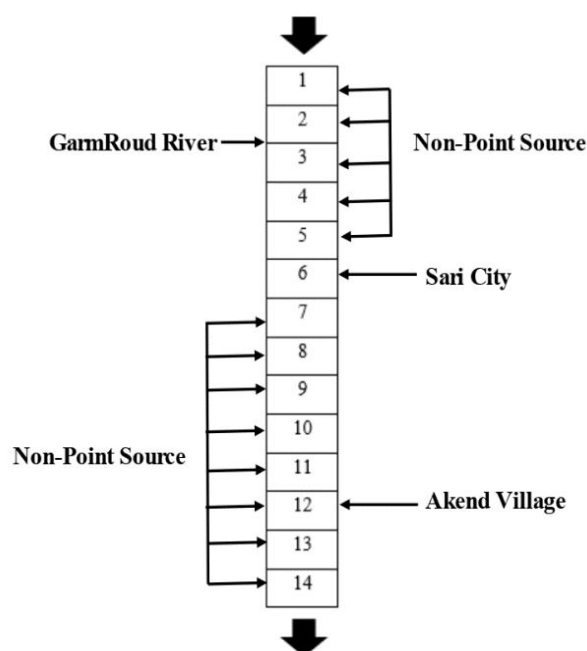


Fig. 5- Schematic view of sections and kinds of entrance pollution sources to Tajan river in research area

شکل ۵- نمای شماتیک مقاطع و انواع منابع آلاینده ورودی به رودخانه تاجن در محدوده مورد تحقیق

تطابق خوب مدل می‌باشد. خروجی‌های مدل HEC-RAS در مدل کیفی به کار گرفته شد.

واسنجی و صحت‌سنجی مدل QUAL2Kw

مدل کیفی بر اساس خروجی نهایی مدل HEC-RAS اجرا و نمودار مقادیر کیفی اندازه‌گیری و مدل‌سازی برای مرحله واسنجی (فصل کشت) در شکل (۷) و مرحله صحت‌سنجی (فصل غیرکشت) در شکل (۸) آورده شد. در این نمودارها، داده‌های اندازه‌گیری با نقاط مربع شکل و نتایج شبیه‌سازی بوسیله نمودار پیوسته نمایش داده شده که نشان از واسنجی و صحت‌سنجی مطلوب مدل دارند. نتایج آماره‌های دقت‌سنجی برای مقادیر خروجی مدل QUAL2Kw با داده‌های اندازه‌گیری مربوطه نیز در جدول (۴) ارائه شد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد مقادیر NRMSE همبستگی خوب بین مقادیر و ضریب تعیین (R^2) نیز نشان از درجه دقت قابل قبول و توانایی مطلوب مدل کیفی دارد.

از داده‌های کیفی گردآوری شده اردیبهشت ماه ۱۳۹۷ (فصل کشت برنج، اصلی‌ترین محصول منطقه) برای واسنجی و آبان ماه ۱۳۹۷ (فصل غیرکشت) برای مرحله صحت‌سنجی مدل QUAL2Kw استفاده و مدل کیفی نهایی گردید و به کمک مدل سناریوهای آلاینده‌ی نیتراتی مسیر جریان در فصول کشت و غیرکشت مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

یافته‌ها و بحث

واسنجی و صحت‌سنجی مدل HEC-RAS

مدل HEC-RAS تحت شرایط ماندگار واسنجی و میانگین ضریب زبری مانینگ مسیر جریان رودخانه برابر با ۰/۰۴ تعیین گردید. سپس مدل واسنجی‌شده با استفاد از رابطه دبی-تراز آب ایستگاه‌های هیدرومتری ریگ‌چشمه و کردخیل در بازه سال‌های ۱۳۹۵-۱۳۹۷ صحت‌سنجی شد. نمودار دبی اندازه‌گیری و محاسبه شده توسط مدل برای ایستگاه‌های ریگ‌چشمه و کردخیل در شکل (۶) و نتایج آماری در جدول (۳) ارائه شده که نشان از

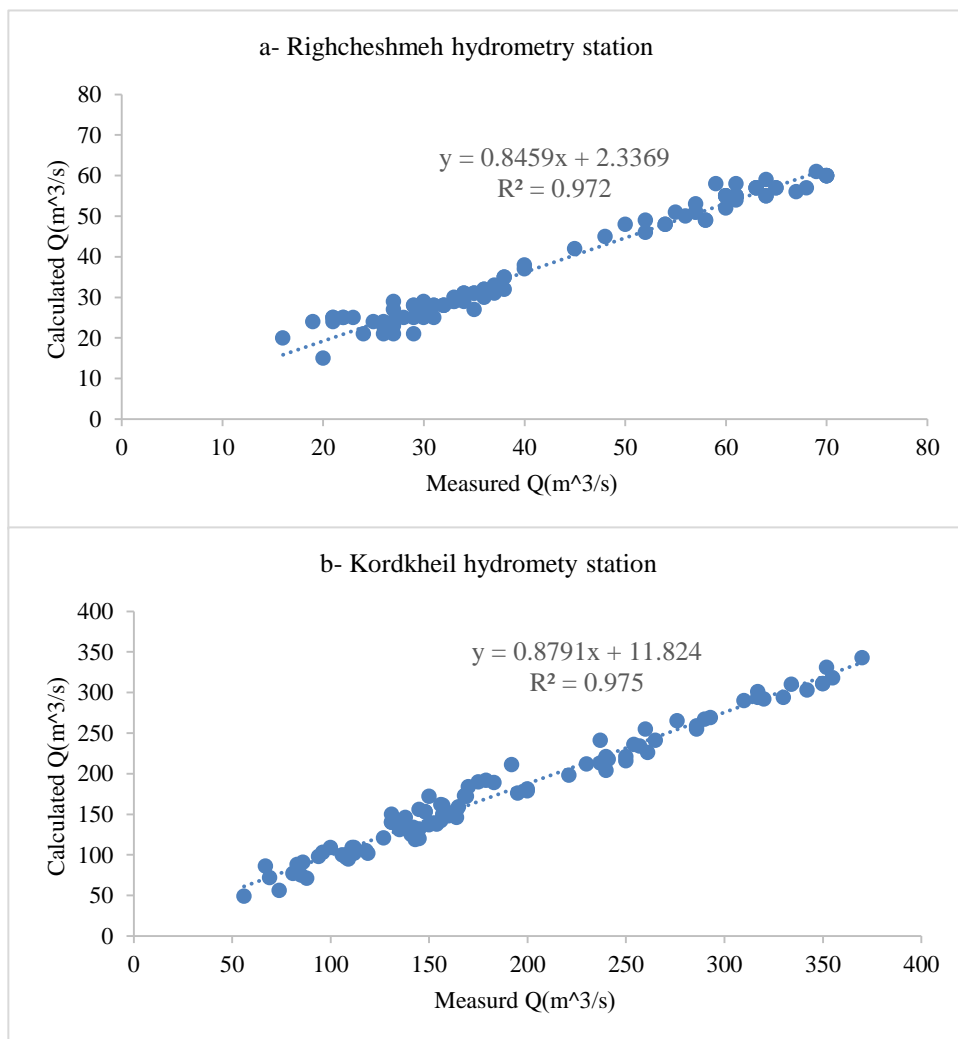


Fig. 6- Comparison of measured discharge versus calculated discharge in a- Righcheshmeh and b- Kordkheil hydrometry stations

شکل ۶- نمودار دبی اندازه گیری و محاسباتی در ایستگاه های هیدرومتری الف- ریگ چشمه و ب- کردخیل

جدول ۳- نتایج آماره های دقت سنجی از نتایج خروجی مدل HEC-RAS

Table 3- Accuracy indices of HEC-RAS model results

STATION	NRMSE	R ²
Rigcheshmeh hydrometry station	1.09	0.972
Korkheil hydrometry station	0.59	0.975

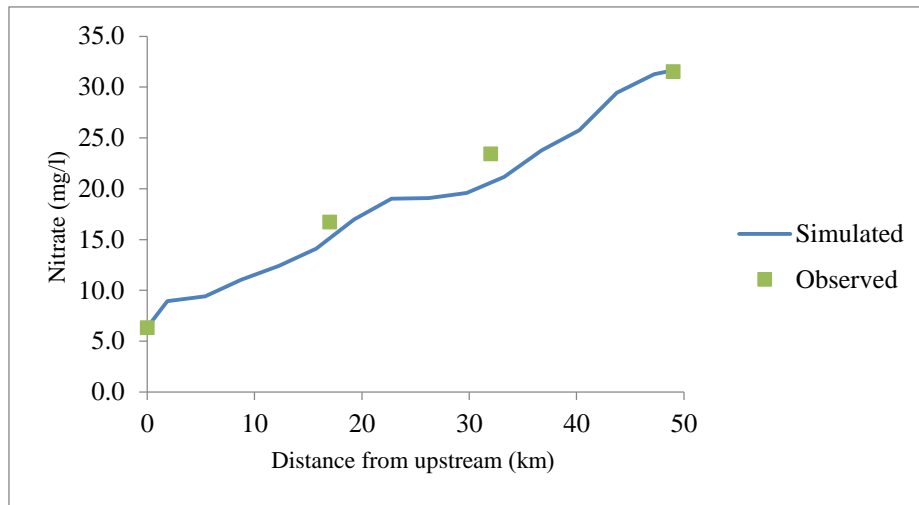


Fig. 7- Nitrate Calibrated model results and corresponding measured values in flow path during agricultural season

شکل ۷- نمودار مقادیر اندازه گیری و مدل سازی شده در دوره واسنجی (فصل کشت)

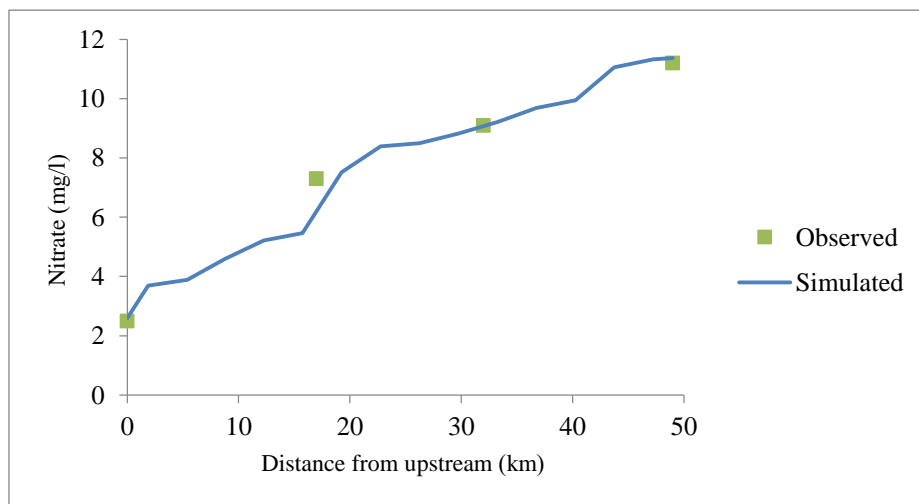


Fig. 8- Nitrate verified model results and corresponding measured values in flow path during non-agricultural season

شکل ۸- نمودار مقادیر اندازه گیری و مدل سازی شده در دوره صحت سنجی (فصل غیر کشت)

جدول ۴- مقادیر شاخص های دقت سنجی مدل QUAL2Kw تحت شرایط واسنجی و صحت سنجی

Table 4. Accuracy indices of QUAL2Kw model during calibration and verification

STATION	NRMSE	R ²
Calibration (Agricultural season)	0.11	0.971
Verification (non-agricultural season)	0.053	0.970

افزایشی نیترات از بالادست (ایستگاه ریگ چشمه) به پایین دست (ایستگاه کردخیل) مشاهده می گردد، این مشاهدات با نتایج Valizadeh و Shirdel (2020) و Zabardast Rostami (2020)، که Pirkolomi et al. (2022) و Delbari et al. (2022) روی کیفیت آب رودخانه تجن تحقیق کرده اند، مطابقت دارد. علت

بررسی غلظت نیترات در مسیر جریان رودخانه طی فصل کشت و غیر کشت

روند تغییرات غلظت نیترات در طول مسیر رودخانه در محدوده مورد تحقیق در دوره کشت و غیر کشت به ترتیب در شکل (۷) و شکل (۸) نشان داده شده است. در هر دوی این دوره ها روند

میزان بالای بار آلاینده ورودی به رودخانه دارند (Ahmadi Mamaghani et al., 2010).

آب رودخانه تجن در پایین دست منطقه مورد تحقیق از دو منظر بسیار پر اهمیت است: ۱) اصلی ترین منبع تامین آب اراضی کشاورزی در پایین دست می باشد، به نحوی که در مجموع ۴۶ هزار هکتار از اراضی کشاورزی دشت تجن تحت پوشش منابع آبی این رودخانه است (Ahmadi Mamaghani et al., 2010). مطابق استاندارد کیفیت آب های ایران تهیه شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست، میزان غلظت مجاز نیترات در آب برای کاربری کشاورزی ۳۰ میلی گرم در لیتر است (DOE Iran, 2016). همان طور که مشاهده می گردد غلظت نیترات در ایستگاه کردخیل به بیشتر از این میزان رسیده است، لذا نه تنها مناطق پایین دست جریان که حتی بخش هایی از منطقه مورد تحقیق نیز در مرز بحران و فاقد کیفیت مناسب به منظور مصارف شرب هستند. ۲) منطقه پایین دست و نزدیک مصب رودخانه محل تخم ریزی ماهیان است و باید توجه داشت که، رودخانه های جنوبی دریای مازندران از جمله رودخانه تجن، محلی مناسب برای تخم ریزی ماهیان خاویاری نیز می باشند (Laloei, 1997). از این رو و با توجه به اینکه وجود نیترات فراوان در آب نشان دهنده تشدید نیترونیفیکاسیون و کاهش اکسیژن محلول در آب است، تداوم این چرخه می تواند باعث ازدیاد تلفات آبزیان و خصوصا نوزادان آن ها گردد. نیترات مجاز برای کاربری شرب توسط سازمان بهداشت جهانی برابر با ۵۰ میلی گرم بر لیتر اعلام گردیده WHO (2016) که از این نظر محدوده مورد مطالعه را با میزان تقریبی ۴۷ میلی گرم بر لیتر نیترات در نزدیک مصب رودخانه در معرض خطر دانست.

همچنین میزان نیترات مجاز برای اکوسیستم های آبی ۵۰ میلی گرم در لیتر عنوان می گردد (ANZECC, 2000). از این نظر در محدوده ایستگاه کردخیل مشکلی برای اکوسیستم های آبی وجود ندارد اما با توجه به فاصله ۱۶ کیلومتری این ایستگاه تا مصب رودخانه به دریا که غلظت در فصل کشت به حدود ۴۷ میلی گرم بر لیتر می رسد، بروز شرایط بحرانی در آینده نزدیک در ناحیه مصب رودخانه دور از انتظار نیست. لذا باید رودخانه تجن را در محدوده اخطار غلظت نیترات برای اکوسیستم های آبی قلمداد نموده و حفاظت گونه های آبی توسط ارگان های ذیربط مد نظر قرار گیرد. مالکیت های خرد، عدم انجام به زراعی اراضی کشاورزی و به ویژه شالیزارها، کشت غیر ارگانیک و استفاده از کودهای شیمیایی از جمله مسائلی است که در منطقه وجود دارد و باید برای بهبود شرایط کیفی آب رودخانه تجن مورد بازنگری و بررسی قرار گیرند.

نتیجه گیری

۱- تلفیق خروجی مدل هیدرولیکی HEC-RAS با مدل QUAL2Kw منجر به نتایج مطلوب در تحلیل کیفی

این تغییرات ناشی از ورود نیترات از منابع مختلف در طول مسیر رودخانه و نیز کاهش حجم جریان می باشد (Shokri et al., 2015). تفاوت محسوس غلظت نیترات در بین این دو دوره زمانی بیانگر تأثیرپذیری بسیار زیاد رودخانه تجن از منابع غیرنقطه ای ناشی از کشت غیرارگانیک در اراضی کشاورزی منطقه می باشد که در مطالعه های Sadeghi Azad (2017) و Haydarpur و Jamshidi (2018) نیز اشاره شده است، همچنین Shayeghi et al. (2001) عنوان می دارند که در بین منابع آلاینده و تخریب کننده رودخانه تجن نقش زمین های کشاورزی بویژه شالیکاری های محدوده تراس رودخانه به عنوان منابع آلاینده غیرنقطه ای اهمیت فراوانی دارند. از طرف دیگر افزایش دما در فصل کشت (فصول گرم سال) که باعث افزایش حلالیت نیترات در آب می شود نیز عامل دیگری در افزایش غلظت نیترات در این دوره می باشد (Delbari et al., 2022).

به طور کلی محققین معتقدند عواملی منجمله وجود مناطق بکر، غلظت پایین اکثر پارامترهای کیفی و شیب زیاد در نقاط بالادست و مسائلی همچون افزایش جمعیت، توسعه صنعت و کشاورزی و تخلیه فاضلاب های شهری در نقاط پایین دست ممکن است عامل افزایش آلاینده ها در نقاط پایین دست در مقایسه با نقاط بالادست رودخانه ها باشند (Sakizadeh 2015; Alizadeh et al., 2017; Delbari et al., 2022). مطالعه ها نشان داده است که نوع کاربری زمین تأثیر زیادی بر کیفیت آب داشته و ارتباط معنی داری بین پارامترهای کیفیت آب و نوع استفاده از اراضی وجود دارد (Miserendino et al., 2011). همچنین باید توجه داشت که ورود فاضلاب ها و رواناب های شهری، بارندگی و استفاده از کود در زمین های کشاورزی در فصول مختلف سال متفاوت است. لذا این موارد ممکن است منجر به تغییر غلظت اندازه گیری شده نیتروژن نیتراتی در دو فصل شوند (Wetzel, 2001).

در دوره کشت میزان نیترات در نقطه انتهایی مسیر (ایستگاه کردخیل) به بیش از ۳۱ میلی گرم در لیتر می رسد در حالی که در دوره غیرکشت به حدود ۱۱ میلی گرم بر لیتر رسیده است. روند افزایش غلظت نیترات در طول مسیر ۵۰ کیلومتری در فصل غیرکشت حدود ۱۹ درصد است و حال آن که در فصل کشت این مقدار رقمی در حدود ۵۰ درصد است (افزایش حدود ۲۸۰ درصدی نسبت به فصل غیرکشت). با این روند افزایش در ۱۶ کیلومتر انتهایی مسیر جریان و تا مصب دریا افزایش غلظت به ترتیب در فصول کشت و غیرکشت به حدود ۴۷ و ۱۷ میلی گرم بر لیتر خواهد رسید. از آنجایی که کشت برنج در فصل تابستان و ماه های کم بارش و کم آب سال انجام می گیرد و با توجه به آبیاری شبانه روزی این محصول، آب برگشتی به طور دائم با مواد معدنی و آلی قابل توجهی به رودخانه تخلیه می شود (Jafarzadeh Haghhighifard et al., 2005). از این رو دو عامل رواناب ها و زه آب های مزارع شالیکاری نقش مهمی در ایجاد شرایط بحرانی و

پیشنهادات

کاهش حجم آب رودخانه در انتهای مسیر از عوامل بالا بودن غلظت نیترات می‌باشد، لذا بازنگری در محاسبات آزادسازی جریان از سد شهید رجایی و مصرف بهینه آب به‌ویژه در بخش کشاورزی و کاهش برداشت‌ها از جمله مواردی است که مدیران و تصمیم‌گیران حوضه باید مدنظر داشته باشند. همچنین بررسی سناریوهای مختلف تعیین میزان کاهش بار آلاینده از مبدأ، به‌ویژه کاهش بار آلاینده‌های غیرنقطه‌ای در مسیر جریان با هدف کاهش میزان غلظت نیترات رودخانه تجن به کمتر از حداکثر بار مجاز قابل حمل، برای تحقیقات آینده توصیه می‌شود.

تقدیر و تشکر

از شرکت سهامی آب منطقه‌ای مازندران و اداره کل حفاظت محیط زیست مازندران برای ارائه آمار و اطلاعات تقدیر و تشکر می‌گردد.

رودخانه می‌گردد. این امر نشان می‌دهد که می‌توان در شرایط کمبود داده‌های هیدرولیکی از خروجی‌های مدل HEC-RAS در مدل QUAL2Kw استفاده کرد.

۲- بررسی شرایط کیفی رودخانه تجن نشان داد که در فصل کشت مقدار غلظت نیترات حدوداً ۲/۸ برابر نسبت به فصل غیرکشت افزایش یافته که منشأ آن منابع آلاینده غیرنقطه‌ای شامل اراضی کشاورزی حاشیه رودخانه می‌باشند که لازم است به منظور مدیریت شرایط کیفی بیشترین تمرکز مدیران بر روی این بخش قرار گیرد. برنامه‌های ترویجی در زمینه کشت‌های ارگانیک و کاهش استفاده از کودها و سموم شیمیایی و نیز تعیین شرایط الگوی کشت مناطق به نحوی که میزان آلاینده کمتری ایجاد گردد از پیشنهادات کاربردی در این زمینه است.

۳- غلظت نیترات رودخانه در فصل کشت و در مصب دریا به حد بحرانی برای آبزیان یعنی ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر میل می‌کند، لذا تعیین چارچوبی برای کاهش بار نیترات ورودی به رودخانه با تمرکز بر منابع آلاینده غیرنقطه‌ای در سیاست‌های مدیریتی اکوسیستم آبی رودخانه تجن ضروری است.

References

- 1- Abbasi, H., 2017. Designing the Model for Commercialization of University Research Using Structural Equation Modeling- Partial Least Squares Method (SEM-PLS). *Iranian Journal of Trade Studies*, 21(82), pp.1-21. DOR: 20.1001.1.17350794.1396.21.82.2.6. (In Persian).
- 2- Ahmadi Mamaghani, Y., Khorasani, N., and Rafiei, G. 2010. Investigation of pollution sources and water quality of Tajan River. *Journal of Natural Environment*, 63(4), 317-327. (In Persian).
- 3- Ahmadpari, H. and Hashemi garmdareh, S., 2019. Application of Denitrification Wall in Nitrate Removal from Groundwater Aquifers. *Journal of Water and Wastewater Science and Engineering*, 4(3), pp.13-25. DOI: 10.22112/jwwse.2019.163648.1129. (In Persian).
- 4- Alizadeh, M., Mirzaei, R., and Kia, S. H., 2017. Determining the Spatial Trend of Water Quality Indices across Kan and Karaj River Basins. *Journal of Environmental Health Engineering*, 4 (3) :256-243. (In Persian).
- 5- ANZECC., 2000. *Australian and New Zealand guidelines for fresh and marine water quality*. Australian and New Zealand environment and conservation council and agriculture and resource management council of Australia and New Zealand.
- 6- Arsenault, R., Brissette, F., and Martel, J.L. 2018. The hazards of split-sample validation in hydrological model calibration. *Journal of hydrology*, 566, pp.346-362. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2018.09.027.
- 7- Aryaee Nezhad, R., Sarai Tbrizi, M. and Babazadeh, H. 2019. Modeling Water Quality of Rivers Using QUAL2Kw Model (Case Study: Shahroud River). *Journal of Environmental Science and Technology*, 21(7) pp.1-13. (In Persian).
- 8- Brunner, G., 2008. *River analysis system hydraulic reference manual*. Do Defense, Davis.
- 9- Bui, H.H., Ha, N.H., Nguyen, T.N.D., Nguyen, A.T., Pham, T.T.H., Kandasamy, J. and Nguyen, T.V., 2019. Integration of SWAT and QUAL2K for water quality modeling in a data scarce basin of Cau River basin in Vietnam. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 19(2), pp.210-223. DOI: 10.1016/j.ecohyd.2019.03.005.

- 10- Chapra, S. C., Pelletier, G. J., and Tao, H. 2008. QUAL2K: a modeling framework for simulating river and stream water quality, version 2.11: documentation and user's manual. Civil and Environmental Engineering Dept., Tufts University, Medford, MA.
- 11- Delbari, F., Rezaei Tavabe, K., Mirvaghefi, A., Lahijanzadeh, A., Bagherzadeh Karimi, M., & Salamroodi, E. 2022. Evaluation of water quality of Tajan River using IRWQIsc index. *Aquaculture Sciences*, 10(2), 83-98. DOR: 20.1001.1.23225351.1401.10.19.8.8 (In Persian).
- 12- DOE Iran., 2016. *Water quality standards of Iran*. Department of Environment of Iran. (In Persian).
- 13- Enrique, S., Manuel, F., Colmenarejo, J.A., Angel, R.G., Garcia, L.T., and Borja, R., 2007. Use of the water quality index and dissolved oxygen deficit as simple indicators of watersheds pollution. *Journal of Ecological Indicators*. 7(2), pp315-328. DOI: 10.1016/j.ecolind.2006.02.005.
- 14- Fan, C., Chen, K.H., and Huang, Y.Z., 2021. Model-based carrying capacity investigation and its application to total maximum daily load (TMDL) establishment for river water quality management: A case study in Taiwan. *Journal of Cleaner Production*, 291, pp.125-251. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.125251.
- 15- 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. DOI: 10.1016/j.jenvman.2008.11.011.
- 16- Farkhani, S., 2021. *Investigating the Quality Status of Haraz River Using Numerical Modeling*. Vol 17. 1(56). pp. 262-276. (In Persian).
- 17- Faryadi S., Shahedi K., and Nabatpoor M., 2012. Investigation of Water Quality Parameters in Tadjan River Using Multivariate Statistical Techniques. *journal of watershed management research*. Vol 3. No 6. pp. 75-92. (In Persian).
- 18- Gholipour, A., and alamatan, E. 2015. Assessing of channel roughness and temperature variations on Parkand Abad WWPT's wastewater quality using numerical modeling. *Journal of Water and Sustainable Development*, 2(1), 51-58. DOI: 10.22067/JWSD.V2I1.43579. (In Persian)
- 19- Gupta, H.V., Perrin, C., Blöschl, G., Montanari, A., Kumar, R., Clark, M., and Andréassian, V., 2014. Large-sample hydrology: a need to balance depth with breadth. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(2), pp.463-477.
- 20- Haydarpur, M., and Jamshidi, Sh. 2018. Determining Total Allowable Pollution and Waste Load Allocation in Rivers Regarding Seasonal Variations, A Framework for Local Multi-Parameter Water Quality Standardization and Monitoring. *journal of environmental studies*. 44(3). pp. 519 - 531 DOI: 10.22059/JES.2019.264374.1007725 (In Persian).
- 21- Hossieni, P., Ildoromi, A.R. and Hosseini, Y., 2016. The Study of Qual2kw Model Efficacy on River Self-purification (A Case Study of Karun River at Interval of Zargan to Kute Amir). *Journal of Environmental Science and Technology*, 18(4), pp.103-122. (In Persian).
- 22- Jafarzadeh Haghighifard N, Tavasoli M.H., and Barootkoob, A., 2005. Investigation of Karoon River Water Quality Variations Using Qua12e Program. *Journal of iran-water resources research*., 1(2). pp. 85-96. (In Persian).
- 23- Jamshidi, S., and Niksokhan, M. H., 2015. Waste load allocation in Sefidrud using water quality trading. *Water and Irrigation Management*, 5(2), 243-259. DOI: 10.22059/JWIM.2015.57447. (In Persian).
- 24- Khodaparast Shirazi, J., and Sadeghi, Z., 2016. Forecasting seafood production in Iran using the ARIMA and Artificial Neural Networks. *Agricultural Economics Research*, 8(31), pp. 145-166. DOR: 20.1001.1.20086407.1395.8.31.8.2. (In Persian).

- 25- Laloei, F., 1997. Studying the manner of sturgeon fishes migration to Gorganrud and Tajan rivers. *Iranian Scientific Fisheries Journal*, 5(4), 17-30. DOI: 10.22092/ISFJ.1996.116083. (In Persian)
- 26- Leopold, L. B., and Maddock, T., 1953. *The hydraulic geometry channels and some physiographic implications, geological survey professionals*. Washington, DC.
- 27- Miserendino, M. L., Casaux, R., Archangelsky, M., Di Prinzio, C. Y., Brand, C., and Kutschker, A. M. 2011. Assessing land-use effects on water quality, in-stream habitat, riparian ecosystems and biodiversity in Patagonian northwest streams. *Science of the total environment*, 409(3), 612-624. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2010.10.034.
- 28- Nikakhtar, M., Rahmati, S., and Massah Bovani, A., 2020. Simulating of Surface Water Quality Using QUAL2KW (Ardak River, Khorasan Razavi Province). *Journal of Environmental Science and Technology*, 21(11 (90)), pp. 93-105. (In Persian).
- 29- Pellerire, G. J., and Chapra, S. C., 2008. Qual2kw-Theory and documentation (Version 5.1). A modeling framework for simulating river and stream quality. Washington Department of Ecology- Washington State, see information in: <http://www.ecy.wa.gov/programs/eap/models.html>.
- 30- Ranjith, S., 2019. Utilization of Water Quality Modeling and Dissolved Oxygen Control in River Tungabhadra, Karnataka (India). *Open Access Library Journal*, 6(05), pp.1.
- 31- Rocha, J., Roebeling, P., and Rial-Rivas, M.E., 2015. Assessing the impacts of sustainable agricultural practices for water quality improvements in the Vouga catchment (Portugal) using the SWAT model. *Science of The Total Environment*, 536, pp.48-58. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.07.038.
- 32- Sadeghi Azad, A., 2017. Assessment of self-purification and identification the effect of constructed cotroling flow on Tajan river Using QUAL2K and CCHE-2D. MSc Thesis. *Isfahan University of Technology*. Iran. DOI: 10.22055/JISE.2023.43193.2060.(In Persian).
- 33- Sakizadeh, M. 2015. Assessment the performance of classification methods in water quality studies, A case study in Karaj River. *Environmental monitoring and assessment*, 187, pp.1-12. DOI: 10.22055/JISE.2023.43193.2060.
- 34- Setiawan, D., Dharma, I.G.B.S. and Suyasa, I.W.B., 2017. Pollution load capacity of Badung River at Dauh Puri village, Denpasar town using Qual2kw model. *Ecotrophic: Journal of Environmental Science/Ecotrophic: Jurnal Ilmu Lingkungan*, 11(2), pp.116-124. DOI: [10.24843/EJES.2017.v11.i02.p10](https://doi.org/10.24843/EJES.2017.v11.i02.p10).
- 35- Shayeghi, M., Shahtaheri, S. J., and Selsele, M. 2001. Phosphorous Insecticides Residues in Mazandaran River Waters, Iran (2000). *Iranian J. Publ. Health*, 30(3-4), pp.115-118.
- 36- Shirdel, I., and Zabardast Rostami, H. 2020. Assessing the effects of aquaculture farms on water quality of Haraz and Tajan rivers. *Journal of Animal Environment*, 12(3), 353-364. DOI: 10.22034/AEJ.2020.120283. (In Persian)
- 37- Shokri, S., hoshmand, A., and Moazed, H. 2015 Ammonium and Nitrate Quality Simulation in GarGar rivers using QUAL2KW Model.. *Wetland Ecobiology*. 7 (1) :57-68. (In Persian)
- 38- Tahmasebi, S., Afkhami, M., and Takdastan, A., 2011. Study of Chemical, Physical and Microbial Quality of Gargar River, Sw, Iran, Using Nsf Water Quality Index. *jundishapur journal of health sciences*. 3(4). pp. 55- 64 (In Persian).
- 39- Torabi Maybodi, A., 2011. Simulation and uncertainties analysis of water quality of Karkheh River. MSc thesis. *Khajeh Nasirodin Tosi University*. DOI: 10.22055/JISE.2023.43193.2060. (In Persian).
- 40- USACE, H., 2016. *River Analysis System Hydraulic Reference Manual*.

- 41- Valizadeh Pirkolomi, M., Khoshravesh, M., and Gholami Sefidkahi, M. 2022. Evaluation of Seasonal Changes of Tajan River Water Quality using Simulation Model of Qual2kw. *Extension and Development of Watershed Management*, 10(36), 48-59. (In Persian).
- 42- Wetzel, R. G. 2001. *Limnology: lake and river ecosystems*. gulf professional publishing.
- 43- WHO, 2016. Nitrate and nitrite in drinking-water. Background document for preparation of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. World Health Organization (WHO/SDE/WSH/ 03.04/56).
- 44- 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.