University of Tehran Press

Journal of Water and Irrigation Management **Online ISSN: 2382-9931**

Homepage: https://jwim.ut.ac.ir/

Surface Water Quantity and Quality Modeling of Goorsuzan Estuary in Bandar Abbas by Using Runoff-Rainfall Model, SWMM

Kimiya Aminizade[1] | Mohammad Sadegh Ghazanfari Moghadam[2]✉ | Hossein Vahidi[3]

1. Water Resource Management, Department of Water Engineering, Faculty of Civil and Surveying Engineering, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran. E-mail: aminizade96@gmail.com
2. Corresponding Author, Department of Energy, Institute of Science and High Technology and Environmental Science, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran. E-mail: s.ghazanfari@kgut.ac.ir
3. Department of Ecology, Institute of Science and High Technology and Environmental Science, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran. E-mail: hosseinv65@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: September 11, 2022
Received in revised form:
October 08, 2022
Accepted: October 30, 2022
Published online: April 14, 2023

Keywords:
Goorsuzan Estuary,
Quality modeling,
Rainfall-runoff,
SWMM.

ABSTRACT

Due to population growth and industrial progress, the only important issue isn`t the lack of water resources, but besides that, the issues of runoff management, its quality, and urban wastewater management are also important. In this research, Goorsuzan estuary located in Bandar Abbas city, Hormozgan province, was studied in terms of water quality. SWMM rainfall-runoff dynamic model was used for quality modeling of regional runoff. Hydraulic modeling was done for four precipitation events. The results of the sensitivity analysis showed that three parameters, percentage of impermeability of sub-basins, curve number and channel roughness coefficient, were the most effective parameters, respectively. Calibration and verification were done based on the objective functions of MRE and N.S. Its results were within the very good range of matching the model with the observational data for four times. Finally, qualitative modeling was done for four target pollutants, including COD, TDS, NO_2 and PO_4, and the qualitative results showed that the model was in good agreement with the observational laboratory data. At the end, three scenarios were considered to solve the problem. The first scenario showed the reduction of TDS pollutant concentration up to 84.52 percent. The results of the second scenario for COD, NO_2 and PO_4 pollutants reduced up to 100 percent and the application of the third scenario effectively reduced TDS, PO_4, COD and NO_2 pollutants. Based on the results of this research, the amount of water pollution around Goorsuzan without wastewater management is more than the standard and the runoff from rainfall does not help to reduce pollution.

Cite this article: Aminizade, K., Ghazanfari Moghadam, M. S., & Vahidi, H. (2023). Surface Water Quantity and Quality Modeling of Goorsuzan Estuary in Bandar Abbas by Using Runoff-Rainfall Model, SWMM. *Journal of Water and Irrigation Management*, 13 (1), 157-170. DOI: https://doi.org/10.22059/jwim.2022.340478.1017

© The Author(s).
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/jwim.2022.340478.1017

انتشارات دانشگاه تهران

مدیریت آب و آبیاری

Homepage: https://jwim.ut.ac.ir/

شاپا الکترونیکی: ۹۹۳۱-۲۳۸۲

مدل‌سازی کمی و کیفی آب سطحی خور گورسوزان بندرعباس با استفاده از مدل بارش–رواناب SWMM

کیمیا امینی‌زاده[۱] | محمدصادق غضنفری‌مقدم[۲]✉ | حسین وحیدی[۳]

۱. مدیریت منابع آب،گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی عمران و نقشه‌برداری، دانشگاه تحصیلات تکمیلی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران. رایانامه: aminizade96@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، پژوهشکده انرژی،پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران. رایانامه: s.ghazanfari@kgut.ac.ir

۳. پژوهشکده علوم محیطی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران. رایانامه: hosseinv65@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۲۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۷/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۰۸

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۱/۲۵

کلیدواژه‌ها:
خور گورسوزان،
مدل بارش– رواناب،
مدل‌سازی کیفی،
SWMM.

چکیده

امروزه مباحث مدیریت رواناب، کیفیت آن و مدیریت پساب‌های شهری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این پژوهش، خور گورسوزان واقع در شهربندرعباس، استان هرمزگان به لحاظ کیفیت آب موردمطالعه قرار گرفت. برای مدل‌سازی کیفی و کمی رواناب منطقه از مدل دینامیکی بارش– رواناب SWMM استفاده شد. مدل‌سازی هیدرولیکی برای چهار رخداد بارش انجام گرفت. نتایج آنالیز حساسیت نشان داد به‌ترتیب سه پارامتر درصد نفوذناپذیری زیرحوضه‌ها، شماره منحنی و ضریب زبری کانال، مؤثرترین پارامترها بودند. واسنجی و صحت‌سنجی بر مبنای توابع هدف MRE و N.S انجام شد که نتایج آن برای چهاربارش، نشانگر تطابق خوب مدل با داده‌های مشاهداتی بود. سرانجام مدل‌سازی کیفیتی برای چهار آلاینده هدف شامل COD، TDS، NO_2 و PO_4 انجام شد که نتایج کیفی بیانگر تطابق مناسب مدل با داده‌های آزمایشگاهی مشاهداتی بود. در پایان سه سناریو به‌ترتیب سناریوی اول براساس حذف ریزشگاه‌های بالادست، سناریوی دوم براساس حذف ریزشگاه تصفیه‌خانه و در نهایت سناریوی سوم براساس بارش‌هایی با دوره بازگشت پنج، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله برای حل مسئله درنظر گرفته شد. سناریوی اول کاهش غلظت آلاینده TDS تا میزان ۸۴/۵۲ درصد را نشان می‌داد. نتایج سناریوی دوم برای آلاینده‌های COD، NO_2 و PO_4 تا میزان ۱۰۰ درصد کاهش و اعمال سناریوی سوم نیز به‌صورت مؤثری آلاینده‌های TDS، PO_4، COD و NO_2 را کاهش داد. براساس نتایج این پژوهش، میزان آلودگی آب در خور گورسوزان بدون اعمال مدیریت پساب بیش از حد استاندارد بوده و رواناب ناشی از بارندگی نیز کمکی به کاهش آلودگی نمی‌نماید.

استناد: امینی‌زاده، ک.، غضنفری‌مقدم، م. ص. و وحیدی، ح (۱۴۰۲). مدل‌سازی کمی و کیفی آب سطحی خور گورسوزان بندرعباس با استفاده از مدل بارش–رواناب SWMM. *نشریه مدیریت آب و آبیاری*، ۱۳ (۱)، ۱۵۷–۱۷۰. DOI: https://doi.org/10.22059/jwim.2022.340478.1017

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

CC BY NC

۱. مقدمه

طی تاریخ، یکی از مهم‌ترین پارامترهای انتخاب سکونت‌گاه جوامع بشری، دسترسی آسان به منابع آبی بوده است. بنابراین طی گذشت اعصار، با رشد و پیشرفت این جوامع انسانی، نیاز انسان‌ها به آب سالم نیز بیش‌تر از پیش حس می‌شود (Cosgrove *et al*., 2000). امروزه در کشورهای توسعه‌یافته و هم‌چنین کشورهای در حال توسعه به‌دلیل افزایش جمعیت و درنتیجه افزایش نیاز افراد به صنایع، کشاورزی و تولیدات تمام قسمت‌های جامعه با کمبود آب مواجه شده‌اند. به این سبب اهمیت مدیریت منابع آب بسیار مهم محسوب می‌شود (Yousefi *et al*., 2011). به گونه‌ای که عمده هزینه‌های عمرانی و آبادانی کشورها به ایجاد زیرساخت‌ها و بهبود بخش‌های مدیریت منابع آب اختصاص داده می‌شود به سبب تغییرات اقلیمی و کاهش ریزش‌های جوی و تغییرات الگوی بارش مناطق، مدیریت منابع آب نیز دستخوش تغییرات در عملکرد و زیرساخت‌های و روش‌های خود شده است (Moura Rezende *et al*., 2019). شهرنشینی بی‌رویه یکی از عوامل افزایش پساب‌های شهری و در نهایت به‌هم‌زدن چرخه کربن، نیتروژن و فسفات و افزایش آن‌ها شده است (Smith *et al*., 1997). به‌طوری‌که در حدود ۶۰ درصد دریاچه‌ها و رودها را مختل کرده است (Council, 1993) و در آمریکا این مسئله یکی از عوامل مهم اختلال کیفی در خورها محسوب می‌شود (Robert *et al*., 2010). یکی از آثار مهم تغییرات اقلیمی ایجاد سیلاب‌های شهری و روستایی به‌دلیل طغیان رودخانه یا زهکش اصلی یا عدم ظرفیت شبکه زهکشی شهری است که به سبب آن آسیب‌ها و تلفات شدید به بدنه ساختاری محیط شهری و روستایی و تخریب بخش‌های کشاورزی و محیط زیست اطراف آن است (Ahmadi *et al*., 2012). بدین دلیل شناسایی عوامل و نحوه مدل‌سازی سیلاب شهری به‌منظور جلوگیری و کاهش خسارت‌های شدید همواره برای کارشناسان این حوزه اهمیت والایی دارد (Payande *et al*., 2015). سیستم زهکشی شهری ایران به‌صورت مجزا عمل می‌کند، اما در برخی از نواحی این سیستم به سیتم مرکب تبدیل می‌شود. به‌دلیل ترکیب فاضلاب شهری با رواناب، بحث کیفیت رواناب نیز در کنار سایر عوامل مهم در تعیین و مدل‌سازی رواناب مطرح شد. کیفیت رواناب بر روی عوامل متعددی مانند خاک و پوشش گیاهی، سلامت ساکنین حوزه شهری و جانداران و اکوسیستم‌های آبی این منطقه، آب‌های زیرزمینی و منابع تأمین آب سالم، زیباسازی و منظرسازی شهری، مدیریت رواناب شهری تأثیرات مستقیم دارد (Toranjian, 2018). بنابراین مدل‌سازی رواناب‌های شهری یکی از مهم‌ترین مسائل در حوضه مدیریت رواناب شهری به‌شمار می‌رود (Aminizade, 1401).

برای مدل‌سازی رواناب شهری استفاده از یک مدل شبیه‌ساز هیدرولیکی و کیفیتی مانند SWMM یا مدل دیگری مانند WEB SWMM ضروری است (Zeng *et al*., 2021). زیرا این مدل برای سنجش هیدرولیک و کیفیت رواناب شهری، همراه با درنظرگرفتن منابع ریزشگاه نقطه‌ای یا غیرنقطه‌ای در حوضه‌های شهری ایجاد شده‌اند (Gironás *et al*., 2010). Hassan *et al*. (2021) از مدل SWMM در شهر کربلا برای مدل‌سازی شبکه زهکشی شهری مؤثر از افزایش جمعیت توریست‌ها و تغییرات اقلیمی استفاده شده است که نتایج آن نشانگر طراحی مؤثر شبکه زهکشی شهری با این مدل بود. Kong *et al.* (2017) با استفاده از مدل SWMM و نرم‌افزار ArcGIS چهار سناریوی مختلف در شهر را به‌منظور اثربخشی بر روی سیستم زهکشی شهری مدل‌سازی کردند. نتایج این پژوهش حاکی از کارآمدی سناریوها در زهکشی شهری بود، اما در کیفیت رواناب، با وجود کاهش حجم آلودگی، به میزان مطلوب استاندارد نرسیدند. Todeschini *et al*. (2012) با استفاده از مدل SWMM رواناب یک رخداد تک‌واقعه و پیوسته را به‌مدت یک سال مدل‌سازی کردند. هدف از این مطالعه بررسی تأثیرگذاری حوضچه‌های تأخیری آب باران در شبکه زهکشی شهری بود و نتایج نهایی آن نشانگر تأثیرگذاری مطلوب حوضچه‌های شهری بر روی آلودگی‌های زیست‌محیطی بودند. Kaboli *et al*. (2009) به مدل‌سازی پساب شهری در شهر تایپی کشور تایوان پرداختند و نتایج پژوهش‌ها بدین گونه بود که روند تغییرات بار آلاینده‌های هدف که TSS و سرب بودند تقریباً در سیستم زهکشی شهری به‌صورت یکنواخت است و مدل SWMM کفایت لازم را برای مدل‌سازی هیدرولیکی و کیفیتی رواناب شهری را دارد.

به‌صورت کلی به‌کمک این مدل‌ها بارش–رواناب می‌توان مدیریت صحیح رواناب‌های شهری پرداخت و برای حل مسائل کیفیتی و هیدرولیک شهری رواناب‌ها راه‌حل‌های ارزشمند و مفیدی را بیان نمود (Randall *et al*., 2019).

در منطقه مطالعاتی شهر بندرعباس، پیکرهای آبی‌ای به‌نام خورها یا مصب‌ها وجود دارند که در تعریف مورفولوژی توده‌های آبی نیمه‌محصور هستند که با دریای آزاد یا اقیانوس در ارتباط مستقیم می‌باشند و درون آن‌ها فرایندهای شیمیایی، بیولوژیکی و فیزیکی در تعامل هستند (Cochran and Brook, 2014). منطقه مطالعاتی این پژوهش خور گورسوزان یکی از خورهای مهم واقع در شهر بندرعباس استان هرمزگان است که در کنار سیستم جمع‌آوری رواناب شهری، به انتقال رواناب ناشی از بارش یا فاضلاب در روزهای خشک سال می‌پردازند.

هدف از این مطالعه بررسی مشکلات کیفیتی آلاینده‌های رواناب شهری است. زیرا این خورها به‌صورت مستقیم در زمان بارش رواناب‌های شهری به‌همراه پساب‌های شهری را به‌صورت اختلاط کامل به دریا وارد می‌کند به همین جهت بررسی میزان آلاینده‌های ورودی به دریا به سبب فعالیت‌های زیست‌محیطی شایان توجه است. در حال حاضر مدیریت خورها در شهر بندرعباس از آن جهت اهمیت دارد که این خورها علاوه بر انتقال رواناب در مواقع بارش، در روزهای خشک سال پساب شهری را نیز به دریا انتقال می‌دهند، بنابراین مطالعه کیفی و کمی بر روی این خورها به‌ویژه خور گورسوزان در مدیریت رواناب شهری بسیار سودمند است. در این خصوص استفاده از مدل مناسب مانند SWMM این امر را تسهیل می‌بخشد و کمک شایانی در بررسی و استفاده از راه‌حل‌های گوناگون و نوین جهت حل مشکلات موجود دارد. متأسفانه تاکنون با استفاده از مدل‌های شناخته‌شده مطالعه موردی در این منطقه صورت نگرفته است. در این پژوهش با استفاده از مدل SWMM و هم‌چنین اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی مدل‌سازی کمی و کیفی در خور گورسوزان در شهر بندرعباس انجام شده است.

۲. مواد و روش‌ها

۲. ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه

شهر بندرعباس واقع در جنوب استان هرمزگان و همجوار با دریای خلیج فارس است که دارای مساحت ۷۱ کیلومترمربع، بزرگ‌ترین شهرستان این استان و هم‌چنان مرکز استان هرمزگان محسوب می‌شود. از لحاظ اقلیمی دارای آب‌وهوای گرم و مرطوب است و میانگین تغییرات دما در حدود ۲ تا ۴۵ درجه بالای صفر و میانگین بارش سالانه ۲۰۰ میلی‌لیتر است. منطقه موردمطالعه در این پژوهش یکی از خورهای شهری بندرعباس با نام خور گورسوزان با طول ۳۵۰۰ متر است که از شمال شهر بندرعباس تا جنوب آن را با طول جغرافیایی ۵۶ درجه و۳۰ دقیقه و عرض جغرافیایی ۲۷ درجه و ۵۴ دقیقه می‌پیماید.

Figure 1. Sub basins, Junctions and canals in SWMM model (Bandar Abbas city)

۲. ۲. مدل SWMM

مدل SWMM یک مدل دینامیکی بارش- رواناب است که توانایی مدل‌سازی بارش‌های تک‌رخداد و بلندمدت را دارد (Madrazo-Uribeetxebarria *et al*., 2021). این مدل توسط کنسرسیومی از شرکت‌های دانشگاه فلوریدا به‌همراه مهندسین منابع حوضه آب در سال‌های ۱۹۶۹ تا ۱۹۷۱ میلادی ارائه شد. بر روی این مدل تا به اکنون اصلاحات و تغییرات متعددی انجام شده است که آخرین تغییرات آن در سال ۲۰۱۶ میلادی توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا انجام شد. دانشگاه فلوریدا با بودجه مقررشده از سمت سازمان حفاظت زیست آمریکا، مطالعات فراوانی بر روی رواناب‌ها و همیشه توسعه بیش‌تر و رفع نواقص این مدل انجام داد (Toranjian, 2018). این مدل اطلاعات پدیده‌های نفوذ، بارش، تبخیر و تعرق، برگاب و چالاب و رواناب‌های سطحی را در روند شبیه‌سازی، تجزیه وتحلیل رواناب و طراحی و بازبینی دوباره شبکه‌های زهکشی شهری به‌کار می‌گیرد و از مزایای این مدل می‌توان به قابلیت دسترسی راحت و همگانی آن اشاره کرد (Gironás *et al*., 2010).

۲. ۲. ۱. شبیه‌سازی هیدرولیکی

مدل‌سازی هیدرولیکی رواناب در منطقه توسط SWMM از معادله بیلان آب به شکل زیر پیروی می‌کند.

$$\Delta S = P - I - E - R$$ رابطه ۱)

در این معادله، ΔS میزان تغییرات سطحی، P بارش، I نفوذ، E تبخیر و تعرق و R رواناب است.

مدل‌سازی رواناب در SWMM نیازمند تعیین یکی از انواع روندیابی مانند روندیابی سینماتیکی، دینامیکی و یا حالت ثابت است که وابسته به شرایط مدل‌سازی انتخاب می‌شود. هم‌چنین برای تعیین معادلات نفوذ در مدل SWMM می‌توان از معادلات متفاوتی مانند روش گرین امپ، روش شماره منحنی، روش هورتن، هورتن اصلاح‌شده و یا گرین‌امپ اصلاح‌شده استفاده کرد (Rossman *et al*., 2015). روش روندیابی مورداستفاده برای این پژوهش، روندیابی موج دینامیکی است زیرا این نوع روندیابی به‌دلیل استفاده از حل معادله سنت ونانت یک بعدی دقت بسیار بالایی دارد (Ven Te Chow, 1988). هم‌چنین به‌دلیل بازگشت جریان در کانال‌ها یا گره‌ها در محیط شهری از این نوع روندیابی بهره گرفته می‌شود.

پس از انتخاب نوع روندیابی جریان، معادلات نفوذ و گام زمانی، برای ایجاد منطقه مطالعاتی در مدل، عوارض مورد ترسیم در نرم‌افزار SWMM را می‌توان به سه دسته اصلی زیرحوضه‌ها، گره‌ها و کانال‌ها دسته‌بندی کرد (Zeng *et al*., 2021). در این پژوهش تعداد ۳۹ زیرحوضه و ۳۹ گره و تعداد ۲۸ کانال برای مدل‌سازی هیدرولیکی منطقه تعریف شدند.

۲. ۲. ۲. شبیه‌سازی کیفی مدل

آلاینده‌های متعددی در پساب‌های خانگی و رواناب‌های شهری وجود دارد. در این بین برخی از آلاینده‌ها به‌دلیل تأثیرات آن‌ها بر روی محیط زیست و انسان‌ها بیش‌تر دارای اهمیت هستند. در این بین آلاینده‌هایی مانند اکسیژن‌خواهی بیولوژیکی BOD، اکسیژن‌خواهی شیمیایی COD، مواد جامد محلول TDS، مواد جامد ته‌نشینی TSS و نیتروژن‌ها و فسفات‌ها آلاینده‌های اصلی پساب‌ها و رواناب‌های شهری محسوب می‌شوند (Metcalf *et al*., 1994). مدل SWMM علاوه بر شبیه‌سازی هیدرولیکی منطقه دارای توانایی ایجاد شبیه‌سازی کیفی رواناب‌های منطقه نیز است. این مدل برای شبیه‌سازی کیفیت، به‌صورت مجرای پیوسته و به حالت راکتور مخزن هم‌زده فرض می‌کند، سپس از ادغام معادلات بقای جرم با مقادیر متوسط برای مقادیر متغیر مانند نرخ جریان و حجم مجازی روندیابی کیفیتی را انجام می‌دهد. هم‌چنین با

استفاده از واکنش زوال مرتبه اول غلظت آلاینده‌ها را در کانال‌ها و گره‌ها کاهش می‌دهد (Rossman *et al*., 2015). آلاینده‌های هدف موردمطالعه در این پژوهش اکسیژن‌خواهی شیمیایی COD، مواد جامد محلول TDS، نیتریت NO_2 و فسفات PO_4 است.

۲. ۲. ۳. داده‌های ورودی به مدل

در بخش شبیه‌سازی هیدرولیکی مدل در ابتدا نیاز است نوع معادله نفوذ و روندیابی و هم‌چنین گام زمانی برای مدل‌سازی را تعیین کرد که براساس نوع حوضه موردمطالعه در این پژوهش از روندیابی دینامیکی و برای معادله نفوذ آن از روش شماره منحنی بهره برده شده است. سپس به ترسیم عوارض مختلف در مدل پرداخته شده است. اطلاعات حوضه‌ها و گره‌ها و کانال‌های آبرو قسمتی از داده‌ها به‌کمک نقشه‌های Google Earth و نقشه‌های ارتفاعی با دقت دو متری در نرم‌افزار Arc GIS استخراج و باقی اطلاعات از داده‌های بانک اطلاعات شهرداری بندرعباس استخراج شده است. سپس داده‌های هواشناسی، مانند بارش، تبخیر و تعرق و دما از ایستگاه سینوپتیک و اداره هواشناسی بندرعباس و مطالعات پیشین (Heydarzade, 2017) استفاده شده است. به این ترتیب مدل هیدرولیکی ساخته شد و در گام‌های بعدی آنالیز حساسیت، صحت‌سنجی و واسنجی مدل براساس توابع هدف معین‌شده انجام شد. پس از ایجاد مدل هیدرولیکی منطقه به مدل‌سازی کیفی پرداخته شد. برای شروع مدل‌سازی کیفی ابتدا باید کاربری زیرحوضه‌های شهری، آلاینده‌های هدف براساس نقشه‌های شهری و گزارش‌های کیفیتی پساب شهری تعریف سپس براساس آنالیزهای متوالی به معادلات تجمع و شست‌وشوی همراه با ضرایب آن دست یافت.

۲. ۲. ۴. سناریو

در این پژوهش سه سناریو برای مدل کیفی منطقه بیان می‌شود. که پس از اجرای مدل برای هر یک، میزان تأثیرگذاری آن‌ها بر روی کاهش یا افزایش غلظت آلاینده‌ها خروجی خور سنجیده و تحلیل شد. سه سناریو به‌ترتیب به شرح زیر است.

سناریوی اول: در این سناریو بیان می‌شود اگر ریزشگاه‌های پساب خام بالادست خروجی تصفیه‌خانه حذف شوند چه تأثیری بر روی غلظت آلاینده‌ها در خروجی خور دارد.

سناریوی دوم: در این سناریو بررسی می‌شود اگر پساب خروجی تصفیه‌خانه حذف شود چه تأثیری بر روی غلظت آلاینده‌های خروجی خور می‌گذارد.

سناریوی سوم: در این سناریو بررسی می‌شود اگر بارش‌هایی با دوره بازگشت پنج، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله رخ دهند، چه تأثیری بر روی غلظت آلاینده‌های خروجی خور می‌گذارد.

۳. نتایج و بحث

۳. ۱. آنالیز حساسیت

طبق تعریف، آنالیز حساسیت یک مدل، سنجش میزان تأثیرگذاری پارامترهای مختلف بر روی نتایج خروجی مدل‌سازی است (Saltelli *et al*., 2000). به‌طورکلی، آنالیز حساسیت یک روش سیستماتیک برای ارزیابی نرخ تغییرات یک پارامتر خروجی را به نسبت تغییرات یک پارامتر ورودی به مدل، در مدل‌سازی است. در این پژوهش آنالیز حساسیت به بررسی تأثیر سه پارامتر ورودی شماره منحنی، ضریب زبری مانینگ کانال‌ها و درصد نفوذناپذیری زیرحوضه‌ها بر روی دبی اوج رواناب که مؤثرترین پارامتر در تخمین رواناب است، به‌عنوان متغیر وابسته، پرداخته شده است (Rezayi *et al*., 2019).

هرکدام از این پارامترها تا حداکثر ۲۰± درصد از مقدار اولیه کاهش و افزایش داشته و تغییرات هرکدام را بر روی دبی اوج رواناب، به‌صورت جدول (۱) است. براساس نتیجه به‌دست‌آمده از آنالیز حساسیت مدل مشخص شد که به‌ترتیب این سه پارامتر ورودی درصد مناطق نفوذناپذیر زیرحوضه‌ها با تأثیر حداقل و حداکثر ۱۶ و ۱۸ درصدی مؤثرترین پارامتر، در جایگاه بعدی، شماره منحنی با تأثیر حداقل و حداکثر نُه و ۱۳ درصدی به‌عنوان پارامتر مؤثر دوم و در آخر ضریب زبری کانال‌ها با تأثیر حداقل و حداکثر سه و چهار درصدی بر روی نتایج خروجی، به‌ترتیب بیش‌تر تأثیرات را برروی هیدروگراف خروجی مدل می‌گذارند.

Table 1. Sensitivity analysis result

Parameter	Section	Initial Value	Rate of change	Output Peak flow rate change values
CN	Sub basin	Estimate of available tables	+ 10% -10 %	+13 % -9 %
Manning's roughness Coefficient	Canal	Concrete = 0.014	+ 20 % -20 %	+3 % -4 %
Percent of Impervious area	Sub basin	Estimate of Land use, Available reports and Google earth	+ 10 % -10 %	+16 % -18 %

۳. ۲. واسنجی و اعتبارسنجی مدل

به فرایند اجرای مدل در جهت مقایسه خروجی‌های آن‌ها با داده‌های مشاهداتی، واسنجی گفته می‌شود (Hassan *et al*., 2021). در این پژوهش از هیدروگراف داده‌های مشاهداتی دو رخداد مورخ ۱۳۹۴/۱۰/۱۳ و ۱۳۹۴/۱۰/۴ به‌عنوان واسنجی و از دو بارش ۱۳۹۲/۱۰/۳۰ و ۱۳۹۴/۱۰/۱۷ برای صحت‌سنجی استفاده شده است. به‌منظور واسنجی و صحت‌سنجی مدل از سه پارامتر مهم استفاده شده است (Rezayi *et al*., 2019) که در جدول (۱) به‌ترتیب آمده‌اند. هم‌چنین توابع هدف مورداستفاده در این پژوهش تابع نش- سایتکلف و تابع میانگین خطای نسبی است که به‌صورت زیر تعریف شده است.

رابطه ۲) $$MRE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{Z(x_i)-Z^*(x_i)}{Z(x_i)}$$

رابطه ۳) $$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(Z^*(x_i)-Z(x_i))^2}{\sum_{i=1}^{n}(Z(x_i)-\overline{Z})}$$

که در معادلات بالا، Z(xi) مقادیر مدل، Z*(xi) مقادیر مشاهداتی و $\bar{Z}$ میانگین داده‌های مشاهداتی و N تعداد داده‌هاست.

دامنه مجاز برای این دو تابع، برای نش ساتکلف محدوده نزدیک‌تر به یک است، به‌صورتی که هرچه این ضریب به عدد یک نزدیک‌تر باشد تطابق بسیار خوبی را نشان می‌دهد. هم‌چنین برای تابع میانگین خطای نسبی محدوده مجاز به عدد صفر است، یعنی هرچه مقدار این ضریب عددی کوچک‌تر و نزدیک به صفر باشد، نتایج آن بیانگر تطابق بسیار خوب نتایج مدل با داده‌های مشاهداتی است. جدول (۲) ضرایب این دو تابع هدف را برای هر بارش نشان می‌دهد.

Table 2. N.s and MRE coefficient result

Rainfall	Coefficient MRE	N.S Coefficient
2014/20/1	0.14	0.83
2015/25/12	0.04	0.91
2016/3/1	0.15	0.95
2014/7/1	0.15	0.90

در جدول فوق مشاهده شد که هر چهار بارش در محدوده تطابق بسیار خوب مدل با داده‌های مشاهداتی در هر دو مرحله واسنجی و صحت‌سنجی بودند. بر این اساس نتیجه‌گیری شد که مدل هیدرولیکی منطقه موردپژوهش به‌خوبی مدل‌سازی شده است.

۳. ۳. مدل‌سازی کیفی آلاینده‌های خروجی

پس از ایجاد مدل هیدرولیکی منطقه، می‌توان به مدل‌سازی کیفی رواناب در منطقه موردمطالعه پرداخت. آلاینده‌های متعددی در پساب‌ها موردآنالیز قرار می‌گیرند که در این پژوهش براساس مسئله موردپژوهش چهار آلاینده اکسیژن‌خواهی شیمیایی COD، کل مواد جامد محلول TDS، نیتریت NO_2 و فسفات PO_4 برای بارش مورخ ۱۴۰۰ /۱۰/۱۲ شبیه‌سازی شدند. جدول (۳) کاربری‌های شهری به‌همراه توابع تجمع و شست‌وشو را نمایش می‌دهد که در این مطالعه دو کاربری برای تمامی زیرحوضه‌ها، کاربری شهری توسعه‌یافته و توسعه‌نیافته تعریف شده است. پس از تعیین کاربری‌های زیرحوضه‌ها و معادلات تجمع و شست‌وشوی آلاینده‌ها، نتایج داده‌های آزمایشگاهی و نتایج مدل کیفی آلاینده‌ها و در خروجی خور در جدول (۴) و به‌صورت شکل‌های (۲)، (۳)، (۴) و (۵) است. نتایج نهایی این مدل کیفی نشانگر آن بود که غلظت آلاینده‌های TDS، COD و NO_2 در روز بارش حداقل بیش از ۴۰ درصد بیش از میزان استاندارد بود پس‌نیاز است با شیوه‌های متنوع غلظت این آلاینده‌ها تا حدود استاندارد کاهش یابد و هم‌چنین این نتایج مدل تطابق بسیار خوبی با داده‌های مشاهداتی داشت.

Table 3. Buildup and wash off functions

Sub basin Land use	COD	TDS	NO_2	PO_4
Urban development lands	BU: Power WO: Exponential	BU: Power WO: Exponential	BU: Saturation WO: EMC	BU: Power WO: EMC
Urban undevelopment lands	BU: Power WO: EMC	BU: Power WO: EMC	BU: Saturation WO: EMC	BU: Power WO: EMC

Table 4. Observational and Standard qualitative result

Pollutant	Pollutant concentration at estuary output ($\frac{mg}{l}$)	Pollutant standard concentration at estuary output ($\frac{mg}{l}$)	The percentage difference between the measured concentration and standard concentration
COD	320	60	+81.25 %
TDS	16012	3000-10000	+37.54 %
NO2	9	10	-10 %
PO4	0.27	6	-95.5%

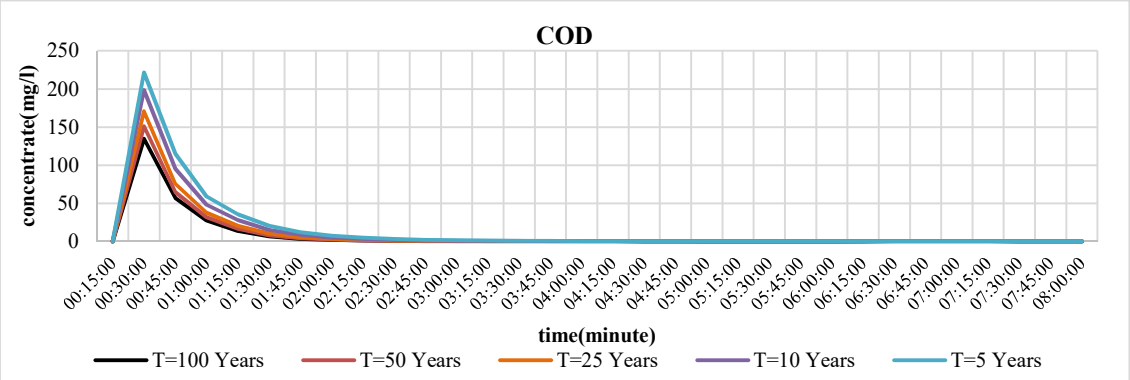

Figure 2. Qualitative results of COD pollutant in return period rainfalls (return period rainfall's concentrate respectively in 5, 10, 25, 50 and 100 years is 221.82, 198.36, 171.04, 151.17, 134.75 mg/lit)

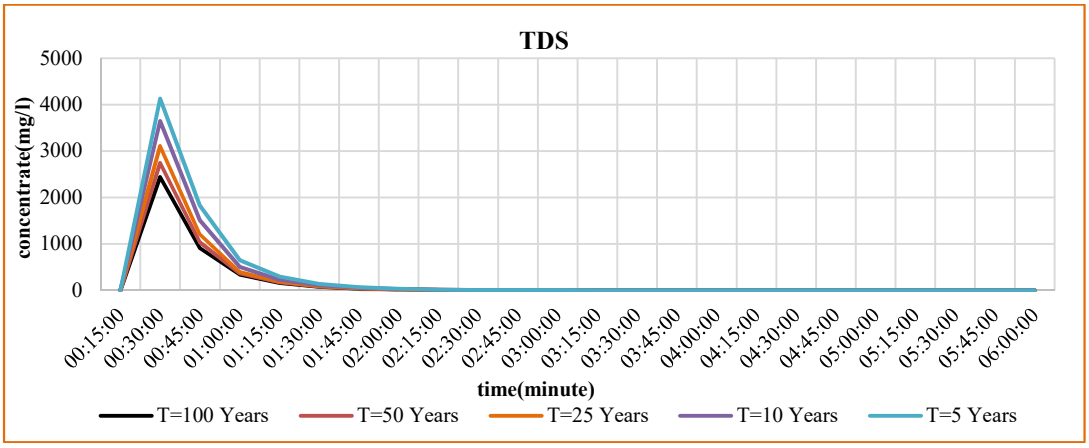

Figure 3. Qualitative results of TDS pollutant in return period rainfalls (return period rainfall's concentrate respectively in 5, 10, 25, 50 and 100 years is 4127.17, 3644.96, 3107.21, 2470.01, 2438.2 mg/lit)

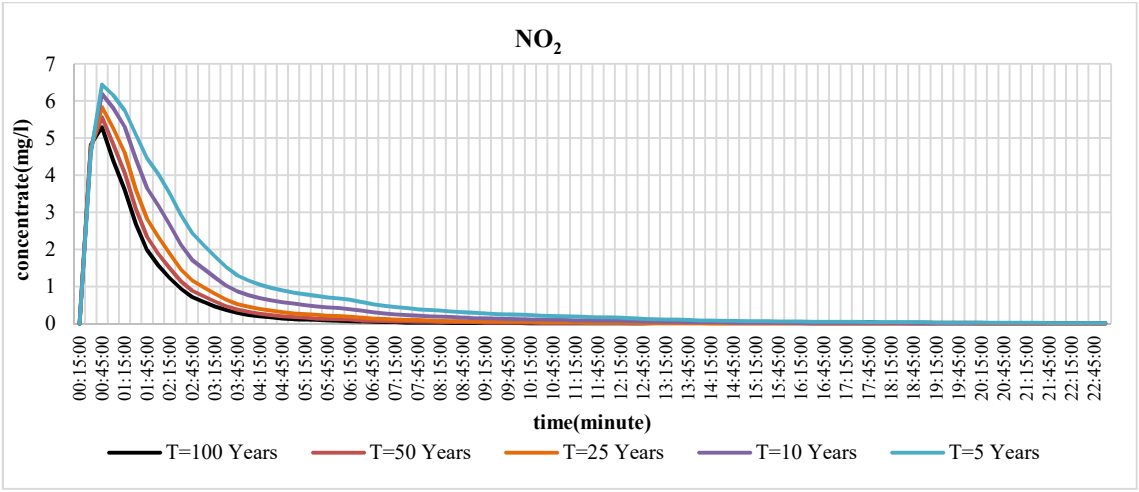

Figure 4. Qualitative results of NO2 pollutant in return period rainfalls (return period rainfall's concentrate respectively in 5, 10, 25, 50 and 100 years is 6.44, 6.19, 5.84, 5.56, 5.29 mg/lit)

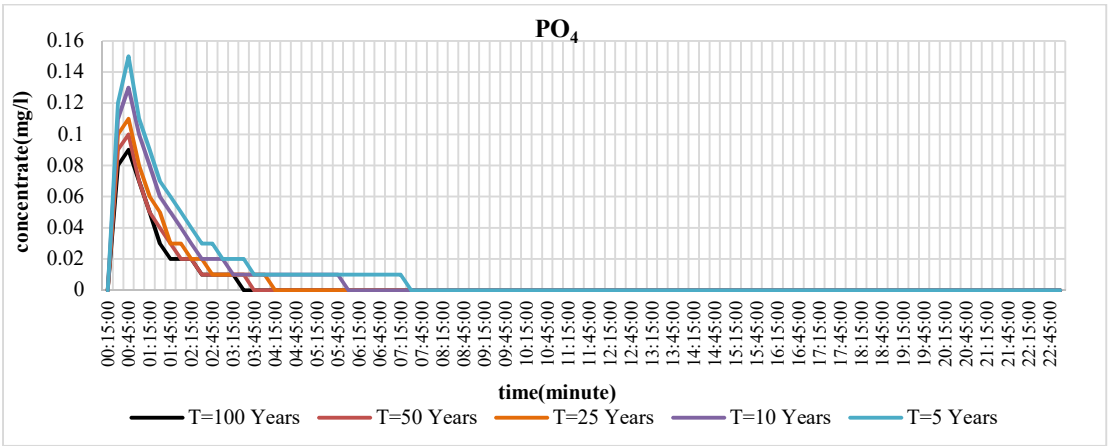

Figure 5. Qualitative results of PO4 pollutant in return period rainfalls (return period rainfall's concentrate respectively in 5, 10, 25, 50 and 100 years is 0.15, 0.13, 0.11, 0.1, 0.09 mg/lit)

۳. ۴. نتایج خروجی سناریوها

پس از اجرای مدل هیدرولیکی و کیفی منطقه موردمطالعه، سه سناریوی زیر در مدل اجرا شدند و نتایج آن به شرح زیر است.

۳. ۴. ۱. سناریوی اول

براساس اجرای سناریوی اول برای بارش ۱۴۰۰/۱۰/۱۲ مشخص شد که این سناریو تأثیر عمده‌ای بر روی آلاینده TDS دارد و برای باقی آلاینده‌ها تقریباً بی‌تأثیر است. تأثیر این سناریو بر روی غلظت TDS، غلظت آن را تا ۸۴/۵۲ درصد کاهش (غلظت نهایی کاهش‌یافته ۲۴۸۰ میلی‌گرم بر لیتر) و به محدوده غلظت مجاز رسانیده است (شکل ۶).

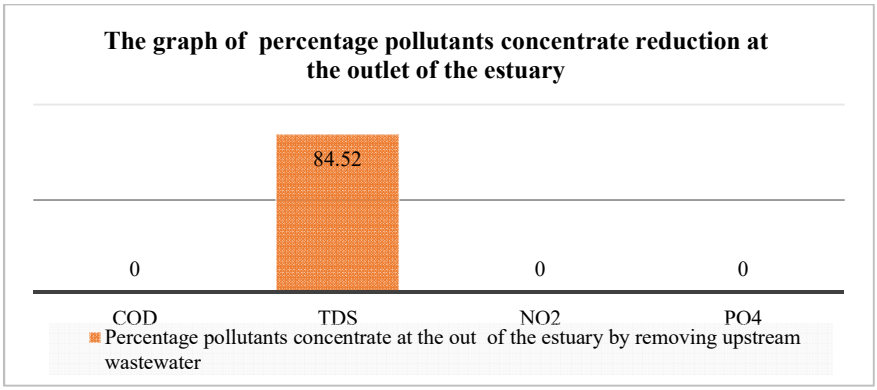

Figure 6. Diagram of the first scenario (percentage pollutants concentration reduction in the outlet by removing the waste water upstream of the treatment plant)

۳. ۴. ۲. سناریوی دوم

نتایج اجرای سناریوی دوم برای بارش ۱۴۰۰/۱۰/۱۲ بدین گونه بود که این سناریو تأثیر چشم‌گیری بر روی آلاینده‌های COD، NO_2 و PO_4 داشته است و غلظت این آلاینده‌ها را تا به میزان ۱۰۰ درصد کاهش داده است. برای آلاینده TDS این سناریو اثربخشی کم‌تری نسبت به باقی آلاینده‌ها در کاهش غلظت آن داشته است. به‌طوری‌که درصد کاهش غلظت این آلاینده در این سناریو ۱۵/۴۸ (غلظت کاهش‌یافته ۱۳۵۳۲ میلی‌گرم بر لیتر) بوده است و نتوانست غلظت این آلاینده را به محدوده غلظت استاندارد خود برساند (شکل ۷).

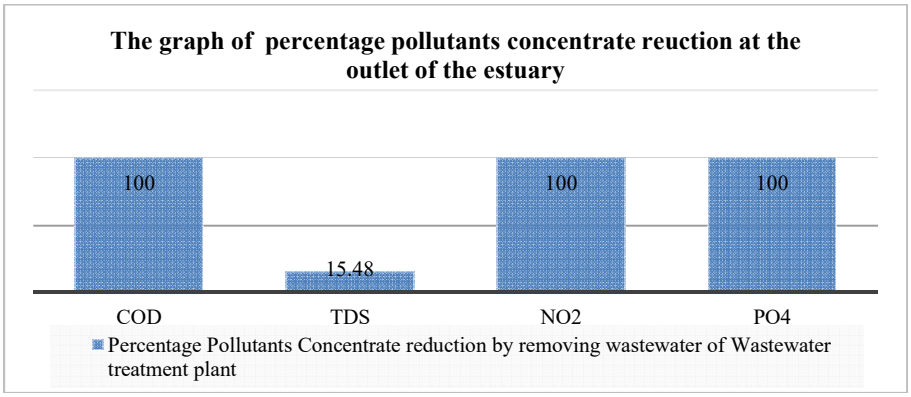

Figure 7. Diagram of the second scenario (percentage pollutants concentration reduction in the outlet by removing the waste water from the treatment plant)

۳. ۴. ۳. سناریوی سوم

در این سناریو بررسی شد که بارش‌های با دوره بازگشت پنج، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله تا چه میزان بر روی غلظت آلاینده‌ها در خروجی خور تأثیرگذارند. نتایج این سناریو بیانگر آن بود که دوره بازگشت‌ها به‌ترتیب بر روی غلظت آلاینده‌های TDS، PO_4، COD و NO_2 اثر کاهش دهنده غلظت را دارد (شکل‌های ۸، ۹، ۱۰ و ۱۱) و به‌صورت مطلوبی غلظت این آلاینده‌ها را به‌جز آلاینده COD، تا محدوده غلظت استاندارد پایین آورد. غلظت آلاینده COD حتی در بارش با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله به حد استاندارد خود نرسید (شکل ۸).

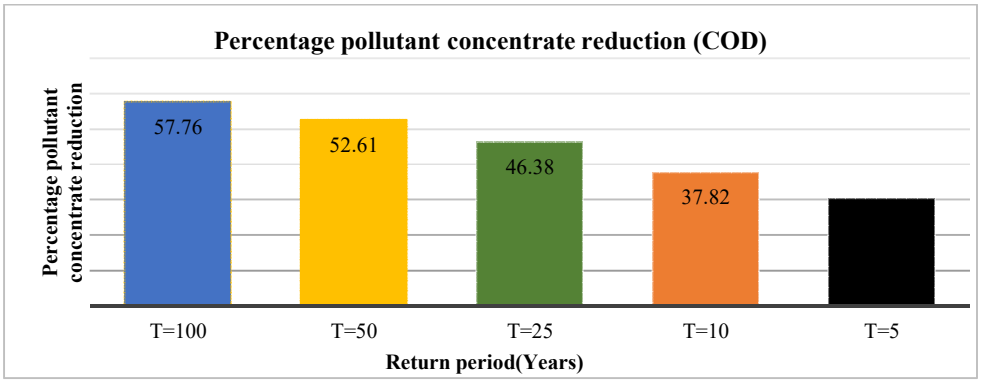

Figure 8. Diagram of the percentage COD concentrate reduction in return rainfalls 100,50,25,10,5 years

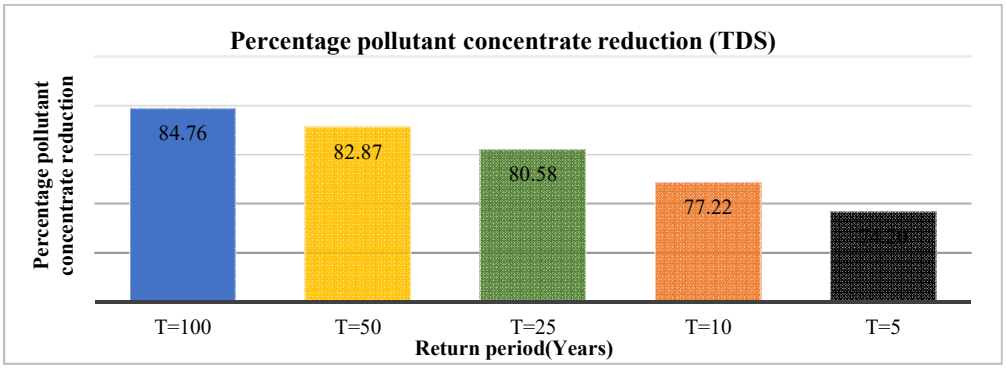

Figure 9. Diagram of the percentage TDS concentrate reduction in return rainfalls 100,50,25,10,5 years

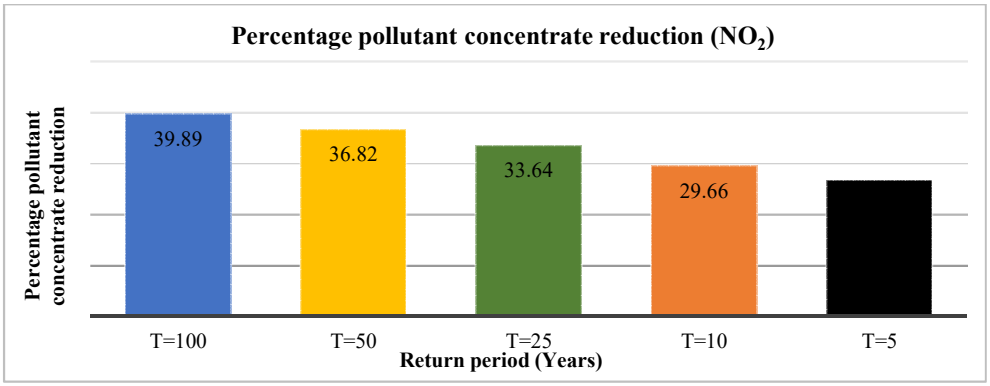

Figure 10. Diagram of the percentage NO_2 concentrate reduction in return rainfalls 100,50,25,10,5 years

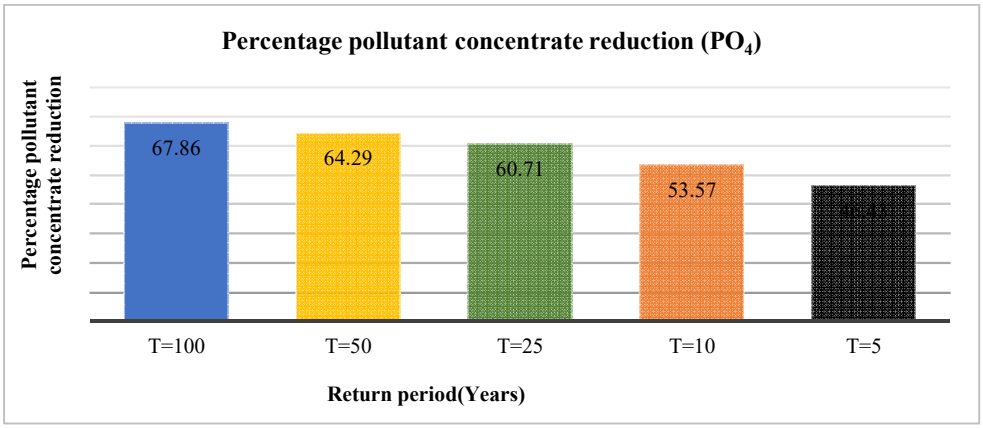

Figure 11. Diagram of the percentage PO_4 concentrate reduction in return rainfalls 100, 50, 25, 10, 5 years

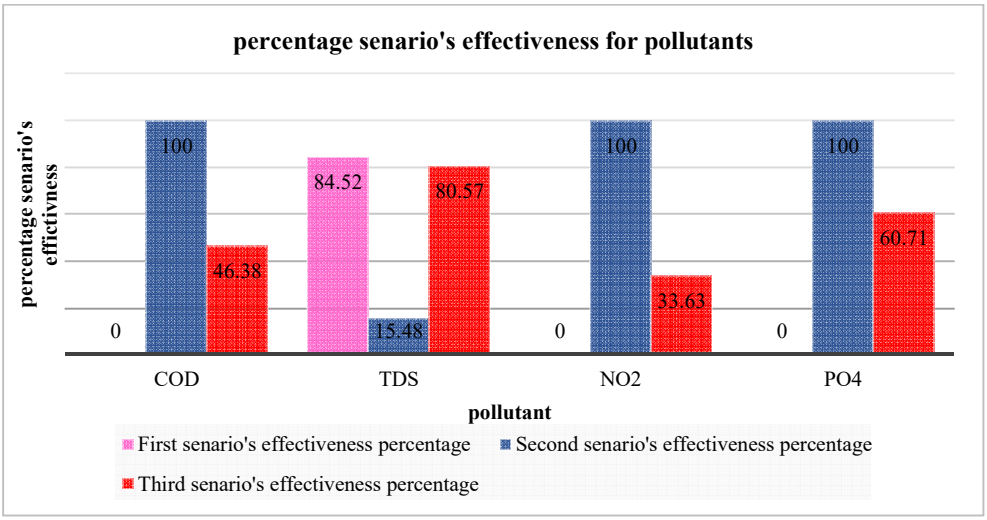

Figure 12. Diagram of Percentage scenario's effectiveness for COD, TDS, NO_2, PO_4

طبق شکل (۱۲)، نشان داده می‌شود هر سناریو برای هر آلاینده تا چه میزان تأثیرگذار است و درصد کاهش غلظت هر آلاینده در این سناریوها تا چه اندازه‌ای است. سناریوی اول برای کاهش آلاینده TDS مؤثر بود. سناریوی دوم برای COD، NO_2 و PO_4 و سناریوی سوم برای آلاینده‌های TDS، PO_4 و NO_2 مناسب بود زیرا سومین سناریو با وجود کاهش ۴۶/۳۸ درصدی آلاینده COD، نتوانست غلظت این آلاینده را تا حد مجاز خود کاهش دهد.

۴. نتیجه‌گیری

در این پژوهش از مدل دینامیکی بارش رواناب SWMM برای مدل‌سازی هیدرولیکی و کیفی خور گورسوزان در شهر بندرعباس استفاده شد. آنالیز حساسیت مدل بیانگر آن بود که سه پارامتر ورودی به‌ترتیب از جمله درصد مناطق نفوذناپذیر در هر زیرحوضه، شماره منحنی و ضریب زبری کانال مؤثرترین عوامل در تغییرات خروجی مدل بودند. هم‌چنین صحت‌سنجی و واسنجی مدل براساس توابع هدف N.S و MRE نشانگر تطابق بسیار خوب مدل با داده‌های مشاهداتی ثبت شده بود. در مدل‌سازی کیفی رواناب منطقه موردمطالعاتی پس از تعیین کاربری زیرحوضه‌ها و معادلات تجمع و شست‌وشوی آلاینده‌ها، نتایج غلظت آلاینده‌ها در خروجی به‌دست آمد و با نتایج آزمایشگاهی داده‌های میدانی سنجیده شد. که نتایج این سنجش،

حاکی از تطابق بسیار خوب مدل کیفی با داده‌ها مشاهداتی بود و در نهایت، سه سناریو تعریف شدند و پس از اجرای آنان در مدل، نتایج آنان بحث و تحلیل و تعیین شد که سناریوی اول مناسب‌تر برای آلاینده TDS سناریوی دوم برای آلاینده‌های COD، NO_2 و PO_4 بود و سناریوی سوم برای آلاینده‌های TDS و NO_2 مناسب‌تر از آلاینده PO_4 و در آخر TDS بود. نتیجه کلی مدل SWMM بیانگر آن بود که این مدل برای شبیه‌سازی حوضه‌های شهری به‌صورت هیدرولیکی و کیفیتی در بحث رواناب بسیار مناسب و می‌توان از آن در مدیریت بهینه رواناب‌های شهری بهره برد.

۵. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافعی بین نویسندگان وجود ندارد.

۶. منابع

Ahmadi, Z., Shahnazari, A., Fazlavali, R., & Ashrafzade, A. (2012). Investigation of adequacy of Masal City Drainage Network and Suggestions for Improvement by Using MIKESWMM Model. *Iranian Water Research Journal*. (In Persian)

Cochran, J. K., & Brook, S. (2014). Estuaries. 1-4. https: //doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.09151-X

Council, N. R. (1993). Managing wastewater in coastal urban area. National Academy Press.

Gironás, J., Roesner, L.A., Rossman, L.A., & Davis, J. (2010). A new applications manual for the Storm Water Management Model (SWMM). *Environmental Modelling and Software*, *25*(6), 813-814. https: //doi.org/10.1016/j.envsoft.2009.11.009

Hassan, M., Zwain, H. M., & Hammed, W. (2021). Results in Engineering Modeling the impacts of climate change and flooding on sanitary sewage system using SWMM simulation : A case study. *Results in Engineering*, *12*, 100307. https: //doi.org/10.1016/j.rineng.2021.100307

Heydarzade, M. (2017). *The Impacts of Climate Change on Peak Dischrge and Flood Prone Areas of Urban Estuaries (Case Study: Parts of Bandar Abbas City)*. P.H.D thesis, Hormozgan University. (In Persian)

Inc. Metcalf & Eddy , George Tchobanoglous , H. Stensel, Ryujiro Tsuchihashi, F. B. (1994). Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery 5th Edition (5th ed.). McGraw Hill; 5th edition (September 3, 2013).

Kaboli, H., Moazed, H., Delghandi, M., & Hemmati, M. (2009). Quantitative and qualitative prediction of surface wastewater in urban basins using software EPASWMM. *Fifth National Conference on Watershed Management Science and Engineering of Iran*. (In Persian)

Aminizade, K. (1401). Surface water quality modeling in Goorsuzan estuary using SWMM. Master thesis, Graguate University of Advanced Technology, Kerman. (In Persian)

Kong, F., Ban, Y., Yin, H., James, P., & Dronova, I. (2017). Modeling stormwater management at the city district level in response to changes in land use and low impact development. *Environmental Modelling and Software*, *95*, 132-142. https: //doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.06.021

Madrazo-Uribeetxebarria, E., Garmendia Antín, M., Almandoz Berrondo, J., & Andrés-Doménech, I. (2021). Sensitivity analysis of permeable pavement hydrological modelling in the Storm Water Management Model. *Journal of Hydrology*, *600*(126525). https: //doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126525

Moura Rezende, O., Ribeiro da Cruz de Franco, A. B., Beleño de Oliveira, A. K., Pitzer Jacob, A. C., & Gomes Miguez, M. (2019). A framework to introduce urban flood resilience into the design of flood control alternatives. *Journal of Hydrology*, *576*, 478-493. https: //doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.06.063

Payande, A., Hadizade zaker, N., & Niksokhan, M. (2015). Numerical assessment of nutrient assimilative capacity of Khur-e-Musa in the Persian Gulf. *Environ Monit Assess*, *187*(4097). (In Persian)

Randall, M., Sun, F., Zhang, Y., & Jensen, M. B. (2019). Evaluating Sponge City volume capture ratio at the catchment scale using SWMM. *Journal of Environmental Management*, *246*(May), 745-757. https: //doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.134

Rezayi, F., Bahremand, A., Bedri sheykh, V., Dastoorani, M., & Tajbakhsh, M. (2019). Calibration and Evaluation of the SWMM Model in Runoff Simulation in District 9 of Mashhad City. *Water and Sustainable Development*, *5*(2). https: //doi.org/10.22067/jwsd.v5i2.67930. (In Persian)

Robert, W., Black, P. W., & Moran, J. F. (2010). Response of algalmetrics to nutrients and physical factors and identificationof nutrient thresholds in agricultural strams. *Environmental Monitoring and Assessment.*

Rossman, L. A., Envronmental Scientist, E. U. S. E. P. A., & National. (2015). Storm Water Management Model User's Manual Version 5 . 1.

Saltelli, A., Tarantola, S., & Campolongo, F. (2000). Sensitivity analysis as an ingredient of modeling. *In Statistical Science*, 15(4), 377-395. https: //doi.org/10.1214/ss/1009213004

Smith, R. A., Schwarz, G. E., & Alexander, R. B. (1997). Regional inter-pretation of the water quality monitoring data. *Water Resource Research*, 2781-2798.

Todeschini, S., Papiri, S., & Ciaponi, C. (2012). Performance of stormwater detention tanks for urban drainage systems in northern Italy. *Journal of Environmental Management*, *101*(2003). https: //doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.02.003

Toranjian, A. (2018). Modeling runoff quantity and quality in Hamedan urban catchment using storm water management (SWMM). Master thesis, Ali Sina University- BU. (In Persian)

Ven Te Chow. (1988). Applied Hydrology (Internatio). McGraw-Hill Publishing Company.

Cosgrove, W. J., & Rijsberman, F. R. (2014). *World water vision: making water everybody's business*. Routledge. https: //doi.org/http: //dx.doi.org/10.4324/9781315071763

Yousefi, A., Khalilian, S., & Balali, H. (2011). Strategic Importance of Water in Iranian Overall Economy: A CGE Modeling Approach. *Journal Od Agriculture Economics and Development*, *25*(1). (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 and Software*, *135*. (September 2020), 104887. https: //doi.org/10.1016/j.envsoft.2020.104887