

بررسی خودپالایی و مدل سازی تغییرات نیتروژن و فسفر در طول رودخانه دز (بازه سد دز تا پل بند قیر)

امید بابامیری^۱

صفر معروفی^{۲*}

smarofi@yahoo.com

آرش آذری^۳

تاریخ پذیرش: ۹۷/۳/۱۳

تاریخ دریافت: ۹۶/۷/۲۳

چکیده

زمینه و هدف: برای تعیین عکس العمل قابل انتظار رودخانه بر اثر ورود آلاینده، استفاده از مدل های ریاضی ضروری است. این مدل ها قادرند آثار بارگذاری های موجود و آینده را شبیه سازی نموده و مدیران و مسئولان را در تصمیم گیری های خود یاری نمایند. هدف از مطالعه حاضر شبیه سازی و آگاهی از روند تغییرات نیتروژن و فسفر در طول رودخانه دز (بازه سد دز تا پل بند قیر) با مدل Qual2kw و همچنین محاسبه درصد خودپالایی رودخانه می باشد.

روش بررسی: در این مطالعه با توجه به آمار و داده های اندازه گیری شده در مورد کیفیت آب رودخانه دز در سه ایستگاه دزفول، حرمله و بامدژ و مقایسه آنها با استانداردهای موجود، وضعیت این رودخانه مورد بررسی قرار گرفت. مدل شبیه ساز رودخانه با ورود مشخصات کمی و کیفی در ایستگاه های تعیین شده و پساب های ورودی به آن در فصل کم آب ساخته و کالیبره شد.

یافته ها: نتایج نشان داد که قدرت خودپالایی رودخانه کم است، بیشترین مقدار خودپالایی مربوط به پارامتر $N-NH_4$ در سال ۲۰۱۴ معادل ۴۵٪ می باشد. میزان فسفر غیر آلی در طول رودخانه روند رو به رشدی داشته است.

بحث و نتیجه گیری: میزان نیتروژن نیتراتی و نیتروژن آمونیاکی در بازه کیلومتر ۱۷۳ تا ۹۰ رودخانه، به علت هجوم فاضلاب ها روند افزایشی دارد. بهترین شبیه سازی برای پارامتر $N-NH_4$ در سال ۲۰۱۶ می باشد که خطای استاندارد آن معادل ۰/۰۲ می باشد.

واژه های کلیدی: شبیه سازی، کیفیت آب ، $N-NH_4$ ، $N-NO_3$ ، $P-PO_4$ و Qual2kw

۱- کاندیدای دریافت درجه دکتری مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشگاه بوعلی سینا همدان.

۲- استاد مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشگاه بوعلی سینا همدان* (مسوول مکاتبات)

۳- استادیار مهندسی آب، گروه مهندسی آب، دانشگاه رازی کرمانشاه

An Investigation into Self-Purification and Modeling of Changes in Nitrogen and Phosphor along Dez River (The Distance between Dez Dam and Band Ghir Bridge)

Omid Babamiri¹

Safar Marofi^{2*}

smarofi@yahoo.com

Arash Azari³

Admission Date: June 3, 2018

Date Received: October 15, 2017

Abstract

Background and Objective: It is necessary to use mathematical models to determine the expected reaction of a river to the effects of entrance of pollutants. Such models can simulate the effects of current and future loadings and help managers and authorities make their final decisions. The purpose of this study is to simulate and be aware of the trend of nitrogen and phosphorus changes along the Dez River (Dez Dam to Ghir Dam Bridge) using the Qual2kw model and also to calculate the percentage of river self-purification.

Method: The present study was aimed at measuring and comparing the data of the quality of Dez River water collected from three stations. Self-purification model of the river was determined by inserting qualitative and quantitative data retrieved from the stations, and the entering wastewaters in the dry season were created and calibrated.

Findings: The results of the present study showed that the river has poor self-purification power. The highest self-purification power was related to N-NH₄ parameter in 2014 (45%). The level of non-organic phosphor along the river had an increasing trend.

Discussion and Conclusion: The level of nitrate nitrogen and ammonia nitrogen within the distance of 173 to 90 km of the river had an increasing trend due to influx of sewage. The best modelling for N-NH₄ parameter was related to 2016 with a standard error of 0.02.

Keywords: N-NH₄, N-NO₃, P-PO₄, Simulation and Water Quality.

1- Ph.D Candidate, Water Resources Engineering. Department of Water Engineering, Bu Alisina University, Hamedan, Iran

2- Professor, Water Resources Engineering, Department of Water Engineering. Bu Alisina University, Hamedan, Iran *(Corresponding Authors)

3- Assistant Professor, Water Engineering, Department of Water Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran

مقدمه

امروزه توسعه صنعتی و افزایش جمعیت و شهرک‌ها، آثار مخرب و زیان‌آوری بر محیط زیست در سراسر جهان از جمله کشورمان گذاشته است (۱). به دنبال رشد اقتصادی سریع و استفاده بیش تر از محیط‌زیست توجه و نگرانی به مسایل زیست محیطی به شدت افزایش یافته است (۱). آب از مهمترین کالای تولیدی محیط زیست است که بسته به فعالیت، اهمیت آن متغیر است. آلودگی آب، پدیده‌ای است که در آن کیفیت شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی آب‌های طبیعی به واسطه ورود فاضلاب‌ها، زباله‌ها و دیگر زائدات ناشی از فعالیت‌های صنعتی کشور اهمیت توجه به کیفیت منابع آبی موجود را بیش از پیش نمایان ساخته است (۲). ورود مواد مغذی و آلاینده‌های تجزیه‌پذیر بیولوژیکی به رودخانه خصوصاً فاضلاب بهداشتی، پساب‌های کشاورزی و صنعتی باعث آلودگی رودخانه و ایجاد اختلال در توازن اکسیژن محلول می‌شود. برای تعیین عکس‌العمل قابل انتظار رودخانه بر اثر ورود آلاینده‌ها، استفاده از مدل‌های ریاضی ضروری است. این مدل‌ها قادرند تا آثار بارگذاری موجود و آتی را شبیه‌سازی کنند و مدیران و مسئولان را در تصمیم‌گیری‌های خود یاری نمایند. با توجه به این‌که مشکلات زیست محیطی مرتبط با آب رودخانه سبب نگرانی‌های گسترده‌ای شده است، لذا ارزیابی کیفیت آب به‌عنوان هدف اصلی در مدیریت حوضه رودخانه‌ها شناخته شده است (۱). برای داشتن آبی با کیفیت مطلوب، ظرفیت پذیرش رودخانه‌ها باید در طول رودخانه در حد قابل قبول باقی بماند. دستیابی به این مهم به یکی از روش‌های کنترل نرخ جریان رودخانه (۳)، کنترل بارهای آلودگی فاضلاب و استفاده از اکسیژن‌اتور ممکن می‌باشد. در این زمینه استفاده از ابزارهای مدیریتی از جمله مدل‌های شبیه‌سازی کیفیت آب، می‌تواند بسیار سودمند باشد (۴). انواع مختلفی از این مدل‌ها در طول چند دهه گذشته توسعه یافته‌اند. برخی از مدل‌ها پیچیده و برخی دیگر نسبتاً ساده می‌باشند. مدل‌های ساده توانایی توصیف فرایندهای پیچیده هیدرودینامیکی را نداشته، بنابراین نتایج شبیه‌سازی شده آن‌ها ممکن است قابل اعتماد نباشد. از طرفی اجرای مدل‌های پیچیده نیز نیازمند تعدادی از

پارامترهای خاص بوده که به آسانی قابل اندازه‌گیری نمی‌باشند (۱). نمونه‌ای از مدل‌های پیچیده شامل برنامه شبیه‌سازی و تجزیه و تحلیل کیفیت آب (WASP)، هیدرودینامیک و مدل کیفیت آب (CE-QUAL-W2)، کیفیت آب برای سیستم‌های رودخانه-مخزن (WQRRS)، و غیره می‌باشد. نوشادی و حاتمی‌زاده (۱۳۸۹) (۵) در تحقیقی به بررسی کیفیت آب رودخانه کر در بازه‌ای به طول ۱۸۷ کیلومتر با استفاده از مدل QUAL2K پرداختند. نتایج نشان داد که دقت شبیه‌سازی در ماه‌های کم آب بیشتر از ماه‌های پر آب است که دلیل آن افزایش روان آب در ماه‌های پر آب می‌باشد. شهریار و همکاران (۱۳۹۰) (۶) تاثیر تغییرات میزان جریان بر کیفیت آب رودخانه کارون را با مدل ریاضی QUAL2KW شبیه‌سازی نمودند. نتایج شبیه‌سازی این محققان حاکی از نامطلوب بودن کیفیت رودخانه در ماه‌های خشک و کم آب می‌باشد. رزاقیان و همکاران (۱۳۹۴) (۷) وضعیت کیفی رودخانه قره‌سو در محدوده شهرستان کرمانشاه را با استفاده از مدل QUAL2KW مورد بررسی قرار داده و پارامترهای DO، BOD، نیتروژن کل و فسفر کل را در دو ماه مرداد (خشک-سالی) و بهمن (تر سالی) کالیبره و صحت‌سنجی نمودند. از طرفی مطالعاتی با مدل QUAL2KW برای شبیه‌سازی کیفیت آب رودخانه‌ها و حوضه‌ها با استفاده از پارامترهای اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی (BOD) (۸ و ۹)، نیتروژن، فسفر و اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD) (۱۰)، DO، CBOD، $\text{NH}_4\text{-N}$ و $\text{NO}_3\text{-N}$ (۱۱)، انجام یافته است. نتایج شبیه‌سازی، یک ابزار مدیریتی مفید است که می‌تواند به سیاست‌گذاران در تعیین استراتژی‌های واقع‌بینانه با در نظر گرفتن شرایط خاص هر حوضه و همچنین در پیش‌بینی اثر تخلیه تصادفی یا بارهای آلاینده اضافی یاری رساند (۱۲). گوپتا^۱ و همکاران (۲۰۱۳) (۱۳) نیز نشان دادند که مدل Qual2k بعد از کالیبراسیون و اعتبارسنجی برای شبیه‌سازی DO و BOD در رودخانه کشپیرا در هند خوب عمل کرده و

بازه ۹۷۶ تا ۱۴۳۰۶ کیلوگرم بر روز می‌باشد. دولایمی (۲۰۱۷) (۱۸) از مدل QUAL2K برای شبیه‌سازی پارامترهای DO و BOD در رودخانه دیالا در کشور عراق استفاده کرد. نتایج این مطالعه نشان داده است که، DO در طول رودخانه موردنظر کمتر از ۴ میلی‌گرم در لیتر بوده است.

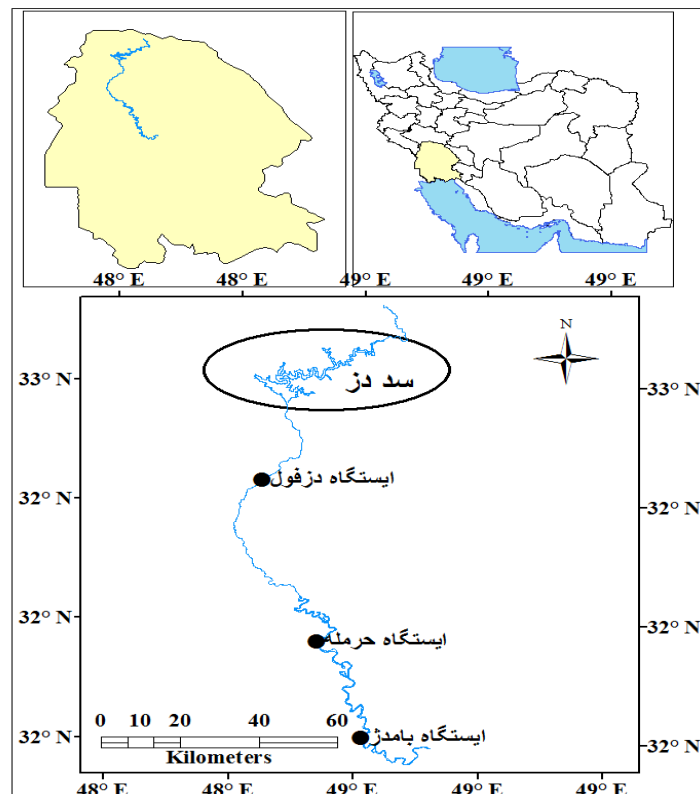
باتوجه به پیشینه پژوهش به نظر می‌رسد مطالعه جامعی در زمینه درصد خودپالایی و شبیه‌سازی کیفیت آب رودخانه دز انجام نگرفته است. بنابراین، هدف از این تحقیق شبیه‌سازی و آگاهی از روند تغییرات کیفیت آب در طول رودخانه دز و همچنین محاسبه درصد خودپالایی رودخانه در فصل خشک می‌باشد.

روش بررسی

رودخانه دز یکی از منابع آبی با ارزش کشور محسوب می‌شود که از لحاظ تامین آب اصلی مصارف شهری، روستایی، کشاورزی و صنعت نقش مهمی دارد. در این پژوهش بازه سد دز تا بند قید مورد مطالعه قرار گرفت. شکل (۱) موقعیت رودخانه یادشده در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

به عنوان ابزار مدیریتی قابل اعتماد، مورد استفاده است. به طور مشابه. همچنین در تحقیقی دیگر حسین^۱ و همکاران (۲۰۱۴) (۱۴) شبیه‌سازی کیفیت آب رودخانه تونگاک مالزی را با استفاده از مدل QUAL2KW در دو فصل تر و خشک انجام دادند. تحقیقات این محققان نشان داد که به دلیل ورود پساب‌های صنعتی غلظت DO در تمام نقاط رودخانه بسیار پایین و غلظت‌های BOD و COD نسبت به استاندارد مالزی بسیار بیشتر می‌باشد. باقریان و همکاران (۲۰۱۴) (۱۵) 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. کلبیگی^۲ و همکاران (۲۰۱۵) (۲) با به کارگیری مدل کیفیت آب QUAL2K برای رودخانه گاتاپرابها^۳ در کشور هند پس از کالیبراسیون و صحت‌سنجی مقادیر پارامترهای DO و BOD به پیش‌بینی کیفیت آب تحت شرایط مختلف داده‌ها پرداختند و دریافتند که مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل با مقادیر اندازه‌گیری شده تطابق نزدیکی دارد. مهراسبی و فرهنگدکيا (۲۰۱۵) (۱۶) به مدل‌سازی کیفیت آب رودخانه کینه‌ورس در مجاورت شهرستان زنجان پرداختند. نتایج شبیه‌سازی آنها نشان داد که داده‌های به‌دست آمده از مدل Qual2k معتبر بوده و این مدل ابزار ساده برای مدیریت و تصمیم‌گیری در زمینه کیفیت آب این رودخانه است. ویوین^۴ و همکاران (۲۰۱۶) (۱۷)، در مطالعه خود با استفاده از نرم‌افزار QUAL2Kw به شبیه‌سازی پارامترهای کیفی آب شامل دما، pH، DO، BOD، TSS، نیترات (NO₃)، آمونیوم (NH₄) و فسفات (PO₄) در رودخانه کالی سورابایا (Kali Surabaya) پرداختند. نتایج نشان داد حداکثر ظرفیت پذیرش NH₄ بین ۱۰۰ کیلوگرم بر روز تا ۳۵۶۳ کیلوگرم بر روز و NO₃ در

1- Hossain M.A
2- Kalburgi
3- Ghataprabha
4- Vivin



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان خوزستان

Figure 1. The geographical location of the study area in the Iran and Khozestan province.

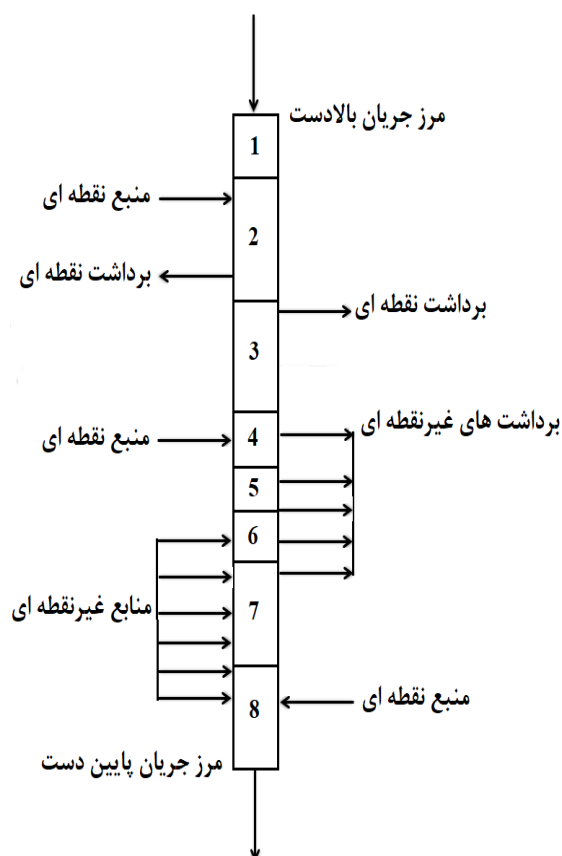
کل محیط زیست استان خوزستان اخذ شد. طول دوره آماری چهار ساله ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۶ و در فصل خشک می‌باشند. اصولاً شکل ریاضی همه مدل‌های شبیه‌ساز یکسان بوده و همه آنها دارای مجموعه‌ای از معادلات دیفرانسیل و همچنین معادلاتی برای هر ماده هستند که بایستی به طور واضح در چهارچوب مدل منظور گردند. انتخاب مدل مناسب بستگی به هدف مطالعات و پروژه مورد نظر دارد (۱۹). دستورالعمل‌های انتخاب مدل را می‌توان به دو گروه کلی دستورالعمل‌های فنی و دستورالعمل‌های کاربردی طبقه‌بندی کرد. دستورالعمل‌های فنی در ارتباط با قابلیت مدل در تعریف فرایندهای فیزیکی و بیوشیمیایی سیستم واقعی است. این فرایندها شامل تعیین مکانیسم‌ها و فرایندهای مهم در سیستم واقعی، بررسی مدل‌های موجود، قابلیت آنها و بالاخره مقایسه مشخصات و خصوصیات مهم سیستم واقعی با قابلیت‌های مدل است (۱۹).

به منظور شناسایی موقعیت رودخانه دز، حوضه آبریز این رودخانه، زمین‌های کشاورزی، راه‌های دسترسی به رودخانه و منابع آلاینده نقطه‌ای صنعتی، کشاورزی و فاضلاب شهری آن‌ها بر روی نقشه‌های توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰ تعیین گردید. برای شبیه‌سازی کیفی رودخانه دز، دبی، شیب طولی رودخانه بین هر ایستگاه، ضریب مانینگ، عرض کف، شیب دیواره، فاصله بین هر کدام از ایستگاه‌ها، دمای متوسط هوا، دمای نقطه شبنم، دمای آب، سرعت باد، اکسیژن محلول، BOD، COD، NH₄، NO₃، PO₄، EC، PH تعداد روزهای ابری، درصدی از رودخانه که در اثر کوه‌ها و پوشش گیاهی زیر سایه قرار گرفته‌اند و این‌که آیا در کف رودخانه جلبک وجود دارد یا خیر، مورد نیاز مدل می‌باشد که بر اساس بازدیدهای محلی در زمان‌های مختلف این شاخص‌ها تعیین گردیدند. داده‌ها از اداره

مدل QUAL2KW

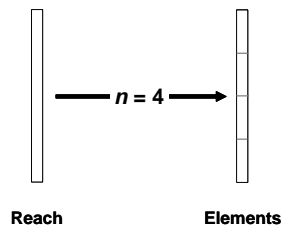
مدل QUAL2KW آخرین مدل از سری مدل‌های QUAL می‌باشد که در سال ۲۰۰۶ ارائه و امروزه به طور گسترده‌ای جهت شبیه‌سازی کیفیت آب رودخانه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در رابطه با قابلیت مدل در تعریف فرایندهای مختلف سیستم واقعی و نیز در نظر گرفتن انواع پارامترها و موجودات زنده در مدل، در حال حاضر مدل QUAL2KW را می‌توان به عنوان جامع‌ترین مدل شبیه‌ساز معرفی نمود (۱۶). مدل QUAL2KW رودخانه را به بازه‌های مختلفی تقسیم‌بندی می‌کند که هر یک از این بازه‌ها دارای شرایط هیدرولیکی یکسانی می‌باشند (مانند شیب طولی، عرض کف، شیب دایواره-

ها و غیره). همان‌طور که در شکل ۲ دیده می‌شود، این بازه‌ها به ترتیب از بالادست به پایین دست شماره‌گذاری می‌شوند و منابع نقطه‌ای یا غیرنقطه‌ای می‌توانند در هر قسمت رودخانه وارد شده و یا از آن خارج گردند. هر یک از بازه‌های تعیین شده برای مدل، به منظور رسیدن به نتیجه مطلوب‌تر و ظرافت بیشتر در ترسیم نمودارها می‌تواند به المان‌های مساوی تقسیم شود (شکل‌های ۳ و ۴). چنانچه هر بازه به تعدادی المان مساوی تقسیم‌بندی شود موازنه جرم و حرارت برای هر یک از المان‌ها صورت می‌گیرد (۱۹). برای هر المان موازنه جریان رودخانه در حالت پایدار صورت می‌گیرد.



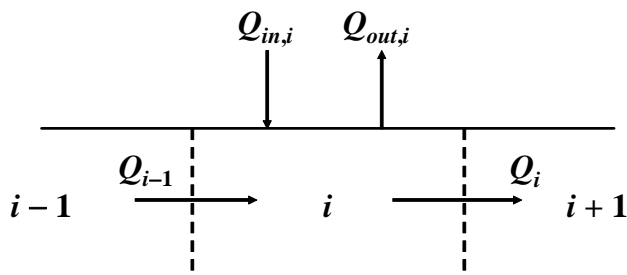
شکل ۲- نحوه بازه‌بندی مسیر رودخانه

Figure 2. Modeling of river direction ranges.



شکل ۳- نحوه المان‌بندی هر بازه در رودخانه

Figure 3. Modeling of each range in river.



شکل ۴- موازنه جریان برای هر المان

Figure 4. Flow balance in each range.

در این تحقیق رودخانه به ۱۴۴ مقطع تقسیم بندی شد (طول رودخانه ۱۷۳ کیلومتر می‌باشد) و برای تعیین عمق و سرعت جریان در هر بازه از روش معادلات مانینگ استفاده شد.

واکنش‌های بیوشیمیایی

برای نشان دادن واکنش‌های شیمیایی و بیولوژیکی که در مدل-سازی اتفاق می‌افتد از روابط و معادلات زیر استفاده شد:

واکنش‌های پارامترهای کیفی

۱- نیتروژن آمونیاکی

نیتروژن آمونیاکی در طول فرایند هیدرولیز نیتروژن آلی و تنفس فیتوپلانکتون‌ها افزایش می‌یابد. مقدار این پارامتر در اثر فرایندهای نیتریفیکاسیون و فتوسنتز گیاهان کاهش پیدا می‌کند.

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

$$Q_{in,i} = \sum_{j=1}^{psi} Q_{ps,i,j} + \sum_{j=1}^{npsi} Q_{nps,i,j} \quad (2)$$

$$Q_{out,i} = \sum_{j=1}^{pai} Q_{pa,i,j} + \sum_{j=1}^{npai} Q_{npai,j} \quad (3)$$

که در آن: Q_i میزان جریان خروجی از المان i به المان $i+1$ بر حسب $[m^3/d]$ ، Q_{i-1} میزان جریان خروجی از المان $i-1$ بر حسب $[m^3/d]$ ، $Q_{in,i}$ کل جریان ورودی از منابع نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای به i بر حسب $[m^3/d]$ و $Q_{out,i}$ کل جریان خروجی از المان i به صورت نقطه‌ای یا غیرنقطه‌ای بر حسب $[m^3/d]$ می‌باشد. در روابط بالا منظور از ps منبع نقطه‌ای و nps منبع غیرنقطه‌ای می‌باشد.

$$S_{na} = ONHydr + r_{na} \text{ PhytoResp} - NH4Nitrif - r_{na} P_{ap} \text{ PhytoPhoto} \quad (8)$$

$$+ [J_{NH4} - P_{ab} \text{ BotAlgUptakeN} (NUpWCfrac)] \frac{A_{st,i}}{V_i}$$

۲- نیتروژن نیتراتی

مقدار نیتروژن نیتراتی در اثر نیتریفیکاسیون آمونیاک افزایش و در اثر فرایند دنیتریفیکاسیون و فتوسنتز گیاهان کاهش می‌یابد.

$$S_{ni} = \text{NH}_4\text{Nitrif} - \text{Denitr} - r_{na}(1 - P_{ap}) \text{PhytoPhoto} + [\text{J}_{\text{NO}_3} - (1 - P_{ab}) \text{BotAlgUptakeN}(\text{NUpWCfrac})] \frac{A_{st,i}}{V_i} \quad (9)$$

۳- فسفر غیرآلی

میزان فسفر غیرآلی در فرایندهای هیدرولیز فسفر آلی و تنفس فیتوپلانکتون ها افزایش و در فتوسنتز گیاهان کاهش می یابد.

$$S_{pi} = \text{DOPHydr} + r_{pa} \text{PhytoResp} - r_{pa} \text{PhytoPhoto} - \text{IPSettl} + [\text{J}_{\text{PO}_4} - \text{BotAlgUptakeP}(\text{PUpWCfrac})] \frac{A_{st,i}}{V_i} \quad (10)$$

یک مقایسه ساده آماری در کمی کردن دقت مدل، می تواند مکمل مقایسه های غیر کمی پروفیل های اندازه گیری و محاسبه شده کیفیت آب باشد. به منظور ارزیابی و اعتباریابی نتایج مدل، از شاخص های آماری ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)^۱ و خطای استاندارد (SE)^۲ استفاده شد. شکل ریاضی این آماره ها در روابط زیر ارائه گردیده است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (Y_m - Y_p)^2}{n-1}} \quad (14)$$

$$SE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (Y_m - Y_p)^2}}{\bar{Y}_m} \quad (15)$$

که N تعداد نمونه های مورد مطالعه، Y_m مقادیر اندازه گیری شده در هر روز، Y_p مقدار پیش بینی شده با استفاده از مدل، \bar{Y}_m میانگین داده های اندازه گیری شده می باشد (۲۱).

در این مطالعه با توجه به آمار و داده های اندازه گیری شده در مورد کیفیت آب این رودخانه در سه ایستگاه (دزفول، حرمله و بامدژ) وضعیت این رودخانه مورد بررسی قرار گرفت. مدل خودپالایی رودخانه با مشخصات کمی و کیفی رودخانه و پساب های ورودی به آن در فصل کم آب ساخته و کالیبره شد. سال های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۵ به عنوان کالیبره کردن و سال آخر (۲۰۱۶) به عنوان صحت سنجی مدل در نظر گرفته شد. مشخصات جغرافیایی و میانگین داده های کیفی این سه ایستگاه در جدول ۱ ارائه شده است.

به منظور بررسی قدرت خودپالایی رودخانه، دو انتخاب مهم وجود دارد: ۱- پارامترهای کیفی و ۲- بازه و مقطع مورد مطالعه.

با توجه به برنامه پایش و مواد اندازه گیری شده در رودخانه دز (بازه سد دز تا بند قیر) پارامترهای فسفر غیرآلی، امونیاک و نیترات برای بررسی انتخاب گردید، که هر سه پارامتر از آلاینده های اصلی رودخانه به شمار می روند. به منظور ارزیابی قدرت خودپالایی، نیاز به محاسبه بار ورودی و بار خروجی کل، از ابتدای رودخانه تا محل نقطه کنترل است که به کمک آنها درصد خودپالایی از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$P_c = \frac{L_i - L_o}{L_i} \times 100 \quad (11)$$

در این رابطه، P_c میزان خودپالایی (به صورت درصد)، L_i و L_o به ترتیب میزان بار ورودی و خروجی کل هستند. میزان بار ورودی (L_i) در هر بازه از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$L_i = (Q_h \times C_h) + (Q_p \times C_p) + (Q_{np} \times C_{np}) \quad (12)$$

که در آن Q و C به ترتیب برابر با دبی (مترمکعب بر ثانیه) و غلظت پارامترهای کیفی (میلی گرم در لیتر) می باشد. اندیس-های h ، p و np به ترتیب به سراب، منابع غیرنقطه ای و منابع نقطه ای اشاره دارد (۲۰).

میزان بار خروجی (L_o) در هر شاخه، با استفاده از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$Q_{c,p} \times C_{c,p} \quad (13)$$

که در آن Q و C مانند تعریف قبلی می باشند و زیرنویس c,p اشاره به نقطه کنترل دارد.

1- Root Mean Square Error
2- Standard Error

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی و پارامترهای اندازه‌گیری شده در سه ایستگاه واقع در روی رودخانه دز

Table 1. Geographical characteristics and measured parameter at three stations in Dez river

P-PO ₄	N-NO ₃	N-NH ₄	Y	X	ایستگاه
۳/۹۹	۹۵۲/۳۲	۳۰۸/۰۶	۳۵۸۷۵۶۰	۲۵۵۶۱۶	دزفول
۵/۹۹	۱۴۶۱/۰۶	۴۱۹/۳۸	۳۵۳۷۱۷۳	۲۶۹۴۶۳	حرملة
۷/۷۲	۱۶۶۹/۱۱	۴۱۹/۳۸	۳۵۰۷۳۲۳	۲۸۰۷۳۵	بامدژ

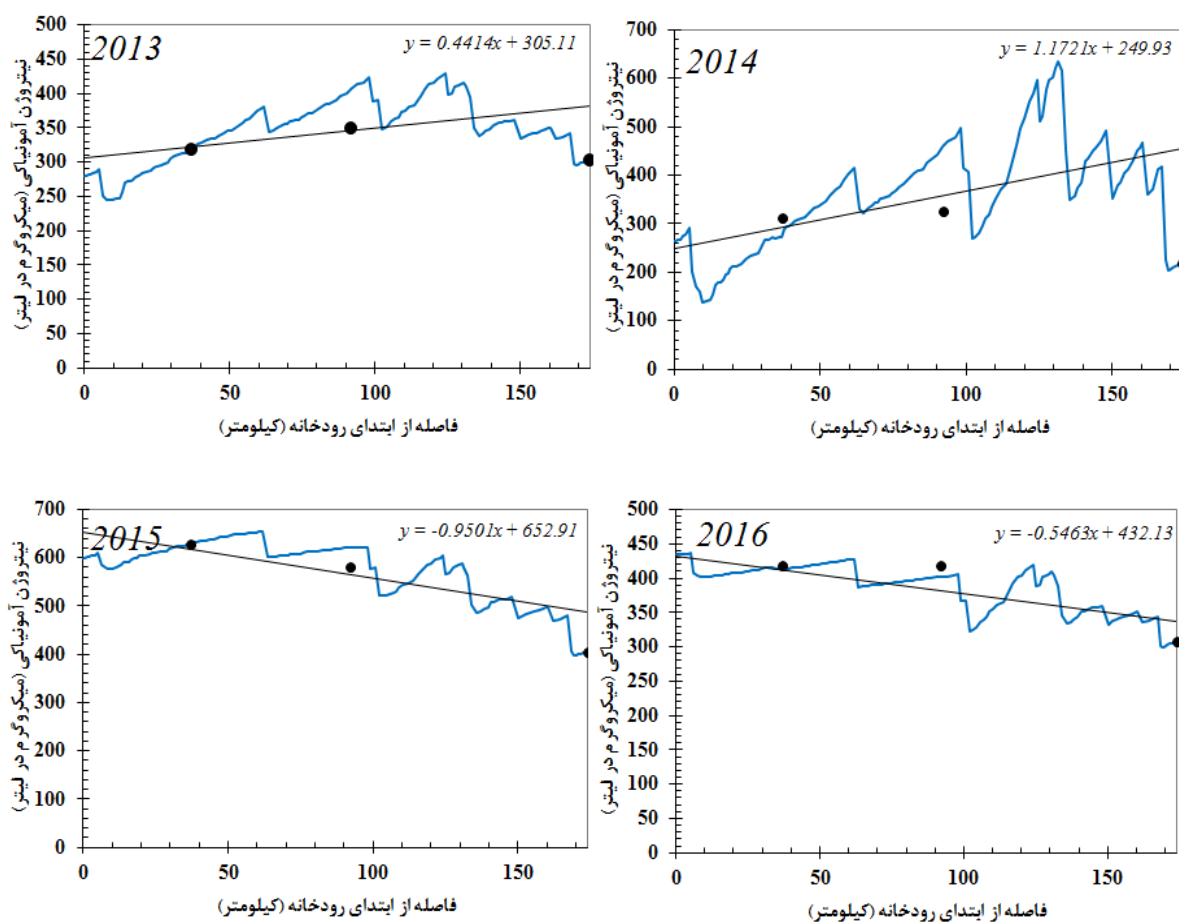
بالا بودن آمونیاک، نشان دهنده ورود آلاینده‌ها به رودخانه است.

شکل ۶ تغییرات نیتروژن آمونیاکی در طول رودخانه دز سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۶ را نشان می‌دهد. با توجه به شکل یادشده در بازه کیلومتر ۰ تا ۹۰ با ورود آلاینده‌ها به رودخانه میزان این پارامتر افزایش یافته است، سپس از بازه فوق تا انتهای رودخانه به دلیل خودپالایی رودخانه مقدار نیتروژن آمونیاکی کاهش پیدا کرده است.

ستون دوم و سوم جدول، به ترتیب طول و عرض جغرافیایی ایستگاه‌های اندازه‌گیری پارامترهای کیفی و همچنین ستون چهارم تا ششم جدول، میانگین پارامترهای اندازه‌گیری شده بر حسب میکروگرم در لیتر در ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

یافته‌ها و بحث

نیتروژن آمونیاکی در طول فرایند هیدرولیز نیتروژن آلی و تنفس فیتوپلانکتون‌ها، افزایش می‌یابد. مقدار این پارامتر در اثر فرایندهای نیتریفیکاسیون و فتوسنتز گیاهان کاهش می‌یابد. مقدار نیتروژن آمونیاکی در مدل توسط رابطه (۸) محاسبه شد.

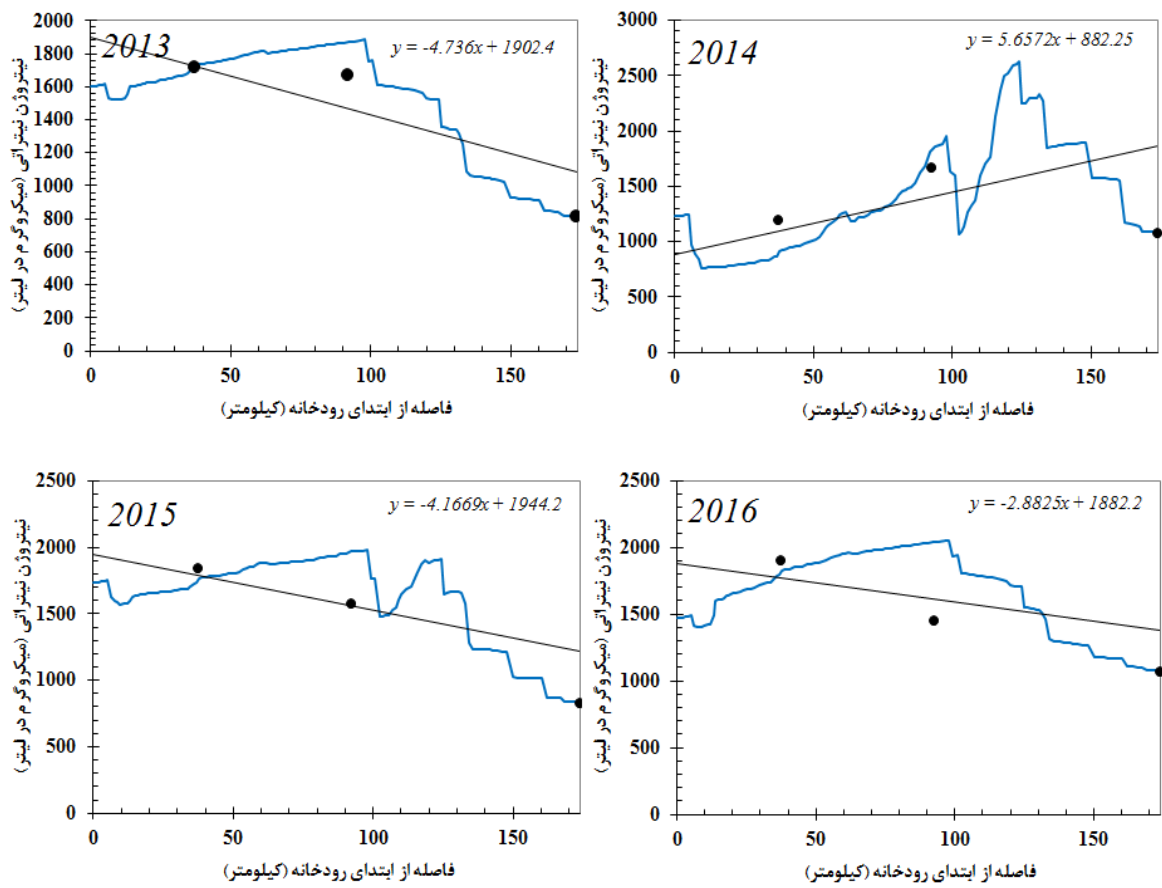


شکل ۶- تغییرات NH_4 در طول رودخانه شبیه‌سازی شده توسط مدل در ماه جولای سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۶.

Figure 6. NH_4 changes along river simulated by model in July (2013 to 2016)

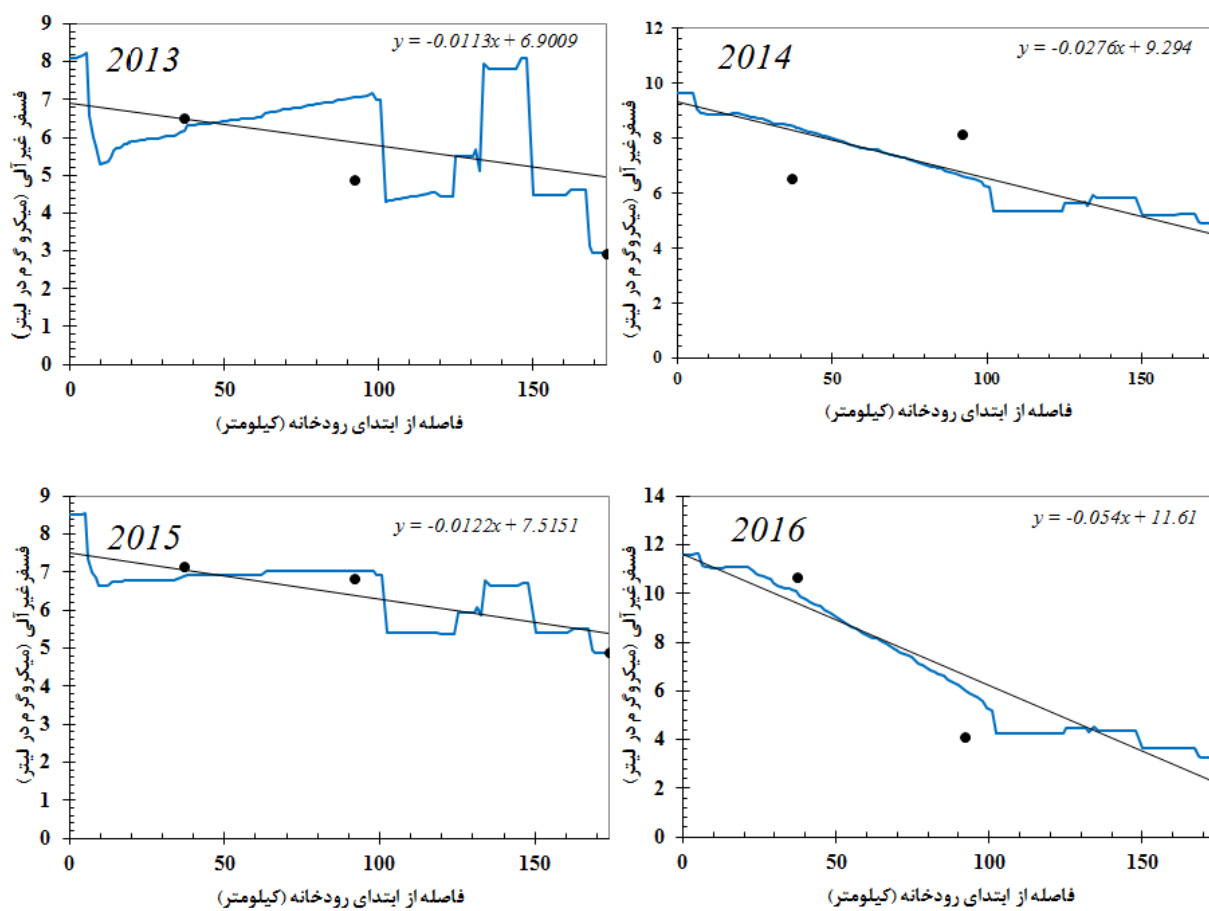
گیاهان کاهش می‌یابد. میزان نیتروژن نیتراتی در مدل توسط رابطه (۹) محاسبه و تعیین می‌شود. میزان نیتروژن در طول رودخانه از ابتدای رودخانه تا کیلومتر ۹۰ روند افزایشی داشته و از کیلومتر ۱۰۰ تا انتهای رودخانه روند کاهشی داشته است.

شکل ۷ تغییرات نیترات را در طول رودخانه در سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۶ را نشان می‌دهد. نیتروژن نیتراتی از طریق فاضلاب شهری، کشاورزی (مصرف کودهای ازته) وارد رودخانه می‌شود. مقدار نیتروژن نیتراتی در اثر دنیتریفیکاسیون و فتوسنتز



شکل ۷- تغییرات نیترات در طول رودخانه شبیه‌سازی شده توسط مدل در ماه جولای در سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۶.

Figure 7. Nitrate changes along river simulated by model in July (2013 to 2016)



شکل ۸- تغییرات فسفر غیرآلی در طول رودخانه شبیه‌سازی شده در ماه جولای سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۶.

Figure 8. Inorganic P changes along river simulated by model in July (2013 to 2016).

های شبیه‌سازی داشته است که از علل آن می‌توان به کاهش میزان فسفر آلی و خودپالایی در طول رودخانه اشاره کرد. جدول ۲ درصد خودپالایی پارامترهای کیفی مورد مطالعه (N- NH_4 و N-NO_3 و P-PO_4) در طول رودخانه را نشان می‌دهد. بیشترین مقدار پالایش مربوط N-NH_4 (۴۵٪) در سال ۲۰۱۴ می‌باشد و کمترین مقدار پالایش مربوط به P-PO_4 در سال ۲۰۱۳، معادل ۱۸٪ می‌باشد.

شکل ۸ تغییرات فسفر غیرآلی را در طول رودخانه در سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۶ را نشان می‌دهد. میزان فسفر غیرآلی در فرایندهای هیدرولیز فسفر آلی و تنفس فیتوپلانکتون‌ها افزایش و در اثر فتوسنتز گیاهان کاهش می‌یابد. چگونگی محاسبه فسفر غیرآلی توسط مدل از رابطه (۱۰) قابل محاسبه است. در حالت کلی فسفر غیرآلی در طول رودخانه روند کاهشی در سال-

جدول ۲- درصد خودپالایی پارامترهای کیفی مورد مطالعه در سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۶

Table 2. Self-purification percentage of qualitative parameters (2013 - 2016)

N- NH_4	N- NO_3	P- PO_4	سال
٪۳۴	٪۲۷	٪۱۸	۲۰۱۳
٪۴۵	٪۴۲	٪۲۲	۲۰۱۴
٪۳۸	٪۲۸	٪۲۰	۲۰۱۵
٪۴۴	٪۴۰	٪۲۷	۲۰۱۶

مقادیر معیار خطای استاندارد بین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده در سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۶ را ارائه می‌دهد. بطوری‌که می‌توان از این جدول استنباط کرد بیشترین مقدار خطای استاندارد مربوط به $N-NO_3$ در سال ۲۰۱۳ (۰/۶) و کمترین مقدار آن مربوط به $N-NH_4$ در سال ۲۰۱۶ معادل ۰/۰۲ می‌باشد.

به منظور ارزیابی از نتایج حاصل از شبیه‌سازی و مقادیر اندازه‌گیری در ایستگاه‌های اندازه‌گیری از معیارهای خطای ریشه میانگین مربعات خطا و خطای استاندارد استفاده شد. جدول ۳ نتایج حاصل از مقادیر این معیارها را نشان می‌دهد. به‌طوریکه از جدول ۳ می‌توان نتیجه گرفت بیشترین مقدار RMSE پارامتر آمونیوم مربوط به سال ۲۰۱۳، (۶۰/۰۲) می‌باشد. برای پارامتر نترات مربوط به سال ۲۰۱۳ معادل ۷۹۶/۸۱ (میکرو گرم در لیتر) می‌باشد، همچنین برای پارامتر فسفر غیرآلی نیز سال ۲۰۱۳ معادل ۱/۷۷ می‌باشد.

جدول ۳- مقادیر معیار RMSE محاسبه شده بین مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده در سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۶.

Table 3. RMSE criteria calculated between measured and simulated values (2013-2016)

RMSE			SE			
N-NH ₄	N-NO ₃	P-PO ₄	N-NH ₄	N-NO ₃	P-PO ₄	سال
۶۰/۰۲	۷۹۶/۸۱	۱/۷۷	۰/۲۱	۰/۶۰	۰/۳۶	۲۰۱۳
۴۶/۱۸	۱۴۸/۶۳	۱/۷۱	۰/۱۴	۰/۱۰	۰/۲۶	۲۰۱۴
۲۷/۵۳	۲۶۲/۴۸	۰/۲۰	۰/۰۵	۰/۱۸	۰/۰۳	۲۰۱۵
۱۰/۳۳	۴۱۶/۹۵	۱/۴۱	۰/۰۲	۰/۲۸	۰/۲۳	۲۰۱۶

می‌دهد علاوه بر طولانی بودن رودخانه که می‌تواند موجب کاهش سهم بار آلودگی به دلیل فرایند خودپالایی شود، با افزایش سطح فعالیت‌های انسانی سهم بار آلودگی کاهش چشمگیری ندارد. به‌ویژه نتایج به‌دست آمده با نتایج به‌دست آمده از تحقیق مهاما (۱۹۹۸) (۲۵) در زمینه تاثیر کاربری‌های شهری، مسکونی و کشاورزی همخوانی دارد.

نتیجه‌گیری

رودخانه دز یکی از رودخانه‌های بزرگ کشور است، که آب کارخانجات، پرورش ماهی و همچنین آبیاری اراضی وسیع کشاورزی اطراف را در مسیر رودخانه تامین می‌کند. از این رو کنترل کیفیت آب آن بسیار مهم و حیاتی است. برای شبیه‌سازی این رودخانه از مدل Qual2k استفاده شد که مدلی دقیق می‌باشد و نتایج شبیه‌سازی و اسنجی و صحت‌سنجی نیز قابلیت دقیق این نرم‌افزار را تایید می‌کند. از نتایج به دست آمده با استانداردها نتیجه‌گیری می‌شود که رودخانه دارای یک

در این پژوهش سه سال (۲۰۱۳ تا ۲۰۱۵) برای واسنجی در نظر گرفته شد و برای سال چهارم (۲۰۱۶) صحت‌سنجی شد. مطابق شکل‌های ۶، ۷ و ۸ در سال آخر (۲۰۱۶) مدل تطابق خوبی با نمونه‌های واقعی (اندازه‌گیری شده) دارد. همچنان که مهراسبی و فرهمندکیا (۲۰۱۵) نشان دادند که داده‌های بدست آمده از مدل Qual2k معتبر بوده و این مدل ابزار ساده برای مدیریت و تصمیم‌گیری در زمینه کیفیت آب این رودخانه است. ژانگ و همکاران (۲۰۱۲) (۲۲)، با استفاده از مدل Qual2k تاثیرات طیف وسیعی از سناریوهای بهبود کیفیت آب را در رود هونگکی، که یک شاخه آلوده‌کننده آب حوضه دریاچه تایهو است، پیش‌بینی کردند. نتایج آنها نیز نشان می‌دهد که مدل Qual2k می‌تواند به عنوان یک ابزار موثر در برنامه‌های بهبود کیفیت آب مورد استفاده قرار گیرد.

همان‌طور که چانگ و (۲۰۰۴) (۲۳) و کارنی (۲۰۰۹) (۲۴) اشاره کردند، در این‌جا نیز افزایش فعالیت‌های انسانی موجب افزایش سهم بار آلودگی به رودخانه دز شده است. نتایج نشان

5. Noshadi, M., Hatmizade, M.R., 2010. Qualitative measurement and simulation of Kor river using the Qual2k model. Iranian Journal of Irrigation and Drainage 3: 338-349. (In Persian).
6. Shahriari, F., Javadifar, N., Akhondali, A.M. 2010. Changes in flow rate on water quality in Karoon river using Qual2kw model. The fifth national congress and specialized environmental exhibition. Tehran. 50:1-10. (In Persian)
7. Razaghian. F., Sabziparwar. B., Sarang, A. 2015. Qualitative modeling of Qarasoo river in Kermanshah using Qual2kw model. Tenth international congress on civil engineering Tabriz . 10:1-8. (In Persian)
8. Xiaobo, F., Jianying, Z., Yingxu, C. and X. Xiangyang. 2008. QUAL2K model used in the water quality assessment of Qiantang River, China. Water Environment Research, 80: 2125–2133.
9. Fan, C., Ko, C. and W.Wang. 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.
10. Grabić, J., Bezdan, A., Benka, P. and A. Salvai. 2011. Spreading and transformation of nutrients in the Reacg of the Becej-Bogojeco Canal, Serbia. Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences, 6(1): 277–284.
11. Rafiee, M., Akhondali, A. M., Moazed. H., Lyon, S. W., Jaafarzadeh, N. e. and B. Zahraie. 2013. A Case Study of Water Quality Modeling of

روند طبیعی بوده و برای کشاورزی، آبیاری و برای مصارف چهارپایان و آبزیان مناسب است، ولی برای مصارف آشامیدن انسان مناسب نمی‌باشد، چرا که با توجه به استانداردهای ایران و سازمان بهداشت جهانی، مقادیر آمونیاک و نیترات در حد استانداردهای آب‌های مصرفی چهارپایان و آبزیان بوده و برای مصرف آشامیدن انسان مناسب نیست، مگر اینکه مورد تصفیه فیزیکی و شیمیایی قرار گیرد. رودخانه‌ها در مسیرهای گاه طولانی خود دچار تغییر و تحولات بسیاری می‌شوند و نیز تا حدی توان خودپالایی دارند، که این امر می‌تواند باعث از بین رفتن بسیاری از آلاینده‌ها شود. بنابراین باید اقداماتی صورت گیرد که این توان خودپالایی از بین نرفته و بلکه افزایش یابد که این مهم جز با حفظ و نگهداری این منبع ارزشمند (رودخانه دز) و جلوگیری از آلودگی آن به‌خصوص با پساب‌های کشاورزی، فاضلاب خانگی و صنعتی امکان‌پذیر نیست.

Reference

1. Hanfeng, Y. E., Shuhai, GUO., Fengmei, LI. And LI. Gang., 2013. Water Quality Evaluation in Tidal River Reaches of Liaohe River Estuary, China Using a Revised QUAL2K Model. Chinese Geographical Science, 23(3): 301–311
2. Kalburgi, P. B., Shareefa, R. N. and U. B. Deshannavar., 2015. Development and Evaluation of BOD–DO Model for River Ghataprabha near Mudhol (India), using QUAL2K. IJ Engineering and Manufacturing, 5(1): 15-25.
3. Hayes, D. F., Labadie, J. W., Sanders, T. G. and J. K. Brown., 1998. Enhancing water quality in hydropower system operations. Water Research, 34: 471–483.
4. Herbay, J. P., Smeers, Y. and D. Tyteca., 1983. Water quality management with time varying river flow and discharger control. Water Research, 19: 1481–1487.

18. Dulaimi, G.A. 2017. Evaluation of BOD and DO for Diyala River by Using Stream Water Quality Model. *International Journal of Environmental Science and Development*, Vol 8. N. pp 1-6.
19. Chapra, S.C., Pelletier, G.J. and H.Tao. 2008. "QUAL2K – a modeling framework for Simulation river and streams water quality (Version 2.11)". *Documentation and User Manual*, pp 1-109.
20. Azimi, M., Gawasie, A., Hashemi, S., Barketin, S. 2010. Assessing the power of self-purification of the river with help of result of qualitative simulation (case study: Sefidrood River). *National water conference with clean water approach. University of Water and power industry. 1:1-10. (In Persian)*
21. Sentelhas, P., Gillespie, T., and Santos, E.A. 2010. Evaluation of FAO Penman-Monteith and alternative methods for estimating reference evapotranspiration with missing data in southern Ontario, Canada. *Agricultural Water Management* 97: 635-644.
22. Zhang, R., Qain, X., Li, H., Xingcheng, Y., Rui, Y., 2012. Selection of River Water Basin Chin. *Science of the Total Environment* 431, 278-285.
23. Chang, H. 2004. Water quality impacts of climate and land use changes on Southeastern Pennsylvania. *The professional Geographer*. vol. 56. pp. 240-257
24. Carney, E. 2009. Relative influence of lake age and watershed land use on tropic state and water quality of artificial lakes in Kansas. *J. Lake the Gargar River, Iran. Journal of hydraulic structures*, 1(2): 10-22.
12. Oliveira, B., Bola, J., Quinteiro, P., Nadais, H. and L. Arroja. 2012. Application of Qual2Kw model as a tool for water quality management: Cértima River as a case study. *Environ Monti Assess*, 184: 6197–6210.
13. Gupta R.C., Gupta A.K and Shrivastava R.K., 2013. Water quality modeling of a stretch of river Kshipra India. *Nature Environment and Pollution Technology*, 123: 511-516.
14. Hossain, M. A., Sujaul, I. M. and M. A. Nasly., 2014. Application of QUAL2Kw for water quality modeling in the Tunggak River, Kuantan, Pahang, Malaysia. *Research Journal of Recent Sciences*, 3(6): 6-14.
15. Bagherian, Marzouni 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*, 22: 339-358.
16. Mehrasbi, M.R. and Farahmand, Kia. Z. 2015. Water quality modeling and evaluation of nutrient control strategies using qual2k in the small sivers, *J. Hum. Environ. Health Promot.* 11: 1-11
17. Vivin, S.I., Wahyono, H., Masduqi, A. 2016. Identifikasi Daya Tampung Beban Pencemaran Air Kali Surabaya Segmen Jembatan Canggung-Tambangan Bambe dengan Pemodelan QUAL2Kw, *JURNAL TEKNIK ITS* Vol. 5, No. 2, PP. 857-861. (2016) ISSN: 2337-3539 (2301-9271 Print).

modeling. Ecological Modelling,
109(3): 295-300.

Reserve. Manage. vol. 25. pp. 199
-207.

25. Mahamah, D. S., 1998. Simplifying
assumptions in water quality