

Research Paper

Investigating River water Quality Involving Numerical and Intelligent Models and NSFQI Index, case Study Babolrood River, IranFatemeh Akhoni Pourhosseini¹, Kumars Ebrahimi^{2*}, Mohamad Hosein Omid³

¹ PhD Graduated in Water Resources Engineering, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, University of Tehran, Karaj, Iran.

² Professor, Department of Renewable Energies and Sustainable Resources Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

³ Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, University of Tehran, Karaj, Iran.

(* - Corresponding Author Email: EbrahimiK@ut.ac.ir)



10.22125/iwe.2024.417136.1751

Received:
September 20, 2024
Accepted:
April 23, 2024
Available online:
October 13, 2024

Keywords:

Calibration, Qual2kw, quality index, simulation models

Abstract

In this article, the water quality of Babolrood using the Qual2kw model and SVM-GA with the approach of simulating six water quality parameters including temperature, alkalinity, electrical conductivity, total nitrogen, dissolved oxygen, biochemical oxygen demand in 4 time periods from 2018 was investigated. In order to compare the observed and simulated data, the explanation was used R^2 , MAE and NRMSE. The results showed that the best SVM-GA simulation for total nitrogen parameter in February is with MAE 0.15 and NRMSE 1.97. The results of Qual2kw numerical model showed that the best simulation for May is with MAE 0.14 and NRMSE 1.2. The water quality of Babolrood was evaluated using the NSFQI index. The best water quality is Bahman with an index of 56 in the medium to good range and the worst quality is in the month of May with an index of 49 in the bad range.

1. Introduction

Nowadays, due to the increase in pollutants, accuracy and systematic approach in the quantitative and qualitative management of water is more important (Montaseri et al. 2018, Pathak et al. 2018, Zotou et al. 2020) Measuring water quality parameters is expensive over time, so indirect methods should be used to measure parameters (Radwan et al. 2019, Nguyen et al. 2019a). Instead of additional costs for wastewater treatment, using a mathematical model to show the existing situation will have significant economic, Zhang et al. 2014). In the present research, firstly, to investigate the changes in the water quality parameters of Babolrood, modeling of the river was done with the help of Qual2kw and SVM - GA, and the graphs simulated by the mentioned models were analyzed. Next, the river water quality was evaluated using the NSFQI index.

2. Materials and Methods

Babolrood is one of the rivers with abundant water in the north of Iran. The necessary information to check the water quality of this river including parameters of T, DO, BOD, EC, TN.

Qual2kw model:

The Qual2kw6 model is a one-dimensional model with the assumption of constant flow. The geometric characteristics of the river and the hydraulic characteristics of the flow were measured and used in 4-time intervals and each interval in 3 sections. In this research, the NSFQI index was used to evaluate the water quality data of Babolrood river.

Least Squares Support Vector Machine and Genetic algorithm

The basis of the SVM method is based on the theory of statistical learning, which follows structural risk minimization and GA is one of the computational models, which is inspired by the evolutionary process.

3. Results

Temperature, DO, BOD and TN can be mentioned among the most important parameters that affect river water quality. One of the most important parameters that affect the speed of chemical reactions in water is T. The highest and lowest temperatures occurred in the months of August and Bahman, respectively. The highest simulation accuracy according to MAE and NRMSE for the months of May is equal to 0.57 and 3.99. The lowest modeling accuracy is for November equal to 2.33 and 12.79. The observed and calculated values of the dissolved biochemical oxygen demand parameter in Babolrood. The concentration of the DO parameter depends on the activity of microorganisms in the water. The values of NRMSE and MAE for this parameter in May were 24.34 and 0.43.

4. Discussion and Conclusion

The results of the assessment using the NSFQI index showed that the water quality of Babolrood is in moderate to good condition. Only in the months of August and May, the situation of bad quality has been achieved. The index values fluctuate between 70 and 40. The average index in the month of Bahman shows the good quality of the river water, which is due to the increase in discharge and the dilution of the pollutant compared to the average of other months. The results of the present article show the optimal accuracy of the Qual2kw6 model simulation in Babolrood river.

3. Six important references

- 1) Montaseri, M., Ghavidel, S.Z. and H. Sanikhani. 2018. Water quality variations in different climates of Iran: toward modeling total dissolved solid using soft computing techniques. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 32 (8): 2253-2273.
- 2) Nguyen, T. Nemery, J. Gratiot, N. Garnier, J. Strady, E. Tran, V. Nguyen, A. Nguyen, T. Golliet, C. and J. Aime. 2019a. Phosphorus adsorption/desorption processes in the tropical Saigon River estuary (Southern Vietnam) impacted by a megacity. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*.227:106321.
- 3) Pathak, D. Whitehead, P. G, Futter M. N, and R. Sinha. 2018. Water quality assessment and catchment-scale nutrient flux modeling in the Ramganga River Basin in north India: an application of INCA model. *Science of the Total Environment*, 632: 201-215.
- 4) Radwan, A. Abdelmoneim, A. Basiony, I. and M. El-Alfy. 2019. Water Pollution Monitoring in Idku Lake (Egypt) using Phytoplankton and NSF-WQI. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 23(4): 465-481.
- 5) Zhang,R.X., Qian,X., Yuan,R., Ye,B., and Y. Wang. 2014. Simulation of water environmental capacity and pollution load reduction using to Qual2kw for water environmental management. *International Journal of Environment Research and public Health*, 9.11: 4504-4521.
- 6)Zotou, I. Tsihrintzis, V. A. and G. D. Gikas. 2020. Water quality evaluation of a lacustrine water body in the Mediterranean based on water quality index (WQI) methodologies. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 1-12.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

The University of Tehran is thanked for providing the necessary facilities.

بررسی کیفیت آب رودخانه بابلرود با استفاده از مدل‌های عددی، فراابتکاری و شاخص NSFQI

فاطمه آخونی پورحسینی^۱، کیومرث ابراهیمی^{۲*} و محمدحسین امید^۳

تاریخ ارسال: ۱۴۰۲/۰۶/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۰۴

مقاله پژوهشی

چکیده

مدل سازی یکی از مؤثرترین روش‌ها در مدیریت کیفیت آب رودخانه‌ها، برنامه‌ریزی کاهش ورود آلاینده‌ها و کنترل آسیب‌های زیست‌محیطی است. در مقاله حاضر کیفیت آب رودخانه بابلرود با استفاده از مدل Qual2kw و مدل فراابتکاری ماشین بردار پشتیبان و الگوریتم ژنتیک SVM-GA با رویکرد شبیه‌سازی شش پارامتر کیفیت آب شامل دما، قلیائیت، هدایت الکتریکی، نیترژن کل، اکسیژن محلول و اکسیژن خواهی بیوشیمیایی در چهار دوره زمانی از سال ۱۳۹۷ مورد بررسی قرار گرفت. الگوریتم ژنتیک برای شبیه‌سازی و بهینه‌سازی به کار می‌رود، که هیبرید این مدل با ماشین بردار پشتیبان باعث بهبود عملکرد شبیه‌سازی شده است. جهت مقایسه داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده از ضریب تبیین R^2 ، متوسط خطای مطلق MAE و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده NRMSE استفاده شد. نتایج نشان داد که بهترین شبیه‌سازی SVM-GA برای نیترژن کل در بهمن ماه با MAE ۰/۱۵ و NRMSE ۱/۹۷ می‌باشد. نتایج مدل عددی Qual2kw نشان داد بهترین شبیه‌سازی برای اردیبهشت ماه با MAE ۰/۱۴ و NRMSE ۱/۲ می‌باشد. کیفیت آب رودخانه بابلرود با استفاده از شاخص NSFQI ارزیابی شد. بر این اساس بهترین کیفیت آب در بهمن ماه با شاخص ۵۶ در بازه متوسط تا خوب و بدترین کیفیت در ماه اردیبهشت با شاخص ۴۹ در بازه بد می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: شاخص کیفیت، مدل شبیه‌ساز، واسنجی، Qual2kw

۱- دکتری مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. Fateme.pourhosini@ut.ac.ir

*۲- استاد، گروه مهندسی انرژی‌های نو و منابع پایدار، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران، ایران. EbrahimiK@ut.ac.ir

۳- استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. Momid@ut.ac.ir

(* - ایمیل نویسنده مسئول: EbrahimiK@ut.ac.ir (Email:))

مقدمه

رودخانه‌ها یکی از مهم‌ترین منابع تأمین آب مصرفی در بخش‌های صنعت، کشاورزی و شهری می‌باشند. از این جهت توجه به کیفیت آب رودخانه‌ها از اهمیت بسزایی برخوردار می‌باشد. زهکش‌های کشاورزی، پساب‌های صنایع و خانگی وارد رودخانه شده و آلودگی رودخانه را همراه با مصارف آب تشدید می‌کند (خنک، ۱۴۰۰). امروزه دقت و برخورد سیستمی در مدیریت کمی و کیفی آب به علت افزایش آلاینده و ارتباط متقابل آن‌ها باهم از اهمیت بیشتری برخوردار است (مفتاح و همکاران ۱۳۹۱، Pathak et al. 2018). در ایران به علت خشک‌سالی و کمبود منابع آبی، حفاظت و مدیریت از آن مورد توجه می‌باشد (کارآموز و کراچیان، ۱۳۸۷). اندازه‌گیری پارامترهای کیفیت آب زمان برو پرهزینه می‌باشد، بدین جهت بایستی از روش‌های غیرمستقیم برای اندازه‌گیری پارامترها استفاده شود (Radwan et al. 2019). این مدل‌های به مدیران در زمینه‌ی تصمیم‌گیری کمک می‌کند (Nguyen et al. 2019a). به عبارت دیگر به جای هزینه‌های اضافی برای تصفیه پساب‌ها، استفاده از یک مدل ریاضی برای نشان دادن وضعیت موجود، آثار اقتصادی قابل توجهی خواهد داشت (باباخانی و همکاران ۱۳۹۸، Khan et al. 2017). در مطالعه Zhang et al. (2014) برای تعیین کیفیت آب دریاچه تایهو از نرم‌افزار Qual2kw استفاده کردند. نتایج نشان داد پیشگیری از ورود آلاینده‌ها به دریاچه از کنترل این مواد به دریاچه مناسب‌تر می‌باشد (Sharma et al. 2015). با استفاده از مدل Qual2kw آنالیز حساسیت و تحلیل عدم قطعیت روی داده‌های اکسیژن محلول اکسیژن خواهی بیوشیمیایی، کلیفرم کل و نیتروژن کل در رودخانه یامونا در هند انجام دادند. نتایج آنالیز حساسیت نشان داد مقادیر پیش‌بینی شده نسبت به جریان بالادست در کیفیت منبع نقطه‌ای حساس هستند و تحلیل عدم قطعیت با استفاده از روش مونت کارلو نشان داد که داده‌های ورودی مطابق با وضعیت معمول رودخانه به‌خوبی شبیه‌سازی شده‌اند. (Xinzhou et al. (2022) برای ارزیابی کیفیت آب

زیرزمینی در شهر خینزو^۲ در چین با استفاده از مدل فراابتکاری SVM-PSO و SVM-PCA شبیه‌سازی کردند. نتایج نشان داد مدل‌های هیبریدی نواقص مدل‌های سنتی را رفع می‌کند و برای ارزیابی کیفیت آب مناسب می‌باشد (Nufutomo et al. (2023) برای شبیه‌سازی کیفیت آب در جاوای غربی اندونزی از مدل Qual2kw استفاده کردند. نتایج نشان داد این مدل می‌تواند TSS، BOD و NO₃ را بخوبی شبیه‌سازی بکند و برای تعیین ظرفیت بار آلاینده مناسب می‌باشد. (Zehra et al. (2023) برای تعیین کیفیت رودخانه یامونا در شمال دهلی از مدل Qual2kw استفاده کردند. نتایج نشان داد مدل Qual2kw نسبت به مدل WAPS بهتر می‌تواند شبیه‌سازی را انجام بدهد. (Goodarzi et al. (2023) جهت تعیین رودخانه دز از مدل Qual2kw استفاده کردند. نتایج نشان داد این مدل برای تعیین دما و کیفیت آب از دقت قابل قبولی برخوردار می‌باشد. هاشمی و همکاران (۱۳۹۷) به ارزیابی کیفیت آب رودخانه تالار با استفاده از مدل Qual2kw پرداختند. نتایج نشان داد کمترین خطا مربوط به پارامتر pH و بیشترین خطا مربوط به پارامتر CBOD می‌باشد. بیشترین تغییرات افزایشی در خروجی شهرها قایم شهر و کیاکلا رخ داده است که می‌تواند ناشی از تأثیر ورود فاضلاب و شیرابه‌های این دو شهر به رودخانه تالار باشد. خنک و همکاران (۱۴۰۰) به شبیه‌سازی پارامترهای کیفیت آب سفیدرود پرداختند. نتایج نشان داد بیشترین و کمترین دقت مدل با میانگین مقادیر NRMSE در دو مرحله برابر با ۳/۳ و ۴۷/۵ به ترتیب برای پارامترهای pH و نیتروژن کل می‌باشد. به دین ترتیب مدل Qual2kw در شبیه‌سازی کیفیت آب سفیدرود به‌خوبی عمل کرده است. صادقی تالار پستی و همکاران (۱۴۰۰) به بررسی ضریب زوال رودخانه تالار با استفاده از مدل Qual2kw پرداختند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که مقدار تغییرات میانگین DO از ۵/۱۵ در فصل تابستان تا ۷/۴۷ میلی‌گرم در لیتر در فصل بهار و تغییرات میانگین BOD از ۱/۸۸ در فصل پاییز تا ۷/۹۱ میلی‌گرم در لیتر در فصل تابستان ثبت شد. مقادیر ضریب زوال رودخانه

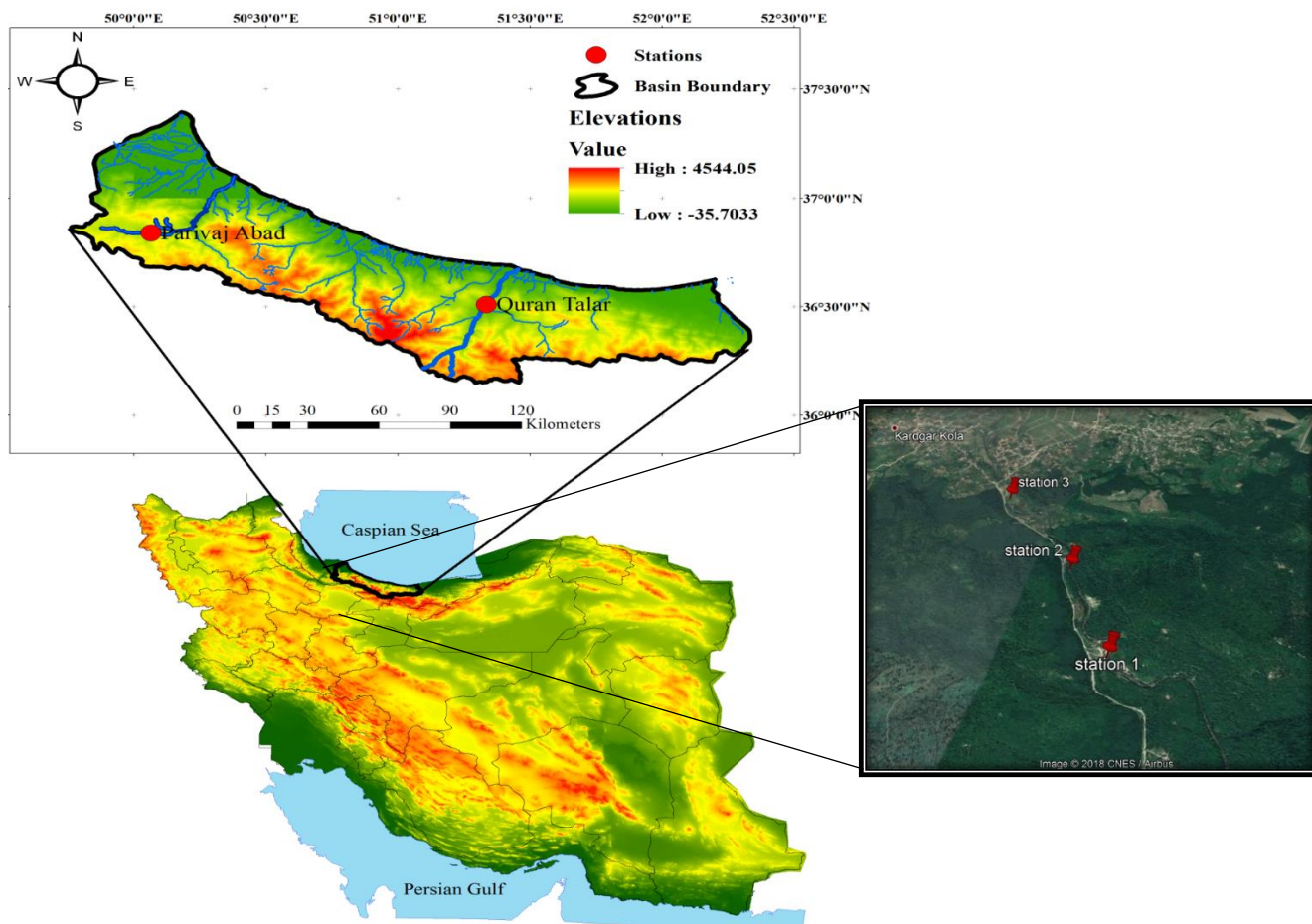
داد در صورت اجرای سناریو، شاهد افزایش کیفیت شاخص NSFQI برای ایستگاه علمدار در رودخانه مدنظر بعد از تخلیه فاضلاب شهری خواهیم بود. حسینی و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی کیفیت آب رودخانه قره‌سو با استفاده از مدل Qual2kw و WQI پرداختند. نتایج نشان داد کیفیت آب رودخانه در ماه دی متوسط و در ماه اردیبهشت خوب می‌باشد. (Montaseri et al. (2018) به منظور مدل سازی کل جامدات محلول از مدل شبکه عصبی مصنوعی، مدل فازی، برنامه ژنتیک و هیبرید استفاده نمودند. نتایج نشان داد الگوریتم ژنتیک برای شبیه سازی کل جامدات محلول در منطقه پاسخ مناسبی می‌دهد. محمدی نژاد و اگدرنژاد (۱۴۰۰) جهت مدل سازی کیفیت آب زیرزمینی دشت زیدون از مدل عصبی بیهینه شده و الگوریتم ژنتیک استفاده کرده اند. نتایج نشان داد الگوریتم ژنتیک نتایج بهتری نسبت به سایر مدل های ارائه می‌دهد. در پژوهش حاضر، ابتدا برای بررسی تغییرات پارامترهای کیفیت آب رودخانه بابلرود مدل سازی رودخانه به کمک مدل Qual2kw و مدل فراابتکاری ماشین بردار پشتیبان و الگوریتم ژنتیک انجام شد و نمودارهای شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های مذکور مورد تحلیل قرار گرفت. در ادامه با استفاده از شاخص NSFQI کیفیت آب رودخانه ارزیابی شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده

رودخانه بابلرود یکی از رودخانه‌های پر آب شمال ایران می‌باشد. طول این رودخانه ۷۸ کیلومتر و مساحت حوضه آن ۱۷۴۶ کیلومترمربع است. اطلاعات لازم جهت بررسی کیفیت آب این رودخانه شامل پارامترهای اکسیژن خواهی، اکسیژن خواهی بیوشیمیایی، دما، pH، هدایت الکتریکی، نیترات کل طی نمونه برداری میدانی و آنالیزهای آزمایشگاهی توسط صادقی تالارپشتی و همکاران (۱۴۰۰) در سه مقطع و در چهار بازه زمانی شامل اردیبهشت، مرداد، آبان و بهمن ۱۳۹۷ اندازه‌گیری شد. نقشه منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ ارائه شده است. مشخصات موقعیت‌های نمونه‌برداری در جدول ۱ ارائه شده است. جدول ۲ نیز مشخصات هیدرولیکی رودخانه را نشان می‌دهد.

با استفاده از مدل فوق از ۲ در فصل پاییز تا ۷/۷ در فصل تابستان به ثبت رسید. نیسی و تیشه زن (۱۳۹۷) برای ارزیابی کیفیت رودخانه دز از روش های آماری چند متغیره استفاده کردند. نتایج نشان داد ایستگاه های پایین دست دزفول از نظر تشابه متغیرهای کیفی در یک دست قرار داند. آریایی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۸) به مدل سازی کیفیت رودخانه شاهرود با استفاده از Qual2kw پرداختند. نتایج نشان داد دقت شبیه سازی هر پارامتر با توجه به مقدار تغییرات آن در طول رودخانه متغیر است. به نحوی که هرچه تغییرات یک پارامتر در طول رودخانه و در بازه های مختلف کمتر باشد، دقت مدل در شبیه سازی این پارامتر بیشتر است. نائی و معروفی (۱۳۹۶) جهت بررسی خودپالایی تغییرات نیتروژن و فسفر در طول رودخانه عباس آباد همدان از نرم افزار Qual2kw استفاده کردند. نتایج نشان داد بیشتر مقدار خودپالایی در بازه کشاورزی در سال ۱۳۹۴ معادل ۵۴ درصد می باشد. فتح آبادی و همکاران (۱۳۸۷) از روش نورو فازی و مدل های سری زمانی استفاده کردند. نتایج نشان داد مدل سری های زمانی نسبت به روش های هوشمند عملکرد بهتری ارائه داده است. محمدی و سلاجقه (۱۳۹۶) به بررسی تغییرات مکانی و زمانی آب زیرزمینی در دشت کرمان با استفاده از تخمین گر زمین آمار پرداختند. نتایج نشان داد میزان کلر روند افزایشی در ده سال اخیر داشته است. همچنین میزان هدایت الکتریکی در این استان به ویژه در بخش عربی شمالی افزایش چشم گیری داشته است. آذره (۱۴۰۰) برای ارزیابی پتانسیل آب های زیرزمینی دشت هرات-مروستاز روش ترکیبی سلسله مراتبی و منطق فازی استفاده کرد. نتایج نشان داد دشت های آبرفتی با شیب توپوگرافی کم دارای بیشترین پتانسیل تشکیل منابع آب زیرزمینی هستند. Zotou et al. (2020) بدنه آبی چشمه های مدیرانه ای با استفاده از هفت شاخص مختلف مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد شاخص های (NSFWQI) و (Bahargava) کیفیت آب را در کلاس های بالاتری نسبت به سایر شاخص ها طبقه بندی می کند. استفاده از شاخص ها دید بهتری از کیفیت آب رودخانه در اختیار مخاطب قرار می دهد. رستمی و همکاران (۱۳۹۹) به بررسی کیفیت رودخانه کنگیر ایوانبا استفاده از شاخص NSFQI و تأثیر کاهش آلاینده ها را با استفاده از مدل Qual2kw بررسی کردند. نتایج نشان



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و ایستگاه های نمونه برداری رودخانه بابلرود

جدول (۱): موقعیت مقاطع نمونه برداری از رودخانه رودخانه بابلرود

شماره مقطع	فاصله از مبدأ (متر)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی
۱	۰	۳۶° ۱۶' ۵۵.۸۷"	۵۲° ۴۷' ۴۰.۴۲"
۲	۱۳۰۰	۳۶° ۱۷' ۲۶.۶۴"	۵۲° ۴۷' ۱۶.۷۶"
۳	۲۸۰۰	۳۶° ۱۷' ۵۵.۳۵"	۵۲° ۴۶' ۴۰.۸۴"

جدول (۲): مشخصات هیدرولیکی رودخانه رودخانه بابلرود در مقاطع اندازه‌گیری

تاریخ نمونه برداری	مقاطع	دبی (مترمکعب بر ثانیه)	عمق (متر)	سرعت (متر بر ثانیه)
اردیبهشت ۱۳۹۷	۱	۵/۶	۰/۵۳	۰/۴۵
	۲	۵/۵	۰/۵۸	۰/۵۹
	۳	۵/۴	۰/۵۴	۰/۷۲
مرداد ۱۳۹۷	۱	۳/۹۶	۰/۳۴	۰/۴۷
	۲	۳/۹۷	۰/۳۲	۰/۴۸
	۳	۳/۹۸	۰/۳۳	۰/۵۲
آبان ۱۳۹۷	۱	۱	۰/۲۱	۰/۴۲
	۲	۱/۳	۰/۲۳	۰/۴۵
	۳	۱/۵	۰/۳	۰/۴۶
بهمن ۱۳۹۷	۱	۲/۶۳	۰/۴۵	۰/۳۵
	۲	۲/۸۵	۰/۵	۰/۳۸
	۳	۳/۱	۰/۵۲	۰/۴۴

مدل Qual2kw

رابطه عمومی موازنه جرم برای جزء اصلی در ستون آب برای بازه i در مدل Qual2Kw به فرم رابطه (۱) تعریف می‌شود.

$$\frac{dc_{2,i}}{dt} = S_{2,i} + \frac{E'_{hyp,i}}{V_{2,i}} (c_i - c_{2,i}) \quad (2)$$

مدل Qual2Kw از رابطه مانینگ مطابق با رابطه (۳)

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

$$Q = \frac{S_0^{1/2} A_c^{5/3}}{n P^{2/3}} \quad (3)$$

در رابطه (۳) Q دبی جریان به مترمکعب بر ثانیه، S_0 شیب کف (متر به متر)، n ضریب زبری مانینگ، A_c مساحت مقطع عرضی جریان به مترمربع، P شعاع خیس‌شدگی به متر می‌باشد. روابط مساحت مقطع عرضی و شعاع خیس‌شدگی مطابق رابطه‌های (۴) و (۵) می‌باشد.

$$A_c = [B_0 + 0.5(s_{s1} + s_{s2})H]H \quad (4)$$

$$P = B_0 + H\sqrt{s_{s1}^2 + 1} + H\sqrt{s_{s2}^2 + 1} \quad (5)$$

در روابط (۴) و (۵)، B_0 شیب کف جریان به متر، H عمق جریان به متر و s_{s1} و s_{s2} به ترتیب شیب جداره‌های دو طرف کانال می‌باشند.

در رابطه (۱)، c_i ، c_{i+1} و c_{i-1} به ترتیب غلظت آب سطحی در بازه i ، $i+1$ و $i-1$ غلظت در ناحیه زیستی زیر رسوبات به میلی‌گرم بر لیتر، Q_i و Q_{i-1} به ترتیب دبی خروجی از بازه‌های i و $i-1$ $Q_{ab,i}$ دبی خروجی از بازه i به مترمکعب بر روز، V_i حجم بازه i به مترمکعب E'_{i-1} و E'_i به ترتیب ضریب پخش حجمی بین بازه‌های i و $i+1$ و $i-1$ و i ، $E'_{hyp,i}$ ضریب پخش حجمی بین ناحیه زیستی زیر رسوبات و بازه i به مترمکعب بر روز، S_i منابع و مصارف از حجم بازه i در نتیجه واکنش و انتقال جرم به میلی‌گرم در لیتر بر روز و W_i بار خروجی از جزء اصلی به بازه i به میلی‌گرم در روز می‌باشد. رابطه موازنه عمومی برای جزء اصلی غلظت در ناحیه زیستی زیر رسوبات در بازه i به صورت رابطه (۲) مدل می‌شوند.

زمانی و هر بازه در ۳ مقطع اندازه‌گیری و استفاده شد. نمونه‌برداری از رودخانه بابلرود طی چهار دوره زمانی در اردیبهشت ۱۳۹۷، مرداد ۹۷، آبان ۹۷ و بهمن ۹۷ انجام شده است. اکسیژن محلول، اکسیژن خواهی بیوشیمیایی، قلیائیت، هدایت الکتریکی، نیتروژن کل از مهم‌ترین پارامترهای اندازه‌گیری شده در نمونه‌برداری می‌باشد. با توجه به جدول (۳) حداقل و حداکثر میزان اکسیژن به ترتیب ۱ و ۵/۶ در ماه‌های آبان و اردیبهشت ۹۷ اندازه‌گیری شده است.

در مقاله حاضر، در شبیه‌سازی کیفیت آب رودخانه بابلرود از Qual2kw6 استفاده شد. مدل Qual2kw6 یک‌بعدی با فرض جریان دائمی است. رودخانه می‌تواند به‌عنوان مجموعه‌ای بازه‌ها و شاخه‌های ورودی به‌عنوان منابع نقطه‌ای شبیه‌سازی شود. واسنجی مدل Qual2kw6 به صورت اتوماتیک با استفاده از الگوریتم ژنتیک انجام می‌شود. مقدار ضریب زبری مانینگ برای رودخانه بابلرود ۰/۰۳۵ تا ۰/۰۵ در نظر گرفته شد. بدین منظور مشخصات هندسی رودخانه و مشخصات هیدرولیکی جریان در ۴ بازه

جدول (۳): مشخصات آماری داده‌های کیفیت رودخانه بابلرود

TN (mg/l)	EC (µs/cm)	pH (mg/l)	BOD (mg/l)	DO (mg/l)	دما (سانتی‌گراد)	دبی (مترمکعب بر ثانیه)	آماره	تاریخ نمونه‌برداری آماره
۳/۸	۲۲۳	۷/۷۷	۲/۶	۷/۲	۱۶	۵/۴	مینیمم	
۳/۸	۲۲۷	۷/۹	۳/۴	۷/۹۵	۱۶/۵	۵/۶	ماکزیمم	اردیبهشت ۱۳۹۷
۳/۸	۲۲۵/۳	۷/۸۲	۲/۹۳	۷/۵۸	۱۶/۱۷	۵/۵	میانگین	
۰/۰۰۳	۲/۰۸	۰/۰۷	۰/۴۲	۰/۳۷	۰/۲۸	۰/۱	انحراف معیار	
۷	۲۴۳	۷/۱۱	۲/۶	۵/۸۱	۲۴	۳/۹۶	مینیمم	
۹/۱	۲۵۳	۷/۳۷	۳/۷	۶/۰۵	۲۵	۳/۹۸	ماکزیمم	مرداد ۱۳۹۷
۷۶/۹	۲۴۶/۳	۷/۲۳	۳/۱۷	۵/۹۳	۲۴/۵	۳/۹۷	میانگین	
۱/۰۵	۵/۷۷	۰/۱۳	۰/۵۵	۰/۱۲	۰/۵	۰/۰۱	انحراف معیار	
۲/۸	۳۳۷	۷/۵۳	۲/۱۳	۷/۴۱	۱۹	۱	مینیمم	
۳/۵	۳۴۵	۷/۸	۲/۲۳	۷/۹۱	۲۰	۱/۵	ماکزیمم	
۳/۲	۳۴۱/۳۳	۷/۶۴	۲/۱۷	۷/۶۵	۱۹/۶	۱/۲۶	میانگین	آبان ۱۳۹۷
۰/۳۶	۴/۰۴	۰/۱۴	۰/۰۵	۰/۲۶	۰/۵۷	۰/۲۵	انحراف معیار	
۶/۳	۳۹۱	۶/۹۸	۲/۲	۶/۵	۱۱	۲/۶۳	مینیمم	
۱۰/۴	۳۹۳	۷/۲۵	۲/۷	۶/۶۱	۱۲	۳/۱	ماکزیمم	بهمن ۱۳۹۷
۸/۷۳	۳۹۲	۷/۰۹	۲/۴۳	۶/۵۵	۱۱/۶۶	۲/۸۶	میانگین	
۲/۱۵	۱	۰/۱۴	۰/۲۵	۰/۰۶	۰/۵۸	۰/۲۳	انحراف معیار	

دست می‌آید. پارامتر و وزن آن‌ها در جدول (۴) نشان داده شده است. در جدول (۵) رده کیفی رودخانه‌ها مشخص شده است.

در این پژوهش، برای ارزیابی داده‌های کیفی آب رودخانه بابلرود از شاخص NSFQI استفاده شد. این شاخص از حاصل ضرب وزن پارامتر و کیفیت پارامتر به

جدول (۴): مقادیر فاکتور وزنی در روش NSFQI (Oram et al. 2012)

وزن	پارامتر
-----	---------

۰/۱۷	DO
۰/۱۱	BOD (mg/lit)
۰/۱	NO ₃ (mg/l)
۰/۱	pH
۰/۱	Temperature (c°)
۰/۰۸	TS (mg/l)
۰/۱	TP (mg/l)
۰/۱	Phosphate (mg/l)
۰/۱۵	F.C(100ml)

جدول (۵): راهنمای شاخص در روش NSFQI (Oram et al. 2012)

کلاس بندی	کیفیت آب	محدوده شاخص
حالت طبیعی، در صورت استفاده برای شرب نیاز به تصفیه ندارد مناسب برای شیلات	عالی	۱۰۰-۹۰
در صورت استفاده برای شرب نیاز به تصفیه دارد، مناسب برای پرورش ماهی و گونه‌های حساس گیاهی	خوب	۹۰-۷۰
در صورت استفاده برای شرب نیاز به تصفیه پیشرفته دارد، مناسب برای پرورش ماهی و گونه‌های حساس گیاهی و شرب حیوانات اهلی	متوسط	۷۰-۵۰
مناسب جهت آبیاری اراضی	بد	۵۰-۲۵
برای هیچ‌کدام از مصارف مناسب نیست	خیلی بد	۳۰-۰

که در آن w و b به ترتیب مقادیر وزن‌ها و اربیی تابع رگرسیون هستند که از طریق حداقل سازی تابع هدف در رابطه (۷) تعیین می‌شود:

$$\min w, e, b \quad j(w, e) = \frac{1}{2} w^T w + \frac{Y}{2} \sum_{i=1}^n e_i^2 \quad (7)$$

با محدودیت رابطه (۷):

$$\gamma_i = w^T \cdot \varphi(x_i) + b + x_i \quad (8)$$

که در آن‌ها γ پارامتر تنظیم کننده بخش خطاست و e_i خطای داده‌های آموزشی می‌باشد.

این الگوریتم جز مدل‌های محاسباتی می‌باشد، که الهام گرفته از روند تکاملی است. الگوریتم ژنتیک به عنوان روشی برجستجوی تصادفی برای بهینه سازی و شبیه سازی پارامترها به کار می‌رود. الگوریتم برای هدایت به سمت بهینه سازی، از روش‌های آماری استفاده می‌کند. سپس

مدل حداقل مربعات ماشین بردار پشتیبان (LS-SVM)

اساس روش ماشین بردار پشتیبان بر پایه تئوری یادگیری آماری ارائه شده است که از حداقل سازی ریسک ساختاری پیروی می‌کند. این مدل برخلاف مدل SVM به جای مسئله برنامه‌نویسی درجه دوم در حل از معادلات خطی استفاده می‌کند، بنابراین دقت محاسباتی بیشتری نسبت به ماشین بردار پشتیبان کلاسیک دارد.

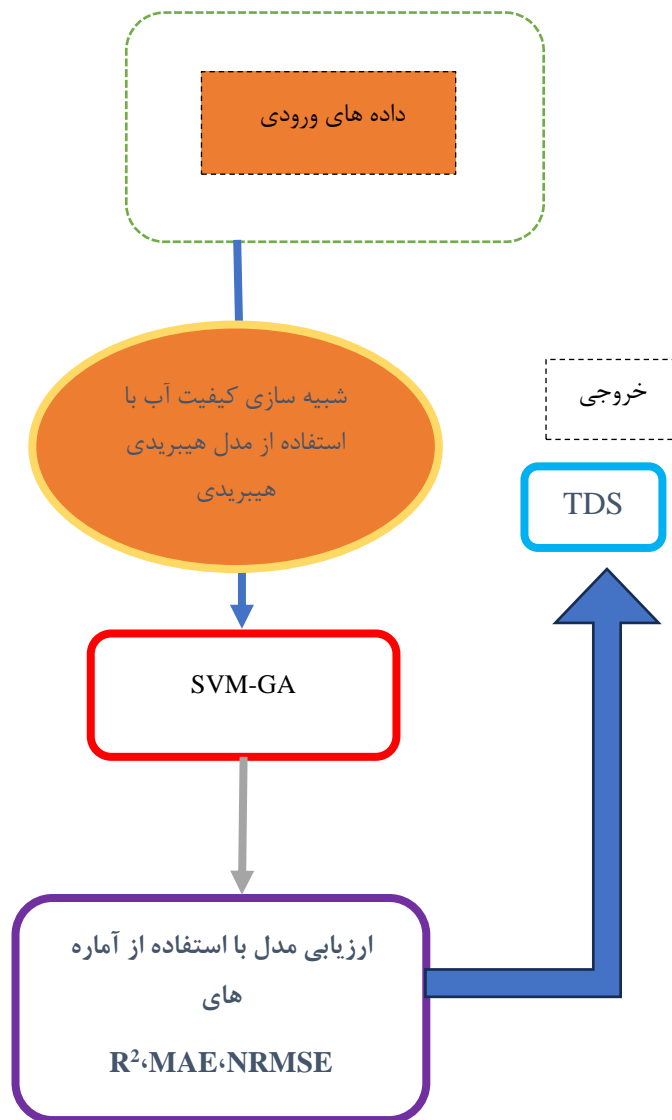
مدل رگرسیون LS-SVM از رابطه زیر پیروی می‌کند:

$$y(x_i) = w^T \cdot \varphi(x_i) + b \quad (6)$$

از اجرای برنامه تعیین می شود. بعد از تولید هر مجموعه جدید از رشته های دودویی مقدار تناسب هریک از رشته ها محاسبه شده و شرط لازم برای خاتمه اجرای الگوریتم بررسی می شود. در صورت عدم تعیین شرط در نظر گرفته شده برای اجرای الگوریتم با تکرار مراحل فوق مجموعه های جدیدی از رشته ها تولید شده و مقدار تناسب متناظر محاسبه می شود. بعد از حصول همگرایی یا تولید شرط خاتمه، الگوریتم متوقف شده و بهترین رشته به دست آمده در آخرین نسل به عنوان جواب بهینه معرفی می شود. مهم ترین نقطه قوت الگوریتم ژنتیک موازی بودن آن است بطوریکه برای حل مسئله چندین نقطه شروع وجود دارد و در یک لحظه وجود دارد وومی تواند فضای مسئله را از چندین جهت مختلف جستجو کند. این مسئله کارایی الگوریتم ژنتیک در حل مسائل غیرخطی با فضای بزرگتر را نشان می دهد. الگوریتم ژنتیک فضای مسئله را به صورت سراسری بررسی می کند و جستجوی محلی آن بسیار ضعیف است. از دیگر معایب آن نیاز به کدگذاری متغیرهای مسئله با استفاده از رشته های دودویی است که باعث مصرف حافظه و افزایش بار محاسباتی الگوریتم خواهد شد. از دیگر معایب چگونه نوشتن عملگر ارزیاب است که منجر به بهترین راحل برای مسئله می شود که راحل برای مسئله پیدا نشود و یا مسئله اشتباه حل شود. به علاوه برای انتخاب تابع مناسب برای ارزیاب، پارامترهای دیگری مثل اندازه جمعیت، نرخ ترکیب، قدرت و نوع انتخاب هم باید مورد توجه قرار بگیرد. مشکل دیگر وجود پدیده نارس است و هنگامی اتفاق می افتد که ژنی که فاصله زیادی با سایر ژن ها دارد و خیلی بهتر از بقیه باشد خیلی زود شناسایی می شود و مسئله را به سوی جواب محلی سوق می دهد. این اتفاق معمولاً در جمعیت های کم اتفاق می افتد. همچنین عملگرهای الگوریتم ژنتیک در برخی مواقع کروموزوم های غیر موجه تولید می کنند و حل مسئله را با محدودیت موجه می سازد. شکل (۲) فلوچارت کلی ماشین بردار پشتیبان و الگوریتم ژنتیک را نشان می دهد.

عملگرهای ژنتیکی اعمال و جمعیت جدید ایجاد می شود و چرخه ادامه می یابد (محمدی نژاد و اگدرنژاد، ۱۴۰۰).

این الگوریتم شامل عملگرهای کدگذاری، ارزیابی، انتخاب، ترکیب، جهش و رمزگشایی است. ابتدا متغیرهای مسئله کدگذاری می شود. در این مرحله الگوریتم به جای اینکه روی پارامترها یا متغیرهای مسئله کاری انجام دهد باشکله کد شده آنها سروکار دارد. در مرحله ارزیابی تابع برازندگی از روی تابع هدف هر رشته را از روی تابع عددی ارزیابی می کند و کیفیت آن را مشخص می کند. هر چه کیفیت رشته جواب بیشتر باشد مقدار برازندگی جواب بیشتر است و احتمال مشارکت برای تولید نسل بعدی افزایش می یابد. در مرحله انتخاب یک جفت کروموزومها برگزیده می شوند تا با هم ترکیب شوند. در واقع عملگر انتخاب رابط بین دو نسل است. روند انتخاب حالت تصادفی دارد و معیار انتخاب برازندگی می باشد. در عملگر ترکیب نسل قدیمی کروموزومها با یکدیگر مخلوط و ترکیب می شوند و نسل تازه ای از کروموزومها را به وجود می آورند. عملگر ترکیب در الگوریتم ژنتیک باعث از بین رفتن پراکندگی یا تنوع ژنتیکی جمعیت می شود و در واقع اجازه می دهد ژن ها خوب با هم ترکیب شوند. عملگر جهش جواب های ممکن دیگر را تولید می کند. در عملگر جهش با احتمال معین به رشته های مرحله قبل جفت گیری نسل قبل اعمال و رشته های حاصل از مجموعه رشته های نسل بعد اضافه می شود. نتیجه عمل عملگر جهش باعث افزایش احتمال گریز از نقاط بهینه محلی خواهد شد. جهش باعث جستجو در فضاهای دست نخورده ی مسئله می شود و مهم ترین وظیفه آن جلوگیری از همگرایی در بهینه محلی است. جهش بر اثر احتمال جهش اتفاق می افتد و اگر گام های جهش زیاد باشد جستجوی الگوریتم ژنتیک کاملاً تصادفی خواهد شد. عملگر رمزگشایی عکس عمل کد گذاری است و بعد از اینکه الگوریتم بهترین جواب را برای مسئله ارائه داد عمل رمزگشایی بر روی جواب ها اعمال می شود تا جواب به صورت تابع واقعی ظاهر شود. معمولاً سهم هر یک از این عملگرها در تولید رشته های مجموعه جدید بیش



شکل (۲): فلوچارت SVM-GA

شده NRMSE و میانگین قدر مطلق خطا MAE استفاده شد.

$$NRMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (C_i^S - C_i^O)^2}{N}} \cdot 100 \quad (9)$$

$$MAE = \frac{1}{N} [\sum_{i=1}^n C_i^O - C_i^S] \quad (10)$$

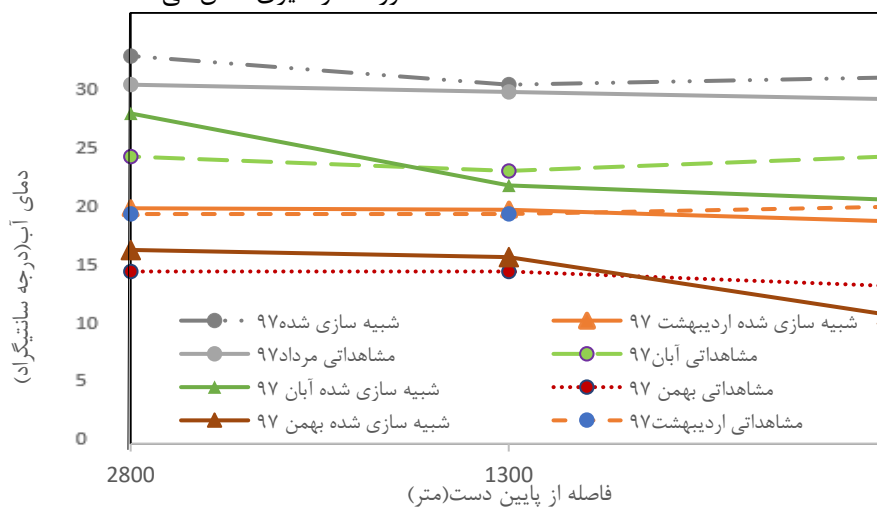
$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^N (C_i^O - \bar{C}^2) - (C_i^S - \bar{C}^2)]^2}{\sum_{i=1}^N (C_i^O - \bar{C}^2)^2 \sum_{i=1}^N (C_i^S - \bar{C}^2)^2} \quad (11)$$

معیارهای ارزیابی

در مقاله حاضر برای واسنجی مدل از داده‌های اردیبهشت و مرداد ۹۷ و برای صحت سنجی مدل از داده‌های آبان و بهمن ۱۳۹۷ استفاده می‌شود. برای ارزیابی دقت شبیه‌سازی پارامترهای کیفی از سه معیار آماری شامل ضریب تبیین، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال

نتایج و بحث

از مهم‌ترین پارامترهایی که بر روی کیفیت آب رودخانه تأثیر دارد می‌توان به دما، اکسیژن محلول، اکسیژن خواهی بیوشیمیایی و نیتروژن کل نام برد. در ادامه نمودار مشاهداتی و شبیه‌سازی شده‌ی پارامترهای دما، اکسیژن محلول، اکسیژن خواهی بیوشیمیایی و نیتروژن کل رسم شده است. شکل (۳) نمودار مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دمای آب را در چهار دوره اندازه‌گیری نشان می‌دهد

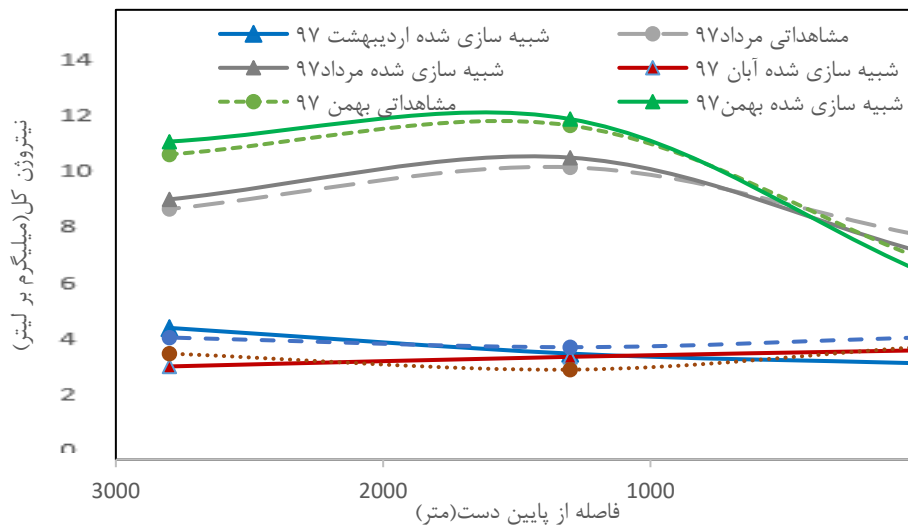


شکل (۳): مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دمای آب در چهار دوره واسنجی و صحت سنجی

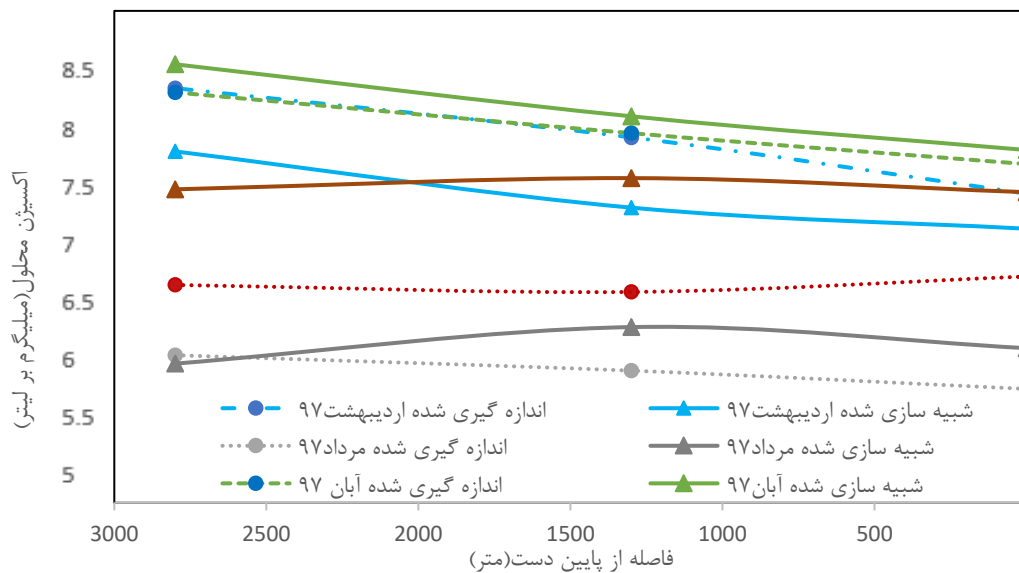
بر اثر ورود فاضلاب‌های شهری و کشاورزی به رودخانه افزایش پیدا می‌کند. همان‌طور که در شکل (۴) مشاهده می‌شود میزان نیتروژن کل تا کیلومتر ۱۳۰۰ کاهش بوده و بعد از آن افزایشی می‌باشد و بیشترین و کمترین غلظت نیتروژن کل، در ماه‌های بهمن و آبان اندازه‌گیری شده است. در شبیه‌سازی نیتروژن کل، بیشترین دقت بر اساس آماره‌های ارزیابی مربوط به بهمن ماه با توجه به این نکته که در زمستان دبی زهکش‌های ورودی نسبت به تابستان افزایش پیدا می‌کند (رستمی و همکاران، ۱۳۹۹)، به جهت اینکه میزان پلاسیب نیترات مربوط به فرایند دینیتریفیکاسیون می‌باشد و این فرایند در محیط‌های ساکن به خوبی عمل می‌کند و کمترین دقت شبیه‌سازی در اردیبهشت ماه با NRMSE ۱۳/۶۹ و MAE ۰/۴۳ می‌باشد.

در روابط (۹)، (۱۰) و (۱۱) به ترتیب غلظت اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده می‌باشد. به ترتیب میانگین غلظت‌های اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده می‌باشد. مقدار NRMSE مطلوب برای شبیه‌سازی کمتر از ۱۰ درصد می‌باشد و NRMSE ۱۰، ۲۰، ۳۰ درصد وضعیت مناسب و متوسط، بیشتر ۳۰ درصد عدم دقت کافی در شبیه‌سازی را نشان می‌دهد (Sharma et al. 2015). میزان میانگین قدر مطلق خطا هر چه نزدیک به صفر باشد یعنی شبیه‌سازی مطلوب بوده است.

یکی از مهم‌ترین پارامترهایی که بر روی سرعت واکنش‌های شیمیایی در آب اثر دارد، دما می‌باشد. همان‌طور که در شکل (۳) نشان داده شده است بیشترین کمترین دما به ترتیب در ماه‌های مرداد و بهمن رخ داده است. بیشترین دقت شبیه‌سازی با توجه به آماره‌ی خطا MAE و NRMSE مربوط به ماه‌های اردیبهشت به ترتیب برابر ۰/۵۷ و ۳/۹۹ و کمترین دقت مدل‌سازی همان‌طور که از شکل (۳) مشاهده می‌شود مربوط به آبان ماه برابر با ۲/۳۳ و ۱۲/۷۹ می‌باشد، که همخوانی خوبی بین نتایج مشاهداتی و شبیه‌سازی شده وجود ندارد و دمای آب در این ماه در سه مقطع مدل‌سازی جواب نداده است و مقدار R^2 برابر با ۰/۷۶ بوده است. شکل (۴) تغییرات نیتروژن کل را در دی‌ماه توسط Qual2kw نشان می‌دهد. پارامتر نیتروژن کل از چهار پارامتر نیتروژن عالی، نیتروژن آمونیاکی، نیتريت و نیترات به دست می‌آید. این پارامتر



شکل (۴): مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده نیتروژن کل در چهار دوره واسنجی و صحت سنجی



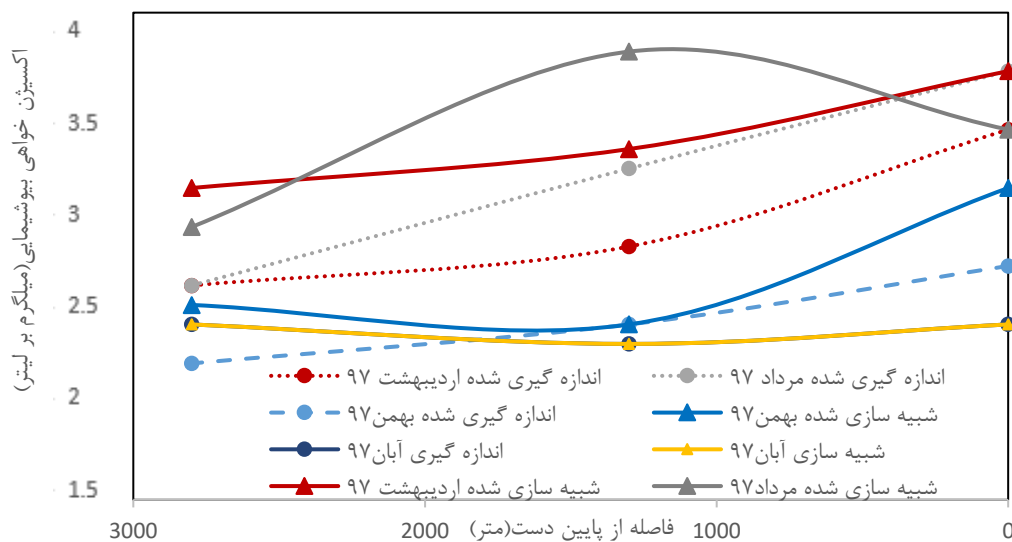
شکل (۵): مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده اکسیژن محلول در چهار دوره واسنجی و صحت سنجی

و در دو مقطع بعدی کاهش می‌باشد. در بازه‌های زمانی دوم و سوم میزان شبیه‌سازی شده از اندازه‌گیری شده بیشتر است. علت اینکه میزان اکسیژن محلول در بهمن‌ماه کاهش پیدا کرده می‌توان به انجماد آب رودخانه نسبت داد، چون هرچه دما کاهش پیدا کند میزان اکسیژن محلول هم کاهش پیدا خواهد کرد. حداقل و حداکثر اکسیژن محلول در رودخانه بابلرود در زمان‌های آبان و مرداد ثبت شده است. با توجه به محاسبات مربوط به خطای شبیه‌سازی کمترین دقت مدل در شبیه‌سازی مربوط به بهمن‌ماه با خطای ۱۸/۷۱ و میانگین قدر مطلق ۰/۶۹ و بیشترین دقت مربوط

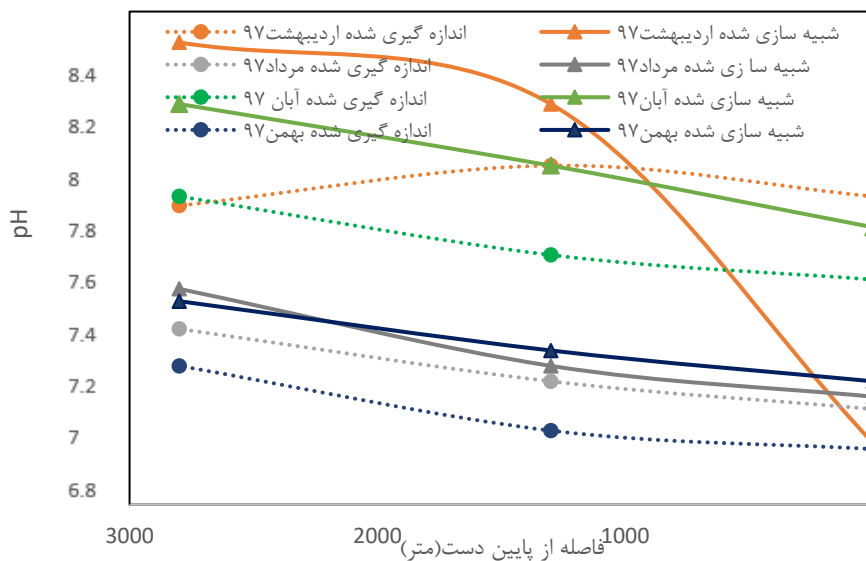
شکل (۵) مقادیر مشاهداتی و محاسباتی اکسیژن محلول توسط Qual2kw را نشان می‌دهد. یکی از پارامترهای که اندازه‌گیری آن در کیفیت آب ضروری می‌باشد پارامتر اکسیژن محلول است زیرا حیات موجودات زنده در آب به این پارامتر بستگی دارد. میزان این پارامتر به دمای آب، میزان هوادهی مجدد، بار آلی موجود و یا ورودی به رودخانه بستگی دارد (قصود و همکاران، ۱۳۹۵). با توجه به شکل (۵) میزان اکسیژن شبیه‌سازی شده در بازه زمانی اول کمتر از مقدار اندازه‌گیری شده است و در مردادماه مقادیر شبیه‌سازی شده در مقطع اول افزایشی بوده

رواناب و آلاینده‌های کشاورزی به رودخانه اشاره کرد (حسینی، ۱۳۹۸) با توجه به میزان خطا، بیشترین دقت مدل Qual2kw در پارامتر BOD₅ مربوط به ماه آبان و کمترین میزان خطا مربوط به ماه اردیبهشت می‌باشد. مقادیر NRMSE و MAE برای این پارامتر در اردیبهشت ماه به ترتیب برابر با ۲۴/۳۴ و ۰/۴۳ اشاره کرد هرچه میزان فعالیت میکروارگانیسم‌ها در آب بیشتر باشد، مقدار مصرف اکسیژن بیشتر بوده و میزان اکسیژن خواهی هم بیشتر می‌باشد (آریایی نژاد و همکاران، ۱۳۹۸). در تحقیق حاضر بیشترین میزان دقت مربوط به آبان ماه می‌باشد که نشان از افزایش میزان BOD₅ در این بازه زمانی می‌دهد.

به آبان ماه با خطای ۱/۹۱ و میانگین مطلق خطا با ۰/۱۴ می‌باشد. شکل (۶) مقادیر مشاهداتی و محاسباتی پارامتر اکسیژن خواهی بیوشیمیایی محلول در رودخانه رودخانه بابلرود را نشان می‌دهد. غلظت پارامتر اکسیژن خواهی به فعالیت میکروارگانیسم‌ها در آب بستگی دارد. هر چه فعالیت میکروارگانیسم‌ها بیشتر باشد میزان اکسیژن خواهی بیشتر خواهد بود. همان‌طور که در شکل (۶) مشاهده می‌شود به‌طور میانگین میزان اکسیژن خواهی در رودخانه بابلرود در اردیبهشت و آبان به ترتیب بیشترین و کمترین مقادیر اندازه‌گیری شده است. هرچه به انتهای بازه اندازه‌گیری نزدیک می‌شویم، میزان اکسیژن خواهی در رودخانه کاهش می‌یابد، علت آن را می‌توان به ورودی



شکل (۶): مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده اکسیژن خواهی بیوشیمیایی در چهار دوره واسنجی و صحت‌سنجی



شکل (۷):-مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده pH در چهار دوره واسنجی و صحت سنجی

شکل (۷) میزان تغییرات pH اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل را نشان می‌دهد. میزان تعیین قلیابیت توسط معادلات تعادل، موازنه جرم و الکترون خنثی که در آن کربن غیر آلی تعیین کننده است، به کار می‌رود. همان‌طور که مشاهده می‌شود در مردادماه مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده همخوانی خوبی باهم دارند و میزان خطا NRMSE و MAE به ترتیب برابر

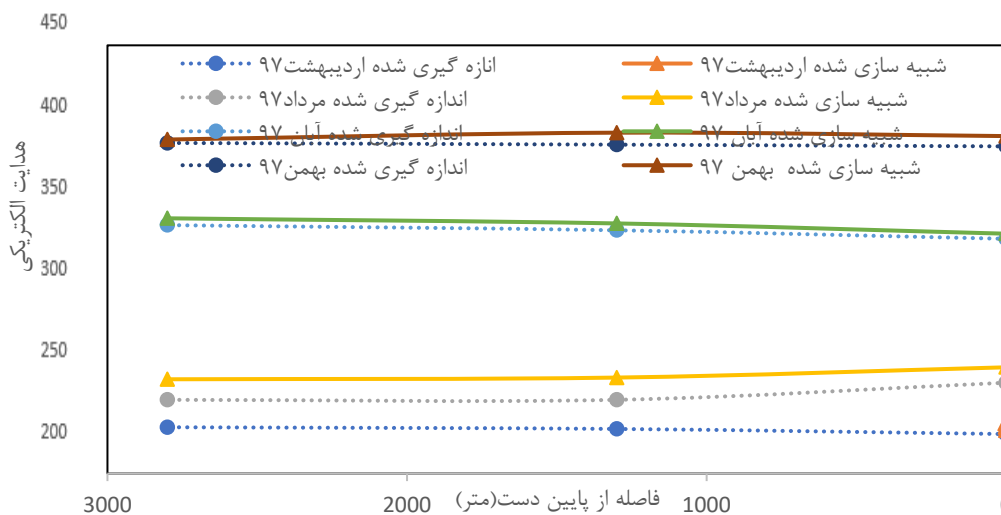
شکل (۷) میزان تغییرات pH اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل را نشان می‌دهد. میزان تعیین قلیابیت توسط معادلات تعادل، موازنه جرم و الکترون خنثی که در آن کربن غیر آلی تعیین کننده است، به کار می‌رود. همان‌طور که مشاهده می‌شود در مردادماه مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده همخوانی خوبی باهم دارند و میزان خطا NRMSE و MAE به ترتیب برابر

شکل (۷) میزان تغییرات pH اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل را نشان می‌دهد. میزان تعیین قلیابیت توسط معادلات تعادل، موازنه جرم و الکترون خنثی که در آن کربن غیر آلی تعیین کننده است، به کار می‌رود. همان‌طور که مشاهده می‌شود در مردادماه مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده همخوانی خوبی باهم دارند و میزان خطا NRMSE و MAE به ترتیب برابر

شکل (۷) میزان تغییرات pH اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل را نشان می‌دهد. میزان تعیین قلیابیت توسط معادلات تعادل، موازنه جرم و الکترون خنثی که در آن کربن غیر آلی تعیین کننده است، به کار می‌رود. همان‌طور که مشاهده می‌شود در مردادماه مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده همخوانی خوبی باهم دارند و میزان خطا NRMSE و MAE به ترتیب برابر

شکل (۷) میزان تغییرات pH اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل را نشان می‌دهد. میزان تعیین قلیابیت توسط معادلات تعادل، موازنه جرم و الکترون خنثی که در آن کربن غیر آلی تعیین کننده است، به کار می‌رود. همان‌طور که مشاهده می‌شود در مردادماه مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده همخوانی خوبی باهم دارند و میزان خطا NRMSE و MAE به ترتیب برابر

شکل (۷) میزان تغییرات pH اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل را نشان می‌دهد. میزان تعیین قلیابیت توسط معادلات تعادل، موازنه جرم و الکترون خنثی که در آن کربن غیر آلی تعیین کننده است، به کار می‌رود. همان‌طور که مشاهده می‌شود در مردادماه مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده همخوانی خوبی باهم دارند و میزان خطا NRMSE و MAE به ترتیب برابر



شکل (۸) مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده هدایت الکتریکی در چهار دوره واسنجی و صحت سنجی

به جدول (۶) برای مردادماه می‌باشد. باتوجه به اینکه هرچه میزان بارش بیشتر باشد میزان املاح و آلاینده در خاک افزایش می‌یابد و در تابستان به علت بارش کم میزان املاح در خاک باقی مانده و شسته شده، وارد آب رودخانه شده و تغییرات آن بر روی شبیه سازی EC مشاهده می‌شود (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۷).

شکل (۸) میزان هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شده و میزان EC شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل (۸) مشاهده می‌شود میزان هدایت الکتریکی در مقطع سوم بیشتر از مقطع اول در سه بازه می‌باشد. بیشترین دقت مدل‌سازی Qual2kw مربوط به ماه اردیبهشت که برابر با آماره خطای NRMSE ۱/۲۱ و MAE برابر با ۱/۶۶ می‌باشد. کمترین دقت مدل با توجه

جدول (۶): نتایج آماره‌های پارامترهای خطا در شبیه‌سازی با مدل Qual2kw

پارامترهای مدل‌سازی شده						آماره خطا	زمان نمونه‌برداری	ردیف
pH	EC	BOD ₅	DO	نیترژن کل	دما			
۰/۸۳	۰/۹۲	۰/۹۸	۰/۹۱	۰/۸۲	۰/۹۸	R ²	اردیبهشت ۹۷	۱
۰/۴۳	۱/۶۶	۰/۴۳	۰/۱۴	۰/۴۳	۰/۵۷	MAE		
۱۵/۵۶	۱/۲۱	۲۴/۳۴	۱/۲	۱۳/۶۹	۳/۹۹	NRMSE		
۰/۸۷	۰/۹۸	۰/۸۵	۰/۸۱	۰/۹۱	۰/۷۲	R ²	مرداد ۹۷	۲
۰/۰۷	۱۱/۳۳	۰/۴	۰/۲۲	۰/۳۶	۱۱/۳۳	MAE		
۱/۱۵	۴/۶۵	۱۳/۳۹	۴/۱۷	۴/۷۵	۶	NRMSE		
۰/۹۲	۰/۹۷	۰/۸۳	۰/۹۹	۰/۹۵	۰/۷۶	R ²	آبان ۹۷	۳
۰/۲۵	۳/۶۷	۰/۱۹	۰/۱۷	۰/۳۴	۲/۳۳	MAE		
۳/۴۱	۱/۵۸	۹/۲۲	۱/۹۱	۱۰/۳۶	۱۲/۷۹	NRMSE		
۰/۹۷	۰/۸۹	۰/۸۹	۰/۸۵	۰/۹۸	۰/۹۸	R ²	بهمن ۹۷	۴
۰/۲۳	۵/۰۱	۰/۲۳	۰/۶۹	۰/۳۳	۱/۵	MAE		
۳/۲۵	۱/۳۶	۱۴/۸۶	۵/۷۱	۳/۹۷	۱۳/۳۲	NRMSE		

در ایستگاه‌های مختلف متفاوت می‌باشد. اعداد این شاخص کاهش یافته یعنی هرچه اعداد جدول به صفر نزدیک‌تر باشد، کیفیت آب نامطلوب است. با توجه به جدول (۷) کمترین میزان کیفیت آب در بهمن‌ماه در مقطع سوم و بیشترین میزان کیفیت آب مربوط به ماه اردیبهشت در مقطع اول می‌باشد. مقطع اول در همه ماه‌ها در وضعیت خوب و متوسط قرار دارد. میزان کیفیت آب در مقطع سوم کاهش می‌یابد علت آن را می‌توان ورود آلاینده‌ها از زمین‌های کشاورزی، پایین بودن اکسیژن محلول دانست. در اردیبهشت‌ماه به علت افزایش نزولات جوی و افزایش دبی رودخانه کیفیت آب بیشتر از ماه‌های دیگر می‌باشد و شاخص NSF از شرایط بهتری برخوردار است.

همان‌طور که در جدول (۶) مشاهده می‌شود میزان دقت در واسنجی مدل در پارامترهای اکسیژن خواهی، دما و هدایت الکتریکی و در صحت سنجی پارامترهای اکسیژن خواهی، اکسیژن خواهی بیوشیمیایی و نیترژن کل میزان دقت بیشتری دارد. با توجه به جدول (۶) میزان آماره خطا برای همه پارامترها کمتر از ۱۵ درصد هست که وضعیت مناسب مدل Qual2kw6 را در شبیه‌سازی کیفیت آن رودخانه بابلرود نشان می‌دهد. علت بالا بودن خطا در BOD₅ نشان می‌دهد مدل عددی Qual2kw نتوانسته است به خوبی شبیه‌سازی را انجام بدهد.

جدول (۷) نتایج حاصل از شاخص کیفیت آب در ایستگاه‌های موردنظر را برحسب درصد نشان می‌دهد. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود میزان شاخص

جدول (۷): میزان شاخص برای هر ایستگاه در ماه‌های مورد بررسی در رودخانه بابلرود با استفاده از شاخص NSF

ماه نمونه برداری	مقطع اول	مقطع دوم	مقطع سوم
اردیبهشت	۵۱	۵۰	۴۸
مرداد	۴۹	۴۵	۴۱
آبان	۶۶	۵۱	۴۳
بهمن	۶۹	۵۳	۴۷

فصل می‌باشد. جدول (۸) نتایج حاصل از الگوریتم ژنتیک را نشان می‌دهد. همان طور که در جدول (۸) مشاهده می‌کنید بیشترین میزان دقت در شبیه سازی دما، اکسیژن محلول و هدایت الکتریکی مربوط به ماه اردیبهشت می‌باشد. برای نیتروژن کل بهترین شبیه سازی مربوط به ماه بهمن می‌باشد که میزان خطا MAE برابر با ۰/۴۵ و میزان خطا NRMSE ۴/۹۷ است. برای BOD₅ و pH به ترتیب در ماه های آبان و مرداد شبیه سازی مناسبی صورت گرفته است. نتایج جدول ۸ نشان داد مدل فراابتکاری SVM-GA در شبیه سازی نیتروژن کل نسبت به سایر پارامترها به خوبی عمل کرده است و میزان MAE برابر با ۰/۱۵ و میزان NRMSE برابر با ۱/۹۷ در بهمن ماه می‌باشد، که نسبت به سایر پارامترها عملکرد بهتری داشته است.

میانگین شاخص در ماه‌های اردیبهشت برابر با ۴۹/۶۷، مرداد برابر با ۴۵، آبان برابر با ۵۳/۳۳ و بهمن ماه برابر با ۵۶/۳۳ می‌باشد. میزان کیفیت آب در بهمن ماه از سایر ماه‌های بیشتر بوده، دلیل این امر را می‌توان افزایش دبی رودخانه به علت نزولات جوی و رقیق شدن آلاینده‌ها، کاهش دما (افزایش DO) و کاهش تغریحات آبی در بالادست رودخانه نام برد. در مقطع دوم به علت وجود زمین‌های کشاورزی و ورود آلاینده‌ها و افزایش مواد آلی به رودخانه باعث کاهش اکسیژن محلول در آبی می‌شود، که این امر کیفیت آب رودخانه را کاهش می‌دهد، همچنین ورود فاضلاب‌های خانگی و حشره‌کش‌ها در کاهش کیفیت آب در مقطع دوم و سوم، بی‌تأثیر نیست. همچنین میزان BOD₅ در تابستان بیشتر می‌باشد، علت این امر پسماندهای کشاورزی و افزایش تغریحات آبی توسط گردشگران در این

جدول (۸): نتایج آماره پارامترهای خطا در شبیه‌سازی با SVM-GA

ردیف	زمان نمونه برداری	آماره خطا	پارامترهای مدل سازی شده				
			دما	نیتروژن کل	DO	BOD ₅	EC
۱	اردیبهشت ۹۷	R ²	۰/۱۸۸	۰/۶۲	۰/۷۱	۰/۷۸	۰/۷۳
		MAE	۰/۶۳	۰/۷۴	۰/۶۱	۰/۶۵	۲/۵۶
		NRMSE	۴/۷۹	۱۴/۵۹	۲/۹	۲۵/۱۴	۳/۲
۲	مرداد ۹۷	R ²	۰/۶۲	۰/۸۱	۰/۷۷	۰/۷۵	۰/۷۷
		MAE	۳/۳۳	۰/۴۶	۰/۴۵	۰/۹	۱۲/۳
		NRMSE	۷/۲	۶/۷۵	۵/۲۷	۱۴/۹۹	۶/۵
۳	آبان ۹۷	R ²	۰/۱۸۵	۰/۸۸	۰/۸۴	۰/۷۴	۰/۷۸
		MAE	۴/۳۳	۰/۵۵	۰/۸۷	۰/۴۵	۴/۵
		NRMSE	۱۵/۷۹	۱۲/۳	۳/۸۱	۱۰/۲	۲/۸
۴	بهمن ۹۷	R ²	۰/۷۸	۰/۷۸	۰/۷۵	۰/۷۸	۰/۷۹
		MAE	۳/۵	۰/۱۵	۱/۹	۰/۲۶	۶/۲۱
		NRMSE	۱۶/۳۲	۱/۹۷	۱۹/۷۶	۱۶/۷۱	۲/۶

نتیجه گیری

نتایج ارزیابی با استفاده از شاخص NSFQI نشان داد وضعیت کیفیت آب رودخانه بابلرود در حالت متوسط تا خوب قرار دارد. فقط در ماه مرداد و اردیبهشت وضعیت کیفیت بد به دست آمده است. مقادیر شاخص بین ۷۰ تا ۴۰ در حالت نوسان قرار گرفته است. میانگین شاخص در ماه بهمن نشان از کیفیت خوب آب رودخانه می دهد که دلیل آن افزایش دبی و رقیق شدن آلاینده نسبت به میانگین ماه های دیگر می باشد. نتایج مقاله حاضر دقت مطلوب شبیه سازی مدل Qual2kw6 را در رودخانه بابلرود نشان می دهد. همچنین مدل SVM-GA در شبیه سازی کیفیت آب رودخانه بابلرود توانسته است به نحو مطلوبی مدل سازی را انجام بدهد. توجه به این مطلب حائز اهمیت است که داشتن داده های دقیق و قابل قبول از

تقدیر و تشکر

از دانشگاه تهران بدلیل تامین امکانات لازم برای انجام این تحقیق و تهیه مقاله مربوطه تشکر و قدردانی می شود.

منابع

- آریایی نژاد، ر.، سرائی تبریزی، م. و ح. بابازاده. ۱۳۹۸. مدل سازی کیفیت آب رودخانه با استفاده از مدل Qual2kw. مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، سال هفتم، شماره ۲۱، ص ۱-۱۴.
- باباخانی، ز.، سرائی تبریزی، م. و ح. بابازاده. ۱۳۹۸. تعیین ظرفیت خود پالایی رودخانه دیواندره با استفاده از مدل کوال. مجله اکو هیدرولوژی، سال سوم، شماره ششم، ص ۶۷۳-۶۸۴.
- حسینی، ی. ۱۳۹۸. بررسی خود پالایی و کیفیت رودخانه قره سو با استفاده از مدل Qual2kw و NSFQI. نشریه علمی اکو بیولوژی تالاب، سال اول، شماره ۴۳، ص ۴۱-۶۰.
- خنک، آ.، سرائی تبریزی، م. بابازاده، ح. صارمی، ع. و م. محمدی قلعه نی. ۱۴۰۰. مدل سازی کیفیت آب رودخانه سفیدرود با استفاده از مدل Qual2kw. مجله پژوهش آب ایران، سال اول، شماره ۱۵، ص ۱۲۱-۱۳۱.
- رستمی، م. ح.، وحیدی ح. طایفه س. م. و م. احمدی کلان. ۱۳۹۹. ارزیابی کیفی رودخانه کنگیر ایوان با استفاده از شاخص NSFQI و تأثیر کاهش بار آلاینده های نقطه ای در افزایش میزان شاخص با استفاده از مدل Qual2kw. L. مجله اکوبیولوژی تالاب، سال ۱۲، شماره ۴۳، ص ۸۱-۹۸.
- سمرقندی، م.، ابویی مهریزی، ا. کاسب، پ. دانایی، ع. و ک. ویسی. ۱۳۹۲. بررسی کیفیت آب دریاچه سد اکباتان شهرستان همدان با بهره گیری از شاخص کیفی NSFQI. دانشگاه علوم پزشکی خراسان شمالی، سال اول، شماره چهارم، ص ۶۳-۶۹.
- صادقی تالار پشته، ر.، ابراهیمی، ک. و ع. ا. هورفر. ۱۴۰۰. بررسی تغییرات فصلی ضریب زوال رودخانه تالار. مجله آبخیزداری ایران، سال ۱۴، شماره ۲۵، ص ۸۳-۹۶.
- فتح آبادی، ا.، سلاجقه، ع. و م. مهدوی. ۱۳۸۷. پیش بینی دبی رودخانه با استفاده از روش های نوروفازی و مدل های سری های زمانی. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال دوم، شماره پنجم، ص ۲۱-۳۰.

- قصود، ف.، یزدانی، م.، رحیمی، م.، ملکیان، آ. و ع. ذوالفقاری. ۱۳۹۵. مقایسه کارایی مدل شبکه عصبی مصنوعی، سری زمانی و مدل ترکیبی ANN-ARIMA در مدل‌سازی و پیش‌بینی شاخص منبع آب زیرزمینی (GRI) (مطالعه موردی: جنوب استان قزوین). مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. سال ۱۰، شماره ۳۳، ص ۴۷-۵۷.
- کارآموز، م. و ر. کراچیان. ۱۳۸۷. برنامه‌ریزی و مدیریت کیفی سیستم‌های منابع آب. چاپ دوم. انتشارات دانشگاه امیرکبیر. محمدی، ص.، و ع. سلاجقه. ۱۳۹۶. بررسی تغییرات مکانی و زمانی کیفیت آب زیرزمینی به کمک بهترین تخمین گر زمین آمار (مطالعه موردی: دشت کرمان). مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال ۱۱ شماره ۳۹، ص ۴۹-۶۰.
- مفتاح هلقی، م. ۱۳۹۱. پهنه‌بندی کیفیت آب با استفاده از شاخص‌های متفاوت کیفی (مطالعه موردی: رودخانه اترک). مجله پژوه‌های حفاظت آب و خاک، سال دوم، شماره ۱۸، ص ۲۱۱-۲۲۰.
- محمدی نژاد، س. ع. و ا. اگدرنژاد. ۱۴۰۰. مدل سازی تغییرات کیفی آب زیرزمینی در دشت زیدون با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی بهینه شده. مجله پژوهش در بهداشت محیط، سال چهارم، شماره هفتم، ص ۳۱۱-۳۲۲.
- نوشادی، م.، و م. حاتمی زاده. ۱۳۸۹. اندازه‌گیری و شبیه‌سازی رودخانه کر با استفاده از مدل Qual2kw. نشریه آبیاری زهکشی ایران. سال سوم، شماره چهارم، ص ۲۴۹-۲۳۸.
- هاشمی، س. ز. غلامی سفیدکوهی، م. ع. و م. خ. ضیاتبارا احمدی. ۱۳۹۷. ارزیابی و شبیه‌سازی کیفیت رودخانه تالار با استفاده از مدل Qual2kw. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، سال ششم، شماره ۱۲، ص ۱۵۰۰-۱۵۱۰.
- Khan, M.Y.A., Gani, K.M. and G.J. Chakrapani. 2017. Spatial and temporal variations of physicochemical and heavy metal pollution in Ramganga River a tributary of River Ganges, India. *Environ Earth Sci*, 76, 231-241.
- Montaseri, M., Ghavidel, S.Z. and H. Sanikhani. 2018. Water quality variations in different climates of Iran: toward modeling total dissolved solid using soft computing techniques. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 32 (8): 2253-2273.
- Nguyen, T. Nemery, J. Gratiot, N. Garnier, J. Strady, E. Tran, V. Nguyen, A. Nguyen, T. Golliet, C. and J. Aime. 2019a. Phosphorus adsorption/desorption processes in the tropical Saigon River estuary (Southern Vietnam) impacted by a megacity. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 227:106321.
- Oram, P. G. B., 2012. The Water Quality, monitoring the Quality of surface waters. <http://www.waterresearch.net>.
- Pathak, D. Whitehead, P. G, Futter M. N, and R. Sinha. 2018. Water quality assessment and catchment-scale nutrient flux modeling in the Ramganga River Basin in north India: an application of INCA model. *Science of the Total Environment*, 632: 201-215.
- Radwan, A. Abdelmoneim, A. Basiony, I. and M. El-Alfy. 2019. Water Pollution Monitoring in Idku Lake (Egypt) using Phytoplankton and NSF-WQI. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 23(4): 465-481.
- Sharma, D. Kansal, A. and G. Pelletier. 2015. Water quality modeling for urban reach of Yamuna River, India (1999–2009), using QUAL2Kw. *Applied Water Science*, 1-25.
- Zhang, R.X., Qian, X., Yuan, R., Ye, B., and Y. Wang. 2014. Simulation of water environmental capacity and pollution load reduction using to Qual2kw for water environmental management. *International Journal of Environment Research and public Health*, 9.11: 4504-4521.
- Zotou, I. Tsihrintzis, V. A. and G. D. Gikas. 2020. Water quality evaluation of a lacustrine water body in the Mediterranean based on different water quality index (WQI) methodologies. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 1-12.