Archive of SID

تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال هفدهم، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۰
Volume 17, No. 3, Fall 2021 (IR-WRR)
۲۰-۳۷

ارزیابی کیفی شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی در شرایط خشک و تر، مطالعه موردی: حوضه غرب تهران

علی مریدی[۱*]، محمدرضا باقری[۲]، امین زین‌العابدین[۳] و آرش نبی[۴]

چکیده

یکی از مسائل مهم در مدیریت سیستم‌های جمع‌آوری فاضلاب شهری، نحوه مواجهه با شرایط بارانی است که در آن حجم فاضلاب در بازه‌های خاص زمانی به یکباره افزایش یافته و دبی شبکه از حالت نرمال خارج می‌شود. بروز این شرایط می‌تواند باعث وارد آمدن خسارت به شبکه، کاهش عملکرد آن و تخلیه فاضلاب به معابر و ساختمان‌ها گردد. در بسیاری از شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب شهری در جهان، در چنین شرایطی، تخلیه فاضلاب به مجاری اصلی آب‌های سطحی انجام می‌شود و کیفیت آن‌ها را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد. در این مطالعه، به مدل‌سازی کیفی آب‌های سطحی در شرایط پایه و بارانی در حوضه غرب تهران پرداخته شده است. جهت شبیه‌سازی کیفی آبراهه‌ها، از نرم‌افزار SWMM استفاده شد. مدل‌سازی کیفی برای متغیرهای کیفی BOD، TDS و TC و برای دو سناریو جریان مواقع بارانی و غیربارانی انجام گردید. با توجه به بحرانی بودن شرایط DO در شرایط غیر بارانی و خشک، حداکثر بار مجاز قابل تخلیه به شبکه جمع‌آوری آب سطحی به گونه‌ای تعیین گردید تا میزان DO در سطح استاندارد باقی بماند و منجر به شرایط بی‌هوازی و تولید بوی نامطبوع نشود. نتایج نشان داد در شرایط بارانی TDS و BOD به مقدار قابل توجهی افزایش یافته و از استاندارد کشاورزی عدول می‌کند. همچنین، نتیجه گرفته شد با کاهش BOD تا ۵۰ میلی‌گرم در لیتر می‌توان وضعیت DO را بهبود بخشید تا شرایط بی‌هوازی ایجاد نشود.

کلمات کلیدی: مدل‌سازی کیفی آب سطحی، SWMM، شرایط خشک و بارانی، حداکثر بار مجاز قابل تخلیه، متغیرهای کیفی.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۵/۶
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۶/۲۷

۱- استادیار گروه مهندسی عمران- مدیریت منابع آب، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
۲- کارشناس منابع آب، شرکت مهندسی مهاب قدس، تهران، ایران.
۳- دکتری مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، ایران.
۴- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان زمستان ۱۴۰۰ امکانپذیر است.

Assessing the Quality of Surface Water Collection Network in Wet and Dry Conditions, Case Study: West Watershed of Tehran

A. Moridi [1], M.R. Bagheri [2], A. Zeynolabedin[3], and A. Nabi[4]*

Abstract

One of the important issues in the management of municipal wastewater collection systems is how they deal with rainy conditions where the network discharge suddenly increases at certain intervals. The occurrence of such condition can cause damage to the network, reduce its performance and discharge sewage to the subsurface. In many urban wastewater collection networks sewage would be discharged to the main urban stormwater canals to overcome the situation which significantly reduce the quality of flow in those canals. In this study, the quality in stormwater collection network is modeled in the west watershed of Tehran in dry and rainy conditions. The SWMM software is used to simulate the quality of waterways. Qualitative modeling is performed for BOD, TDS, and TC variables for two scenarios of rainy and dry conditions. Due to the critical condition of DO in dry conditions, the maximum allowable load discharged to the urban stormwater collection network is determined so that the DO level remains at the standard level. This is important to prevent anaerobic condition which causes unpleasant odors. The results showed that in rainy conditions, TDS and BOD increased significantly and over the irrigation water standards. This is critical since the output of storm water network is being used for irrigation in the south western plains. It was also concluded that by reducing BOD to 50 mg/L, the DO status can be improved to avoid anaerobic conditions.

Keywords: Surface Water Quality Modeling, SWMM, Dry and Wet Conditions, Maximum Allowable Discharge Load, Water Quality Variables.

Received: July 28, 2021
Accepted: September 18, 2021

1- Assistant Professor, Department of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Email: moridi1978@gmail.com
2- Water Resources Engineer, Mahab Ghodss Consulting Engineering Company, Tehran, Iran. Email: baqeri.m@gmail.com
3- Ph.D. in water resources engineering and management, School of Civil Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: aminzynolabedin@ut.ac.ir
4- M.Sc. Student in Water and Environmental Engineering, Department of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Email: arashnabi95@yahoo.com
*- Corresponding Author
Dor: 20.1001.1.17352347.1400.17.3.1.6

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

با توجه به محدودیت منابع آب موجود به منظور پاسخگویی به نیاز جوامع بشری، روش‌های استحصال منابع آب نظیر جمع‌آوری آب باران از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. بعلاوه، کمبود منابع آب، وجود اقلیم گرم و خشک در ایران و دستیابی به توسعه پایدار، اهمیت استفاده بهینه از منابع آب موجود را دوچندان می‌نماید. جمع‌آوری رواناب‌های شهری و استفاده از آن برای مصارف شرب و یا آبیاری از جمله اقدامات مدیریتی در راستای استفاده بهینه از منابع آب است. اما افزایش شهرنشینی در دهه‌های اخیر و رشد سریع شهرها به سمت حوضه‌های آبخیز بالادست، فرایندهای بارش- رواناب را در حوضه‌های شهری به شدت تحت تأثیر قرار داده است (Khalighi Sigaroodi et al., 2015).

یکی از مسائل مهم در مدیریت سیستم‌های جمع‌آوری فاضلاب شهری، نحوه مواجهه با شرایط بارانی است که در آن حجم فاضلاب در بازه‌های خاص زمانی به طور یکباره افزایش یافته و دبی شبکه از حالت نرمال خارج می‌شود. بروز این شرایط می‌تواند باعث وارد آمدن خسارت به شبکه، کاهش عملکرد آن و سرریز فاضلاب به معابر و ساختمان‌ها گردد. سرریز فاضلاب همچنین ممکن است در اثر انسداد یا خرابی لوله‌ها رخ دهد. از این رو موضوع ایمن‌سازی هیدرولیکی سیستم‌های جمع‌آوری فاضلاب‌های شهری از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است (Pachaly et al., 2021). راهکارهای مدیریتی متفاوتی در شرایط اضطرار توسط محققان مختلف ارائه شده است که از جمله آن‌ها می‌توان به سوئیچ جریان فاضلاب به فاضلاب‌روهای دیگر، تخلیه به مجاری اصلی آب‌های سطحی، ایجاد دریاچه‌های کنترل جریان، مخازن ذخیره و سوییچ‌های درون‌حوضه‌ای و بین‌حوضه‌ای اشاره نمود (Dell et al., 2021). در بسیاری کشورها از سیستم جداگانه[1] و سیستم توأمان[2] برای جمع‌آوری فاضلاب و رواناب سطحی و انتقال آن‌ها به تصفیه‌خانه‌ها استفاده می‌شود. در سیستم جداگانه، فاضلاب و رواناب سطحی به صورت جداگانه به تصفیه‌خانه منتقل شده و دارای لوله‌های مجزا می‌باشند؛ اما در سیستم توأمان که در بسیاری از شهرهای قدیمی و بزرگ دنیا نیز استفاده می‌شود فاضلاب شهری و فاضلاب ناشی از رواناب سطحی به صورت توأمان در یک لوله مشترک به سمت تصفیه‌خانه هدایت می‌شود (Ghodsi et al., 2021). در شرایط ایمن، در سیستم جداگانه، رواناب‌های سطحی امکان ورود به شبکه جمع‌آوری فاضلاب را نداشته و رواناب‌های سطحی به طور مستقیم به آب‌های سطحی و یا سایر منابع پذیرنده منتقل می‌شوند. اما در مواقع اضطرار ممکن است در سیستم‌های جداگانه نیز همانند سیستم‌های توأمان سرریز فاضلاب ترکیبی به دلیل افزایش حجم بالای فاضلاب به‌صورت مستقیم به کانال‌ها، رودخانه‌ها و آب‌های آزاد منتقل شود. به طور کلی سرریز صورت گرفته، می‌تواند به صورت جریان مازاد مختلط[3] (CSO) و سرریزهای فاضلاب بهداشتی[4] (SSO) انجام گیرد (Zeng et al., 2021).

در صورت عدم مدیریت تخلیه فاضلاب، امکان وقوع مخاطرات محیط‌زیستی، اجتماعی، بهداشتی و اقتصادی وجود داشته و کیفیت منابع پذیرنده را با مشکل مواجه می‌سازد. مطالعات مختلفی در حوزه بررسی اثرات بهداشتی انجام شده است. به طور مثال Kenward et al. (2013) به بررسی وضعیت بهداشتی اثرات طوفان سندی پرداختند. بعد از وقوع طوفان بیش از ۱۱ میلیارد گالن (حدود ۴۱/۶ میلیون متر مکعب) فاضلاب در ایالت نیویورک وارد آب‌های پذیرنده شد که حدود یک سوم آن (حدود ۳/۴۵ میلیارد گالن- ۱۳/۳ میلیون متر مکعب)، فاضلاب خام و مابقی آن (حدود ۷/۴۵ میلیارد گالن- ۲۸/۳ میلیون متر مکعب) همراه با تصفیه بسیار جزیی با کلرزنی همراه بوده است که تبعات بهداشتی مختلفی را در نیویورک به همراه داشت. Locatelli et al. (2020) توزیع باکتری اشرشیا کلی را برای ارزیابی خطر آب‌های مورد استفاده برای استحمام تحت تأثیر CSO را مورد بررسی قرار داده خطر سلامتی آن را ارزیابی نمودند. نتایج ارزیابی خطرات بهداشتی برای مطالعه موردی Badalona در اسپانیا نشان داد که پتانسیل زیادی برای توزیع باکتری اشرشیا کلی وجود داشته و سلامتی انسان‌ها را تهدید می‌کند. Ao and Zayed (2021) به بررسی اثرات سرریز فاضلاب بر بهداشت عمومی جوامع پرداختند. مطالعات انجام شده نشان داد سرریز فاضلاب از طریق مصرف آب آشامیدنی آلوده، هوابرد شدن عوامل بیماری‌زا، انتقال زنجیره غذایی و تماس مستقیم با رودخانه‌ها و رسوبات ساحلی آلوده بر سلامت عمومی تأثیر می‌گذارد.

مطالعات مختلفی در حوزه مدیریت رواناب‌ها انجام شده است. به طور مثال Scherer (2007) به بررسی روش‌های توسعه کم اثر[5] (LID) برای کنترل رواناب‌های سطحی در نیوجرسی آمریکا پرداخت. در این روش‌ها با استفاده از برنامه‌ریزی منطقه‌ای، گسترش زمین و تغییر کاربری اراضی، مدیریت رواناب با ملاحظات اکوسیستمی قابل انجام است. ایشان پیشنهاد نمودند با افزایش فضای سبز، ایجاد مخازن ذخیره زیرزمینی، روسازی نفوذپذیر خیابان‌ها و استفاده از بافرها می‌توان رواناب را کاهش و به تبع آن میزان حجم ورودی به کانال‌های سطحی را کاهش داد و بار آلودگی کمتری وارد محیط نمود. Gandhi et al. (2014) در مطالعه‌ای به بررسی اثر آهن VI در بهبود کیفیت آب که در اثر تخلیه ترکیبی فاضلاب وارد محیط طبیعی در کانادا می‌شود، پرداختند. ایشان نتیجه گرفتند غلظت آلاینده‌ها به کیفیت فاضلاب خانگی، فاضلاب صنعتی، رواناب ناشی از آب باران، شدت و مدت بارش بستگی دارد. همچنین، آلودگی رواناب‌ها در ابتدا بیشترین غلظت را

www.SID.ir

Archive of SID

داشته و در ساعات اولیه بیشترین اثرات را دارد. از این رو، اعمال و اجرای سیاست‌های لازم در قبل و بعد از تخلیه برای کنترل آلودگی‌ها را توصیه نمودند. Costa et al. (2015) به بررسی راهکارهای مختلف مدیریت تخلیه فاضلاب در شهر Worcester آمریکا پرداختند. ایشان سه راهکار جهت بهبود شرایط کیفی و محدود کردن تخلیه فاضلاب پیشنهاد کردند: (۱) احداث کانال و سرریز فاضلاب که منجر به جداسازی کل کانال از سیستم فاضلاب ترکیبی شود، (۲) احداث حوضچه‌های ذخیره برای شرایط اضطرار و (۳) جداسازی کامل سیستم جمع‌آوری فاضلاب ترکیبی شهر. تحلیل اقتصادی انجام شده نشان داد که راهکار اول و دوم از نظر اقتصادی مناسب‌تر می‌باشند.

به منظور انتخاب راهکارهای لازم برای مدیریت رواناب‌های سطحی در زمان و مکان‌های مناسب، استفاده از مدل‌سازی به جهت شبیه‌سازی کیفیت آب در سال‌های اخیر به طور گسترده مورد بررسی قرار گرفته است. مدل‌سازی تخلیه اضطراری فاضلاب به آبراهه‌های سطحی عموماً به سه بخش مدل‌سازی هیدرولوژیکی، هیدرولیکی و کیفیت آب تقسیم می‌شود (EPA, 2016). در مطالعات گذشته محققان از مدل‌های مختلفی جهت شبیه‌سازی و مدل‌سازی استفاده نمودند. به طور مثال Even et al. (2007) از مدل PROSE برای شبیه‌سازی اثر پسماندهای دائمی خشک و تر و سرریز ترکیبی فاضلاب بر روی کیفیت آب سطحی رودخانه سن، فرانسه، استفاده نمودند. نتایج، تأثیرات فوری تخلیه فاضلاب بر روی سطوح اکسیژن محلول و بارهای ذرات آلی سنگین را نشان داد. همچنین، نتایج مدل‌سازی نشان‌دهنده حساسیت زیاد رودخانه نسبت به بار آلودگی است به طوری‌که منجر به کاهش قابل توجه سطوح اکسیژن محلول گردید. Sinha et al. (2012) از مدل عددی سه بعدی FEDC برای شبیه‌سازی و مدل‌سازی کیفی رودخانه شیکاگو بر اثر بارش‌های سیلابی استفاده نمودند. نتایج مدل‌سازی نشان داد که در طوفان ماه سپتامبر ۲۰۰۸، چندین میلیارد گالن آب از آبراهه‌های کنترلی رودخانه شیکاگو به دریاچه میشیگان تخلیه شده تا از سیلاب در شهر جلوگیری شود. این امر منجر به کاهش شدید کیفیت منابع آب سطحی گردید. ایشان در ادامه به بررسی راهکارهای مدیریتی در این حوزه پرداختند. Yazdi and Neyshabouri (2014) یک روش جدید برای ارزیابی عدم قطعیت ذاتی سیل و عدم قطعیت‌های استراتژی‌های مطلوب LID برای کاهش سیلاب ارائه نمودند. روش پیشنهادی انواع مختلفی از ابزارهای ریاضی شامل توابع کاپولا، روش MCS، مدل‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی، الگوریتم NSGA-II و همچنین ANN و نظریه مجموعه‌های فازی را با هم ترکیب می‌کند. نتایج حاصل از اعمال این مدل بر روی آبخوان کن نشان داد روش پیشنهادی عدم قطعیت‌های ذاتی مدیریت ریسک سیلاب را به خوبی مدل می‌کند که می‌تواند در شبیه‌سازی‌های کیفی مورد استفاده قرار گیرد. Karami et al. (2016) به مدیریت خطرپذیری سیلاب شهری با هدف کاهش آب‌گرفتگی و تخلیه آلاینده‌ها در آب‌های پذیرنده با به‌کارگیری دو روش متداول و نوین در شهر گلستان پرداختند. ایشان یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه با استفاده از الگوریتم ژنتیک چندهدفه (حداقل نمودن سه معیار هزینه اقتصادی، خطرپذیری آب‌گرفتگی سیلاب و آلودگی) توسعه داده و با مدل شبیه‌سازی SWMM ترکیب نمودند. در کنترل بار آلودگی، آلاینده‌های TSS، TN و TP را مد نظر قرار دادند. نتایج نشان داد به کارگیری ترکیب بهینه هر دو رویکرد متداول و نوین، منجر به کاهش قابل‌ملاحظه و مؤثر خطرپذیری آب‌گرفتگی و تخلیه آلاینده‌ها در آب‌های پذیرنده می‌شود. Morales et al. (2017) با استفاده از مدل‌سازی هیدرولوژیکی و هیدرولیکی به ارزیابی توانایی طرح تونل و مخزن شیکاگو برای کنترل رواناب‌های سیلابی و مدل‌سازی کیفی پرداختند. نتایج شبیه‌سازی با سوابق موجود مطابقت داشت. ایشان مدیریت تطبیقی تونل در هنگام وقوع طوفان را برای به حداقل رساندن اثرات منفی توصیه نمودند. Zare Farjoudi et al. (2019) با به‌کارگیری رویکرد ورشکستگی، یکی از زیرمجموعه‌های تئوری بازیها، به تخصیص بار آلودگی به منابع آلاینده و رسیدن به مقدار استاندارد اکسیژن محلول پایاب رودخانه زرجوب در گیلان پرداختند. ایشان از ترکیب مدل شبیه‌ساز کیفی QUAL2Kw، الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات و قوانین ورشکستگی استفاده نمودند. نتایج به‌دست آمده کاربرد مؤثر رویکرد ورشکستگی در دستیابی به حد مطلوب اکسیژن در پایاب رودخانه را نشان داد. Hashemi and Mahjourimajd (2019) به مدل‌سازی رواناب‌های سطحی در محدوده زیرحوضه ولنجک تهران با استفاده از مدل SWMM پرداختند. ایشان ۱۵ پارامتر مدل SWMM را درنظر گرفته و تحلیل حساسیت به سه روش وارس، سوبول و موریس انجام دادند. نتایج نشان داد از ۱۵ پارامتر تنها ۶ پارامتر بر نتایج خروجی مؤثر هستند. Saharia et al. (2019) پخش و انتقال دی اکسید تیتانیوم نانو مواد را در شرایط بارانی در رودخانه بوفالو، نیویورک، مدل‌سازی نمودند. ایشان یک مدل یکپارچه جدید به صورت ترکیب SWMM با یک مدل سه بعدی هیدرودینامیکی و کیفیت آب رودخانه‌ها (EFDC) را برای پیش‌بینی غلظت دی‌اکسید تیتانیوم استفاده نمودند. نتایج نشان داد که وقوع بارندگی شدید پتانسیل بالایی برای انتقال غلظت‌های بالای دی اکسید تیتانیوم را دارد. Pulgarin et al. (2021) روشی برای واسنجی تخلیه فاضلاب را مبتنی بر نتایج مدل سه بعدی ANSYS CFX در مدل SWMM ارائه دادند. نتایج به‌دست آمده نشان داد که روش مورد استفاده دقت زیادی داشته و خروجی شبیه‌سازی کیفی تطابق زیادی با نمونه‌های میدانی دارد. Saniei et al. (2021) به ارزیابی روش‌های LID برای مدیریت رواناب شهری

www.SID.ir

Archive of SID

پرداختند. ایشان با اتصال مدل SWMM با الگوریتم NSGA-II، LIDهای مختلف را بررسی کردند. ایشان نتیجه گرفتند ترکیب بهینه روش‌های LID تأثیر بسیار زیادی در کاهش سیل و حذف آلاینده‌ها در مقایسه با LIDهای منفرد دارد. در میان LIDهای مورد بررسی، روسازی نفوذپذیر بیشترین تأثیر را در کاهش سیلاب نشان داد. Abbasi et al. (2021) به بررسی اثرات سیلاب ناشی از طوفان سندی بر کیفیت و کمیت شبکه تصفیه‌خانه فاضلاب شهر نیویورک پرداختند. ایشان ابتدا با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره به اولویت‌بندی اثرات بهداشتی، اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی پرداختند. در ادامه، با استفاده از مدل تجزیه و تحلیل هیدرولوژیک GSSHA عمق سیلاب را تحت سه سناریوی مختلف شکست تصفیه‌خانه با توجه به اطلاعات طوفان سندی محاسبه نمودند. تجزیه و تحلیل حساسیت نشان داد که جامدات معلق (TSS)، اکسیژن خواهی بیوشیمیایی (BOD) و اکسیژن محلول بیشترین تغییرات را دارند. Shokouhimehr et al. (2021) از الگوریتم جستجوی هارمونی (HS) در ترکیب با مدل هیدرولوژیکی- هیدرولیکی SWMM برای استخراج منحنی‌های کنترل ورودی و خروجی حوضچه‌های تعدیل، با هدف حداقل‌سازی حجم سیلاب مازاد بر ظرفیت شبکه شرق تهران استفاده نمودند. نتایج نشان داد بهره‌برداری بهینه هماهنگ از این حوضچه‌ها باعث بهبود سطح عملکرد در مقایسه با روش فعلی بهره‌برداری می‌شود.

مطالعات پیشین انجام شده اکثراً به بررسی مدل‌سازی کیفی تحت یک شرایط خاص پرداخته‌اند و شبکه را تحت سناریوهای مختلف شبیه‌سازی نکرده‌اند. در مطالعات داخلی نیز خلأ مطالعه‌ای جامع به منظور مدل‌سازی آلاینده‌ها در کلان‌شهرها احساس می‌شود. لذا در این مطالعه سعی شده تا کمبودها و کاستی‌های مطالعات گذشته پوشش داده شده و یک ارزیابی جامع برای مدل‌سازی کیفی آب‌های سطحی تحت سناریوهای مختلف انجام گیرد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

شهر تهران واقع در استان تهران، طبق سرشماری سال ۱۳۹۵ پرجمعیت‌ترین شهر ایران با جمعیت بالغ بر ۸ میلیون نفر، بیست و چهارمین شهر پرجمعیت جهان و دومین کلان‌شهر پرجمعیت خاورمیانه محسوب می‌شود (Statistical center of Iran, 2016). از نظر جغرافیایی، تهران در موقعیت ۵۱ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۳ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۴۴ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. با توجه به توپوگرافی، شیب شهر تهران از شمال به جنوب می‌باشد. تهران دارای اقلیم نیمه‌خشک بوده و متوسط سالانه بارش و دمای آن به ترتیب ۲۶۳/۹ میلیمتر و ۱۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (IWRMC, 2020). رواناب‌های سطحی تهران در شبکه موجود جمع‌آوری آب‌های سطحی که شبکه گسترده‌ای از کانال‌های فرعی و اصلی سرپوشیده و روباز را شامل می‌شود، جاری شده و پس از طی مسیر، از محدوده شهر تهران خارج می‌شود. پیش‌بینی اثرات و تبعات تخلیه اضطراری در شرایط بارانی در شبکه‌های آب‌های سطحی شهر تهران و مدیریت آن، به دلایل مختلفی نیازمند بررسی دقیق می‌باشد، از جمله: (۱) آبراهه‌ها و رودخانه‌های جاری در سطح شهر تهران از میان بافت متراکم مسکونی، تجاری و اداری عبور می‌کنند، لذا آلودگی بصری و بوی نامطبوع ناشی از آلاینده‌ها می‌تواند تبعات محیط زیستی و اجتماعی را در این نواحی در پی داشته باشد. (۲) به علت وجود منابع آلاینده نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای پرشمار، وضع موجود کیفیت آب در شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی شهر تهران مناسب نیست و این نگرانی وجود دارد که با ورود یک منبع آلاینده جدید، کیفیت آب در برخی از کانال‌ها از مرز بحرانی عبور کند. (۳) از آب موجود در آبراهه‌ها و رودخانه‌های شهر تهران در طول مسیر برای آبیاری فضای سبز شهری استفاده می‌شود و از این طریق، آلودگی بیش از پیش این رواناب‌ها می‌تواند تبعات بهداشتی در پی داشته باشد. لذا با توجه به اهمیت موضوع، در این مطالعه، حوضه غرب تهران شامل کانال‌های اصلی سیل برگردان غرب و رودخانه کن به عنوان محدوده مطالعاتی درنظر گرفته شد (شکل ۱). بر این اساس، کلیه آبراهه‌ها و کانال‌های فرعی به عنوان نقاط ورودی نقطه‌ای در مدل لحاظ شده است.

۲-۲- روش انجام کار

در این مطالعه، به منظور ارزیابی شرایط کیفیت آب کانال‌ها و آبراهه‌ها تحت سناریوهای مختلف، مدل‌سازی کمی و کیفی انجام شد. سپس بازه‌های بحرانی تعیین گردیده و میزان تخطی از حدود استانداردها برآورد شد. در انتها نیز حداکثر بار مجاز قابل تخلیه به شبکه برای کنترل و بهبود وضعیت DO تعیین شد. به طور کلی، فرایند انجام کار به هفت گام اصلی تقسیم می‌شود که عبارتند از (۱) انتخاب مدل شبیه‌سازی، (۲) تعیین دامنه مکانی مدل، (۳) تعریف سناریوها و شرایط مرزی و اولیه مدل، (۴) استخراج اطلاعات هندسی کانال‌های آب سطحی و ساخت هندسه مدل، (۵) واسنجی مدل بر مبنای اطلاعات حاصل از پایش‌های میدانی، (۶) شبیه‌سازی در شرایط بارانی و غیر بارانی (پایه) کانال‌های اصلی آب‌های سطحی و (۷) تعیین حداکثر بار مجاز قابل تخلیه برای بهبود DO.

www.SID.ir

Archive of SID

مدل‌سازی کیفی رواناب‌های سطحی شهر تهران برای متغیرهای کیفی اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی (BOD)، جامدات محلول کل (TDS) و کلیفرم کل (TC) انجام شده است. BOD بیانگر میزان آلودگی آب به مواد آلی تجزیه‌پذیر است. این پارامتر اغلب شاخصی برای سنجش میزان آلودگی منابع آب به فاضلاب بهداشتی (و برخی فاضلاب‌های صنعتی) به شمار می‌رود و افزایش میزان آن در آب، با کاهش اکسیژن محلول و در نهایت بروز شرایط بی‌هوازی همراه است. بروز شرایط بی‌هوازی خود سبب تولید ترکیباتی چون سولفید هیدروژن می‌شود که انتشار بوی نامطبوع در محیط را به دنبال خواهند داشت. TDS به عنوان معرف غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های موجود در آب و TC رایج‌ترین شاخص برای سنجش میزان آلودگی میکروبی آب به شمار می‌رود و وجود آن در منابع آب می‌تواند بیانگر آلودگی این منابع به فاضلاب‌های بهداشتی و یا شیرابه پسماند باشد.

۲-۲-۱- انتخاب مدل

جهت شبیه‌سازی کیفی آبراهه‌ها نرم‌افزارهای متنوعی مانند WASP، CE-QUAL-W2، QUAL2Kw، MIKE 11 و غیره توسعه داده شده‌اند که هر کدام مزایا و معایت خاص خود را دارند. با توجه به اهداف تحقیق مدل مورد استفاده باید ویژگی‌های زیر را داشته باشد: (۱) توان شبیه‌سازی هیدرولیک جریان آب‌های سطحی در حالت یک بعدی، (۲) توان شبیه‌سازی شبکه پیچیده و چند شاخه‌ای آبراهه‌ها، (۳) توان شبیه‌سازی فرایندهای کلیدی حاکم بر انتقال و انتشار پارامترهای مورد شبیه‌سازی (شامل BOD، TDS و TC) مانند هم‌رفت[۶] و زوال[۷]، (۴) داشتن قابلیت درنظر گرفتن شرایط خاص حوضه‌های آبریز شهری و نه صرفاً طبیعی، (۵) تأیید کارایی مدل در مسائل مشابه در مراجع داخلی و بین‌المللی و (۶) داشتن قابلیت‌های گرافیکی مناسب با توجه به حجم زیاد داده‌ها و ساختار پیچیده شبکه آب سطحی. لذا با درنظرگیری موارد فوق، در این پژوهش از مدل SWMM[۸] استفاده شده است (Huber, 1985). نرم‌افزار SWMM نخستین بار به سفارش سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده (US-EPA) تهیه شد و از آن زمان تاکنون به طور مستمر و مداوم اصلاح و تقویت گردیده و یکی از پرکاربردترین ابزارهای موجود برای مدل‌سازی سیستم‌های جمع‌آوری فاضلاب و رواناب‌های شهری و نیز شبکه‌های مختلط به شمار می‌رود. آخرین نسخه این نرم‌افزار (SWMM 5.1.013) که به رایگان در دسترس همگان قرار دارد در سال ۲۰۱۸ میلادی منتشر شده است. نرم‌افزار SWMM محیطی به هم‌پیوسته[۹] را برای شبیه‌سازی شرایط هیدرولوژیکی، هیدورلیکی و کیفیت آب فراهم می‌کند و در هر سه سطح برنامه‌ریزی، طراحی و بهره‌برداری به کار گرفته می‌شود. نرم‌افزار SWMM شامل مدل شبیه‌سازی دینامیکی بارش- رواناب با قابلیت احتساب پدیده‌های تبخیر، ذوب برف، چالاب، نفوذ عمقی و جریان‌های زیر سطحی است. در این مدل، برآورد سیلاب با روش موج سیستماتیک و ترکیب المان‌های جریان‌های روزمینی و کانالیزه شده صورت می‌پذیرد، بنابراین دارای مبنای فیزیکی، نگاه توزیعی، امکان بررسی جداگانه نواحی نفوذپذیر و نفوذناپذیر و همچنین قابلیت شبیه‌سازی پاسخ غیرخطی حوضه به بارندگی اضافی است.

۲-۲-۲- تعریف دامنه مکانی مدل

محدوده مدل‌سازی مشتمل بر دو کانال اصلی جمع‌آوری آب‌های سطحی (سیل برگردان غرب و رودخانه کن) است که مشخصات آن‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. در این جدول، مشخصات اصلی هر یک از کانال‌ها، شامل طول کلی، طول روباز و روبسته، شکل مقطع، جنس کانال و ناحیه‌ای که کانال در آن قرار گرفته، ارائه شده است.

۲-۲-۳- تعریف سناریو و شرایط مدل

به منظور انجام مدل‌سازی، مشخصات دو کانال اصلی در مدل منتخب تعریف شده و کلیه سرشاخه‌ها، کانال‌ها و آبراهه‌های منتهی به آن‌ها در قالب شرایط مرزی[۱۰] منظور گردید. مدل‌سازی آبراهه‌ها به صورت یک بعدی (در راستای جریان) و با فرض اختلاط کامل در مقطع عرضی صورت گرفت که فرضی رایج در مطالعات مشابه به شمار می‌رود (Arjenaki et al., 2021). همچنین، تعریف سناریوهای مناسب برای شبیه‌سازی بر اساس رویکرد بیشترین دبی سرریز انجام شده است. دو سناریو برای مدل‌سازی درنظر گرفته شده است: (۱) جریان مواقع بارانی (WWF[۱۱]) که در آن کانال‌ها در زمان تخلیه فاضلاب خام در شرایط پرآبی بعد از وقوع بارش قرار دارند. در سناریوی متناظر با جریان مواقع بارانی از داده‌های کمی و کیفی حاصل از پایش‌های انجام شده در اردیبهشت ماه ۱۳۹۷ برای واسنجی مدل استفاده شده است. پایش‌های مذکور ۲۴ ساعت بعد از شروع بارش انجام شده و لذا معرف شرایط پرآبی کانال‌ها می‌باشد. (۲) جریان مواقع غیربارانی (DWF[۱۲]) که در آن کانال‌ها در هنگام تخلیه سرریزها در شرایط کم‌آبی قرار دارند. در این سناریو از داده‌های کمی و کیفی حاصل از پایش‌های انجام شده در تیر ماه ۱۳۹۷ برای واسنجی مدل استفاده شده است. بررسی دو سناریوی مذکور از چند جهت حائز اهمیت است. دبی کانال‌های پذیرنده فاضلاب در مواقع بارانی و غیربارانی متفاوت است و هرچه دبی کانال‌های پذیرنده بیشتر باشد، فاضلاب تخلیه شده با حجم بیشتری از آب سطحی مخلوط می‌شود. این موضوع روی غلظت آلاینده‌ها در مخلوط آب سطحی و فاضلاب در پایین‌دست تأثیرگذار خواهد بود.

www.SID.ir

Archive of SID

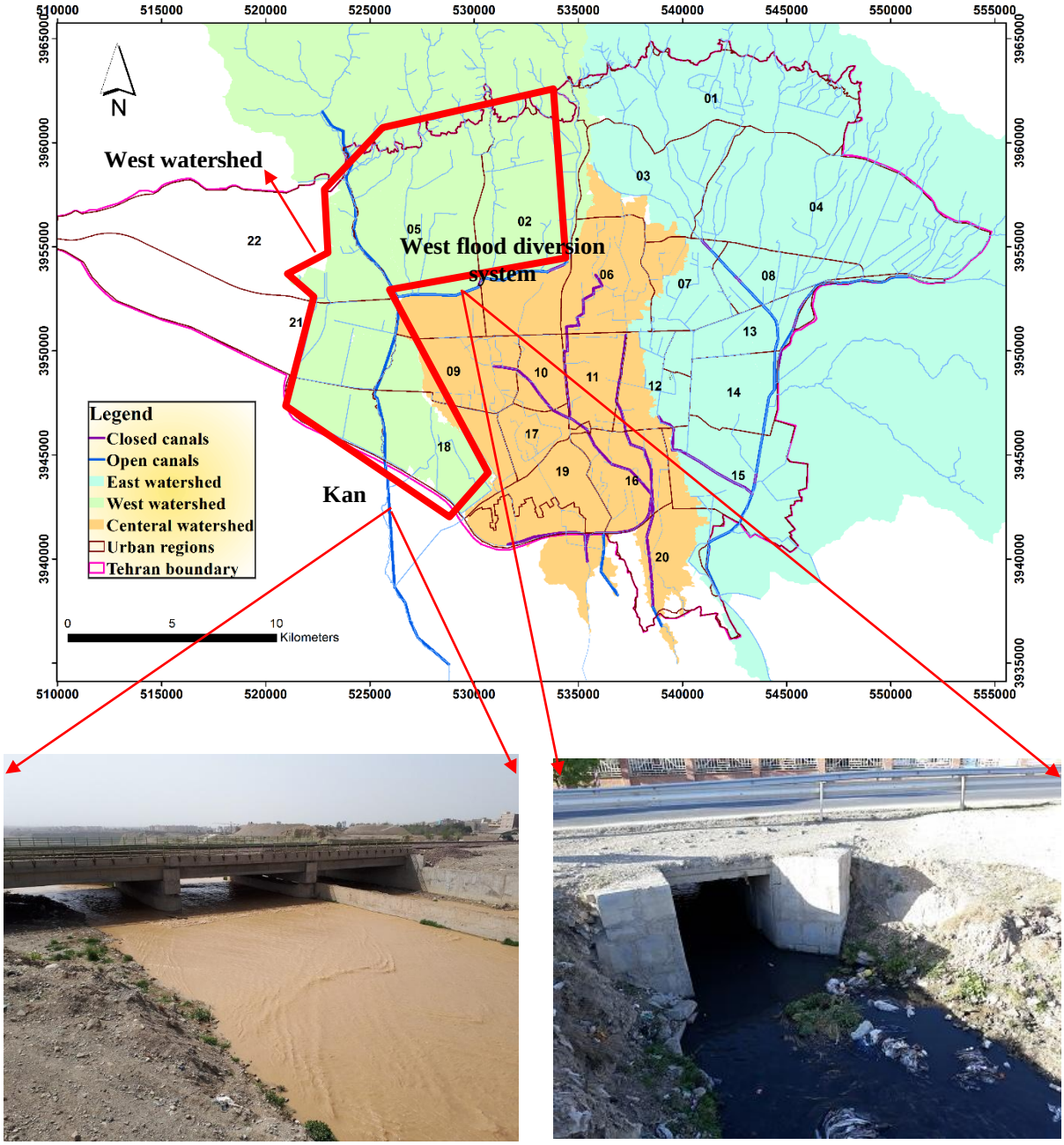


Fig. 1- Case study area, west watershed of Tehran

شکل ۱- محدوده مورد مطالعه، حوضه غرب تهران

Table 1- Specifications of canals simulated in the west watershed of Tehran

جدول ۱- مشخصات کانال‌های مورد شبیه‌سازی حوضه غرب تهران

Canal name	Length (m)	Closed length (m)	Open length (m)	Cross section	Material	No. of elements in model
Seilbargardan Gharb	8815	1160	7655	Rectangular	Concrete	21
Kan River	32200	-	32200	Rectangular	Concrete-Soil	17

www.SID.ir

Archive of SID

از طرف دیگر سرعت جریان در کانال‌ها در مواقع بارانی و غیربارانی نیز متفاوت بوده و این امر روی زمان انتقال و به تبع آن فرصت خودپالایی آب تأثیر می‌گذارد. همچنین، غلظت پایه یا پس‌زمینه آلاینده‌های مختلف در کانال‌ها در مواقع بارانی و غیربارانی می‌تواند بسیار متفاوت باشد، چراکه برای مثال در زمان بارندگی سهم منابع آلاینده غیرنقطه‌ای از بار آلودگی ورودی به کانال‌ها به شدت افزایش می‌یابد. تفاوت در غلظت‌های پس‌زمینه شرایط مختلفی را برای کانال‌های پذیرنده فاضلاب در پایین‌دست ایجاد می‌کند که باید مورد بررسی قرار گیرد. همچنین، در مدل SWMM زوال دو متغیر BOD و TC با واکنش مرتبه اول توصیف شده و متغیر TDS نیز مطابق رویکرد رایج، به صورت پایستار درنظر گرفته شده است.

۲-۲-۴- هندسه مدل

برای تعریف هندسه و مشخصات هیدرولیکی آبراهه‌های مورد شبیه‌سازی (مقطع عرضی، شیب، ضریب مانینگ و غیره) از اطلاعات طرح جامع مدیریت آب‌های سطحی شهر تهران استفاده شده است (Mahab Ghodss Consulting Engineering Company, 2011). همچنین، به علت عدم دسترسی به اطلاعات مورد نیاز مربوط به پل‌ها و کالورت‌های مستقر در شبکه، از مدل‌سازی این سازه‌ها در شبکه جمع‌آوری رواناب‌های سطحی شهر تهران صرفنظر شده است. با توجه به این که پل‌ها و کالورت‌ها بیشتر در بررسی روندیابی سیلاب اثر خود را نشان می‌دهند و در این مطالعه تمرکز اصلی بر روی تحلیل کیفی در شرایط پایه و بارانی (نه سیلابی) است، لذا درنظر نگرفتن آن‌ها تأثیر قابل توجهی بر نتایج خروجی نخواهد داشت. مقایسه نتایج شبیه‌سازی با داده‌های مشاهداتی صحت این فرض را نشان خواهد داد. تعداد المان‌های درنظر گرفته شده در مدل عددی SWMM برای هر یک از کانال‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.

۲-۲-۵- واسنجی مدل

پس از توسعه مدل کانال‌های اصلی جمع‌آوری آب‌های سطحی حوضه غرب شهر تهران در محیط SWMM، مدل بر مبنای اطلاعات پایش‌های صورت گرفته مورد واسنجی قرار گرفت. با توجه به اینکه دو سناریوی جریان مواقع بارانی و غیربارانی برای شرایط پایه کانال‌ها درنظر گرفته شده، مدل برای هر یک از شرایط فوق به طور مجزا واسنجی شد. پارامترهای متغیر در فرایند واسنجی مدل عبارتند از شرایط مرزی کانال‌های اصلی شامل دبی و غلظت پارامترهای کیفی در نقطه ابتدایی محدوده مورد شبیه‌سازی هر کانال (جریان ورودی از بالادست) و نیز بازه‌های تعریف شده توسط المان‌های مدل. شرایط مرزی متناظر با هر المان مدل در واقع معرف برآیند مجموعه جریان‌های ورودی و خروجی از کانال در المان مورد نظر می‌باشد. ضریب همبستگی (R)، خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) و خطای جذر میانگین مربعات نرمال شده (NRMSE) به عنوان معیارهای ارزیابی تطابق خروجی‌های مدل با داده‌های میدانی انتخاب شدند. فرمول‌های مربوطه در ادامه آورده شده است:

$$R = \frac{\sum(x_i - \bar{x}_i)(y_i - \bar{y}_i)}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x}_i)^2 \times \sum(y_i - \bar{y}_i)^2}} \quad (۱)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(x_i - \bar{x}_i)^2}{N}} \quad (۲)$$

$$NRMSE = \frac{RMSE}{\bar{x}} \quad (۳)$$

که در آن x_i و y_i متغیرهای ورودی iام، $\bar{x}_i$ و $\bar{y}_i$ میانگین متغیر ورودی iام و N تعداد کل داده‌ها می‌باشد.

۲-۲-۶- شبیه‌سازی در شرایط پایه و بارانی

در این بخش، ابتدا مدل برای ارزیابی روندهای حاکم در شرایط پایه کانال‌ها شبیه‌سازی می‌گردد. در ادامه، پس از بررسی شرایط پایه کانال‌ها، مدل‌سازی در حالت بارانی و تخلیه اضطراری فاضلاب توسط مدل عددی SWMM صورت گرفت. مصرف اصلی آب‌های سطحی شهر تهران، آبیاری فضای سبز شهری و نیز کشاورزی در اراضی پایین‌دست شهر تهران است. لذا تحلیل نتایج مدل، با توجه به استانداردهای مصارف کشاورزی و آبیاری صورت گرفت. برای پارامتر کل جامدات محلول (TDS) حد مشخصی در استاندارد کیفیت آب برای کاربری کشاورزی و استاندارد خروجی فاضلاب ایران در نظر گرفته نشده، اما در استاندارد FAO مقدار TDS متناظر با محدودیت شدید برای مصارف کشاورزی برابر با ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر درنظر گرفته شده است. در استاندارد مصارف کشاورزی و آبیاری (FAO) حداکثر غلظت قابل قبول BOD برابر با ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر است. برای متغیر کلیفرم کل (TC) نیز در استاندارد مذکور حداکثر غلظت قابل قبول ۱۰۰۰ MPN/100mL درنظر گرفته شده است.

۲-۲-۷- تعیین حداکثر بار مجاز قابل تخلیه برای بهبود DO

حداکثر بار کل آلاینده، محاسبه حداکثر مقدار آلاینده‌ای است که اجازه ورود به یک سامانه آبی را دارد به نحوی که استانداردهای کیفیت آب برای آن آلاینده خاص رعایت گردد. به عبارت دیگر، میزان کاهش آلاینده به نحوی تعیین می‌شود که استانداردها رعایت شود. منابع آلاینده به عنوان منابع نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای مشخص می‌شوند. از آنجا که میزان کم DO باعث به وجود آمدن شرایط بی‌هوازی شده و ایجاد بوی نامطبوع در سطح شهر می‌کند لذا این متغیر به عنوان متغیر هدف در نظر گرفته شده و با تعیین حداکثر بار متغیر BOD در نقاط

www.SID.ir

Archive of SID

بحرانی سعی شده است تا میزان DO بهبود یابد. همچنین، تقریباً در تمامی نقاط، مقدار متغیر DO در دوره تر بیشتر از دوره خشک بوده است لذا دوره خشک به عنوان دوره بحرانی برای مدل‌سازی DO انتخاب گردید.

۳- نتایج

۳-۱- مدل‌سازی برای شرایط پایه و بارانی

برای مدل‌سازی ابتدا واسنجی مدل در دو دوره خشک و تر انجام گردید. ضرایب همبستگی و مقدار RMSE نرمال و معمولی مدل واسنجی شده به ترتیب در جدول ۲ ارائه شده است.

نمودار تغییرات طولی پارامترهای مختلف (شامل دبی، TDS، BOD و TC) برای حوضه غرب تهران در جریان‌های مواقع بارانی و غیر بارانی در شکل ۲ نمایش داده شده است. در این نمودارها، خروجی‌های مدل توسط خط‌چین قرمز و داده‌های میدانی به وسیله مربع‌های آبی‌رنگ نمایش داده شده‌اند. مسیر ترسیم شده در این نمودارها شامل سیل برگردان غرب (از ابتدا تا انتهای محدوده مدل‌سازی) و رودخانه کن از محل اتصال با سیل برگردان غرب تا انتهای محدوده مدل‌سازی می‌باشد. به طور کلی تطابق قابل قبولی بین داده‌های میدانی و نتایج مدل وجود دارد به گونه‌ای که روند تغییرات این دو از الگوهای یکسانی پیروی می‌کنند. توصیف آماری خطاها در جدول ۲ نیز مؤید این موضوع است. ضرایب همبستگی برای هر چهار پارامتر در شرایط بارانی و غیربارانی مساوی یا بزرگ‌تر از ۰/۹۵ می‌باشد که میزان همبستگی زیادی را میان داده‌های میدانی و نتایج مدل نشان می‌دهد. بر مبنای شکل ۲ و نقشه‌های پهنه‌بندی (شکل ۳)، در شرایط بارانی، دبی در طول سیل برگردان غرب و رود کن، به جز محدوده بین بزرگراه‌های فتح و آزادگان، یک روند عموماً افزایشی را در طول مسیر دنبال می‌کند که عمدتاً ناشی از ورود رواناب حوضه آبریز از کانال‌های فرعی به کانال‌های اصلی است. دبی سیل برگردان غرب بین ۲/۵ تا ۴/۲ و دبی رودخانه کن بین ۲/۴ و ۷/۲ مترمکعب در ثانیه در شرایط بارانی اندازه‌گیری شده است. در شرایط غیربارانی، دبی سیل برگردان غرب ابتدا افزایش یافته و سپس روند عموماً کاهشی را تا انتهای دامنه مدل‌سازی در پایین‌دست دنبال می‌کند. دبی رودخانه کن نیز در ابتدا از بالادست به پایین‌دست تا محدوده اتصال به سیل برگردان غرب، از حدود ۱۵ به ۵۰۰ لیتر در ثانیه افزایش می‌یابد و بعد از آن تا انتهای دامنه مدل‌سازی روند کاهشی را دنبال می‌کند و در نهایت به حدود ۱۳ لیتر در ثانیه می‌رسد. این روند کاهشی ناشی از برداشت مستمر آب برای آبیاری فضای سبز و زمین‌های کشاورزی در طول مسیر است که بر مبنای مشاهدات میدانی، در نهایت باعث خشک شدن رود کن در پایین‌دست محدوده مطالعاتی می‌شود. در شرایط بارانی، TDS بعد از یک افزایش اولیه از حدود ۳۲۰ به ۴۰۸ میلی‌گرم در لیتر در حد فاصل ایستگاه‌های اول و دوم سیل برگردان غرب، در ادامه از بالادست به پایین‌دست یک روند کلی کاهشی را دنبال می‌کند تا در نهایت در انتهای محدوده مدل‌سازی رودخانه کن به حدود ۲۳۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌رسد. در شرایط غیربارانی TDS در طول مسیر سیل برگردان غرب بین حدود ۵۳۶ تا ۷۵۰ میلی‌گرم در لیتر نوسان می‌کند. میزان این پارامتر در رودخانه کن در شرایط غیربارانی از بالادست به پایین‌دست روند افزایشی داشته و از حدود ۳۰۸ به ۱۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر می‌رسد. در شرایط بارانی، BOD یک روند افزایشی را از بالادست به پایین‌دست در طول مسیر هر دو آبراهه سیل برگردان غرب و رودخانه کن، دنبال می‌کند، به گونه‌ای که مقدار آن در طول مسیر سیل برگردان غرب از ۴۵ به ۶۵ و در طول رودخانه کن از ۶۳ به ۱۷۰ میلی‌گرم در لیتر افزایش می‌یابد. در شرایط غیربارانی، میزان BOD در طول مسیر هر دو کانال نوسانات زیادی دارد و بین ۱۷ تا ۲۹۰ میلی‌گرم در لیتر تغییر می‌کند. میزان TC در طول مسیر هر دو کانال در شرایط بارانی و غیربارانی با نوسانات عمده روبه‌رو است. مقدار TC در شرایط بارانی بین $۱/۳ \times ۱۰^{۴}$ تا $۱/۶ \times ۱۰^{۷}$ MPN/100mL، و در شرایط غیربارانی بین $۳/۵ \times ۱۰^{۳}$ تا $۱/۶ \times ۱۰^{۷}$ MPN/100mL در نوسان است.

۳-۲- تعیین بازه‌های بحرانی در شرایط اضطرار

بازه‌های بحرانی بخش‌هایی از کانال‌های پذیرنده فاضلاب تعریف گردید که میزان BOD پایه در جریان مواقع غیربارانی در آن‌ها کمتر از استاندارد مصارف کشاورزی و آبیاری بوده، اما پس از تخلیه اضطراری، میانگین غلظت BOD در آن‌ها از استاندارد مذکور فراتر رفته است.

Table 2- Model calibration results

جدول ۲- نتایج واسنجی مدل

Index	Wet weather flow condition (WWF)				Dry weather flow condition (DWF)			
	Q	BOD	TDS	TC	Q	BOD	TDS	TC
R	0.99	0.99	0.98	0.96	0.99	0.97	0.98	0.95
RMSE	64	17	9	29	16	44	21	27
NRMSE (%)	1.5	8.7	4.3	27	4.4	7	5.2	29

www.SID.ir

Archive of SID

مقدار متوسط BOD ورودی ناشی از تخلیه اضطراری، بر اساس مطالعات طرح جامع فاضلاب تهران، ۲۸۰ میلی‌گرم در لیتر درنظر گرفته شد. به منظور بررسی وضعیت آبراهه‌ها در شرایط تخلیه اضطراری، متوسط غلظت BOD هر یک از المان‌های کانال‌های سطحی برای مجموعه سرریزهای اضطراری تأثیرگذار بر آن المان، محاسبه شد. بر این اساس در شکل ۴، نقشه متوسط غلظت BOD آبراهه‌های سطحی ناشی از تخلیه اضطراری در شرایط غیربارانی ارائه شده است. مطابق این نقشه، به جز بازه بالادست رودخانه کن در سایر بازه‌ها با تخلیه اضطراری وضعیت آب در شرایط غیرمجاز مصارف کشاورزی و آبیاری از نظر غلظت BOD قرار می‌گیرد. بخشی از این غلظت‌ها بالای BOD مربوط به شرایط پایه و بخشی دیگر ناشی از تخلیه اضطراری می‌باشد. در این نقشه، بازه‌هایی که BOD پایه و متوسط غلظت BOD آن‌ها پس از تخلیه (در جریان مواقع غیربارانی)، هر دو کمتر از استاندارد مصارف کشاورزی و آبیاری است، با رنگ آبی و سبز مشخص شده‌اند. بازه‌هایی که BOD در شرایط مرزی قرار دارد با رنگ زرد و بازه‌هایی که طبق تعریف بحرانی محسوب شده و به واسطه تخلیه فاضلاب متوسط غلظت BOD در آن‌ها از حد استاندارد فراتر می‌رود، با رنگ قهوه‌ای و قرمز نشان داده شده‌اند. مطابق این نقشه در حوضه غرب، رودخانه کن در بازه اتوبان آزادگان تا انتهای رودخانه، صرفاً به دلیل تخلیه سرریزهای اضطراری در وضعیت تخطی از استاندارد کشاورزی قرار می‌گیرد.

۳-۳- تعیین حداکثر بار مجاز قابل تخلیه برای بهبود DO

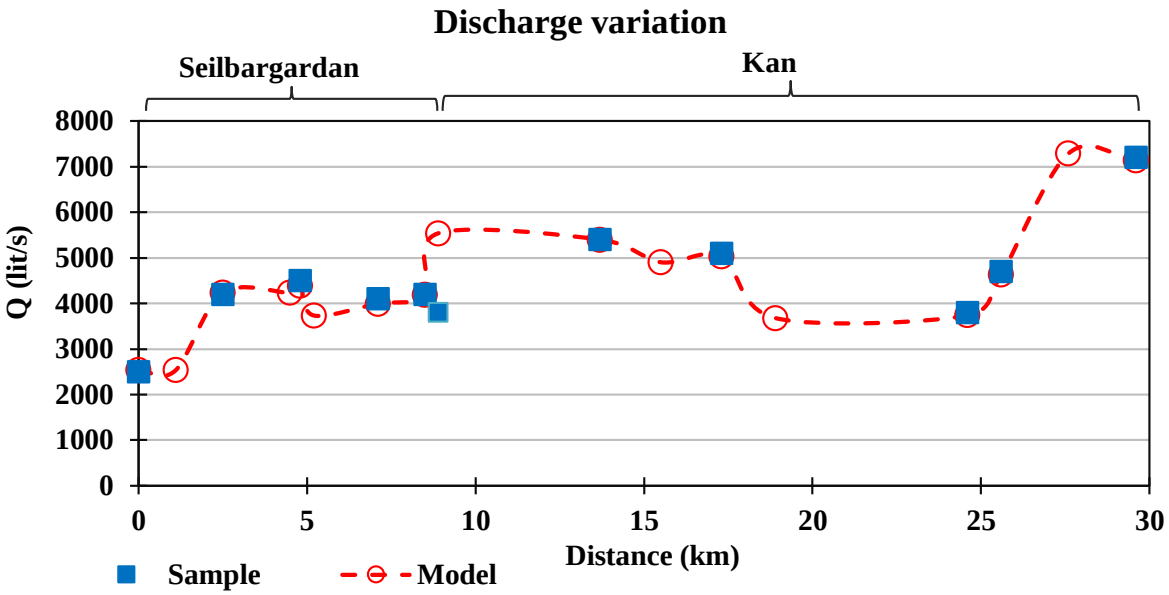
از آنجا که تقریباً در تمامی نقاط، مقدار متغیر DO در دوره تر بیشتر از دوره خشک بوده است لذا دوره خشک به عنوان دوره بحرانی برای مدل‌سازی DO انتخاب گردید. در بخش واسنجی مدل، ضریب همبستگی و خطای جذر میانگین مربعات به ترتیب ۰/۹۸ و ۲ به دست آمد. نمودار تغییرات طولی متغیر DO برای حوضه غرب تهران در جریان‌های مواقع غیر بارانی در شکل ۵ نمایش داده شده است. در این نمودار، خروجی‌های مدل توسط خط و نقطه قرمز و داده‌های میدانی به وسیله خط و مربع‌های آبی‌رنگ نمایش داده شده‌اند. مسیر ترسیم شده در این نمودارها شامل سیل برگردان غرب (از ابتدا تا انتهای محدوده مدل‌سازی) و رودخانه کن از محل اتصال با سیل برگردان غرب تا انتهای محدوده مدل‌سازی می‌باشد. به طور کلی تطابق قابل قبولی بین داده‌های میدانی و نتایج مدل وجود دارد به گونه‌ای که روند تغییرات این دو از الگوهای یکسانی پیروی می‌کنند.

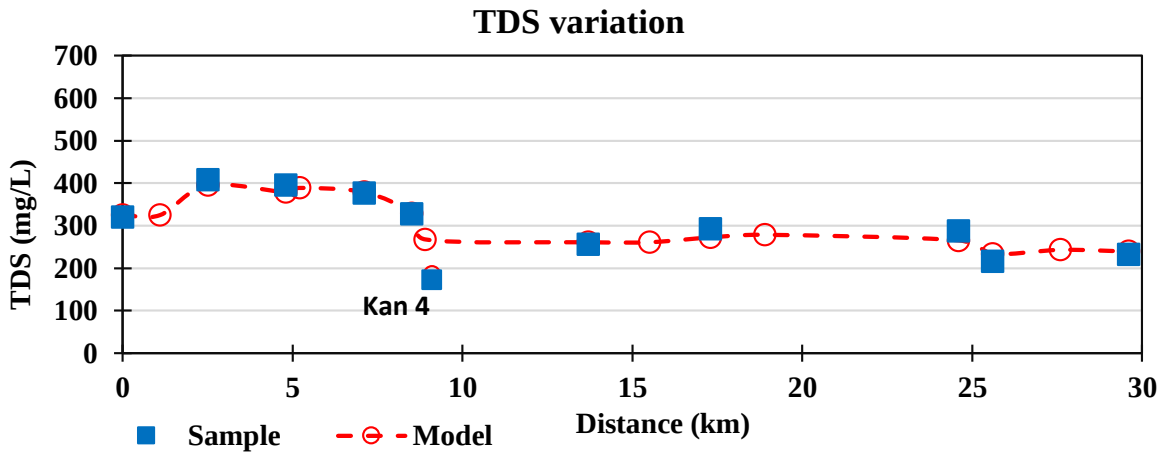
همان‌طور که در شکل ۶ (الف) مشخص است، در شرایط غیر بارانی، میزان DO در طول سیل برگردان غرب و رود کن، به جز در چند بخش، یک روند عموماً افزایشی را در طول مسیر دنبال می‌کند. میزان DO در ابتدای سیل برگردان غرب پایین بوده و در طول مسیر به تدریج از ۳ به ۵ میلی‌گرم در لیتر افزایش یافته است. در ادامه، میزان DO تقریباً از بالادست به پایین‌دست ثابت مانده و فقط در بخش ایستگاه‌های نزدیک به تقاطع رودخانه کن و سیل برگردان غرب یک کاهش شدید را تجربه می‌کند که می‌تواند به دلیل تخلیه بار آلودگی در این منطقه باشد. همچنین در ادامه، DO به تدریج افزایش یافته تا در انتهای رودخانه کن دوباره روند کاهشی در آن ایجاد شده است. لذا سه بخش قسمت شمال شرقی سیل برگردان غرب، بخش‌های جنوبی رودخانه کن و ایستگاه‌های نزدیک به تقاطع رودخانه کن و سیل برگردان غرب دارای DO پایینی (حدود ۲ میلی گرم در لیتر) هستند. سطح اکسیژن محلول پایین (حدود ۲ تا ۳ میلی‌گرم در لیتر و کمتر) در آبراهه‌ها احتمال بروز شرایط بی‌هوازی و تولید بوی نامناسب در این مقاطع را تقویت می‌کند که بازدیدهای میدانی انجام شده از این مناطق نیز مؤید این نکته است. ایجاد بوی نامطبوع در مجاورت کاربری‌های مسکونی، تجاری- اداری، بیمارستان‌ها و رستوران‌ها بازتاب منفی زیادی به همراه دارد. ایجاد بوی نامطبوع تبعات اجتماعی منفی بر فضای کسب و کار محیط پیرامون و سطح درآمد در این محدوده‌ها به همراه خواهد داشت که می‌بایست مورد توجه قرار گیرد.

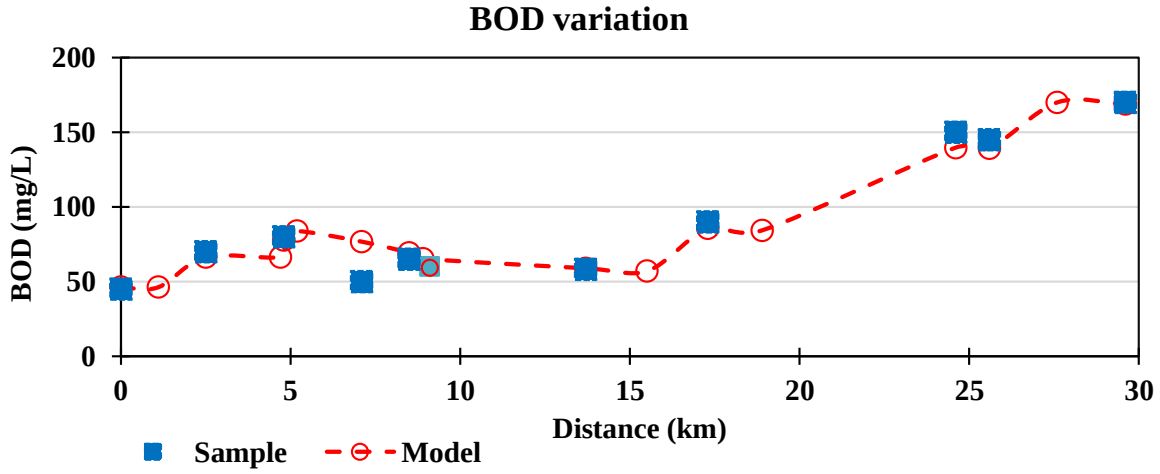
لذا به منظور افزایش DO و بهبود شرایط در این مناطق دو سناریو درنظر گرفته شد. در سناریو اول کاهش بار آلودگی (با کاهش تدریجی متغیر BOD) در قسمت شمال شرقی سیل برگردان غرب درنظر گرفته شد. در این سناریو میزان BOD به تدریج کاهش داده شد و در نهایت در میزان ۵۰ میلی‌گرم در لیتر، حد مطلوب DO حاصل گردید. نتایج مدل‌سازی نشان داد (شکل ۶ (ب) و ۶ (ج)) در این سناریو میزان DO در قسمت شمال شرقی افزایش قابل ملاحظه‌ای داشته (فاصله ۲/۵ کیلومتری در نمودار شکل ۷ (الف)) و به حدود ۵-۶ میلی‌گرم در لیتر رسیده است اما این سناریو تأثیری بر مناطق جنوبی رودخانه کن نداشته و شرایط DO بهبود نیافته است. لذا در سناریو دوم در هر دو بخش شمال شرقی سیل برگردان غرب (فاصله ۲/۵ کیلومتری در نمودار شکل ۷ (ب)) و جنوب کن (فاصله ۲۸ کیلومتری در نمودار شکل ۷ (ب)) کاهش بار آلاینده اعمال و BOD به ۳۰ میلی‌گرم در لیتر کاهش داده شد. همان طور که مشخص است در این سناریو وضعیت در سیل برگردان غرب و جنوب رودخانه کن بهبود یافته و به ۵ میلی‌گرم در لیتر رسیده است. شکل ۷ نیز بهبود شرایط DO را به خوبی نشان می‌دهد.

www.SID.ir

Archive of SID

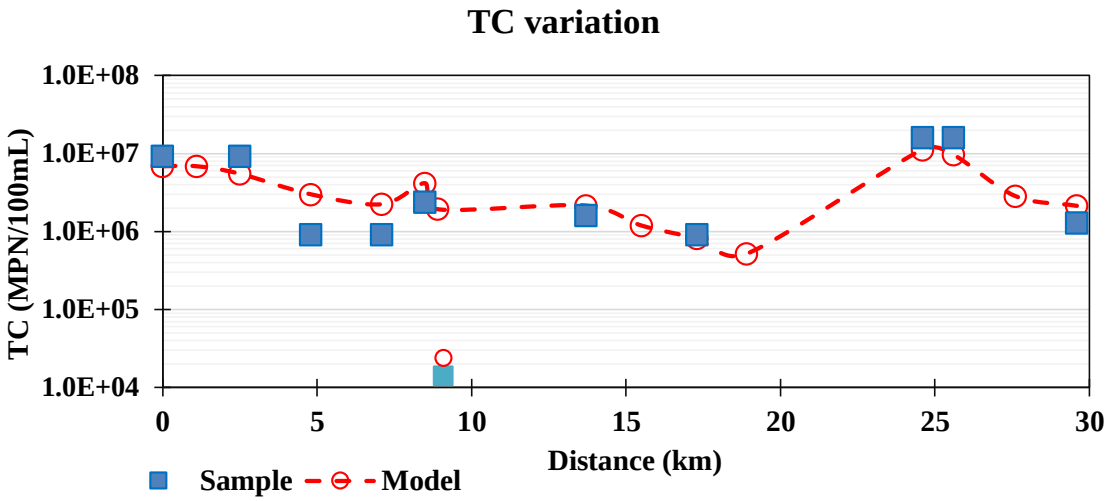




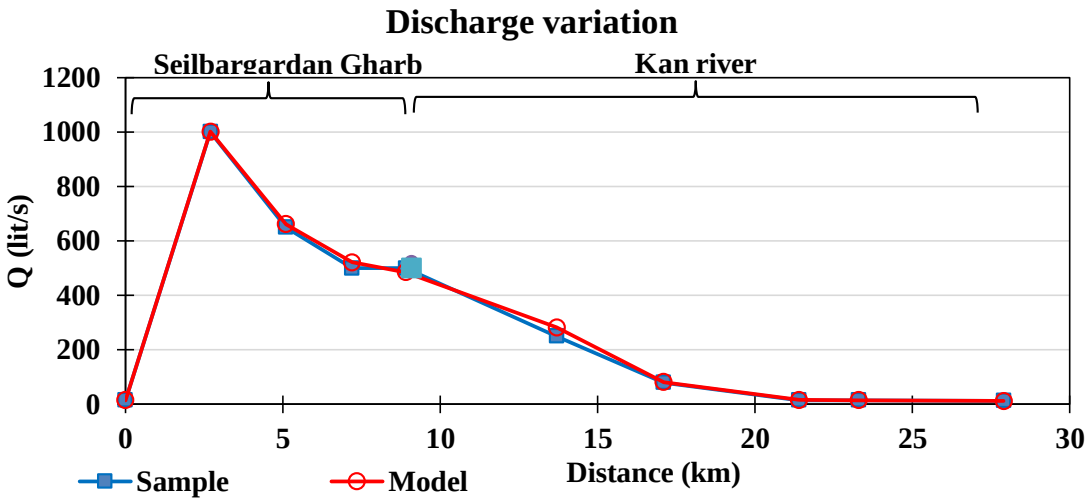


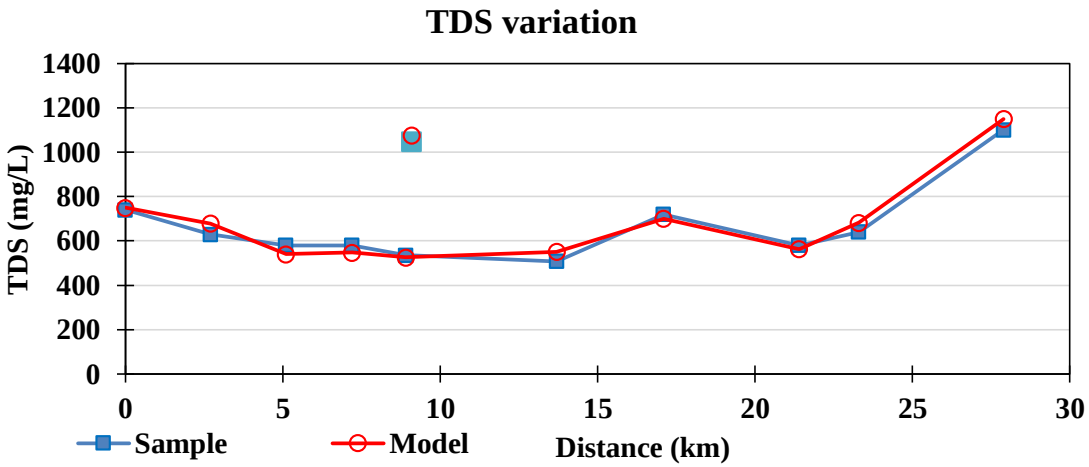
www.SID.ir

Archive of SID



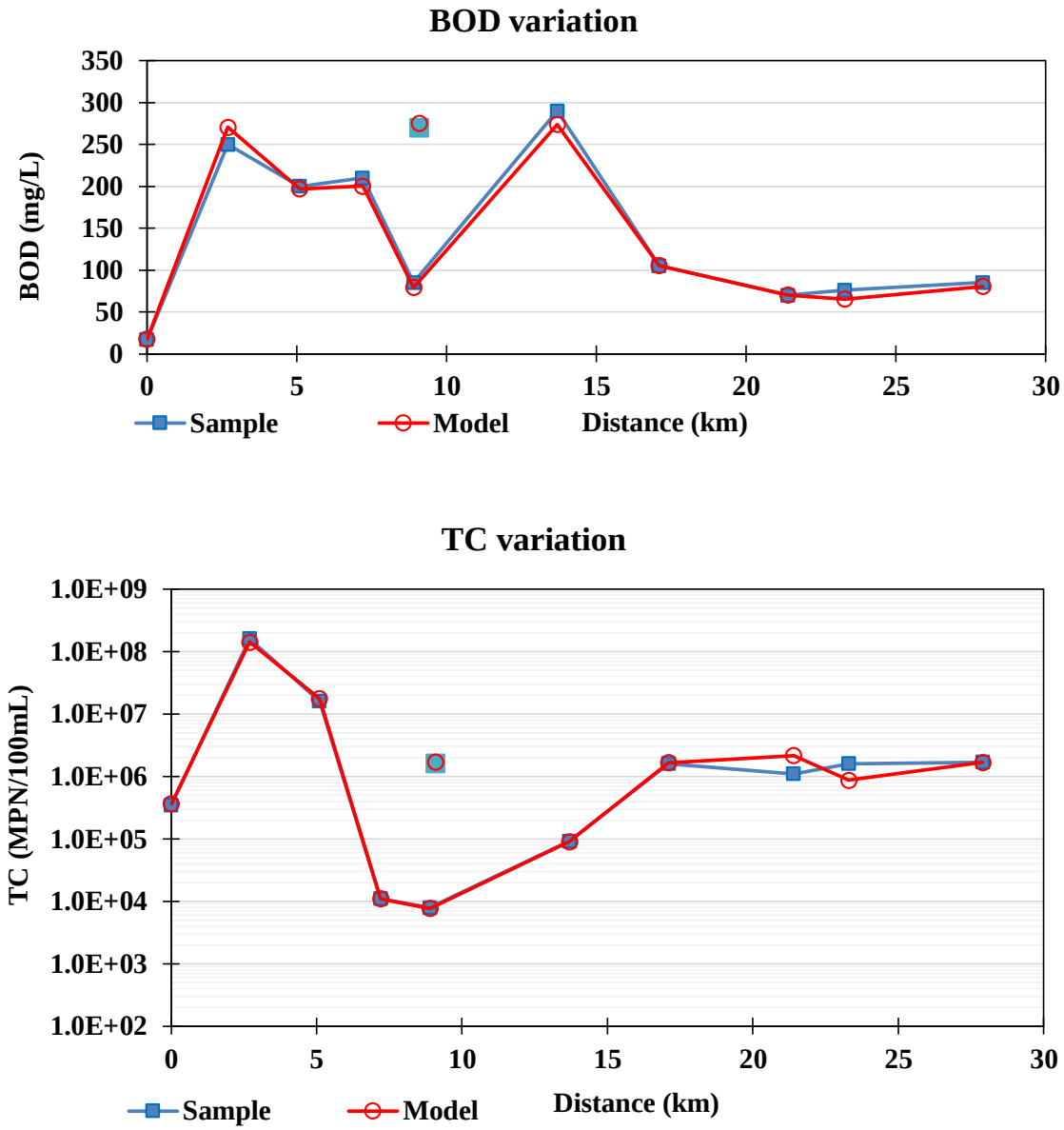
(a)





www.SID.ir

Archive of SID



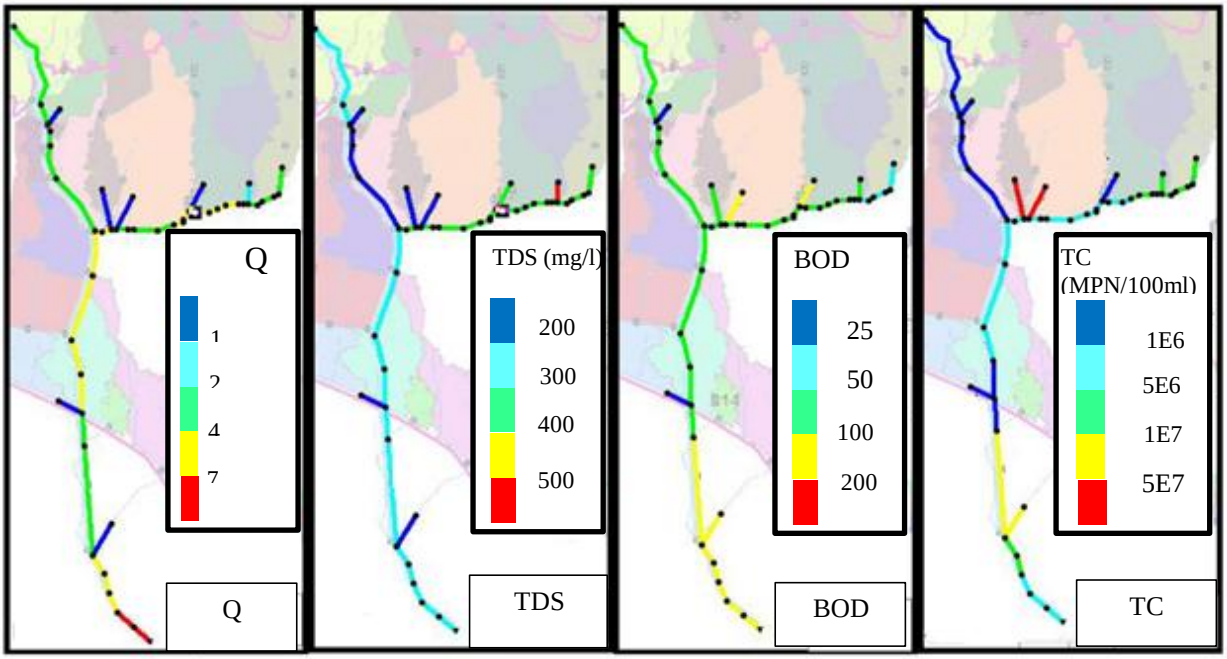
(b)

Fig. 2- Output results of simulated model for quality and quantity variables in (a) wet weather flow and (b) base flow conditions

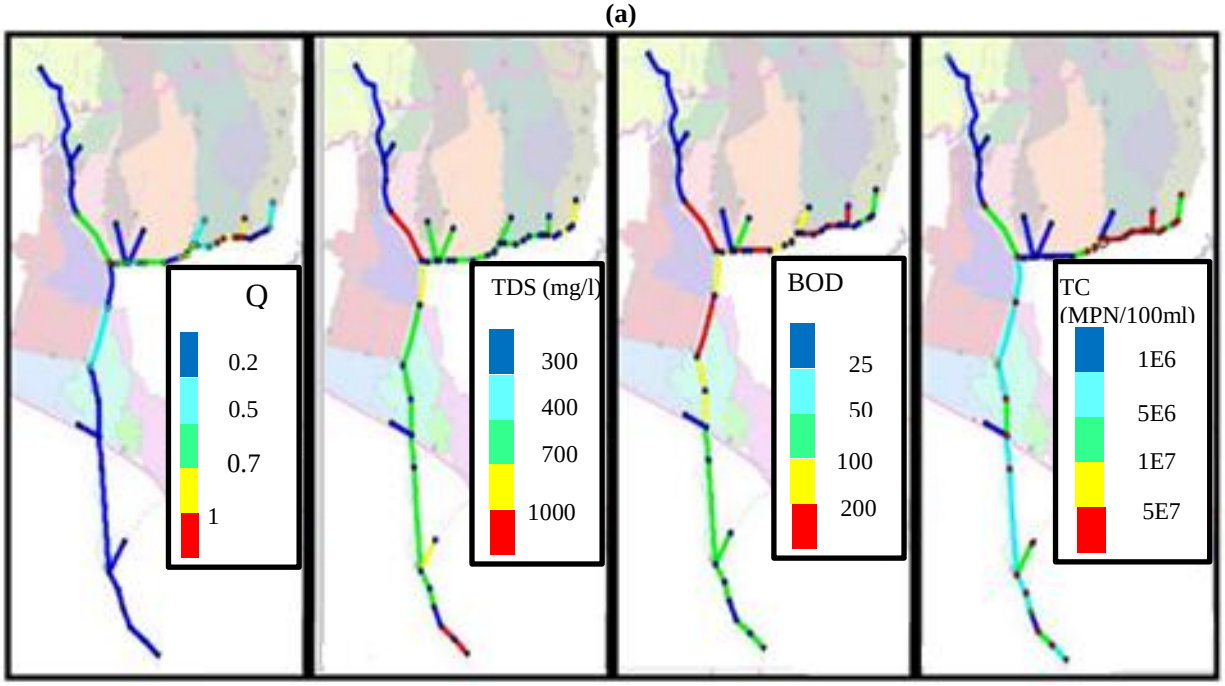
شکل ۲- خروجی مدل شبیه‌سازی شده متغیرهای کمی و کیفی در شرایط (الف) بارانی و (ب) پایه

www.SID.ir

Archive of SID



(a)



(b)

Fig. 3- Distribution of different variables in west watershed canals of Tehran in (a) wet weather flow and (b) base flow conditions

شکل ۳- پهنه‌بندی تغییرات متغیرهای مختلف در کانال‌های حوضه غرب تهران در شرایط (الف) بارانی و (ب) پایه

www.SID.ir

Archive of SID

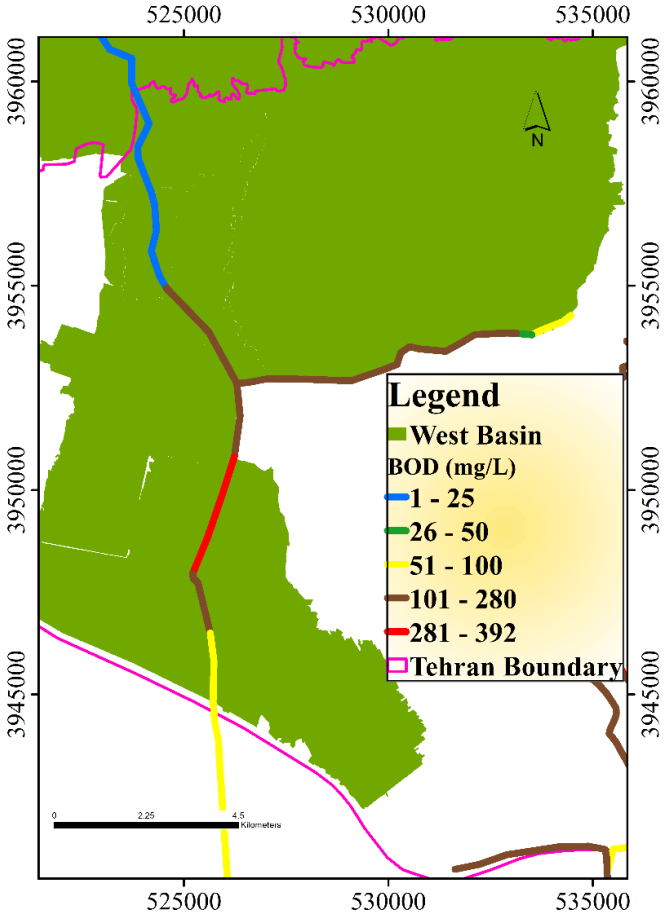


Fig. 4- Determination of critical intervals of BOD in base flow condition

شکل ۴- تعیین بازه‌های بحرانی BOD در شرایط پایه

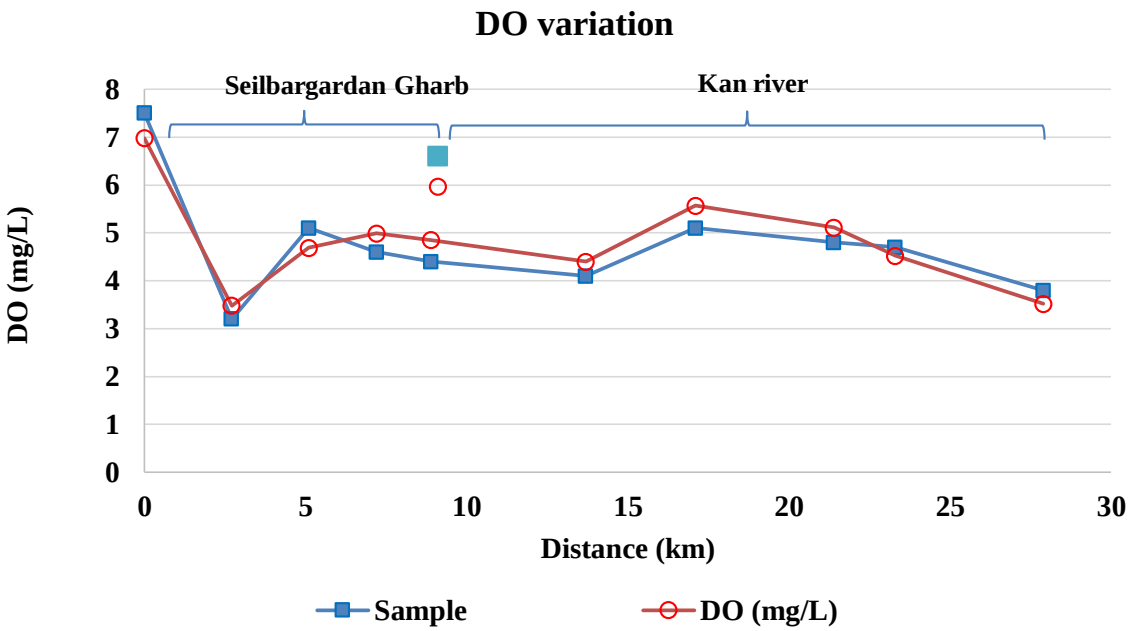


Fig. 5- Output results of simulated model for DO in base flow condition

شکل ۵- خروجی مدل شبیه‌سازی شده DO در شرایط پایه

www.SID.ir

Archive of SID

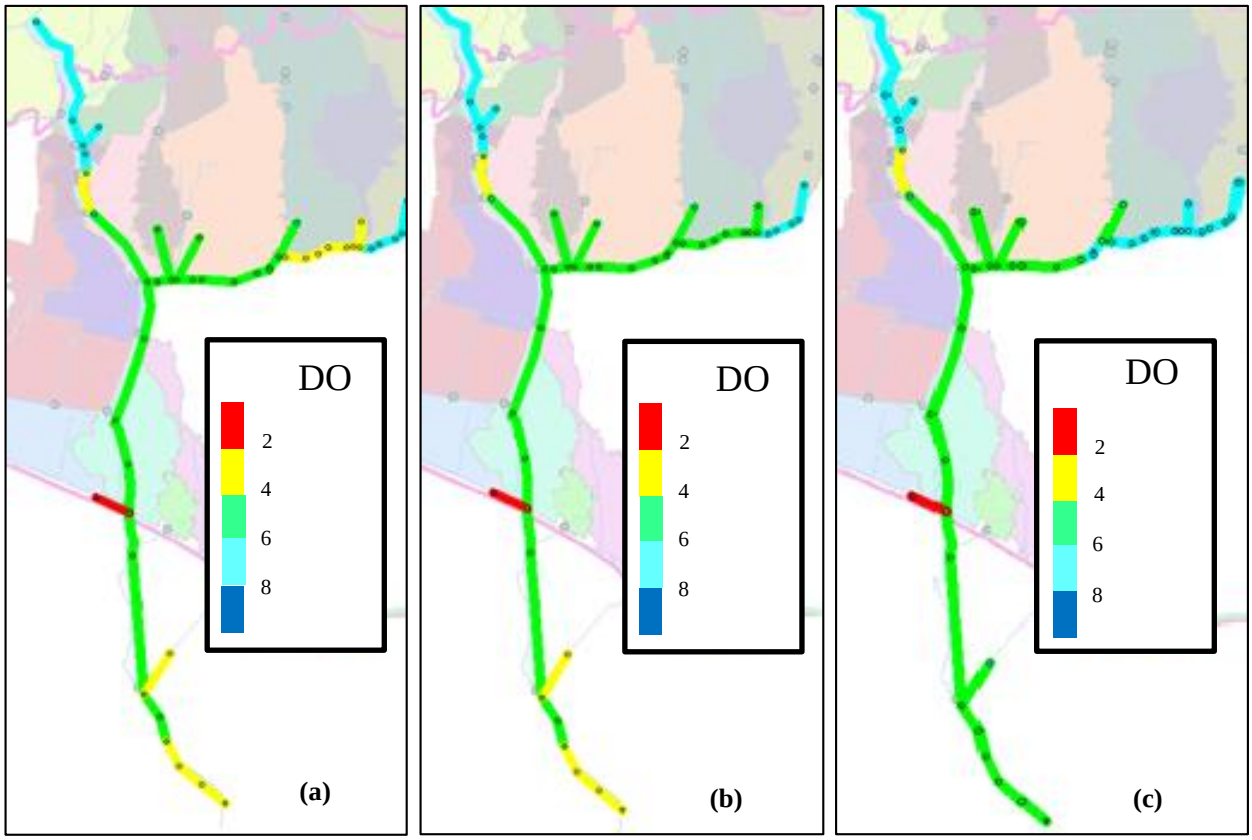


Fig. 6- Mapping distribution of DO concentration in west watershed canals of Tehran in (a) base flow, (b) scenario 1 and (c) scenario 2 conditions

شکل ۶- پهنه‌بندی تغییرات DO در کانال‌های حوضه غرب تهران در شرایط غیر بارانی تحت (الف) حالت پایه، (ب) سناریو ۱ و (ج) سناریو ۲

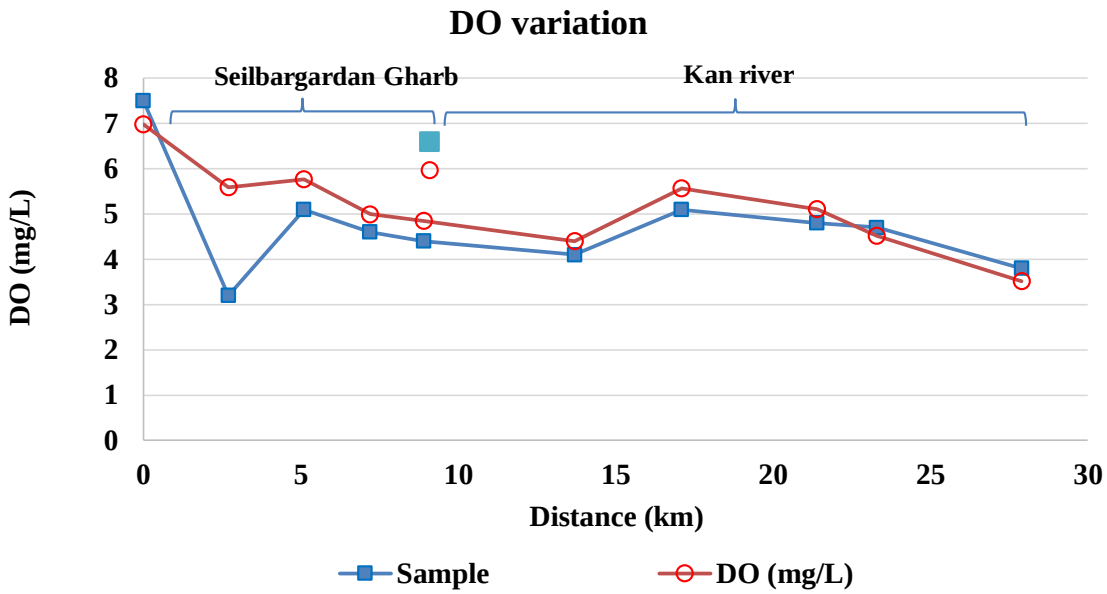
۴- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در برخی شرایط خاص از جمله شرایط بارانی، فاضلاب تولیدی شهرها به نزدیک‌ترین آبراهه تخلیه می‌شود. در این صورت کیفیت آب‌های سطحی پایین آمده و منابع آبی آلوده می‌شوند. لذا لازم است با توجه به حجم و غلظت فاضلاب ورودی به منابع آب سطحی بررسی‌های کمی و کیفی انجام گیرد. در این مطالعه، سه متغیر کیفی BOD، TDS و TC در آب‌های سطحی پذیرنده حوضه غرب تهران با استفاده از مدل عددی SWMM مورد شبیه‌سازی قرار گرفتند. مدل‌سازی کیفی برای دو سناریو جریان مواقع بارانی و غیربارانی انجام گردید و بازه‌های بحرانی تعیین شدند. با توجه به این که این رواناب‌ها بیشتر به مصرف کشاورزی و آبیاری می‌رسند لذا شبیه‌سازی کیفی با استاندارد کشاورزی مقایسه گردید.

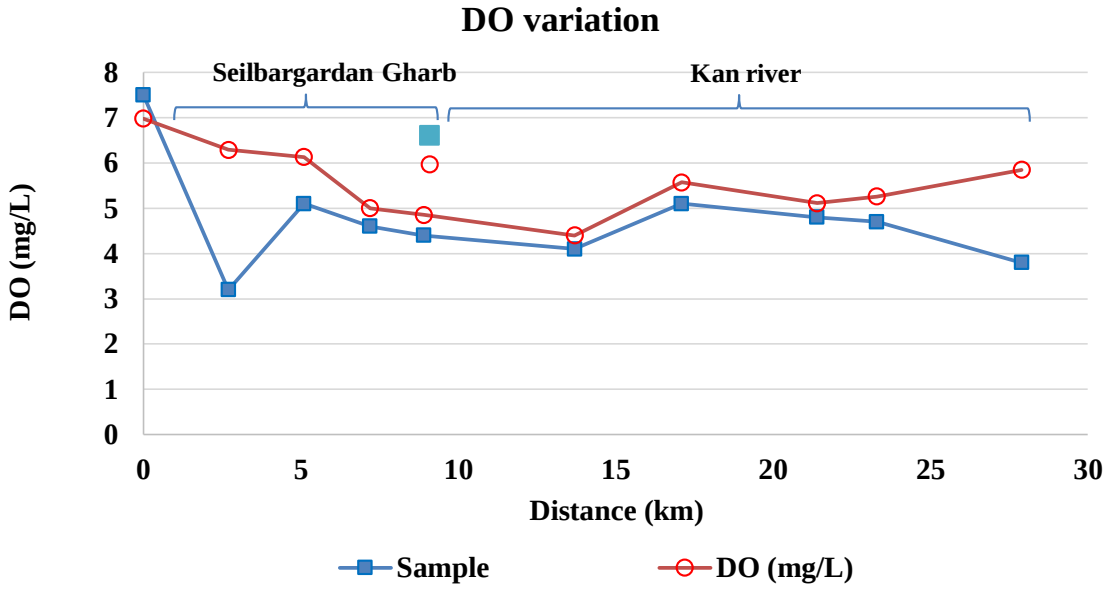
همچنین، در صورت تخلیه فاضلاب به نزدیک‌ترین آبراهه‌ها، غلظت اکسیژن محلول به دلیل فعالیت باکتریایی میکروارگانیسم‌های فاضلاب برای تجزیه مواد آلی کم شده و مواد آلی پایدار تولید می‌گردد. در صورتی که این کاهش به کمتر از حد معینی برسد باعث می‌شود که مولکول‌های آلی توسط باکتری‌های بی‌هوازی بدون اکسیژن تجزیه گردد و ترکیبات مانند متان و هیدروژن سولفید تولید کند. به منظور جلوگیری از ایجاد شرایط بی‌هوازی و انتشار بوی نامطبوع، وضعیت DO نیز در منطقه مدل گردید و حداکثر بار مجاز تخلیه به آب‌های سطحی محاسبه شد. نتایج نشان داد در مواقع بارانی و غیر بارانی به ترتیب ۱۰ و ۳ درصد افزایش TDS رخ خواهد داد. آلودگی میکروبی TC آب‌های سطحی تهران به طور طبیعی بیشتر از استاندارد کشاورزی و آبیاری بوده و شرایط بارانی وضعیت را وخیم‌تر می‌کند. همچنین، تخلیه فاضلاب در شرایط بارانی سبب افزایش BOD به بیشتر از استاندارد کشاورزی و آبیاری به ویژه در مواقع غیر بارانی می‌شود. این افزایش BOD باعث کاهش قابل توجه DO در منطقه شده است. از نتایج این مطالعه می‌توان در بررسی وضعیت کیفیت آب سطحی و مدیریت و ارائه راه‌کارهای کاهش بار آلودگی حوضه غرب شهر تهران استفاده نمود.

www.SID.ir

Archive of SID



(a)



(b)

Fig. 7- Output results of simulated model for DO in (a) scenario 1 and (b) scenario 2 conditions

شکل ۷- خروجی مدل شبیه‌سازی شده DO در شرایط غیربارانی تحت (الف) سناریو ۱ و (ب) سناریو ۲

پی‌نوشت‌ها

1- Separate System
2- Combined System
3- Combined Sewer Overflow
4- Sanitary Sewer Overflow
5- Low Impact Development
6- Advection
7- Decay
8- Storm Water Management Model
9- Integrated
10- Boundary Condition
11- Wet Weather Flow
12- Dry Weather Flow

www.SID.ir

Archive of SID

۵- مراجع

Abbasi H, Zeynolabedin A, Nabi Bidhendi G (2021) Assessment of combined sewer overflows impacts under flooding in coastal cities. Journal of Water and Climate Change 12(6):2460–2478

Ao S, Zayed T (2021) Impact of sewer overflow on public health: A comprehensive scientometric analysis and systematic review. Environmental Research 111609

Arjenaki MO, Sanayei HRZ, Heidarzadeh H, Mahabadi NA (2021) Modeling and investigating the effect of the LID methods on collection network of urban runoff using the SWMM model (Case study: Shahrekord City). Modeling Earth Systems and Environment 7(1):1-16

Costa C, Miller P, Pace D (2015) Eliminating combined sewer overflow in the Blackstone Canal. B.Sc. Report, Faculty of Worcester Polytechnic Institute

Dell T, Razzaghmanesh M, Sharvelle S, Arabi M (2021) Development and application of a SWMM-based simulation model for municipal scale hydrologic assessments. Water 13(12):1644

EPA (2016) Report to congress combined sewer overflows into the Great Lakes Basin. U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Office of Wastewater Management

Even S, Mouchel JM, Servais P, Flipo N, Poulin M, Blanc S, ..., Paffoni C (2007) Modelling the impacts of combined sewer overflows on the river Seine water quality. Science of the Total Environment 375(1-3):140-151

Gandhi R, Ray AK, Sharma VK, Nakhla G (2014) Treatment of combined sewer overflows using ferrate. Water Environment Research 86(11):2202-2211

Ghodsi, SH, Zhu Z, Gheith H, Rabideau AJ, Torres MN, Meindl K (2021) Modeling the effectiveness of rain barrels, cisterns, and downspout disconnections for reducing combined sewer overflows in a city-scale watershed. Water Resources Management 35:2895–2908

Hashemi M, Mahjourimajd N (2019) Sensitivity analysis of surface runoff simulation parameters in Velenjak sub-basin of the Tehran city: Application of VARS, Sobol and Morris Methods. Iran-Water Resources Research 14(4):71-79 (In Persian)

Huber WC (1985) Storm Water Management Model (SWMM) bibliography Athens. Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency

IWRMC (Iran Water Resources Management Company) (2020) Meteorological data. Retrieved from https://www.wrm.ir

Karami M, Ardeshir A, Behzadian K (2016) Hazard management of inundation and pollutants in urban floods using optimal conventional and novel strategies. Iran-Water Resources Research 11(3):100-112 (In Persian)

Kenward A. Yawitz D. Raja U. 2013 Sewage Overflows from Hurricane Sandy. Climate Central, Princeton, NJ.

Khaleghi Sigaroodi S, Rostami Khalaj M, Mahdavi M, Salajegheh A (2015) Calibration and evaluation of SWMM model for urban runoff simulation (Case study: Imam Ali town of Mashhad). Iranian Journal of Natural Resources 68(2):487-498 (In Persian)

Locatelli L, Russo B, Acero Oliete A, Sánchez Catalán JC, Martínez-Gomariz E, Martínez M (2020) Modeling of E. coli distribution for hazard assessment of bathing waters affected by combined sewer overflows. Natural Hazards and Earth System Sciences 20(5):1219-1232

Mahab Ghodss Consulting Engineering Company (2011) Tehran surface water master plan. Technical Report (In Persian)

Morales VM, Mier JM, Garcia MH (2017) Innovative modeling framework for combined sewer overflows prediction. Urban Water Journal 14(1):97-111

Pachaly RL, Vasconcelos JG, Allasia DG (2021) Surge predictions in a large stormwater tunnel system using SWMM. Urban Water Journal 18(8):1-8

Pulgarín DA, De Plaza JS, Ruge JC, Rojas JP (2021) Hydraulic modeling of combined sewers overflow integrating the results of the SWMM and CFX models. Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería 37(1):14

Saharia AM, Zhu Z, Aich N, Baalousha M, Atkinson JF (2019) Modeling the transport of titanium dioxide nanomaterials from combined sewer overflows in an urban river. Science of the Total Environment 696:133904

Saniei K, Yazdi J, MajdzadehTabatabei MR (2021) Optimal size, type and location of Low Impact Developments (LIDs) for urban stormwater control. Urban Water Journal 18(8):1-13

Scherer G (2007) Low Impact Development (LID) as a solution to the CSO problem in the NY-NJ harbor estuary. NY/NJ BAYKEEPER, NJ 07735

Shokouhimehr E, Yazdi J, Salehi Neyshabouri SA (2021) Coordinated operation of urban storm

www.SID.ir

Archive of SID

detention ponds with optimal control of gates using harmony search algorithm (Case Study: Drainage network in east watershed of Tehran). Iran-Water Resources Research 17(1):181-194 (In Persian)

Sinha S, Liu X, Garcia MH (2012) Three-dimensional hydrodynamic modeling of the Chicago River, Illinois. Environmental Fluid Mechanics 12(5):471-494

Statistical center of Iran (2016) Population data. Retrieved from https://www.amar.org.ir

Yazdi J, Neyshabouri SS (2014) Identifying low impact development strategies for flood mitigation using a fuzzy-probabilistic approach. Environmental Modelling & Software 60:31-44

Zare Farjoudi S, Moridi A, Mousavi Nadoushani SS (2019) Applying bankruptcy approach in allocating point and non-point pollution in rivers. Iran-Water Resources Research 15(2):88-97 (In Persian)

Zeng Z, Yuan X, Liang J, Li Y (2021) Designing and implementing an SWMM-based web service framework to provide decision support for real-time urban stormwater management. Environmental Modelling & Software 135:104887

www.SID.ir