Iranian Hydraulic Association
Journal of Hydraulics
https://doi.org/10.30482/jhyd.2019.190869.1398

Effectiveness of Variation of River Geometry on Increasing Quality of Water Flow (Case Study: Ghezel Ozan River)

Zohre Emamgholi [1], Mehdi Yasi [2*]

1- Master of Science of Water Structures, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Tehran University, Karaj, Iran.
2- Associate Professor of River Engineering, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, University of Tehran, Karaj, Iran.

*m.yasi@ut.ac.ir

Received: 4 July 2019, Accepted: 7 October 2019 J. Hydraul. Homepage: www.jhyd.iha.ir

Abstract

Introduction: Rivers are generally receiving wastewater from agriculture, industrial and urban areas. Population growth, urban development and human activities have always been a threat to the quantity and quality of river water flows. In general, the purer the water, the more valuable and useful it is for riverine ecology and for abstractions to meet human demands such as irrigation, drinking and industry. Conversely, the more polluted the water, the more expensive it is to treat to satisfactory levels. This leads to disruption of natural food chains and the loss of riverine lives. Protecting and improving the quality of river flows is a priority.

The changing hydrological regime associated with the developing water demand schemes may alter the capacity of the environment to assimilate water soluble pollution. In particular, reductions in low flows result in increased pollutant concentrations already discharged into the water course either from point sources, such as industry, irrigation drains and urban areas, or from non-point sources, such as agrochemicals leaking into groundwater and soil erosion. Reduced flood flows may remove beneficial flushing, and reservoirs may cause further concentration of pollutants. Monitoring of water quality in different reaches of rivers depends on the purposes of water uses and requires a long-time and high-cost planning. Numerical simulation models are useful tools for a rapid and low-cost assessment and prediction of water quality in the present and in the future conditions of the rivers reaches. Different scenarios can be tested for evaluating the effects of point and non-points sources of pollutants discharging into the river, and for predicting the effectiveness of alternative restoration plans in the management of water-based lives instream and in riverine riparian areas. In the present study, the effects of discharging pollutants on water quality in a long river reach have been studied under the present condition and in different scenarios of river training schemes.

Methodology: As a case study, the 51-km Diwandra-Bijar Reach of the Ghezel Ozan River was selected. Modeling of the existing conditions of river quality was performed using existing geometric-hydraulic and river water quality data. Two mathematical models QUAL2KW and WASP were used to simulate the water quality. Simulation of different parameters (such as: DO, BOD, COD, Norg, NH3, Q, h, V, T and pH) were considered. In order to calibrate these models, RMSE and MAPE statistical indices were used. Using the QUAL2KW model, five river training schemes (variation of 1-river width, 2-side slope, 3-longitudinal slope, 4-bed roughness;

and 5- width and longitudinal slope of the river) were considered.

Results and discussion: Comparison of river conditions simulation with two models of QUAL2KW and WASP with observational data showed that both models have the proper ability to simulate water quality. The study of river conditions showed that the river flow increased along the river due to the entry of the sub branch. Due to changes in geometry and river flow, depth and flow velocity are changing along the path. Changes in river water temperature to 35 km are decreasing and then increasing. The concentration of dissolved oxygen from the upstream to downstream of the river is decreasing. BOD concentration is rising from kilometer 19. The concentration of nitrate in kilometer 32 has increased due to the arrival of the Cham Zard River. The concentration of Norg has increased from Kilometer 19. This is due to changes in the river section and a decrease in sedimentation due to the increase of the flow and entry of pollutants into the river. Ammonia concentration also increased at Kilometer 19 with the arrival of the Cham Zard River, and finally decreased by the arrival of the Yol Gashti river. Considered scenarios showed that, with decreasing river width, flow velocity increased, resulting in an increase in the concentration of the dissolved oxygen that increased the amount of river self-purification capacity. The concentration of NO3, BOD and COD parameters also increased slightly in high Discharge. The effect of the scenario of the Side slope on the water quality and hydraulic performance of the river is very small and has the least impact on the water quality of the river. By reducing the slope of the river bed, the flow rate is reduced, so the dissolved oxygen decreases. And the concentration of BOD and COD parameters has increased and the concentration of nitrate has decreased. This scenario is appropriate for the condition where the river needs to reduce the BOD. By the roughness increases, the flow velocity decreases. Consequently, the concentration of quality parameters (such as: BOD, DO and COD) are decreased.

Conclusion: The results indicated that both models are capable of simulating the qualitative status of the river reach. The results of the five river training scenarios prove that wherever the dissolved oxygen (DO) is insufficient in the flowing water, the decrease in the channel width has the greatest effect. Implementation of both the decrease in channel slope and the increase in the channel width is effective in the reduction of BOD and COD, while does not result in a significant reduction in DO. Nitrate variations are almost negligible in all scenarios, indicating a low susceptibility of this parameter to the changes the channel geometry. However, wherever the concentration of Nitrate is a major treat, the increase in the channel width together with the decrease in the channel slope would be an alternative training solution.

Keywords: River training, Water quality, QUAL2KW model, WASP model, Ghezel Ozan River.

انجمن هیدرولیک ایران
نشریه هیدرولیک
https://doi.org/10.30482/jhyd.2019.190869.1398

اثربخشی تغییرپذیری‌های هندسی رودخانه بر کیفیت جریان آب (مطالعه موردی: رودخانه قزل‌اوزن)

زهره امامقلی[1]، مهدی یاسی[2*]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران
۲- دانشیار مهندسی رودخانه، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران

[*]m.yasi@ut.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۱۳، پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۱۵ وب‌گاه نشریه هیدرولیک: www.jhyd.iha.ir

چکیده: رودخانه‌ها به‌طورعموم پذیرنده پساب‌های کشاورزی، صنعتی و شهری هستند. حفاظت و بهبود کیفیت آب رودخانه ها ضروری است. این پژوهش، به بررسی مقایسه ای کیفیت جریان آب در شرایط موجود و در شرایط تغییرپذیری در هندسه آبراهه اصلی یک رودخانه می پردازد. در این بررسی، رودخانه قزل‌اوزن در بازه دیواندره- بیجار به طول ۵۱ کیلومتر انتخاب شد. بنابر داده‌های موجود هندسی-هیدرولیکی و کیفیت آب، مدل‌سازی کیفیت آب رودخانه انجام شد. برای شبیه‌سازی شرایط موجود رودخانه از دو مدل ریاضی کیفیت آب QUAL2KW و WASP استفاده شد. فراسنجه (پارامتر)های مختلف کیفی و هیدرولیکی آب (مانند: DO، BOD، COD، Norg، NH3، Q، h، V، T و pH) مورد نظر قرار گرفتند. نتایج نشان داد که هر دو مدل دارای توانایی مناسبی در شبیه‌سازی فراسنجه‌های کیفی آب هستند. با استفاده از مدل QUAL2KW پنج راهکار تغییر هندسی رودخانه (۱- عرض رودخانه، ۲- شیب جانبی، ۳- شیب طولی، ۴- زبری و ۵- عرض و شیب طولی رودخانه) شبیه‌سازی شد. نتایج نشان داد که در صورت کمبود غلظت اکسیژن محلول، راهکار کاهش عرض بیشترین تاثیر را دارد. در شرایطی که نیاز به کاهش غلظت BOD و COD باشد، ولی منجر به کاهش DO نشود، مناسب ترین راهکار تغییر همزمان کاهش شیب و افزایش عرض می‌باشد. تغییرپذیری نیترات در همه‌ی راهکارها اندک بوده، که نشان دهنده تاثیر پذیری کم این فراسنجه است. در شرایطی که غلظت نیترات مشکل آفرین باشد، راهکار افزایش عرض همزمان با کاهش شیب تاثیر بیشتری در مقایسه با دیگر راهکارها دارد.

کلید واژگان: ساماندهی رودخانه، کیفیت آب، مدل QUAL2KW، مدل WASP، قزل‌اوزن

۱- مقدمه

با توجه به رشد روز افزون جمعیت شهری و گسترش فضای شهری همراه با نیاز شهروندان به هوای پاک و فضاهای تفریحی، چشم اندازهای زیبا و دلنشین شهری ضرورت توجه به این نکته که مسیل یکی از منبع‌های بسیار کمیاب طبیعی برای رسیدن به پایداری در شهرها بوده و باید استفاده بهینه‌ای از آن‌ها صورت گیرد. از طرفی توسعه شهرسازی در دهه‌های گذشته، رودخانه‌ها درعمل توسط بافت شهری احاطه شده و عملکرد طبیعی خود را از دست داده‌اند. که از جمله این پیامدها خارج شدن رودخانه از شکل اصلی و طبیعی خود و تبدیل شدن به کانال‌هایی صلب که گاهی سرپوشیده نیز می‌باشند، به طوری که از دید همگان خارج شده و چشم اندازهای زیبایی که رودخانه می‌تواند در محدوده شهر ایجاد کند را از بین برده‌اند. همچنین این تغییرپذیری‌ها منجر به تغییرهای کیفیت آب رودخانه نیز می‌شود. افزایش آلودگی آب‌های سطحی نه تنها کیفیت آب را کاهش می‌دهد بلکه موجب تهدید سلامت انسان، برهم خوردن توازن زیست‌بوم‌های آبی و همچنین مختل شدن توسعه اقتصادی و رفاه اجتماعی می‌شود (Milovanovic, 2007). بنابر این بررسی کیفیت آب در کنار طرح‌های ساماندهی و احیای رودخانه‌ها دارای اهمیت می‌باشد. از آنجا که پایش کیفی آب رودخانه‌ها

مستلزم صرف وقت و هزینه زیاد می‌باشد، استفاده از مدل-های شبیه‌ساز عددی کیفی آب باتوجه به هزینه به نسبت ارزان استفاده از این مدل‌ها و قابلیت بالای آن‌ها در زمینه تشخیص، ارزیابی و پیش‌بینی شرایط کیفی آب در شرایط موجود و آینده، به ابزاری مناسب و کارآمد در تعیین و ارزیابی اثرگذاری فراسنجه (پارامتر)های مختلف در مدیریت کیفی پیکره‌های آبی تبدیل شده است (کارآموز و کراچیان،۱۳۸۶ و خواجه‌پور و همکاران، ۱۳۹۲). شکل کلی مدل‌های شبیه‌سازی عددی کیفیت آب یکسان است و همه‌ی آن‌ها دارای یک سری معادل‌های دیفرانسیلی می-باشند. پس از ارائه رابطه‌های معروف استریتر و فلپس برای پیش بینی میزان اکسیژن محلول در رودخانه‌ها؛ انواع مختلف مدل‌های شبیه‌سازی کیفی رودخانه‌ها، مخزن‌ها، خلیج‌ها و آب‌های زیرزمینی تدوین شده و تکامل پیدا کرده است (مصباح، ۱۳۸۷).

نخستین اقدام‌ها در زمینه خودپالایی توسط Streeter and Phelps (1925) صورت گرفت. یک سری معادله‌هایی برای فراسنجه اکسیژن خواهی بیوشیمیایی و منحنی افت اکسیژن محلول ارائه کردند. Mathew et al. (2011) به منظور کمک به بهبود و ارزیابی موفقیت طرح احیای رودخانه گل آلود بوستون، بررسی‌های کیفیت آب را آغاز کردند. نتایج شبیه‌سازی کیفیت آب با استفاده از مدل QUAL2K برای حالت‌های مختلف و متغییرهای DO، BOD، TP، E-coli و TEMP نشان داد تاثیر فاضلاب ها بر کاهش اکسیژن محول رودخانه قابل ملاحظه نیست. و بارگذاری داخلی رودخانه ناشی از وجود جلبک، رسوبات بستر و همچنین فضولات پرندگان آبزی، عامل اصلی در الگوی مکانی کیفیت آب رودخانه است. در نهایت پیشنهاد دادند که طرح لایروبی رودخانه اجرا شود و براین باور بودند که با این کار بهبود قابل توجهی در وضعیت کیفی رودخانه ایجاد می‌شود.

Oliveira et al. (2012) به منظور شبیه‌سازی کیفت آب رودخانه سرتیما از مدل QUAL2KW استفاده کردند. این رودخانه به سبب مواد مغذی که در اثر فعالیت‌های کشاورزی، دام‌پروری، فاضلاب خانگی و پساب صنعتی به آن می‌ریزد، مستعد تغذیه گرایی است. نتایج مدل‌سازی نشان داد که همبستگی بین غلظت نیتروژن و فسفر در رودخانه وجود ندارد و به منظور خارج کردن رودخانه از حالت مغذی به حالت (مزوتروفیک) نیتروژن و فسفر ورودی به رودخانه باید به ترتیب ۵ تا ۱۰ برابر کاهش یابند.

Rajabizadeh and Sayari (2017) برای بررسی کیفیت آب رودخانه بافت و ارزیابی تاثیرگذاری ورود سنج‌های آلایندهای مانند نیترات و شوری از مدل شبیه‌ساز WASP استفاده کردند. نتایج شبیه‌سازی نشان داد مدل WASP برای مدل‌سازی فراسنجه‌های نیترات و شوری رودخانه بافت در بیشتر ایستگاه‌های مورد بررسی مناسب بوده و می‌توان تغییرپذیری‌های احتمالی کیفی آینده‌ی رودخانه را پیش‌بینی و در راستای آن مدیریت و برنامه‌ریزی لازم را اجرا کردند.

Canu and Ginevra (2017) با استفاده از مدل WASP-7 به شبیه‌سازی یک راهکاری بلند مدت ۱۰۰ ساله برای میزان جابه جایی جیوه در تالاب مارانو گردو پرداختند. نتایج نشان داد که با اعمال تغییرپذیری آب و هوایی و محدود کردن ورود جیوه از رودخانه‌ها، برای بهبود شرایط تالاب در سطح مورد نظر بیش از ۵۷۰ سال برای رسوبات سطحی و ۱۷۵۰ سال برای رسوبات زیرسطحی زمان برای خارج شدن جیوه نیاز است.

Privette and Smink (2017) در پروژه خود به بررسی۱۰۰٪ پساب تولید شده از تاسیسات تصفیه فاضلاب مختلف در امتداد رودخانه، در پایین دست رودخانه رییدد، بوید میلوتپ و دریاچه گرینوود پرداختند. در این ارزیابی از مدل های WASP، LSPC C++ استفاده کردند؛ که به بررسی تاثیر حذف کامل پساب تصفیه خانه روی دو فراسنجه نیتروژن کل و فسفر کل در سه بازه زمانی با بارش های خشک مرطوب و متوسط سالانه، با استفاده از داده های واقعی ۷ سال هواشناسی پرداختند. نتایج آنان نشان داد بیشترین تاثیر حذف پساب‌ها در دوره خشک می‌باشد.

Sharma et al (2017) فراسنجه‌های مانند CBOD، DO، TN و کلیفرم کل در رودخانه یومانای هند را با مدل QUAL2KW بررسی نموده و دریافتند که پیش‌بینی‌های CBOD، DO، TC و TN نسبت به جریان بالادست و ورودی‌های نقطه‌ای بسیار حساس هستند. تجزیه و تحلیل

عدم قطعیت با استفاده از شاخص مونت کارلو نشان داد که داده‌های ورودی برابر شرایط رودخانه شبیه‌سازی شده‌است. هدف اصلی Antunes et al (2018) در تحقیقشان ارزیابی کیفیت آب‌های سطحی رودخانه Uedgueda (حوزه آبخیز مرزی پرتغال-اسپانیا) و بررسی توانایی خودپالایی آن با توجه به اجرا راهکار میزان تأثیر تخلیه آلودگی‌های نقطه‌ای و ارزیابی میزان تأثیر کمینه جریان در یک سال بسیار خشک بوده است که با مدل QUAL2KW انجام شده است. دو راهکار در نظر گرفته شده نشان داد که ظرفیت خودپالایی بیشتر در شرایط کمینه میزان جریان، نسبت به تخلیه آلودگی‌های نقطه‌ای تحت تأثیر قرار گرفته است.

Biglari et al. (2019) ضمن شناسایی منبع‌های آلاینده، راهکارهای پرشمار مهار و مدیریت (کنترل) آلودگی‌های رودخانه زرینه‌رود را برای دستیابی به استانداردهای کیفیت آب برای حیات آبزیان ارزیابی کردند. با استفاده ازمدل QUAL2KW شرایط هیدرولیک و کیفیت آب رودخانه را شبیه‌سازی کردند. ارزیابی رفتار هیدرولیک و کیفیت آب رودخانه زرینه‌رود متأثر از راهکارهای مختلف نشان داد که در طی فصل‌های خشک، واکنش و فرآیند انتقال هر دو بر تغییرپذیری غلظت فراسنجه‌های کیفیت آب اثرگذار هستند، در حالی که در فصل تر، فرآیند انتقال غالب و اثرگذار است. همچنین نشان دادند منبع‌های گسترده مانند زباله‌ها و فضولات انباشته شده در ساحل رودخانه بیشترین سهم را در آلودگی آب دارند و از بین منبع‌های نقطه‌ای و آلاینده‌های کشاورزی، منبع‌های نقطه‌ای سهم بیشتر آلایندگی را در فصل تابستان و پاییز و آلاینده‌های کشاورزی سهم بیشتر را در فصل بهار دارند. همچنین از بررسی راهکارهای مختلف مدیریت کیفیت رودخانه در فصل پاییز به این نتیجه رسیدند، محدود کردن BOD5 فاضلاب کارخانه قند به میزان ۲۱۰ میلی‌گرم بر لیتر در شرایط کنونی، سبب شود تا غلظت اکسیژن خواهی بیوشیمیایی رودخانه در حد استاندارد برای حیات آبزیان بماند. تحلیل مرور منبع‌های نشان می‌دهد بیش‌ترین راهکارها به منظور کاهش آلودگی رودخانه ها روی کاهش غلظت آلاینده‌های ورودی و یا اثرگذاری آن‌ها بر روی رودخانه‌ها همچنین ترقیق جریان رودخانه با افزایش بده جریان بوده و راهکارهای ارائه شده بر مبنای این موضوع‌های می‌باشد. اما تأثیر تغییرپذیری‌های شرایط هیدرولیکی و هندسه رودخانه در اقدام‌های ساماندهی بر کیفیت آب رودخانه‌ها بررسی نشده است. در این تحقیق با توجه به اقدام‌های ساماندهی که بر روی رودخانه‌ها صورت می‌گیرد به تعریف راهکارهایی پرداخته شده است تا تأثیر هر یک بر کیفیت آب رودخانه بررسی و ارزیابی شود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

رودخانه قزل‌اوزن یکی از طولانی‌ترین رودخانه‌های ایران است که از نظر موقعیت جغرافیایی در محدوده شمال و شمال-غرب ایران، در بخش جنوبی و غربی سلسله جبال البرز قرار دارد. که از کوه‌های کردستان و آذربایجان سرچشمه می‌گیرد و پس از پیوستن به رودخانه شاهرود به دریای خزر می‌ریزد. طول رودخانه قزل‌اوزن از سرچشمه تا محل تلاقی با شاهرود حدود۶۶۰ کیلومتر بوده. گستره حوضه آبخیز آن نزدیک به ۴۹۴۰۰ کیلومتر مربع است. (Rezaei Moghadam et al., 2011). رودخانه قزل‌اوزن طولانی‌ترین مسیر خود را در استان کردستان طی می‌کند که از این لحاظ، این استان نقش قابل توجهی را در وضعیت کیفی یکی از شاخه‌های اصلی حوضه آبریز سفیدرود ایفا می‌کند. بر همین مبنا در این تحقیق به بررسی کیفیت رودخانه در بازه دیواندره -بیجار پرداخته شده است. با توجه به اطلاعات موجود در این منطقه بازه ۵۱ کیلومتری از این رودخانه پیش از اتصال رودخانه دیوان دره نزدیک پل نساره تا روستا زردکمر بررسی شد. وضعیت هواشناسی منطقه با کمینه دمای ۳/۶- درجه سیلسیوس و بیشینه دمای ۲۴ درجه سیلسیوس، میانگین سرعت باد سالانه ۸ کیلومتر بر ساعت و میانگین بارش سالانه ۳۸/۳ میلی‌متر می‌باشد. شکل ۱ شبکه آبنگاری (هیدروگرافی) رودخانه قزل اوزن، در بازه دیواندره- بیجار را نشان می‌دهد.

در این پژوهش به منظور تامین اطلاعات کیفیت آب رودخانه قزل‌اوزن در محدوده دیواندره- بیجار از اطلاعات سازمان محیط زیست در سال‌های ۱۳۸۶ و ۱۳۸۷ استفاده شد، موقعیت هر یک از ایستگاه‌های نمونه برداری شده در جدول ۱ و داده‌های هیدرولیکی رودخانه قزل اوزن درطول محدوده مورد بررسی در جدول ۲ و داده‌های کیفیت آب درطول محدوده مورد بررسی و جریان‌های ورودی به آن در

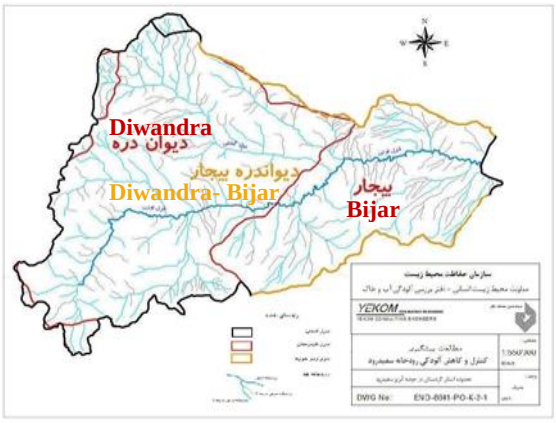

Fig. 1 Dyvandareh-Bijar Reach, Ghezel Ozan River Network

شکل ۱ شبکه رو دخانه قزل‌اوزن در بازه دیواندره- بیجار

جدول ۱ موقعیت ایستگاه‌های نمونه برداری از رودخانه قزل‌اوزن

Table 1 Location of sampling stations in Ghezel Ozan River

Location	Geographical coordinates		Station Code
	Latitude	Longitude	
Near Nessare Bridge	N35528.6	E47338.2	k09-02
Aqajeri Village	N35531.9	E47817.9	k09-03
Near Zard Kamar Village	N35540.2	E47247.5	k09-05
After the Yol Gashti confluence	N35589.1	E47263.0	k09-09

جدول ۳ ارائه شده است.

۲-۲- مدل QUAL2KW

مدل QUAL2KW آخرین مدل از سری مدل‌های QUAL است. این مدل می‌تواند معادله‌های مربوط به رودخانه را هم در شرایط پایدار و هم شبه‌پایدار حل کند (Pelletier and Chapra, 2008). در این مدل، رودخانه به عنوان یک دسته از بازه‌ها فرض می‌شوند؛ در هر بازه رودخانه به‌صورت آبراهه‌ای با سطح مقطع ذوزنقه ای در نظر گرفته می شود. از جمله ویژگی این مدل در مقایسه با نسخه‌های پیشین، واسنجی خودکار آن با داده های شاهد ورودی می‌باشد.

۲-۳- مدل WASP

برنامه شبیه‌ساز تحلیل کیفیت آب WASP;7.3 نسخه ارتقاء یافته WASP می‌باشد که توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا USEPA ارائه شده است. این مدل به کاربر کمک می‌کند که به تفسیر و برآورد اثرگذاری‌های رخدادهای طبیعی و آلودگی‌های انسان ساز برای حصول به تصمیم‌های منطقی در زمینه مدیریت آلودگی‌های مختلف بپردازد. این مدل دارای ساختار پویایی (دینامیکی) برای محیط‌های آبزی است که فرآیندهای متغییر ضمنی همانند جابجایی و شرایط مرزی را در برنامه اصلی در نظر می‌گیرد.

جدول ۲ داده‌های هیدرولیکی اندازه گیری شده رودخانه قزل اوزن درطول محدوده مورد بررسی

Table 2 Hydraulic data of Ghezel Ozen River in the study area

Mean Depth H (m)	Mean Velocity V (m/s)	Flow Rate Q (m^3/s)	Side Slope	Channel Slope	Roughness n	Channel Width B (m)	Elevation (m)	Distance Upstream (km)	Station
0.54	1.45	18.76	0:0	0.004	0.024	24.0	1741	51	k09-02
0.55	1.22	20.23	1:1	0.002	0.022	30.0	1760	44	k09-03
0.37	0.89	29.69	1:1	0.002	0.035	90.0	1672	19.7	k09-05
0.63	0.95	37.03	2:1	0.001	0.095	62.0	1635	0	k09-09

جدول ۳ داده‌های کیفیت آب رودخانه قزل‌اوزن درطول محدوده مورد بررسی و جریان‌های ورودی به آن

Table 3 Ghezel Ozen River Water Quality Data During Study Range and Inlet Flows

$N_{organic}$ (mg/lit)	NO_3 (mg/lit)	NH_4 (mg/lit)	COD (mg/lit)	BOD (mg/lit)	DO (mg/lit)	pH	T (°C)	Distance Upstream (km)	Station code
0.01	2.25	0.11	34	۱۵/۲	۹/۸۳	7.97	11.3	51	k09-02
0.01	2.01	0.12	30	۱۰/۲	۱۴	8.18	11	44.3	Diwandra River
0.01	2.2	0.12	32	۱۳/۲	۹/۵۶	8.18	11.1	4	k09-03
1.15	2.2	0.35	56	20	11	8.01	9	32	Other Inlet Flows
0.05	2.3	0.18	35.6	19.8	9.35	7.96	9.5	19.7	k09-05
0.08	2.75	0.14	32	9.2	11.29	7.89	12.2	19	Cham Zard River
0.11	-	0.12	20	13.6	9.35	7.81	13.4	0.52	Yol Gashti River
0.06	2.1	0.17	32	13.6	8.36	7.93	12	0	k09-09

اساس ترکیب بندی مدل‌های کیفی آب، اصل تعادل جرم است. بر مبنا این اصل، تجمع یک جزء کیفیتی آب در یک بازه زمانی برای یک محدوده از رودخانه از رابطه زیر قابل محاسبه است (Massoud Tajrishi et al., 2009).

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

با استفاده از دو مدل QUAL2KW و WASP شبیه‌سازی فرانسجه‌های کیفی و هیدرولیکی (مانند: DO، BOC، COD، N_{org}، NH_3، Q، h، V، T◦ و pH) شرایط موجود رودخانه پرداخته شده است. به منظور مدل‌سازی، اطلاعات سرشاخه و جریان های ورودی به مدل‌ها وارد شده است. شکل ۲ بازه بندی و محل ورود شاخه‌های فرعی به رودخانه نشان می‌دهد. واسنجی مدل QUAL2KW به صورت خودکار توسط مدل و مدل WASP از روش دستی (سعی و خطا) و اجرای مدل تا رسیدن به نتایج قابل قبول استفاده شده است. به منظور واسنجی از مجموعه داده‌های اندازه‌گیری شده ایستگاه های موجود در طول رودخانه (k09-02، k09-03، k09-05، k09-09) استفاده شده است. برای ارزیابی نتایج از شاخص‌های خطای جذر میانگین مربعات (RMSE[1]) و درصد میانگین مطلق خطا (MAPE[2]) استفاده شده است.

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left[O_i^{obs} - O_i^{sim}\right]^2}{n}} \quad (2)$$

$$\mathrm{MAPE} = \frac{100}{n}\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left|O_i^{obs} - O_i^{sim}\right|}{\sum_{i=1}^{n} O_i^{obs}}} \quad (3)$$

۲-۴- تغییرپذیری‌های هندسی رودخانه

پس از شبیه‌سازی رودخانه با دو مدل QUAL2KW و WASP بر مبنا نتایج بدست آمده از هر یک از مدل‌ها و همچنین کارایی و توانایی هر یک ازآن‌ها و نیاز خود در این تحقیق برای اجرای راهکارهای مورد نیاز از مدل QUAL2KW به عنوان مدل منتخب در اجرای راهکارها استفاده شد. به منظور بررسی تاثیرگذاری اقدام‌های ساماندهی رودخانه بر روی کیفیت آب، پنج راهکار بر مبنای اقدام‌های معمول فیزیکی در رودخانه ها انتخاب شد، که شامل تغییرپذیری‌ها در: ۱- عرض رودخانه، ۲- شیب جانبی، ۳- شیب طولی، ۴- زبری آبراهه اصلی و ۵- عرض و شیب طولی رودخانه، می باشد. ضریب زبری منینگ شاخصی از مقاومت در برابر جریان است، که به‌طورعموم رابطه مستقیمی با زبری بستر و دیواره رودخانه دارد. در بهسازی رودخانه ها، کاهش زبری یا مقاومت در برابر جریان با پاکسازی بستر و اصلاح فیزیکی شیروانی دیواره ها؛ و افزایش آن با تقویت پوشش مناسب گیاهی روی دیواره، استقرار الوارهای چوبی یا سنگریزی در مقاطعی از بستر امکان پذیر است. نتایج مدلسازی اولیه نشان داد که زبرتر کردن بستر جریان سبب ناهنجاری بیشتر در ویژگی‌های کمی و کیفی جریان می شود؛ از اینرو، زبری در دامنه شرایط موجود تا صاف تر مورد نظر قرار گرفت. در هر راهکار، سه حالت برای تغییر کمی فراسنجه ساماندهی (بجز راهکار پنجم با چهار حالت) مورد بررسی قرار گرفت، که جزئیات در جدول ۴ ارائه شده است. در این جدول، میزان

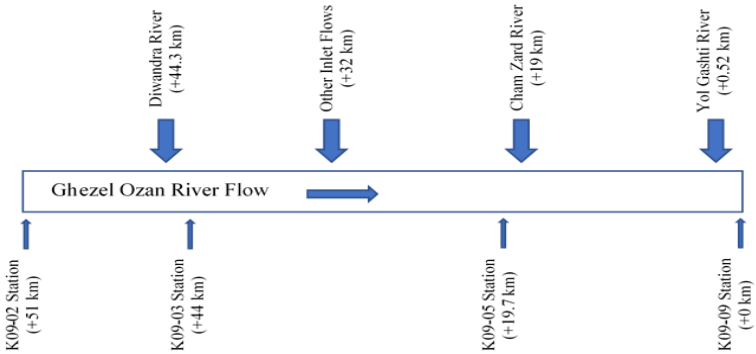

Fig. 2 Diferrent Reaches of Ghezel Ozan River in Dyvandareh-Bijar area and its sub branches

شکل ۲ بازه بندی رودخانه قزل‌اوزن دربازه دیواندره – بیجار به همراه شاخه‌های فرعی

[1] Root mean square
[2] Mean absolute percentage

جدول ۴ راهکارهای تغییر هندسی در مدل‌سازی کیفیت آب رودخانه قزل‌اوزن

Table 4 Different scenarios of geometry variations for water quality modeling in Ghezel Ozan River

Solutions	S1	S2	S3	S4
Change in River Width	Existing conditions	Increase 20% width	Decrease 20% width	-
Change in lateral slope	Existing conditions	V2:H1 Slope	Vertical Slope	-
Change in longitudinal gradient	Existing conditions	Decrease 10% slope	Decrease 20% slope	-
Change in coefficient of roughness	Existing conditions	n =0.033	n =0.025	-
Simultaneous change in width and longitudinal gradient	Existing conditions	Decrease 10% slope & width	Decrease 20% slope 7 width	Increase 20% width & Decrease 20% slope

جزئیات در جدول ۴ ارائه شده است. در این جدول، میزان تغییرپذیری‌ها در فراسنجه‌های هندسی و فیزیکی آبراهه برمبنای حدود مجاز در کارهای ساماندهی و تجربیات کارشناسی انتخاب شد.

۳- نتایج

۳-۱- شبیه‌سازی شرایط موجود رودخانه

هیدرولیک رودخانه: شبیه‌سازی هیدرولیکی رودخانه شامل، بده، سرعت و عمق جریان است. در شکل ۳ نتایج شبیه‌سازی هیدرولیکی رودخانه با مدل WASP;7.5 و QUAL2KW نشان داده شده است. مقایسه مدل با داده‌های مشاهده شده نشان داد هر دو مدل توانایی مناسبی در شبیه‌سازی هیدرولیکی دارند. مقادیر مشاهده شده تفاوت چندانی با مقادیر شبیه‌سازی شده ندارد. بده رودخانه به دلیل ورود شاخه‌های فرعی به رودخانه در طول بازه شبیه‌سازی شده افزایش یافته است. عمق جریان در کیلومتر ۳۲ به دلیل افزایش عرض رودخانه کاهش یافته است و در انتها به دلیل کاهش عرض نسبت به مقاطع‌های پیشین افزایش عمق داشته است. تغییرپذیری سرعت نیز وابسته به تغییرپذیری بده و عمق بوده؛ که با افزایش عمق سرعت کاهش می‌یابد.

دمای آب: میزان دمای آب از جمله فراسنجه‌های مهم تاثیر گذار بر کیفیت آب می‌باشد؛ و تاثیر قابل توجه‌ای بر بسیاری از واکنش‌های شیمیایی و فیزیکی درون آب دارد. تغییرپذیری دما آب متأثر از تغییرپذیری‌های دما محیط، دمای جریان‌های ورودی به رودخانه و آلاینده‌ها می‌باشد. میزان دما آب تا کیلومتر ۳۵ درحال کاهش می‌باشد ولی پس از آن سیر افزایشی داشته است. یکی از عامل‌های افزایش دما در این بازه دمای بالای رودخانه‌های یول‌گشتی و چم‌زرد نسبت به دمای رودخانه قزل‌اوزن می‌باشد که در بازه انتهایی به رودخانه وارد می‌شوند.

اکسیژن محلول: عامل‌های بسیاری منجر به تغییرپذیری اکسیژن محلول می‌شود. در بیشتر مدل‌های شبیه‌ساز، تاثیر این عامل‌ها بر تغییرپذیری اکسیژن محلول در نظر گرفته شده است. منبع‌های اصلی افزایش اکسیژن محلول هوادهی از طریق اتمسفر، بهبود هوادهی با سرریزها و دیگر سازه‌ها، نورساخت (فتوسنتز) و اکسیژن ورودی از جریان‌های خارجی. عامل‌های کاهنده نیز از دست دادن اکسیژن در آب‌های فوق اشباع، تنفس گیاهان آبزی و اکسیژن خواهی رسوبات بستر است (Cox, 2003). به طور کلی غلظت اکسیژن محلول از بالادست به پایین دست رودخانه در حال کاهش است. که این پدیده را می‌توان به دلیل وجود عامل‌های کاهنده یاد شده دانست. درمحدوده کیلومتر ۲۵ تا ۴۵ میزان اکسیژن محلول به‌تقریب میزان ثابتی داشته، اما در انتها به دلیل ورود رودخانه یول‌گشتی سطح اکسیژن محلول افزایش یافته است که به دلیل اضافه شدن یک منبع با اکسیژن محلول بالا دانست. در مجموع غلظت اکسیژن محلول در طول بازه شبیه‌سازی شده اشرایط مطلوبی دارد.

اکسیژن خواهی بیوشیمیایی: مهم‌ترین عامل‌های تاثیر گذار بر نرخ حذف BOD، دمای آب، عامل‌های هیدرولیکی، هندسه رودخانه، و طبیعت مواد آلی است. نتایج بررسی‌های Wright و Mc Donnel در سال ۱۹۷۹ روی ۳۶ رودخانه در ایالات متحده آمریکا نشان داد که افزایش بده، عمق و محیط خیس شده باعث کاهش نرخ حذف BOD می‌شود

(Bowie et al., 1985). میزان غلظت BOD تا کیلومتر ۱۹ در حال کاهش با شیب ملایم است ولی با ورود آلاینده نقطه‌ای که در این بازه به رودخانه اضافه می‌شود، در کیلومتر ۱۹ به یک باره میزان BOD افزایش یافته که تاثیر ورود عامل‌های بیرونی روی رودخانه را نشان می‌دهد. در انتها مسیر مورد بررسی نیز به دلیل ورود رودخانه یول‌گشتی به قزل‌اوزن میزان BOD کاهش یافته که دلیل آن افزایش بده جریان و کمتر بودن میزان غلظت BOD ورودی نسبت به رودخانه می‌باشد.

نیترات: عامل‌های تاثیرگذار بر غلظت نیترات فرآیند نیترات‌زدایی (دینیتریفیکاسون) و فنورساخت می‌باشد. میزان NO_3 در طول مسیر رودخانه در حال کاهش بوده است. غلظت نیترات در رودخانه چم زرد بیشتر از دیگر ورودی‌ها به رودخانه است.که تاثیر ان را در کیلومتر۳۲ مشاهده شد، که به میزان اندکی سطح غلظت نیترات افزایش یافته است. در انتهای مسیر شبیه‌سازی میزان نیترات شبیه‌سازی شده با هر دو مدل به طور دقیق پیش-بینی نشده است. علت آن را می‌توان به دلیل نداشتن میزان فراسنجه نیترات رودخانه یول‌گشتی دانست که به عنوان یک آلاینده نقطه‌ای به مدل معرفی شده است.

نیتروژن آلی: نیتروژن آلی بر اثر مرگ و میر گیاهان و ورود منبع‌های آلاینده افزایش می‌یابد و در اثر فرآیند آبکافت (هیدرولیز) و ته‌نشینی کاهش می‌یابد. میزان غلظت نیتروژن آلی از کیلومتر ۱۹ افزایش یافته است. یکی از دلایل آن تغییرپذیری‌های مقطع رودخانه و کاهش میزان ته نشینی به دلیل افزایش بده جریان است. همچنین در این نقطه میزان نیتروژن آلی آلاینده‌های ورودی نسبت به غلظت نیتروژن آلی رودخانه بیشتر بوده که منجر به افزایش غلظت نیتروژن آلی در رودخانه شده است.

آمونیاک: آمونیاک در اثر آبکافت نیتروژن آلی و تنفس، افزایش و در اثر نیترات زدایی و نورساخت کاهش می‌یابد. میزان غلظت آمونیاک در کیلومتر ۱۹ افزایش یافته که محل ورود آلاینده‌های نقطه‌ای با بیشترین غلظت آمونیاک به رودخانه می‌باشد. در پائین دست، به دلیل ورود رودخانه یول‌گشتی و افزایش بده جریان با غلظت کم آمونیاک، غلظت آمونیاک کاهش یافته است.

۳-۲- ارزیابی مدل‌ها

میزان خطای محاسبه شده هر یک از فراسنجه‌ها در جدول ۵ و شکل ۳ ارائه شده است. رافعی و همکاران میزان MAPE کمتر از۹/۲٪ را در بررسی‌ها خود در زمینه شبیه‌سازی کیفیت آب رودخانه مورد قبول دانسته اند. همچنین شاخص خطای RMSE کمتر ۲/۴ (برحسب میلی‌گرم بر لیتر) را برای شبیه‌سازی اکسیژن محلول، نیترات، آمونیوم و اکسیژن خواهی بیوشیمیایی، مدل‌هایی با دقت خوب معرفی کردند. مقایسه نتایج با میزان‌های توصیه شده در مطالعات پیشین (Kannel et al., 2007 و Rafiee et al., 2014) نشان داد همه فراسنجه‌های شبیه‌سازی شده دقت قابل قبولی را برای شبیه‌سازی کیفیت آب رودخانه در مرحله واسنجی دارند.

جدول ۵ میزان شاخص‌های خطا در واسنجی مدل QUAL2KW و WASP در بازه دیواندره - بیجار

Table 5 Error indicators for model calibration of QUAL2KW and WASP in the Dwandarre - Bijar Reach

WASP Model		QUAL2KW Model		Qualitative variable
MAPE	RMSE	MAPE	RMSE	
3.412	0.478(mg/1it)	4.387	0.05(mg/1it)	DO
7.810	3.090(mg/1it)	2.677	2.183(mg/1it)	BOD
6.983	5(mg/1it)	1.902	0.897(mg/1it)	N_{org}
3.282	5(mg/1it)	3.224	5.011(mg/1it)	NH_4
3.758	0.1(mg/1it)	4.731	0.142(mg/1it)	NO_3
0.421	0.066(m^3/s)	1.031	0.060(m^3/s)	Q
5.762	0.055(m)	1.688	0.005(m)	H
2.896	0.030(m/s)	3.547	0.032(m/s)	V
4.302	0.559(˚c)	1.385	0.281(˚c)	Temp

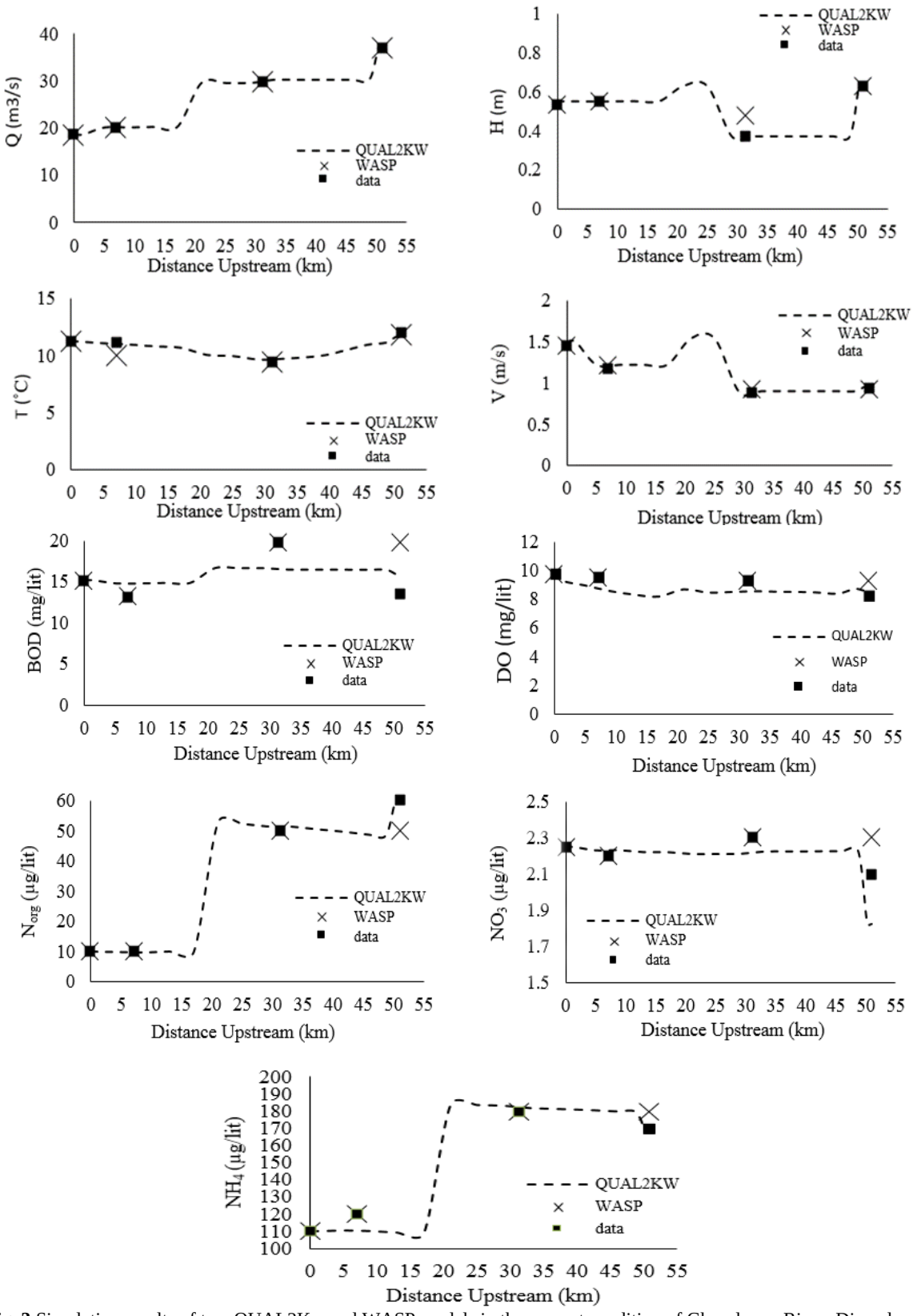

Fig. 3 Simulation results of two QUAL2Kw and WASP models in the present condition of Ghezeloozn River, Divandareh-Bijar Reach

شکل ۳ نتایج شبیه‌سازی دو مدل QUAL2KWو WASP در شرایط موجود رودخانه قزل‌اوزن بازه دیواندره- بیجار

۳-۳- شبیه‌سازی در شرایط تغییرپذیری‌های هندسی رودخانه

راهکار تغییر در عرض: در این راهکار اثرگذاری‌های سه حالت تغییر عرض (۱- شرایط موجود، ۲- افزایش عرض رودخانه ۲۰٪ بیشتر از عرض طبیعی و ۳- کاهش عرض رودخانه به میزان ۲۰٪ نسبت به شرایط موجود.) روی کیفیت آب رودخانه بررسی شد. نتایج آن در شکل ۴ نمایش داده شده است. با توجه به رابطه معکوس مساحت با سرعت با کاهش عرض سرعت جریان افزایش یافته است. با افزایش سرعت جریان تلاطم جریان افزایش و غلظت اکسیژن محلول نیز افزایش می‌یابد.

با افزایش سرعت زمان عبور (زمان‌ماند) رودخانه کاهش می‌یابد و مدت زمان فعالیت باکتری ها برای تجزیه BOD کاهش یافته در نتیجه غلظت آن افزایش می‌یابد. NO_3 نیز تا حدودی ثابت بوده و باکاهش عرض، غلظت این فراسنجه اندکی افزایش یافته است. تغییرپذیری غلظت COD نیز با توجه به رابطه خطی بین COD و BOD غلظت این فراسنجه نیز افزایش یافته است که میزان آن نسبت به تغییرپذیری غلظت اکسیژن خواهی بیوشیمیایی بیشتر است. تغییرپذیری در افزایش عرض نیز به صورت معکوس با اثر کاهش عرض مشاهده شد.

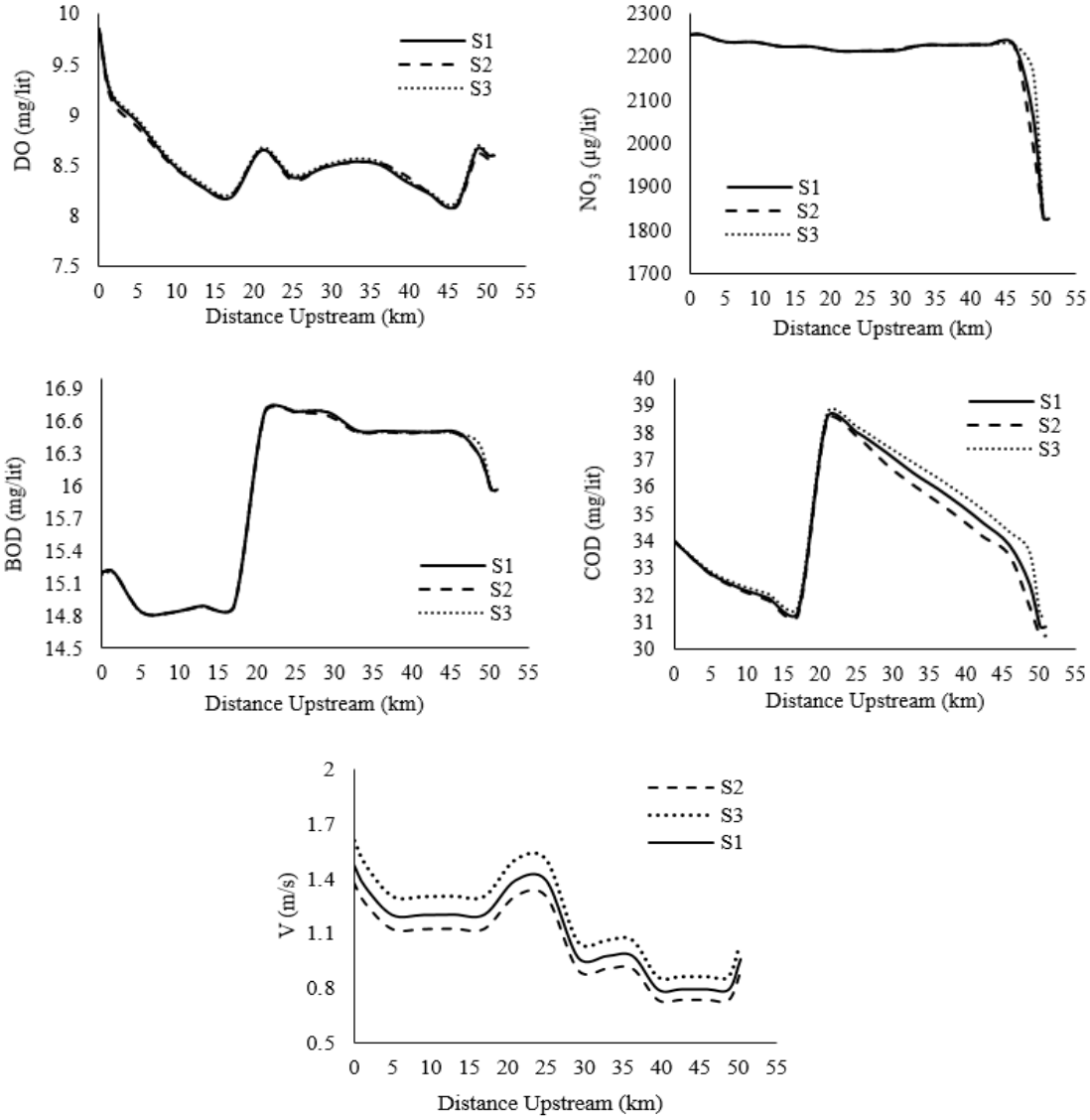

Fig. 4 Effect of width changes on river water quality parameters

شکل ۴ تاثیر تغییرپذیری عرض بر فراسنجه‌های کیفیت آب رودخانه

راهکار تغییر شیب جانبی: برای تاثیر شیب جانبی آبراهه، سه حالت، شبیه‌سازی در حالت موجود، شیب قائم و شیب ۲:۱ آزمون شده که در شکل ۵ نشان داده شده است. یکی از مهم‌ترین عامل‌های موثر بر تغییرپذیری کیفیت آب رودخانه شرایط هندسی آبراهه می‌باشد. در این راهکار به دلیل تغییر کم شرایط هیدرولیکی در هر دو حالت میزان تغییرپذیری غلظت فراسنجه‌های هیدرولیکی نیز بسیار اندک بوده است. نتایج نشان داد در شرایط شیب ۲:۱ غلظت اکسیژن محلول اندکی افزایش یافته و از غلظت فراسنجه‌های BOD، COD و NO_3 اندکی کاسته شده است. در حالت شیب قائم نیز تغییرپذیری غلظت فراسنجه‌ها کیفیت آب نیز مانند شرایط با شیب ۲:۱ بوده است. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت تغییرپذیری شیب جانبی تاثیر قابل توجهی بر شرایط کیفیت آب این رودخانه نداشته است.

راهکار کاهش شیب طولی: به منظور بررسی تاثیر تغییرپذیری شیب طولی آبراهه بر کیفیت آب سه راهکار تعریف شد. حالت اول رودخانه درشرایط موجود، حالت دوم کاهش ۱۰٪ شیب کف آبراهه و حالت سوم کاهش ۲۰٪ شیب کف آبراهه. با کاهش شیب بنابر رابطه مانینگ با سرعت جریان در حالت بده ثابت رابطه مستقیم دارد؛ بر این مبنا با کاهش شیب، سرعت جریان نیز کاهش یافته است. کاهش سرعت جریان افزایش زمان‌ماند را به همراه دارد. در این حالت باکتری‌ها زمان بیشتری برای تجزیه دارند؛ که منجر به کاهش BOD می‌شود این تغییر در BOD اندک

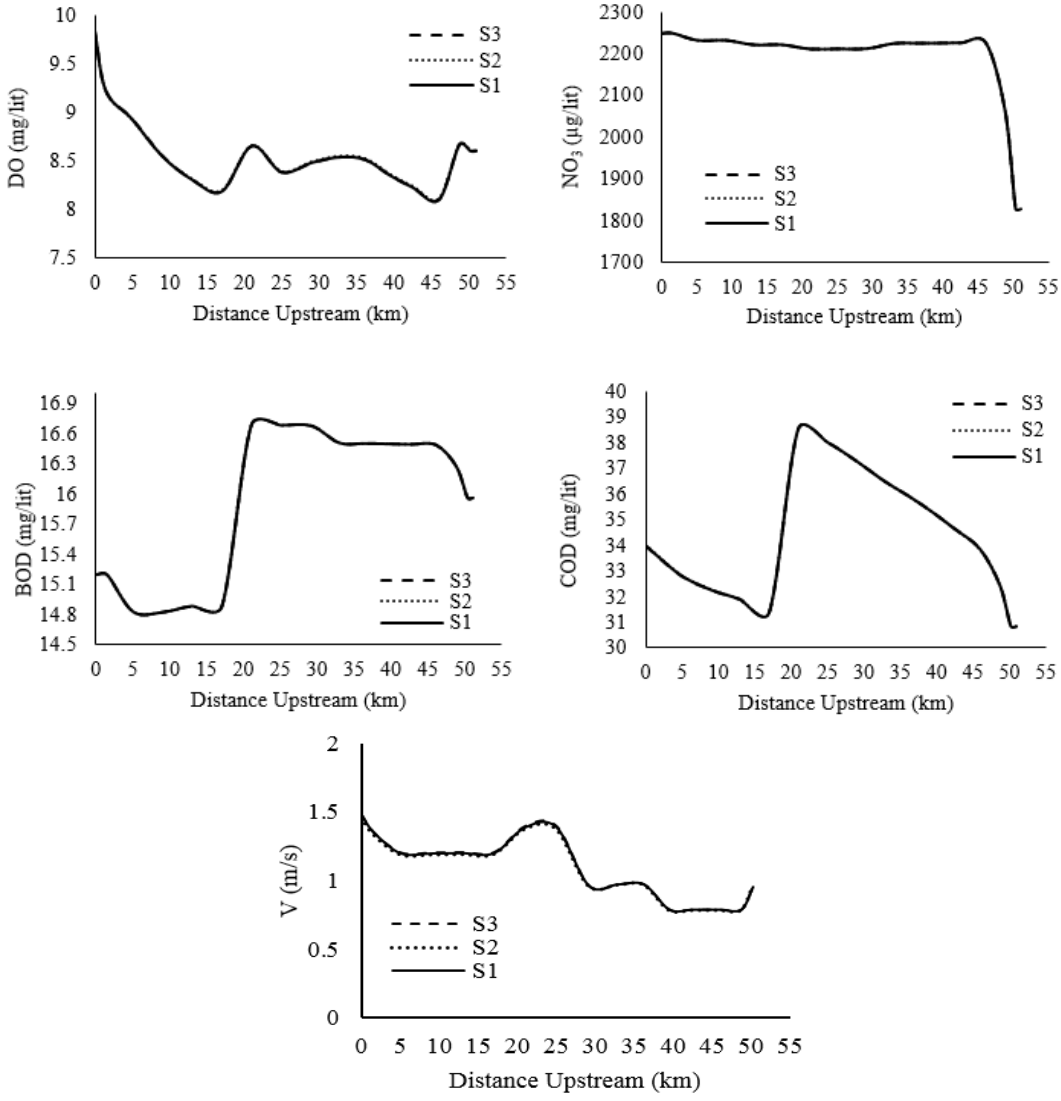

Fig. 5 The effect of riverbank-side slope changes on river water quality parameters

شکل ۵ تاثیر تغییرپذیری شیب جانبی دیواره رودخانه بر فراسنجه‌های کیفیت آب رودخانه

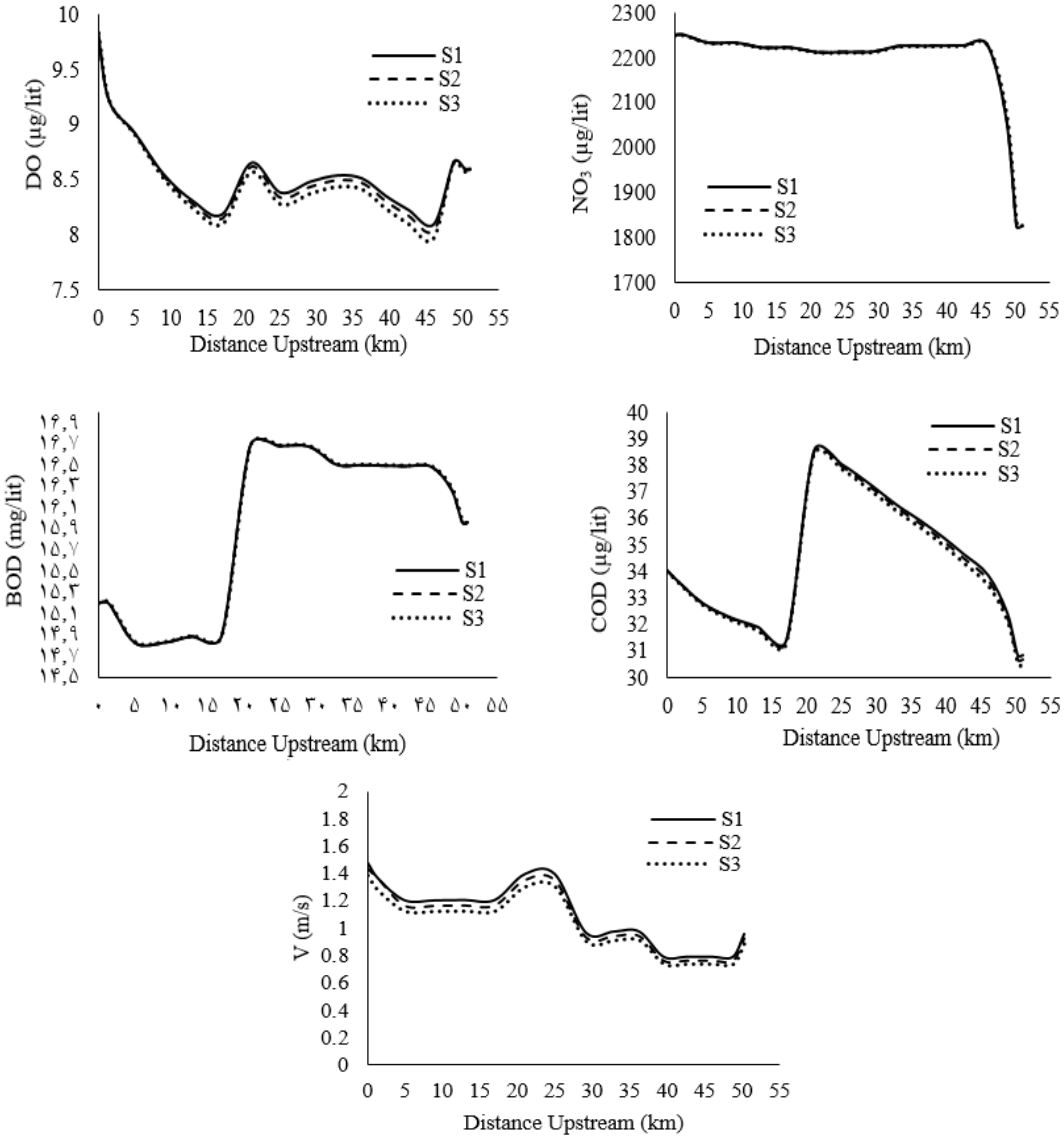

Fig. 6 Effect of river longitudinal slope changes on river water quality parameters

شکل ۶ تاثیر تغییرپذیری شیب طولی رودخانه بر فراسنجه‌های کیفیت آب رودخانه

می‌باشد. با کاهش BOD، COD نیز با توجه با رابطه خطی این دو فراسنجه کاهش یافته است. تجزیه همراه با مصرف اکسیژن می‌باشد بنابر این اکسیژن محلول را کاهش داده است. افزون براین با افزایش زمان ماند آمونیوم بیشتری در اثر فرآیند نیترات‌زدایی مصرف و به نیترات تبدیل می شود. به همین دلیل در این شرایط شاهد افزایش غلظت نیترات و کاهش غلظت آمونیوم می‌باشیم (شکل ۶).

راهکار تغییر زبری آبراهه اصلی: نتایج مدلسازی اولیه نشان داد که زبرتر کردن بستر جریان سبب ناهنجاری بیشتر در ویژگی‌های کمی و کیفی جریان می شود. از این‌رو، زبری در دامنه شرایط موجود تا صاف‌تر مورد نظر قرار گرفت. تاثیر تغییر زبری بستر بر شرایط رودخانه در شکل ۷ نشان داده شده است. نتایج نشان می دهد که کاهش زبری بستر در بازه ۲۰ کیلومتر بالادست (با پاکسازی بستر و اصلاح فیزیکی شیروانی دیواره ها به ضریب زبری حدود ۰/۰۲۵)، همراه با حفظ شرایط زبری موجود در بازه ۳۰ کیلومتری پائین دست (با میانگین ضریب زبری ۰/۰۲۳) سازگاری بیشتری با شرایط طبیعی بهتری را برای رودخانه پدید می آورد. به‌طورعموم ضریب زبری مانینگ رابطه مستقیمی با زبری بستر جریان دارد. بنابر رابطه مانینگ ضریب زبری با سرعت رابطه معکوس دارد. با زیاد شدن زبری بستر سرعت جریان کاهش می‌یابد. کاهش سرعت،

زمان عبور جریان را افزایش می‌دهد. با افزایش زمان‌عبور جریان، باکتری‌ها زمان بیشتری برای تجزیه مواد موجود در رودخانه دارند. بنابراین افزون بر آنکه زبری بیشتر بستر از یک سو منجر به کاهش اکسیژن محلول می‌شود، با افزایش فعالیت باکتری‌ها کاهش اکسیژن محلول شدت بیشتری یافته؛ و سبب کاهش غلظت BOD و COD می‌شود. نیترات نیز به دلیل تولید بیشتر در اثر فرآیند نیترات‌زدایی افزایش یافته است.

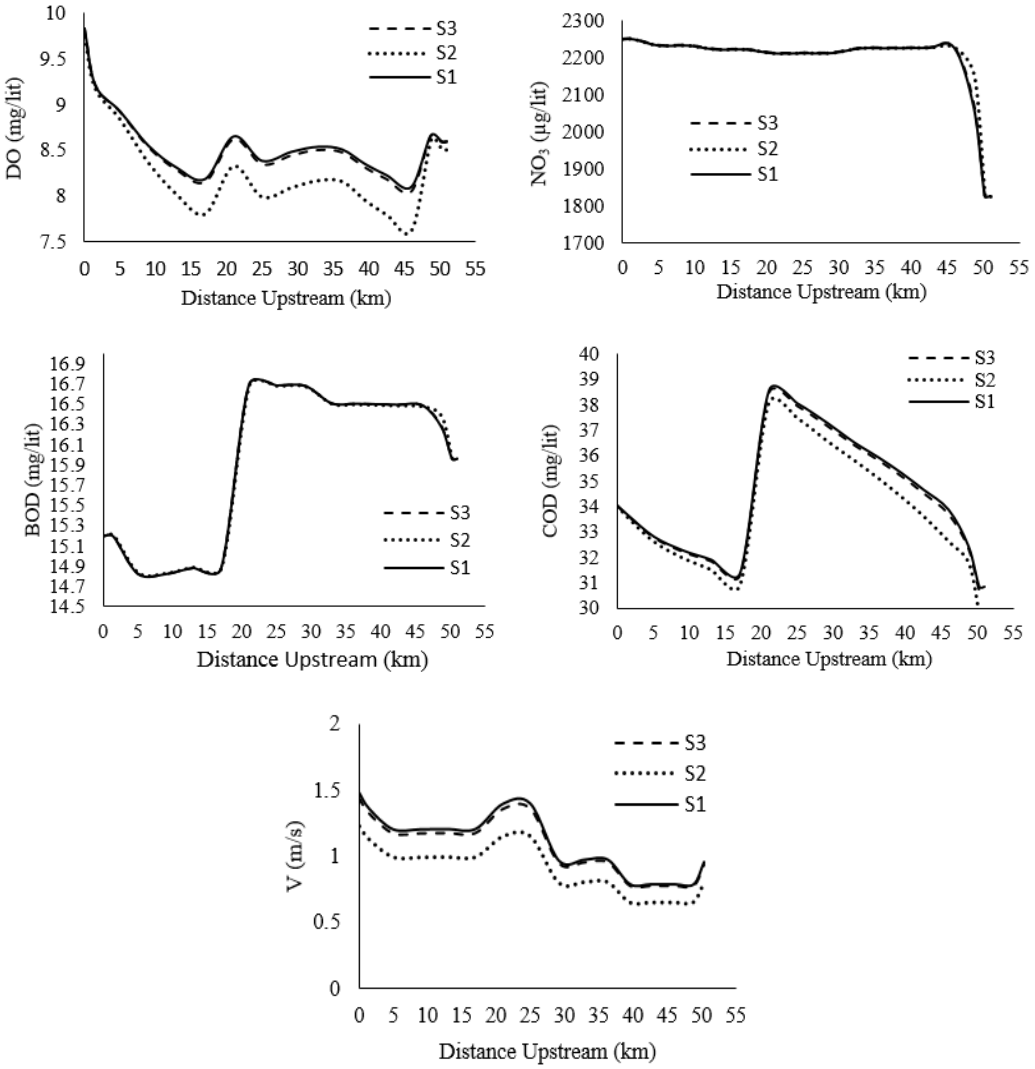

Fig. 7 Effect of river roughness coefficient changes on river water quality parameters

شکل ۷ تاثیر تغییرپذیری ضریب زبری رودخانه بر فراسنجه‌های کیفیت آب رودخانه

راهکار تغییر همزمان در عرض و شیب طولی رودخانه: در این راهکار چهار حالت (۱- کاهش ۱۰٪ عرض و شیب، ۲- کاهش ۲۰٪ عرض و شیب، ۳- افزایش ۲۰٪ عرض و کاهش ۲۰٪ شیب و ۴- شرایط موجود) بررسی شد. با کاهش همزمان عرض و شیب، اکسیژن محلول کاهش یافته است. اما میزان کاهش DO در شرایط افزایش عرض و کاهش عمق کم بوده است. در حالت کاهش همزمان عرض و شیب، به دلیل کاهش زمان‌ماند، جریان غلظت فراسنجه‌های BOD، COD افزایش داشته است و غلظت نیترات کاهش یافته است. در راهکار افزایش عرض و کاهش شیب سرعت کاهش یافته در نتیجه زمان‌ماند افزایش می‌یابد بنابراین غلظت BOD، COD کاهش یافته است (شکل ۸).

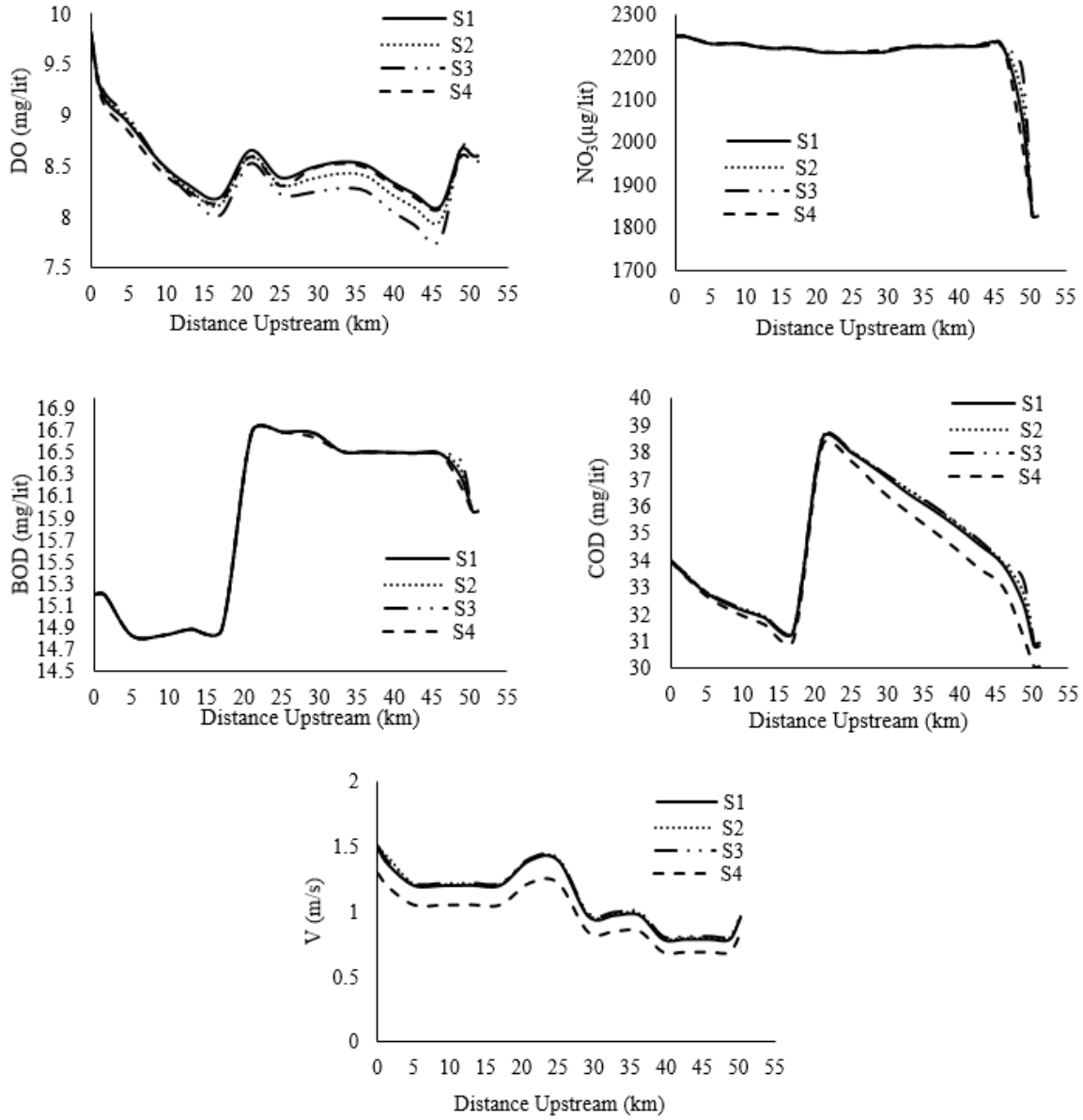

Fig. 8 The impact of changes in both width and slope of the river reach on water quality parameters

شکل ۸ تاثیر تغییرپذیری همزمان عرض و شیب طولی رودخانه بر فراسنجه‌های کیفیت آب رودخانه

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش به بررسی کیفیت آب رودخانه در بازه دیواندره– بیجار به طول ۵۱ کیلومتر پرداخته شده است. از دو مدل کیفیت آب QUAL2KW و WASP برای شبیه‌سازی استفاده شد. نتایج شبیه‌سازی با شرایط رودخانه نشان داد هر دو مدل توانایی مناسبی در شبیه‌سازی رودخانه دارند. از مدل QUAL2KW برای شبیه‌سازی کیفی رودخانه در پنج راهکار ساماندهی (۱- عرض رودخانه، ۲- شیب جانبی، ۳- شیب طولی، ۴- ضریب زبری و ۵- تغییرپذیری همزمان عرض و شیب طولی) استفاده شد. نتایج نشان داد هر دو مدل دارای دقت مناسبی برای شبیه‌سازی هیدرولیکی و کیفی آب‌های سطحی هستند. در بخش راهکارها در حالت کاهش عرض رودخانه سرعت جریان افزایش یافته و در نتیجه افزایش غلظت اکسیژن محلول را به همراه داشته است. غلظت فراسنجه‌های NO3، BOD و COD نیز به میزان کمی در بده های بالا افزایش یافته است. بنابر این برای بهبود شرایط کیفی آب رودخانه، کاهش عرض گزینه مناسب تری نسبت به افزایش عرض می‌باشد. تاثیرگذاری‌های راهکار تغییر شیب جانبی روی کیفیت آب و هیدرولیک رودخانه بسیار اندک بوده و این

اقدام کمترین تاثیر را روی کیفیت آب رودخانه می‌گذارد. در راهکار تغییر شیب طولی، با کاهش شیب کف رودخانه از سرعت جریان کاسته شده که منجر به کاهش اکسیژن محلول در آب شود. کاهش سرعت، زمان‌ماند جریان را افزایش داده که غلظت فراسنجه‌های BOD و COD افزایش یافته و غلظت نیترات کاهش یافته است این راهکار برای حالتی که رودخانه نیاز به کاهش BOD دارد مناسب می‌باشد. با افزایش زبری سرعت جریان کاهش می‌یابد. با کاهش سرعت میزان غلظت فراسنجه‌های کیفی BOD، DO و COD کاهش یافته است. بررسی ها نشان می دهد که بهسازی بستر جریان و یا استفاده از مصالحی که به جنس بستر رودخانه نزدیک‌تر است، برای احیای شرایط طبیعی کمک کرده، و از تغییرپذیری‌های سرعت کاسته شده و شرایط کیفی رودخانه تغییر قابل توجهی نداشته یاشد. حفظ شرایط زبری بستر معادل با ضریب زبری n= ۰/۰۲۵ در شرایط این رودخانه مناسبتر می‌باشد. راهکار تغییر همزمان شیب کف و عرض نشان داد حالت افزایش عرض و کاهش شیب کمترین تغییر را در کاهش غلظت اکسیژن محلول رودخانه داشته و غلظت فراسنجه‌های (NO3، BOD و COD) را نیز نسبت به حالت‌های دیگر تغییر می‌دهد. در حالت کاهش همزمان عرض و شیب نشان داد هرچه این تغییرپذیری‌ها بیشتر باشد از کیفیت آب رودخانه بیشتر کاسته می‌شود.

بررسی نتایج همه‌ی حالت‌های شبیه‌سازی شده نشان داد که: بهترین گزینه برای بهبود شرایط کیفیت آب رودخانه به ترتیب کاهش عرض، افزایش عرض و کاهش شیب به طور همزمان، تعدیل زبری بستر می‌باشد. در صورتی که نیاز به کاهش غلظت BOD باشد، کاهش شیب کف رودخانه راهکار مناسبی است.

۵- فهرست نشانه‌ها

Q_i	میزان جریان خروجی از بازه‌ی i (m3)
Q_{i-1}	میزان جریان خروجی از بازهی i-1 (m3)
$Q_{in.i}$	جریان ورودی از همه‌ی منبع‌های نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای به بازه‌ی i (m3)
$Q_{out.i}$	جریان خروجی از همه‌ی منبع‌های به بازه‌ی i (m^3)
O_i^{obs}	میزان فراسنجه مشاهده شده
O_i^{sim}	میزان فراسنجه شبیه‌سازی شده
n	شمار فراسنجه‌ها
Q	بده جریان (m^3/s)
n	ضریب زبری مانینگ
B	عرض (m)
H	عمق میانگین (m)
V	سرعت میانگین (m/s)
BOD	اکسیژن خواهی بیوشیمیایی (mg/lit)
COD	اکسیژن خواهی کربنی (mg/lit)
NO_3	نیترات (mg/lit)
NH_4	آمونیاک (mg/lit)
DO	اکسیژن محلول (mg/lit)
T	دمای آب (℃)
N_{org}	نیتروژن آلی (mg/lit)
pH	اسیدیته

۶- منبع‌ها

Antunesa, I.M.H.R, Albuquerqueb, M.T.D, Oliveirab, S.F. and Sánzc, G. (2018). Predictive scenarios for surface water quality simulation - A watershed case Study, Catena 170, 283–289

Biglari, M.R., Sima, S. and Saadatpour, M. (2019). Modeling and Management of the River Water Quality for Aquatic Habitat Health Using a Source Control Approach (Case Study: Zarrineh-rud River). Iran-Water Resources Research. 14(5), 54-70. (in Persian).

Bowie, G.L; Mills, W.B; Porcella, D.B; Campbell, C.L; Pagenkopf, J.R; Rupp, G.L; et al. (1985). Rates, constants, and kinetics formulations in surface water quality modeling. EPA. 600,3-85.

Canu, D; Ginevra, R. (2017). Long-term scenarios of mercury budgeting and exports for a Mediterranean hot spot (Marano-Grado Lagoon, Adriatic Sea), Estuarine, Coastal and Shelf Science. 198, 518-528.

Cox, B.A.A. (2003). A review of dissolved oxygen modelling techniques in low land rivers. The Science of the Total Environment, NCBI, 314-316.

Kannel, P.R., Leea, S., Lee, Y.S., Kanel, S.R. and Pelletier, G.J. (2007). Application of automated QUAL2KW for water quality modeling and management in the Bagmati River, Nepal. Journal of Ecological Modeling. 202, 503517.

Karamoz, M. and Karachian, R. (2013). Planning And quality management of water resource systems. 2nd ed. Tehran: Amirkabir University of Technology. (in Persian).

Khajehpour, M.E., Karimi, L., Shiasi Arani, M. and Ansari, H. (2014). Eutrophication Check of Reservoirs with CE-QUAL-W2(Case study: Shirin Darre dam reservoir). Iranian Journal of lrrigation and Drainage. 1(8), 96-107. (in Persian).

Mathew, M., Yao, Y., Cao, Y., Shodan, K.H., Ghosh, I., Bucci,V., Leatao, C.H., Njokaand, D. and Hellweger, L. (2011). Anatomy of an urban waterbody: A case study of Boston's muddy river. Environmental Pollution. 159,1996-2002.

Mesbah, M. (2008). The quality management of the river system through the trade license for the discharge of pollution through fuzzy logic. Master's thesis, Department of Environmental Engineering, Tehran University. (in Persian).

Milovanovic, M. (2007) Water quality assessment and determination of pollution sources along the Axios/Vardar river, Southeastern Europe. Desalinization. 213(1-3), 159-173

Oliveira, B., Bola, J., Quinteiro, P., Nadais, H, and Arroja, L. (2012). Application of QUAL2KW model as a tool for water quality management: Certima River as a case study. Environmental monitoring and assessment. 184(10), 6197-6210.

Pelletier, G.J. and Chapra, S.C. (2008). QUAL2Kw, theory and documentation (version 5.1); A modeling framework for simulating river and stream water quality. Department of Ecology Publications Distributions Office. Publication. 08-03.

Privette, C.V. and Smink, J. (2017). Assessing the potential impacts of WWTP effluent reductions within the Reedy River watershed. Ecological Engineering, 98, 11-16.

Rafiee, M., Ali, A., Mohammad, A., Moazed, H., Lyon, S.W. and Jaafarzadeh, N. (2014). A Case Study of Water Quality Modeling of the Gargar River. Iran. Journal of Hydraulic Structures, 1(2), 10-22. (in Persian).

Rajabizadeh Y. and Sayari N. (2017). Investigation of river water quality parameters using WASP software (case study: Baft river, Kerman province). 14th National Conference on Irrigation and Evaporation of Shahid Bahonar University of Kerman. (in Persian).

Rezaei Moghadam, M.H., Sarvati, M.R. and Asghari Sareskanroodi, S. (2011). Compared Investigation Meandering Pattern by Fractal GeometricalAnalysis and Central Angles and Sinuosity Ratio Indices. Journal of Watershed Management, 2(3). (in Persian).

Sharma, D., Kansal, A. and Pelletier, G. (2017). Water quality modeling for urban reach of Yamuna river, India (1999–2009), using QUAL2Kw. Applied Water Science, 7, 1535–1559.

Tajrishi, M., Abrishamchi, A., Ahmadi, M. and Turkian, A. (2009). Standard No. 481. Guide to the self-purification capacity of rivers, The Ministry of Energy, Technical report (in Persian).

Streeter, M.W., Phelps, E.E. (1925) A study of the pollution and natural purification of the Ohio River. U.S. Department of Health, Education, & Welfare. pp 146.