

پایش میدانی کیفیت آب و شبیه‌سازی تغذیه‌گرایی رودخانه دز

سینا جهانی‌مهر^۱، محمد ذاکر مشفق^{۲*}، بابک لشکرآرا^۱، فرهاد قلی‌نژاد^۳

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی عمران - رودخانه، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول

۲. عضو هیات علمی گروه مهندسی عمران - آب، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول

۳. اداره کل حفاظت محیط زیست استان خوزستان.

moshfegh@jsu.ac.ir

تاریخ پذیرش ۱۴۰۲/۰۷/۳۰

تاریخ دریافت ۱۴۰۲/۰۵/۱۴

چکیده

آنچه امروز در مهندسی منابع آب به‌عنوان تغذیه‌گرایی موسوم است پاسخ زیستی رودخانه به بالابودن غلظت مواد مغذی از جمله فسفر و نیتروژن است. وضعیت کیفی رودخانه دز در وضع موجود به دلیل برداشت‌های روز افزون و سال‌های کم آبی متوالی و در عین حال تخلیه پساب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی به رودخانه در حال تهدید است. در این پژوهش به منظور پایش میدانی و سپس شبیه‌سازی تغذیه‌گرایی رودخانه دز هشت ایستگاه پایش با در نظر گرفتن چگونگی ورود آلاینده‌ها به رودخانه انتخاب شد. از میان متغیرهای کیفی مورد نظر، اکسیژن محلول و دمای آب به صورت مستقیم توسط دستگاه قابل حمل، اندازه‌گیری و متغیرهای فسفات و نترات نیز از طریق نمونه‌برداری و ارسال به آزمایشگاه شیمی آب اندازه‌گیری شدند. سپس مسیر رودخانه به طول ۱۸ کیلومتر توسط مدل HEC-RAS شبیه‌سازی کیفی شد. نتایج شبیه‌سازی با داده‌های مشاهداتی مورد مقایسه قرار گرفت که در این مقایسه پارامترهای اکسیژن محلول، دما، نترات و فسفات انطباق قابل قبولی با داده‌های مشاهداتی داشته و مقدار آماره RMSE برای پارامترهای نترات، دمای آب، اکسیژن محلول و فسفات به ترتیب برابر ۰.۲۵، ۰.۲۹، ۰.۶۷ و ۰.۶۷ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. پس از تحلیل حساسیت، کالیبراسیون و تأیید مدل از آن برای شبیه‌سازی پاسخ رودخانه به سناریوی کاهش مواد مغذی استفاده شد که در این سناریو، تأثیر افزایش دبی رودخانه در میزان کاهش غلظت مواد مغذی بررسی شد. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که در سناریو افزایش دبی رودخانه، به دلیل افزایش انحلال اکسیژن محلول و نیز فرایند رقیق‌سازی، توان خودپالایی رودخانه افزایش و غلظت مواد مغذی به میزان قابل توجهی کاهش پیدا می‌کند و شاهد افزایش DO به میزان ۰/۷-۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر، کاهش میزان نترات تا ۶ میلی‌گرم بر لیتر و کاهش فسفات تا ۰/۳ میلی‌گرم بر لیتر پس از شبیه‌سازی خواهیم بود.

واژه‌های کلیدی: پایش میدانی کیفیت آب، مدل‌سازی تغذیه‌گرایی، HEC-RAS، رودخانه دز

مقدمه

مهم در رودخانه‌ها می‌باشد که خطر سلامت انسان و عملکرد اکوسیستم آبی ناشی از افزایش غلظت نیتروژن، فسفر، آفت‌کش‌ها و مواد شوینده را تحت تأثیر قرار می‌دهد [1].

آلودگی‌های ناشی از مواد مغذی یکی از عوامل اصلی اختلال در کیفیت آب دریاچه‌ها و مصب‌ها و همچنین یک موضوع

اگرچه مواد مغذی برای گیاهان و جانوران حیاتی هستند، اما غلظت زیاد آن‌ها می‌تواند کیفیت آب و خاک را کاهش دهد. دو ماده مغذی نیتروژن و فسفر می‌توانند موجب تغذیه‌گرایی در محیط‌های آبی شوند [2]. غلظت بالای مواد مغذی در یک اکوسیستم آبی موجب برانگیختن و شکوفایی جلبکی یا به اصطلاح بروز پدیده تغذیه‌گرایی می‌شود. که این پدیده موجب رشد بی‌رویه جلبک‌ها، کاهش شفافیت و تغییر رنگ آب به سبز یا قهوه‌ای، کاهش اکسیژن محلول و رشد گیاهان سبز-آبی در سطح آب می‌شود. این گیاهان به دلیل حساس بودن به نور، معمولاً از بین رفته و بوی نامطبوعی تولید می‌کنند. خانواده‌های کربن، نیتروژن و فسفر، مهم‌ترین موادی هستند که به‌طور قابل ملاحظه‌ای توسط گونه‌های آبی به‌عنوان مواد مغذی مصرف می‌شوند [3].

تغذیه‌گرایی پدیده‌ای است که در پیکره‌های آبی دریافت‌کننده میزان زیادی مواد مغذی مشاهده می‌شود. این پدیده و به دنبال آن افزایش غلظت فیتوپلانکتون‌ها می‌تواند کیفیت آب را تحت تأثیر قرار دهد [4]. مشخصه این پدیده شکوفایی جلبک‌های سبز یا سبز-آبی و تغییرات شدید اکسیژن محلول می‌باشد و معمولاً محیط آب را برای زندگی ماهی‌ها و زئوپلانکتون‌ها تحمل‌ناپذیر می‌کند. دانشمندان بر این باورند که تغذیه‌گرایی می‌تواند ترکیب گونه‌های یک زیستگاه را دگرگون کند [5]. ورود آلاینده‌های زیستی به رودخانه باعث ایجاد اختلال در توازن اکسیژن محلول شده و ورود مواد مغذی از منابع مختلف، به ویژه فاضلاب بیمارستانی (عمدتاً فسفر) و پساب‌های کشاورزی و صنعتی، موجب تغذیه‌گرایی رودخانه‌ها و دریاچه‌ها می‌شود [6]. یک مدل شبیه‌ساز، جایگزینی برای یک سیستم واقعی است. این مدل‌ها زمانی استفاده می‌شوند که کار کردن با آن‌ها آسان‌تر از کار با سیستم واقعی باشد [7]. مدل‌های کیفیت آب همچنین برای بررسی وضعیت زیست محیطی آلاینده‌های مختلف در آب‌های سطحی مورد نیاز امروزی است [8]. استفاده از تکنیک‌های مدل‌های شبیه‌سازی برای مسائل کیفیت آب، ابزار قدرتمندی در مدیریت منابع آب است [9]. پالیوال و همکارانش در سال ۲۰۰۷ به بررسی کیفی رودخانه یامونا در هند با استفاده از

مدل کیفی QUAL2E پرداختند که در این تحقیق چهار سناریوی مختلف آلودگی مورد بررسی قرار گرفت. این مطالعه نشان داد که برای جلوگیری از تخلیه فاضلاب‌ها به رودخانه یامونا و کاهش بار آلودگی قابل توجه به کانال انحرافی نیاز می‌باشد. همچنین می‌توان با افزایش دبی تا ۱۰ مترمکعب بر ثانیه مقدار آلودگی را کاهش داد [10]. فان و همکارانش (2009) با استفاده از تلفیق مدل‌های Qual2k و HEC-RAS به بررسی کیفی آب در رودخانه‌ای در تایوان پرداختند. در این پژوهش پارامترهای نیتروژن نیتراتی، TP و BOD مورد بررسی قرار گرفت و نتایج حاصل شده نشان داد که می‌توان از مدل HEC-RAS در بررسی کیفی آب نتایج قابل قبولی گرفت [11]. لی و همکاران (2013) به بررسی کیفیت آب رودخانه کواپینگ در تایوان با استفاده از شاخص آلودگی رودخانه و مدل WASP در بالادست و پایین‌دست رودخانه در اثر آلاینده‌های منابع غیرنقطه‌ای (مواد معلق) و نیتروژن آمونیاکی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که مواد معلق در فصول تر نقش زیادی در میزان آلودگی رودخانه بر اثر زیاد شدن دبی دارد [12]. مهراسبی و فرهنگیا در سال ۲۰۱۵ به مدل‌سازی کیفیت آب و ارزیابی استراتژی‌های کنترل ماده مغذی با استفاده از مدل QUAL2K در رودخانه کینه-ورس زنجان پرداختند. برای این منظور، هفت ایستگاه نمونه‌برداری انتخاب شد و پارامترهای درجه حرارت، اکسیژن محلول، نیاز اکسیژن بیولوژیکی، آمونیاک و نیتروژن، نترات، نیتروژن آلی، فسفر آلی و فسفر معدنی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که این رودخانه از نیتروژن و فسفر اشباع است و در طبقه یوتروفیک قرار دارد و همچنین برای رسیدن به اهداف مدیریت کیفی آب، کل نیتروژن و فسفر رودخانه باید به ترتیب ۷۶٪ و ۹۳٪ کاهش یابد [13]. رالپالی و سینک در تحقیقی در سال ۲۰۱۸ به بررسی چند سناریوی مدیریتی برای کاهش تغذیه‌گرایی و مدیریت پایدار کیفی در رودخانه گنگ در هند پرداختند که در نهایت به این نتیجه دست یافتند که دبی رودخانه در محدوده ۱۵۰۰ مترمکعب در طول دوره بحرانی و کاهش آلاینده‌گی ورودی به رودخانه از فاضلاب به ۲۰ تا ۲۵ درصد موثرترین گزینه برای بازگرداندن کیفیت آب

مواد و روش‌ها

معرفی حوضه مطالعاتی: رودخانه دز دارای دو شاخه بزرگ بختیاری و سزار است. رود بختیاری از سمت کوه‌های بختیاری و رود سزار از لرستان سرچشمه می‌گیرد. آب این رودخانه تقریباً طولی به معادل ۵۰ کیلومتر در خم و پیچ کوه‌ها و سپس کوهپایه را می‌پیماید تا به محدوده شهر دزفول می‌رسد. آب رودخانه بعد از سد دز وارد شهر دزفول می‌شود و از منطقه تفریحی علی کله عبور می‌کند. سپس یک مسیر ۶ کیلومتری را از میان شهر گذر می‌کند در پایان در محل بند قیر به رودخانه کارون متصل می‌شود. محدوده مورد مطالعه در این تحقیق مسیر جریان رودخانه دز از منطقه بالادست روستای چم‌گلک به مختصات ۳۲ درجه و ۲۷ دقیقه و ۴ ثانیه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۲۸ دقیقه و ۱۲ ثانیه طول شرقی تا پایین دست تصفیه‌خانه به مختصات ۳۲ درجه و ۲۱ دقیقه و ۲۸ ثانیه عرض شمالی واقع در پایین دست شهر دزفول خاتمه می‌یابد. در جدول (۱) موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌ها در محدوده مطالعاتی بیان شده و در شکل (۱) نیز تصاویری از رشد و شکوفایی جلبک و گیاهان آبی در رودخانه دز نشان داده شده است.

شکل ۱. رشد و شکوفایی گیاهان آبی در رودخانه دز-۱۳۹۴



Fig 1. The growth and bloom of aquatic plants in Dez River-2015

ایستگاه‌های اندازه‌گیری

در این پژوهش هشت ایستگاه در رودخانه دز با در نظر گرفتن تأثیر تراکم جمعیتی و نقش دیگر فعالیت‌ها از قبیل کشاورزی و صنعتی در کاهش یا افزایش آلودگی رودخانه برای نمونه‌برداری انتخاب شده است که در شکل (۲)

روخانه گنگ است [14]. ساها و همکاران در تحقیقی در سال ۲۰۲۰ به شبیه‌سازی میکروبی (E.coli) کیفیت آب رودخانه دیترویت با استفاده از مدل TUFLOW-FV and AED2 پرداختند. نتایج حاصل از این شبیه‌سازی نشان داد که لایروبی موضعی منابع غیرنقطه‌ای در نقاطی از رودخانه بر کیفیت میکروبی آب در این مکان‌ها تأثیر می‌گذارد [15]. الکساندرا زیمینسکا-استولارسکا و ماگدالنا کمپا در تحقیق سال ۲۰۲۱ به بررسی پایش و مدل‌سازی کیفی آب‌های سطحی و مخزن سولجو در لهستان پرداختند. هدف از این تحقیق ارزیابی متغیرهای دما، سرعت جریان، فسفات و نترات به دلیل رشد زیاد جلبک‌ها با استفاده از تلفیق مدل هیدرودینامیکی GEMSS-HDM با مدل کیفی-WASP EUTRO GEMSS (WQM) بود. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که محدود کردن ترکیبات فسفر و نیتروژن به ترتیب به مقادیر ۰.۰۲ و ۰.۰۰۱ سبب کاهش حجم شکوفایی جلبک در آب می‌شود. هم چنین سناریوهای پیشنهادی برای کاهش مواد مغذی-کاهش ۵۰ درصدی فسفات-فسفر (PO4-P) و نترات-نیتروژن (NO3-N) از مناطق کشاورزی و همچنین ۵۰٪ کاهش تراوش از مخازن سپتیک-منجر به کاهش قابل توجه غلظت مواد مغذی شد [16]. بنابراین مدل سازی کیفیت آب می‌تواند ارزیابی آلودگی رودخانه را پشتیبانی کند و اطلاعاتی در مورد این مسئله مهم زیست محیطی ارائه دهد [17]. همچنین مدل‌سازی به‌عنوان ابزاری مناسب و کارآمد در تعیین و ارزیابی آثار آلاینده‌های مختلف در مدیریت کیفی پیکره‌های آبی تبدیل شده است. با شناخت کافی از متغیرهای کیفی می‌توان از یک مدل مناسب بهره‌گیری کرد و به شبیه‌سازی کیفی و اقدامات مدیریتی پرداخت [18].

در مقاله حاضر، ضمن پایش و اندازه‌گیری میدانی مجموعه پارامترهای کیفی موثر بر تغذیه‌گرایی رودخانه دز، شامل چهار متغیر دمای آب، اکسیژن محلول، نترات و ارتوفسفات و با استفاده از نسخه جدید مدل HEC-RAS به تحلیل حساسیت، واسنجی و تایید مدل پرداخته شده و پهنه‌بندی کیفی در طول رودخانه و ارزیابی یک سناریوی مدیریتی در کاهش آلاینده‌های رودخانه دز مورد بررسی قرار گرفته است.

اندازه‌گیری پارامترهای کیفی موردنیاز

برای اندازه‌گیری پارامترهای دمای آب و اکسیژن محلول در آب به‌طور مستقیم از دستگاه قابل حمل آنالیزر کیفیت آب استفاده شد و برای نمونه‌برداری آب رودخانه برای اندازه‌گیری برای پارامترهای نیترات و ارتوفسفات، از بطری‌های استریل استفاده شده است. سپس نمونه‌ها در محفظه مخصوص حاوی قطعه‌های یخ نگهداری و به سرعت به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه‌برداری در ایستگاه‌های موردنظر در شش مقطع زمانی در بازه شهریور ماه تا دی ماه سال ۱۳۹۴ اقدام شد. مقادیر دبی در ماه‌های مختلف در جدول (۲) و میانگین و انحراف معیار داده‌های کیفی در جدول (۳) ارائه شده است. از این اندازه‌گیری‌های انجام شده داده‌های دما، اکسیژن محلول، نیترات و ارتوفسفات در طی مراحل مختلف تأیید مدل استفاده شده است و برای کالیبراسیون مدل از داده‌های کیفی اندازه‌گیری شده در تحقیق انجام شده توسط یزدی‌زاده که در مکان‌های مشابه ذکر شده در شکل (۲) طی سال ۱۳۹۲ انجام شده استفاده شده است [19].

جدول ۲. مقادیر دبی در ماه‌های اندازه‌گیری - ۱۳۹۴

| Variable | Shahrvar | Mehr | Aban | Azar | Dey |
|----------------------|----------|------|------|------|-----|
| Q(m ³ /s) | 184 | 179 | 183 | 186 | 197 |

Table 2. The amount of discharge in the months of measurement- 2015

وضعیت منابع آلاینده رودخانه در بازه مطالعاتی و همچنین موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری نشان داده شده است. تصویر سمت راست نشان‌دهنده نقاط برداشت نمونه‌برداری در ایستگاه‌هایی می‌باشد که از آن نقاط اندازه‌گیری صورت گرفته است و تصویر سمت چپ نیز نشان‌دهنده وضعیت منابع آلاینده به درون رودخانه در بالادست ایستگاه‌ها می‌باشد در واقع هم در طول رودخانه و در ورودی منابع آلاینده‌ها نمونه‌برداری و اندازه‌گیری صورت گرفته است.

جدول ۱. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌ها در محدوده مطالعاتی

| number | station name | Longitude (UTM) | latitude (UTM) |
|--------|-----------------------------|-----------------|----------------|
| 1 | Cham Gulak Village Upstream | 262160 | 3593255 |
| 2 | The Fourth Bridge | 258798 | 3589564 |
| 3 | Dolat Park | 257277 | 3588674 |
| 4 | Army Refinery | 255276 | 3387403 |
| 5 | Floating Bridge | 254446 | 3585593 |
| 6 | The fifth Bridge | 253625 | 3584809 |
| 7 | Refinery output | 251365 | 3583901 |
| 8 | Refinery Downstream | 251578 | 3583165 |

Table 1. Geographical location of the stations in the study area

شکل ۲. موقعیت ایستگاه‌های پایش کیفی و وضعیت منابع آلاینده در محدوده مطالعاتی - ۱۳۹۴

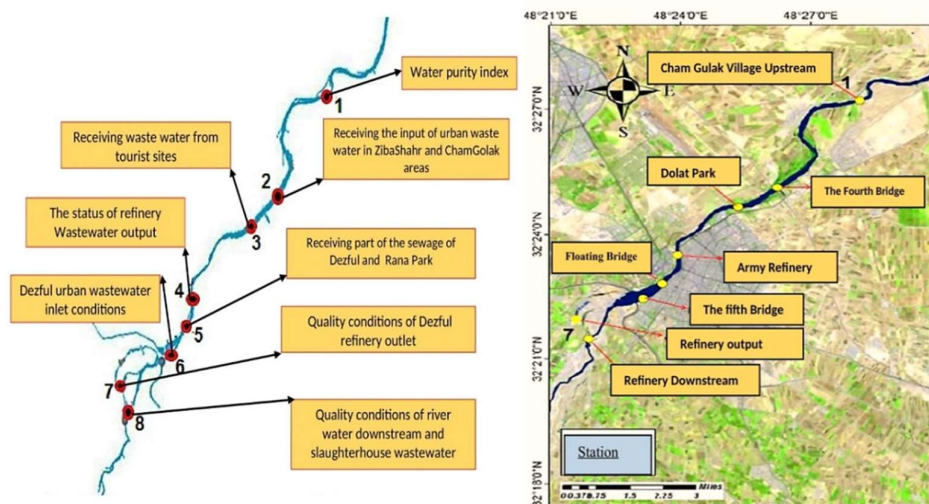


Fig. 2. The location of monitoring stations and the status of polluting sources in the study area-2015

جدول ۳. مقادیر میانگین و انحراف معیار داده‌های اندازه‌گیری شده - ۱۳۹۴

| parametr | Cham Gulak village upstream | The fourth bridge | Dolat park | Army refinery | Floating bridge | The fifth bridge | Refinery output | Refinery Downstream |
|---|-----------------------------|-------------------|------------|---------------|-----------------|------------------|-----------------|---------------------|
| The average of the measured Data | | | | | | | | |
| T(C) | 20.37 | 21.07 | 21.04 | 20.99 | 20.99 | 21.01 | 21.94 | 21.31 |
| DO | 8.31 | 8.16 | 8.07 | 8.31 | 8.28 | 7.96 | 7.15 | 7.78 |
| Nitrate | 5.20 | 5.42 | 5.43 | 5.12 | 5.18 | 5.27 | 5.47 | 5.15 |
| Phosphate | 0.08 | 0.05 | 0.08 | 0.15 | 0.22 | 0.30 | 1.18 | 0.43 |
| The standard deviation of the measured Data | | | | | | | | |
| T(C) | 3.48 | 4.08 | 3.78 | 3.72 | 3.66 | 3.59 | 4.29 | 3.74 |
| DO | 0.59 | 0.59 | 0.83 | 0.53 | 0.57 | 0.82 | 0.93 | 0.66 |
| Nitrate | 0.91 | 0.83 | 0.99 | 0.66 | 1.06 | 0.92 | 1.42 | 0.91 |
| Phosphate | 0.13 | 0.05 | 0.10 | 0.12 | 0.08 | 0.14 | 1.13 | 0.21 |

Table 3. The average and standard deviation of the measured data- 2015

یا غلظت، Q ، دبی جریان، Γ ، ضریب پخش، A ، سطح مقطع عرضی و S ، جمله‌ی چشمه یا چاه می‌باشد. فرایند مدل‌سازی کیفی آب در مدل HEC-RAS در شکل (۳) نشان داده شده است. در این فرایند $OrgN$ نیتروژن آلی، NH_4 نیتروژن آمونیاکی، NO_3 نیتروژن نیتراتی، $OrgP$ فسفر آلی، TIP کل فسفر غیر آلی، $CBOD$ اکسیژن مورد نیاز شیمیایی کربناتی و DO اکسیژن محلول می‌باشد. در تحقیق حاضر پارامترهای نیترات و ارتوفسفات مورد شبیه‌سازی قرار گرفتند.

شکل ۳. فرایندهای کیفیت آب و برهم‌کنش متغیرها در مدل کیفی HEC-RAS

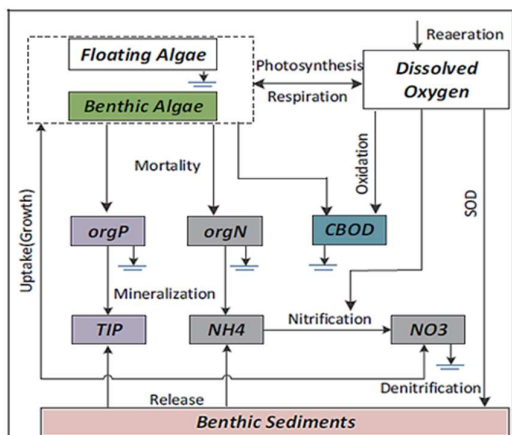


Fig. 3. Water quality processes and the interaction of variables in the HEC-RAS quality model

داده‌های ورودی به مدل

به منظور اجرای مدل به چهار دسته اطلاعات به شرح زیر به

معرفی مدل HEC-RAS

مدل HEC-RAS در مرکز مهندسی هیدرولوژی گروه مهندسی ارتش آمریکا توسعه داده شده است [20]. از جمله مهم‌ترین قابلیت‌های این مدل این است که به کاربر امکان انجام محاسبات هیدرولیک رودخانه در حالت جریان ماندگار و غیرماندگار را می‌دهد. علاوه بر این می‌توان فرایند تحلیل پخش سیلاب، محاسبه آبستگي در پای پل‌ها و انجام تحلیل‌های کیفیت آب و انتقال رسوب را نیز با مدل HEC-RAS انجام داد. در پخش کیفیت آب، این نرم‌افزار از روش عددی QUICKEST-ULTIMATE برای حل معادله انتقال یک‌بعدی استفاده می‌کند. همچنین نرم‌افزار HEC-RAS قادر به شبیه‌سازی متغیرهای کیفی همچون دمای آب، جزء پایدار، چرخه نیتروژن (نیتروژن نیتریتی، نیتروژن نیتراتی، نیتروژن آمونیاکی و نیتروژن آلی)، چرخه فسفر (آلی و محلول)، جلبک، اکسیژن خواهی بیوشیمیایی کربناتی و اکسیژن محلول می‌باشد. در ادامه فرایند حاکم بر نرم‌افزار HEC-RAS برای پارامترهای اکسیژن محلول و دما که در این تحقیق شبیه‌سازی شده‌اند، ارایه شده است. به طور کلی معادله جابه‌جایی-پخش یک‌بعدی حاکم بر مدل HEC-RAS به صورت رابطه ۱ می‌باشد.

$$\frac{\partial}{\partial t} (V\varphi) + \frac{\partial}{\partial t} (Q\varphi)x = + \frac{\partial}{\partial x} \left(\Gamma A \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right) x \pm S \quad (1)$$

که در این رابطه، V ، حجم سلول‌های محاسباتی، φ ، دمای آب

مدل معرفی شد.

که در سمت راست معادله فوق q_{sw} بیانگر شار تابش موج کوتاه، q_{atm} معرف تابش طول موج بلند اتمسفری، q_b معرف تابش طول موج بلند برگشتی، q_h معرف شار گرمای محسوس و q_1 معرف گرمای نهان تبخیر می‌باشد. دو جمله آخر در واقع همان شارهای سطحی می‌باشند که در آنها تابع باد به‌صورت رابطه ۴ مورد استفاده قرار می‌گیرد.

$$f(U) = R(a + bU^c) \quad (4)$$

در این رابطه $f(U)$ تابع باد، R تابعی از عدد ریچاردسون که تابعی از دمای هوا، دمای آب و سرعت باد می‌باشد و ضرایب a و b و c ضرایب کالیبراسیون هستند که در تابع سرعت باد به کار رفته‌اند. شارهای سطحی که شامل گرمای محسوس و نهفته می‌باشد هر دو شامل یک تابع باد تجربی هستند که با استفاده از ضرایب ذکر شده قابل تنظیم می‌باشد. هم‌چنین معادله به کار رفته برای نرخ تغییرات اکسیژن محلول در رابطه ۵ تعریف شده است و هر جمله مشخص کننده تولید یا مصرف اکسیژن می‌باشد.

$$\frac{do}{dt} = K_2(O^* - O) + (a_3\mu - a_4P)A - K_1L - \frac{K_4}{d} - a_5\beta_1N_1 - a_6\beta_2N_2 \quad (5)$$

در این رابطه، $K_2(O^* - O)$ بیانگر بازدمش، $(a_3\mu - a_4P)A$ معرف فتوسنتز و تنفس، K_1L معرف اکسیژن‌خواهی کربنه، $\frac{K_4}{d}$ معرف اکسیژن‌خواهی رسوب، $a_5\beta_1N_1$ معرف اکسیداسیون آمونیاک و $a_6\beta_2N_2$ معرف اکسیداسیون نیتريت می‌باشد.

آماره‌های ارزیابی

برای سنجش میزان اعتبار مدل از ویژگی آماری جذر مربعات خطا (RMSE) استفاده شد [21].

نتایج و بحث

تحلیل حساسیت مدل

هدف از تحلیل حساسیت مدل شناخت پارامترهایی می‌باشد که بیشترین اثر را روی متغیرهای کلیدی سیستم دارد. بدین طریق بر پارامترهای حساس مدل تمرکز یافته و تأکید بیشتری در تنظیم آنها صورت می‌گیرد. بنابراین از نتایج تحلیل حساسیت در بخش واسنجی مدل نیز استفاده می‌شود. در این

۱- **اطلاعات هندسی:** طرح شماتیک سیستم رودخانه، داده‌های مقاطع عرضی و داده‌های سازه‌های هیدرولیکی، ضریب زبری و داده‌های جریان و شرایط مرزی از جمله این دسته از اطلاعات می‌باشد که به مدل معرفی شدند.

۲- **اطلاعات هواشناسی:** این بخش شامل اطلاعاتی چون سری زمانی دمای هوا دمای نقطه شبنم، سرعت باد، رطوبت نسبی، ابرناکی و تابش خورشیدی می‌باشد و برای مدل‌کردن دمای آب از ورودی‌های ضروری هستند که با استفاده از داده‌های ایستگاه هواسنجی صفی‌آباد دزفول به مدل به صورت روزانه معرفی شده است.

۳- **اطلاعات اولیه کیفی:** پارامترهای کیفی رودخانه شامل نیتروژن نیتراتی، ارتوفسفات، اکسیژن محلول و دمای آب که پس از اندازه‌گیری به مدل معرفی شد. برای مدل‌سازی کیفی ابتدا باید شبیه‌سازی دمای آب انجام گیرد زیرا اکثر ثابت‌های نرخ واکنش‌ها در شبیه‌سازی مواد مغذی وابسته به دمای آب می‌باشند.

معادلات حاکم بر دمای آب رودخانه

دما از جمله مهم‌ترین متغیرهای کیفی می‌باشد که روی سایر پارامترهای کیفیت آب رودخانه تأثیرگذار است به طوری که هرچه دمای آب بالاتر باشد سرعت واکنش‌های شیمیایی در آب بیشتر می‌شود. در رابطه اصلی پخش-انتقال، جمله s یا چشمه/چاه برای پارامتر دما به‌صورت رابطه ۲ تعریف می‌شود:

$$HEAT_{source} / \sin k = \frac{q_{net} A_s}{P_w C_{pw} V} \quad (2)$$

در این رابطه q_{net} ، شار خالص حرارتی عبوری از سطح آب - هوا، A_s ، مساحت سلول‌های محاسباتی، p_w ، چگالی آب، C_{pw} ، ظرفیت گرمایی ویژه آب و v ، حجم سلول‌های محاسباتی می‌باشند. منبع نیز از جنس انرژی گرمایی می‌باشد. رابطه کلی حاکم بر شار خالص گرمای سطحی در مدل HEC-RAS به صورت رابطه ۳ می‌باشد.

$$q_{net} = q_{sw} + q_{atm} - q_b + q_h - q_1 \quad (3)$$

شکل ۶. تحلیل حساسیت متغیر کیفی دمای آب نسبت به پارامتر "c" - فروردین ماه ۱۳۹۲

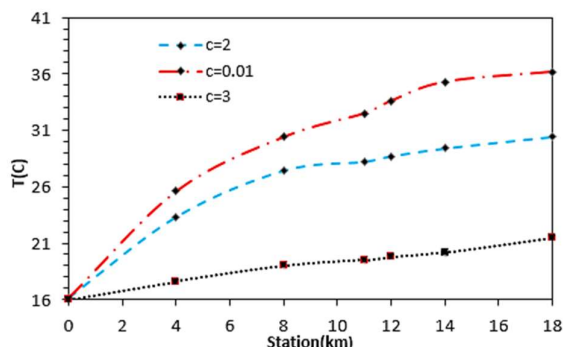


Fig. 6. Sensitivity analysis for the water temperature-"c" parameter-April 2013

ضرایب موثر در تحلیل حساسیت متغیر اکسیژن محلول

از متغیرهای بسیار مهم در بین سایر پارامترهای کیفیت آب متغیر اکسیژن محلول می‌باشد و غلظت اکسیژن محلول به طور مستقیم با سایر متغیرهای کیفی از جمله دمای آب وابسته است. در این بخش از تحلیل حساسیت مدل شبیه‌سازی برای فروردین ماه صورت گرفته است. یکی از ضرایب مهم مورد استفاده در مدل HEC-RAS ضریب k_2 یا ضریب اکسیژن خواهی می‌باشد. این ضریب در معادله مربوط به اکسیژن محلول به کار رفته است. همان‌طور که در شکل (۷) نشان داده شده است. افزایش یا کاهش در مقادیر این ضریب، در نمودار مربوط به اکسیژن محلول تغییراتی را ایجاد می‌کند. افزایش این ضریب باعث ایجاد افزایش در اکسیژن محلول و کاهش آن باعث ایجاد کاهش در اکسیژن محلول می‌شود.

یکی دیگر از ضرایب مهم مورد استفاده در مدل ضریب k_4 یا ضریب اکسیژن خواهی رسوب می‌باشد. این ضریب در معادله مربوط به اکسیژن محلول به کار رفته است همان‌طور که در شکل (۸) نشان داده شده است. به طور مشابه افزایش یا کاهش در مقادیر این ضریب، در نمودار مربوط به اکسیژن محلول تغییراتی را ایجاد می‌کند. طبق تحلیل حساسیت صورت گرفته برای این ضرایب مشاهده می‌شود که با افزایش مقادیر این ضرایب باعث کاهش در مقدار اکسیژن محلول شده‌اند.

بخش نیز از داده‌های اندازه‌گیری شده برای فروردین ماه سال ۱۳۹۲ در تحلیل حساسیت مدل استفاده شده است.

ضرایب مؤثر بر تحلیل حساسیت متغیر دمای آب: ضرایب a, b و c از جمله پارامترهای مهم تاثیرگذار بر دمای آب به کار رفته در تابع باد می‌باشند که در معادله مربوط به شارهای گرمایی استفاده شده‌اند. همان‌طور که در نمودارهای (۴، ۵ و ۶) نشان داده شده است افزایش یا کاهش در مقادیر این ضرایب، در نمودار مربوط به دمای آب تغییراتی را ایجاد می‌کند. طبق تحلیل حساسیت صورت گرفته برای این ضرایب مشاهده می‌شود که با افزایش مقادیر این ضرایب دمای آب کاهش پیدا می‌کند.

شکل ۴. تحلیل حساسیت متغیر کیفی دمای آب نسبت به پارامتر a - فروردین ماه ۱۳۹۲

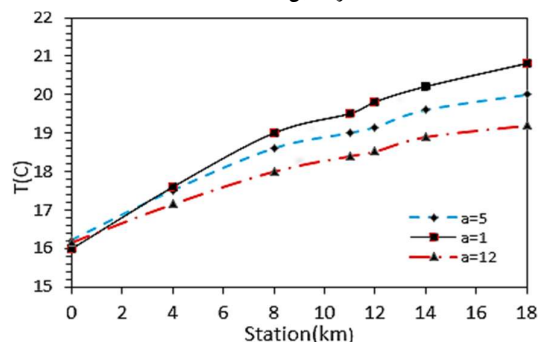


Fig. 4. Sensitivity analysis for the water "a" temperature-parameter - April 2013

شکل ۵. تحلیل حساسیت متغیر کیفی دمای آب نسبت به پارامتر b - فروردین ماه ۱۳۹۲

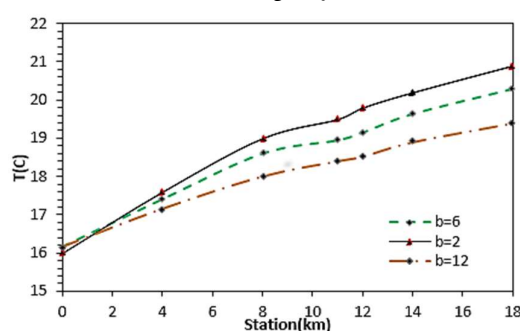


Fig. 5. Sensitivity analysis for the water temperature-"b" parameter - April 2013

اکسیژن محلول بی‌تأثیر است. این امر در فرایند کالیبراسیون مدل مورد استفاده قرار می‌گیرد به شکلی که فقط از پارامترهای موثر بر مدل در فرایند کالیبراسیون استفاده می‌شود

شکل ۹. تحلیل حساسیت متغیر کیفی اکسیژن محلول نسبت به پارامتر ضریب تضعیف غبار- فروردین ماه ۱۳۹۲

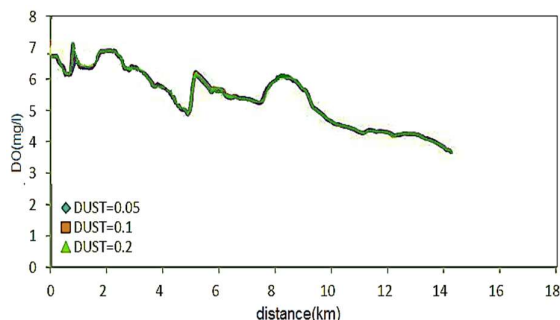


Fig. 9. Sensitivity analysis for the dissolved oxygen - dust coefficient - April 2013

شکل ۱۰. تحلیل حساسیت متغیر کیفی اکسیژن محلول نسبت به پارامتر ضریب ثابت پخش- فروردین ماه ۱۳۹۲

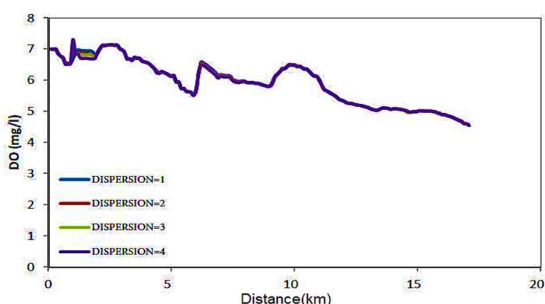


Fig. 10. Sensitivity analysis for the dissolved oxygen - Dispersion constant coefficient parameter - April 2013

کالیبراسیون مدل

در این مرحله پارامترهای انتخابی مدل به‌گونه‌ای تنظیم می‌شوند که خروجی مدل و مقادیر اندازه‌گیری شده در حد قابل قبول به هم نزدیک شوند. انجام فرآیند کالیبراسیون برای مدل مورد نظر صورت گرفته که در شکل (۱۱) نتایج حاصل شده برای پارامترهای کیفی دما و اکسیژن محلول، نیترات و فسفات ارائه شده است. نتایج حاصل از کالیبراسیون نشان‌دهنده انطباق قابل قبول داده‌های شبیه‌سازی با داده‌های مشاهداتی می‌باشد.

شکل ۷. تحلیل حساسیت متغیر کیفی اکسیژن محلول نسبت به پارامتر k_2 - فروردین ماه ۱۳۹۲

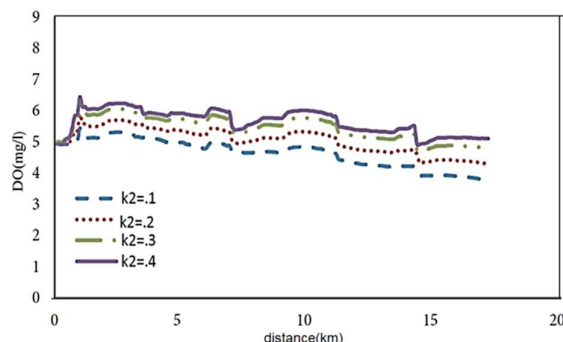


Fig. 7. Sensitivity Analysis for the dissolved oxygen - "k2" parameter-April 2013

شکل ۸. تحلیل حساسیت متغیر کیفی اکسیژن محلول نسبت به پارامتر k_4 - فروردین ماه ۱۳۹۲

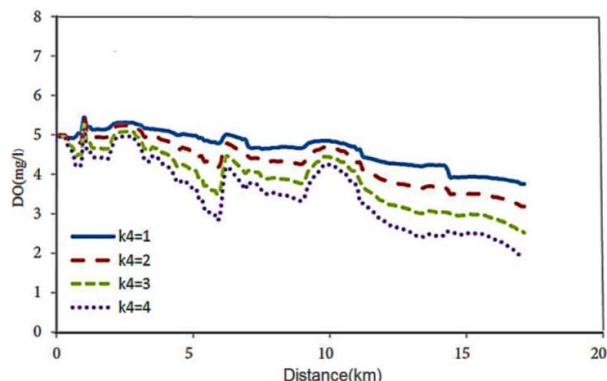


Fig. 8. Sensitivity analysis for the dissolved oxygen - the parameter "k4"-April 2013

از ضرایب دیگر در تحلیل حساسیت متغیر اکسیژن محلول، ضریب DUST یا ضریب تضعیف غبار و ضریب DISPERSION یا ضریب پراکتندگی طولی می‌باشند [22]. که همان‌طور که در اشکال (۹ و ۱۰) نیز مشخص است افزایش یا کاهش این پارامترها تغییرات محسوس را در نمودار مربوط به اکسیژن محلول ایجاد نمی‌کند.

با توجه به موارد ذکر شده از تحلیل حساسیت مدل می‌توان نتیجه گرفت که مدل نسبت به پارامترهای اکسیژن خواهی و ضرایب تابع سرعت باد حساسیت بیشتری دارد و همچنین مدل نسبت به پارامترهای ضریب پخش و ضریب غبار حساسیت کمتری دارد و تغییر این دو پارامتر در نمودار

شکل ۱۱. کالیبراسیون مدل برای متغیرهای دما، اکسیژن محلول، نیترات و فسفات- فروردین ماه ۱۳۹۲

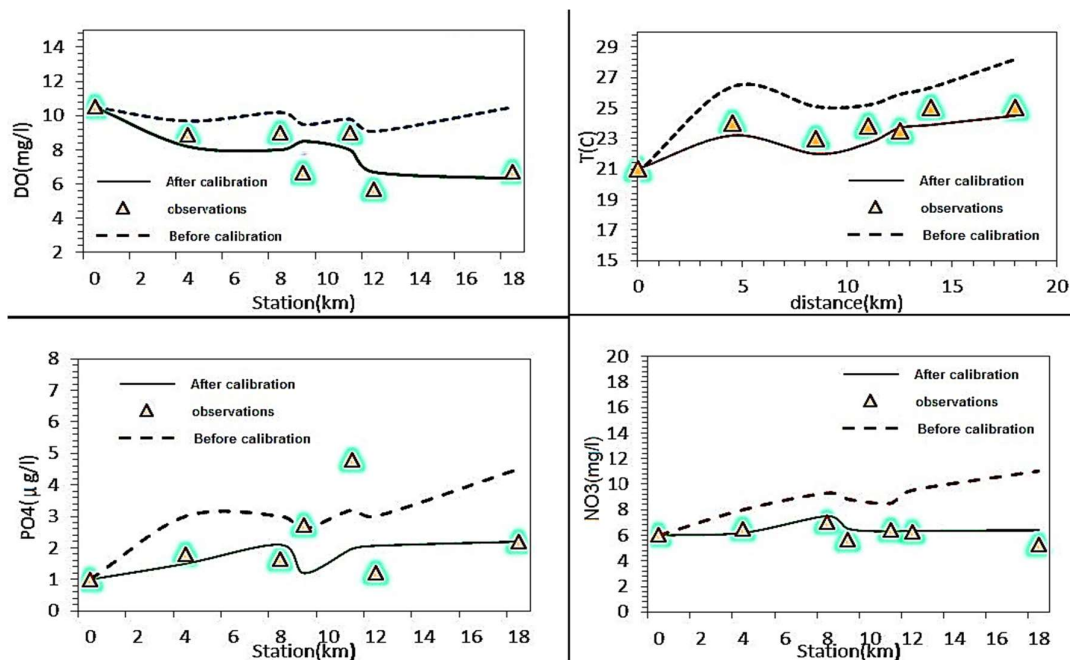


Fig. 11. Model calibration for temperature, dissolved oxygen, nitrate and phosphate variables-2013

جدول ۴. نتایج کالیبراسیون مدل

| Parameter | The default value in the model | Calibrated value | Parameter range |
|---|--------------------------------|------------------|-----------------|
| Water temperature calibration correction coefficients | | | |
| Dust Coefficient | 0.06 | 0.08 | 0.0-0.2 |
| Coefficient a | 1 | 9.5 | - |
| Coefficient b | 1 | 9.5 | - |
| Coefficient c | 1 | 0.01 | 0-3 |
| Correction coefficients of dissolved oxygen calibration | | | |
| Dust Coefficient | 0.06 | 0.08 | 0.0-0.2 |
| Coefficient K2 | 1 | 23 | 0-100 |
| Coefficient K4 | 1 | 80 | >0 |
| Dispersion Coefficient (m ² /s) | 1 | 100 | - |
| Nitrate and nitrite calibration correction coefficients | | | |
| Ammonium to nitrite Oxidation | 0.1 | 0.2 | 0.1-1 |
| Nitrate to nitrate Oxidation | 0.2 | 1.8 | 0.2-2 |
| Phosphate calibration correction coefficients | | | |
| Organic phosphorus to phosphate Oxidation | 0.01 | 0.15 | 0.01-0.7 |

Table 4. Model calibration results

پس از تحلیل حساسیت مدل و شناخت پارامترهای مؤثر، مقادیر ضرایب تأثیرگذار مورد استفاده در فرایند کالیبراسیون کیفی مدل برای پارامترهای دما، اکسیژن محلول، نیترات و فسفات در جدول (۴) ارائه شده‌اند.

در واقع ضرایب بیان شده در جدول بالا ضرایب تأثیرگذار در مدل می‌باشند که با تغییر در این ضرایب به نزدیک‌سازی نتایج شبیه‌سازی شده با مشاهداتی مبادرت شده است.

در جدول (۵) مقادیر خطای RMSE قبل و بعد از کالیبراسیون مدل برای پارامترهای مختلف کیفی ارائه شده است.

جدول ۵. مقادیر خطای RMSE قبل و بعد از کالیبراسیون

| Water quality variable | RMSE value before calibration | RMSE value after calibration |
|------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| Temperature | 1.94 | 0.29 |
| Dissolved oxygen | 1.20 | 0.67 |
| Nitrate | 0.86 | 0.25 |
| Phosphate | 1.06 | 0.67 |

Table 5. RMSE error values before and after calibration

که در شکل (۱۲) نتایج تأیید مدل نشان داده شده است. نتایج حاصل شده نیز نشان‌دهنده انطباق قابل قبول داده‌های شبیه‌سازی با داده‌های مشاهداتی می‌باشد. در واقع در هر دو مرحله کالیبراسیون و درستی‌آزمایی نتایج مدل با مشاهدات نزدیک بوده که نشان می‌دهد ضرایب کالیبراسیون به خوبی تخمین زده شده است.

در نهایت نتایج نهایی شبیه‌سازی در بازه زمانی مرداد ماه تا دی ماه سال ۱۳۹۴ برای پارامترهای کیفی مورد نظر در طول مسیر رودخانه در شکل ۱۳ به دست آمده‌اند. در واقع در این شکل پهنه‌بندی و وضعیت کیفی رودخانه در محدوده مورد مطالعه نشان داده شده است و نشان می‌دهد که از بالادست به سمت پایین‌دست رودخانه بر میزان آلاینده‌ها افزوده می‌شود و از علل آن می‌تواند ورود فاضلاب‌های شهری، روستایی، کشاورزی و رواناب سطحی باشد، به طوری که در بیشتر ماه‌های نمونه‌برداری غلظت اکسیژن محلول بالاتر از ۴ میلی‌گرم بر لیتر قرار دارد.

مقادیر شاخص نشان می‌دهد که تطابق قابل قبولی بین دو مجموعه از داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده وجود دارد. در واقع مقادیر RMSE هرچه به صفر نزدیک‌تر باشد مطلوب‌تر می‌باشد. بنابراین شبیه‌سازی در حد نسبتاً خوبی صورت گرفته و کمترین مقادیر RMSE به ترتیب مربوط به نیتрат، دمای آب، اکسیژن محلول و فسفات می‌باشد.

تأیید مدل

پس از کامل شدن فرایند کالیبراسیون باید قابلیت اعتماد مدل بررسی شود. در این مرحله شبیه‌سازی، ابتدا مدل کالیبره‌شده با یک مجموعه مستقل از داده‌هایی که اندازه‌گیری میدانی شده مقایسه می‌شود که این داده‌ها مجموعه‌ای به غیر از داده‌های کالیبراسیون می‌باشند و به‌طور مستقیم از رودخانه نمونه‌برداری و اندازه‌گیری شده‌اند. در رودخانه دز نیز به منظور تأیید مدل از داده‌های اندازه‌گیری شده که در این تحقیق از شهریورماه تا دی‌ماه سال ۱۳۹۴ در رودخانه صورت گرفت استفاده شد. هم‌چنین از داده‌های دما، اکسیژن محلول، نیترات و فسفات در طی مراحل مختلف تأیید مدل استفاده شد

شکل ۱۲. تأیید مدل برای متغیرهای دما، اکسیژن محلول، نیترات و فسفات - آبان ماه ۱۳۹۴

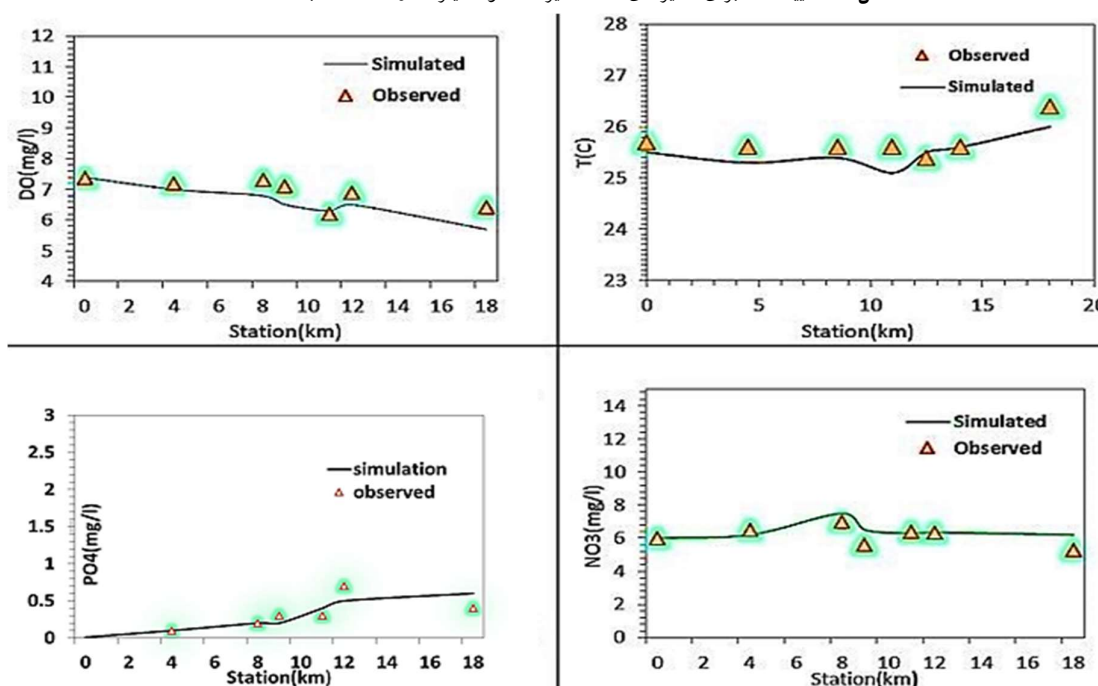


Fig. 12. Model confirmation for temperature, dissolved oxygen, nitrate and phosphate variables-2015

شکل ۱۳. پهنه بندی و وضعیت کیفی متغیرها در طول رودخانه بعد از شبیه سازی

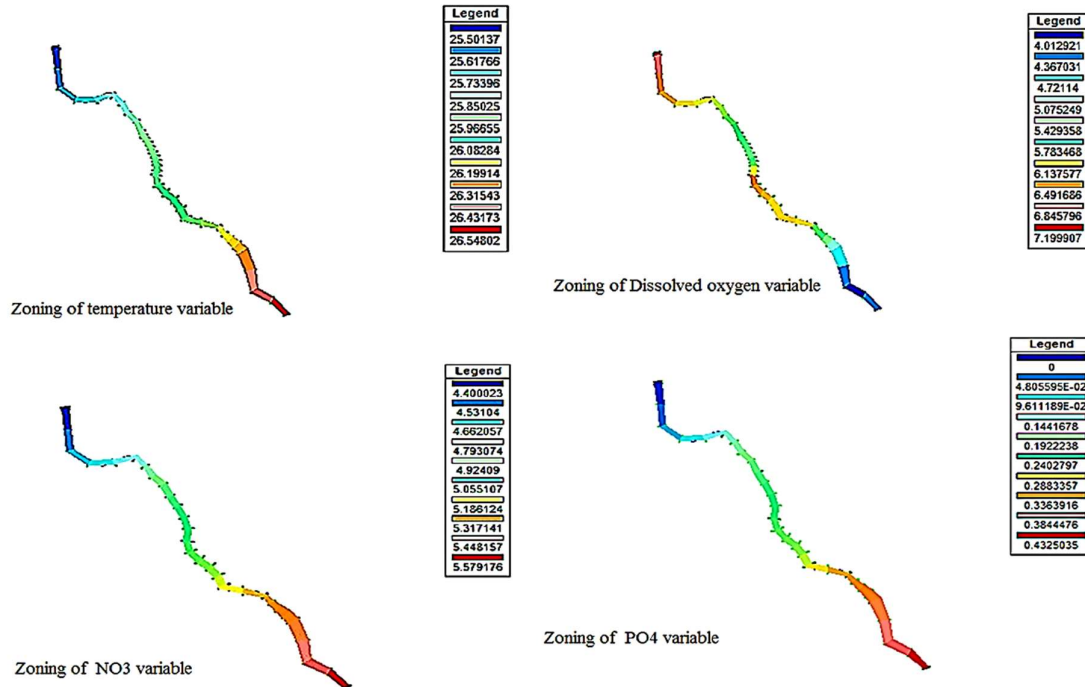


Fig. 13. Zoning and qualitative status of variables in River after simulation

ثانیه می باشد. با توجه به نتایج شبیه سازی مطابق جدول (۸) به طور متوسط در تمامی ایستگاه ها با افزایش یافتن دبی به میزان ۷۰ مترمکعب بر ثانیه شاهد افزایش DO به میزان ۰/۹-۰/۵ میلی گرم بر لیتر، کاهش میزان نیترات بین ۰/۰۴ تا ۶ میلی گرم بر لیتر، کاهش فسفات تا ۰/۳ میلی گرم بر لیتر و کاهش ۱ تا ۱ درجه دمای آب خواهیم بود که نشان از تاثیرگذاری مقدار دبی رودخانه بر میزان متغیرهای نیترات و فسفات که عامل اصلی در ایجاد پدیده تغذیه گرایبی و رشد جلبک ها هستند می باشد. درحالی که استاندارد EPA مشخص نموده است که غلظت های بیشتر از ۰/۲ میلی گرم بر لیتر نیترژن برای تشدید رشد جلبک ها کافی است؛ و معمولاً فسفر به مقدار ۱ تا ۰/۱ میلی گرم در لیتر برای تسریع پدیده تغذیه گرایبی کافی است؛ افزایش آبدهی رودخانه در مقطعی از سال به ویژه در فصول گرم تأثیر زیادی در کاهش میزان غلظت مواد مغذی در رودخانه دارد. میزان متغیرها بر حسب نتایج شبیه سازی با دبی پایه موجود و افزایش دبی در جداول (۶، ۷ و ۸) ارائه شده است.

برنامه مدیریتی

به منظور هرچه هدفمندتر شدن مدل سازی کیفی رودخانه دز با مدل HEC-RAS و پیشگویی روند خودپالایی و رشد جلبک و تعیین میزان غلظت پارامترهای کیفی در طی مسیر بر اثر تغییرات کیفی گوناگون در بارهای آلودگی وارد شده به رودخانه یک سناریو طراحی و به شرح زیر بررسی شده است.

برنامه افزایش دبی: یکی از روش های مناسب برای بهبود کیفیت رودخانه، افزایش دبی رودخانه می باشد. از آنجا که محدوده مورد مطالعه در پایین دست سد مخزنی دز واقع شده است، چنانچه بتوان در مقطعی از زمان که غلظت مواد آلاینده در آب از حد متعارف فراتر می رود دبی رودخانه را افزایش داد، از یک سو به دلیل افزایش انحلال اکسیژن محلول و نیز فرایند رقیق سازی، توان خودپالایی رودخانه افزایش و غلظت مواد مغذی به میزان قابل توجهی کاهش پیدا می کند. که خود منجر به کاهش آلودگی آب رودخانه می شود. با توجه به میزان متوسط دبی های اندازه گیری شده در در ایستگاه های آب سنجی دبی در دوره شبیه سازی در مدل مقدار ۱۸۰ متر مکعب بر

جدول ۶. میزان متغیرها با دبی موجود

| Variable | Cham Gulak village upstream | The fourth bridge | Dolat park | Army refinery | Floating bridge | The fifth bridge | Refinery output |
|------------|-----------------------------|-------------------|------------|---------------|-----------------|------------------|-----------------|
| T (C) | 18 | 18.68 | 19.2 | 19.3 | 19.4 | 19.7 | 20.2 |
| DO (mg/L) | 10.4 | 8.2 | 7 | 7.3 | 7.2 | 6.56 | 6.3 |
| NO3 (mg/L) | 6 | 6.1 | 6.2 | 6.2 | 6.3 | 6.3 | 6.4 |
| PO4 (mg/L) | 0 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.5 | 1.2 | 0.4 |

Table 6. Variables with observed flow

جدول ۷. میزان متغیرها با افزایش دبی رودخانه

| Variable | Cham Gulak village upstream | The fourth bridge | Dolat park | Army refinery | Floating bridge | The fifth bridge | Refinery output |
|------------|-----------------------------|-------------------|------------|---------------|-----------------|------------------|-----------------|
| T (C) | 18 | 18.5 | 18.9 | 19 | 19.2 | 19.4 | 19.7 |
| DO (mg/L) | 10.4 | 8.47 | 7.5 | 7.65 | 7.55 | 7 | 6.8 |
| NO3 (mg/L) | 6 | 5.6 | 5.5 | 5.1 | 6.1 | 6.20 | 6.10 |
| PO4 (mg/L) | 0 | 0.07 | 0.16 | 0.27 | 0.46 | 0.09 | 0.36 |

Table 7. The amount of variables with increasing in river discharge

جدول ۸. چگونگی و دامنه تغییر متغیرهای کیفی پس از شبیه‌سازی با افزایش دبی رودخانه

| Qualitative variable | Unit | Increase | Decrease | Increase or decrease amount |
|----------------------|------|----------|----------|-----------------------------|
| Temperature | °C | | ✓ | 0/5-1 |
| Dissolved oxygen | mg/L | ✓ | | 0/5-0/8 |
| Nitrate | mg/L | | ✓ | 0/4-6 |
| Phosphate | mg/L | | ✓ | 0-0/3 |

Table 8. Trend and range of variations of variables after simulation with increasing river discharge

نتیجه‌گیری

شبیه‌سازی کیفی رودخانه برای اولین بار با استفاده از مدل HEC-RAS انجام شد. در مرحله بعد، پس از آنالیز حساسیت و شناسایی ضرایب تأثیر گذار بر نتایج مدل‌سازی اقدام به کالیبراسیون مدل شد. نتایج تغییرات غلظت نیترات و فسفات در طول یک دوره شبیه‌سازی در مسیر رودخانه نشان داد که بر میزان غلظت فسفات و نیترات از بالادست به سمت پایین‌دست رودخانه افزوده می‌شود. همچنین نتایج شبیه‌سازی برای متغیر اکسیژن محلول نشان می‌دهد در بیشتر ماه‌های نمونه‌برداری غلظت اکسیژن محلول بالاتر از ۴ میلی‌گرم بر لیتر قرار دارد. پارامترهای مد نظر این پژوهش شامل پارامتر کمی دبی و پارامترهای کیفی با دقت مناسبی شبیه‌سازی شدند و نتایج نشان دهنده انطباق قابل قبول داده‌های شبیه‌سازی شده با داده‌های مشاهداتی بود و در هر دو مرحله کالیبراسیون و تایید مدل نتایج مدل با مشاهدات نزدیک بوده که نشان می‌دهد ضرایب کالیبراسیون به خوبی تخمین زده شده است.

رودخانه دز که این روزها به مکانی برای تخلیه فاضلاب شهری تبدیل شده یکی از نقاطی است که فراز و فرودش به زندگی و امید مردم دزفول و شمال خوزستان ارتباط مستقیم داشته و لزوم حفاظت کیفی آن اهمیت بالایی دارد. نتایج کیفی به دست آمده بیانگر ورود آلودگی ناشی فاضلاب خانگی، هرز آب‌های کشاورزی، پساب‌های بهداشتی و صنعتی به داخل رودخانه از بالادست به سمت پایین‌دست می‌باشد و سبب نيزاری شدن بخش‌های زیادی از رودخانه در حاشیه ورودی منابع آلاینده‌ها و همین‌طور رشد بی‌رویه جلبک‌ها در رودخانه شده است. بنابراین این پژوهش به منظور آگاهی از روند تغییرات کیفیت آب رودخانه دز با استفاده از نرم افزار HEC-RAS انجام شد. از این‌رو پس از چندین مرحله نمونه‌برداری به منظور شبیه‌سازی پارامترهای اکسیژن محلول، دما، فسفات (PO4) و نیترات (NO3) در مسیر رودخانه،

اکسیژن محلول رودخانه در طول روز و کاهش آن‌ها در شب به منظور بررسی آن‌ها بر اکوسیستم رودخانه مفید خواهد بود.

تقدیر و تشکر

بدین وسیله نویسندگان مقاله از سازمان آب و برق خوزستان برای تأمین اطلاعات بخشی از پژوهش مراتب تقدیر و تشکر را تقدیم می‌نمایند.

مراجع

- [1] USEPA. 2007 Hypoxia in the Northern Gulf of Mexico: anupdate by the EPA Science Advisory Board. EPA-SAB-08-003. 333 pages
- [2] Bouraoui, F, Grizzetti B. 2008 An integrated modelling framework to estimate the fate of Application to the Loire (France). *Journal of ecological modelling* 212: 450-459
- [3] Lean D. 1973 Movement of Phosphorus between Its Biologically Important Forms Lake water, *J.Fish. Res. Bd. Can.* 30:1525-1536
- [4] Quiblier C. 2008 Christophe Leboulangerb, Seyni Sane'd, Philippe Dufourc, Phytoplankton growth control and risk of cyanobacterial blooms in the lower Senegal River delta region. *Water Research*, 42:1023 – 1034
- [5] Milan O. 2007 Correlations between several environmental factors affecting the bloom events of cyanobacteria in Liptovska Mara reservoir (Slovakia)- A simple regression model. *Ecological Modelling* 209: 412-416
- [6] Sickman J, Zanolli M, Mann H. 2007 Effects of Urbanization on Organic Carbon Loads in the Sacramento River, California. *Water Resource. Res.* 43, W11422, 1-15
- [7] Ford A. 1999 Modeling the environment (An Introduction to System Dynamics Models of Environmental Systems). ISLAND PRESS. 380 pages
- [8] Kayode O, Muthukrishna, V. 2018 Assessment of some existing water quality models. *Nature Environme.*
- [9] Vinçon-Leite B, Casenave C. 2019 Modelling eutrophication in lake ecosystems: A review. *Sci. Total Environ* 651, 2985-3001
- [10] Palival R, Sharma P, Kansal A. 2007 Water quality modelling of the river Yamuna (india) Using qual2E. *Journal Of Enviromental Management*, Vol. 83, pp.131-144
- [11] Fan C, Wang W, Schanz R. 2009 An innovative modeling approach using qual2K and HEC-RAS integration to assess the impact of tidal effect on River Water quality simulation. *Journals Environ Manage.* vol.64
- [12] Lai Y, Yang C, Surampalli R, Kao C. 2013, Development of a water quality modeling system for

به‌طور کلی نتایج این شبیه‌سازی‌ها بیانگر آلودگی آب از بالادست ایستگاه چم‌گلک تا پایین‌دست ایستگاه تصفیه‌خانه می‌باشد و از علل آن می‌توان ورود فاضلاب‌های شهری، روستایی و کشاورزی باشد. برای مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل با مقادیر اندازه‌گیری شده از شاخص آماری جذر مربعات خطا (RMSE) استفاده شود و نتایج نشان داد که دقت شبیه‌سازی مطلوب می‌باشد و مقدار آن برای پارامترهای نیترات، دمای آب، اکسیژن محلول و فسفات به ترتیب برابر ۰.۲۵، ۰.۲۹، ۰.۶۷ و ۰.۶۷ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. در ادامه مدل‌سازی برای تعیین میزان غلظت پارامترهای کیفی در طی مسیر بر اثر تغییرات کیفی گوناگون رودخانه، سناریوی افزایش دبی بررسی شد. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که در این سناریو شاهد افزایش DO به میزان ۰/۷-۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر، کاهش میزان نیترات تا ۶ میلی‌گرم بر لیتر، کاهش فسفات تا ۳/۳ میلی‌گرم بر لیتر خواهیم بود که نشان از تاثیرگذاری مقدار دبی رودخانه بر میزان متغیرهای نیترات و فسفات که عامل اصلی در ایجاد پدیده تغذیه‌گرایی و رشد جلبکها هستند می‌باشد. بنابراین افزایش آبدهی رودخانه در مقاطعی از سال به ویژه در فصول گرم تأثیر زیادی در کاهش میزان غلظت مواد مغذی در رودخانه دارد. نتایج حاصل از مدل تا حدود زیادی گویای شرایط واقعی رودخانه می‌باشد که این امر نشان دهنده توانا بودن مدل HEC-RAS در شبیه‌سازی تغذیه‌گرایی است. از راهکارهای زیست‌محیطی نیز به منظور حفظ کیفیت آب رودخانه دز در طول مسیر می‌توان به ساماندهی فاضلاب کوی زیباشهر دزفول، فاضلاب شهر چم‌گلک، هدایت فاضلاب کوی حافظ و ورودی فاضلاب شهری زیر پل پنجم به شبکه فاضلاب شهری دزفول، پاکسازی و لایروبی مناطق بحرانی رشد جلبک‌ها و رهاسازی دبی خروجی مطابق حق آبه رودخانه دز اشاره کرد. از طرفی دیگر با توجه به رشد جلبک‌ها که از بستر رودخانه شکوفا می‌شوند پیشنهاد می‌شود به بررسی کیفیت رسوبات رودخانه دز پرداخته شود. همچنین بررسی نقش رسوبات در فعل و انفعالات رودخانه و مطالعه تنوع پلانکتون‌ها، رشد، روند تغییرات و شکوفایی آن‌ها و تعیین درصد جلبک و فیتوپلانکتون و نقش آن‌ها در تأمین

Management. *Journal of Health Pollut.* 2020 Dec; 10(28): 201207

[18] Saghafi B, Hassaniz A, Noori R, and Bustos M.G. 2009 Artificial neural networks and regression analysis for predicting faulting in jointed concrete pavements considering base condition. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 2(1), pp.20-25

[19] Yazdizadeh R. 2012 Zoning of Physicochemical and Bacterial Properties in Dez River Using Geographic Information System (GIS), (Case study: Dezful), Iran. MSc Thesis, Islamic Azad University Science and Research Branch of Khuzestan, 222 pages (in Persian)

[20] Us Army Corps of Engineers, User Manual HEC-RAS (2010) Version 4.1.0.790 pages

[21] Noori R, Karbassi A, Ashrafi K, Ardestani M, Mehrdadi N. and Nabi Bidhendi G R, 2012. Active and online prediction of BOD 5 in river systems using reduced-order support vector machine. *Environmental Earth Sciences*, 67, pp.141-149

river pollution index and suspended solid loading evaluation. *Journal of Hydrology* 478: 89–101

[13] Mehrasbi M, Farahmand Kia Z. 2015 Water Quality Modeling and Evaluation of Nutrient Control Strategies Using QUAL2K in the Small Rivers. *Journal of Huoman, Environment and Health Promotion*. 1(1):1-10

[14] Rallapalli S, Singh A. 2018 An integrated fuzzy-based advanced eutrophication simulation model to develop the best management scenarios for a river basin, *Environmental Science and Pollution Research* volume 25, pages9012–9039

[15] Saha M, Madani M, Tirupati B. 2020 "Microbial Water Quality Modelling of the Detroit River. *Civil and Environmental Engineering*. Electronic Theses and Dissertations. 8394.1214

[16] Aleksandra Z, Magdalena K. 2021 Modeling and Monitoring of Hydrodynamics and Surface Water Quality in the Sulejów Dam Reservoir, Poland.

[17] Izni Z, Geoffrey W, Katherine B, Felix K. 2020 Water Quality Modelling for River Activities

Water Quality Monitoring and Eutrophication Simulation of Dez River

Sina jahanimehr¹, Mohammad Zakermoshfegh^{2*}, Babak Lashkarara², Farhad Gholinezhad³

1. M.Sc. Graduate of River Engineering, Jundi-Shapur University of Technology, Dezful, Iran
2. Civil Engineering Department, Jundi-Shapur University of Technology, Dezful, Iran
3. Environmental Protection Office of Khuzestan Province.

Email: moshfegh@jsu.ac.ir.

Abstract:

The biological response to high concentrations of nutrients such as phosphorus and nitrogen in a river is called eutrophication in water-resources engineering. Due to increasing withdrawals of water, successive dry years, and the discharge of urban, industrial, and agricultural wastewater into the Dez River, the quality of the river is being threatened. In this research, for the purpose of field monitoring and then simulating the eutrophication of Dez river, eight monitoring stations were selected considering the way pollutants enter the river. A number of water quality variables, including dissolved oxygen and water temperature, were measured directly by the portable device, while phosphate and nitrate variables were measured through sampling and laboratory tests. Then, the water quality simulation of the river with 18 Km of length was conducted by the HEC-RAS model. A comparison was made between the simulation results and the observed data, in which parameters including dissolved oxygen, temperature, nitrate, and phosphate were in good agreement with the observed data. And the statistical value (RMSE) for the parameters of nitrate, water temperature, dissolved oxygen and phosphate is 0.25, 0.29, 0.67 and 0.67 mg/liter, respectively. To measure the accuracy of the model, the root mean square error (RMSE) statistical function was used. The results of the sensitivity analysis showed that the amount of dissolved oxygen is more sensitive to the parameters of oxygen demand and wind speed function coefficients, and also the model is less sensitive to the parameters of diffusion coefficient and dust coefficient, and the change of these two parameters has no effect on the dissolved oxygen graph. This was used in the model calibration process so that only parameters affecting the model were used in the calibration process. The results showed that the variables of nitrate, water temperature, dissolved oxygen and phosphate were modeled with appropriate accuracy. Also, the results of the model confirmation show the acceptable compatibility of the simulated and observed values. After the model Sensitivity analysis, calibration and validation, it was used to simulate the river's response to the nutrition reduction scenario, which involved the impact of the discharge increasing on the concentration reduction of nutrition in the river.

The results of nitrate and phosphate concentration changes during the simulation period in the river course showed that the amount of phosphate and nitrate concentration increases from the upstream to the downstream of the river. Also, the simulation results for the dissolved oxygen variable show that in most of the sampling months, the concentration of dissolved oxygen is higher than 4 mg/l.

The simulation results showed that in the scenario of discharge increasing, the nutrition concentration reduced significantly. On average, in all the stations, with the increase of the flow, there is an increase in DO by 0.5-0.9 mg/l, a decrease in nitrate between 0.4 and 6 mg/l, and a decrease in phosphate by 3 0.0 mg/l and a decrease of 0.5 to 1 degree in water temperature. This shows the impact of this scenario on the amount of nitrate and phosphate variables, which are the main factors in creating the phenomenon of eutrophication and algal growth.

Keywords: Water Quality Monitoring, Eutrophication Simulation, HEC-RAS, Dez River.