

Qualitative Simulation of Nitrate and Phosphate along the Dez River using QUAL2KW Model

MARYAM ZALLAGHI¹, ALI AFROUS^{1*}

1. Department of Water Engineering, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran.
(Received: May. 11, 2019- Revised: June. 1, 2019- Accepted: June. 10, 2019)

ABSTRACT

Various wastewaters such as household, industrial and agricultural wastes are entered along the Dez River from different locations. Regarding the water scarcity crisis, a comprehensive study on quantitative and qualitative pollution and using management tools such as mathematical and computer models is needed to predict water quality of this river and to prevent its further pollution. In this research, the qualitative QUAL2K model was used for simulation of NO_3^- , PO_4^{3-} parameters at seven stations; Chamgolak, Dolat park, third bridge, new bridge, floating bridge, fifth bridge and Gavmishabad. The calibration and prediction of the model was done using quality parameters of the river and other information obtained from the field studies. Also, root mean absolute error (MAE) and coefficient variation (CV) were used to validate the model by comparing the observation and prediction data. The results of the model represent the real conditions of the river to an acceptable level, which indicates the ability of the Qual2kw model for simulation of the quality parameters. Most of the river pollution is caused by urban sewage. According to the results, PO_4^{3-} parameter during the studied period is considered to be threaten to aquatic life. But, according to water quality standard for agricultural use, there is no limitation for Dez River. The low discharge at the river downstream and the high loading of pollutants have increased the concentration of water quality parameters. According to the results of the EF, MAE and CV parameters, the model had the best fit for water nitrate.

Key words: Dez river, water quality, NO_3^- , PO_4^{3-} and Qual2kw.

شبیه‌سازی کیفی نیترات و فسفات در طول رودخانه دز با استفاده از مدل QUAL2KW

مریم زلفی^۱ و علی افروس^{۱*}

۱. گروه مهندسی آب، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران.
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۲/۲۱ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۳/۱۱ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۳/۲۰)

چکیده

رودخانه دز در مسیر جریان خود محل ورود و تخلیه فاضلاب‌های خانگی، پساب‌های صنعتی و کشاورزی بسیاری است. با توجه به بحران کمبود آب، انجام تحقیقاتی جامع پیرامون آلودگی‌های آن از لحاظ کمی و کیفی و استفاده از ابزارهای مدیریتی همچون مدل‌های ریاضی و کامپیوتری به منظور پیش‌بینی وضعیت کیفی آب این رودخانه و پیش‌گیری از آلودگی فزاینده آن امری ضروری به نظر می‌رسد. در این تحقیق از مدل کیفی Qual2kw جهت شبیه‌سازی پارامترهای کیفی NO_3^- و PO_4^{3-} در هفت ایستگاه چمگلک، پارک دولت، پل سوم، پل جدید، پل شناور، پل پنجم و گاومیش‌آباد استفاده شده است. از مقادیر پارامترهای کیفی رودخانه و سایر اطلاعات به دست آمده از مطالعات صحرایی جهت واسنجی و پیش‌بینی مدل استفاده گردیده است. همچنین برای تعیین اعتبار مدل و مقایسه داده‌های مشاهداتی از (MAE) و (CV) استفاده گردید. نتایج حاصل از مدل تا حدود زیادی گویای شرایط واقعی رودخانه می‌باشد که این امر نشان دهنده توانا بودن مدل Qual2kw در شبیه‌سازی پارامترهای کیفی است. عمده آلودگی رودخانه دز از فاضلاب‌های شهری می‌باشد. با توجه به نتایج، پارامتر PO_4^{3-} در بازه مورد مطالعه در محدوده ورود فاضلاب‌ها به رودخانه دز عامل تهدیدکننده‌ای برای حیات آبریان محسوب می‌شود. براساس استاندارد کیفیت آب برای کاربری کشاورزی در طی دوره نمونه‌برداری، هیچ‌گونه محدودیتی در بازه مورد مطالعه، رودخانه دز را تهدید نمی‌کند. پایین بودن دبی در پایین دست رودخانه دز و بارگذاری بالای آلاینده‌ها سبب افزایش غلظت پارامترهای کیفی آب بوده است. با توجه به نتایج پارامترهای EF، MAE و CV، مدل بهترین انطباق را برای پارامتر نیترات داشته است.

واژه‌های کلیدی: رودخانه دز، کیفیت آب، نیترات، فسفات، Qual2kw

مقدمه

تجزیه و تحلیل عدم قطعیت را در فرآیند آن فراهم می‌کند و دارای برخی از ویژگی‌ها مانند: نرم‌افزار عمومی، کاربر پسند، ارتقاءهای مکرر و مواد مستند کامل است که آن را به‌طور گسترده مورد آزمایش و استفاده قرار می‌دهد (Sharma and Kannel *et al.* 2007; Kannel *et al.* 2013)؛ بنابراین به منظور بررسی ویژگی‌های کیفی رودخانه، در نظر گرفتن پارامترهایی که بیشترین تأثیر را در فرآیند خودپالایی رودخانه دارند و با توجه به محدودیت‌های زمانی و مکانی و شیوه مدل‌سازی که بیان‌کننده ویژگی‌های دیگر پارامترهای کیفی آب باشند، ضرورت می‌یابد (Vanaei *et al.* 2018). Cristea and Burges (2010) از مدل Qual2kw به منظور شبیه‌سازی کمینه و بیشینه دمای آب در سه رودخانه کشور آمریکا استفاده کردند. هدف اصلی از این شبیه‌سازی، بررسی اثر پوشش گیاهی اطراف رودخانه بر دمای آب در طی چند دهه آینده بوده است. آن‌ها پس از بررسی احتمال‌های مختلف، افزایش

مدل‌های ریاضی معمولاً برای پیش‌بینی تغییرات پارامترهای فیزیکی-شیمیایی و بیولوژیکی کیفیت آب، به علت تخلیه‌ها محل ورود منابع نقطه‌ای یا غیرنقطه‌ای، استفاده می‌شوند (Aras *et al.*, 2007). راه‌حل‌های ریاضی با کمک فن‌آوری رایانه به منظور کاهش زمان لازم برای راه‌حل عددی، یک ابزار موثر است (Ismail and Robescu, 2015). در نتیجه، فناوری رایانه به پیشرفت چشم‌گیری در زمینه مدل‌سازی کیفیت آب منجر شده است. بسیاری از مدل‌های کامپیوتری کیفیت آب توسط نهادها و سازمان‌های مختلف توسعه یافته است (Kannel *et al.* 2011). در این زمینه، مدل کامپیوتری (QUAL2K) برای شبیه‌سازی کیفیت آب رودخانه‌دز انتخاب شد. QUAL2K یک مدل کیفیک بعدی و حالت پایدار رودخانه و جریان آب است که توسط چاپرا^۱ و پلیتیر^۲ توسعه داده شده است (Chapra and Pelletire, 2003). این مدل ابزارهای

*نویسنده مسئول: ali.afrous@gmail.com

نرم افزار Qual2k استفاده کردند. یافته آنها حاکی از آن بود که وجود پل‌ها و تاسیسات آب‌بند مانند بندامیر، پل رحمت‌آباد و بند حسن‌آباد می‌تواند باعث افزایش تلاطم و افزایش هوادهی و قدرت خودپالایی رودخانه کر و در نتیجه افزایش میزان اکسیژن محلول در آن شود. (Khub et al. (2017) به منظور تعیین سهم رودخانه‌های ورودی به رودخانه قزل‌اوزن در محدوده‌ی استان زنجان با استفاده از نرم‌افزار عددی QUAL2K به بررسی کیفی (شوری) رودخانه پرداختند. نتایج شبیه‌سازی حاکی از این بود که چهار بازه از مسیر رودخانه قزل‌اوزن در محدوده‌ی طرح در استان زنجان سبب افزایش چشمگیر شوری گردیده‌اند. همچنین، براساس نتایج نمونه‌برداری در سه دوره، گورانی با ۲۸/۶ درصد بار آلودگی بیشترین سهم را در میان رودخانه‌های فرعی دارا می‌باشد؛ چسب با ۰/۳ درصد بار آلودگی کمترین سهم را داراست. Ismail and Robescu (2017) در تحقیقی با هدف بررسی قابلیت استفاده از مدل Qual2k برای شبیه‌سازی کیفیت آب رودخانه بزرگ دانوب پرداختند. خروجی مدل نشان داد که نتایج کالیبراسیون و اعتبارسنجی با مقادیر مشاهده شده (با برخی موارد استثنایی) مطابقت دارد. اگر چه QUAL2K یک مدل ثابت یک بعدی است، نتایج شبیه‌سازی شده با گزارش‌های فنی قبلی سازگار است. بنابراین، می‌تواند به عنوان یک ابزار مناسب برای شبیه‌سازی کیفیت آب در رودخانه‌های بزرگ استفاده شود. Chaudhary et al. (2017) در تحقیقی به منظور شبیه‌سازی بهتر ویژگی‌های کیفیت آب رودخانه با استفاده از یک مدل کیفیت آب مبتنی بر شبکه Qual2k و MATLAB به یک پلت‌فرم محاسباتی به منظور تسهیل برآورد پارامترهای مدل بهینه‌سازی میانگین‌وزنی دست یافتند. آنها رودخانه یامونا را به عنوان بخشی از دهلی‌نو به عنوان رودخانه مورد مطالعه انتخاب کردند. متغیرهای مشاهداتی کیفیت آب، اکسیژن محلول و اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی برای کالیبراسیون و صحت‌سنجی مدل Qual2k استفاده شدند. نتایج آنها نشان داد که این روش نسبت به روش‌های کالیبراسیون مورد استفاده در منطقه مورد مطالعه کاربردی‌تر می‌باشد. با استفاده از این مدل برای پیش‌بینی کیفیت آب، می‌توان راهبردهای مدرن مدیریت آب را توسعه داد که می‌تواند به بهبود کیفیت آب در منطقه کمک کند. از جمله توانایی‌های مدل این است که علاوه بر شبیه‌سازی یک بعدی جریان در حالت ماندگار و غیریک‌نواخت، می‌تواند ترکیبی از شاخه‌های اصلی و فرعی رودخانه و عواملی چون تخلیه فاضلاب‌ها و همچنین جریان‌های افزایشی را در

پوشش گیاهی در امتداد رودخانه به منظور حفظ حیات آبریان را پیشنهاد دادند. (Oliveir et al. (2011) به ارزیابی کاربرد مدل کیفیت آب Qual2kw برای حوضه رودخانه‌های کوچک و رودخانه سرتیما^۱ در کشور پرتغال به بارگذاری‌های متفاوت نیتروژن و فسفر با کمک این مدل پرداختند. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که برای کاهش واقعی آلودگی‌های حاصل از بارگذاری نیتروژن و فسفر به ترتیب ۵ و ۱۰ دوره لازم است تا این رودخانه از یوتروفیک^۲ به مزوفیک^۳ تغییر کند.

(Vasudevan et al. (2011) برای شبیه‌سازی اکسیژن-محلول، نیترات، فسفر و BOD رودخانه یامانا دهلی از مدل Qual2k استفاده کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که با ورود بار آلاینده‌های نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای به رودخانه و در نظر گرفتن جریان پایدار، مدل به خوبی توانسته است حرکت آلاینده‌ها را شبیه‌سازی کند. (Ye et al. (2013) از مدل Qual2k برای شبیه‌سازی و ارزیابی کیفیت آب رودخانه لیاوه^۴ استفاده کردند. پارامترهای DO، BOD₅، نیتروژن آمونیاکی (NH₃-N) و فسفر کل به عنوان شاخص‌های کیفیت آب انتخاب شدند. نتایج شبیه‌سازی حاکی از آن بود که تجزیه و تحلیل عدم قطعیت بر اساس روش مونت‌کارلو توابع توزیع احتمال، به شبیه‌سازی چهار پارامتر شاخص کیفیت آب در طول رودخانه کمک کرده است. (BagherianMarzouni et al. (2014) از مدل Qual2k برای شبیه‌سازی DO و BOD رودخانه کارون در ایران استفاده کردند. ابتدا این مدل با داده‌های برداشت شده از این رودخانه کالیبره و اعتبارسنجی شد، سپس از این مدل برای گرفتن تصمیم‌های مدیریتی با استفاده از سناریوهای مختلف استفاده شد. نتایج این مطالعه نشان داد که با تغییر مکان ورود آلاینده‌ها به رودخانه، می‌توان از اثرات مخرب زیست‌محیطی آنها کاست. Zhang et al. (2016) با استفاده از مدل Qual2k به شبیه‌سازی کیفیت آب رودخانه وی^۵ در چین پرداختند. برای بررسی وضعیت آلودگی آب در حوضه رودخانه وی، پارامترهای COD، نیتروژن آمونیاک و فسفر کل به عنوان شاخص‌های پیش‌بینی کیفیت آب انتخاب شدند. نتایج شبیه‌سازی آنها نشان داد که غلظت پارامترهای پیش‌بینی شده با پارامترهای اندازه‌گیری شده تطابق خوبی دارد و خطاهای نسبی COD، نیتروژن آمونیاک و فسفر کل ۱۰٪ به دست آمد. (KhodamMohammadi and Boustani (2016) به منظور بررسی توان خودپالایی و نقش اکسیژن محلول در کیفیت آب رودخانه کر در پایین دست سد درودزن تا دریاچه طشک بختگاناز

می‌پیوندد. متوسط بارندگی آن بر اساس آمار ۱۴ ساله گذشته ۳۴۸ میلی‌متر می‌باشد. گرم‌ترین ماه سال مرداد با حداکثر مطلق ۵۳ درجه و متوسط ۳۶ درجه سانتی‌گراد و سردترین ماه سال دی با حداقل مطلق ۰/۹- و متوسط دمای ۱۱/۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

شناسایی منابع آلاینده

علت اصلی کاهش کیفیت آب‌های سطحی، ورود فاضلاب‌های شهری و خانگی، زائدات و رواناب‌های کشاورزی و صنعتی (اعم از آلی، غیرآلی و گرما) و پسماندهای جامد و نیمه‌جامد می‌باشد. فاضلاب روستای چمگلک به‌صورت نقطه‌ای در بالادست رودخانه و همین‌طور فاضلاب خروجی تصفیه‌خانه پادگان ارتش روبروی رودبند، فاضلاب‌های شهری به‌صورت نقطه‌ای در ساحل شرقی پایین‌دست پل پنجم و در محدوده پل قدیم به‌صورت غیرنقطه‌ای از ساحل غربی، فاضلاب خروجی از تصفیه‌خانه آب و فاضلاب شهرستان دزفول و همین‌طور فاضلاب روستای گاومیش‌آباد در پایین‌دست رودخانه شناسایی و از این نقاط نمونه‌برداری صورت گرفت.

حجم نمونه فاضلاب و پساب برداشت شده جهت آزمایشات فوق ۲ لیتر بود که از ظروف استریل استفاده شد. و نمونه‌ها جهت اندازه‌گیری پارامترهای فسفات و نیترژن نیتراتی در آزمایشگاه دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد دزفول اندازه‌گیری شدند. و سپس نتایج به‌دست آمده از اندازه‌گیری با استفاده از نرم‌افزار QUAL2K شبیه‌سازی شدند.

انتخاب ایستگاه‌های نمونه‌برداری

پس از تحقیق و مطالعه کتابخانه‌ای، معیارهای انتخاب ایستگاه‌های نمونه‌برداری شناسایی شد و سپس با استفاده از تحقیقات میدانی نقطه محل‌های ورود فاضلاب به رودخانه دز در حد فاصل بازه مورد مطالعه به‌صورت نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای به نحوی که نشان‌دهنده روند وضعیت کیفی آب در بالادست هر بازه باشد انتخاب گردیدند. به‌طوری‌که شرایط هیدرولوژیکی و توپوگرافی، تعداد و توزیع منابع آلاینده رودخانه‌ها، غلظت و بار آلودگی که در هر قسمت از رودخانه تخلیه می‌شود، مورد بررسی قرار گرفت. سپس، با به‌دست آوردن شناخت کلی، رودخانه به چند بازه متفاوت از نظر مشخصات هیدرولیکی، فیزیکی (شیب رودخانه، مقطع عرضی رودخانه، زبری و ...) و ضرایب واکنش‌ها (مانند هوادهی و هواگیری) تقسیم شد، به‌نحوی که در ابتدای هر بازه یک ایستگاه اندازه‌گیری قرار گرفت.

برگیرد (Chapra, 2007). در این تحقیق سعی گردید تا با آگاهی از روند تغییرات و پیش‌بینی کیفیت آب رودخانه دز، میزان فاضلاب ورودی به رودخانه بررسی و راه‌کارهایی برای بهبود کیفیت و کاهش بار آلاینده‌ها ارائه شود. هدف از این تحقیق شبیه‌سازی تغییرات کیفی آب رودخانه دز با کمک نرم‌افزار Qual2kw و تحلیل خودپالایی رودخانه در بازه چمگلک تا پایین-دست بند انحرافی (گاومیش‌آباد) می‌باشد. همچنین قابل ذکر است که تاکنون تحقیقی با استفاده از این مدل در رودخانه دز صورت نگرفته است، لذا نتایج این بررسی می‌تواند در تدوین برنامه کنترل بارگذاری مواد آلاینده برای رودخانه دز و کاربری‌های مشابه در سازمان‌های مربوط به کار گرفته شود. از طرفی پیش-بینی تغییرات آینده کیفی، منافی را متوجه بهره‌برداران خواهد کرد تا از تخریب کیفی رودخانه جلوگیری و مدیریت آب منطقه با مشکل روبرو نشود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

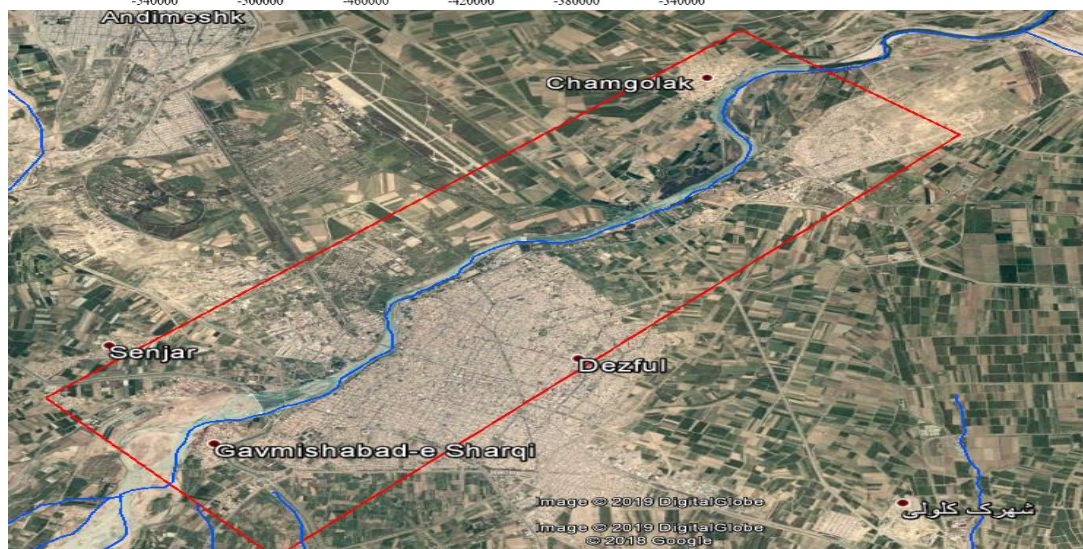
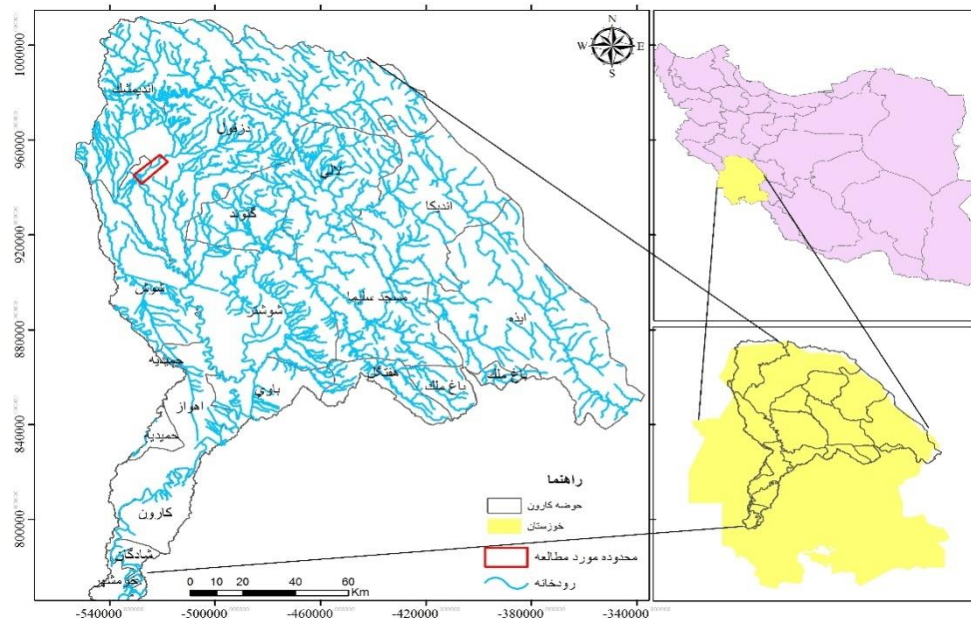
رودخانه دز از ارتفاعات جنوب غربی اراک، بروجرد، الیگودرز و کوه‌های بلند بختیاری مانند زردکوه، اشتران‌کوه و قالی‌کوه سرچشمه گرفته است. این رودخانه را در زمره یکی از پرآب‌ترین رودخانه‌های دائمی ایران که از دو شاخه اصلی موسوم به سزار و بختیاری تشکیل شده است قرار می‌دهند (Hedayat, 2005). دزفول از شهرهای استان خوزستان در جنوب غربی ایران است که بر روی رودخانه دز واقع شده و مختصات آن عبارتند از عرض جغرافیایی "۱۶' ۳۲" و طول‌جغرافیایی "۲۵' ۴۸" و دارای ارتفاع ۱۳۷ متر از سطح تراز دریا می‌باشد. محدوده مورد مطالعه بخشی از رودخانه دز در حوضه آبخیز رودخانه دز در شهرستان دزفول است که حد فاصل روستای چمگلک تا سد انحرافی پایین‌دست رودخانه دز به طول ۱۴ کیلومتر را شامل می‌شود.

جدول ۱- دبی اندازه‌گیری شده در ایستگاه آب‌سنجی دزفول

ماه اندازه‌گیری	بهمن ۱۳۹۵	خرداد ۱۳۹۶	تیر ۱۳۹۶	مرداد ۱۳۹۶
دبی (مترمکعب در ثانیه)	۱۶۰	۱۳۸	۲۳۵	۲۱۰

هواشناسی

از نظر اقلیمی این منطقه دارای آب و هوایی گرم با رژیم بارندگی مدیترانه‌ای است، لذا بارندگی‌های فصل سرد در این منطقه بوقوع



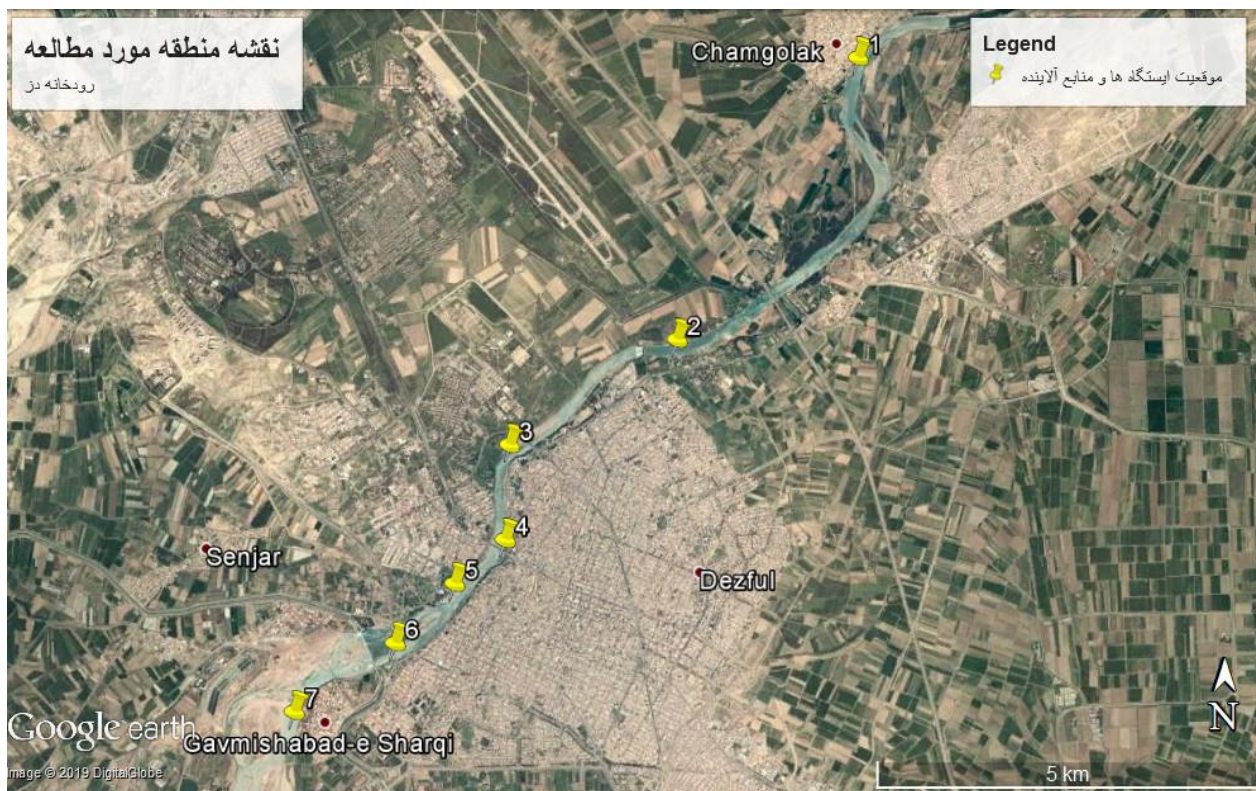
شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه



شکل ۳- فاضلاب شهری ورودی به رودخانه دز پایین دست پل پنجم



شکل ۲- فاضلاب خانگی زیباشهر



شکل ۴- موقعیت ایستگاه‌ها و منابع آلاینده رودخانه دز

نیتروزن نیتراتی و فسفات در فاصله زمانی بهمن ۱۳۹۵ تا مرداد ماه ۱۳۹۶ اندازه‌گیری شد. نمونه‌برداری در جهت جریان رود دز از بالادست چمگلک و کویپته، بالادست سد تنظیمی، پایین‌دست پل سوم، پایین‌دست پل جدید، پایین‌دست پل شناور، بالادست سد انحرافی و گاومیش‌آباد صورت گرفت جدول (۲) و شکل (۴).

در این تحقیق اثرات تغییرات پارامترهای فیزیکی و شیمیایی کیفی رودخانه دز بررسی گردید. به این منظور در این تحقیق پارامترهای مختلف کیفی در حدفصل بازه زمانی بهمن ماه ۹۵ تا مرداد ماه ۹۶ در محل ورود فاضلاب به رودخانه دز در حدفصل بازه مکانی چمگلک تا تصفیه‌خانه فاضلاب دزفول به فاصله ۱۴ کیلومتر مورد ارزیابی قرار گرفت و پارامترهایی نظیر

جدول ۲- مختصات جغرافیایی ایستگاه‌ها

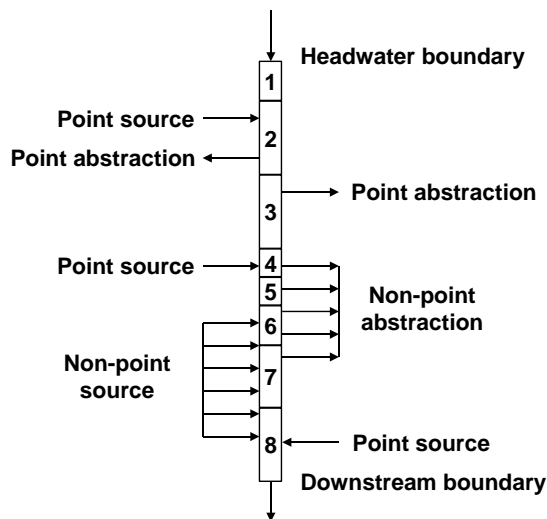
شماره نقاط	نام ایستگاه	طول جغرافیایی (utm)	عرض جغرافیایی (utm)	ارتفاع (متر)	فاصله از پایبندست (کیلومتر)
۱	چمگلک	۳۵۹۲۳۵۵	۲۵۹۸۴۲	۱۳۴	۱۴
۲	پارک دولت	۳۵۸۸۱۷۰	۲۵۷۲۸۱	۱۳۶	۸/۸۵
۳	پل سوم	۳۵۸۷۳۲۹	۲۵۵۰۸۳	۱۲۱	۶/۱۱
۴	پل جدید	۳۵۸۶۰۹۱	۲۵۵۰۰۴	۱۲۵	۴/۸۶
۵	پل شناور	۳۵۸۵۵۳۷	۲۵۴۳۳۰	۱۱۶	۴/۰۳
۶	پل پنجم	۳۵۸۴۷۸۳	۲۵۳۵۳۴	۱۱۶	۲/۹
۷	گاومیش‌آباد	۳۵۸۳۹۲۷	۲۵۲۱۹۸	۱۱۵	۰

محل و تاریخ آزمایشات

نمونه‌های برداشت شده جهت انجام اندازه‌گیری نیترات و فسفات به آزمایشگاه منتقل شدند. فسفات و نیترات با استفاده از دستگاه رنگ‌سنج پرتابل مدل

از ۷ ایستگاه انتخاب شده در بهمن ماه ۱۳۹۵ و مرداد ماه ۱۳۹۶ از محل جریان آب در طول رودخانه نمونه‌برداری صورت گرفت و

شیب طولی، عرض کف، شیب دیواره‌ها و ...). بازه‌ها به صورت صعودی به ترتیب از بالادست جریان اصلی رودخانه به پایین دست شماره گذاری می‌شوند و منابع نقطه‌ای یا غیرنقطه‌ای می‌توانند در هر قسمت رودخانه وارد شده یا از آن خارج گردند. همچنین مدل می‌تواند هر بازه‌ای را به تعداد دلخواهی عنصر با حجم کنترل (واحد محاسباتی بنیادی مدل) تقسیم‌بندی کند که عناصر مربوط به هر بازه دارای طول یکسانی هستند و طول عناصر از بازه‌ای به بازه دیگر می‌تواند متفاوت باشد (شکل ۶). مدل qual2kw برای هر یک از شاخه‌های فرعی همانند شاخه اصلی رودخانه، شبیه سازی انجام داده و برای هر یک از آنها نمودارهای جداگانه‌ای ترسیم می‌کند. این مدل، امروزه به طور گسترده‌ای در مطالعات تعیین بار مواد زاید به کار گرفته شده است و به طور کلی مورد قبول متخصصان امر می‌باشد (Chapra and Pelletire, 2003; AsheghMalla et al. 2016).

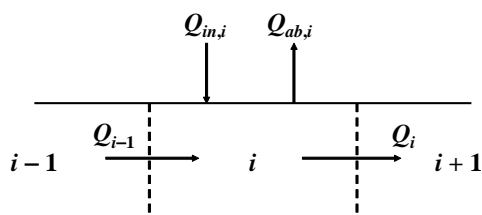


شکل ۶- تقسیم‌بندی مدل Q2K برای رودخانه بدون شاخه

معادلات اساسی استفاده شده در مدل Qual2kw

رابطه بیلان جریان در مدل Qual2kw

روابط بیلان به کار برده شده در مدل Qual2kw شامل بیلان جریان، رابطه بیلان جریان برای بازه نام از رودخانه در مدل Qual2kw با توجه به شکل (۷) به صورت زیر تعریف می‌شود (Chapra and Canale, 2006).



شکل ۷- بیلان جریان برای بازه نام از رودخانه

DR-900 کمپانی Hach آمریکا در محل آزمایشگاه‌های دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول انجام گرفت (شکل ۵). نتایج حاصل از اندازه‌گیری در جدول (۳) ارائه و سپس نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری با استفاده از نرم‌افزار QUAL2K شبیه‌سازی شد.

جدول ۳- پارامترهای اندازه‌گیری شده ورودی به مدل

ایستگاه	ماه	نیترات (میکروگرم بر لیتر)	فسفات (میکروگرم بر لیتر)
چمگلک	بهمن ۹۵	۱۰۰۰	۶۰۰
	خرداد ۹۶	۳۰۰	۱۷۵۰
	تیر ۹۶	۱۷۰۰	۵۰۰
سد تنظیمی	مرداد ۹۶	۱۴۰۰	۱۰۰۰
	بهمن ۹۵	۱۲۰۰	۷۵۰
	خرداد ۹۶	۳۵۰	۲۲۰۰
پل سوم	تیر ۹۶	۱۷۰۰	۶۰۰
	مرداد ۹۶	۱۷۰۰	۲۰۰۰
	بهمن ۹۵	۱۱۰۰	۸۰۰
پل جدید	خرداد ۹۶	۶۵۰	۲۵۰۰
	تیر ۹۶	۲۶۰۰	۱۰۰۰
	مرداد ۹۶	۱۸۰۰	۸۰۸۰
پل شناور	بهمن ۹۵	۱۱۰۰	۵۰۰
	خرداد ۹۶	۱۳۵۰	۱۸۰۰
	تیر ۹۶	۱۵۰۰	۸۰۰
پل پنجم	مرداد ۹۶	۱۶۰۰	۱۵۰۰
	بهمن ۹۵	۱۲۰۰	۸۰۰
	خرداد ۹۶	۲۲۸۰	۱۲۰۰
گاومیش‌آباد	تیر ۹۶	۲۲۰۰	۶۵۰
	مرداد ۹۶	۱۷۰۰	۱۶۰۰
	بهمن ۹۵	۱۱۰۰	۷۰۰
گاومیش‌آباد	خرداد ۹۶	۱۴۰۰	۱۴۰۰
	تیر ۹۶	۱۹۰۰	۷۵۰
	مرداد ۹۶	۲۰۰۰	۱۵۰۰
گاومیش‌آباد	بهمن ۹۵	۱۲۰۰	۸۰۰
	خرداد ۹۶	۲۰۰۰	۲۵۰۰
	تیر ۹۶	۲۱۰۰	۱۰۰۰
گاومیش‌آباد	مرداد ۹۶	۱۵۰۰	۱۸۰۰



شکل ۵- دستگاه (DR-900) برای اندازه‌گیری پارامترهای شیمیایی

مدل Qual2kw

رودخانه را به بازه‌های مختلفی تقسیم‌بندی می‌کند که هر یک از این بازه‌ها دارای شرایط هیدرولیکی یکسانی می‌باشند (مانند

با استفاده از میزان تغییرات بار آلودگی‌ها، شاخص‌های مختلف کیفی رودخانه در ایستگاه‌های مختلف مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت.

پس از وارد کردن داده‌های شرایط مرزی سرآب در حوضه‌ی آبریز و پارامترهای کیفی و هیدرولیکی نقاط اندازه‌گیری و مشخصات مربوط به مقاطع، شبیه‌سازی فسفات و نیترات در رودخانه دز اجرا شد.

بررسی و شبیه‌سازی پارامتر نیتروژن نیتراتی

نیتروژن نیتراتی از طریق فاضلاب‌های روستایی، شهری و کشاورزی (مصرف کودهای ازته) وارد رودخانه دز گردیده‌اند. مقدار نیتروژن نیتراتی در اثر نیتریفیکاسیون آمونیاک افزایش و در اثر فرایند دنیتریفیکاسیون و فتوسنتز گیاهان کاهش می‌یابد (Melching, 1996).

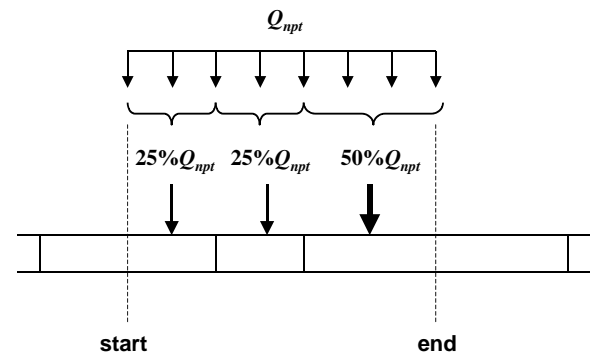
با توجه به نمودارهای شکل‌های (۹) تا (۱۲) شبیه‌سازی پارامتر نیترات در طول رودخانه دز در محدوده مورد مطالعه در هر چهار ماه مورد بررسی به صورت افزایشی می‌باشد. کمترین و بیشترین مقدار نیترات شبیه‌سازی شده به ترتیب در تیر ماه ۱۳۹۶ به میزان ۱۷۰۰ میکروگرم در لیتر در ایستگاه چمگلک و بیشترین مقدار نیترات در بهمن ماه ۱۳۹۵ به میزان ۴۳۸۷/۴۶ میکروگرم در لیتر در ایستگاه گاومیش‌آباد می‌باشد. با توجه به شکل‌های (۱۰ و ۱۱) در ماه خرداد و تیر نیتروژن نیتراتی شبیه‌سازی از ابتدای بازه ایستگاه چمگلک تا کیلومتر ۱۱/۴ با شیب تندی روند افزایشی داشته و سپس از کیلومتر ۱۱/۴ تا انتهای بازه با شیب کمتری به صورت یکنواخت ادامه داشته است.

با توجه به شکل‌های (۹ و ۱۰) در ماه بهمن ۱۳۹۵ و مرداد ۱۳۹۶ نیتروژن نیتراتی شبیه‌سازی از ابتدای بازه ایستگاه چمگلک تا کیلومتر ۱۱/۴ با شیب تندی روند افزایشی داشته که از جمله دلایل این افزایش می‌توان به ورود فاضلاب روستای چمگلک، فاضلاب کوی زیباشهر و پساب زمین‌های کشاورزی که از ساحل شرقی بالادست پل چهارم وارد رودخانه دز می‌شوند اشاره کرد. از کیلومتر ۱۱/۴ شیب نمودار کم شده و تا حدود کیلومتر ۵ به صورت یکنواخت ادامه داشته است. از کیلومتر ۵ تا کیلومتر ۱ پس از ورود فاضلاب‌های شهری از ساحل غربی و شرقی از پایین دست پل قدیم و پل پنجم و فاضلاب روستای گاومیش‌آباد، نمودار حاصل از شبیه‌سازی روند افزایشی داشته و سپس تا انتهای بازه ایستگاه گاومیش‌آباد ثابت بوده است. شکل‌های (۹، ۱۰ و ۱۱) در ماه‌های بهمن، خرداد و تیر نشان می‌دهد شبیه‌سازی در برخی ایستگاه‌های میانی و پایین دست با مقادیر اندازه‌گیری اختلاف قابل توجهی را نشان می‌دهند که این امر می‌تواند به علت

$$Q_i = Q_{i-1} + Q_{in,i} - Q_{out} \quad (\text{رابطه ۱})$$

در رابطه (۱) Q_i : میزان جریان خروجی از بازه i به بازه $i+1$ ($Q_{i-1,i+1}$)؛ $Q_{in,i}$: میزان جریان خروجی از بازه $i-1$ ($Q_{in,i,i-1}$)؛ $Q_{out,i}$: کل جریان ورودی از منابع نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای به بازه i ($Q_{out,i,i}$)؛ کل جریان خروجی از منابع نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای به بازه i ($Q_{out,i,i}$) است.

مدل Qual2k ورودی‌ها و یا خروجی‌های غیرنقطه‌ای را به صورت خطی شبیه‌سازی می‌کند. شروع و پایان این منابع را به صورت شکل (۸) در نظر گرفته و با توجه به بار ورودی به هر بازه، به آن وزن می‌دهد. بنابراین باید طول منابع ورودی یا خروجی غیرنقطه‌ای معلوم باشد (Chapra et al., 2006).



شکل ۸- چگونگی در نظر گرفتن منابع غیرنقطه‌ای ورودی به یک عنصر در مدل Qual2k

صحت‌یابی مدل

برای ارزیابی دقت هر یک از پارامترهای شبیه‌سازی شده از شاخص‌های ارزیابی‌مجدور میانگین خطای نسبی (MBE) و ضریب تغییرات (CV)، کارایی مدل (EF) استفاده شد:

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |P_i - O_i|}{n} \quad (\text{رابطه ۲})$$

$$CV = 100 \times \frac{\sqrt{MAE^2}}{\bar{O}} \quad (\text{رابطه ۳})$$

$$EF = \frac{(\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2)}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (\text{رابطه ۴})$$

در این رابطه به ترتیب P_i مقادیر اندازه‌گیری شده و O_i مقادیر مشاهده شده، O میانگین مقدار مشاهده شده، n تعداد نقاط، MAE متوسط خطای مطلق، CV ضریب تغییرات، EF کارایی مدلی باشد.

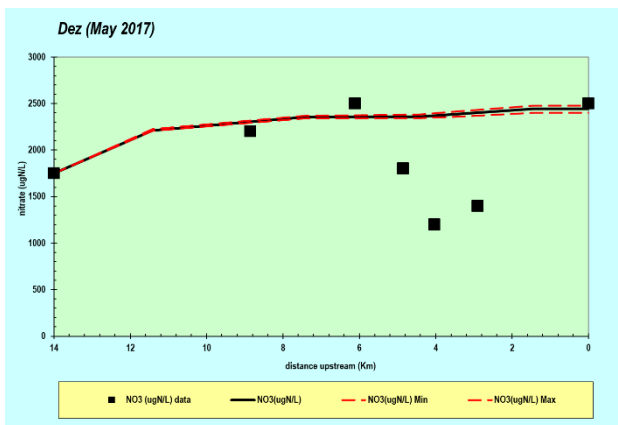
نتایج

به منظور تحلیل اطلاعات و آمار آلاینده‌ها، میزان تغییرات پارامترهای مختلف کیفی نسبت به مکان ترسیم گردیده و تحلیل‌های لازم در رابطه با نحوه تغییرات زمانی و مکانی به عمل آمد.

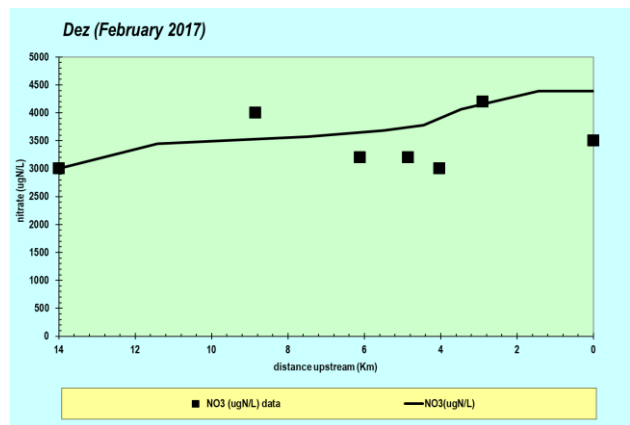
کمتر از ماه‌های بهمن و مرداد بوده است که علت آن دنیتریفیکاسیون و آزاد شدن نیترات بصورت N_2 می‌باشد. ولی در مرداد ماه ۱۳۹۶ میزان نیترات در ابتدای بازه کم و در ادامه به علت هجوم فاضلاب‌ها، از آنجا که دبی پایه کم است و نسبت به آلاینده‌ها حساس می‌باشد، افزایش می‌یابد و در عین حال میزان کم نیترات نشان‌دهنده آن است که پساب‌های آلوده به کودهای ازته چندان به رودخانه وارد نشده‌اند و قابل توجه نیستند. روند تغییرات در طول رودخانه در مرداد ماه ۱۳۹۶ روند افزایشی داشته که می‌تواند به علت شرایط بحرانی رودخانه، پایین بودن دبی پایه در این ماه، ورود فاضلاب‌های شهری، پل شناور و برداشت بالای آب باشد. با کاهش دبی سرعت آب کم شده و طول تماس کمتر می‌شود در نتیجه غلظت آلاینده‌ها افزایش می‌یابد.

خطاهای نمونه‌برداری، اندازه‌گیری و مدل‌سازی باشد. شاخص میانگین خطای مطلق MAE، ضریب تغییرات CV و کارایی مدل EF برای نیترات در ماه‌های بهمن، خرداد، تیر و مرداد به ترتیب معادل (۲۶۶، ۳۵۸، ۹۴/۵، ۰/۳۸)، (۱۲/۳، ۳۲/۲، ۱۷/۳، ۲/۱۲) و (۰/۲۵، ۰/۲۱، ۰/۷، ۰/۰۲) می‌باشد. براساس استاندارد کیفیت آب برای کاربری کشاورزی برگرفته از حداکثر غلظت‌های مجاز توصیه‌شده توسط سازمان خواروبار و کشاورزی جهانی (۱۹۹۲) و پارامتر نیتروژن نیتراتی طی دوره نمونه‌برداری کمتر از ۳۰ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد، لذا هیچگونه محدودیتی در بازه مورد مطالعه، رودخانه دز را تهدید نمی‌کند (Department Of Environmen, 2016).

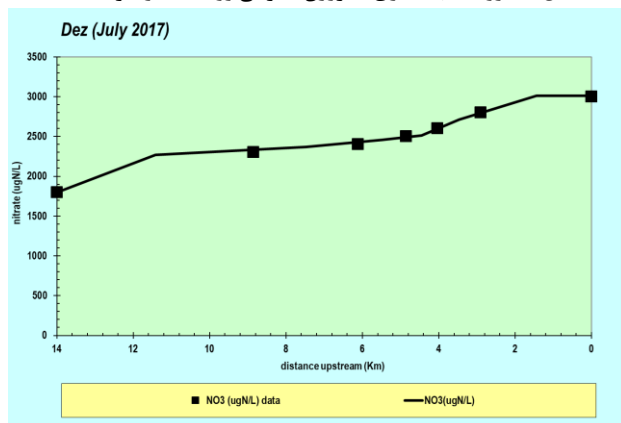
میزان نیترات در طول رودخانه در ماه‌های خرداد و تیر



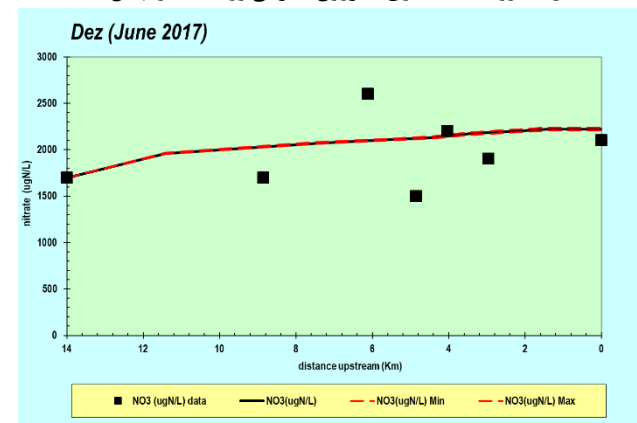
شکل ۱۰- روند شبیه‌سازی نیتروژن نیتراتی رودخانه دز خرداد ماه ۹۶



شکل ۹- روند شبیه‌سازی نیتروژن نیتراتی رودخانه دز بهمن ماه ۹۵



شکل ۱۲- روند شبیه‌سازی نیتروژن نیتراتی رودخانه دز مرداد ماه ۹۶



شکل ۱۱- روند شبیه‌سازی نیتروژن نیتراتی رودخانه دز تیر ماه ۹۶

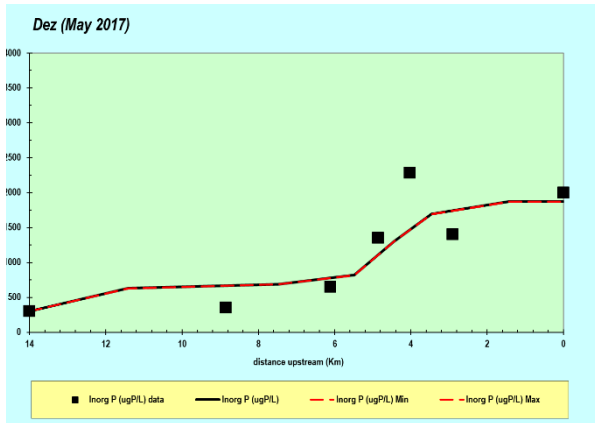
روند تغییرات فسفات در ماه بهمن ۱۳۹۵ را نشان می‌دهد که با توجه به شکل، کمترین و بیشترین میزان فسفات شبیه‌سازی شده در ایستگاه‌های ابتدایی و انتهای مسیر به ترتیب برابر ۶۰۰ و ۸۶۲/۷ میکروگرم در لیتر بوده است و همچنین کمترین و بیشترین میزان اندازه‌گیری شده ۵۰۰ میکروگرم در لیتر در ایستگاه پل جدید و ۸۰۰ میکروگرم در لیتر در ایستگاه‌های پل

بررسی و شبیه‌سازی پارامتر فسفات

میزان فسفر غیر آلی در فرایندهای هیدرولیز فسفر آلی و تنفس فیتوپلانکتون‌ها افزایش و در اثر فتوسنتز گیاهان کاهش می‌یابد (Mirbagheri et al., 2011).

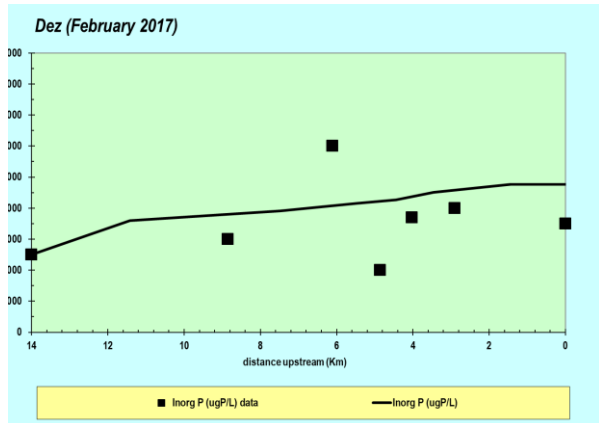
شکل‌های (۱۳) تا (۱۶) تغییرات فسفر غیرآلی (فسفات) را در طول رودخانه در زمان‌های مختلف نشان می‌دهد. شکل (۱۳)

است. شبیه‌سازی مدل به استثنا ایستگاه پل جدید و پل پنجم در سایر ایستگاه‌ها از انطباق خوبی با داده‌های اندازه‌گیری شده برخوردار بوده است. در این فصل کمترین میزان فسفات در رودخانه مشاهده شده است. رودخانه در فصل سرما به دلیل بارندگی و افزایش دبی پایه از ظرفیت خودپالایی خوبی برخوردار بوده است.



شکل ۱۴- روند شبیه‌سازی فسفات رودخانه دز در خرداد ماه ۹۶

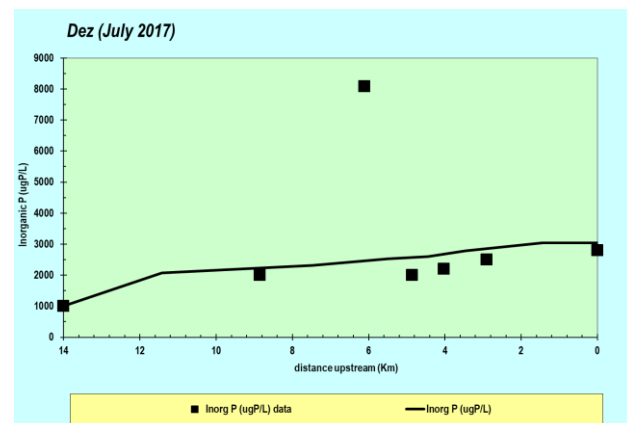
سوم، پل شناور و گاومیش‌آباد بوده است. به دلیل ورود فاضلاب- های شهری و روستایی بالادست از ابتدای مسیر تا کیلومتر ۱/۴، فسفات با شیب تندی افزایش و سپس تا کیلومتر ۷/۵ روند ثابتی داشته و مجدداً تا کیلومتر ۵/۵ با شیب تندی افزایش و سپس تا انتهای مسیر با شیب کمی به صورت تقریباً خطی افزایش یافته



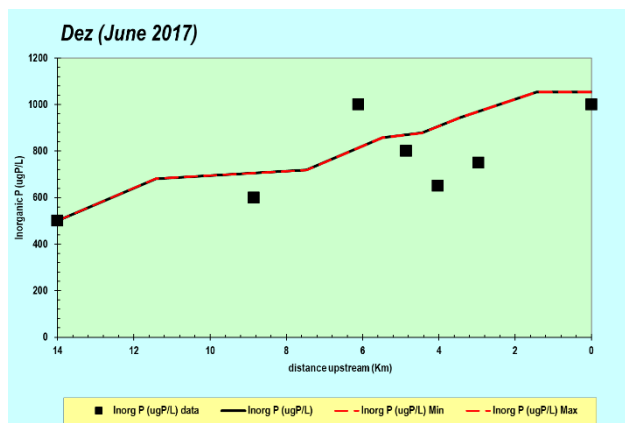
شکل ۱۳- روند شبیه‌سازی فسفات رودخانه دز در بهمن ماه ۹۵

شبیه‌سازی شده فسفات در تیرماه ۱۳۹۶ در ایستگاه‌های چمگلک و گاومیش‌آباد به ترتیب ۵۰۰ و ۱۰۵۳/۰۳ میکروگرم در لیتر بوده است و همچنین کمترین و بیشترین میزان اندازه‌گیری شده فسفات برابر ۵۰۰ میکروگرم در لیتر در ایستگاه چمگلک و ۱۰۰۰ میکروگرم در لیتر در ایستگاه‌های پل سوم و گاومیش‌آباد بوده است.

شکل (۱۴) و (۱۵) شبیه‌سازی پارامتر فسفات را در ماه‌های خرداد و تیر ۱۳۹۶ در طول رودخانه دز نشان می‌دهد. با توجه به شکل، کمترین و بیشترین میزان شبیه‌سازی شده فسفات در ایستگاه‌های چمگلک و گاومیش‌آباد به ترتیب برابر ۱۵۰۰ و ۲۰۳۲/۹۳ میکروگرم در لیتر بوده است و همچنین کمترین و بیشترین میزان اندازه‌گیری شده فسفات برابر ۱۵۰۰ و ۲۱۰۰ میکروگرم در لیتر به ترتیب در ایستگاه چمگلک و ایستگاه- گاومیش‌آباد بوده است. با توجه به شکل کمترین و بیشترین میزان



شکل ۱۶- روند شبیه‌سازی فسفات رودخانه دز در مرداد ماه ۹۶



شکل ۱۵- روند شبیه‌سازی فسفات رودخانه دز در تیر ماه ۹۶

و همچنین کمترین و بیشترین میزان اندازه‌گیری در ایستگاه روستای چمگلک و پل سوم به ترتیب ۱۰۰۰ و ۸۰۸۰ میکروگرم در لیتر بوده است. در مرداد (گرم‌ترین ماه مورد مطالعه) مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده بیشتر از سایر ماه‌ها بوده

شکل (۱۶) روند تغییرات فسفات در ماه بحرانی مرداد ۱۳۹۶ را نشان می‌دهد. با توجه به شکل کمترین و بیشترین میزان شبیه‌سازی شده فسفات در ایستگاه‌های ابتدایی و انتهای مسیر به ترتیب ۱۰۰۰ و ۱۲۸۴/۲۱ میکروگرم در لیتر بوده است

در مرداد ماه ۱۳۹۶ آلودگی بیشتری را سبب شده است و بین ۱۰۰۰ تا ۸۰۰۰ میکروگرم در لیتر متغیر بوده است.

میزان فسفات اندازه گیری شده در ایستگاه های پایین دست، اختلاف قابل توجهی با میزان فسفات در ایستگاه های بالادست دارد که از عوامل آن می توان به کاهش دبی رودخانه در پایین دست به علت برداشت آب جهت مصارف صنعتی و شهری، برداشت بالای آب از بند انحرافی جهت آب مورد نیاز آبیاری مزارع کشاورزی زیر پوشش شبکه آبیاری دز و متمرکز بودن منابع آلاینده در پایین دست اشاره کرد. همچنین، وجود پل شناور در پایین دست (کیلومتر ۴/۱) به عنوان یک مانع هیدرولیکی سبب کم شدن سرعت جریان و سطح تماس شده و در نتیجه غلظت آلاینده ها افزایش یافته است. به طوریکه باعث رشد بی رویه جلبک ها در محدوده پل شناور شده است. کاهش دبی پایه رودخانه و بارگذاری منابع آلاینده به صورت روزانه باعث افزایش غلظت این مؤلفه در رودخانه گردیده است. با کاهش دبی، سرعت آب کم شده و سطح تماس کمتر می شود، در نتیجه غلظت آلاینده ها افزایش می یابد. میزان فسفر غیر آلی در طول رودخانه روند رو به رشدی داشته است که از علل آن می توان به افزایش میزان فسفر آلی در طول رودخانه اشاره کرد. میزان فسفر غیر آلی داده شده به مدل از نوع فسفات (PO_4^{3-}) بوده است. فاضلاب زیبا-شهر که با زهکش زمین های کشاورزی ترکیب و از پایین دست کویته وارد رودخانه می شود، فاضلاب تصفیه خانه تیپ ۲۹۲ زرهی از پایین دست پل سوم، فاضلاب خانگی شهر چمگلک با میزان فسفات با غلظت حدود ۱۰۰ میلی گرم در لیتر و همچنین فاضلاب های شهری که به صورت تصفیه نشده از پایین دست پل قدیم و پل پنجم وارد می شوند با میانگین فسفات ۷۰ میلی گرم در لیتر بیشترین سهم آلودگی را به خود اختصاص داده اند. بر اساس استاندارد اروپا میزان پارامتر PO_4^{3-} رودخانه دز بیشتر از حد استاندارد (۰/۵ میلی گرم در لیتر) برای ماهیان گرمابی می باشد که عامل تهدید کننده ای برای حیات آبیان در رودخانه دز محسوب می شود. نتایج پژوهش نشان می دهد که این مدل حساسیت بیشتری نسبت به جریان منابع نقطه ای، جریان رودخانه، نرخ سریع اکسیداسیون CBOD و میزان نیتروژن نیتروژنیکاسیون نسبت به سایر پارامترهای ورودی مدل دارد. Qual2kw به وضوح دارای پتانسیل برای ارزیابی کیفیت آب در امتداد رودخانه است و می تواند به عنوان یک ابزار ارزشمند برای استراتژی های مدیریتی رودخانه دز به کار رود. به همین ترتیب، اجرای Qual2k با توجه به تکنیک های بهینه سازی و ارزیابی دقت در شرایط مختلف، باید بیشتر مورد توجه قرار گیرد.

مجموع فاضلاب های شهری دزفول و روستاهای مسیر

است. ظرفیت خودپالایی رودخانه در این ماه ضعیف بوده است که دلیل آن، کاهش دبی پایه رودخانه و بارگذاری منابع آلاینده به صورت روزانه بوده است که سبب افزایش غلظت فسفات در رودخانه گردیده است. به علت تغذیه گرایبی رودخانه، اکسیژن-محلول نیز در این ماه کاهش چشم گیری داشته است. شاخص میانگین خطای مطلق (MAE)، ضریب تغییرات (CV) و کارایی مدل (EF) در ماه های بهمن، خرداد، تیر و مرداد به ترتیب معادل (۶۸/۵، ۱۴۷/۶، ۴۷/۲، ۶۰۵/۳۴)، (۵/۶، ۳۷/۸، ۲۱/۲۴، ۷۴/۷) و (۰/۳۹، ۰/۴، ۰/۰۰۹، ۰/۸۴) می باشد.

میزان فسفر غیر آلی در طول رودخانه روند رو به رشدی داشته است که از علل آن می توان به افزایش میزان فسفر آلی در طول رودخانه اشاره کرد. میزان فسفر غیر آلی داده شده به مدل از نوع فسفات (PO_4^{3-}) بوده است. فاضلاب زیباشهر که با زهکش زمین های کشاورزی ترکیب و از پایین دست کویته وارد رودخانه می شود، فاضلاب تصفیه خانه تیپ ۲۹۲ زرهی در پایین دست پل سوم، فاضلاب خانگی شهر چمگلک با میزان تقریباً ۱۰۰ میلی گرم در لیتر فسفات و همچنین فاضلاب های شهری که به صورت تصفیه نشده از پایین دست پل قدیم و پل پنجم وارد می شوند با میانگین تقریباً ۷۰ میلی گرم در لیتر فسفات بیشترین سهم آلودگی را به خود اختصاص داده اند. بر اساس استاندارد اتحادیه اروپا، میزان پارامتر PO_4^{3-} بیشتر از حد استاندارد ۰/۵ میلی گرم در لیتر برای ماهیان گرمابی می باشد که عامل تهدید کننده ای برای حیات آبیان در رودخانه دز محسوب می شود.

میزان فسفات اندازه گیری شده از تمام منابع آلوده کننده به استثنا خروجی تصفیه خانه دزفول بیش از حد مجاز تخلیه به آب های سطحی بوده است که سبب نيزاری شدن ساحل رودخانه در حاشیه ورودی منابع آلاینده ها و همچنین رشد بی رویه جلبک ها در رودخانه گردیده است.

بحث

این پژوهش به منظور آگاهی از روند تغییرات و پیش بینی کیفیت آب رودخانه دز با استفاده از نرم افزار Qual2kw انجام گردید و نتایج حاصل از پژوهش را به صورت خلاصه می توان به صورت زیر بیان نمود:

میزان نیترات در طول رودخانه در ماه های خرداد و تیر کمتر از ماه های بهمن و مرداد بوده است که علت آن دنیتروژنیکاسیون و آزاد شدن نیترات بصورت N_2 می باشد. میزان کم نیترات نشان دهنده آن است که پساب های آلوده به کودهای ازته چندان به رودخانه وارد نشده اند و قابل توجه نیستند. میزان فسفر غیر آلی در طول رودخانه روند رو به رشدی داشته است و

این نتایج با نتایج مطالعات (Fallahi and Abaszade (2009) روی رودخانه عمارت، (Noshadi and Hatamizade (2010) روی رودخانه کر، (Mirbagheri *et al.* (2011) روی رودخانه چالوس، (Shokriet *al.* (2016) روی رودخانه گرگر و (Hoseini and Hoseini (2017) روی رودخانه کارون مطابقت دارد. از جمله راهکارهای زیست‌محیطی به منظور حفظ کیفیت آب رودخانه دز در طول مسیر می‌توان به ساماندهی فاضلاب کوی زیباشهر دزفول، فاضلاب شهرچمگلک و گاومیش‌آباد، هدایت فاضلاب کوی حافظ و ورودی فاضلاب شهری زیر پل پنجم به شبکه فاضلاب شهری دزفول، پاکسازی و لایروبی مناطق بحرانی رشد جلبک‌ها، جمع‌آوری و یا اقدامات فوری بازسازی پل شناور، رها سازی دبی خروجی مطابق حق آبه رودخانه دز توسط سازمان آب و برق و تعمیر و راه‌اندازی تصفیه خانه فاضلاب تیپ ۲۹۲ زرهی اشاره کرد.

REFERENCES

- Aras, E., Togan, V. and Berkun, M. (2007) River water quality management model using genetic algorithm, *Environ Fluid Mech*, Vol. 7, pp. 439–450.
- AsheghMalla, M., MalehMohammadi, B. and Torabian, A. (2016) Investigating the Importance of Rivers Self-Efficacy Capacity in Developing a Standard for Discharge of Wastewater. *Environmental Research*, Vol. 7, No. 13, 2016, p. 103-116. (In Farsi)
- BagherianMarzouni, M., Akhoundalib, A. M., Moazed, H., Jaafarzadeh, N., Ahadian, J. and Hasoonizadeh, H. (2014) Evaluation of Karun river water quality scenarios using simulation model results. *International journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 2(2): 339-358.
- Chapra, S. C. and Canale, R. P. (2006) *Numerical Methods for Engineers*, 5th Ed. McGraw-Hill, New York.
- Chapra, S. C., Pelletier, G. J. (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. C. (2007) *Applied Numerical Methods with MATLAB for Engineering and Science*, 2nd Ed., WCB/McGraw-Hill, New York, N.Y.
- Chaudhary, Sh., C. T. Dhanya, C. T., and Kumar, A. (2017) Sequential calibration of a water quality model using reach-specific parameter estimates. *Hydrology Research* (2017) 49 (4): 1042-1055.
- Cristea, N. C. and Burges, S. J. (2010) "An assessment of the current and future thermal regimes of three streams located in the Wenatchee River basin Washington State: some implications for regional river basin systems", *Climatic Change*, Vol. 102, pp. 493 – 520.
- Department of Environmen. (2016) *Iran Water Quality Standards*, 14 pages. (In Farsi)
- Fallahi, R. and Abaszade, B. (2009) Investigating the Effect of Manure Fish Complex on Water Quality of the Manor or GaharRiver. *Shish Amish Journal of Biology*, Year 1, No. 1, pp. 32-40. (In Farsi)
- HedayatN., 2005. Improving the performance of water delivery in the Dez and moghan Irrigation Scheme in Iran. Unpublished Ph.D. thesis, Cranfield University, UK.
- Hoseini, P. and Hoseini, y. (2017) Investigating the changes of Karun River self-propelled power capacity in 2008 and 2014 using the QUAL2KW model in Ahvaz city. *Amirkabir Civil Engineering Journal*, 49(1), pp. 35-45. (In Farsi)
- Ismail, H. and Robescu, D. (2017) Application of a one-dimensional steady state model for simulation the water quality in a large river: a case study of the Danube River. *UPB Scientific Bulletin, Series D: Mechanical Engineering*, Vol. 79, pp. 183-192. (ISSN 1454-2358)
- Ismail, H. and Robescu, D. (2015) Rivers and streams water quality models: a brief review, *RomAqua*, An XXI, vol. 106, no. 8, pp. 46 – 56.
- Kannel, P. R., Lee, S., Kanel, S. R., Lee, Y. S. and Pelletier, G. J. (2007) Application of automated QUAL2Kw for water quality modeling and management in the Bagmati River, Nepal, *Ecological Modelling*, Vol. 202, pp. 503–517.
- Kannel, P. R., Kanel, S. R., Lee, S., Lee, Y. and Gan, T. Y. (2011) A Review of Public Domain Water Quality Models for Simulating Dissolved Oxygen in Rivers and Streams, *Environ Model Assess*, Vol. 16, pp. 183–204.
- KhodamMohammadi, M. M. and Boustani, F. (2016) Assimilative capacity assessment and the role of dissolved oxygen in the water quality of the river Kur (The Case of the dam downstream to Lake

- Tashk Bakhtegan). Journal of Water Resources Engineering, Year 9, pp. 87-102. (In Farsi)
- Khob, N., Aminnejad, B. and Omid, A. (2017) Qualitative observation and determination of the contribution of river banks on increasing salinity of Ghezloosin River in Zanzan province using QUAL2K numerical software. Journal of Water Resources Engineering, Vol. 10, pp. 33-44. (In Farsi)
- Melching, C. h. (1996) Key Source of Uncertainty in QUAL2E model of Passaic river, Journal of Water Resource Planning and Management, 2: 105-113.
- Mirbagheri, S. A., Mahmodi, Sh., and Khazri, S. M. (2011) Modeling of nitrogen and phosphorus changes along the Chalus River in 2008 using Qual2k software, Journal of Civil and Environmental Engineering, Vol. 40, No. 3. (In Farsi)
- Noshadi, M. and Hatamizade, M. R. (2010) Kur river water quality measurements and simulations using the model Qual2k. Journal of Irrigation and Drainage. Vol. 4. No. 3, P. 338-349. (In Farsi)
- Oliveir, B., Bola, J., Nadais, H. and Arroja, L. (2011) "Application of Qual2Kw model as a tool for water quality management, Certima River as a case study", Environmental Monitoring and Assessment, Vol. 184, No.10, pp.197-210.
- Sharma, D., Kansal, A. (2013) Assessment of river quality models: a review, Rev Environ Sci Biotechnol, Vol. 12, pp. 285-311.
- Shokri, S., Hooshmand, A. R., and Moazed, H. (2016) Qualitative Simulation of Ammonium and Nitrate along the Gargar River Using the Qual2Kw Model. Journal of Wetland Ecology, Vol. 6, No. 23, pp. 57-68. (in Farsi)
- Vanaei, A., Marofi, S. and Azari, A. (2018) Self-study of mountain range of Abbas Abad river in Hamadan. Journal of Ecology, Vol. 43, No. 4, Winter 2018, P. 742-727. (In Farsi)
- Vasudevan, M., Nambi, I. M. and SureshKumar, G. (2011) Application of Qual2k for assessing waste loading scenario in rive Yamuna. International journal of advanced technology and Engineering, 2(2):336-344.
- Ye, H. F., Guo, S. H., Li, F. M., Li, G. (2013) Water quality evaluation in Tidal River reaches of Liaohe river estuary, China using a revised QUAL2K model. Chin Geogr Sci 23:301-311.
- Zhang, Y., Yang, H. and Wang, Z. (2016) Simulating Water Quality of Wei River with QUAL2K Model, a Case Study of Hai River Basin in China. MATEC Web of Conferences 6, ICIEA 2016. Pp:5.