Research Paper

Investigation the Effect of Low-Impact Development Methods of Rainwater Storage Barrels and Infiltration Trenches on Reducing the Peak Discharges of Urban Floods

Parisa Jazaeri[1], Ramin Fazloula[2*], Mohsen Masoudian[3], Nasrollah Javaheri[4]

[1] M.Sc., Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
[2] Associate professor, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
[3] Associate professor, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
[4] Ph.D., Pardisan Civil Water Consulting Engineers Company, Tehran, Iran

10.22125/IWE.2023.169909

Received:
October 18, 2021
Accepted:
December 13, 2021
Available online:
April 18, 2023

Keywords:
Rain Barrel, Infiltration Trench, Urban Runoff, Low-Impact Development Methods, District 2 of Tehran Municipality

Abstract

Around the world, including in Iran, urban development has led to an increase in impenetrable areas and severe flood events. The purpose of this study was to simulate the surface runoff collection network in District 2 of Tehran Municipality (Ivanak) using the computer model SWMM. Considering the current state of the urban water network, low-impact development methods have been used to reduce peak flood discharge. In this research, rain barrels, infiltration trenches, and a combination of them were used as low-impact development methods. By implementing several low-impact development (LID) techniques, peak flood discharge in the return period of 10 years for the rain barrel method (first scenario), rain barrel method (second scenario), infiltration trench method, and combined method was reduced by 22, 31, 29, and 50 percent, respectively. Accordingly, each method's cost was estimated by its volume of water storage. Considering the 10-year return period, for storage of one million liters, the costs are 20.20 billion Rials in the rain barrel method, 11.68 billion Rials in the infiltration trench method, and 14.696 billion Rials in the combined method (infiltration trench and rain barrel). According to the results, the infiltration trench method was identified as the most economical method studied in the region.

1. Introduction

With an arid and semi-arid climate, Iran has little access to freshwater. As air pollution and population growth increase, the city management needs to increase green space per capita, and this can only be accomplished through increasing water consumption. Now, because of the urgent need for water and the lack of water resources in the country to meet the water needs in agriculture and green spaces, we must think about how we can use freshwater resources in the country more effectively (Hemmati et la., 2019). Runoff from rainfall is one of these sources of freshwater. Due to Iran's desert climate, most of the precipitation is in the form of high-intensity storms and short durations; this type of precipitation produces more runoff than precipitation. As a result, urban planners, and water engineers have always been concerned about controlling

* **Corresponding Author:** Ramin Fazloula
Address: Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
Email: r.fazloula@sanru.ac.ir
Tel: 09112549150

floods in urban streets and the occurrence of life-changing, financial, and psychological effects on citizens. Therefore, after determining the quantity of runoff, it is important to determine how to use it and how to store it (Satheeshkumar et al., 2017). In developed areas, managing runoff at the source is one of the new management strategies to reduce human and financial losses. Low-impact development (LID) methods are defined as a decentralized runoff control solution; among these are Rain Barrels, Rain Gardens, Infiltration Trenches, Bioretention Cells, and Permeable Pavements (Prince George's County, 1999; Rossman, 2016); these methods promote rainwater as a resource that must be maintained (Jung-min, 2012). LID methods can be implemented as an alternative method to increase the dimensions of drainage canals to deal with floods. LID methods have been used in these studies to manage floods, for example: Kabarfard et al. (2017) in the Tabriz, Taghizadeh (2016) in Tehran's 22nd district, Izanloo and Bardi Sheikh (2017) in Bojnourd, Hashemi Monfared et al. (2018) In Darab, Mir Emadi (2019) in Golestan town of Semnan province, Movahedinia et al. (2020) in Tehran's 13th district.

2. Materials and Methods

In this study, we evaluated the efficiency of BMP-LID methods in urban runoff management in District 2 of Tehran Municipality (Ivanak) using software and modelling tools. As part of this research, the network used for surface runoff collection has been applied and evaluated. Therefore, SWMM mathematical model has been used to simulate the study area. Considering the current state of the network, LID methods have been used to reduce peak flood discharge. In this research, rain barrels, infiltration trenches, and a combination of them were used as low-impact development methods. Also, based on Tehran's comprehensive plan for surface water collection, rainfall–runoff in the model was calculated, and local rainfall patterns were determined by intensity–duration–frequency (IDF) curves and alternating blocks. In order to better understand the implementation effects of LID methods after reviewing the results of hydraulic and hydrological analyses of the study area, we also provided an economic analysis.

3. Results

In this research, rain barrels, infiltration trenches, and a combination of them were used as low-impact development methods. By implementing several low-impact development (LID) techniques, peak flood discharge in the return period of 10 years for the rain barrel method (first scenario), rain barrel method (second scenario), infiltration trench method, and combined method was reduced by 22, 31, 29, and 50 percent, respectively. Accordingly, each method's cost was estimated by its volume of water storage. Considering the 10-year return period, for storage of one million liters, the costs are 20.20 billion Rials in the rain barrel method, 11.68 billion Rials in the infiltration trench method, and 14.696 billion Rials in the combined method (infiltration trench and rain barrel).

4. Discussion and Conclusion

According to the results, the infiltration trench method was identified as the most economical method studied in the study area. Managers and decision-makers in the urban water sector may find these results useful and practical.

5. Six important references

1) Hemmati, Z., Solaimani, K., Miryaghoubzadeh, M. 2019. Application of Snowmelt Runoff Model Using MODIS Data (a case study: Tekab Watershed). Iranian Journal of Remote Sensing & GIS, 11(2), 79-92. doi: 10.52547/gisj.11.2.79
2) Jung-min L., Kyoung-hak H., Jong-soo C., Yeojin Y., Franz K. and Geronimo F. 2012. Flood reduction analysis on watershed of LID design demonstration district using SWMM5. Desalination and Water Treatment. 38(1-3):255-261.
3) Movahedinia, M., Samani, J. M. V., Barakhasi, F., Taghvaeian, S., & Stepanian, R. 2019. Simulating the effects of low impact development approaches on urban flooding: a case study from Tehran, Iran. Water Science and Technology, 80(8), 1591-1600.
4) Prince George's County. 1999. Low-impact development: An integrated design approach. Department of Environmental Resources. Programs, & Planning Division.
5) Rossman L. 2016. Storm water management model reference manual volume 1-hydrology-revised, EPA No. 600/R-15/162A, 235 pp

6) Satheeshkumar, S., Venkateswaran, S., & Kannan, R. 2017. Rainfall–runoff estimation using SCS–CN and GIS approach in the Pappiredipatti watershed of the Vaniyar sub basin, South India. Journal Modeling Earth Systems and Environment. Vol. 3. P24.

6. Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران
سال سیزدهم. شماره پنجاه و یک . بهار ۱۴۰۲

بررسی تأثیر روش‌های توسعه‌ی کم‌اثر بشکه‌ی ذخیره آب باران و ترانشه نفوذ بر کاهش مقادیر دبی اوج سیلاب‌های شهری

پریسا جزائری[۱]، رامین فضل اولی[۲*]، محسن مسعودیان[۳]، نصراله جواهری[۴]

تاریخ ارسال:۱۴۰۰/۰۷/۲۶
تاریخ پذیرش:۱۴۰۰/۱۱/۲۲

مقاله پژوهشی

چکیده

توسعه‌ی شهرنشینی در سراسر جهان، ازجمله در ایران، موجب افزایش مناطق غیرقابل نفوذ و به دنبال آن وقایع شدید سیل شده است. هدف اصلی مطالعه حاضر، شبیه‌سازی شبکه‌ی جمع‌آوری رواناب سطحی موجود در منطقه دو شهرداری تهران (ایوانک) بوده که به کمک مدل کامپیوتری SWMM مورد بررسی قرار گرفت. پس از بررسی وضع موجود شبکه، با استفاده از روش‌های توسعه‌ی کم‌اثر بشکه باران، ترانشه نفوذ و ترکیب این دو روش، آبگرفتگی معابر و نحوه‌ی تاثیر آن بر رواناب و حجم ذخیره آب بررسی شد. نتایج نشان داد که دبی اوج سیلاب نسبت به شرایط موجود و در دوره‌ی بازگشت ۱۰ سال، در روش بشکه باران (سناریوی اول) ۲۲ درصد، در روش بشکه باران (سناریوی دوم) ۳۱ درصد، در روش ترانشه نفوذ ۲۹ درصد و در روش ترکیبی ۵۰ درصد کاهش داشته است لذا به‌کارگیری هم‌زمان دو روش بشکه باران و ترانشه نفوذ در به حداقل رساندن خسارات پس از سیل با کاهش دبی اوج سیلاب، در مقایسه با به‌کارگیری جداگانه هر یک از روش‌ها، مؤثر و قابل‌توجه بوده است. همچنین جهت بررسی اقتصادی، هزینه‌ی هر روش با توجه به حجم ذخیره‌ی آب سنجیده شد. بر اساس نتایج، با در نظر گرفتن دوره‌ی بازگشت طراحی ۱۰ سال، نیاز است به ازای ذخیره‌ی هر یک میلیون لیتر، در روش بشکه باران ۲۰/۲۰ میلیارد ریال، در روش ترانشه نفوذ ۱۱/۶۸ میلیارد ریال و در روش ترکیبی (ترانشه نفوذ و بشکه باران) ۱۴/۶۹ میلیارد ریال هزینه شود. با توجه به نتایج، روش ترانشه نفوذ به عنوان اقتصادی‌ترین روش مورد مطالعه در منطقه شناسایی شد.

واژه‌های کلیدی: بشکه باران، ترانشه نفوذ، رواناب شهری، روش‌های توسعه‌ی کم‌اثر، منطقه دو شهرداری تهران.

[۱] دانشجوی کارشناسی‌ارشد مهندسی منابع آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، تلفن تماس: ۰۹۱۲۲۳۶۴۵۴۷، پست الکترونیکی: P.jazaeri@yahoo.com

[۲] دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، تلفن تماس: ۰۹۱۱۲۵۴۹۱۵۰، پست الکترونیکی: raminfazl@yahoo.com و r.fazloula@sanru.ac.ir (مسئول مکاتبه).

[۳] دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، تلفن تماس: ۰۹۱۱۲۵۸۴۸۱۸، پست الکترونیکی: mohsen_masoudian@yahoo.com

[۴] دکتری سازه‌های آبی، شرکت مهندسین مشاور آب عمران پردیسان، تهران، تلفن تماس: ۰۹۱۲۳۷۲۶۰۱۱، پست الکترونیکی: nasjavaheri@gmail.com

مقدمه

ایران با توجه به اقلیم خشک و نیمه‌خشک از آب‌های شیرین بهره‌ی کمی دارد. لذا افزایش جمعیت و افزایش آلودگی هوا، مدیران شهری را بر آن می‌دارد تا با اتخاذ تدابیر درست، سرانه فضای سبز افراد جامعه را افزایش دهند و این اقدام طبعاً منجر به افزایش مصرف آب خواهد شد. حال با توجه به نیاز مبرم به آب و همچنین کمبود منابع آب در کشور جهت تأمین نیاز آبی در کشاورزی و فضای سبز باید به فکر استفاده‌ی درست و بهینه از منابع آب شیرین کشور بود (همتی و همکاران، ۱۳۹۸). یکی از این منابع آب شیرین، رواناب حاصل از بارندگی‌ها است. اگرچه میانگین بارش در مناطقی که کمبود آب دارند پایین است، اما با توجه به اقلیم کویری ایران بیشتر بارش‌ها به صورت رگبارهای با شدت بالا و مدت کم می‌باشد. ویژگی این نوع بارش‌ها، ایجاد سیلاب، رواناب زیاد در مدت زمان کم نسبت به بارش می‌باشد (حسین زاده، ۱۳۹۴). تغییر کاربری اراضی و افزایش سطوح نفوذناپذیر شهری از عمده عوامل وقوع سیلاب‌ها به شمار می‌روند که باعث کاهش نفوذ آب در خاک، کاهش زمان تمرکز حوضه و کاهش ظرفیت تبخیر و تعرق در مناطق شهری می‌شود (Young et al., 2009). بنابراین کنترل سیلاب جهت جلوگیری از آب گرفتی معابر و جلوگیری از بروز مشکلات جانی، مالی و روانی شهروندان همواره دغدغه خاطر طراحان و برنامه‌ریزان شهری و مهندسین آب بوده است. از این‌رو لازم است پس از تعیین کمیت رواناب‌ها با استفاده از روش‌های معمول، نسبت به برنامه‌ریزی مصرف و همچنین روش‌های ذخیره‌سازی آن اقدام شود (Satheeshkumar et al., 2017).

امروزه مدیریت جمع‌آوری و هدایت رواناب در منشأ، یکی از راهکارهای مدیریتی نوین به منظور کاهش خسارات جانی و مالی در مناطق توسعه‌یافته است. روش‌های توسعهٔ کم‌اثر (LID[1]) به‌عنوان یک روش غیرمتمرکز کنترل رواناب تعریف می‌شود که از انواع آن می‌توان به روش‌های بشکه ذخیره آب باران[2]، جوی باغچه[3]، ترانشه نفوذ[4]، واحد زیست ماند بیولوژیکی[5]، سنگفرش متخلخل[6] اشاره نمود (Prince George's County, 1999). روش‌های LID با تقلید از وضعیت پیش از توسعه منطقه به کنترل رواناب معطوف می‌شوند (لطفی، ۱۳۹۷)؛ این روش‌ها موجب ارتقا آب باران به‌عنوان منبعی می‌شود که می‌بایست حفظ و نگهداری شود (Jung-min et al., 2015). به عنوان مثال هدایت آب باران در بام‌ها و حیاط منازل به باغچه‌ها باعث افزایش تغذیه آبخوان و درنهایت کاهش رواناب خروجی به معابر می‌شود. متأسفانه این روش‌ها از نظر بعضی طراحان صرفاً برای مناطق با سطوح نفوذناپذیر محدود، مورد استفاده قرار می‌گیرد (جهان‌دیده و اسدی نیلوان، ۱۳۹۷). از جمله مزایای به کار گیری این روش‌ها می‌توان به مزایای اقتصادی و محیط زیستی، تغذیه و ذخیره آب‌های زیرزمینی، افزایش مدت زمان رواناب سطحی، طولانی کردن مسیر جریان، کاهش سطوح نفوذناپذیر و زیباسازی اشاره نمود (USEPA, 2000). مطالعات نشان می‌دهند که استفاده از روش‌های LID در هر منطقه صرف‌نظر از درصد سطوح نفوذپذیر آن، به منظور کاهش خسارات ناشی از رواناب، مؤثر بوده و همچنین می‌تواند منجر به طراحی واحدهای کنترل و هدایت رواناب کوچک‌تر با هزینه کمتر و اجرای سریع‌تر در پایین‌دست شود (سعیدی و همکاران، ۱۳۹۴). همچنین، هر چه سرعت و عمق رواناب بیشتر باشد انرژی جنبشی آب و درنتیجه قدرت فرسایندگی و تخریب آن بیشتر است. قدرت فرسایش آب خالص کمتر از آب دارای مواد معلق است. اجرای روش‌های LID، می‌تواند جایگزین مناسبی به‌جای افزایش ابعاد کانال‌های زهکشی جهت مقابله با سیلاب ناشی از بارش باشد (امین جواهری و نظیف، ۱۳۹۴).

[1] Low-Impact Development
[2] Rain Barrel
[3] Rain Garden
[4] Infiltration Trenche
[5] Bioretention Cell
[6] Permeable pavement

امروزه به علت هزینه‌ی بالای بررسی‌های میدانی، ارزیابی عملکرد هیدرولیکی مجاری جمع‌آوری آب‌های سطحی شهری، به منظور کاهش مشکلات ناشی از سیلاب، توسط مدل‌های شبیه‌سازی صورت می‌گیرد. مدل SWMM[1] یکی از پرکاربردترین مدل‌های شبیه‌سازی هیدرولیکی و هیدرولوژیکی است که توسط انجمن محیط زیست آمریکا ابداع شد (Rossman, 2016). از این رو مدیریت سیلاب شهری باهدف کاهش آب‌گرفتگی با به‌کارگیری روش‌های LID و شبیه‌سازی شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی توسط مدل SWMM در مطالعات مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است. کبارفرد و همکاران (۱۳۹۷)، در کلان‌شهر تبریز بررسی نمودند که اکثر قسمت‌های شبکه شهری در سیلاب با دوره‌های بازگشت مختلف، ظرفیت لازم زهکشی رواناب را نداشته است. در روش‌های LID ترانشه نفوذ نسبت به روسازی متخلخل برای سیلاب در شرایط یکسان در حدود ۸ الی ۱۰ درصد، عملکرد بهتری را در کاهش دبی اوج رواناب خروجی از حوضه و کاهش خطر سیلاب در عین افزایش نفوذ به آب‌های زیرزمینی نشان داد و به‌عنوان موثرترین راهکار مدیریتی برای محدوده مورد مطالعه می‌تواند معرفی شود. در پژوهشی که توسط تقی‌زاده (۱۳۹۶) برای بررسی عملکرد و بهینه‌سازی جانمایی روش‌های LID در بهبود کمیت رواناب سطحی منطقه ۲۲ شهر تهران انجام شد، نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل SWMM نشان داد که مخازن نگهداشت زیستی نسبت به ترانشه‌های نفوذ و روسازی‌های نفوذپذیر، توانایی بیشتری در کاهش دبی اوج و غلظت آلاینده‌ها دارد. همچنین تأثیر روش‌های LID با افزایش دوره‌ی بازگشت، کاهش می‌یابد. ازمنظر کاهش دبی اوج، مخازن نگهداشت زیستی ۱۰ درصد بیشتر از ترانشه‌های نفوذ و ۲۱ درصد بیشتر از روسازی‌های نفوذپذیر اثرگذاری داشتند. در پژوهش دیگری توسط مظفری و کبارفرد (۱۳۹۶) در این منطقه که به بررسی تاثیر دو راهکار جوی‌باغچه و پشت‌بام سبز پرداخته است، راهکار پشت‌بام سبز با متوسط کاهش ۱۸/۲ درصد، نسبت به جوی باغچه با متوسط کاهش ۹/۷ درصد از عملکرد بهتری در کاهش اوج رواناب اوج خروجی از حوضه برخوردار است. ایزانلو و بردی شیخ (۱۳۹۷) در پژوهش خود، جهت مدیریت رواناب سطحی در شهر بجنورد، به بررسی شش روش توسعهٔ کم‌اثر و اثرات اجرایی آن‌ها پرداختند، که هر سناریو از سه جنبه‌ی هیدرولوژیکی، اجتماعی و اقتصادی بررسی شد. بعد از محاسبه‌ی هزینه هر سناریو و برآورد حجم رواناب تولیدی با کمک مدل SWMM در دوره بازگشت ۵ سال و با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره برای اولویت‌بندی این اقدامات، با تأکید بر روش وزن دهی یکسان، در حالت بهینه اجتماعی، سناریوی ترانشه نفوذ در اولویت اول قرار گرفت. همچنین با اولولیت اقتصادی و آنتروپی شانون، سناریوی مخازن آب باران انتخاب شد، و در صورتی که اولویت هیدرولوژیکی مد نظر باشد، سناریو پشت‌بام سبز پیشنهاد گردید. میرعمادی (۱۳۹۸) در شهرک گلستان استان سمنان، تأثیر اصلاح ابعاد کانال، طراحی مخزن و استفاده از روش‌های LID شامل اجرای ۱۰۰ درصد روسازی نفوذپذیر در سطح پیاده‌روها، و بشکه‌های باران در دو حالت (استفاده از ۱۰۰ درصد و ۵۰ درصد از سطح پشت‌بام) بر روی کاهش دبی اوج و حجم سیلاب در نظر گرفته شد. نتایج این پژوهش نشان داد که با استفاده از روش AHP- TOPSIS بشکه‌های باران (استفاده از ۵۰ درصد سطح پشت‌بام)، با حدود ۸۱ درصد کاهش دبی اوج سیلاب برای دوره بازگشت طراحی ۵ سال، و ۷۸ درصد کاهش دبی اوج سیلاب برای دوره بازگشت طراحی ۱۰ سال اولویت اول را در استفاده از روش‌های توسعه‌ی کم‌اثر دارد و اصلاح ابعاد کانال‌ها در آخرین اولویت قرار می‌گیرد. هاشمی منفرد و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی کفایت سیستم زهکشی موجود در مناطق شهری جهت عبور سیلاب و امکان اصلاح آن در شهرستان داراب پرداختند. در این پژوهش نیز راهکارهای LID استفاده شد. نتایج نشان داد پس از اصلاح و به‌کارگیری روش‌های توسعه‌ی کم‌اثر و مقایسه آن با وضعیت موجود در دوره بازگشت ده سال میزان اوج رواناب در زیر حوضه‌ها ۳۱ درصد و حداکثر ارتفاع آب در کانال محل خروجی به نصف تقلیل پیدا کرد. توسط مختارپور و همکاران (۱۳۹۷) بخشی از منطقه‌ی ۴ تهران را جهت ارزیابی بهترین راهکارها در مدیریت سیلاب‌های شهری

[1] Storm Water Management Model

بررسی نمودند. نتایج نشان داد که به کارگیری روش‌های LID در مدیریت رواناب شهری مؤثر است و سبب تاخیر زمان رسیدن به دبی اوج هیدروگراف می‌شود. موحدی‌نیا و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از مدل SWMM، عملکرد بخشی از شبکه کانال‌های جمع‌آوری آب سطحی منطقه ۱۳ را در دوره‌های بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ سال شبیه‌سازی نمودند. همچنین با استفاده از روش بشکه باران در دو اندازهٔ مختلف به بررسی اثر آن بر حجم سیلاب پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که به کارگیری روش‌های LID آثار منفی سیلاب‌ها را تا حدود ۴۰ درصد کاهش می‌دهد. در مطالعهٔ دیگری در همین منطقه، نشان داده شد که استفاده از واحد زیست‌ماند بیولوژیکی به تنهایی و یا به همراه بشکه باران‌ها موثرترین گزینه کاهش آبگرفتگی معابر شهری است (Movahedinia et al., 2020). در پژوهشی در شهر لانگیان چین، بیان شد که عملکرد روش‌های LID در جانمایی‌های مختلف یکسان است ولی تاثیر آن در کاهش رواناب و دبی اوج آن متفاوت است، مخصوصاً زمانی که از روش‌هایی همچون بشکه باران و سقف سبز استفاده می‌شود (Li et al., 2015). در مطالعهٔ دیگری نیز که بر تحلیل عدم قطعیت عمق آب در مجاری شبکه‌های زهکشی انجام شد، نشان داده شد که پارامترهای مربوط به زیرحوضه‌ها و بارندگی، بیشترین تاثیر را بر دبی اوج سیلاب و عدم قطعیت آن دارد (Young et al., 2009).

مواد و روش‌ها

منطقه‌ی مورد مطالعه

ناحیه مورد مطالعه در این پژوهش منطقه‌ی ایوانک در ناحیه ۷ از منطقه ۲ شهرداری تهران با مساحت تقریبی ۹۲ هکتار است که در عرض جغرافیایی "۳۵°۴۵'۵۷ تا "۴۸°۳۵'۴۵، و طول جغرافیایی "۵۱°۲۱'۴۲ تا "۲۰°۵۱'۵۱ واقع شده است. ایوانک از شمال به بلوار دادمان، از جنوب به بلوار ایوانک، از شرق به خیابان محمدرضا شجریان جنوبی (فلامک) و از غرب به اتوبان یادگار امام منتهی می‌شود. شکل ۱ محدوده‌ی منطقه‌ی مورد مطالعه را نشان می‌دهد. کاربری اراضی ناحیه‌ی مورد مطالعه مذکور غالبا مسکونی است و در برخی از مناطق فضاهای سبز و عمومی است. شیب عمومی ناحیه غالباً بین ۳ تا ۴ درصد و از جهت شمال به جنوب است. اطلاعات رقوم ارتفاعی از نقشه‌های رقومی با مقیاس ۱:۱۰۰۰ تهیه شده توسط تیم نقشه برداری شهرداری تهران در سال ۱۳۹۳ استفاده شده است. کوچه‌ها و خیابان‌های اصلی و پیاده‌روها در این منطقه سطوح نفوذناپذیر و عمدتا با پوشش آسفالت دارد. همچنین با توجه به کاربری مسکونی منطقه‌ی مورد مطالعه، خاک ناحیه در گروه هیدرولوژیکی B طبقه بندی شده است؛ این گروه خاک در صورت مرطوب بودن، پتانسیل تولید رواناب متوسطی دارد و حرکت آب بین لایه‌ای خاک به راحتی انجام می‌گیرد (مهاب قدس، ۱۳۹۰).

شکل(۱):مشخصات جغرافیایی ناحیه‌ی مورد مطالعه در این پژوهش

تهیه‌ی مدل ریاضی جمع‌آوری آب‌های سطحی

مدل SWMM، یک مدل دینامیکی شبیه‌سازی رواناب سطحی است که شبیه‌سازی واقعه‌ی بارش را به صورت کیفی و کمی در مناطق شهری امکان‌پذیر می‌سازد که واقعه‌ی رگبار را بر اساس هایتوگراف بارندگی، داده‌های ورودی هواشناسی، سیستم حوضه و شبکه‌ی زهکشی در تولید هیدروگراف خروجی شبیه سازی می‌کند و به این صورت عمل می‌کند که هیدروگراف ناشی از بارندگی بر سطح زیرحوضه‌ها را تعیین کرده و پس از آن رواناب حاصل را به صورت شبیه‌سازی مخزن غیر خطی، با استفاده از معادلات پیوستگی و مانینگ (Sin et al., 2014)، در زیرحوضه‌های کوچک و کانال‌ها روندیابی می‌کند. معادلات سنت ونانت مستخرج از معادلات بقای جرم و مومنتوم قابلیت مدل سازی هیدرولیکی جریان در مجاری روباز و لوله‌ها را امکان پذیر می‌سازد. این مدل به طور گسترده ای برای طراحی، آنالیز و برآورد هزینه احداث سیستم شبکه زهکشی در مناطق شهری به کار گرفته می‌شود (Rossman, 2010; Rossman, 2016).

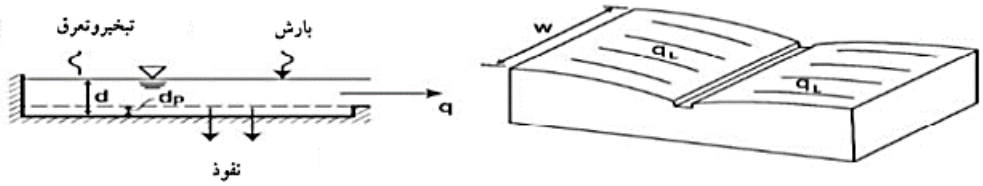
معادلۀ مخزن غیرخطی از ترکیب معادله پیوستگی و معادله مانینگ حاصل می‌شود که معادله پیوستگی در هر زیر حوضه به صورت رابطۀ (۱) تعریف می‌شود.

$$\frac{\partial dx}{\partial t} = P - E - F - q \qquad (۱)$$

در این رابطه، dx عمق آب (متر)، P شدت بارش (متر بر ثانیه)، E میزان تبخیر (متر بر ثانیه)، F میزان نفوذ (متر بر ثانیه)، و q جریان آب در هر زیرحوضه (مترمکعب بر ثانیه) است که به صورت $q = Q/A_s$ تعریف می‌شود؛ که A_s سطح زیرحوضه به مترمربع، و Q جریان خروجی از زیرحوضه است که با استفاده از معادله‌ی مانینگ، رابطه‌ی زیر بدست می‌آید.

$$Q = W.\frac{1}{n}(d - d_p)^{5/3} S^{1/2} \qquad (۲)$$

در رابطه‌ی فوق، W عرض زیرحوضه (متر)، n ضریب زبری مانینگ، dp عمق ذخیره‌ی چالابی (متر)، d عمق آب (متر)، و s شیب زیرحوضه است (شکل ۲).



شکل(۲):زیرحوضه تعریف شده در مدل SWMM

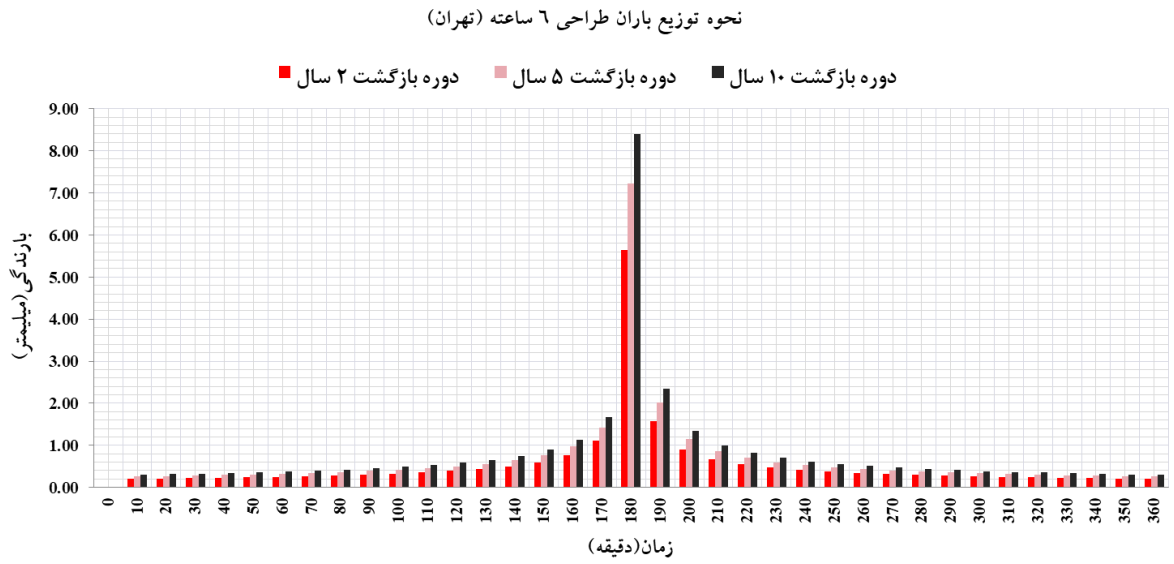
از ترکیب دو معادله‌ی پیوستگی و مانینگ، معادله‌ی مخزن غیرخطی به صورت زیر بدست می‌آید که از حل آن می‌توان مجهول d را بدست آورد. که حل این معادله توسط تکرار و تحلیل‌های عددی در مدل SWMM محاسبه می‌شود.

$$\frac{dd_x}{dt} = p - E - F - \alpha d_x^{5/3}, \qquad \alpha = \frac{WS^{1/2}}{A_s n} \tag{۳}$$

توزیع زمانی بارندگی یا نحوه تغییر شدت بارندگی در طول مدت بارش در روش‌های سنتی و رایج برآورد سیلآب‌های شهری (نظیر روش منطقی) موردنیاز نیست، لیکن برای تهیه هیدروگراف جریان‌های سطحی حوضه‌های آبریز و یا کاربرد مدل‌های ریاضی برای تبدیل بارندگی به رواناب‌های سطحی حوضه‌ها و زیرحوضه‌های شهری ضرورتاً باید تعیین یا انتخاب شود. بر اساس طرح جامع جمع‌آوری آب‌های سطحی شهر تهران برای تهیه الگوی توزیع زمانی بارش طرح، از روش بلوک‌های متناوب و منحنی‌های شدت-مدت- فراوانی (IDF[1]) بارش‌های کوتاه مدت استفاده شده است.

روش بلوک‌های متناوب به این صورت است که با استفاده از منحنی‌های IDF، میزان بارندگی در تداوم‌های تا ۶ ساعت تعیین و میزان بارش در هر گام زمانی منتخب با بلوک‌های بارش محاسبه می‌شود. سپس بزرگترین بلوک بارندگی در ساعت ۳ (نصف تداوم بارش) قرار داده شده، بلوک‌های بعدی به ترتیب بزرگی ابتدا بعد از بزرگترین بلوک و سپس قبل از آن قرار داده می‌شوند و این کار تا جایگذاری کلیه بلوک‌های بارش ادامه می‌یابد (شکل ۳). بر اساس مطالعات انجام شده روی بارش‌های شهر تهران و نتایج به دست آمده مشخص شده است که برای بارش‌های سه ساعته و طولانی‌تر، شدیدترین بخش بارندگی در اواسط بارش رخ می‌دهد. این مطلب در ساخت الگوی بارش محلی شهر تهران رعایت شده است (مهاب قدس، ۱۳۹۰). با توجه به اهمیت سیلاب در طراحی سازه‌های هیدرولیکی، به خصوص کانال‌های جمع‌آوری آب‌های سطحی، همچنین با توجه به ملاحظات شهری منطقه‌ی مورد مطالعه و بر اساس آمار موجود بارش ایستگاه‌ها، شبیه‌سازی هیدرولیکی رواناب در مدل شبیه‌سازی شده بر اساس بارش با دوره‌های بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ سال انجام شد.

[1] Intensity-Duration-Frequency



شکل(۳):توزیع زمانی بارش طراحی شش‌ساعته-تهران

پس از گردآوری اطلاعات، فرآیند مدل‌سازی هیدرولیکی-هیدرولوژیکی شبکه‌ی جمع‌آوری آب‌های سطحی منطقهٔ مورد مطالعه در نرم‌افزار SWMM انجام شد. بر اساس خیابان‌های اصلی، کوچه‌ها و ساختمان‌ها، و فضای سبز موجود، حوضه‌بندی‌های جداگانه شکل گرفت. ذکر این نکته اهمیت دارد که در حوضه‌بندی ساختمان‌های مسکونی، مساحت موثر و غیرموثر در ساختمان‌های شمالی و جنوبی، و حیاط‌های شمالی و جنوبی از یکدیگر تفکیک شده‌اند. مساحت‌های غیرموثر شامل بام ساختمان‌های شمالی و حیاط ساختمان‌های جنوبی است؛ رواناب حاصل از بام ساختمان‌های شمالی به چاه‌های جذبی تخلیه می‌شود و حیاط ساختمان‌های جنوبی نیز با معابر اصلی ارتباطی ندارد.

در این پژوهش مساحت منطقه‌ی مورد مطالعه به ۳۰۲ زیر حوضه مجزا تقسیم شد. شبکه‌ی جمع‌آوری آب‌های سطحی موجود در منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، دارای ۲۶۴ گره و ۲۶۴ مجرا یا کانال سیلابرو بوده‌است. بارش طرح شبیه‌سازی شده در این مدل (SWMM)، بارش شش ساعته با دوره‌های بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ ساله است، که به ترتیب مقدار آن ۲۰/۱۴، ۲۵/۳۰ و ۲۹/۴۸ میلی‌متر محاسبه شده است. در ادامه نیز جهت بهبود شبکه‌ی موجود، شبیه‌سازی شبکه‌ی جمع‌آوری آب‌های سطحی منطقه‌ی مورد مطالعه با استفاده از روش‌های توسعه‌ی کم‌اثر شامل بشکه باران، ترانشه نفوذ و ترکیب این دو روش، در دوره‌های بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ ساله انجام شد. همچنین قابل ذکر است که مدت زمان تحلیل جریان در این شبیه‌سازی، ۱۲ ساعت در نظر گرفته شده است. شکل ۴ مدل شبیه‌سازی شده از منطقه‌ی مورد مطالعه را نمایش می‌دهد.

شکل(۴):مدل شبیه‌سازی شده از شبکه‌ی جمع‌آوری آب‌های سطحی و زیرحوضه‌های ناحیه‌ی مورد مطالعه

روش‌های توسعه‌ی کم‌اثر

روش توسعه‌ی کم‌اثر بشکه باران

با توجه به شرایط اجتماعی و اقتصادی منطقه‌ی مورد مطالعه، همچنین فضای کاربری و در دسترس بودن تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای نصب و اجرا، از جمله روش‌های توسعه کم‌اثر، روش بشکه‌های ذخیره آب باران انتخاب شد تا بتوان با به کارگیری آن در محدوده‌ی مورد مطالعه، دبی اوج سیلاب را به نحو مطلوبی کاهش داد. روندیابی در این بشکه‌ها مانند روندیابی مخزن تعدیل سیلاب است. در مدلسازی مخزن همزمان با هر جریان ورودی، یک جریان خروجی هم وجود دارد. در این روش نخست آب باران، از سطوح پشت بام به وسیله ناودانی به سمت مخزن ذخیره آب هدایت و در آنجا ذخیره می‌شود. آب مازاد به صورت سرریز از مخزن خارج و به سطح شهر می‌رود. یعنی، در مدلسازی بشکه ذخیره هیدروگراف ورودی برای کل حجم مخزن تهیه می‌شود و هیدروگراف خروجی با کاهش حجم سیلاب و ایجاد تأخیر در نقطه اوج سیلاب به وجود می‌آید. شیر تخلیه نیز برای خروج آب اضافی نیز در این بشکه‌ها تعبیه می‌شود (Abi Aad et al., 2010). تعداد کل بشکه باران‌ها تخصیص داده شده در این پژوهش در دو سناریو در نظر گرفته شده است، سناریو اول شامل ۱۰۴۹ عدد است که به ازای هر سقف یا حیاط ۱ عدد بشکه در نظر گرفته شده است. و در سناریو دوم این مقدار به دوبرابر یعنی ۲۰۹۸ عدد افزایش یافت است. همچنین، با توجه به اندازه‌های موجود در بازار، ابعاد بشکه‌های باران به ارتفاع ۲/۰۸ متر و قطر ۱/۵۳ متر

پیشنهاد شد. محل نصب این بشکه‌ها در فضای محدود پارکینگ ساختمان‌ها و بسته به شرایط هر ساختمان در نظر گرفته می‌شود. ساخت، نصب و راه اندازی آسان، و قابلیت تعمیر و اتصال به فناوری‌های جدید از مزایای این سیستم است.

روش توسعه‌ی کم‌اثر ترانشه نفوذ

زهکش‌های خشکه‌چینی ترانشه های پر شده از سنگ می‌باشند که برای جمع‌آوری سریع و تزریق رواناب به منابع زیرزمینی از کناره‌ها، انتها و کف طراحی‌شده‌اند. این تأسیسات با توجه به اینکه از سنگ پر شده‌اند تنها ۱/۳ مقدار آبی را که یک گودال خالی می‌تواند نگه دارد، در خود جا می‌دهند و معمولاً قادر به جمع‌آوری جریان‌های کند و متوسط بسته به حجم آن‌ها می‌باشند. این روش عموماً برای مناطق با شیب کم‌کاربرد داشته مگر آنکه حجم جریان کم باشد و تنها می‌بایست در حوضه‌های بدون رسوب مانند پارک‌ها، پارکینگ‌ها، بام‌ها، پیاده‌روها و کنار جاده‌ها استفاده شوند. درعین‌حال برای پیاده‌رو و ماشین‌رو نیاز به تمهیدات خاص دارد زیرا به‌صورت پیش‌فرض برای تحمل بار طراحی نشده‌اند. رعایت فاصله ۳ متری از ساختمان و پی مجاور جهت عدم تراوش آب به زیر پی قابل‌توجه می‌باشد (Kim and Ryu, 2020). در این پژوهش با توجه به بررسی نحوه‌ی مرسوم اجرای ترانشه نفوذ در کشور، ابعاد هر ترانشه نفوذ با توجه به طول آبراهه و همچنین عرض ۶۰ سانتی‌متر، و عمق ترانشه با توجه به توصیه‌های اجرایی ۱ متر درنظر گرفته شد. به طور کل نزدیک به ۲/۶۶ هکتار از منطقه به روش ترانشه نفوذ اختصاد داده شد.

اعتبار سنجی

به دلیل ماهیت پژوهشی بودن تحقیق باید از یک روش برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل استفاده شود. متأسفانه به علت عدم وجود ایستگاه‌های ثبت سیلاب در حوضه‌ی شهری مورد مطالعه، داده‌های واقعی لازم برای انجام واسنجی در دسترس نبوده است لذا در این ارتباط، برای بررسی اعتبار مدل شبیه‌سازی شده می‌توان از روش‌های دیگر کمک گرفت. روش منطقی (استدلالی) یک روش سریع جهت برآورد دبی اوج سیلاب، تحت شرایط خاص و با حداقل داده‌های موجود در هر حوضه است (Basnet et al., 2020). در این روش، برای حوضه یک سامانه خطی با موج ورودی مستطیلی فرض می‌شود که این فرض در حوضه‌های کوچک با تقریب قابل قبولی برقرار است. همچنین فرض می‌شود که دوره بازگشت رگبار و سیلاب مولدش یکسان است و ضرایب روش استدلالی در طول بارش تغییر نمی‌کند. این روش در زیرحوضه‌های کوچک (مساحت کمتر از ۲۵۰ هکتار) قابل بررسی است و هر چه مقدار مساحت زیرحوضه‌ها افزایش یابد مقدار دبی اوج محاسباتی از مقدار واقعی فاصله می‌گیرد؛ اندازه‌ی مناسب مساحت حوضه برای روش استدلالی در برخی از منابع چند هکتار ذکر شده است و پیشنهاد می‌شود در حوضه‌های بزرگتر، آن را به زیر حوضه‌های کوچک تقسیم‌بندی کرد. با توجه به توضیحات مطرح شده و کوچک بودن مساحت حوضه‌ها در منطقه‌ی مورد مطالعه (کمتر از ۵ هکتار)، انتظار می‌رود که روش منطقی بتواند تخمین مناسبی از دبی اوج رواناب را بدست دهد (معاونت نظارت راهبردی، ۱۳۸۸). در این پژوهش با استفاده از روش منطقی حداکثر دبی رواناب هر زیرحوضه محاسبه و با نتایج حاصل از نرم‌افزار SWMM بررسی شد. جهت بررسی اعتمادپذیری مدل نیز از توابع رایج احتمالاتی که در مطالعات هیدرولوژی شهری استفاده می‌شود، مانند شاخص‌های ناش-ساتکلیف، ریشه‌ی مربع خطا، بایاس و نسبت انحراف استاندارد مشاهدات RMSE استفاده شده است، که از روابط زیر محاسبه می‌شوند.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_{si} - Q_{oi})^2}{\sum_{i=1}^{n}(Q_{oi} - Q_{av})^2} \quad (۴)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Q_{si} - Q_{oi})^2} \quad (۵)$$

$$BIAS\% = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_{si} - Q_{oi})^2}{\sum_{i=1}^{n} Q_{oi}} \quad (۶)$$

$$RSR = \frac{RMSE}{STDEV_{obs}} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(Q_{si} - Q_{oi})^2 / n}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(Q_{oi} - Q_{av})^2}} \quad (۷)$$

در روابط فوق، Q_{oi} داده مشاهداتی، Q_{si} داده شبیه سازی شده، Q_{av} میانگین داده مشاهداتی و n تعداده داده است.

با توجه به تحلیل توابع احتمال فوق، حدود بازه‌های پیشنهادی برای هر شاخص جهت بررسی اعتمادپذیری بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در جدول ۱ گزارش شده است.

جدول(۱):بررسی هر شاخص عملکردی جهت بررسی اعتمادپذیری (Masseroni et al., 2016؛ Hossein et al., 2019؛ Singh et al., 2007)

شاخص	حدود بازه هر شاخص جهت بررسی اعتمادپذیری بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده
NSE[1]	اگر مقدار NSE برابر یک باشد، تناسب کاملی بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده وجود دارد. اگر NSE بین ۰/۷۵ و ۰/۶۵ باشد، نتایج شبیه‌سازی اعتمادپذیری خوبی دارد. و اگر NSE بین ۰/۵ و ۰/۶۵ باشد، نتایج مدلسازی قابل قبول است. مقدار NSE صفر نیز نشان می‌دهد که مدل توانایی پیش‌بینی داده‌های مشاهداتی را ندارد.
RMSE[2]	در استفاده از RMSE که مقدار آن از ۰ تا بینهایت تغییر می‌کند، هر چه مقدار گزارش‌شده کمتر باشد به این معنی است که مدل از نتایج بهتری برخوردار است.
BIAS	در محاسبه درصد بایاس (BIAS) نیز خطای کل در حجم جریان منظور می‌شود. مقدار مثبت و منفی ضریب نشان‌دهنده‌ی بیشتر یا کمتر بودن حجم جریان شبیه‌سازی شده توسط مدل نسبت به جریان مشاهداتی است.
RSR[3]	شاخص RSR نیز هر چه مقدار کمتری داشته باشد، اعتمادپذیری داده‌ها در آن بالاتر است. اگر RSR کمتر از ۰/۵ باشد، تناسب بین داده‌ها عالی است و اگر RSR کمتر از ۰/۷ باشد، نتایج کاملاً قابل قبول است.

بررسی و تحلیل اقتصادی

پس از بررسی نتایج حاصل از تحلیل هیدرولیکی و هیدرولوژیکی منطقه‌ی مورد نظر، لازم است به منظور آگاهی از تاثیرات اجرایی روش‌های توسعه‌ی کم‌اثر و ارائه توجیه اقتصادی مبتنی بر توسعه‌ی پایدار وضع موجود در منطقه، به مدیران و مسئولین برای تصمیم‌گیری مناسب در شرایط وقوع سیلاب شهری، آبگرفتگی معابر، کنترل سیلاب، و کاهش دبی اوج سیلاب، تحلیل اقتصادی ارائه شود.

هزینه‌ی اجرای بشکه باران در منطقه‌ی مورد مطالعه

اندازه بشکه‌ها و تعداد آن‌ها بر اساس نظر کارشناس و موجود بودن تأسیسات در بازار تعیین می‌شود و محل نصب بشکه‌ها هم در پارکینگ و حیاط بر اساس ملاحظات اقتصادی، اجتماعی و اجرایی تعیین می‌شود. برآورد هزینه‌های این سناریو بر این اساس می‌باشد که هزینه‌های تهیه بشکه‌ها و تأسیسات لازم دیگر به همراه اجرت نصب آن‌ها محاسبه می‌شود لذا هزینه‌ی اجرای هر بشکه باران با توجه به هزینه‌ی آن در بازار تعیین می‌شود و در این زمینه فهرست‌بهایی تهیه نشده است. به دلیل شرایط هر یک از ساختمان‌ها هزینه اجرا و تعداد بشکه متفاوت است. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته در این تحقیق، هزینه‌های مربوط به خرید و اجرای بشکه‌های باران، در جدول ۲ گزارش شده است. با توجه به جدول مذکور هزینه‌ی تهیه، نصب و اجرای هر بشکه باران معادل ۵۹/۹۲۰ میلیون ریال برآورد شد.

[1] Nash–Sutcliffe Model Efficiency Coefficient
[2] Root Mean Square Error
[3] The RMSE-Observations Standard Deviation Ratio

جدول(۲):هزینه‌های مربوط به اجرای بشکه باران در منطقه‌ی مورد مطالعه با توجه به قیمت بازار

موارد هزینه	واحد	قیمت واحد (ریال)	قیمت کل (میلیارد ریال)
هر واحد بشکه باران ۳۰۰۰ لیتری سه لایه و از جنس پلی اتیلن (قطر ۱۵۳ و ارتفاع ۲۰۸ سانتی متری)	تعداد	۵۷۹۲۰۰۰۰	۶۰/۷۵
هزینه‌ی نصب، اجرا و حمل و نقل	تعداد	۲۰۰۰۰۰۰	۲/۱

هزینـه‌ی اجرای ترانشـــه نفوذ در منطقـه‌ی مورد مطالعه

در سناریو روش ترانشه نفوذ نیز مانند روش قبلی باید تمام هزینه‌های مصالح (شن، ماسه، آجر و غیر) و هزینه‌های اجرا (طراحی، کارگر، حمل‌ونقل و غیر) را برای اجرای روش ترانشه نفوذ، محاسبه نمود. بر اساس فهرست بهای واحد پایه‌ی رشته آبیاری و زهکشی سال ۱۴۰۰، که توسط سازمان برنامه و بودجه کشور ارائه شده است، عملیات لوله‌گذاری زهکش‌ها و جمع‌کننده‌های زیر زمینی، شامل چند قسمت است: ۱- تمیز کردن و تسطیح مسیر ترانشه‌ی زهکش در حریم مورد نیاز، ۲- حفر ترانشه در هر نوع زمین (به استثنای زمین‌های لجنی)، با عمق و عرض ترانشه مشخص شده، ۳- تخلیه و استقرار کلاف لوله‌های خرطومی و نصب آن در داخل ترانشه (برای زهکش‌ها تا قطر ۲۰۰ میلی متر)، ۴- حفاظت داخل لوله از ورود هر گونه مواد خارجی، ۵- ریختن و پخش مصالح فیلتر دانه‌بندی شده طبق مشخصات، ۶- خاکریزی با خاک‌های حاصل از عملیات حفاری در مرحله اول تا ارتفاع ۳۰ سانتی متر روی لوله‌ها، به منظور جلوگیری از جابه جا شدن لوله‌های زهکش و خاکریزی مجدد تا تراز مورد نظر و انتقال خاک‌های اضافی و ۷- آزمایش و شستشو و رفع گرفتگی احتمالی داخل لوله و سایر عملیات مورد لزوم. در بررسی بهای موارد ذکر شده هزینه‌ی تهیه مصالح، به همراه مصالح فیلتر و لوله‌های زهکش منظور شده است. هزینه‌ی تهیه مصالح فیلتر، بر اساس حمل مصالح فیلتر تا فاصله ۱ کیلومتر پیش‌بینی شده است؛ لذا برای فواصل مازاد بر ۱ کیلومتر، بهای موارد یاد شده تغییر خواهد کرد. هزینه‌ی حمل لوله‌های زهکش از محل تحویل (کارخانه ساخت یا انبار مرکزی کارفرما) تا مرکز نقل کارگاه، تا فاصله ۳۰ کیلومتر، شامل بارگیری، حمل، باراندازی و ریسه کردن به پای کار، منظور شده است. حمل مازاد بر ۳۰ کیلومتر جداگانه باید لحاظ شود. قابل ذکر است که در این پژوهش از ترانشه نفوذ استفاده می‌شود و نیازی به انتقال آب از طریق لوله‌های زهکش نیست، از هزینه‌های مربوط به لوله‌های زهکش صرف‌نظر می‌شود. همچنین فاصلهٔ حمل مصالح توسط ماشین‌آلات ۱۰ کیلومتر در نظر گرفته شده است. در اجرای عملیات با عمق‌های بیش از ۴ متر، هزینه‌های مربوط به سختی کار در نظر گرفته می‌شود و اضافه پرداخت دیگری صورت خواهد گرفت (سازمان برنامه و بودجه، ۱۴۰۰).

ترانشه‌های نفوذ طراحی شده در این مطالعه با توجه به زیرحوضه‌ها از طول و مساحت اجرای متفاوتی برخوردار هستند. لذا در بررسی‌های صورت گرفته نسبت به اجرای هر واحد طول از ترانشه نفوذ، هزینه‌های مربوط به آن در جدول ۳ گزارش شده است. ترانشه نفوذ در نظر گرفته شده در این پژوهش ترانشه‌ای با عرض ۶۰ سانتی‌متر، طول متغیر و وابسته به آبراهه هر زیرحوضه و عمق یک متر است.

جدول(۳):هزینه‌های مربوط به اجرای ترانشه نفوذ در منطقه‌ی مورد مطالعه (سازمان برنامه و بودجه، ۱۴۰۰).

موارد هزینه	واحد	قیمت واحد (ریال)	قیمت کل (میلیارد ریال)
تهیه و حمل مصالح قشر فیلتر دانه‌بندی شده (تا فاصلهٔ یک کیلومتر) برای مصرف در ترانشه زهکش‌ها و ابنیه فنی هیدرولیکی	متر طول	۷۴۳۵۰۰	۳۲/۹۸
اضافه بهای حمل مصالح زهکش	مترمکعب - کیلومتر	۹۱۸۰	۲/۱۹
پی‌کنی در زمین‌های خاکی تا عمق ۲ متر با هر وسیله و ریختن خاک‌های کنده شده به کنار محل‌های مربوط.	مترمکعب	۳۳۹۵۰۰	۹/۰۳
ریختن، پخش و تسطیح مصالح فیلتر دانه‌بندی شده با رگلاژ مناسب، در محل‌های تعیین شده.	مترمکعب	۱۰۲۵۰۰	۲/۷۲
ریختن خاک‌های حاصل از هر نوع عملیات خاکی به داخل پی‌ها، کنار ابنیه فنی هیدرولیکی، و روی لوله‌ها، در هر عمق و در لایه‌های حداکثر ۱۵ سانتی‌متری و تسطیح لازم	متر مکعب	۱۱۱۵۰۰	۲/۹۶
بارگیری مواد حاصل از عملیات خاکی یا خاک‌های توده‌شده وتخلیهٔ آن (صرفاً برای یکبار) تا فاصلهٔ یک کیلومتر	مترمکعب	۷۰۰۰۰	۱/۸۶
اضافه بهای حمل مصالح خاکبرداری	مترمکعب - کیلومتر	۹۱۸۰	۲/۱۹

نتایج و بحث

در این پژوهش مساحت محیط به منطقه‌ی مورد مطالعه به ۳۰۲ زیر حوضه مجزا تقسیم شد. شبکه‌ی جمع‌آوری آب‌های سطحی موجود، شامل مجاری سرپوشیده و کانال‌های روباز، به ۲۶۴ گره و ۲۶۴ مجرا یا کانال سیلابرو است. شبیه‌سازی هیدرولوژیکی و هیدرولیکی شبکه زهکشی منطقه مورد مطالعه با مدل ریاضی SWMM انجام شد. بارش طرح شبیه‌سازی شده در این مدل، بارش ۶ ساعته با دوره‌های بازگشت ۵، ۲ و ۱۰ ساله است، که به ترتیب مقدار آن ۲۰/۱۴، ۲۵/۳۰ و ۲۹/۴۸ میلی‌متر محاسبه شده است. در ادامه نیز جهت بهبود شبکه‌ی موجود، شبیه‌سازی شبکه‌ی جمع‌آوری آب‌های سطحی منطقه‌ی مورد مطالعه با استفاده از روش‌های توسعه‌ی کم‌اثر شامل بشکه باران، ترانشه نفوذ، و ترکیب این دور روش و در دوره‌های بارش با بازگشت مذکور بررسی و انجام شد. همچنین قابل ذکر است که مدت زمان تحلیل جریان در این شبیه‌سازی، ۱۲ ساعت در نظر گرفته شده است.

به علت نبود ایستگاه‌های ثبت سیلاب در حوضه‌ها شهری، داده‌های مشاهداتی لازم برای انجام واسنجی در این پژوهش در دسترس نبوده است. لذا با توجه به اهمیت پژوهشی بودن و لزوم بررسی صحت مدلسازی انجام گرفته در نرم‌افزار SWMM، با استفاده از روش استدلالی (منطقی)، حداکثر دبی رواناب هر زیرحوضه به صورت جداگانه بدست آورده شد و با نتایج حاصل از حداکثر دبی رواناب محاسبه شده از طریق مدل SWMM مقایسه شد. بنابراین با توجه به دو مقدار بدست آمده از روش دستی و روش کامپیوتری مبتنی بر مدل SWMM، برای هر زیر حوضه دو بُعد (بعد اول دبی اوج رواناب حاصل از روش منطقی، و بعد دوم دبی اوجی شبیه‌سازی شده توسط SWMM) شکل می‌گیرد. جهت بررسی قابل قبول بودن نتایج این دو روش نسبت به یکدیگر، لازم است که بررسی تناسب بین داده‌های این دو روش از طریق توابع احتمال مطالعات هیدرولوژی شهری، مانند شاخص ناش-ساتکلیف (NSE)، ریشه‌ی مربع خطا (RMSe)، بایاس (Bias)، و RSR استفاده شود. نتایج مربوط به هر دوره‌ی بازگشت در جدول ۱ ارائه شده است. نتایج بدست آمده، طبق توصیه مراجع (Masseroni et al., 2016؛ Hossein et al., 2019؛ Singh et al., 2007) همان‌طور که در بخش (۲-

۴) شرح داده شده است، همگی در بازه‌ی قابل قبول عملکردی هستند.

جدول(۴):بررسی شاخص عملکردی مدل SWMM با توجه به نتایج حاصل از روش منطقی

شاخص	بارش ۲ ساله	بارش ۵ ساله	بارش ۱۰ ساله
RMSE	۵/۵۵۸	۷/۰۰۸	۸/۲۲۹
NSE	۰/۶۵۴	۰/۶۶۳	۰/۶۵۸
Bias	۱/۹۸۵	۲/۴۶۹	۲/۹۹۲
RSR	۰/۵۸۷	۰/۵۷۹	۰/۵۸۳

بررسی وضع موجود شبکه‌ی جمع‌آوری سطحی در منطقه‌ی مورد مطالعه

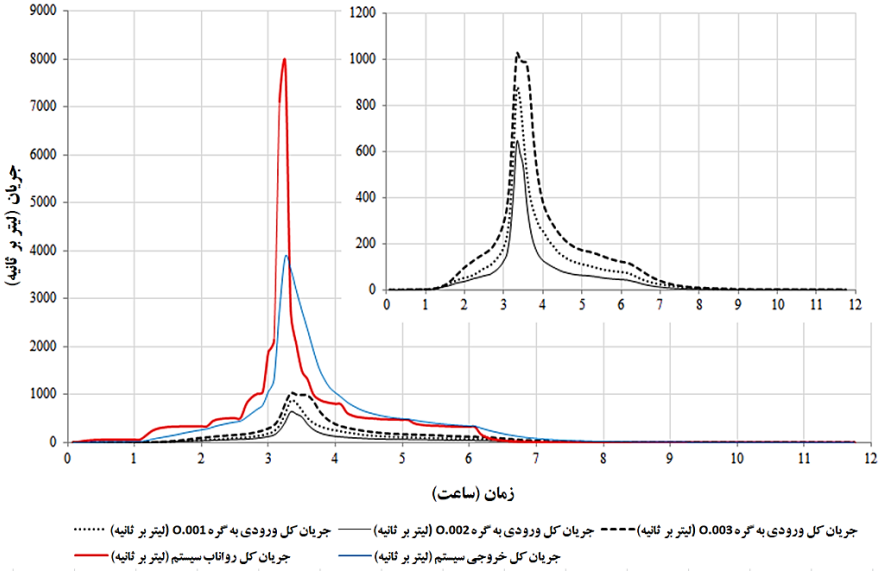
شبیه‌سازی هیدرولیکی و هیدرولوژیکی منطقه درشرایط موجود نشان می‌دهد که در زمان وقوع سیلاب با دوره برگشت ۲ ساله، به علت اضافه بار هیدرولیکی، حدود ۱۰ درصد از گره‌ها، غالباً در زمان اوج سیلاب (ساعت ۰۳:۱۵) دچار آبگرفتگی شده و از این جهت شبکه در عبور کل سیلاب ضعف دارد. در دوره‌ی بازگشت ۵ سال، وضعیت عبور سیلاب نسبت به دوره‌ی بازگشت ۲ ساله، شرایط نامناسبتری را تجربه می‌کند به نحوی که حدود ۱۱/۴ درصد از محل‌های عبور سیلاب دچار آبگرفتگی می‌شود. همچنین درصد آب‌گرفتگی‌ها در دوره‌ی بازگشت ۱۰ ساله، به حدود ۱۴/۴ درصد افزایش پیدا می‌کند. این امر موجب اختلال در عبور و مرور، نارضایتی مردم، آلودگی سطح و از بین رفتن زیبایی معابر اصلی می‌شود.

به منظور ارزیابی کامل از پتانسیل آسیب پذیری شبکه، نتایج نشان می‌دهد که حجم روانابی که از گره‌ها خارج می‌شود با توجه به دوره بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ سال به ترتیب برابر است با ۰/۱۱۶، ۰/۵۱۳، و ۰/۹۱۹ میلیون‌لیتر است. لذا باید سعی شود وضعیت عبور سیلاب در بارش‌های مختلف بهبود یابد و کمترین هدررفت آب حاصل شود.

با بررسی شرایط موجود در بارش ۲ ساله، حجم کل رواناب حاصل ۱۰/۳۲ میلیون لیتر است، که با مقدار اوج ۵/۲۰ هزار لیتر بر ثانیه اتفاق می‌افتد. از این مقدار رواناب، حدود ۷/۲۹ میلیون لیتر از سه خروجی اصلی شبکه‌ی زهکش به سمت آبراهه اصلی هدایت می‌شوند. ۲/۸۸ میلیون لیتر از دیگر خروجی‌های شبکه به سمت آبخان‌های زیرزمینی و چاه‌های جذبی هدایت می‌شوند که درون فضاهای سبز قرار دارند. همچنین رواناب حاصل از بارش با دوره بازگشت طراحی ۵ سال، ۱۳/۵۳ میلیون لیتر، و رواناب حاصل از بارش با دوره بازگشت طراحی ۱۰ سال، ۱۶/۱۵ است که به ترتیب نسبت به بارش با دوره‌ی بازگشت ۲ سال، ۲۹ و ۵۵ درصد افزایش داشته است. مقایسه بین اطلاعات حاصل از مدل شبیه‌سازی شده در شرایط موجود در جدول ۵ ارائه شده است. در شکل ۵ نیز بعنوان نمونه هیدروگراف‌های حاصل شده از مدل شبیه‌ساز SWMM (مربوط به دوره بازگشت ۱۰ سال)، دیده می‌شود. در این شکل، هیدروگراف ورودی به سیستم (رواناب) و هیدروگراف خروجی سیستم، به انضمام هیدروگراف سه خروجی اصلی آبراهه (O.001، O.002، O.003) که در پایین دست شبکه قرار دارد، مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. لازم به ذکر است که حجم کل رواناب ایجاد شده، به کانال‌های جمع‌آوری هدایت نمی‌شود و بخشی از آن به سمت چاه‌های جذبی تعبیه شده در منطقه هدایت می‌شود.

جدول(۵):مقایسه حجم رواناب و خروجی‌های حاصل از شرایط موجود به ازای دوره بازگشت‌های طراحی شده

دوره‌ی بازگشت طراحی	حجم کل رواناب (میلیون لیتر)	دبی اوج رواناب (هزار لیتر بر ثانیه)	حجم کل خروجی (میلیون لیتر)	دبی اوج خروجی (هزار لیتر بر ثانیه)	حجم خروجی کانال‌ها (میلیون لیتر)
۲ ساله	۱۰/۳۲	۵/۲۰	۱۰/۱۷	۲/۳۰	۷/۲۹
۵ ساله	۱۳/۵۳	۶/۷۲	۱۲/۹۹	۳/۲۳	۹/۱۵
۱۰ ساله	۱۶/۱۵	۷/۹۳	۱۵/۲۰	۳/۸۷	۱۰/۵۷



شکل(۵):هیدروگراف‌های حاصل از شرایط موجود شبکه، مربوط به بارش با دوره بازگشت طراحی ۱۰ سال

بررسی وضع موجود با به کار گیری روش توسعه‌ی کم‌اثر- بشکه باران

سناریو اول بشکه باران

در این مرحله، با توجه به بررسی تاثیر بشکه باران به عنوان یک روش توسعه‌ی کم‌اثر، به ازای هر سقف و یا حیاط موجود (مساحت موثر رواناب) در منطقه‌ی مورد مطالعه، یک بشکه باران (مخزن آب) در نظر گرفته شد. ابعاد بشکه باران مذکور با توجه به موجودیت بازار به ارتفاع ۲/۰۸ متر و قطر ۱/۵۳ متر انتخاب و مدلسازی شد. تعداد کل بشکه باران‌ها تخصیص داده شده نیز شامل ۱۰۴۹ عدد است.

نتایج مدلسازی در سناریو بکار گرفته شده از بشکه باران با دوره بازگشت ۲ سال نشان می‌دهد که تعداد محل‌های آبگرفتگی حدود ۱/۵۲ درصد است که نسبت به شرایط موجود حدوداً ۸۵ درصد کاهش داشته است. همچنین با بررسی دوره بازگشت ۵ سال، محل‌های آب‌گرفتگی حدود ۵/۳ درصد مشاهده شده است که کاهش ۵۶ درصدی را نسبت به شرایط موجود گزارش می‌دهد. در احتمال وقوع سیلاب با بازگشت ۱۰ ساله نیز، تعداد محل‌های آبگرفتگی حدوداً ۸/۳ درصد بدست آمد؛ یعنی کاهش حدوداً ۴۳ درصدی نسبت به شرایط موجود. توجه به این نتایج، رواناب خارج شده از گره‌ها با توجه به دروه بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ سال به ترتیب برابر است با ۰/۰۰۵، ۰/۰۶۸، و ۰/۲۷۲

میلیون‌لیتر است. بنابراین با استناد به نتایج بدست آمده می‌توان بهبود شرایط موجود شبکه را از طریق روش توسعه‌ی کم‌اثر بشکه‌ی باران، بسیار موثر دانست. کل رواناب حاصل از این بارش ۲ ساله ۷/۸۳ میلیون لیتر است. از این مقدار رواناب، حدود ۵/۲۵ میلیون لیتر از سه خروجی اصلی شبکه‌ی زهکش به سمت آبراهه اصلی هدایت می‌شوند. نتایج موید آن است که نسبت به شرایط موجود (کل رواناب با ۱۰/۳۲ میلیون لیتر)، کل رواناب جاری شده حدود ۲۵ درصد کاهش داشته است. یا به عبارتی ۲/۵ میلیون لیتر، در بارش با دوره‌ی بازگشت ۲ سال، در بشکه‌های باران ذخیره شده است. به عبارت دیگر از ظرفیت ۴ میلیون لیتری بشکه‌های باران نصب شده حدود ۶۳ درصد استفاده شده است. همچنین، رواناب حاصل از بارش با دوره بازگشت طراحی ۵ سال، ۱۰/۶۹ میلیون لیتر، و رواناب حاصل از بارش با دوره بازگشت طراجی ۱۰ سال، ۱۳/۰۴ میلیون لیتراست که به ترتیب نسبت به بارش با دوره‌ی بازگشت ۲ سال، ۳۶ و ۶۶ درصد افزایش داشته است. نتایج حاصل از تاثیر بشکه باران‌ها بر رواناب جاری در منطقه و به ازای هر دوره‌ی بازگشت در جدول ۶ به تفصیل ارائه شده است.

جدول(۶):مقایسه حجم رواناب و خروجی‌های حاصل از اعمال بشکه باران (سناریو اول)، به ازای دوره بازگشت‌های طراحی شده

دوره‌ی بازگشت طراحی	حجم کل رواناب (میلیون لیتر)	دبی اوج رواناب (هزار لیتر بر ثانیه)	حجم کل خروجی (میلیون لیتر)	دبی اوج خروجی (هزار لیتر بر ثانیه)	حجم خروجی کانال‌ها (میلیون لیتر)
۲ ساله	۷/۸۳	۳/۵۹	۷/۸۰	۱/۶۴	۵/۲۵
۵ ساله	۱۰/۶۹	۴/۸۸	۱۰/۶۰	۲/۴۷	۷/۱۰
۱۰ ساله	۱۳/۰۴	۶/۲۴	۱۲/۷۴	۳/۱۳	۸/۴۸

با توجه به نتایج بدست آمده در تمامی حالات پس از اعمال روش توسعه‌ی کم‌اثر بشکه باران دبی اوج رواناب به طول قابل ملاحظه‌ای نسبت به شرایط موجود کاهش پیدا کرده است. در دوره‌ی بازگشت با طراحی ۵ سال، کل رواناب جاری شده نسبت به شرایط موجود (حجم کل رواناب ۱۳/۵۳ میلیون لیتر)، حدود ۲۱ درصد کاهش داشته است. و در در دوره‌ی بازگشت با طراحی ۱۰ سال، کل رواناب جاری شده نسبت به شرایط موجود (حجم کل رواناب ۱۶/۱۵ میلیون لیتر)، حدود ۲۰ درصد کاهش داشته است. بدیهی است که این کاهش حجم توسط تغذیه بشکه باران‌ها صورت گرفته است. همچنین حجم خروجی کانال‌های اصلی در دوره بازگشت‌های ۲، ۵ و ۱۰ سال نسبت به شرایط موجود به ترتیب ۲۸، ۲۳ و ۲۰ درصد کاهش داشته است.

سناریو دوم بشکه باران

نتایج مدلسازی در سناریو بکار گرفته شده از سناریو دوم بشکه باران با دوره بازگشت ۲ سال نشان می‌دهد که تعداد محل‌های آبگرفتگی حدود ۱/۵۲ درصد؛ در دوره بازگشت ۵ سال، حدود ۵/۳ درصد؛ و در احتمال وقوع سیلاب با بازگشت۱۰ ساله نیز، حدوداً ۷/۲ درصد بدست آمده است. با توجه به این نتایج و بررسی کل حجم رواناب، رواناب خارج شده از گره‌ها با توجه به دروه بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ سال به ترتیب برابر است با ۰/۰۰۵، ۰/۰۶۸، و ۰/۱۳۶ درصد با توجه به حجم رواناب ورودی بدست آمد، و حجم رواناب در سناریو دوم نسبت به سناریو اول کاهش داشته است که در ادامه بررسی می‌شود. نتایج بدست آمده شرایط بسیار مشابهی را نسبت به سناریو اول بشکه باران نشان می‌دهد.

در این سناریو کل رواناب حاصل از بارش ۲ ساله ۶/۹۴ میلیون لیتر شبیه‌سازی شد؛ یعنی کاهش ۰/۹ میلیون لیتری نسبت به سناریو اول بشکه باران (با حجم رواناب ۷/۸۳ میلیون لیتری)، و کاهش ۳۲ درصدی نسبت به رواناب حالت موجود شبکه (۱۰/۳۲ میلیون لیتر). که از این مقدار حدود ۴/۵۹ میلیون لیتر از سه خروجی اصلی شبکه‌ی زهکش به سمت آبراهه اصلی هدایت می‌شوند. رواناب حاصل از بارش با دوره بازگشت طراحی ۵ سال، ۹/۵۵ میلیون لیتر، و رواناب حاصل از بارش با دوره بازگشت طراجی ۱۰ سال، ۱۱/۸۱ میلیون‌لیتر بدست آمد؛ که نسبت به سناریو اول و با توجه به بارش با دوره بازگشت ۵ و ۱۰ سال، به ترتیب حدود ۱۱ و ۱۰ درصد کاهش

داشته است. حجم خروجی کانال‌های اصلی در دوره بازگشت‌های ۲، ۵ و ۱۰ سال نیز نسبت به سناریو اول به ترتیب ۱۲، ۱۱ و ۹ درصد کاهش داشته است. نتایج حاصل از تاثیر بشکه باران‌ها بر رواناب جاری در منطقه و به ازای هر دوره‌ی بازگشت در جدول ۷ به تفصیل ارائه شده است.

جدول(۷):مقایسه حجم رواناب و خروجی‌های حاصل از اعمال بشکه باران (سناریو دوم)، به ازای دوره بازگشت‌های طراحی شده

دوره‌ی بازگشت طراحی	حجم کل رواناب (میلیون لیتر)	دبی اوج رواناب (هزار لیتر بر ثانیه)	حجم کل خروجی (میلیون لیتر)	دبی اوج خروجی (هزار لیتر بر ثانیه)	حجم خروجی کانال‌ها (میلیون لیتر)
۲ ساله	۶/۹۴	۳/۵۴	۶/۹۲	۱/۶۲	۴/۵۹
۵ ساله	۹/۵۵	۴/۶۴	۹/۴۶	۲/۲۹	۶/۲۲
۱۰ ساله	۱۱/۸۱	۵/۵۲	۱۱/۶۵	۲/۸۵	۷/۶۵

بررسی وضع موجود با به کار گیری روش توسعه‌ی کم‌اثر- ترانشه نفوذ

نتایج مدلسازی در سناریو بکار گرفته شده از ترانشه نفوذ با دوره بازگشت ۲ سال نشان می‌دهد که تعداد محل‌های آبگرفتگی حدود ۵/۳ درصد است که نسبت به شرایط موجود حدوداً ۵۴ درصد کاهش داشته است. همچنین با بررسی دوره بازگشت ۵ سال، محل‌های آب‌گرفتگی حدود ۹/۱ درصد مشاهده شده است که کاهش ۲۱ درصدی را نسبت به شرایط موجود گزارش می‌دهد. در احتمال وقوع سیلاب با بازگشت۱۰ ساله نیز، تعداد محل‌های آبگرفتگی حدوداً ۱۰/۶ درصد بدست آمد؛ یعنی کاهش حدوداً ۲۷ درصدی نسبت به شرایط موجود. توجه به این نتایج، حجم رواناب خارج شده از گره‌ها با توجه به دوره بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ سال به ترتیب برابر با ۰/۰۴۴، ۰/۱۱۳، و ۰/۲۳۷ میلیون‌لیتر است. بنابراین با استناد به نتایج بدست آمده می‌توان بهبود شرایط موجود شبکه را از طریق روش توسعه‌ی کم‌اثر ترانشه نفوذ، موثر دانست. در این پژوهش، روش توسعه‌ی کم‌اثر با بهره‌گیری از ترانشه نفوذ، در رفع گرفتگی گره‌های مدل‌سازی شده تاثیر کمتری را در مقایسه با روش بشکه باران ایجاد کرده است؛ به طوریکه درصد گرفتگی گره‌ها در این روش نسبت به روش بشکه باران، در دوره‌ی بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ سال، حدوداً ۳/۵، ۱/۸، و ۱/۳ برابر است.

رواناب حاصل از این بارش ۷/۱۲ میلیون لیتر است (کاهش ۰/۷ میلیون لیتری نسبت به روش بشکه باران). از این مقدار رواناب، حدود ۴/۸۹ میلیون لیتر از سه خروجی اصلی شبکه‌ی زهکش به سمت آبراهه اصلی هدایت می‌شوند. نتایج موید آن است که نسبت به شرایط موجود (کل رواناب با ۱۰/۳۲ میلیون لیتر)، کل رواناب جاری شده حدود ۳۱ درصد کاهش داشته است. یا به عبارتی ۳/۲ میلیون لیتر، در بارش با دوره‌ی بازگشت ۲ سال، در ترانشه‌های نفوذ ذخیره شده است. رواناب حاصل از بارش با دوره بازگشت طراحی ۵ سال، ۹/۵۰ میلیون لیتر است (کاهش ۱/۱۹ میلیون لیتری نسبت به روش بشکه باران)، و رواناب حاصل از بارش با دوره بازگشت طراحی ۱۰ سال، ۱۱/۵۳ میلیون لیتر است (کاهش ۱/۵۱ میلیون لیتری نسبت به روش بشکه باران). نتایج حاصل از تاثیر ترانشه نفوذ بر رواناب جاری در منطقه و به ازای هر دوره‌ی بازگشت در جدول ۸ به تفصیل ارائه شده است. با توجه به نتایج ارائه شده مبین است که در این مطالعه، در کاهش حجم رواناب خروجی و همچنین تاخیر سیلاب روش ترانشه نفوذ نسبت به روش بشکه باران موثرتر عمل می‌کند.

جدول(۸):مقایسه حجم رواناب و خروجی‌های حاصل از اعمال ترانشه نفوذ در منطقه به ازای دوره بازگشت‌های طراحی شده

دوره‌ی بازگشت طراحی	حجم کل رواناب (میلیون لیتر)	دبی اوج رواناب (هزار لیتر بر ثانیه)	حجم کل خروجی (میلیون لیتر)	دبی اوج خروجی (هزار لیتر بر ثانیه)	حجم خروجی کانال‌ها (میلیون لیتر)
۲ ساله	۷/۱۲	۳/۶۶	۷/۰۵	۱/۵۹	۴/۸۹
۵ ساله	۹/۵۰	۴/۷۸	۹/۳۷	۲/۲۰	۶/۴۴
۱۰ ساله	۱۱/۵۳	۵/۶۶	۱۱/۲۷	۲/۷۰	۷/۷۱

بررسی وضع موجود با به کار گیری روش توسعه‌ی کم‌اثر- ترکیبی بشکه باران و ترانشه نفوذ

طبق مفروضات تشریح شده در دو بخش قبل، ۱۰۴۹ عدد بشکه باران به اضافه‌ی ۲/۶۷ هکتار ترانشه نفوذ در این قسمت بر روی مدل شبیه‌سازی شده است. نتایج مدلسازی در سناریو بکار گرفته شده با دوره بازگشت ۲ سال نشان می‌دهد که تعداد محل‌های آب‌گرفتگی وجود ندارد و به ۰ درصد می‌رسد. با بررسی دوره بازگشت ۵ سال، محل‌های آب گرفتگی حدود ۲/۶۵ درصد مشاهده شده است که نسبت به شرایط موجود ۷۷ درصد کاهش یافته است. در احتمال وقوع سیلاب با بازگشت۱۰ ساله نیز، تعداد محل‌های آبگرفتگی حدوداً ۴/۵ درصد بدست آمد؛ یعنی کاهش حدوداً ۶۹ درصدی نسبت به شرایط موجود. توجه به این نتایج، حجم رواناب خارج شده از گره‌ها با توجه به دروه بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ سال به ترتیب برابر است با ۰/۰، ۰/۰۱۴، و ۰/۰۳۷ میلیون‌لیتر است که نتایج مطلوبی است.

مشخصات هیدروگراف‌های مربوط به بارش با دوره بازگشت‌های مختلف در جدول ۹ نشان می‌دهد که در دوره بازگشت ۲ سال، رواناب حاصل از این بارش ۴/۶۱ میلیون لیتر است و از این مقدار رواناب، حدود ۲/۷۸ میلیون لیتر از سه خروجی اصلی شبکه‌ی زهکش به سمت آبراهه اصلی هدایت می‌شوند. لذا نسبت به شرایط موجود (کل رواناب با ۱۰/۳۲ میلیون لیتر)، کل رواناب جاری شده حدود ۵۵ درصد کاهش داشته است. یا به عبارتی ۵/۷۱ میلیون لیتر، در بارش با دوره‌ی بازگشت ۲ سال، در ترانشه‌های نفوذ و بشکه‌های باران ذخیره شده است. رواناب حاصل از بارش با دوره بازگشت طراحی ۵ سال، ۶/۵۸ میلیون لیتر است، و رواناب حاصل از بارش با دوره بازگشت طراحی ۱۰ سال، ۸/۲۰ میلیون لیتر است. روند تغییرات حجم کل خروجی نیز در دوره‌ی بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ سال نیز نسبت به شرایط موجود شبکه مشابه تغییرات حجم کل رواناب نسب به شرایط موجود است.

جدول(۹):مقایسه حجم رواناب و خروجی‌های حاصل از اعمال ترکیبی ترانشه نفوذ و بشکه باران در منطقه به ازای دوره بازگشت‌های طراحی شده

دوره‌ی بازگشت طراحی	حجم کل رواناب (میلیون لیتر)	دبی اوج رواناب (هزار لیتر بر ثانیه)	حجم کل خروجی (میلیون لیتر)	دبی اوج خروجی (هزار لیتر بر ثانیه)	حجم خروجی کانال‌ها (میلیون لیتر)
۲ ساله	۴/۶۱	۲/۰۵	۴/۵۹	۰/۹۰	۲/۷۸
۵ ساله	۶/۵۸	۲/۹۴	۶/۵۵	۱/۴۱	۳/۹۷
۱۰ ساله	۸/۲۰	۳/۹۷	۸/۱۵	۱/۸۸	۴/۹۸

مقایسه‌ی اقتصادی روش‌های توسعه‌ی کم‌اثر در نظرگرفته شده در منطقه‌ی مورد مطالعه

برای بررسی اقتصادی هر روش با یکدیگر نیاز است که ابتدا هزینه‌های مربوط به هر روش به گونه‌ای استاندارد شود که مقایسه‌پذیر باشد. با توجه به اهمیت روش‌های توسعه‌ی کم‌اثر در کاهش رواناب و ذخیره‌ی آب رواناب شده، استاندارد سازی به صورت هزینه بر مبنای حجم ذخیره صورت می‌گیرد. تاثیر هر سناریو بر کاهش رواناب در شرایط موجود –بدون اعمال روش‌های توسعه‌ی کم‌اثر- سنجیده می‌شود؛ به عبارتی تاثیر هر سناریو بر حجم ذخیره‌سازی نسبت به مبنا که شرایط موجود شبکه است برآورد می‌شود. سپس هزینه‌ی هر واحد حجم ذخیره شده در هر سناریو و به ازای دوره بازگشت‌های طراحی محاسبه می‌شود (جدول ۱۰). طبیعی است که با توجه به هدف دوره بازگشت طراحی هزینه‌ی کمتر هزینه‌ی اقتصادی‌تری است.

جدول(۱۰):مقایسه‌ی اقتصادی سناریوهای مختلف بر منطقه‌ی مورد مطالعه

	دوره‌ی بازگشت طراحی	حجم کل رواناب (میلیون لیتر)	تغییرات نسبت به شرایط موجود (میلیون لیتر)	هزینه‌ی کل (میلیارد ریال)	هزینه نسبت به حجم ذخیره‌ی آب (میلیارد ریال/ میلیون لیتر)
شرایط موجود	۲ ساله	۱۰/۳۲			
	۵ ساله	۱۳/۵۳			
	۱۰ ساله	۱۶/۱۵			
بشکه باران (سناریو اول)	۲ ساله	۷/۸۳	۲/۴۹	۶۲/۸۵	۲۵/۲۴
	۵ ساله	۱۰/۶۹	۲/۸۴	۶۲/۸۵	۲۲/۱۳
	۱۰ ساله	۱۳/۰۴	۳/۱۱	۶۲/۸۵	۲۰/۲۰
بشکه باران (سناریو دوم)	۲ ساله	۶/۹۴	۳/۳۸	۱۰۸/۹۲	۳۲/۲۲
	۵ ساله	۹/۵۵	۳/۹۸	۱۰۸/۹۲	۲۷/۳۶
	۱۰ ساله	۱۱/۸۱	۴/۳۴	۱۰۸/۹۲	۲۵/۰۹
ترانشه نفوذ	۲ ساله	۷/۱۲	۳/۲	۵۳/۹۶	۱۶/۸۷
	۵ ساله	۹/۵۰	۴/۰۳	۵۳/۹۶	۱۳/۳۹
	۱۰ ساله	۱۱/۵۳	۴/۶۲	۵۳/۹۶	۱۱/۶۸
ترکیبی	۲ ساله	۴/۶۱	۵/۷۱	۱۱۶/۸۳	۲۰/۴۶
	۵ ساله	۶/۵۸	۶/۹۵	۱۱۶/۸۳	۱۶/۸۱
	۱۰ ساله	۸/۲۰	۷/۹۵	۱۱۶/۸۳	۱۴/۶۹

با توجه به جدول فوق و با در نظر گرفتن دوره‌ی بازگشت طراحی ۱۰ سال، نیاز است به ازای ذخیره‌ی هر یک میلیون لیتر در روش بشکه باران (سناریو اول) ۲۰/۲۰ میلیارد ریال و در روش بشکه باران (سناریو دوم) ۲۵/۰۹ میلیارد ریال

هزینه شود. در حالی‌که این هزینه در روش ترانشه نفوذ به مقدار ۱۱/۶۸ میلیارد ریال می‌رسد که نسبت به بشکه باران (سناریو اول) حدود ۴۸ درصد کمتر است. در روش ترکیبی (ترانشه نفوذ و بشکه باران) نیز، نیاز است تا بهره‌بردار به ازای ذخیره‌ی هر میلیون لیتر رواناب، ۱۴/۶۹ میلیارد ریال پرداخت کند؛ که نسبت به روش بشکه باران (سناریو اول) ۲۸ درصد هزینه‌ی کمتر و نسبت به روش ترانشه نفوذ تقریباً ۲۵ درصد هزینه‌ی بیشتری را شامل می‌شود. بنابراین با توجه به این ملاحظات، روش ترانشه نفوذ با توجه به صرف مقدار هزینه به ازای آب ذخیره شده، روشی اقتصادی‌تر است.

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، که در بخشی از منطقه ۲ شهر بزرگ تهران صورت گرفت. مساحت منطقه‌ی مورد مطالعه به ۳۰۲ زیر حوضه مجزا تقسیم شد. که شبکه‌ی جمع‌آوری آب‌های سطحی موجود آن، از ۲۶۴ مجاری سرپوشیده و کانال‌های روباز، و ۲۶۴ گره تشکیل شده است. بارش طرح شبیه‌سازی شده ۶ ساعته با دوره‌های بازگشت طراحی ۵،۲ و ۱۰ ساله در نظر گرفته شد، که به ترتیب بارش هر یک ۲۰/۱۴، ۲۵/۳۰ و ۲۹/۴۸ میلی‌متر محاسبه شده است. شرایط مدل شبیه‌سازی شده در چهار فاز مورد بررسی قرار گرفت. ۱- شرایط موجود شبکه، ۲- شرایط توسعه‌ی کم‌اثر-بشکه باران، ۳- شرایط توسعه‌ی کم‌اثر-ترانشه نفوذ و ۴- ترکیب ترانشه نفوذ و بشکه باران.

شبیه‌سازی هیدرولیکی منطقه درشرایط موجود نشان می‌دهد که در زمان وقوع سیلاب با دوره برگشت ۲، ۵ و ۱۰ سال به ترتیب حدود ۱۰، ۱۱/۴ و ۱۴/۴ درصد آبگرفتگی و ۰/۱۱۶، ۰/۵۱۳، و ۰/۹۱۹ میلیون‌لیتر هدررفت رواناب وجود دارد؛ که سبب اختلال در عبور و مرور، نارضایتی مردم، آلودگی سطوح و از بین رفتن زیبایی معابر اصلی می‌شود. همچنین با بررسی کل رواناب حاصل از بارش ۲، ۵ و ۱۰ سال به ترتیب حجم کل رواناب ۱۰/۳۲، ۱۳/۵۳ و ۱۶/۱۵ میلیون لیتر تخمین زده می‌شود. در استفاده از روش توسعه‌ی کم‌اثر- بشکه باران (سناریو اول)، نتایج مدل‌سازی در دوره‌های بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ سال به ترتیب ۱/۵۲، ۵/۳ و ۸/۳ درصد آبگرفتگی، یا ۰/۰۰۵، ۰/۰۶۸ و ۰/۲۷۲ میلیون‌لیتر حجم آب هدررفته از رواناب را گزارش می‌دهد. حجم رواناب نیز در دوره‌های بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ سال به ترتیب ۲۵، ۲۱ و ۲۰ درصد کاهش پیدا کرده است. درصد آب‌گرفتگی در روش بشکه باران- سناریوی دوم نیز در دوره‌های بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ سال به ترتیب ۱/۵۲، ۵/۳ و ۷/۲ بدست آمد. حجم رواناب حاصل در این روش نیز به به ازای بارش با دوره بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ سال برابر با ۶/۹۴، ۹/۵۵ و ۱۱/۸۱ میلیون لیتر گزارش شد.

در روش توسعه‌ی کم‌اثر-ترانشه نفوذ، رواناب خارج شده از گره‌ها با توجه به دوره بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ سال به ترتیب برابر با ۰/۰۴۴، ۰/۱۱۳ و ۰/۲۳۷ میلیون لیتر گزارش شد. در بررسی رواناب حاصل شده در روش ترانشه نفوذ، در هنگام بارش با دوره بازگشت ۲ سال، حجم رواناب ۷/۱۲ میلیون لیتر است که کاهش ۱۰ درصدی نسبت به روش بشکه باران-سناریو اول دارد. در دوره بازگشت با طراحی ۵ سال، حجم رواناب ۹/۵۰ میلیون لیتر بدست آمد که کاهش ۱۱ درصدی (۱/۱۹ میلیون لیتری) نسبت به روش بشکه باران-سناریو اول دارد، و در دوره بازگشت طراحی ۱۰ سال، حجم رواناب ۱۱/۵۳ میلیون لیتر محاسبه شد که کاهش ۱/۵۱ میلیون لیتری نسبت به روش بشکه باران دارد. در بخش بعد با ترکیب دو روش ذکر شده، روش دیگری ارائه می‌شود. در این روش و با دوره بازگشت طراحی ۲ سال نشان داده شد که شبکه محل آب‌گرفتگی ندارد و در دوره بازگشت ۵ و ۱۰ سال، تعداد گره‌های دارای آب گرفتگی، به ترتیب حدود ۲/۶۵ و ۴/۵ درصد از کل گره‌ها، برآورد شد که نسبت به شرایط موجود ۷۷ و ۶۹ درصد کاهش دیده می‌شود. حجم رواناب خارج شده از گره‌ها هم با توجه به دروه بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ سال به ترتیب ۰/۰، ۰/۰۱۴ و ۰/۰۳۷ میلیون لیتر از کل حجم رواناب حوضه، برآورد شد که نتایج بسیار مطلوبی است.

در انتها جهت بررسی اقتصادی روش‌های صورت گرفته، هزینه‌ی حاصل از اجرای هر روش برآورد شد؛ و در دوره بازگشت‌های طراحی، هزینه‌ی اجرا هر روش به ازای ذخیره هر یک میلیون لیتر آب بدست آمد. با توجه به نتایج حاصل شده و همچنین در نظر گرفتن دوره‌ی بازگشت طراحی ۱۰ سال، نیاز است به ازای ذخیره‌ی هر یک میلیون لیتر در روش بشکه باران (سناریو اول) ۲۰/۲۰ میلیارد ریال، و در روش بشکه باران (سناریو دوم) ۲۵/۰۹ میلیارد ریال

هزینه شود. در حالی‌که این هزینه در روش ترانشه نفوذ به مقدار ۱۱/۶۸ میلیارد ریال می‌رسد که نسبت به بشکه باران (سناریو اول) حدود ۴۸ درصد کمتر است. در روش ترکیبی (ترانشه نفوذ و بشکه باران) نیز، هزینهٔ ذخیره‌ی هریک میلیون لیتر ۱۴/۶۹ میلیارد ریال است؛ که نسبت به روش بشکه باران (سناریو اول) ۲۸ درصد هزینه‌ی کمتر و نسبت به روش ترانشه نفوذ تقریباً ۲۵ درصد هزینه‌ی بیشتری را شامل می‌شود. بنابراین با توجه به این ملاحظات، روش ترانشه نفوذ با توجه به صرف مقدار هزینه به ازای آب ذخیره شده، روشی اقتصادی‌تر است. در برخی از مطالعات روش بشکه باران به عنوان ارزان‌ترین گزینه ارائه شده است. اما با توجه به شرایط کشور ایران و افزایش نرخ تورم، هزینه‌های مربوط به تجهیزات بشکه باران افزایش بیشتری پیدا کرده است لذا با توجه به شرایط حاضر نمی‌توان از این روش به عنوان روشی ارزان یاد نمود. همچنین در مطالعات پیشین و از دیدگاه اقتصادی، ترکیب دو روش مانند بشکه باران و واحدهای زیست‌ماند بیولوژیکی -که عملکردی مشابه با ترانشه نفوذها دارند- موثرترین روش در کاهش حجم رواناب و ذخیره آن محسوب می‌شد. اما با توجه به تغییرات هزینه و عدم توجیه اقتصادی، دیگر نمی‌توان چنین گزینه‌ای را اقتصادی معرفی نمود.

بر اساس نتایج بدست آمده از طریق اعمال تکنیک‌های مختلف توسعه‌ی کم اثر (LID)، مشاهده می‌شود که این روش‌ها کاملاً در کنترل و کاهش دبی اوج سیلاب مؤثر هستند. دبی اوج سیلاب نسبت به شرایط موجود و در دوره‌ی بازگشت ۱۰ سال، در روش بشکه باران-سناریو اول ۲۲ درصد، در روش بشکه باران-سناریو دوم ۳۱ درصد، در روش ترانشه نفوذ ۲۹ درصد، و در روش ترکیبی ۵۰ درصد کاهش داشته است. لذا به‌کارگیری هم‌زمان دو روش بشکه باران و ترانشه نفوذ در حداقل رساندن خسارات پس از سیل با کاهش دبی اوج سیلاب، در مقایسه به‌صورت جداگانه هر یک از روش‌ها، مؤثر و قابل‌توجه است.

منابع

امین جواهری، س.، و نظیف، س. ۱۳۹۳. کالیبراسیون مدل زهکشی رواناب شهری مبتنی بر تحلیل حساسیت. دومین کنفرانس ملی مدیریت و مهندسی سیلاب با رویکرد سیلاب‌های شهری. هتل المپیک. تهران.

ایزانلو، ر.، و بردی شیخ، و. ۱۳۹۷. اولویت بندی سناریوهای مدیریت رواناب سطحی با استفاده از روش TOPSIS در حالت‌های مختلف وزن‌دهی (مطالعه موردی: شهر بجنورد). مجله آب و فاضلاب. دوره۲۹. شماره۶، ۱۵-۲۶.

تقیزاده، س. ۱۳۹۶. بررسی عملکرد و بهینه‌سازی جانمایی روش‌های نوین مدیریتی (LID-BMP) در بهبود کیفیت و کمیت رواناب سطحی شهر تهران مطالعه موردی منطقه ۲۲. پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران سازه‌های هیدرولیکی. دانشکده فنی و مهندسی. دانشگاه قم. ص۱۷۵.

جهان دیده، ا.، و اسدی نیلوان، ا. ۱۳۹۷. بررسی روش‌های مدرن به منظور به کارگیری در مدیریت رواناب شهری. سیزدهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران و سومین همایش ملی صیانت از منابع طبیعی و محیط زیست. دانشگاه محقق اردبیلی. ۱۰ و۱۱ مهر.

حسین زاده، م. ۱۳۹۴. مدیریت رواناب شهری به منظور جلوگیری از آلودگی منابع آب شرب و حفظ محیط زیست. چهارمین همایش ملی سامانه‌های سطحی آبگیر باران. انجمن علمی سیستم‌های سطوح آبگیر ایران. مشهد. ۲۸و ۲۹ بهمن.

سازمان برنامه و بودجه. ۱۴۰۰. فهرست بهای واحد پایه‌ی زهکش‌ها و جمع‌کننده‌های زیرزمینی در سال ۱۴۰۰، رسته مهندسی آب.

سعیدی، م.، حسینی، ر. و ملازاده م. ۱۳۹۴. بررسی مزیت‌های روش توسعه‌ی کم‌اثر در جمع‌آوری رواناب‌های سطحی شهر، همایش ملی استفاده از فناوری‌ها و تکنولوژی‌های نوین طراحی، محاسبه و اجرا در مهندسی عمران، معماری و شهرسازی. مراغه، آذربایجان غربی.

شرکت مهندسی مهاب قدس. ۱۳۹۰. طرح جامع مدیریت آب‌های سطحی تهران(جلد دوم: مطالعات پایه). سازمان مشاور فنی و مهندسی شهر تهران.

مظفری، ج.، و کبارفرد، م. ۱۳۹۶. بررسی مدیریت کمی و کیفی سیلاب شهری با مدل EPA-SWMM؛ مطالعه موردی منطقه ۲۲ تهران. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب. دوره ۷. شماره۲۷، ۴۷-۵۹.

کبارفرد، م.، فضل اولی، ر.، ضرغامی، م.، و اکبرپور، ا. ۱۳۹۷. ارزیابی کاراترین روش توسعه کم‌اثر و تعیین بهترین راهکار مدیریتی کمی سیلاب شهری با استفاده از رخدادهای به هنگام. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. دوره ۱۲. شماره ۱، ۴۰-۵۲.

لطفی، م. ۱۳۹۷. شبیه‌سازی رواناب سطحی در شهر بهارستان با استفاده از مدل کامپیوتری .SWMM پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران. گرایش آب و سازه‌های هیدرولیکی. دانشکده فنی و مهندسی. دانشگاه شهید اشرفی اصفهانی، ص ۸۹.

میرعمادی، س. ۱۳۹۸. مدیریت کمی سیلاب در حوضه‌های شهری با استفاده از مدل SWMM. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران گرایش مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی. دانشکده مهندسی عمران. دانشگاه سمنان. ص ۱۲۹.

مختارپور، ا.، خداشناس، س.ر.، داوری، ک. ۱۳۹۷. بررسی تغییرات دبی سیلاب شهری با دو روش روسازی متخلخل و ترانشه نفوذ، مطالعه موردی: منطقه ۴ تهران. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، دوره ۸. شماره ۴، ۱۸-۲۹.

معاونت نظارت راهبردی. (۱۳۸۸). راهنمای برآورد رواناب در طراحی شبکه‌های آبیاری و زهکشی (نشریه‌ی شماره ۵۱۹). معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور.

موحدی‌نیا، م.، محمد ولی‌سامانی، ج.، براخاصی، ف. ۱۳۹۶. بررسی تأثیر روش توسعهٔ کم‌اثر بشکهٔ ذخیرهٔ آب باران در کاهش آب‌گرفتگی ناشی از وقوع سیلاب شهری. مدیریت آب و آبیاری، دوره ۷. شماره ۱، ۱۶-۱.

هاشمی منفرد، س.، عزیزیان، غ.، درخشان، پ.، و رئیس پور، ج. ۱۳۹۷. بررسی کفایت سیستم زهکشی موجود در مناطق شهری جهت عبور سیلاب و امکان اصلاح آن به کمک مدل (SWMM5 مطالعه موردی: شهرستان داراب). مجله مخاطرات محیط زیست. دوره ۷. شماره ۱۵، ۲۱۹-۲۳۶.

همتی، ز.، سلیمانی، ک.، و میریعقوب زاده، م. ۱۳۹۸. کاربرد مدل SRM و داده‌های ماهواره‌ای MODIS در برآورد رواناب ناشی از ذوب برف (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبخیز تکاب). مجله سنجش از دور و GIS ایران. دوره ۱۱. شماره ۲، ۹۲-۷۹.

Abi Aad, M. P., Suidan, M. T., & Shuster, W. D. 2010. Modeling techniques of best management practices: Rain barrels and rain gardens using EPA SWMM-5. Journal of Hydrologic Engineering, 15(6), 434-443.

Basnet, K., Khadka, S., & Shrestha, K. K. 2020. Sustainable Urban Storm Water Drainage Design using SWMM: a Case Study of Lamachaur, Pokhara, Nepal. International Journal of Engineering and Science, 10(8), 01-12.

Hossain, S., Hewa, G. A., & Wella-Hewage, S. 2019. A Comparison of continuous and event-based rainfall–runoff (RR) modelling using EPA-SWMM. Water, 11(3), 611.

Kim, J., & Ryu, J. 2020. Decision-Making of LID-BMPs for Adaptive Water Management at the Boise River Watershed in a Changing Global Environment. Journal Water. Volume 12. Issue 9. 1-17.

Jung-min L., Kyoung-hak H., Jong-soo C., Yeojin Y., Franz K. and Geronimo F. 2012 Flood reduction analysis on watershed of LID design demonstration district using SWMM5. Desalination and Water Treatment. 38(1-3):255-261.

Masseroni, D.; Cislaghi, A.; Camici, S.; Massari, C.; Brocca, L. A. 2016 reliable rainfall–runoff model for flood forecasting: Review and application to a semi-urbanized watershed at high flood risk in Italy. Hydrol. Res. 48, 726–740.

Movahedinia, M., Samani, J. M. V., Barakhasi, F., Taghvaeian, S., & Stepanian, R. 2019. Simulating the effects of low impact development approaches on urban flooding: a case study from Tehran, Iran. Water Science and Technology, 80(8), 1591-1600.

Prince George's County. 1999. Low-impact development: An integrated design approach. Department of Environmental Resources. Programs, & Planning Division.

Rossman L.A. 2010 Storm water management model user's manual, version 5.0, Cincinnati, OH: National Risk Management Research Laboratory. Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency, p. 276

Rossman L. 2016 Storm water management model reference manual volume 1-hydrology-revised, EPA No. 600/R-15/162A, 235 pp

Satheeshkumar, S., Venkateswaran, S., & Kannan, R. 2017. Rainfall–runoff estimation using SCS–CN and GIS approach in the Pappiredipatti watershed of the Vaniyar sub basin, South India. Journal Modeling Earth Systems and Environment. Vol. 3. P 24.

Sin J., Jun C., Zhu J.H. and Yoo C. 2014 Evaluation of flood runoff reduction effect of LID (low impact development) based on the decrease in CN: Case studies from Gimcheon Pyeonghwa district, Korea. 12th International Conference on Computing and Control for the Water Industry. CCWI2013, Procedia Engineering, 70: 1531-1538

Singh, J.; Knapp, H.V.; Arnold, J.G.; Demissie, M. Hydrologic modelling of the Iroquois River watershed using HSPF and SWAT. J. Am. Water Resour. Assoc. 2007, 41, 343–360.

US Environmental Protection Agency (USEPA) 2000 Low Impact Development (LID): A literature review. Washington, DC.

Young, K. D., Younos, T. M., Dymond, R. L., & Kibler, D. F. 2009. Virginia's Stormwater Impact Evaluation: Developing an Optimization Tool for Improved Site Development, Selection and Placement of Stormwater Runoff BMPs.

Investigation the Effect of Low-Impact Development Methods of Rainwater Storage Barrels and Infiltration Trenches on Reducing the Peak Discharges of Urban Floods

Parisa Jazaeri[1], Ramin Fazloula[2*], Mohsen Masoudian[3], Nasrollah Javaheri[4]

Abstract

Around the world, including in Iran, urban development has led to an increase in impenetrable areas and severe flood events. The purpose of this study was to simulate the surface runoff collection network in District 2 of Tehran Municipality (Ivanak) using the computer model SWMM. Considering the current state of the urban water network, low-impact development methods have been used to reduce peak flood discharge. In this research, rain barrels, infiltration trenches, and a combination of them were used as low-impact development methods. By implementing several low-impact development (LID) techniques, peak flood discharge in the return period of 10 years for the rain barrel method (first scenario), rain barrel method (second scenario), infiltration trench method, and combined method was reduced by 22, 31, 29, and 50 percent, respectively. Accordingly, each method's cost was estimated by its volume of water storage. Considering the 10-year return period, for storage of one million liters, the costs are 20.20 billion Rials in the rain barrel method, 11.68 billion Rials in the infiltration trench method, and 14.696 billion Rials in the combined method (infiltration trench and rain barrel). According to the results, the infiltration trench method was identified as the most economical method studied in the region.

Keywords: Rain Barrel, Infiltration Trench, Urban Runoff, Low-Impact Development Methods, District 2 of Tehran Municipality.

[1] M.Sc. Student, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran/Email: P.jazaeri@yahoo.com, Tel: 09122364547

[2] Associate professor, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran/Corresponding author Email: raminfazl@yahoo.com & r.fazloula@sanru.ac.ir, Tel: 09112549150

[3] Associate professor, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran/Email: mohsen_masoudian@yahoo.com, Tel: 09112584818

[4] Ph.D. in Hydraulic Structures, Pardisan Civil Water Consulting Engineers Company, Tehran, Iran/Email: nasjavaheri@gmail.com, Tel: 09123726011