Vol 14, No. 3, Autumn 2024

University of Tehran Press

Journal of Water and Irrigation Management Online ISSN: 2382-9931

Homepage: https://jwim.ut.ac.ir/

Investigating nitrate change with hybrid modeling along a mountain river

Atefe Noorali[1] | Kazem Shahverdi[2]✉ | Safar Marofi[3]

1. Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran. E-mail: atefenoorali@ymail.com
2. Corresponding Author, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran. E-mail: k.shahverdi@basu.ac.ir
3. Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran. E-mail: marofi@basu.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 12 May 2024
Received in revised form
8 June 2024
Accepted 24 July 2024
Published online 23 November 2024

Keywords:
Abbas-Abad
HEC-RAS
Nitrate
Pollution

ABSTRACT

The examination of water quality in terms of pollution is a crucial aspect in managing the quality of surface water, such as rivers. This study focused on analyzing the trend of nitrate (NO_3) pollution in the 7.02 km long of the Abbas-Abad River in 2022. The HEC-RAS model was used to determine the river pooling, and then, the geometry was entered into the QUAL2Kw model. Calibration and validation were conducted using the data from May and July 2022, respectively, demonstrating the model's accuracy. The findings revealed an increasing trend in nitrate concentration of 7.6% during the non-agricultural season and an 8.0% increase during the agricultural season due to the use of fertilizers and chemical pesticides. To mitigate this, it is recommended to prevent pollutant entry into the riverbed.

Cite this article: Noorali, A., Shahverdi, K., & Marofi, S. (2024). Investigating nitrate change with hybrid modeling along a mountain river. *Journal of Water and Irrigation Management*, 14 (3), 697-708.
DOI: https://doi.org/10.22059/jwim.2024.376403.1161

© The Author(s).
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/jwim.2024.376403.1161

دوره چهاردهم، شماره سوم، پاییز ۱۴۰۳

انتشارات دانشگاه تهران

مدیریت آب و آبیاری

Homepage: https://jwim.ut.ac.ir/

شاپا الکترونیکی: ۹۹۳۱-۲۳۸۲

بررسی تغییرات نیترات با مدل‌سازی ترکیبی در مسیر رودخانه کوهستانی

عاطفه نورعلیئی[۱] | کاظم شاه‌وردی[۲]✉ | صفر معروفی[۳]

۱. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران. رایانامه: atefenoorali@ymail.com

۲. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران. رایانامه: k.shahverdi@basu.ac.ir

۳. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران. رایانامه: marofi@basu.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۲۳

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۳/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۰۳

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۹/۰۳

کلیدواژه‌ها:

آلودگی

عباس‌آباد

نیترات

HEC-RAS

چکیده

بررسی کیفیت آب از نظر تغییرات نیترات، موضوعی حیاتی در مدیریت کیفی آب‌های سطحی از جمله رودخانه‌ها می‌باشد. در این پژوهش، روند تغییرات آلودگی نیترات (NO_3) در رودخانه عباس‌آباد با طول ۷/۰۲ کیلومتر در سال ۱۴۰۱ موردبررسی قرار گرفت. به این منظور، بازه‌بندی رودخانه با استفاده مدل HEC-RAS انجام شد و سپس وارد مدل QUAL2Kw گردید. واسنجی و صحت‌سنجی مدل QUAL2KW با استفاده از داده‌های به‌ترتیب اردیبهشت‌ماه و تیرماه ۱۴۰۱ انجام شد و نتایج آن‌ها نشانگر دقت قابل‌قبول مدل می‌باشد. تغییرات نیترات در طول رودخانه، نشانگر روند افزایشی مقدار غلظت نیترات، در حدود ۷/۶ درصد، در فصل غیرزراعی است. به‌دلیل مصرف کودها و سموم شیمیایی در فصل زراعی نسبت به فصل غیرزراعی، غلظت نیترات حدود هشت درصد افزایش می‌یابد. جهت جلوگیری از این افزایش پیشنهاد می‌شود از ورود آلاینده‌ها به بستر رودخانه جلوگیری شود.

استناد: نورعلیئی، عاطفه؛ شاه‌وردی، کاظم و معروفی، صفر (۱۴۰۳). بررسی تغییرات نیترات با مدل‌سازی ترکیبی در مسیر رودخانه کوهستانی. *نشریه مدیریت آب و آبیاری*، ۱۴ (۳)، ۶۹۷-۷۰۸. DOI: https://doi.org/10.22059/jwim.2024.376403.1161

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

CC BY NC

۱. مقدمه

امروزه، توسعه صنعتی و افزایش جمعیت و شهرنشینی، منجر به آسیب‌ها و ضررهای زیست‌محیطی در سراسر جهان، از جمله ایران، شده است. آب یکی از مهم‌ترین منابع زیست‌محیطی با اهمیت است. آلودگی آب پدیده‌ای است که ناشی از ورود آلاینده‌ها مانند فاضلاب، پساب، زه‌آب کشاورزی، زباله به آب‌های طبیعی است که می‌تواند خصوصیات شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی آن‌ها را تغییر دهد. برای داشتن آب با کیفیت، ظرفیت پذیرش آلودگی رودخانه‌ها باید در حد قابل‌قبول باقی بماند. برای حصول به این هدف، کنترل نرخ جریان رودخانه و کنترل بارهای آلودگی ضروری است. اهمیت توجه به کیفیت منابع آبی به‌دلیل افزایش آلودگی منابع آبی موجود، بیش از پیش اهمیت یافته است (Kalburgi *et al*., 2015). در دهه‌های اخیر، تغییرات در کیفیت منابع آبی به گونه‌ای بوده که به تهدیدی جدی برای انسان و اکوسیستم‌های طبیعی تبدیل شده است. بنابراین، بررسی تغییرات کیفیت آب یکی از موضوعات مهم مطالعاتی است (Faryadi *et al*., 2013).

استفاده از ابزارهای مدیریتی از جمله مدل‌های شبیه‌سازی کیفیت آب، می‌تواند اطلاعات مفیدی در اختیار پژوهش‌گران قرار بدهد (Herbay *et al*., 1983). انواع مختلفی از این مدل‌ها در طول چند دهه گذشته توسعه یافته‌اند. مدل‌های ساده‌تر قادر به توصیف فرایندهای پیچیده هیدرودینامیکی نیستند و نتایج شبیه‌سازی آن‌ها ممکن است قابل اعتماد نباشد. اجرای مدل‌های پیچیده‌تر نیازمند تعداد زیادی پارامتر و هم‌چنین برخی پارامترهای خاص است که به‌آسانی قابل اندازه‌گیری نمی‌باشند (Ye *et al*., 2013). از جمله این مدل‌ها می‌توان CE-QUAL-W2، SWAT، WASP7، MIKE11 و HEC-RAS را نام برد (Abed *et al*., 2021; Alam & Dutta, 2021; Costa *et al*., 2021; Taralgatti *et al*., 2020).

مدل HEC-RAS، بهتر از دیگر مدل‌های کیفی آب رودخانه است که در آن کاربر می‌تواند مدل‌های هیدرولیکی و کیفیت آب را همزمان ایجاد کند. دقت شبیه‌سازی حتی زمانی که سازه‌هایی مانند سرریز در رودخانه وجود دارد، مناسب می‌باشد (Brunner, 2016). به‌تازگی مطالعات متعددی در مورد کیفیت آب با HEC-RAS انجام شده است (Teran-Velasquez *et al*., 2022).

مدل شبیه‌سازی کیفیت آب QUAL2Kw، یک مدل یک‌بعدی، پایدار و کاربرپسند بوده و قادر است پارامترهای کیفیت آب رودخانه و جریان آب را شبیه‌سازی کند (Chapra *et al*., 2003). مدل QUAL2Kw برای شبیه‌سازی کیفیت آب رودخانه آجی‌چای استفاده شد. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که آب رودخانه در شرایط بحرانی آلوده بوده و کیفیت نامطلوبی دارد (Pashazadeh Laleh *et al*., 2021). مطالعه‌ای با هدف شبیه‌سازی کیفیت آب رودخانه Skudai مالزی تحت سه سناریوی تخلیه آلاینده‌ها به این رودخانه با استفاده از مدل QUAL2Kw انجام گرفت. براساس نتایج به‌دست‌آمده، کیفیت آب در اغلب ایستگاه‌ها، پایین است (Kamal *et al*., 2020). مطالعه‌ای با هدف تعیین کیفیت آب رودخانه هراز با استفاده از مدل QUAL2Kw انجام شد. نتایج نشان داد که در شش ماه اول سال، سطح اکسیژن محلول در آب رودخانه به حد بحرانی کاهش یافته است (Farkhani, 2021). به‌منظور بررسی کیفیت آب زیر حوضه رودخانه قره‌سو، از مدل QUAL2Kw استفاده شد. نتایج نشان داد که سطح اکسیژن محلول در پایین‌دست رودخانه کاهش یافته، که این کاهش به علت ورود فاضلاب‌های خانگی و آلودگی سطحی ناشی از فسفر و نیتروژن از اراضی کشاورزی و مراتع می‌باشد (Alipour Nasirmahale & Radfar, 2023). تأثیر سه سناریو بر رودخانه تانگابهادرا در هند با استفاده از مدل QUAL2Kw موردبررسی قرار گرفت. این سناریوها شامل افزایش جریان، اکسیژن‌رسانی موضعی و مدیریت بارآلودگی در منبع بود. نتایج نشان داد که اکسیژن‌رسانی موضعی باعث بهبود قابل‌توجهی در غلظت اکسیژن محلول شد. هم‌چنین، نتایج نشان داد ترکیبی از اصلاح فاضلاب، افزایش جریان و اکسیژن‌رسانی موضعی می‌تواند برای اطمینان از برآورده‌شدن الزامات حداقل غلظت اکسیژن محلول می‌تواند مورداستفاده قرار گیرد (Ranjith, 2019).

به‌منظور مدل‌سازی و بررسی روند آلودگی سالیانه نیترات در رودخانه تجن از تلفیق مدل QUAL2Kw و HEC-RAS استفاده شد. نتایج نشان داد که غلظت نیترات در فصل کشت افزایش یافته است و این افزایش غلظت موجب محدودیت‌هایی در برداشت آب برای کاربری‌های مربوطه می‌شود و در مناطق پایین‌دست رودخانه، که محل تخم‌ریزی ماهیان است، باعث کاهش جمعیت آبزیان و تغذیه‌گرایی خواهد شد. بنابراین، تعیین چارچوبی برای کاهش و کنترل بار نیترات، با تمرکز بر منابع آلاینده غیرنقطه‌ای در سیاست‌های مدیریتی اکوسیستم آبی رودخانه تجن ضروری است (Alipour Nasirmahale and Radfar, 2023). برای شبیه‌سازی آمونیوم و نیترات در رودخانه گرگر از مدل QUAL2Kw و برای برآورد خصوصیات هیدرولیکی جریان از مدل HEC-RAS استفاده شد. نتایج نشان داد که مدل QUAL2Kw به‌خوبی می‌تواند کیفیت آب رودخانه را شبیه‌سازی کند. آن‌ها منابع و مراکز آلوده‌کننده رودخانه گرگر را شامل فاضلاب روستاهای مسیر، پساب‌ها، فاضلاب‌های مراکز پرورش ماهی و هم‌چنین زهکش‌های کشاورزی برشمردند (Shokri *et al*., 2015).

برای ارزیابی کیفیت آب رودخانه جزر و مدی کیلونگ در شمال تایوان، از تلفیق مدل QUAL2Kw با مدل HEC-RAS استفاده شد. از مدل HEC-RAS برای تخمین ثابت‌های هیدرولیکی و تغییرات سطح آب به‌منظور محاسبه ثابت هوادهی و تغییرات غلظت در نتیجه اثر جزر و مدی استفاده شد. نتایج پژوهش نشان داد که شبیه‌سازی‌های QUAL2Kw با درنظرگرفتن اثر جزر و مد، باعث تطابق بالاتر شاخص‌های کیفیت آب تولیدی با داده‌های پایش رودخانه می‌شود (Fan *et al*., 2009). پژوهشی با هدف بررسی ظرفیت حمل بار رودخانه جینگ–می‌کریک در تایوان با استفاده از ترکیب مدل‌های HEC-RAS و QUAL2Kw انجام شد. ظرفیت حمل بار آلودگی کمی‌سازی شد و یک سیستم تعیین حداکثر بار روزانه براساس معیارهای کیفیت آب مربوطه با استفاده از مدل‌سازی کیفیت آب ایجاد گردید. نتایج نشان داد که سناریوی کاهش گروهی، عملکرد بهتری برای کنترل آلودگی دارد و طی آن کاهش آلودگی در فاضلاب‌های با دبی بیش‌تر منجر به بهبود کیفیت آب رودخانه می‌شود (Fan *et al*., 2021).

در پژوهشی Mirbagheri and Khalilzade Poshtegal (2023) از مدل تلفیقی HEC-RAS و QUAL2Kw به‌منظور شبیه‌سازی پارامترهای کیفی آب سطحی، رسوبات معلق و فلزات سنگین در رودخانه ساروق استفاده نمودند. نتایج نشان از کارایی کاربرد ترکیبی مدل‌های فوق در شبیه‌سازی فاز محلول فلزات سنگین در رودخانه مذکور می‌باشد (Ahmadpari and Hashemi Garmdareh, 2019).

در این پژوهش، با ترکیب مدل‌های HEC-RAS و QUAL2Kw، تغییرات ناشی از ورود نیترات به رودخانه کوهستانی عباس‌آباد به‌عنوان یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های استان همدان مطالعه شد. با آن‌که رودخانه عباس‌آباد در استان همدان، به‌عنوان یک رودخانه دائمی و نسبتاً پرآب، نقش اساسی در بخش‌های مختلف از جمله کشاورزی، زیست‌محیطی، اجتماعی و تفریحی دارد، تخلیه آلاینده‌ها در مسیر رودخانه، موجب واردشدن نیترات به رودخانه می‌گردد. استفاده از مدل‌های ترکیبی QUAL2Kw و HEC-RAS به‌منظور شبیه‌سازی و بررسی تغییرات نیترات ناشی از خروج پساب زمین‌های کشاورزی و ورود فاضلاب‌های خانه‌باغ‌ها و رستوران‌های حاشیه رودخانه و شناسایی منابع نقطه‌ای مهم آلوده‌کننده رودخانه مذکور نوآوری پژوهش حاضر است.

۲. روش تحقیق

۲. ۱. منطقه موردمطالعه

رودخانه عباس‌آباد در استان همدان واقع شده است که در فاصله ۱۲ کیلومتری جنوب‌غربی شهر همدان به‌صورت جنوب به شمال جریان دارد و از کوه فخرآباد با ارتفاع ۳۳۱۲ متر سرچشمه می‌گیرد. وسعت حوضه آبریز آن حدود ۴۰

کیلومترمربع با موقعیت جغرافیایی ۴۶ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۳۴ دقیقه عرض جغرافیایی و ۴۸ درجه و ۲۷ دقیقه و ۲۸ درجه و ۲۹ دقیقه طول جغرافیایی است. ارتفاع متوسط این حوضه از سطح دریا حدود ۲۶۰۰ متر و میانگین دما و بارش سالانه به‌ترتیب ۱۱ درجه سانتی‌گراد و ۳۱۷ میلی‌متر است. یکی از مهم‌ترین آلودگی‌های خروجی از اراضی کشاورزی رودخانه کوهستانی عباس‌آباد، نیتروژن است که در اثر استفاده از کودهای شیمیایی و ازته بوجود می‌آید و باعث ایجاد مشکلات و خطرات زیست‌محیطی متعددی می‌شود. علاوه بر این، آلاینده‌های مختلف ناشی از فاضلاب رستوران‌ها و خانه‌های باغ‌ویلاها که حاوی نیتروژن می‌باشند، به این رودخانه وارد می‌شود که موجب کاهش کیفیت آب رودخانه می‌شود. لازم به ذکر است که این نقاط آلایندگی با بازدید میدانی شناسایی شد. ضمن این‌که تمامی رستوران‌ها و باغ‌ویلاهای حاشیه رودخانه، آلایندگی وارد رودخانه نمی‌کنند. در شکل (۱)، منطقه مطالعاتی، موقعیت مکانی آلاینده‌های نقطه‌ای و نقاط نمونه‌برداری (ایستگاه‌های پایش) نشان داده شده است.

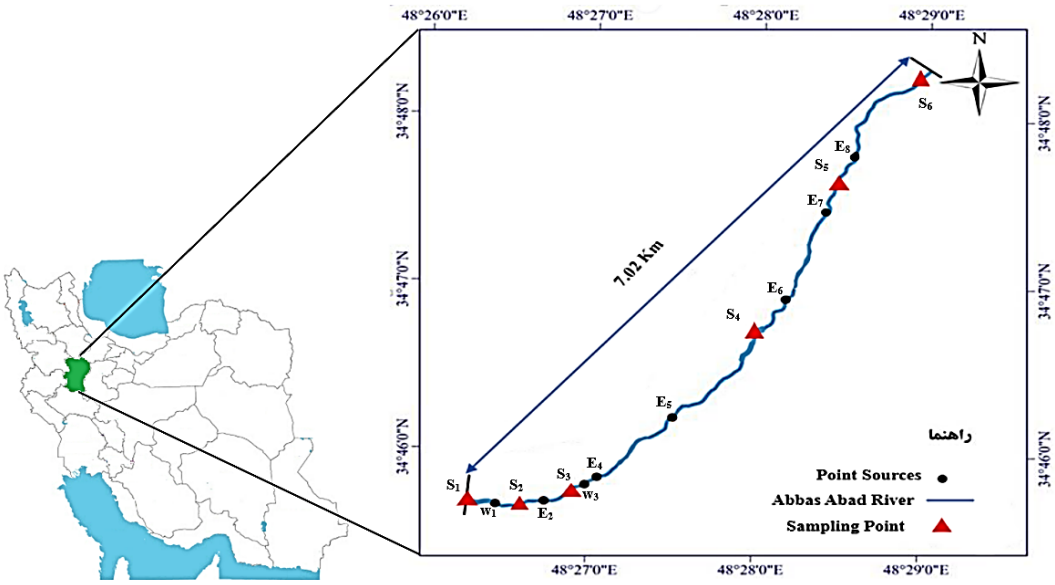

Figure 1. Study area, location of sampling points and point polluting sources

۲. ۲. مدل‌سازی

به‌منظور مدل‌سازی نیترات در رودخانه کوهستانی عباس‌آباد، از مدل QUAL2Kw نسخه ۵/۱ استفاده شد که می‌تواند کالیبراسیون را به دو صورت خودکار با استفاده از الگوریتم ژنتیک و دستی انجام دهد. این مدل، رودخانه را به بازه‌هایی با طول‌های متفاوت تقسیم می‌کند. در هر بازه، مقدار پارامترهای هیدرولیکی مانند شیب طولی، عرض کف، شیب دیواره‌ها و ... تقریباً یکسان است (Chapra *et al.*, 2008). در مدل QUAL2Kw، معادله توازن جرمی برای غلظت جزء c_i در هر المان i نسبت به زمان حل می‌شود (رابطه ۱):

$$\frac{dc_i}{dt} = \frac{Q_{i-1}}{V_i}c_{i-1} - \frac{Q_i}{V_i}c_i - \frac{Q_{ab,i}}{V_i}c_i + \frac{E'_{i-1}}{V_i}(c_{i-1} - c_i) + \frac{E'_i}{V_i}(c_{i+1} - c_i) + \frac{W_i}{V_i} + S_i + \frac{E'_{hyp,i}}{V_i}(c_{2,i} - c_i) \quad \text{رابطه ۱)}$$

که در آن، W_i بار آلاینده ورودی به بازه (g/day)، S_i منابع ورود و خروج آلاینده (g/m^3/day)، $c_{2,i}$ غلظت جزء کیفی در منطقه رسوب در هر بازه، V_i حجم آب (m^3) و E' ضریب پخشیدگی حجمی بین i و i+1 (m^3/day) می‌باشد (Fan *et al.*,

2021). در طول جریان با فرض اختلاط کامل، موازنه جریان برای هر المان در شرایط پایدار براساس رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$Q_i = Q_{i-1} + Q_{in,i} - Q_{ab,i}$$ رابطه ۲)

که در آن، Q_i میزان جریان خروجی از بازه i، Q_{i-1} میزان جریان خروجی از بازه i-1، $Q_{in,i}$ جریان ورودی از تمامی منابع نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای به بازه i، $Q_{ab,i}$ جریان خروجی از تمامی منابع نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای از بازه i می‌باشد (Chapra *et al*., 2008).

۲. ۳. صحت‌سنجی و واسنجی مدل QUAL2Kw

مدل‌سازی و واقعیت‌پذیری به معنای تنظیم پارامترهای مدل در یک دوره آزمایشی–آموزشی به‌صورت دستی یا خودکار است تا خروجی‌های مدل با داده‌های اندازه‌گیری‌شده همخوانی داشته باشند. هدف اصلی از کالیبراسیون کاهش اختلاف بین خروجی پیش‌بینی و مشاهده‌شده است (Arsenault *et al*., 2018). به‌منظور بررسی و آنالیز عملکرد مدل در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی از سه شاخص مجذور میانگین مربعات خطای نرمال‌شده (NRMSE)، خطای نش وساتکلیف (NSE) و ضریب تعیین (R^2) استفاده شد که با معادله‌های (۳)، (۴) و (۵) محاسبه می‌گردند. هرچه مقادیر آماره‌های NRMSE به صفر، NSE و R^2 به یک نزدیک‌تر باشند، مدل از دقت بالایی برخوردار است (Abasi, 2017).

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(Y_m - \bar{Y}_p)^2}}{X_{max}-X_{min}}$$ رابطه ۳)

$$NSE = 1- \frac{\sum_{i=1}^{n}(Y_m - Y_p)^2}{\sum_{i=1}^{n}(Y_m - \bar{Y}_m)^2}$$ رابطه ۴)

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(Y_m-\bar{Y}_m)(Y_p-\bar{Y}_p)}{\sqrt{(Y_m-\bar{Y}_m)^2}\sqrt{(Y_p-\bar{Y}_p)^2}}\right]^2$$ رابطه ۵)

که در آن، Y_m مقدار مشاهداتی، $\bar{Y}_m$ میانگین مقدار مشاهداتی، Y_p مقدار پیش‌بینی‌شده، $\bar{Y}_p$ میانگین مقدار پیش‌بینی‌شده، X_{max} و X_{min} به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار مشاهداتی می‌باشند.

۲. ۴. داده‌های موردنیاز مدل شبیه‌ساز QUAL2Kw

برای شبیه‌سازی رودخانه با مدل QUAL2Kw، نیاز به داده‌های هواشناسی، داده‌های هیدرولیکی و بازه‌بندی رودخانه، مشخصات هندسی، داده‌های کیفیت آب رودخانه و منابع آلاینده ورودی نقطه‌ای نیترات می‌باشد که به‌عنوان ورودی به مدل معرفی می‌شوند.

پارامترهای هواشناسی موردنیاز برای شبیه‌سازی مدل QUAL2Kw شامل دما، دمای نقطه شبنم، سرعت باد، پوشش ابر و سطح سایه‌انداز می‌باشد. جدول (۱) متوسط مقادیر پارامترهای هواشناسی ایستگاه عباس‌آباد همدان در سال ۱۴۰۱را نشان می‌دهد. این پارامترها از اداره کل هواشناسی استان همدان دریافت گردید.

Table 1. Average meteorological parameters of the Abbas-Abad station

Parameter	Temperature (°C)	Dew point temperature (°C)	Wind speed (m/s)	Cloud cover (%)	Shader surface (%)
Value	14.31	4.35	3.06	30	70

در پژوهش حاضر، نقاط آلایندگی رودخانه موردمطالعه (نقاط S_1 تا S_6) به‌همراه مقادیر آلایندگی برای سال ۱۴۰۱ طی فصول تر (اردیبهشت‌ماه) و خشک (تیرماه) از اداره محیط زیست استان همدان دریافت گردید (جدول ۲). سپس، نمونه‌برداری از پساب‌های کشاورزی (نقاط E_2 و E_4-E_8) و فاضلاب حاصل از رستوران‌ها و خانه‌باغ‌ها (W_1 و W_3) صورت گرفت. به‌منظور نمونه‌برداری، از نقاطی که به رودخانه آلودگی وارد می‌کنند با بطری‌های پلاستیکی نمونه‌برداری انجام و بر روی هر کدام از بطری‌ها برچسب مربوط به هر آلاینده ثبت شد. سپس، در داخل ظرفی عایق با دمای پنج درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. غلظت نیترات تمام نقاط فوق‌الذکر در آزمایشگاه شرکت آب منطقه‌ای همدان اندازه‌گیری شد. مقدار دبی و دمای آلاینده‌ها در محل رودخانه به‌ترتیب به‌صورت حجمی با استفاده از ظروف مدرج و دماسنج جیوه‌ای اندازه‌گیری شد.

Table 2. Average quantitative and qualitative parameters of monitoring stations and point pollutant sources

	Point sources	Longitude	Latitude	Distance* (Km)	Q (m^3/s)	T (°C)	NO_3 (mg/lit)
Monitoring station	S_1	48°26’00”	34°46’00”	7.02	0.06	13.85	1.16
	S_2	48°26’20”	34°46’02”	6.00	0.06	14.52	1.20
	S_3	48°26’53”	34°46’09”	5.05	0.11	14.95	1.32
	S_4	48°27’12”	34°46’15”	4.04	0.03	14.29	1.50
	S_5	48°28’00”	34°47’57”	2.17	0.03	13.50	2.20
	S_6	48°28’34”	34°47’46”	0	0.03	14.17	2.65
Agricultural wastewater	E_2	48°26’47”	34°46’05”	5.70	0.05	14.76	1.23
	E_4	48°27’00”	34°46’13”	4.40	0.04	14.66	1.38
	E_5	48°27’43”	34°46’38”	3.53	0.01	14.19	1.58
	E_6	48°27’31”	34°46’47”	2.50	0.07	13.84	2.01
	E_7	48°28’00”	34°47’57”	1.88	0.01	13.51	2.23
	E_8	48°28’40”	34°47’44”	0.20	0.05	14.15	2.64
Municipal sewage	W_1	48°26’34”	34°46’03”	6.09	0.02	14.50	1.19
	W_3	48°26’57”	34°46’10”	5.20	0.01	14.91	1.28

* Distance from upstream

۲. ۵. شرایط هیدرولیکی و بازه‌بندی رودخانه

هندسه رودخانه از قبیل شیب دیواره‌ها، شیب طولی رودخانه، رقوم ارتفاعی کف، عرض کف و غیره در محیط نرم‌افزار AutoCAD 2018 ترسیم شد. در مدل QUAL2Kw، جریان رودخانه براساس بازه‌بندی مسیر انجام می‌شود. بازه‌بندی یعنی تقسیم رودخانه به بازه‌هایی با مشخصات هیدرولیکی مشابه است. برای این منظور با استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS، مسیر ۷/۰۲ کیلومتری رودخانه از محل آبشار گنج‌نامه تا موزه طبیعی دانشگاه بوعلی‌سینا به ۴۶ بازه تقسیم‌بندی شد که بازه‌ها، طول‌های متفاوتی دارد (شکل ۲). بازه‌های موردنظر که خروجی مدل HEC-RAS می‌باشند، به‌عنوان ورودی، وارد مدل QUAL2Kw می‌شوند. پس از واردکردن اطلاعات هندسی و هیدرولیکی رودخانه، نرم‌افزار HEC-RAS با توجه به شرایط هیدرولیکی مانند ضریب زبری، جنس بستر و شیب موجود در طول رودخانه، آن را به بازه‌هایی با طول‌های متفاوت تقسیم‌بندی می‌کند. در این پژوهش، طول رودخانه ۷/۰۲۳ کیلومتری می‌باشد، به ۴۶ بازه تقسیم‌بندی شد.

نرم‌افزار HEC-RAS، توسط بخش مرکزی مهندسی هیدرولوژی گروه مهندسین ارتش آمریکا ارائه شده است و قادر است جریان در حالت‌های ماندگار و غیرماندگار برای سیستم کامل رودخانه‌های طبیعی و کانال‌ها را شبیه‌سازی کند (Brunner and RAS, 2008). فرایند اصلی محاسبات براساس روش پایدار حل معادله انرژی به‌روش گام به گام و از یک مقطع به مقطع دیگر است. مقدار افت انرژی بین دو مقطع شامل افت حاصل از انبساط و انقباض مقاطع و افت اصطکاکی می‌باشد.

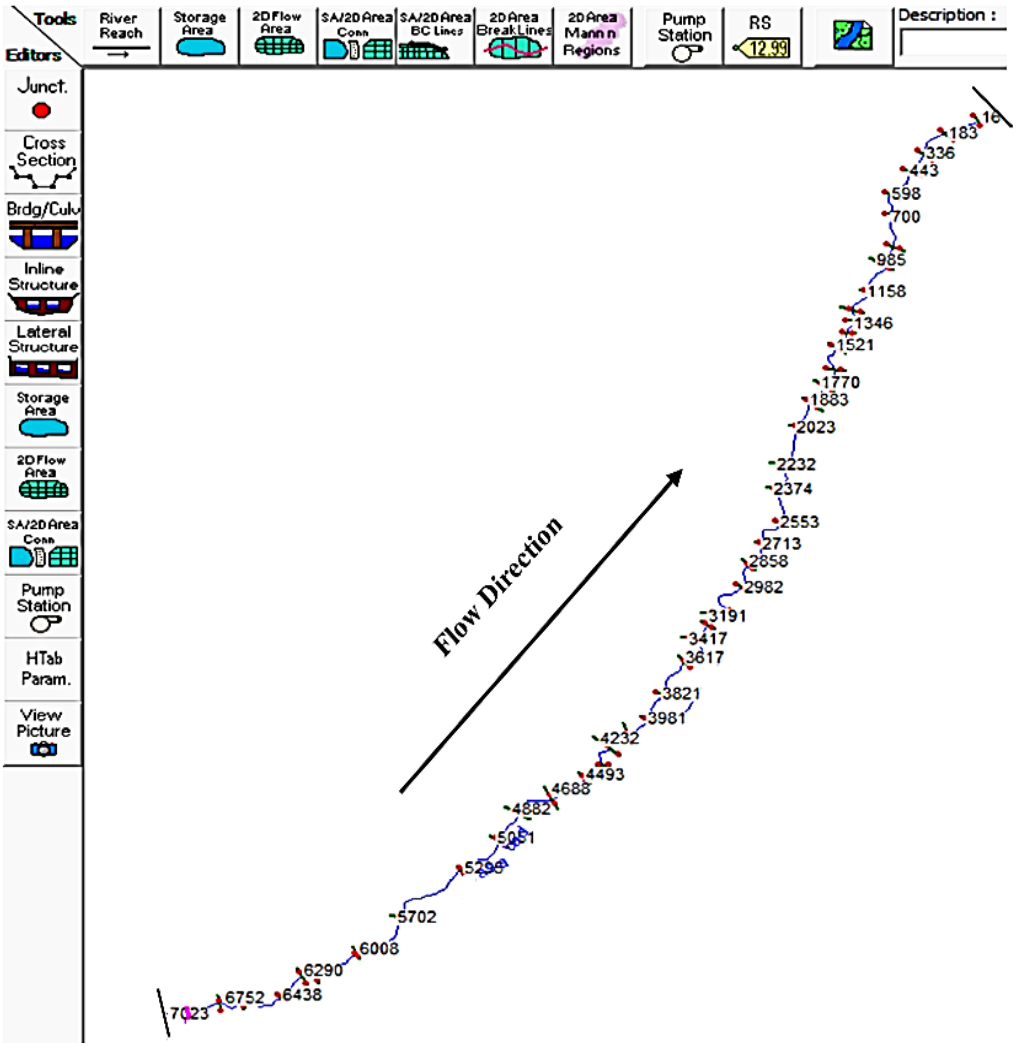

Figure 2. Spacing (46 intervals) of the HEC-RAS model

۳. نتایج و بحث

۳. ۱. واسنجی و صحت‌سنجی مدل QUAL2Kw

نمودار مقادیر کیفی اندازه‌گیری و مدل‌سازی برای مرحله واسنجی و صحت‌سنجی به‌ترتیب در شکل‌های (۳) و (۴) ارائه شده‌اند. داده‌های اندازه‌گیری‌شده با نقاط مربع شکل و نتایج شبیه‌سازی به‌وسیله نمودار پیوسته نمایش داده شده است. نتایج آماره‌های NRMSE، NSE و R^2 برای مقادیر خروجی QUAL2Kw با داده‌های اندازه‌گیری مربوطه، در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی در جدول (۳) نشان داده شده‌اند. نتایج نشان از واسنجی و صحت‌سنجی مطلوب مدل دارند. بهترین آماره NRMSE مربوط به مرحله صحت‌سنجی با مقدار ۰/۰۳ و بهترین آماره‌های مربوط به واسنجی NSE و R^2 به‌ترتیب با مقادیر ۰/۹۹ و صفر می‌باشند. مقادیر NRMSE و NSE همبستگی "خیلی خوب" بین مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری‌شده را نشان می‌دهند و ضریب تبیین R^2 نیز در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی به‌ترتیب، نشان از درجه "خوب" و "خیلی خوب" مدل کیفی دارد.

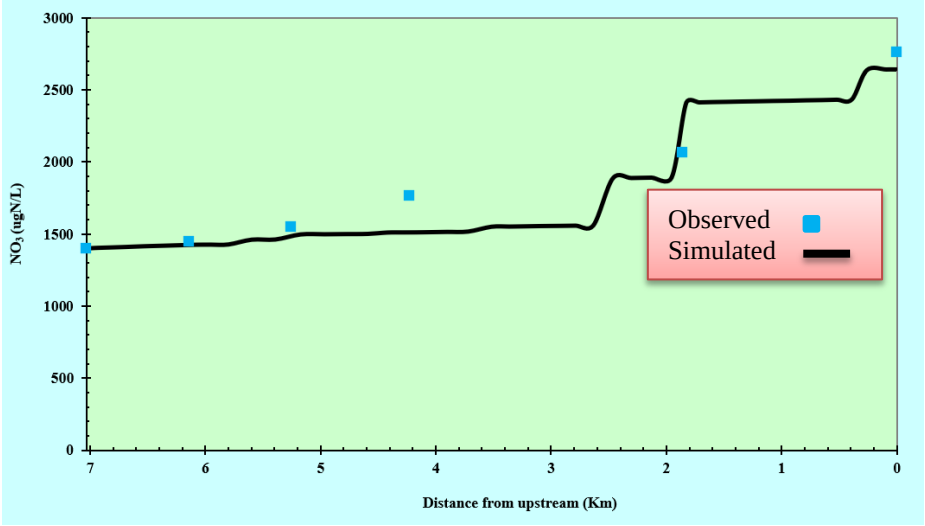

Figure 3. The chart of measured and simulated values in the cropping season (calibration period)

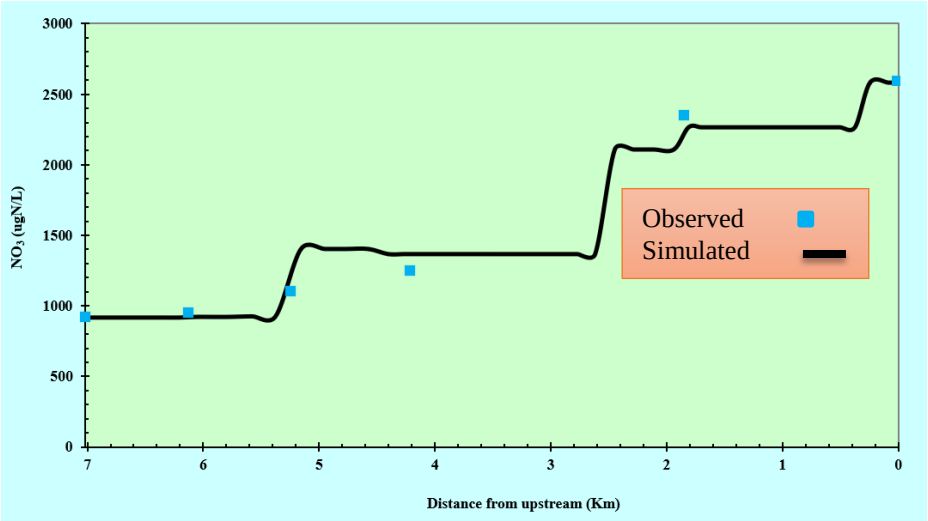

Figure 4. The chart of measured and simulated values in the non-agricultural season (validation period)

Table 3. The NSE, NRMSE and R^2 criteria for the QUAL2Kw model calibration and validation

Criteria	Calibration		Validation	
Criteria	Value	Performance		
R^2	0	Very Good	0.00006	Very Good
NSE	0.99	Very Good	0.94	Very Good
NRMSE	0.09	Good	0.03	Very Good

تغییرات غلظت نیترات در دوره زراعی (واسنجی) از کیلومتر ۵/۴ تا کیلومتر پنج به‌طور ناگهانی افزایش یافته و از کیلومتر پنج تا کیلومتر ۲/۴ غلظت نیترات همچنان با شیب ثابت دارای روندی افزایشی بوده و از کیلومتر ۲/۴ تا انتهای رودخانه (صفر کیلومتر)، روند افزایشی بیش‌تر از ابتدای رودخانه داشته است که به‌دلیل ورود فاضلاب‌های خانه‌باغ‌های ویلایی و رستوران‌ها، پساب های کشاورزی حاشیه رودخانه می‌باشد. طی دوره زراعی، در طول مسیر رودخانه عباس‌آباد مقدار غلظت نیترات در کیلومتر ابتدایی از ۹۰۰ میکروگرم بر لیتر به ۲۵۵۰ میکروگرم بر لیتر در کیلومتر انتهایی رودخانه افزایش یافته است، یعنی غلظت نیترات حدود ۱۷۰۰ میکروگرم بر لیتر تغییر یافته و روندی افزایشی داشته است که این

امر به‌دلیل وجود زمین‌های کشاورزی و زراعی و پساب‌های ناشی از آن‌ها (E2، E4، E5، E6، E7 و E8)، مصرف کودهای دامی و شیمیایی (ازته و نیتراته)، ورود فاضلاب خانه‌باغ‌ها و رستوران‌های اطراف رودخانه (w1 و w3) بوده و همین عوامل موجب افزایش نیترات در طول مسیر رودخانه عباس‌آباد گردیده است.

در دوره غیرزراعی (صحت‌سنجی)، غلظت مقدار نیترات از کیلومتر ۵/۲ تا ۲/۶ با شیب تقریباً ثابتی روندی افزایشی داشته، اما از کیلومتر ۲/۶ تا انتهای رودخانه (صفر کیلومتر) مقدار نیترات بیش‌تر از کیلومتر ابتدایی رودخانه افزایش یافته است. غلظت نیترات به‌ترتیب در کیلومتر ابتدایی و انتهایی رودخانه برابر با ۱۴۰۰ و ۲۶۴۳/۲۵ میکروگرم بر لیتر می‌باشد و مقدار غلظت آن ۱۲۴۳/۲۵ میکروگرم بر لیتر تغییر یافته و مجدد روندی افزایشی داشته است. گرم‌شدن هوا، افزایش دما، کاهش دبی رودخانه عامل دیگری است که سبب افزایش غلظت نیترات می‌گردد. افزایش دما سبب افزایش حلالیت نیترات در آب می‌گردد (Delbari *et al*., 2022).

در هر دو دوره، مقدار غلظت نیترات در طول مسیر رودخانه افزایش می‌یابد. در طی دو دوره زراعی و غیرزراعی از کیلومتر ۲/۶ تا انتهای رودخانه افزایش غلظت نیترات ورودی به رودخانه بیش‌تر از کیلومتر ابتدایی می‌باشد. جدول (۴) مقادیر اولیه NO_3 ورودی به رودخانه، مقادیر خروجی از مدل QUAL2Kw و درصد تغییرات آن را در طول فصل غیرزراعی (بعد از صحت‌سنجی) و زراعی (بعد از کالیبراسیون) نشان می‌دهد. همان‌طورکه مشاهده می‌شود درصد تغییرات در فصل غیرزراعی و زراعی به‌ترتیب برابر با هشت و ۷/۶ درصد می‌باشند. درصد تغییرات در فصل زراعی بیش‌تر از فصل غیرزراعی است و آن هم به‌دلیل افزایش در مصرف کودهای دامی، شیمیایی و مصرف سموم و آفت‌کش‌ها می‌باشد.

جدول (۵) مقدار NO_3 حاصل از منابع آلاینده نقطه‌ای ورودی به رودخانه که شامل فاضلاب رستوران، خانه‌باغ‌ها و پساب‌های حاصل از کشاورزی حاشیه رودخانه می‌باشند را در دو فصل غیرزراعی و زراعی نشان می‌دهد. مقدار نیترات ورودی از منابع آلاینده نقطه‌ای به‌ترتیب در فصل زراعی و غیرزراعی ۱۴۸۴۰ و ۱۲۲۷۰ میکروگرم بر لیتر است. بنابراین، تغییرات غلظت نیترات ورودی به رودخانه در فصل زراعی نسبت به فصل غیرزراعی ۲۵۷۰ میکروگرم بر لیتر و هم‌چنین درصد تغییرات نیترات ورودی از منابع آلاینده نقطه‌ای حدود ۱۸ درصد می‌باشد.

Table 4. The total amounts of pollutants entering the river in the agriculture and non-agricultural period

Period	Initial value (µg/l)	Output from QUAL2KAW (µg/l)	Change	Percentage of changes (%)
Wet	95280	87647	7634	8.0
Dry	84297	77885	6412	7.6

Table 5. The amounts of NO_3 entering the river from point polluting sources (sewages and agricultural effluents) during the agricultural and non-agricultural seasons

Parameter	Non-Crop Season	Crop Season	Changes	Percentage of changes (%)
NO_3 (µg/l)	12270	14840	2570	17.31

نتایج به‌دست‌آمده با استفاده از تلفیق مدل HEC-RAS و Qual در این مقاله با نتایج بررسی روند آلودگی نیترات در رودخانه تجن (Alipour Nasirmahale and Radfar, 2023) و در رودخانه گرگر (Shokri *et al*., 2015)، رودخانه ناکدانگ در کره جنوبی (Kim *et al*., 2023)، در رودخانه دز (Ghorbani *et al*., 2022) مطابقت دارد.

به‌طور کلی، تعدادی از پژوهشگران باور دارند که وجود مناطق دست‌نخورده، غلظت پایین اکثر پارامترهای کیفی و شیب زیاد در نقاط بالادست، هم‌چنین مسائلی مانند افزایش جمعیت، توسعه صنعت و کشاورزی، و تخلیه فاضلاب‌های شهری در نقاط پایین‌دست، ممکن است عامل افزایش آلاینده‌ها در نقاط پایین‌دست نسبت به بالادست رودخانه‌ها باشند (Alipour Nasirmahale and Radfar, 2023; Alizadeh *et al*., 2017; Delbari *et al*., 2022). در پژوهشی توسط

Miserendino *et al*. (2011) نشان داده شده است که نوع استفاده از زمین بر کیفیت آب تأثیر زیادی داشته و ارتباط معنی‌داری بین پارامترهای کیفیت آب و نوع کاربری زمین وجود دارد. هم‌چنین باید توجه داشت که ورود فاضلاب‌ها و رواناب‌های شهری، بارندگی و استفاده از کودهای مختلف در زمین‌های کشاورزی در فصول مختلف سال متفاوت است. بنابراین این موارد ممکن است باعث تغییر غلظت اندازه‌گیری‌شده نیتروژن نیتراتی در دو فصل زراعی و غیرزراعی شوند.

۴. نتیجه‌گیری

هدف از پژوهش حاضر بررسی روند تغییرات نیترات در دو فصل زراعی و غیرزراعی و تعیین منابع نقطه‌ای آلوده‌کننده نیترات در طول مسیر رودخانه عباس‌آباد می‌باشد. برای شبیه‌سازی این رودخانه از ترکیب خروجی مدل هیدرولیکی HEC-RAS با مدل QUAL2Kw استفاده گردید و همین امر موجب به‌دست‌آوردن نتایج مطلوبی در تحلیل کیفی رودخانه گردید.

بررسی شرایط کیفی از نظر تغییرات غلظت نیترات در طول دو دوره زمانی زراعی و غیرزراعی در طول مسیر رودخانه عباس‌آباد نشان داد که به‌ترتیب در فصل زراعی مقدار کل غلظت نیترات (منابع آلاینده نقطه‌ای و ایستگاه‌های پایش) ورودی به رودخانه حدود ۰/۶ درصد و مقدار نیترات ورودی حاصل از منابع آلاینده نقطه‌ای حدود ۹/۰۵ درصد نسبت به فصل غیرزراعی افزایش یافته است، یعنی مقدار نیترات واردشده به رودخانه به واسطه منابع آلاینده نقطه‌ای بیش‌تر از مجموع مقدار نیترات ورودی ناشی از منابع کلی (آلاینده‌های نقطه‌ای و ایستگاه پایش می‌باشد). لازم به ذکر است که مجموع آلاینده‌های نقطه‌ای ورودی در فصل زراعی برابر با ۲۶۲۲۵ میلی‌گرم بر لیتر و در فصل غیرزراعی برابر با ۲۳۸۵۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. افزایش غلظت نیترات در فصل غیرزراعی به‌دلیل ورود فاضلاب‌های حاصل از خانه‌باغ‌ها، رستوران‌ها، افزایش دما، کاهش جریان رودخانه و گرم‌شدن آب رودخانه و افزایش انحلال‌پذیری نیترات و علل افزایش نیترات در فصل زراعی مصرف کودهای شیمیایی (ازته و نیتراته)، مصرف سموم دفع آفات وحشرات و ورود پساب‌های حاصل از آن‌ها در آب رودخانه مذکور می‌باشد. بنابراین، مدیران باید توجه و تمرکز بیش‌تری بر این موضوع داشته باشند تا بتوانند با اتخاذ تصمیم‌گیری‌های مدیریتی شامل تغییر در الگوی کشت، ترویج و آموزش کشت ارگانیک به‌جای غیرارگانیک و کاهش در مصرف کودها و سموم شیمیایی، آلاینده‌های کم‌تری از جمله نیترات را به درون بستر رودخانه وارد کنند و مسبب بهبود وضعیت کیفی رودخانه مذکور گردند.

۵. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۶. منابع

Abasi, 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), 1-21.

Abed, B., Daham, M. H., & Ismail, A. H . (2021) .Water quality modelling and management of Diyala river and its impact on Tigris River. *J. Eng. Sci. Technol*, *16*(1), 122-135.

Ahmadpari, H., & Hashemi Garmdareh, S. E. (2019). Application of Denitrification Wall in Nitrate Removal from Groundwater Aquifers. *Journal of Water and Wastewater Science and Engineering*, *4*(3), 13-25.

Alam, M. J., & Dutta, D. (2021). Modelling of nutrient pollution dynamics in river basins: A review with a perspective of a distributed modelling approach. *Geosciences*, *11*(9), 369.

Alipour Nasirmahale, F., & Radfar, M. (2023). Modeling and Investigation of Annual Nitrate Pollution Trend of Tajan River with QUAL2Kw and HEC-RAS. *Irrigation Sciences and Engineering* .

Alizadeh, M., Mirzaei, R., & Kia, S. H. (2017). Determining the spatial trend of water quality indices across Kan and Karaj River Basins. *Journal of Environmental Health Enginering*, 4(3), 256-243.

Arsenault, R., Brissette, F., & Martel, J.-L. (2018). The hazards of split-sample validation in hydrological model calibration. *Journal of Hydrology*, 566, 346-362.

Brunner, G., & RAS, H. (2008). River analysis system hydraulic reference manual. *Do Defense, Davis* .

Brunner, G. W. (2016). HEC-RAS River Analysis System: Hydraulic Reference Manual Version 5.0; US Army Corps of Engineers-Hydrologic Engineering Center (HEC), Davis, CA, USA.

Chapra, S., Pelletier, G., & Tao, H. (2003). Qual2K. *A modeling framework for simulating river and stream water quality (beta version): documentation and user's manual, Civil and Environmental Engineering Department, Medford, Tufts University* .

Chapra, S., Pelletier, G., Tao, H., & QUAL, K. (2008). A modeling framework for simulating river and stream water quality. *QUAL-2K, version, 2*.

Costa, C. M. d. S. B., Leite, I. R., Almeida, A. K., & de Almeida, I. K. (2021). Choosing an appropriate water quality model-A review. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193, 1-15.

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.

Fan, C., Chen, K.-H., & 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, 125251.

Fan, C., Ko, C.-H., & Wang, W.-S. (2009). An innovative modeling approach using Qual2K and HEC-RAS integration to assess the impact of tidal effect on River Water quality simulation. *Journal of Environmental Management*, 90(5), 1824-1832.

Farkhani, S. (2021). Investigating the Quality Status of Haraz River Using Numerical Modeling. *Iran-Water Resources Research*, 17(1), 262-276.

Faryadi, S., Shahedi, K., & Nabatpoor, M. (2013). Investigation of water quality parameters in Tadjan River using Multivariate Statistical Techniques.

Ghorbani, Z., Amanipoor, H., & Battaleb-Looie, S. (2022). Water quality simulation of Dez River in Iran using QUAL2KW model. *Geocarto International*, 37(4), 1126-1138.

Herbay, J. P., Smeers, Y., & Tyteca, D. (1983). Water quality management with time varying river flow and discharger control. *Water Resources Research*, 19(6), 1481-14877.

Kalburgi, P., Shareefa, R., & Deshannavar, U. (2015). Development and evaluation of BOD–DO model for River Ghataprabha near Mudhol (India), using QUAL2K. *IJ Engineering and Manufacturing*, 5(1), 15-25.

Kamal, N. A., Muhammad, N. S., & Abdullah, J. (2020). Scenario-based pollution discharge simulations and mapping using integrated QUAL2K-GIS. *Environmental pollution*, 259, 1139099.

Kim, C., Park, J., Shin, J., Lee, H., Abbeel, P., & Lee, K. (2023). Preference transformer: Modeling human preferences using transformers for rl. *arXiv preprint arXiv:*2303.00957.

Mirbagheri, S., & Khalilzade Poshtegal, M. (2023). Simulation of Surface Water Quality Parameters, Suspended Sediments and Heavy Metals in the River (Case Study: Sarouq River). *Water and Irrigation Management*, 12(4), 763-781.

Miserendino, M. L., Casaux, R., Archangelsky, M., Di Prinzio, C. Y., Brand, C., & 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*, 409 624-612, (3).

Pashazadeh Laleh, Z., Jafari, H., & Vaezihir, A. (2021). Qualititaive assessment of the Aji-Chay River (Tabriz plain) based on the specific uses quality indices. *Irrigation and Water Engineering*, 11(4), 344-367.

Ranjith, S. (2019). Utilization of Water Quality Modeling and Dissolved Oxygen Control in River Tungabhadra, Karnataka (India). *Open Access Library Journal*, 6(05), 1.

Shokri, S., Hoshmand, A., & Moazed, H. (2015). Ammonium and nitrate quality simulation in GarGar rivers using QUAL2KW model.

Taralgatti, P., Pawar, R., Pawar, G., Nomaan, M., & Limkar, C. (2020). Water Quality Modeling of Bhima River by Using HEC-RAS Software. *Int. J. Eng. Adv. Technol*, 9(3), 2886-2889.

Teran-Velasquez, G., Helm, B., & Krebs, P. (2022). Longitudinal river monitoring and modelling substantiate the impact of weirs on nitrogen dynamics. *Water*, 14(2), 189.

Ye, H., Guo, S., Li, F., & Li, G. (2013). Water quality evaluation in tidal river reaches of Liaohe River estuary, China using a revised QUAL2K model. *Chinese geographical science*, 23, 301-311.