Research Paper

Flood Management and Control Using SWMM Simulation Model Integration and NSGA_II Meta-Exploration Algorithm (Case Study: West Tehran Urban Catchment)

Gholamhossein Akbari[1*], Iman Lotfi[2], Mohammad YousefiRobati[3]

[1] Associate Professor Department of Civil Engineering, Water and Hydraulic Structures, Technical and Engineering Faculty, Bojnourd University, Bojnourd, Iran
[2] Master's student, Department of Civil Engineering, Water and Hydraulic Structures, Technical and Engineering Faculty, Bojnourd University, Bojnourd, Iran
[3] Masters, Department of Civil Engineering, Water and Hydraulic Structures, Technical and Engineering Faculty, Bojnourd University, Bojnourd, Iran

10.22125/iwe.2024.437852.1787

Received:
February 27, 2024
Accepted:
April 21, 2024
Available online:
October 13, 2024

Keywords:
Combined Algorithms, NSGA-II, Numerical Solutions, SWMM, Urban Floods.

Abstract

In the current research, the urban catchment area (Derkeh River) in Tehran has been studied. The plan for the organization and management control and transfer of surface water in Tehran metropolitan is one of the most important construction projects and expansion of urban development in the north and northwest areas of Tehran province. In this article, in order to present the optimal plan for the improvement of the urban flood collection network, an integrated optimization and simulation model has been developed. Applying the principles of engineering in the design of the flood transfer system, including the analyzes necessary to solve problems and prevent flood damage, are solutions that reduce the health and welfare issues of millions of residents of the capital. By relying on the basic and correct design and improvement of the runoff transfer system, the damages caused by them can be reduced and the use of this type of wastewater can be increased to some extent, and the security caused by the possible crises of these flows can be well managed. As it is clear and definite, the use of any flood control plan to reduce the amount of water leaving the network and reduce the damages caused by floods cannot be practical and useful to an acceptable extent and reduce flood damages to the desired extent and have positive effects, Because the design of this type of design was only based on experience and did not have any scientific support, therefore, the use of hydraulic and hydrological models can solve the need of officials to reduce flood damage for a specific area, and if they have time and cost limitations, it can Use optimization algorithms to solve this problem, In such a way that according to the available cost and budget, in the shortest time by linking the simulation and optimization models, they reach the desired logical and reasonable answer and reduce the amount of damages to the lowest possible amount. For this purpose, the combined hydraulic model SWMM has been used to determine the flood trends in canals and canals. From the combination of SWMM model and NSGA-II multi-objective meta-exploratory algorithm, the optimal dimensions of the flood channel have been determined, and the analyzes related to the minimization of costs and the prevention of water runoff have been performed in the computational network. The results show that in the return period of 50 years, in the first case (only changes in the height and width of the bridges), there is a 34.2% reduction, and in the second case (changes in the height and width of the canal + bridges), up to a 100% reduction in the amount of water leakage from

* **Corresponding Author:** Gholamhossein Akbari
Address: Department of Civil Engineering, Water and Hydraulic Structures, Technical and Engineering Faculty, Bojnourd University, Bojnourd, Iran
Email: akbari@ub.ac.ir
Tel: 09155192754

the network is obtained, which shows the superiority of both cases compared to the case without The design is shown.

1. Introduction

The surface water control and transmission system is one of the most important components in urban development and urban development plans. Therefore, not considering the necessary principles in the design of this system can bring many problems and in addition to the damages caused by floods, it can cause major health and economic problems for different urban areas. Therefore, by properly designing and improving the urban runoff transfer system, the damages caused by floods can be reduced as much as possible and the safety and security caused by possible floods in the region can be increased. Therefore, the main goal of this article is to develop an integrated optimization and simulation model in order to provide optimal plans for the improvement of the urban flood collection network. For this purpose, the SWMM hydraulic model was used for flood trends in canals and channels. By combining the SWMM model and NSGA-II multi-objective meta-exploratory algorithm, the optimal dimensions of the flood channel were calculated and determined in order to minimize costs and water leakage from the network.

2. Materials and Methods

In this study, 8 sub-basins are considered in the hydrological simulator model. And after calculating the surface runoff in each sub-basin using the HEC-HMS model, the SWMM model and the dynamic wave method have been used to determine the flow trends in urban canals and waterways. In the design approach based on the return period, the calibration parameters for both models (HEC-HMS and SWMM) have been selected from the values reported in the studies of the master plan of surface water management in Tehran.

3. Results

According to the available budget range or the costs considered for the solutions available in Paratoo front with a return period of 50 years, it was observed that the solution has both optimization modes in the channel and bottlenecks or bridges (answers obtained for the second mode) The best answer for the return period is to design/optimize the drainage system in Derkeh canal, and in terms of the next goal of the optimization algorithm, the amount of flood damage reduction is optimized. According to the best answers obtained in different design modes for the return period of 50 years, the maximum amount of damage reduction, taking into account the amount of water leaving the network, is 100%. It was without a plan. Considering the lack of budget and costs, it can be seen that for the best solution in the 50-year return period, in the first case (only changes in the height and width of the bridges), a reduction of 34.2% and in the second case (changes in the height and width of the canal) bridges) a 100% reduction in the amount of water escaping from the network is obtained, which shows the superiority of both modes compared to the no-plan mode.

4. Discussion and Conclusion

The optimal answers obtained from the genetic multi-objective optimizer algorithm for the 50-year flood return period in the studied area show their absolute superiority over the existing situation in the area and without a plan in Derkeh Canal. According to the results obtained from the optimization algorithm, it can be seen that complete information about the efficiency and relative importance of different flood control and management plans and their ranking has been provided, and therefore, the use and development of these optimization methods in future studies is necessary and recommended. These methods should be used for future research.

5. Six important references

1) Alam, S. and Rahman, M.A. (2024). January. Inconsistent using FLOOD and Flooding Development of EPA SWMM for Assessing Flood Occurrences in Vulnerable Urban Watershed Considering Extreme Rainfall Events. In Journal of the Civil Engineering Forum (pp. 85-98).
2) Sun, H., Dong, Y., Lai, Y., Li, X., Ge, X. and Lin, C. (2022). The Multi-Objective Optimization of Low-Impact Development Facilities in Shallow Mountainous Areas Using Genetic Algorithms. Water, 14(19), p.2986.
3) Kumar, N., Liu, X., Narayanasamydamodaran, S., & Pandey, K. K. (2021). A systematic review comparing urban flood management practices in India to China's sponge city

program. Sustainability, 13(11), 6346.
4) Zhang, X., Qiao, W., Xiao, Y. and Lu, Y. (2023). Analysis of regional flooding in the urbanization expansion process based on the SWMM model. Natural Hazards, 117(2), pp.1349-1363.
5) Taheriyoun, M., Fallahi, A., Nazari-Sharabian, M. and Fallahi, S. (2023). Optimization of best management practices to control runoff water quality in an urban watershed using a novel framework of embedding-response surface model. Journal of Hydro-environment Research, 46, pp.19-30.
6) Wang, L., Cui, S., Li, Y., Huang, H., Manandhar, B., Nitivattananon, V., ... & Huang, W. (2022). A review of the flood management: from flood control to flood resilience. Heliyon, 8(11).
7)

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

مدیریت و کنترل سیلاب با استفاده از تلفیق مدل شبیه ساز SWMM و الگوریتم فراکاوشی NSGA_II (مطالعه موردی : حوضه آبریز شهری غرب تهران)

غلامحسین اکبری[1*]، ایمان لطفی[2]، محمد یوسفی رباطی[3]

تاریخ ارسال:۱۴۰۲/۱۱/۰۷
تاریخ پذیرش:۱۴۰۳/۰۲/۰۲

مقاله پژوهشی

چکیده

طرح ساماندهی و مدیریت کنترل و انتقال آب‌های سطحی کلان شهر تهران از مهمترین طرح‌های عمرانی و گسترش توسعه شهری مناطق شمال و شمال غرب استان تهران می باشد. در پژوهش حاضر حوضه آبریز شهری غرب تهران (رودخانه درکه) مورد مطالعه قرار گرفته است. به منظور ارائه‌ی طرح بهینه‌ی بهسازی شبکه جمع آوری سیلاب شهری از یک مدل تلفیقی بهینه‌سازی و شبیه‌سازی توسعه یافته استفاده شده است. لذا در نظر نگرفتن اصول لازم در طراحی این سامانه، می‌تواند مشکلات متعدد را به همراه داشته باشد و علاوه بر خسارات ناشی از سیلاب می‌تواند برای مناطق مختلف شهری از لحاظ بهداشتی و اقتصادی مشکلات اساسی را به وجود بیاورد. برای این منظور از مدل تلفیقی هیدرولیکی، مدل شبیه سازی دینامیکی رواناب (SWMM) برای روندیابی سیلاب درکانال‌ها و مسیل‌ها استفاده گردیده است. از تلفیق مدل SWMM و الگوریتم فراکاوشی چندهدفه NSGA-II، ابعاد بهینه کانال عبور سیلاب تعیین گردیده، و آنالیزهای مربوط به حداقل‌سازی هزینه‌ها و جلوگیری از فرارآب در شبکه محاسباتی انجام گردیده است. نتایج نشان می‌دهد در دوره بازگشت ۵۰ ساله، درحالت اول (فقط تغییرات درارتفاع وعرض پل‌ها) کاهش ۳۴/۲ درصدی ودرحالت دوم (تغییرات ارتفاع و عرض درکانال + پل‌ها) تا کاهش ۱۰۰ درصدی درمیزان فرارآب ازشبکه بدست می‌آید که برتری هردو حالت را نسبت به حالت بدون طرح نشان داده شده است.

واژه‌های کلیدی : الگوریتم‌های تلفیقی، سیلاب‌های شهری ، راهکارهای عددی، NSGA-II، SWMM.

[1*] دانشیار گروه مهندسی عمران، آب و سازه های هیدرولیکی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بجنورد، بجنورد، ایران. akbari@ub.ac.ir (نویسنده مسئول)

[2] دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، آب و سازه های هیدرولیکی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بجنورد، بجنورد، ایران. iman.p.lotfi@gmail.com

[3] کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، آب و سازه های هیدرولیکی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بجنورد، بجنورد، ایران. myousefir228@gmail.com

مقدمه

اراضی اطراف تهران بالقوه در گذشته برای کشاورزی بوده که با رشد توسعه شهری در استان تهران منابع آب پاسخگوی کشاورزی نبوده و با تغییرات کاربری اراضی از کشاورزی به شهری مشکلات زهکشی رواناب‌ها از حوضه آبریز رودخانه‌ها و آبراهه‌های طبیعی معضلات سیلاب‌های شهری را بدنبال داشته است(اکبری و همکاران، ۱۴۰۱). همچنین سیل همواره بیشترین خسارات جانی و مالی را به بشر تحمیل کرده است، بر اساس آمارهای جهانی، تلفات انسانی در دنیا، ۲۶ درصد مربوط به سیل، ۱۹ درصد مربوط به طوفان، ۳درصد مربوط به خشکسالی، ۱۳ درصد مربوط به زلزله و ۳۹ درصد مربوط به سایر حوادث (بیماری‌ها وغیره) میباشد(Kumar et al, 2021). سیلی که در سال ۱۹۳۱ در کشور چین رخ داد و بالغ بر ۱،۰۰۰،۰۰۰ نفر کشته داشت و سیل رخ داده در سال ۱۸۸۷ در ایالت پنسیلوانیای آمریکا با ۹۰۰،۰۰۰ نفر کشته از جمله مهمترین خسارات انسانی ناشی از سیلاب در دنیا بوده است(Nkwunonwo et al, 2020). پراکنش نامناسب زمانی و مکانی بارش در مناطق خشک و نیمه‌خشک علاوه بر ایجاد سیلاب‌های مخرب موجب هدر رفتن آب‌های سطحی می‌شود. ازاین‌رو، مهار روانابهای سطحی و بهره‌برداری مناسب از آن می‌تواند راهکاری مناسب برای جلوگیری از هدررفت آب و تبدیل تهدید به فرصت باشد. تعیین عرصه‌های مستعد تولید رواناب، سیل و مناطق در معرض آبگرفتگی یکی از عوامل مهم تعیین‌کننده در موفقیت طرحهای کنترل سیل است(کوهی، ۱۴۰۲). بر اساس مطالعات انجام شده، اگرچه تغییرات اقلیمی میزان و پراکنش بارش را تحت تاثیر قرار داده است، اما عوامل انسانی یا ساخت و سازهای بدون برنامه در آبگرفتگی معابر و همچنین طراحی و احداث آبگذرها بدون در نظر گرفتن شیب و شکل زمین در آبگرفتگی باالترین نقش را دارا می‌باشد(روستایی و همکاران، ۱۴۰۱). در ایران با توجه به جغرافیای طبیعی منطقه و حادثه خیز بودن آن‌ها، در برخی از مناطق، خسارات ناشی از سیلاب کمتر از زلزله نبوده و عدم رعایت مسائل پیشگیری از سیلاب سبب خسارات جانی و مالی جبران ناپذیری شده است(زنجانیان، ۱۴۰۱). همچنین در ایران با توجه به موقعیت کوهپایه‌ای و آب و هوای خشک و نیمه خشک، هر چند نسبت به کشورهای مانند مالزی، کلمبیا و آلمان، همیشه دارای میزان بارش کمتری طی سال‌های اخیر می‌باشد(حدود ۲۵۰ میلی‌متر)، اما بارش در برخی نقاط کشور با شدت و دبی سریع رخ داده و با توجه به خشکی طبیعت منطقه، پس از یک بارش بلافاصله رواناب ایجاد شده و در صورت شدت بیشتر بارش سیلاب پدید آمده و در نتیجه خسارات هنگفتی به منابع کشاورزی و مالی مردم وارد می‌کند و سیلاب رخ داده در مناطق شهری نیز سبب رخ‌دادن خسارات فراوانی می‌شود(موسسه تحقیقات آب، ۱۳۹۹). برای محاسبه و برآورد خسارت سیلاب به اطلاعات مربوط به کاربری‌های اراضی موجود در منطقه نیاز است و هر چـه این اطلاعات دقیق‌تر و کامل‌تر باشد، به شرط امکان تعریف و تعیین معیارها و ضوابط مربوط بـه میـزان خسـارت از جملـه تابع عمق-خسارات برای کاربری‌های موجود در پهنه سیلاب، نتایج برآورد خسارات نیز دارای دقت کافی و بالایی خواهد بود (مقدم و همکاران، ۱۴۰۰). بنابراین برای کاهش خسارات و پیامدهای ناشی از سیلاب، طراحی اصولی جهت تامین ظرفیت لازم برای شبکه‌های جمع‌آوری و دفع آب‌های سطحی ضروری می‌باشد که این نیازمند شبیه‌سازی و استفاده از مدل‌های هیدرولیکی می‌باشد (Wang et al, 2022). لازم به ذکر است که در طراحی سامانه جمع‌آوری آب‌های سطحی با وسیع‌ترشدن منطقه مورد مطالعه، میزان خطـاهای طراحی اصولی و اقتصادی افزایش می‌یابد. بنابراین برای کاهش این میزان خطا نیاز به طراحی دقیق و اصولی شبکه می‌باشد(ناصح پور و همکاران، ۱۳۹۹). استفاده از مدل‌های شبیه‌ساز و بهینه‌ساز می‌تواند کمک شایانی برای طراحی دقیق نموده و در به دست آوردن طرح اقتصادی نقش بسیار مفید و کارآمد داشته باشد(حیدری، ۱۳۹۷). مدل مدیریت آب رواناب SWMM یک مدل شبیه‌ساز بارش-رواناب پویا با مبنای فیزیکی است که برای شبیه‌سازی‌های تک واقعه‌ای یا طولانی مدت(پیوسته) کمیت و کیفیت رواناب حوزه‌های شهری مورد استفاده قرار می‌گیرد(Zhang et al, 2023). مولفه رواناب SWMM روی مجموعه‌ای از زیرحوزه‌هایی که باران دریافت می‌کنند عمل کرده، رواناب و بارهای آلاینده را شامل می‌نماید بخش روندیابی مدل، رواناب را از طریق شبکه لوله‌ها، کانال‌ها و

تاسیساتی چون پمپ‌ها و تنظیم کننده‌های جریان منتقل می‌کند. این مدل، کمیت و کیفیت رواناب تولید شده در هر زیرحوزه، سرعت، دبی و عمق جریان در هر لوله و کانال را در هر زمانی از دوره شبیه‌سازی ارائه می‌دهد (Alam and Rahman, 2024). همچنین الگوریتم NSGA-II[1] نوع تکامل یافته و چند هدفه الگوریتم تک هدفه ژنتیک می‌باشد. پرآوازه و پرکاربردترین الگوریتم ژنتیک چند هدفه در پژوهش‌های صورت گرفته در دنیا (۶۴۸۱ بار استناد بر اساس آمار Google Scholar) استفاده شده است(Sun et al, 2022). که NSGA-II به سه روش، ازجمله روشی سریع برای مرتب‌سازی پاسخ‌های غیرمسلط (تشکیل مرزهای پارتو) و روشی برای توزیع یکنواخت پاسخ‌ها در مرزهای پارتو و روشی برای حلقه اصلی الگوریتم تقسیم می‌شود(Taheriyoun et al, 2023).

با گسترش محدوده شهری و همچنین افزایش ساخت و ساز متناسب با آن، تغییرات چشمگیری در میزان سطوح نفوذ ناپذیر شهری به وجود آمده است که این سطوح نفوذ ناپذیر (آسفالت خیابان‌ها، سنگ فرش پیاده رو و پشت بام منازل و غیره) می‌توان مانعی بسیار مهم برای نفوذ آب باران به سطوح پایین‌تر شده و در نتیجه، سبب ایجاد رواناب شهری می‌شوند(کرمی و همکاران، ۱۳۹۴). بنابراین یکی از اساسی‌ترین فعالیت‌ها در حوزه مدیریت ساخت و ساز و بهسازی شهری، جمع آوری، انتقال و مدیریت رواناب‌های شهری است که در گذشته توجه زیادی به این موضوع نشده است و خسارت زیادی در نقاط مختلف، به بار آورده است(یزدی وصالحی نیشابوری، ۱۳۹۲). لذا موضوع جمع آوری و هدایت رواناب‌های شهری به عنوان یکی از موضوعات قابل اهمیت و ضروری در پایتخت محسوب شده است که علاوه بر کاهش خسارت ناشی از رواناب شهری، از آن می‌توان به عنوان یک فرصت در جهت هدایت و انتقال رواناب‌های سطحی برای مصارف مختلف استفاده نمود(Rezende et al, 2019). بنابراین با توجه به این که سامانه انتقال و هدایت رواناب شهری پیچیدگی خاص خود را دارا می‌باشد و هزینه‌های زیادی را در بر می‌گیرد، طراحی سامانه‌های کنترل و هدایت رواناب با هزینه کمتر، در عین لحاظ‌کردن کلیه پارامترها و متغیرهای طراحی ذهن محققان را به خود مشغول کرده است(مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران، ۱۳۹۸).

در تحقیقی به منظور تعیین ابعاد بهینه شبکه زهکشی شهر گرگان از مدل SWMM، استفاده نمودند. نتایج حاصل از واسنجی مدل نشان داد که دبی اوج و حجم جریان شبیه‌سازی انطباق خوبی با مقادیر مشاهداتی دارد. به منظور ارزیابی و تست اعتبار سنجی مدل از دو واقعه رگباری مجزا، استفاده شد نتایج حاصل از ارزیابی، کارایی و دقت مدل را تایید می‌کند، پس از ارزیابی کارایی مدل، بارش طرح با دوره بازگشت‌های طراحی محاسبه شد و مدل با دوره بازگشت‌های طراحی با توجه به پارامترهای بهینه و ابعاد شبکه زهکشی موجود اجرا گردید. دبی اوج عبوری از مجاری، بر اساس شدت بارش‌های طراحی مشخص شد و با توجه به نتایج حاصل از مدل بر اساس وجود و یا عدم وجود اضافه بار و شرایط سیلابی در محل گره‌ها و مجاری، کفایت شبکه موجود برای انتقال رواناب سطحی با دوره‌های بازگشت طراحی ارزیابی گردید (بدیعی زاده و همکاران، ۱۳۹۶).

در پژوهش دیگر، از مدل SWMM برای تعیین نقاط آبگرفتگی و طراحی ابعاد بهینه آن‌ها برای دوره بازگشت‌های ۵ و ۱۰ سال استفاده کردند. نتایج تحقیق نشان داد برای دوره بازگشت ۵ ساله، ۴ منطقه دارای مشکل آبگرفتگی هست و پس از اجرای مدل با دوره بازگشت ۱۰ ساله علاوه برنقاطی که در دوره باز گشت ۵ ساله دارای آبگرفتگی می‌باشند سه منطقه دیگر نیز مشکل آبگرفتگی را نشان دادند که نسبت به سایر مناطق از اهمیت بیشتری برای رفع مشکل آبگرفتگی برخوردار هستند. سپس برای رفع مشکل آبگرفتگی دوره باز گشت ۱۰ ساله مد نظر قرار گرفت و با بررسی میدانی و اجرای مدل و باتوجه به محدودیت‌های موجود، راه کارهایی از جمله افزایش سطح مقطع کانال، کاهش رقوم کف آبگذر، افزایش عمق کانال و افزایش عرض کانال ارائه شد (حصامی و همکاران، ۱۴۰۲).

در پژوهشی، به توسعه یک مدل تلفیقی بهینه سازی و شبیه سازی (شامل مدل‌های هیدرولیکی و هیدرولوژیکی)

[1] Non-dominated Sorting Genetic Algorithm

به‌منظور ارائه‌ی طرح‌های بهینه‌ی بهسازی شبکه جمع آوری سیلاب شهری پرداختند که از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS برای مدلسازی بارش رواناب و از مدل هیدرولیکی SWMM برای روندیابی سیلاب در کانال‌ها و مسیل‌ها استفاده شده است (حیدری، ۱۳۹۷).

در تحقیقی، با استفاده از حوضچه‌های تعدیل سیلاب و اعمال سیلاب با دوره بازگشت ۵۰ ساله به بررسی عملکرد مخازن تعدیل سیلاب جهت مدیریت رواناب شهری در حوضه شرق تهران پرداخته شده است. برای مدلسازی هیدرولیکی و هیدرولوژیکی حوضه مذکور از نرم افزار SWMM آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا استفاده شده و با مرتبط کردن مدل شبیه سازی به مدل بهینه سازی جستجوی هارمونی HS، بهترین مکان و اندازه برای حوضچه‌های تعدیل سیلب تعیین شده است. از مهمترین نتایج این پژوهش میتوان به کاهش دبی اوج و تغییر شکل هیدروگراف سیلب در نقاط مختلف شبکه، کاهش۱۲/۷ درصدی حجم سیلب و ارائه راندمان و کارایی بهتر مخازن تعدیل نسبت به طرح پیشنهادی مشاور در حوضه شرق تهران اشاره کرد(کاظمی، ۱۳۹۵).

در پژوهشی دیگر، به بررسی مدیریت رواناب شهری در شهرستان تونگشان پرداختند. مدل شبیه‌ساز مورد استفاده در تحقیق ایشان، مدل SWMM می‌باشد که در این تحقیق گنجایش و ظرفیت شبکه تخلیه آب برای عبور سیلاب دوره بازگشت‌های مختلف را مورد بررسی قرار داد و ضمن تجزیه و تحلیل ظرفیت واقعی شبکه، پیشنهاداتی را جهت بهینه‌سازی و افزایش ظرفیت کانال عبور جریان سیل ارائه دادند(jun et al, 2019).

در تحقیقی، تعدیل سیلاب و طراحی سیستم انحراف رودخانه به منظور ایمن‌سازی سیلاب‌دشت رودخانه گرگانرود با مدل SWMM مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که در صورت استفاده از یک و دو سیستم انحراف سیل، دبی اوج سیل در ورودی به شهر آق‌قلا، بطور متوسط ۴۵/۷ و ۳۵/۱۶ درصد کاهش می‌یابد. همچنین در صورت استفاده از سه سیستم انحراف سیلاب، دبی اوج سیل ورودی به شهر گمیشان، بطور متوسط ۱۵/۲۲ درصد کاهش خواهد یافت(یزدی و همکاران، ۱۴۰۲).

در پژوهشی دیگر، با عنوان بررسی استفاده از حوضچه تاخیری بر روی شبکه جمع آوری آب‌های سطحی با مدل SWMM مورد بررسی قرار دادند که با مقایسه و بررسی حالات مختلف، سناریو شماره ۱۱، استفاده از ۴ حوضچه تاخیری باعث کاهش ۴۸ درصدی دبی اوج سیلاب به عنوان بهترین سناریو هیدرولیکی و سناریو شماره ۴، استفاده از ۲ مخزن تاخیری باعث کاهش ۲۴ درصدی دبی اوج، بعنوان بهترین سناریو اقتصادی انتخاب گردید(امینی‌یزدی و فغفور مغربی، ۱۴۰۲).

همچنین در پژوهشی، ارزیابی عملکرد مدل‌های SWMM و SewerGEMS در تحلیل سیلاب شهری جمع آوری شده توسط شبکه زهکش‌های سطحی در شهر لار مورد بررسی قرار دادند که به این نتیجه رسیدند مدل SWMMنسبت به سایر مدل‌ها، دقت بیشتری در شبیه‌سازی رواناب در منطقه مطالعاتی داشته و می‌تواند جهت طرح‌های مدیریت رواناب حوضه‌های شهری مشابه مورد استفاده قرار گیرد(رفیعی و همکاران، ۱۴۰۱).

در پژوهش حاضر سعی شده مراحل فیزیکی و هیدرولوژیکی در حوضه آبریز به‌طور همزمان با قواعد هیدرولیکی مدل سازی شود که با تلفیق مدل SWMM و الگوریتم فراکاوشی چند هدفه، ابعاد بهینه سیل برگردان و سازه‌های متقاطع آن، جهت حداقل‌سازی هزینه‌ها و فرار آب از شبکه محاسبه و تعیین گردیده است. پژوهش حاضر بر روی حوضه آبریز شهری غرب تهران تا انتهای سیل‌برگردان غرب انجام گرفته است. مقایسه نتایج این پژوهش با طرح بهسازی شرکت مهندسین مشاور مهاب قدس حاکی از برتری طرح‌های بهینه نسبت به طرح مشاور دارد طرح‌های بهینه قادر هستند تا ۱۴/۲ درصد هزینه‌های بهسازی و تا ۳۷/۲ درصد میزان فرار آب از شبکه را نسبت به طرح پیشنهادی مشاور کاهش دهند.

در این پژوهش با استفاده از ترکیب مدل‌های شبیه‌سازی‌بهینه‌سازی مجموعه‌ای از جواب‌های برتر و کاربردی با رویکرد قابل اجرا، بدست آمده است که ضمن در نظر گرفتن قیود هیدرولیکی و شرایط محیطی، توانایی لازم جهت طراحی مفید و دقیق برای کنترل و هدایت رواناب تولیدی جهت کاهش خسارات سیلاب ناشی از رواناب شهری را دارا می‌باشد. همچنین، از الگوریتم بهینه‌سازی چند هدفه ژنتیک برای بهینه‌سازی سیستم

کنترل سیلاب و در نهایت بهینه کردن پارامترهای موثر در کاهش خسارات ناشی از سیلاب استفاده شده است.

روش شناسی پژوهش

مدلسازی حوضه آبریز مورد مطالعه

در مطالعات حاضر برای تبدیل بارندگی به بارندگی خالص یا رواناب از روش شماره منحنی " Curve Number " سازمان حفاظت منابع ملی آمریکا (NRSC) یا همان سازمان حفاظت خاک سابق (SCS) استفاده شده است. جهت محاسبه ارتفاع رواناب از روابط زیر استفاده می‌شود:

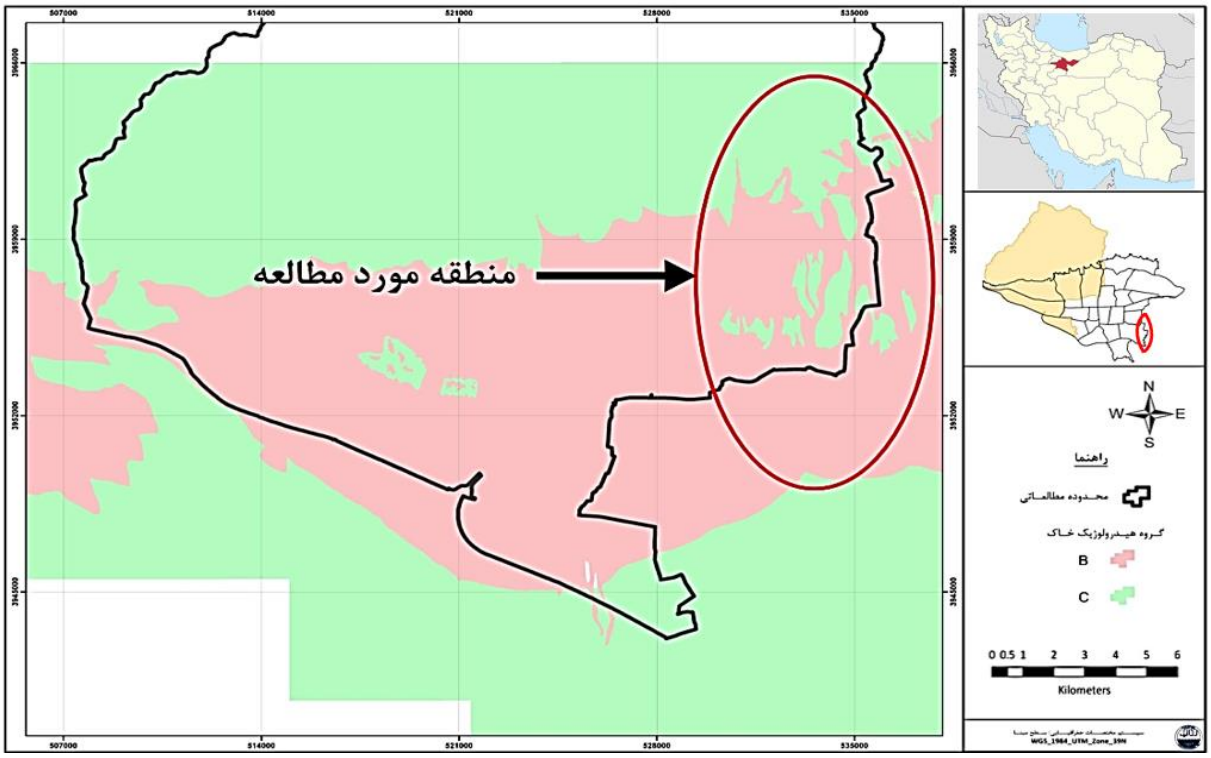
$$R = \frac{(P - 0.2*S)^2}{P + 0.8*S} \qquad (۱)$$

$$S = \left(\frac{1000}{CN} - 10\right) \times 25.5 \qquad (۲)$$

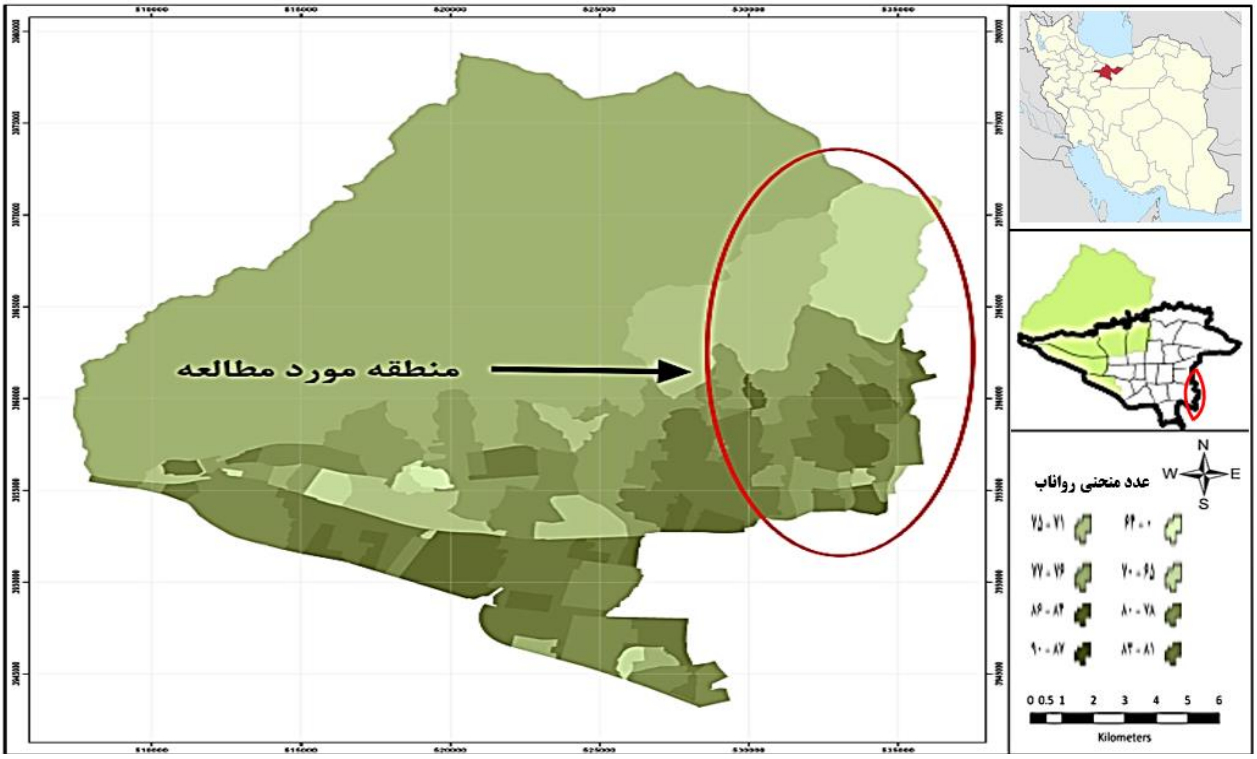
برای شهر تهران در حوضه مورد مطالعه با توجه به نفوذپذیری ناچیز واحدهای هیدرولوژیک شهری جهت تخمین اولیه با استناد به مشاهدات صورت پذیرفته و جهت تخمین اولیه گروه هیدرولوژیک خاک منطقه در گروه B و C در نظر گرفته می‌شود. شکل ۱، پهنه‌بندی هیدرولوژیک خاک در تهران را نشان می‌دهد. داده‌های لازم برای پهنه‌بندی از مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران براساس جدول ۱ می‌باشد.

جدول (۱): مقدار نهایی عدد منحنی در حوزه مورد مطالعه به تفکیک کاربری‌های مختلف

نوع کاربری	B	C
اداری	۷۸	۸۴
آموزش عالی و حرفه ای	۷۸	۸۴
آموزشی	۹۱	۹۲
انبارداری	۹۰	۹۱
بهداشتی درمانی	۸۳	۸۷
پارکینگ	۸۳	۸۷
پایانه و ترمینال	۸۳	۸۷
تاسیسات و تجهیزات شهری	۸۶	۸۸
تجاری	۸۹	۹۱
تفریحی	۷۴	۸۲
جهانگردی	۸۸	۹۰
خدمات شهری و اجتماعی	۸۸	۹۰
خیابان	۸۸	۹۱
صنعتی	۹۰	۹۱
فرهنگی	۸۱	۸۶
فضای سبز	۶۷	۷۸
مذهبی	۸۶	۸۹
مسکونی	۸۷	۸۹
مسیل	۶۹	۷۹
بایر	۸۴	۸۸
نظامی	۸۲	۸۶
ورزشی	۷۲	۸۱



شکل (۱): نقشه پهنه‌بندی هیدرولوژیک خاک منطقه مورد مطالعه

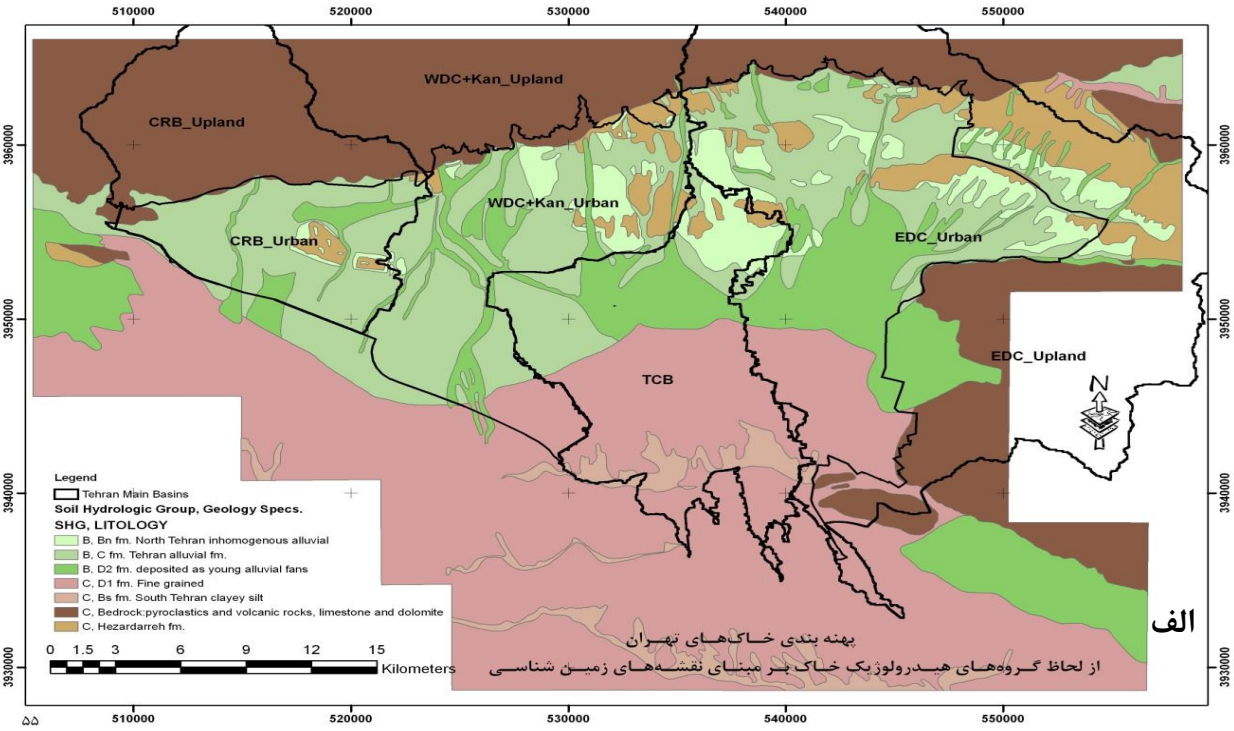


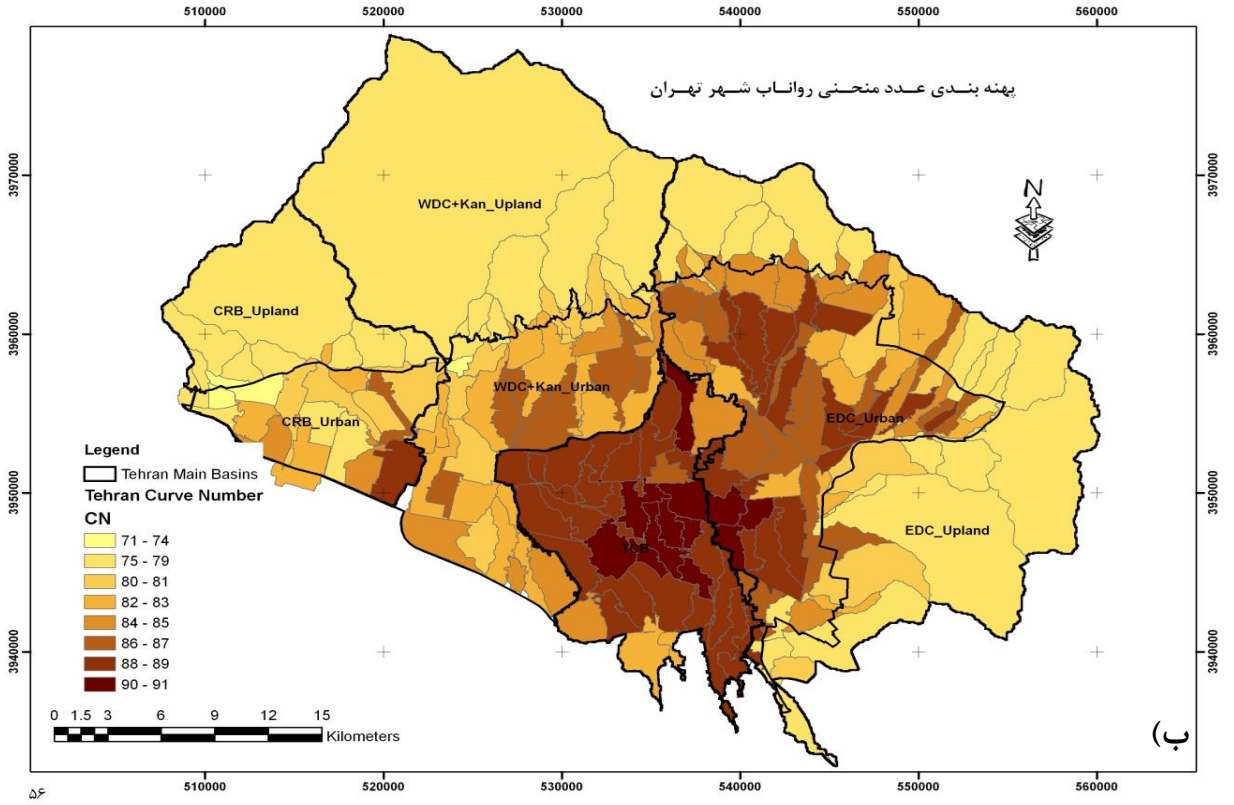
شکل (۲): نقشه پهنه‌بندی عدد منحنی رواناب محدوده مطالعاتی

شهرستان تهران در محدوده و طبقه‌بندی نوع خاک‌های گروه هیدرولوژیک، در طبقه‌بندی نوع B و C قرار گرفته است. در شکل۳، نقشه گروه هیدرولوژیک خاک محدوده و پهنه‌بندی عدد منحنی رواناب در شهرستان تهران نشان

داده شده است

.





شکل (۳): الف) پهنه‌بندی خاک‌های تهران از لحاظ گروه هیدرولوژیک خاک ب) پهنه‌بندی عدد منحنی رواناب در شهر تهران

خسارت وارده بر ساختمان و محتویات آن و چارچوب کاری گروه مهندسی ارتش آمریکا

در جدول زیرگروه‌بندی مربوط به ساختمان‌های مختلف و محتویات درون آنها در ارتباط با کارهای سازمان یاد شده، آورده شده است که در واقع این جدول به‌عنوان معیاری جهت تعیین میزان خسارت ناشی از سیلاب توسط سازمان مدیریت فوریت‌های فدرال (FEMA) [1] برای ارزیابی خسارت به ویژه برای طرح‌های کاهش خسارت سیلاب مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای کار با جدول ۲، ابتدا باید ارزش ساختمان موجود در پهنه سیلاب و محتویات آن برآورد شود و سپس محاسبات لازم جهت برآورد خسارت در عمق مشخص انجام شود.

جدول (۲): درصد خسارت برای سه نوع ساختمان و محتوای آنها در ارتباط با عمق آب (سازمان بیمه فدرال آمریکا)

عمق	یک طبقه بدون زیرزمین		دو طبقه و بیش‌تر با زیرزمین		دوبلکس بدون زیرزمین	
	ساختمان	محتوا	ساختمان	محتوا	ساختمان	محتوا
۱	۲۶	۴۲	۲۰	۲۶	۱۳	۳۷
۲	۳۶	۷۲	۲۵	۴۱	۲۴	۵۳
۳	۴۲	۸۲	۳۱	۵۲	۳۰	۶۲
۴	۴۷	۸۹	۳۶	۵۸	۳۵	۷۰
۵	۴۹	۹۴	۴۰	۶۱	۳۷	۷۳
۶	۵۳	۹۴	۴۲	۶۲	۴۰	۷۶
۷	۵۵	۹۴	۴۶	۶۴	۴۱	۷۷
۸	۵۸	۹۴	۴۸	۶۷	۴۹	۷۹
۹	۶۰	۹۴	۵۳	۷۱	۶۰	۸۳
۱۰	۶۰	۹۴	۵۵	۷۷	۶۴	۸۸
۱۱	۶۰	۹۴	۵۶	۸۵	۶۶	۹۱
۱۲	۶۰	۹۴	۵۸	۹۱	۷۰	۹۴
۱۳	۶۰	۹۴	۵۹	۹۴	۷۱	۹۴
۱۴	۶۰	۹۴	۶۰	۹۴	۷۲	۹۴
۱۵	۶۰	۹۴	۶۰	۹۴	۷۲	۹۴
۱۶	۶۰	۹۴	۶۰	۹۴	۷۲	۹۴

معادلات حاکم بر جریان سیلاب

از معادلات پیوستگی و مومنتوم جهت مدل‌سازی جریان استفاده می‌شود. روابط حاکم برای جریان یک بعدی غیردائم در رودخانه‌ها و کانال‌ها براساس معادلات سنت و نانت می‌باشد.

$$\frac{\partial Q}{\partial x}+\frac{\partial A}{\partial t}=q \qquad (۳)$$

$$S_f=S_0-\frac{\partial y}{\partial x}-\frac{v}{g}\frac{\partial v}{\partial x}-\frac{1}{g}\frac{\partial v}{\partial t} \qquad (٤)$$

دو معادله بالا به معادلات سنت ونانت معروف بوده و یک دستگاه دو معادله دو مجهولی را تشکیل می‌دهند که برای حل آن‌ها لازم است ابتدا شرایط مرزی مشخص گردد. حل تحلیلی معادلات مذکور تقریبا غیر ممکن بوده و حل عددی آن‌ها نیز به کامپیوتر با سرعت بالا نیاز دارد. با ساده‌سازی معادله بالا و حذف پارامترهای زمانی رابطه جریان دائم بدست می‌آید.

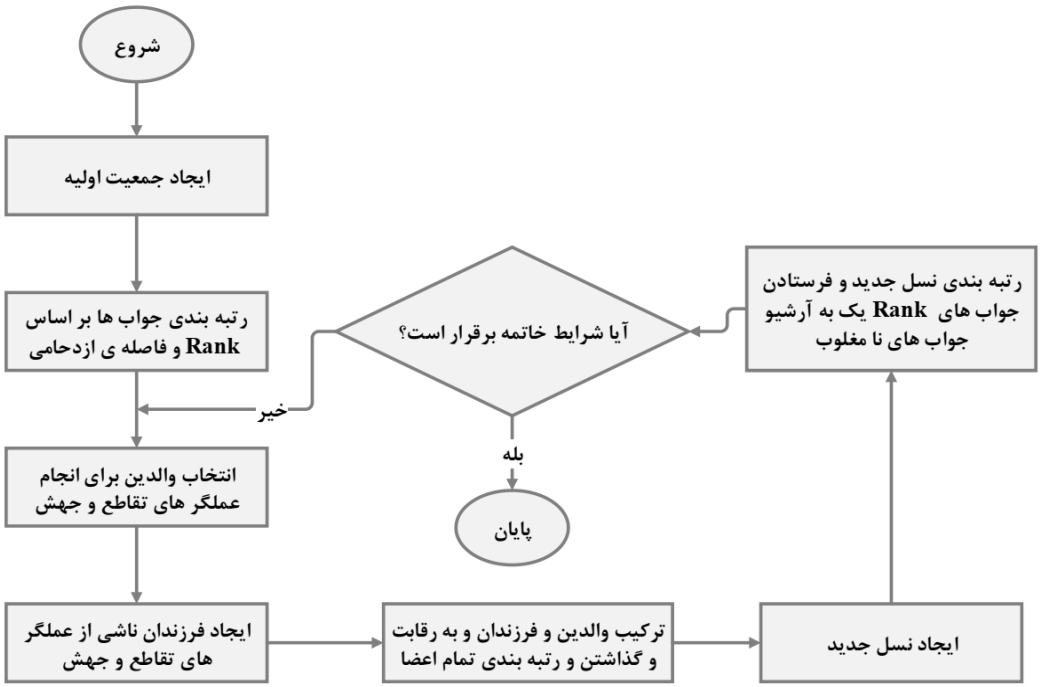
الگوریتم چند هدفه ژنتیک NSGA-II [2] :

الگوریتم NSGA-II نوع تکامل یافته و چند هدفه الگوریتم تک هدفه ژنتیک می‌باشد و مراحل اجرا و مدل کردن این الگوریتم به صورت زیر می‌باشد: مرحله اول، تولید جمعیت اولیه براساس توابع و قیدهای مسأله و مرحله دوم،

[1] Federal Emergency Management Administration
[2] Non-dominated Sorting Genetic Algorithm

بررسی و ارزیابی جمعیت تولید شده از دید توابع هدف و مرحله سوم، اعمال روش‌های مرتب‌سازی نامغلوب در الگوریتم بوده که در این مرحله جمعیت تولید شده در داخل رویه‌های قرار گرفته، به گونه‌ای که اعضای موجود در رویه اول، یک مجموعه کاملاً غیرمغلوب توسط دیگر اعضاء جمعیت فعلی است. اعضای که در رویه دوم وجود دارند نیز بر همین مبنا تنها توسط اعضای دسته اول مغلوب شده‌اند و این روند به همین صورت در دسته‌های دیگر ادامه می‌یابد تا به تمام اعضای موجود در هر رویه، یک رتبه بر مبنای شماره رویه اختصاص داده شود. مرحله چهارم، محاسبه فاصله ازدحام جمعیت (Crowding Distance) که منظور از تنوع در حقیقت ساخت مرز پارتو به صورتی است که پاسخ‌ها به صورت همگن در طول مرز توزیع شده باشند.

برای اینکار NSGA-II از شاخصی به نام فاصله ازدحام استفاده می‌کند. هر چقدر مقدار این فاصله ازدحام بیشتر باشد نشان‌دهنده‌ی تنوع و گستره بیشتر مجموعه اعضای جمعیت تولید شده است. مرحله پنجم، انتخاب جمعیت والدین برای انجام عملگر تقاطع و جهش که یکی از روش‌های انتخاب، نظیر انتخاب مبتنی بر تورنمنت دوتایی میان دو عضو منتخب به طور تصادفی از میان جمعیت می‌باشد. مرحله ششم، انجام جهش و تقاطع (مطابق با الگوریتم GA) برای ایجاد فرزندان و مرحله هفتم، رتبه‌بندی نسل جدید جمعیت تولید شده و اعمال روش‌های مرتب‌سازی نامغلوب می‌باشد. شکل ۴، فرآیند کلی و فلوچارت را در الگوریتم NSGA-II نشان می‌دهد



شکل (۴): فلوچارت عملکرد الگوریتم NSGA-II

کدگذاری تعداد متغیرهای تصمیم در هر کروموزوم

در این پژوهش، برای حل کردن مسأله طراحی دقیق و اصولی سیستم کنترل و مدیریت جمع‌آوری آب‌های سطحی از کدگذاری عدد صحیح استفاده شده است. در حالت کلی برای کدگذاری مقادیر صحیح، تعداد ژن‌های هر کروموزوم، برابر با حداکثر تعداد طرح‌های پیشنهادی برا حوزه مورد مطالعه می‌باشد. در این حالت عدد بدست آمده برای هر ژن (بصورت عددی صحیح) نشان‌دهنده ابعاد و اندازه طرح مربوطه است. کدگذاری به صورت عدد صحیح مخصوصا برای حالتی‌که تعداد طرح‌های پیشنهادی زیاد می‌باشد (مانند مطالعات موردی واقعی، بسیار مؤثر و مفید می‌باشد و همچنین باعث کاهش فضای جستجوی مسأله می‌شود. در NSGA-II پارامترهای الگوریتم تاثیرگذار بوده و مقادیر

آن‌ها بر اساس مقادیر توصیه شده در سابقه تحقیق تنظیم شده است(جدول۳).

جدول (۳): مقادیر استفاده شده برای پارامترهای الگوریتم NSGA-II

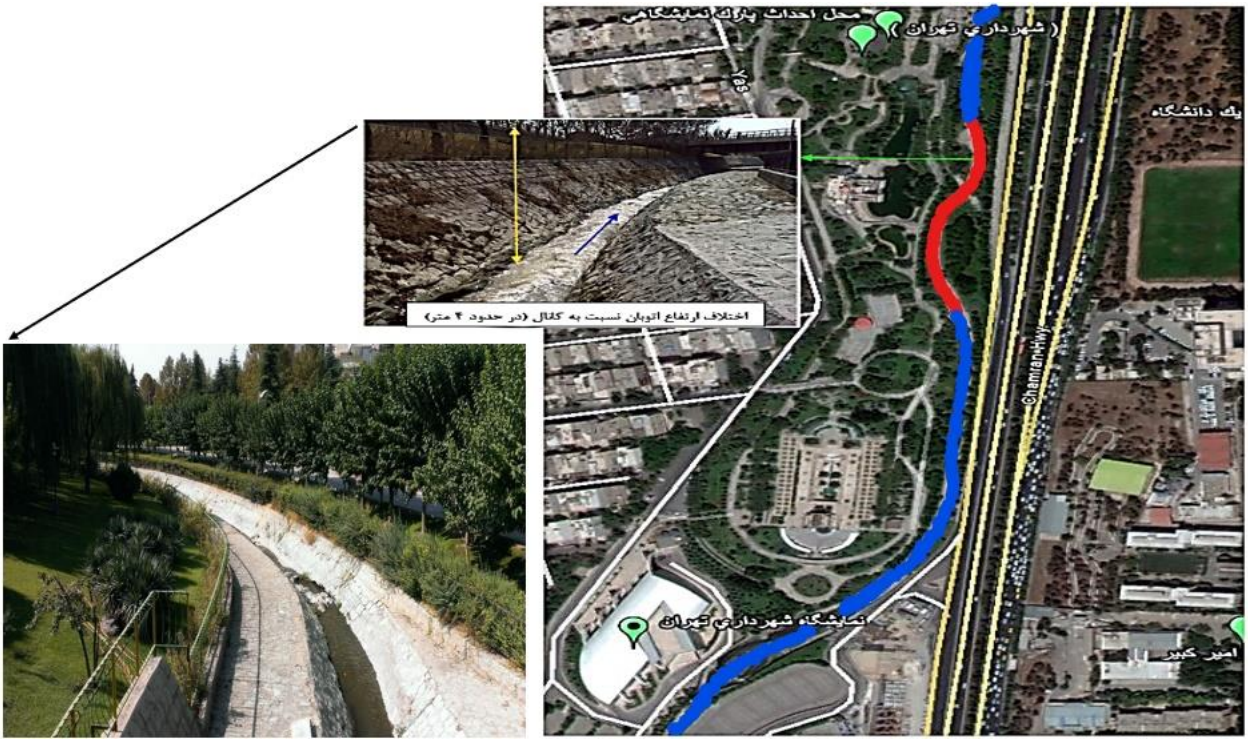
پارامترها	تعداد
اندازه جمعیت	۱۰۰
تعداد تکرار	۵۰
Crossover	۰/۷
Scaling Factor	۰/۵

یافته‌های پژوهش

مطالعه موردی، کانال درکه (رودخانه درکه)

شبکه زهکش اصلی شهر تهران به چهار حوضه اصلی به نام‌های سیل‌برگردان شرق (با مساحت ۲۲۰ کیلومترمربع)، سیل‌برگردان غرب و رودخانه کن (با مساحت ۱۴۷ کیلومترمربع)، مرکزی (با مساحت ۱۶۵ کیلومترمربع) و چیتگر (با مساحت ۸۵ کیلومترمربع) تقسیم می‌شوند که برای عبور ایمن سیلاب‌های شهری و سیلاب‌های کوهستانی مشرف به شهر تهران احداث گردیده‌اند (موسسه تحقیقات آب، ۱۳۹۹).

این رود و پیرامون آن یکی از گردشگاه‌های قدیمی و مناطق کوهنوردی و در واقع ریه تنفسی تهران است. این رود پس از عبور مراتع (یوردها) و پناهگاه پلنگ چال و با گذر از لا به لای دره‌های تنگ و فراخ و هفت‌حوض به درکه می‌رسد و از اوین نیز می‌گذرد و با گذشتن از زیر پل بزرگراه اوین-سعادت آباد کم‌کم وارد مسیل بسیار پهناور غرب بزرگراه چمران شده و پس از طی حدود ۴/۵ کیلومتر مسیرش مسدود می‌شود و از طریق کانال خیابان جواد فاضل به سمت غرب منحرف می‌شود. کانال درکه در گذر از بوستان گفتگو، مقطع مرکب و شبه ذوزنقه‌ای دارد که جنس آن در کف و دیواره‌ها سنگ و ملات ماسه و سیمان است. در این مقطع عرض کف و عرض تاج کانال به ترتیب ۱متر و ۴ متر و عمق آن ۱/۵ تا ۲متر است. این بازه از کانال در سیلاب با دوره بازگشت‌های ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ کمبود ظرفیت دارد و به دلیل واقع‌شدن کانال در پارک گفتگو امکان آبگرفتگی این پارک وجود دارد. از دیگر نقاط حساس اطراف کانال می‌توان به بزرگراه چمران اشاره کرد که به دلیل شرایط اساسی و مهم این بزرگراه بررسی سیل خیزی این کانال مهم و حساس می‌باشد. در شکل ۵، کانال ذوزنقه‌ای درکه در محدوده پارک گفتگو نشان داده شده است.



شکل (۵): موقعیت کانال ذوزنقه‌ای درکه در پارک گفتگو

در شکل زیر نیز، حوضه مطالعاتی و شبکه زهکش اصلی آن در محیط SWMM نشان داده شده است.

شکل (۶): شبکه زهکشی کانال درکه در استان تهران در محیط SWMM

در جدول زیر نیز، دبی اوج خروجی از محدوده‌ی مورد مطالعه در دوره‌های بازگشت مختلف ارائه شده است

جدول (۴): سیلاب دوره بازگشت‌های مختلف در رودخانه درکه

دوره بازگشت (سال)	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰
رودخانه درکه (s/m^3)	۲۰/۶	۳۷/۲۳	۵۳	۷۰/۶	۹۲

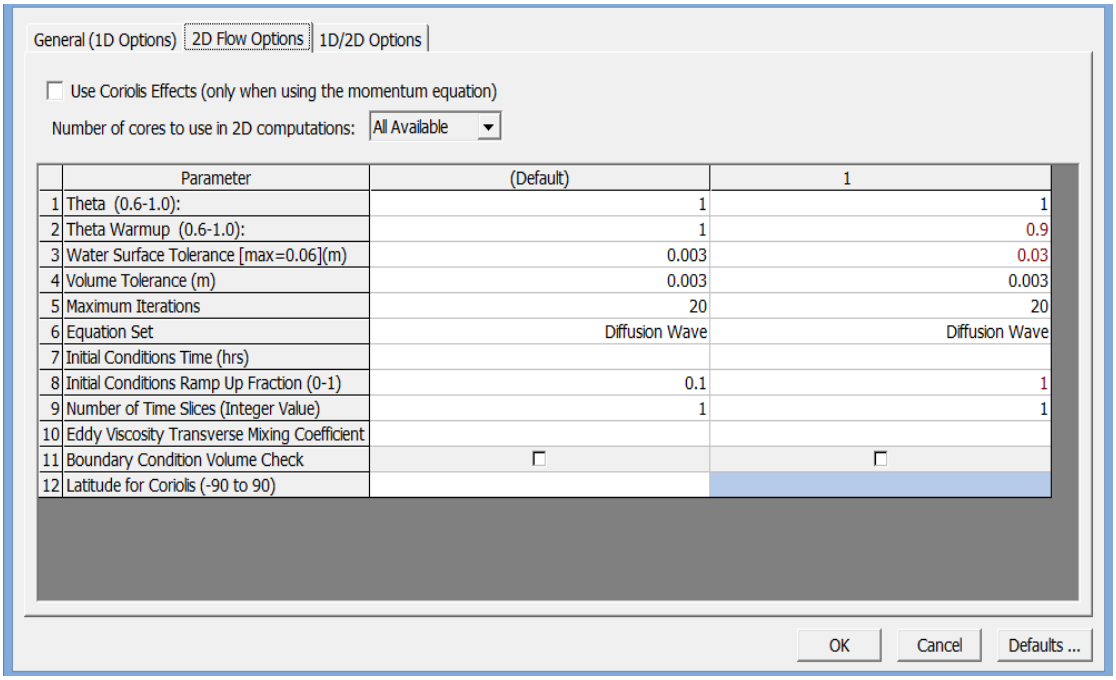
که پس از محاسبه رواناب سطحی در هر زیر حوضه‌ها با استفاده از مدل HMS-HEC، برای روندیابی جریان در کانال‌ها و مسیل‌های شهری، از مدل SWMM و از روش موج دینامیک استفاده شده است. در رویکرد طراحی بر مبنای دوره بازگشت، پارامترهای کالیبراسیون برای هر دو مدل (HMS-HEC و SWMM) از مقادیر گزارش شده در مطالعات طرح جامع مدیریت آب‌های سطحی شهر تهران انتخاب شده است.

(موسسه تحقیقات آب، ۱۳۹۹).

مشخصات و پهنه سیلاب

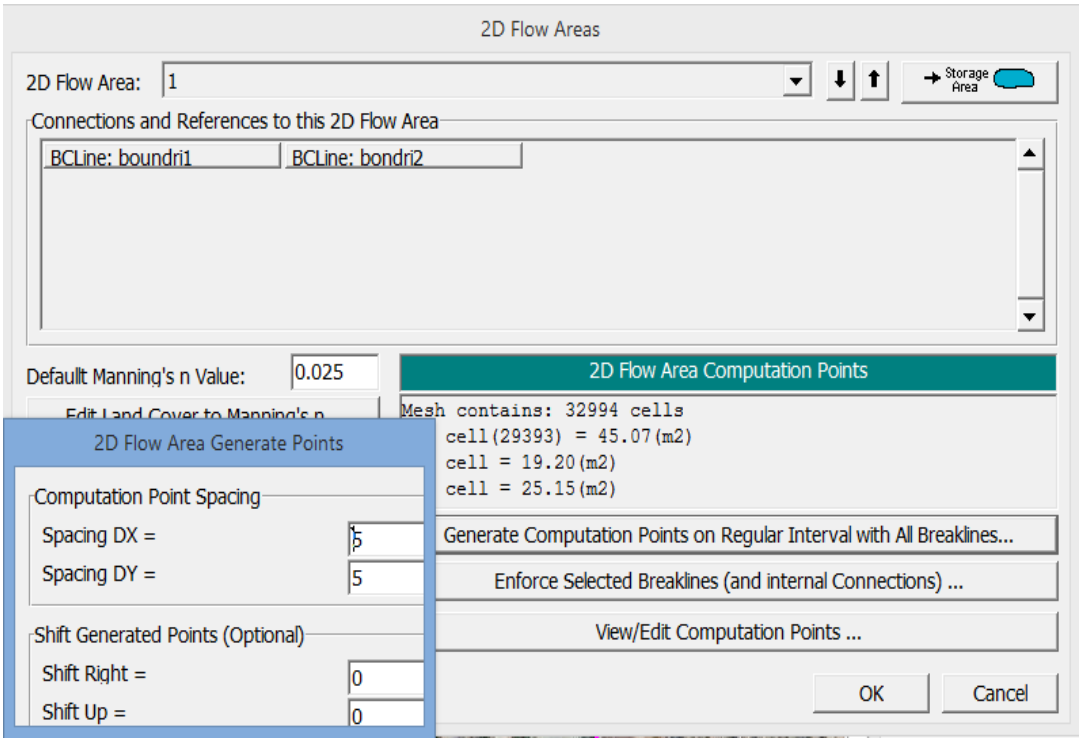
در ابتدا نمای مدل‌سازی و خروجی نرم‌افزار نیز در شکل (۷) نشان داده شده است. در شکل (۸) نیز، مقادیر کالیبره و حساسیت سنجی شده مش، نشان داده شده است. لازم به ذکر است که مش‌بندی در شبیه‌ساز هیدرولیک باید به گونه‌ای باشد که مانع از ایجاد خطا در نرم‌افزار گردد و حتی الامکان از ایجاد مش‌های با داشتن ۸ وجه که سبب خطا در مدل شبیه‌ساز می‌شود، خودداری شود. در محدوده کانال به علت حساسیت معاملاتی بیشتر و برای بالا بردن دقت محاسباتی از ابعاد مش کمتری در هر دو راستای Dx و Dy استفاده شده است (ابعاد مش ۲ متر). در سایر نقاط برای بالا نرفتن میزان حجم محاسبات عدد و بر اساس توانایی سیستم اجرا کننده مدل، ابعاد مش ۵ متر در نظر گرفته شده است.پس از ورود شرایط مرزی در بالا و پایین دست

کانال مورد مطالعه و ورود تمامی پارامترهای هندسی در منطقه مورد مطالعه، مدل شبیه‌ساز دو بعدی HEC-RAS اجرا و ران می‌شود و پس از اجرای مدل، پهنه‌های سیلاب برای دوره بازگشت‌های مختلف بدست آورده می‌شود. در شکل (۹) هیدروگراف‌های سیلاب خروجی از حوضه مورد مطالعه برای دوره بازگشت‌های مختلف نشان داده شده است. پس از بدست آوردن پهنه سیلاب دوره بازگشت‌های مختلف و تعیین کاربری‌ها زیر آب رفته، به بررسی و ارزیابی خسارات وارده بر کاربری‌های مختلف، براساس اطلاعات موجود عمق سیلاب در هر کاربری در دوره بازگشت‌های مختلف پرداخته می‌شود. برای تعیین اطلاعات عمق در هر کاربری با توجه به شبیه‌ساز HEC-RAS خروجی پهنه سیلاب به صورت فایل RASTER به نرم‌افزار ArcGIS انتقال داده می‌شود.

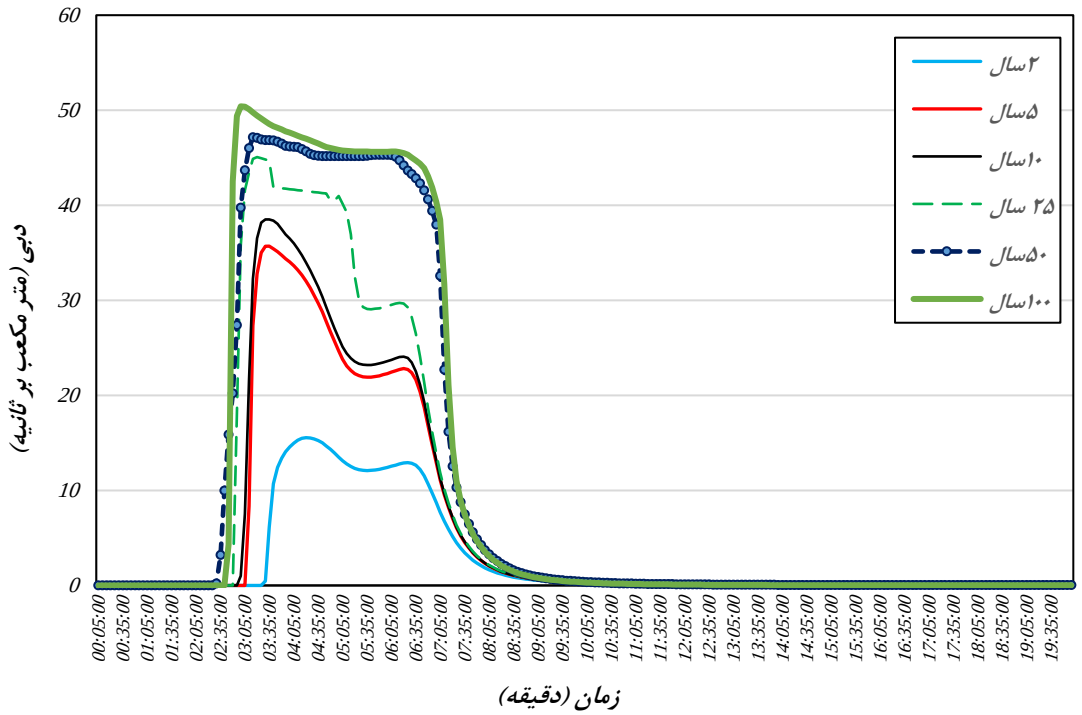


	Parameter	(Default)	1
1	Theta (0.6-1.0):	1	1
2	Theta Warmup (0.6-1.0):	1	0.9
3	Water Surface Tolerance [max=0.06](m)	0.003	0.03
4	Volume Tolerance (m)	0.003	0.003
5	Maximum Iterations	20	20
6	Equation Set	Diffusion Wave	Diffusion Wave
7	Initial Conditions Time (hrs)		
8	Initial Conditions Ramp Up Fraction (0-1)	0.1	1
9	Number of Time Slices (Integer Value)	1	1
10	Eddy Viscosity Transverse Mixing Coefficient		
11	Boundary Condition Volume Check	☐	☐
12	Latitude for Coriolis (-90 to 90)		

شکل (۷): تنظیم پارامترهای مورد نیاز برای پایدارسازی مدل شبیه‌ساز دو بعدی



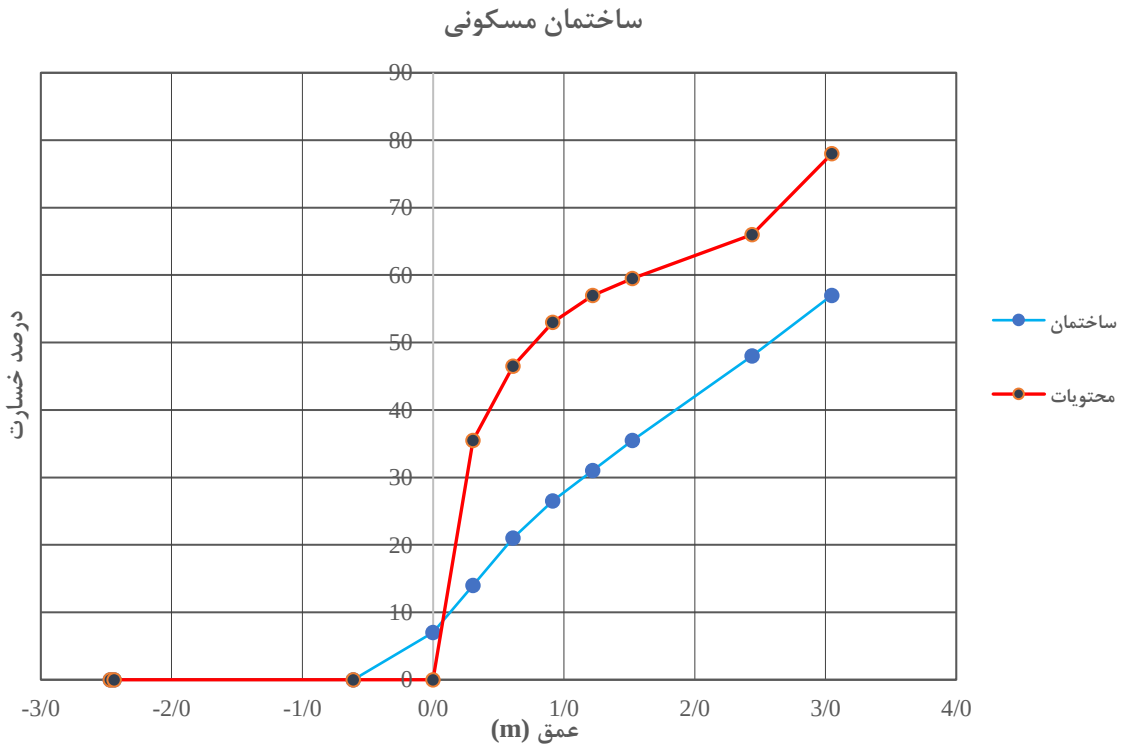
شکل (۸): کالیبره کردن ابعاد مش‌ها در مدل شبیه‌ساز هیدرولیکی



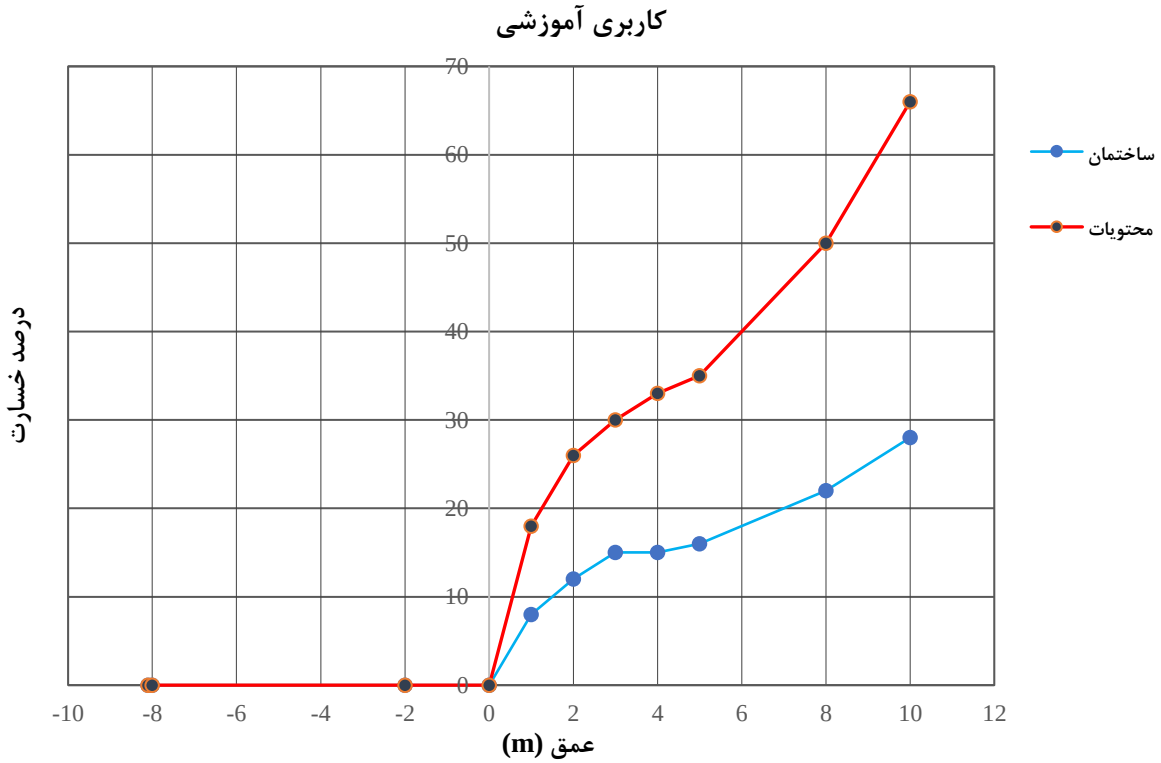
شکل (۹): هیدروگراف خروجی سیلاب برای دوره بازگشت‌های مختلف در کانال درکه

در منطقه مورد مطالعه بر اساس ارزش کاربری‌های زیر آب رفته برای محاسبه خسارت وارده بر کاربری و خسارت وارده بر محتویات، از نمودارهای عمق-خسارت که توسط سازمان بیمه فدرال آمریکا ارائه گردیده استفاده می‌شود.

همانطور که گفته شد برای برآورد میزان خسارت وارده به ساختمان‌ها و کاربری‌ها از نمودار خسارت وارده به ساختمان کاربری‌هایی که بر اساس جداول و توابع خسارت فیزیکی ارائه شده توسط بیمه فدرال ایالات متحده تهیه شده، استفاده می‌شود. در شکل(۱۰ و ۱۱) نمودار تراز-خسارت وارده بر سازه ساختمان و محتویات ساختمان برخی از کاربری‌ها (مسکونی و تجاری) نشان داده شده است که برای محاسبه خسارت، قیمت مادی و ارزش ساختمان و محتویات هر کاربری مشخص شده و در درصد خسارت وارد شده هر کاربری که عددی متفاوت می‌شود ضرب می‌شود و میزان خسارت وارده شده بر آن کاربری‌های مختلف مشخص و تعیین می‌شود

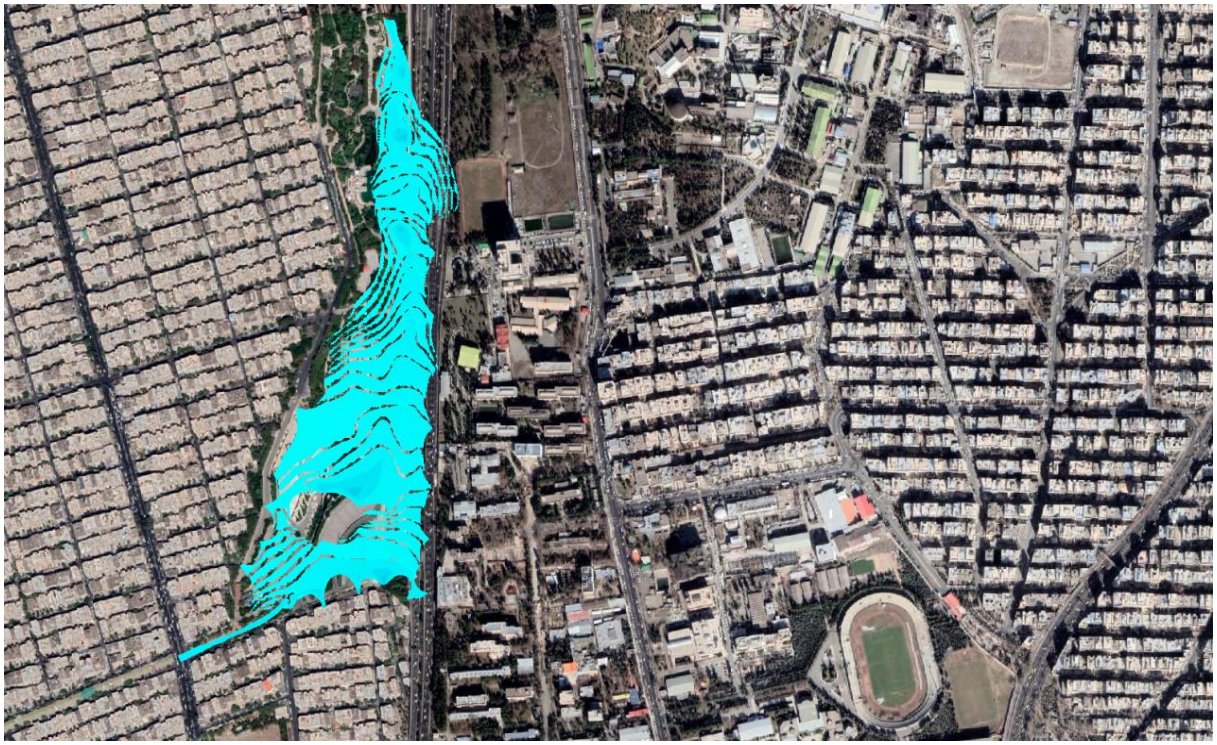


شکل (۱۰): نمودار تراز-خسارت ساختمان و محتویات ساختمان‌های مسکونی

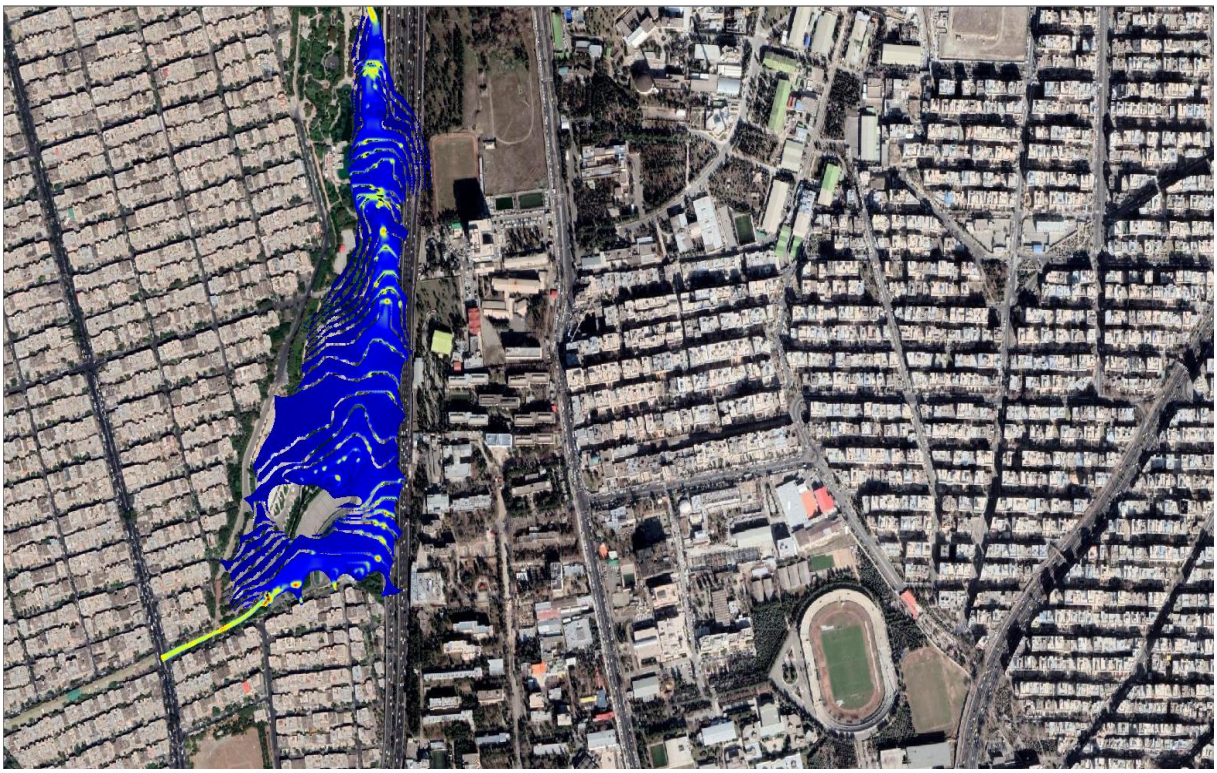


شکل (۱۱): منحنی تراز-خسارت ساختمان و محتویات کاربری آموزشی

بر این اساس با توجه به ارزش مادی هر کاربری موجود در منطقه و پهنه‌بندی سیلاب برای هر دوره بازگشت مختلف، خسارات وارد شده بر کاربری‌های موجود بدست آورده می‌شود. در شکل ۱۲، پهنه‌بندی سیلاب در کانال درکه برای دوره بازگشت ۵۰ ساله نشان داده شده است. همچنین در شکل ۱۳ نیز، پهنه‌ی سرعت جریان دوره‌بازگشت ۵۰ ساله آورده شده که با توجه به میزان مقادیر این پهنه‌بندی، حداکثر سرعت جریان عبوری سیلاب با توجه به شیب منطقه، در قسمت مرکزی کانال و در محدوده‌ی اطراف کانال بوده و دارای مقادیر در حدود ۱۵متر بر ثانیه می‌باشد و در سایر نواحی سرعت جریان دارای مقادیر کمتری می‌باشد.



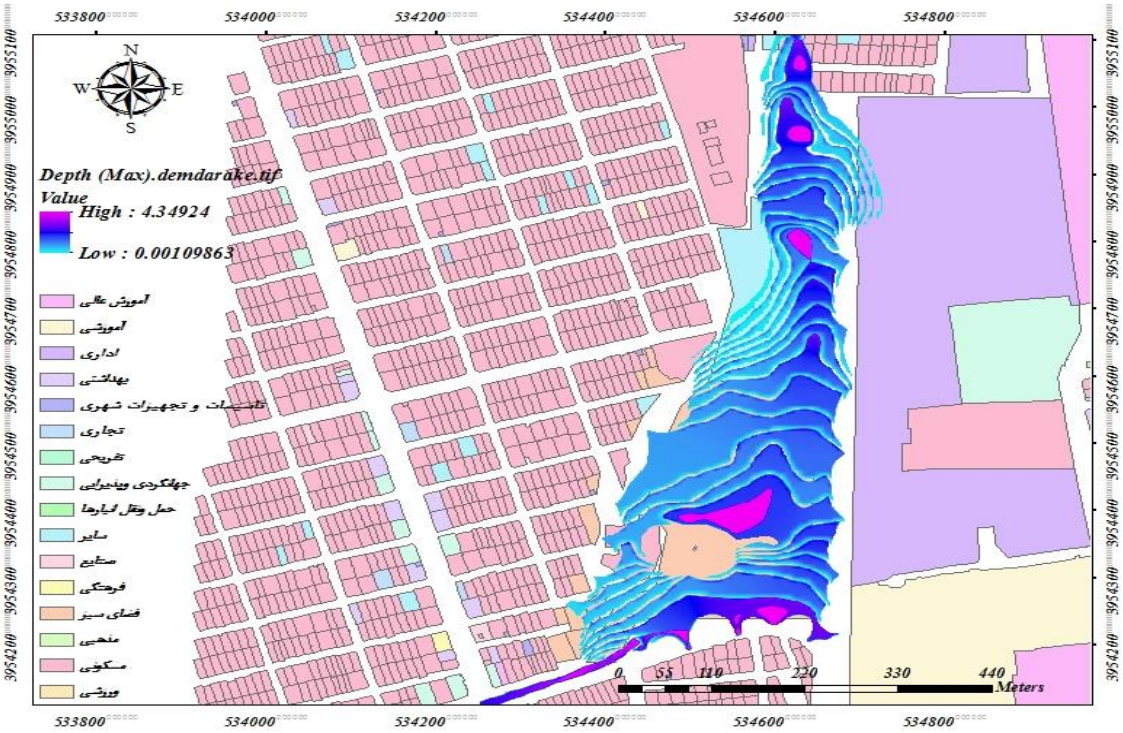
شکل (۱۲) : پهنه‌بندی عمق سیلاب در منطقه مورد مطالعه برای دوره بازگشت ۵۰ ساله



شکل (۱۳) : پهنه‌بندی سرعت جریان سیلاب در منطقه مورد مطالعه برای دوره بازگشت ۵۰ ساله

در شکل ۱۴ نیز، با استفاده از همپوشانی و روی هم انداختن نقشه‌های کاربری اراضی موجود در منطقه مورد مطالعه، با نقشه پهنه‌بندی سیلاب جریان در دوره بازگشت‌های مختلف کاربری‌های زیر آب رفته و سیلاب زده

مشخص گردید. و پس از تعیین کاربری‌ها و به تفکیک هر نوع کاربری، خسارت‌های وارده بر هر نوع کاربری زیر آب رفته (مسکونی، تجاری، اداری، تفریحی و غیره) با توجه به ارزش قیمتی هر کاربری مختلف به دست آمد. همچنین در شکل زیر مناطق و کاربری‌های موجود در منطقه مورد مطالعه و پهنه‌بندی سیلاب با دوره بازگشت ۵۰ ساله نشان داده شده است که کاربری‌های زیر آب رفته نیز مشخص می‌باشد.



شکل (۱۴) : کاربری اراضی و پهنه سیلاب ۵۰ ساله در منطقه مورد مطالعه

بحث

در مدل بهینه‌ساز چند هدفه مورد استفاده در این تحقیق متغییرهای تصمیم بدین صورت تعریف شده‌اند:

۱- در این پژوهش، ملاک را افزایش و تغییرات در ارتفاع کانال (به میزان معقول و قابل اجرا) در دیوارهای بحرانی که به علت ارتفاع کم سبب خروج آب از شبکه می‌شوند، در نظر گرفته شده است بطوریکه با بهینه‌سازی و طراحی این دیواره‌های میزان خروج آب از شبکه کمتر شده و به تبع آن میزات خسارات وارده نیز کمتر شود.

۲- متغییر بعدی در نظر گرفته شده مربوط به تغییر در میزان افزایش عرض کانال با توجه به ظرفیت و گنجایش لازم کانال برای افزایش عرض می‌باشد.

۳- از آنجایی که پل‌ها به عنوان گلوگاه‌های مهم و موثر، ممکن است مانع عبور جریان با دوره بازگشت‌های بالا شوند در نتیجه تغییرات ابعادی این پل‌ها به عنوان متغییر تصمیم بعدی در نظر گرفته شده است. زیرا در برخی مواقع ارتفاع کم پل‌های موجود در منطقه، که جهت عبور و مرور افراد یا خودروهای سواری می‌باشند، سبب افزایش احتمال خروج آب از شبکه شده و سبب خسارات فراوانی در منطقه می‌شود. بنابراین با در نظر گرفتن هزینه‌های لازم جهت افزایش ابعاد این پل‌ها یا گلوگاه‌ها، از آن‌ها می‌توان به عنوان گزینه معقول و مناسبی برای کاهش میزان خسارات وارده و کاهش حجم خروج آب از کانال استفاده کرد.

٤- با توجه به اینکه در برخی مواقع عرض پل‌ها از عرض کانال کوچکتر بوده، پهن‌تر کردن و عریض‌تر کردن ابعاد در این پل‌ها، می‌تواند ظرفیت کانال را برای عبور جریان سیلابی با

دوره بازگشت‌های مختلف را افزایش دهد.

بنابراین با توجه به متغییرهای تصمیم موجود در این پژوهش، مدل بهینه‌سازی مورد استفاده، برای دو حالت اجرا می‌گردد و جواب‌های بهینه برای این دو حالت به دست آورده می‌شود:

۱- حالت یک، در این حالت تغییرات در ارتفاع و عرض پل‌ها و گلوگاه‌ها مد نظر می‌باشد. در این حالت تعداد متغیرهای تصمیم ۱۴ متغیر می‌باشد(جدول ۵).

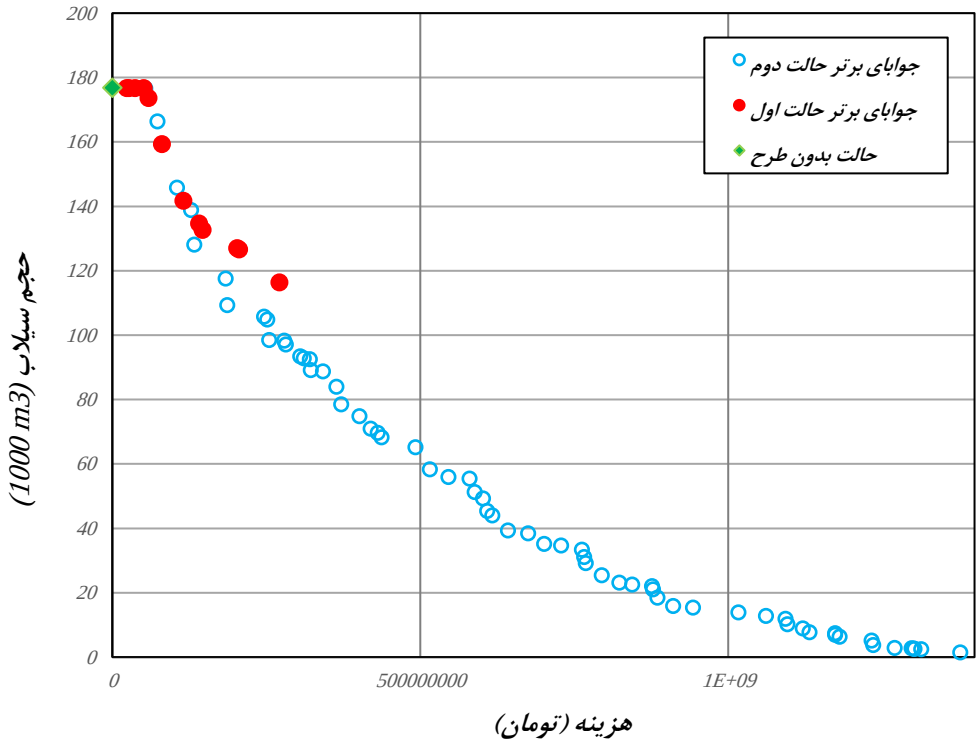
۲- حالت دوم، در این حالت تغییرات و افزایش ارتفاع برای پل‌ها و گلوگاه‌ها و همچنین تغییرات در ارتفاع دیواره‌های سیل‌بند و عریض‌تر کردن کانال عبور جریان سیلاب و پل‌ها مد نظر است. تعداد متغییرهای تصمیم در در این حالت، برابر با ۶۰ متغیر می‌باشد (جدول ۵).

جدول (۵): تعداد متغیرهای تصمیم در هر کروموزوم برای حالت‌های مختلف بهینه‌سازی

حالت Case	تعداد کانال‌ها	تعداد پل‌ها	تعداد کل متغییرهای تصمیم
۱	-	۱۴	۱۴
۲	۴۶	۱۴	۶۰

در شکل ۱۵، مجموعه جواب‌های برتر در جبهه پارتو بدست آمده از مدل بهینه‌ساز چند هدفه ژنتیک برای دو حالت گفته شده نمایش داده شده است. همانطور که از شکل مشخص است برای هر دو حالت مشاهده می‌شود که، در مجموعه جواب‌های برگزیده و برتر در جبهه پارتو، مجموعه جواب‌هایی بدست آورده شده که بطور مطلق و کاملا مشهودی نسبت به طرح اولیه (بدون در نظر گرفتن هیچگونه طراحی و تغییرات در ابعاد کانال) برترند. در دو حالت ممکن مشاهده می‌شود که بهترین عملکرد در جواب‌هاب بهینه مربوط به حالت دوم و کلی می‌باشد که در آن هر دو روش افزایش ارتفاع و پهن‌تر کردن عرض دیوارها و ابعاد پل در نظر گرفته شده است. با توجه به جواب‌های بدست آورده شده از مدل بهینه‌ساز اگر ملاک انتخاب طرح برای طراحی بهینه کانال مورد مطالعه، فقط یکی از اهداف مسأله بهینه‌سازی (مثلا کاهش خروج آب از شبکه در اثر سیلاب با دوره بازگشت ۵۰ ساله) در نظر گرفته شود، نتایج بدست آمده از دو حالت اجرا شده، نشان می‌دهد که می‌توان بر اساس مجموعه جواب‌های برتر بدست آمده از مدل بهینه‌ساز به بحث و بررسی نتایج پرداخت که با توجه به شکل، با در نظر گرفتن هر کدام از دو حالت موجود، می‌توان جواب‌های برتری و برگزیده را نسبت به حالت فعلی و موجود کانال یا بدون طرح مشخص نمود.

همچنین در شکل ۱۵، جواب برتر و برگزیده جبهه پرتو بدست آمده از الگوریتم چند هدفه بهینه ساز، که در مقایسه با حالت بدون طرح (حالت موجود و فعلی کانال عبور جریان درکه) از لحاظ کاهش خروج آب از شبکه برتری دارد، نشان می‌دهد که در حالت اول کاهش ۳۴/۲ درصدی و در حالت دوم کاهش ۱۰۰ درصدی در میزان خروج آب از شبکه زهکش عبور جریان سیلابی بدست می‌آید که برتری هر دو حالت را نسبت به حالت بدون طرح نشان می‌دهد.



شکل (۱۵): جواب‌های برگزیده و برتر الگوریتم بهینه‌سازی چند هدفه ژنتیک حاصل از دو تابع هدف

نتیجه‌گیری

الگوریتم بهینه‌سازی چند هدفه ژنتیک مورد استفاده در این پژوهش، در واقع ترکیبی از چندین مدل و روش‌های مختلف، شامل مدل بهینه‌سازی چند هدفه ژنتیک، استفاده از خروجی‌های مدل هیدرولوژیکی بارش-رواناب و مدل هیدرودینامیکی SWMM می‌باشد و همچنین استفاده از دیگر مدل هیدرولیکی شبیه‌ساز HEC-RAS که قابلیت شبیه‌سازی جریان عبوری سیلاب با هر دوره بازگشتی را داراست و نیز دارای قابلیت مدل‌سازی سازه‌های هیدرولیکی مختلف(پل‌ها، کالورت، دریچه و غیره) و دارای توانایی نمایش پهنه‌بندی‌های سیلابی در RAS MAPPER و محیط GIS را داراست و لذا می‌تواند به‌عنوان یک مدل نهایی برای تصمیم‌گیری جامع در موضوعات کنترل و مدیریت سیلاب در مناطق شهری کشور براحتی توسعه داده شده و بکار گرفته شده است.

استفاده از هرگونه طرح کنترل سیلاب برای کاهش حجم خروج آب از شبکه و کاهش خسارات ناشی از سیلاب نمی‌تواند به میزان قابل قبولی کاربردی و مفید واقع شود و خسارات سیلاب را به میزان دلخواه کاهش دهد و اثرات مثبتی داشته باشد. بنابراین استفاده از مدل‌های هیدرولیکی و هیدرولوژیکی می‌تواند نیاز مسئولین را برای کاهش خسارات سیلاب وارد شده برای یک منطقه خاص را برطرف نماید و در صورتی‌که محدودیت زمان و هزینه داشته باشند می‌تواند از الگوریتم‌های بهینه‌سازی برای رفع این مشکل استفاده کنند، به این صورت که با توجه به هزینه و بودجه موجود در کمترین زمان با متصل کردن مدل‌های شبیه‌ساز و بهینه‌ساز به جواب منطقی و معقول مورد نظر برسند و میزان خسارات وارده را به کمترین میزان ممکن برسانند.

در این پژوهش برای برطرف نمودن اهداف تحقیق (کاهش خروج آب از شبکه و کاهش خسارات سیلاب با دوره بازگشت مد نظر)، الگوریتم بهینه‌ساز در دو حالت اجرا گردید و نتایج اصلی حاصل از توسعه مدل‌های شبیه‌ساز بهینه‌ساز و روش‌های بکار رفته در تحقیق حاضر به شرح زیر بیان می‌شود:

جواب‌های بهینه بدست آمده از الگوریتم بهینه‌ساز چند هدفه ژنتیک برای دوره بازگشت ۵۰ ساله سیلاب در منطقه مورد مطالعه، برتری مطلق خود را نسبت به وضعیت موجود در منطقه و بدون طرح در کانال درکه را نشان می‌دهد.

همچنین با توجه به بازه بودجه موجود یا هزینه‌های در نظر گرفته شده برای جواب‌های موجود در جبهه پرتو فارنت با دوره بازگشت ۵۰ ساله مشاهده شد جوابی که دارای هر دو حالت بهینه‌سازی در کانال و گلوگاه‌ها یا پل‌ها (جواب‌های بدست آورده شده برای حالت دوم) است بهترین جواب برای دوره بازگشت جهت طراحی/ بهینه‌سازی سیستم زهکشی در کانال درکه می‌باشد و از نظر هدف بعدی الگوریتم بهینه‌سازی میزان کاهش خسارات سیلاب بهینه‌تر می‌شود. با توجه به نتایج بدست آمده از الگوریتم بهینه‌سازی مشاهده می‌شود که اطلاعات کاملی از کارایی و اهـمیت نسبی طــرح‌های مختلف کنترل و مدیریت سیلاب و رتبه‌بندی آن‌ها ارائه شده است و لذا بکارگیری و توسعه این روش‌های بهینه‌سازی در مطالعات آینده امری ضروری و لازم می‌باشد و پیشنهاد می‌شود از این روش‌ها برای تحقیقات آتی استفاده شود.

پیشنهادها

در این پژوهش، مدیریت و کنترل سیلاب تهران با استفاده از تلفیق مدل شبیه ساز SWMM و الگوریتم فراکاوشی NSGA_II مورد توجه قرار گرفت. پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده عوامل داخلی سامانه نظیر گرفتگی‌ها و انسـدادهای ناگهانی گلوگاه‌ها که در ایجاد خسارت موثر هستند در برآورد خسارت سیلاب مورد توجه قرار گیرد.

" هیچ گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

منابع

اکبری، خ.، مهاجری، س.ح.، مهرآیین، م.، براتی، ر.، صمدی، ا.(۱۴۰۱). تحلیل حساسیت روندیابی ماسکینگام نسبت به مدل رقومی ارتفاع با استفاده از نرم افزار HEC_HMS (مطالعه موردی : حوضه آبریز سد دز). پژوهش‌های مهندسی آب ایران، دوره۲ شماره۱، صص ۱۹-۳۱.

امینی یزدی، م و فغفور مغربی، م. (۱۴۰۲). بررسی استفاده از حوضچه تاخیری بر روی جمع آوری آب‌های سطحی به وسیله شبیه‌سازی (مطالعه موردی: کال اقبال شرقی مشهد). سامانه سطوح آبگیر باران، دوره۱۱، شماره ۲، صص ۱-۱۶.

بدیعی زاده, ا., بهره مند, ب., دهقانی, د., امیر احمد, ا.(۱۳۹۶). کالیبراسیون و ارزیابی مدل هیدرولیکی-هیدرولوژیکی SWMM به منظور شبیه سازی رواناب سطحی (مطالعه موردی: شهر گرگان). (پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز (علمی-پژوهشی, ۷(۱۴), ۱-۱۰.

حصامی, ز., دستورانی, م.ت., و رضایی, ف. (۱۴۰۲). بررسی کارایی مدل SWMM در شبیه سازی و ارزیابی ظرفیت کانال‌های شهری کلات نادری جهت عبور جریان‌های سیلابی. جغرافیا و مخاطرات محیطی.

حیدری، م.(۱۳۹۷)، "توسعه یک مدل شبیه سازی بهینه سازی برای بهسازی و تقویت سامانه جمع آوری سیلاب شهری"، هفتمین کنفرانس ملی مدیریت منابع آب ایران، یزد، دانشگاه یزد - انجمن علوم ومهندسی منابع آب ایران.

رفیعی، م.ر.، رسولی، د.، ذوالقدر، م. و مهبد، م. (۱۴۰۱). ارزیابی عملکرد مدل‌های SWMM و SewerGEMS در تحلیل سیلاب شهری جمع آوری شده توسط شبکه زهکش‌های سطحی(مطالعه موردی شهر جدید لار). نشریه مهندسی منابع آب،دوره ۱۵، شماره ۵۴، صص ۱۰۷-۱۲۴.

روستایی,ش., افتخار, ح، کرمی,ف., و نگهبان,س.(۱۴۰۱). سیر سیبرنتیک ضریب سیل‌خیزی حوضه‌های آبخیز شهری با استفاده از مدل توزیع نرمال (مطالعه موردی: حوضه آبخیز شیراز). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی, ۱۱(۳), ۲۳-۳۸.

زنجانیان,ح.(۱۴۰۱). مدلسازی کمی و کیفی رواناب شهری با بهره‌گیری از روش‌های توسعه کم اثر (مطالعه موردی: منطقه ۱۰ شهرداری تهران). مطالعات علوم محیط زیست, ۷(۱), ۴۵۲۱-۴۵۳۰.

کوهی, ح.(۱۴۰۲). بررسی اثر تغییر اقلیم بر سیلاب شهری و کاهش آسیب‌پذیری با بهره‌گیری از ابزارهای توسعه کم اثر. مدیریت جامع

حوزه‌های آبخیز, ۳(۲), ۳۰-۴۶.

کاظمی، م.ج.، خزایی، ص.(۱۳۹۵). مدل سازی زمان رسیدن آلودگی فسژن اکسیم به حداکثر میزان در رواناب (مطالعه موردی: مناطق مجاور رودخانه کن و شمال سیل برگردان غرب تهران).

کرمی,م.، اردشیر, ع.، و بهزادیان,ک.(۱۳۹۴). مدیریت خطرپذیری آبگرفتگی و آلودگی ناشی از سیلاب شهری با استفاده از راهکارهای بهینه متداول و نوین. تحقیقات منابع آب ایران, ۱۱(۳), ۱۰۰-۱۱۲.

مقدم,م.ر.، ناهید,م.، و کرکه‌آبادی,ز.(۱۴۰۰). ارزیابی خطر آبگرفتگی در سیستم‌های شهری با مدل مدیریت سیلاب؛ مطالعه موردی منطقه ۴ تهران. تحقیقات جغرافیایی, ۳۶(۴), ۴۱۹-۴۲۸.

موسسه تحقیقات آب (۱۳۹۹)، "پروژه مدیریت یکپارچه سیلاب، حوضه آبریز کن"، پژوهشکده منابع آب.

مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران. (۱۳۹۸)، "طرح جامع مدیریت آب‌های سطحی شهر تهران " گزارش ۲۳۱.

ناصح پور,م.، خزیمه نژاد,ح.، و فروتن,ا.(۱۳۹۹). ارزیابی اثرات توسعه شهری بر رواناب با استفاده از مدل SWMM (مطالعه موردی: استان قم). علوم و تکنولوژی محیط زیست, ۲۲(۱۲), ۷۹-۸۹.

یزدی، ج و صالحی نیشابوری، س.ع.ا.(۱۳۹۲)، " استخراج طرح‌های بهینه مدیریت سیلاب بادر نظرگرفتن خطر تلفات جانی به کمک الگوریتم ژنتیک دو هدفه "، مجله علمی پژوهشی عمران مدرس، دوره سیزدهم، شماره ۱.

یزدی، ج.، طالبی، شقایق. و شاه سوندی، م. (۱۴۰۲). جانمایی مخازن تعدیل سیلاب و طراحی سیستم انحراف رودخانه به منظور ایمن‌سازی سیلاب‌دشت (مطالعه موردی رودخانه گرگانرود). نشریه سد و نیروگاه برق آبی ایران، دوره۱۰، شماره۲، صص ۴۸-۶۶.

Alam, S. and Rahman, M.A. (2024). January. Inconsistent using FLOOD and Flooding Development of EPA SWMM for Assessing Flood Occurrences in Vulnerable Urban Watershed Considering Extreme Rainfall Events. In Journal of the Civil Engineering Forum (pp. 85-98).

Jun, S., Xue, L., & Jiali, Y. (2019). Evaluation of drainage capacity in old urban area of Tongshan County Based on SWMM Model. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 358, No. 2, p. 022084). IOP Publishing.

Kumar, N., Liu, X., Narayanasamydamodaran, S., & Pandey, K. K. (2021). A systematic review comparing urban flood management practices in India to China's sponge city program. Sustainability, 13(11), 6346.

Nkwunonwo, U. C., Whitworth, M., & Baily, B. (2020). A review of the current status of flood modelling for urban flood risk management in the developing countries. Scientific African, 7, e00269.

Rezende, O. M., de Oliveira, A. K. B., Jacob, A. C. P., & Miguez, M. G. (2019). A framework to introduce urban flood resilience into the design of flood control alternatives. Journal of Hydrology, 576, 478-493.

Sun, H., Dong, Y., Lai, Y., Li, X., Ge, X. and Lin, C. (2022). The Multi-Objective Optimization of Low-Impact Development Facilities in Shallow Mountainous Areas Using Genetic Algorithms. Water, 14(19), p.2986.

Taheriyoun, M., Fallahi, A., Nazari-Sharabian, M. and Fallahi, S. (2023). Optimization of best management practices to control runoff water quality in an urban watershed using a novel framework of embedding-response surface model. Journal of Hydro-environment Research, 46, pp.19-30.

Wang, L., Cui, S., Li, Y., Huang, H., Manandhar, B., Nitivattananon, V., ... & Huang, W. (2022). A review of the flood management: from flood control to flood resilience. Heliyon, 8(11).

Zhang, X., Qiao, W., Xiao, Y. and Lu, Y. (2023). Analysis of regional flooding in the urbanization expansion process based on the SWMM model. Natural Hazards, 117(2), pp.1349-1363.