



<https://gep.ui.ac.ir/?lang=fa>

Geography and Environmental Planning

E-ISSN: 2252- 0910

Document Type: Research Paper

Vol. 36, Issue 3, No.99, 2025, pp. 1- 34

Received: 10/06/2025 Accepted: 19/08/2025

Mapping of Flood Inundation Area in Tehran City with HEC-Geo-RAS (Case Study: Darakeh, Farahzad, and Kan Rivers)

Amir Reza Sadeghi

PhD Student of Geomorphology, Physical Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran
sadeghiamireza@ut.ac.ir

Seiyed Mossa Hosseini *

Associate Professor, Department of Physical Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran
smhosseini@ut.ac.ir

Abstract

The objective of this study was to create flood inundation maps for the Darekeh, Farahzad, Western Flood Diversion Canal, and Kan River, focusing on return periods of 10, 25, 50, and 100 years. The HEC-Geo-RAS software was employed to simulate the hydraulic properties of flow in these canals. The results revealed that the largest flood extents occurred during a 100-year return period across all studied rivers. Hydraulic flow analysis indicated that the floodplain area for the Kan River reached 292 ha during the 100-year return period with predominant land uses in the flood risk zone comprising green spaces (203.8 ha) and a mix of service, administrative, and commercial areas (80.8 ha). The Western Flood Diversion Canal inundated 99.6 ha, primarily consisting of residential areas (57.2 ha) alongside industrial, workshop, and service-administrative uses (26.1 ha). The Darekeh River floodplain covered 74.8 ha, mainly featuring green spaces (55.8 ha) and residential areas (14.5 ha), while the Farahzad River floodplain extended to 34 ha predominantly made up of green spaces (32.6 ha) and limited residential areas (1.2 ha). The findings highlighted that the Kan River (downstream of the Western Flood Diversion Canal) and the Western Flood Diversion Canal possessed the most extensive floodplains. Notably, residential, service, administrative, commercial, and workshop land uses were situated within high-risk flood zones that carried significant economic value. The results of this study can be utilized to identify vulnerable areas in Tehran at risk of flooding, guide urban development toward safer locations, inform urban infrastructure design, and optimize surface runoff collection systems.

Keywords: Urban Flooding, Flood Hazard Map, Land use, Flow Hydraulic Modeling.

Introduction

Urban flooding has become an increasingly significant natural hazard exacerbated by climate change, urbanization, and population growth. In recent decades, identification of flood-prone areas has garnered considerable attention from managers and planners. Studies indicate that the risk of flooding to human health and property is projected to rise, primarily due to population expansion in vulnerable regions. By 2050, it is

*Corresponding Author

Sadeghi, A.R Hosseini, S. M. (2025). Delineation of flood-prone areas of Tehran's rivers using hydraulic modeling. *Geography and Environmental Planning*, 36 (3), 1 - 34 .



2252-0910 © University of Isfahan

This is an open access article under the CC BY-NC 4.0 License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>).



10.22108/gep.2025.145506.1729

estimated that approximately 1.3 billion people will reside in flood-prone areas. Tehran, covering around 700 km² and home to over 9 million residents, is particularly susceptible to fluvial flooding. This vulnerability arises from its foothill location, steep slopes, sparse vegetation, heavy rainfall, uncontrolled development in riverine areas, and inadequate construction practices. Flood management in this densely populated metropolis is highly complex. To mitigate potential damages, it is essential to accurately identify flood inundation areas associated with various return periods. The HEC-RAS model serves as an effective hydraulic tool for this purpose, providing critical information for emergency planning and guiding urban development towards safer areas by accurately modeling the hydraulic properties of floods. This research aimed to create flood inundation maps for the Kan, Farahzad, and Darekeh rivers, and the Western Flood Diversion Canal in northern and northwestern Tehran using HEC-Geo-RAS software. The findings of this study will assist in identifying high-risk areas and preparing comprehensive flood hazard maps for Tehran.

Materials & Methods

Data Analysis

Initially, the annual peak discharge data recorded from 1977 to 2017 at 3 hydrometric stations (Haft Hoz, Soulaghan, and Lashkar) were collected from Iran's Water Resources Management Company. Using Easyfit software, the best-fit distribution for these data was determined based on 3 statistical goodness-of-fit criteria: Anderson-Darling, Kolmogorov-Smirnov, and Chi-Square, all evaluated at a 95% confidence level.

Hydraulic Model Execution (HEC-RAS)

The HEC-RAS hydraulic tool was employed to simulate flood characteristics along the studied rivers for the return periods of 10, 25, 50, and 100 years. Being developed by the U.S. Army, this model could simulate both steady and unsteady flows while modeling floodplains.

The main inputs for the model included:

- **Manning's Roughness Coefficient:** Based on field visits and Cowan's formula, this coefficient was assigned values of 0.015 to 0.017 for main river sections and 0.020 to 0.040 for natural beds and floodplains.
- **Digital Elevation Model (DEM):** A DEM with a resolution of 10 m was utilized to create a Triangulated Irregular Network (TIN) in ArcGIS software.
- **River Geometric Information:** Using the HEC-Geo-RAS extension, river centerlines, banks, and cross-sections (at 50-meter intervals) were extracted.
- **Flow Information:** This included details on flow regimes, discharges, and hydraulic boundary conditions.
- **Hydraulic and Topographic Information:** This encompassed roughness coefficients, river course conditions, bridges, and both longitudinal and cross-sectional profiles.

After executing the model, flood inundation maps and hydraulic properties of the flood (such as flow velocity and width) were generated. Subsequently, the flood extents were validated using Google Earth and previous studies and the affected land uses were identified.

Research Findings

The study produced detailed flood inundation maps for the Darekeh, Farahzad, Western Flood Diversion Canal, and Kan River, assessing flood extents for return periods of 10, 25, 50, and 100 years. The key findings were as follows:

1. Flood Extents by River:

- **Kan River:** The largest floodplain was observed during the 100-year return period, measuring 292 ha. This area comprised predominantly green spaces (203.8 ha) and a mix of service, administrative, and commercial land uses (80.8 ha).
- **Western Flood Diversion Canal:** The floodplain reached 99.6 ha, primarily involving residential land (57.2 ha) and service-administrative uses (26.1 ha).
- **Darekeh River:** The floodplain extended to 74.8 ha with green spaces (55.8 ha) and residential areas (14.5 ha) dominating the landscape.
- **Farahzad River:** The smallest floodplain at 34 ha was characterized mainly by green spaces (32.6 ha) and limited residential areas (1.2 ha).

2. Impact of Slope and Geometric Characteristics:

- The steep slopes of the Darekeh and Farahzad rivers limited flood extents upstream, while reduced slopes downstream significantly increased flooding risk. The Western Flood Diversion Canal also exhibited increased flood extents due to similar topographical changes.

3. Hydraulic Structures:

- Many bridges along the rivers lacked adequate capacity to manage floodwaters, particularly during higher return periods. The blockage of culverts due to sediment accumulation exacerbated flooding risks in urban areas.

4. Affected Land Uses:

○ Floodplains primarily encompassed green spaces, residential, and commercial-service areas, indicating a high risk of flood damage. The presence of sensitive land uses within these zones necessitated improved management and expansion of green spaces.

5. Flood Management Implications:

○ The findings underscored the importance of effective flood management and urban planning. Identifying vulnerable sites allowed for targeted interventions, such as improving water infrastructure, clearing culverts, and preserving green spaces.

In conclusion, the study highlighted the significant flood risks in northern and northwestern Tehran, which were driven by slope reduction, insufficient culvert capacity, sediment buildup, and human interventions. Urgent measures were required to enhance flood management strategies and protect vulnerable urban areas from flooding.

Discussion of Results & Conclusion

Impact of Slope and Geometric Characteristics on Flood Zoning

In the Darakeh and Farhzad rivers, steep upstream slopes limited flood extents; however, downstream areas experienced a significant increase in flooding due to reduced slopes. In the Western Flood Diversion Canal, the gradual slope decreased in the middle and lower sections promoted runoff accumulation, resulting in expanded flood extents. Similarly, the reduced longitudinal slope in the Kan River contributed to a notable increase in flood areas downstream.

Effect of Hydraulic Structures (Bridges and Culverts) on Flood Dynamics

Many bridges along the rivers and canals are inadequate in capacity to handle floodwaters, particularly during higher return periods (25, 50, and 100 years). The blockage of culvert inlets due to sediment accumulation and high runoff volumes has led to street flooding and further expansion of flood extents. This situation heightens the risk of urban flooding and necessitates a re-evaluation and modification of existing structures.

Impact on Urban Land Use

Floodplains in the studied areas primarily consisted of green spaces, residential properties, and commercial/service land uses. The presence of residential areas and sensitive land uses within these floodplains indicated a high risk of flood damage. Enhancing and expanding green spaces and water storage in vulnerable areas can help mitigate flooding impacts. Factors like reduced natural slopes in downstream sections, river section contractions, blockages caused by bridge piers, sediment accumulation, unauthorized constructions, and unsustainable land use practices contribute to increased flood volumes.

Importance of Flood Management and Urban Planning

The results of flood-prone zoning through hydraulic modeling clearly identified both safe areas and vulnerable sites. This information is essential for effective landscape design, urban ecology, and flood management planning. Key actions to consider included strengthening water infrastructure, rebuilding bridges, clearing culverts, and preserving green spaces.

The results of hydraulic simulations using the HEC-RAS model for the Darakeh and Farhzad rivers, the Western Flood Diversion Canal, and the Kan River in the northern and northwestern Tehran Basin illustrated flood zoning conditions for return periods of 10 to 100 years. The model outputs included inundation maps, tables, and images, which were valuable for defining safe river boundaries, landscape and ecological design, and urban management studies. The main findings of this study could be summarized as follows:

Darakeh and Farhzad Rivers: In the upstream sections, the floodplain extension was limited due to steep slopes. However, as the slope decreased downstream, the width of the floodplain increased significantly. In the Darakeh River, restaurants near the river were at risk of flooding. The maximum floodplain area for the 100-year return period was 8.74 ha, primarily consisting of green spaces and residential areas. Factors contributing to flooding included low slopes and the blockage and contraction of bridge culverts. In the Farhzad River, the maximum floodplain occurred at the intersection with the Behrud and Moradabad tributaries, primarily affecting private gardens and highlighting the need for effective green space management. The floodplain had expanded

from Hemmat Highway to Marzdaran Boulevard, with Khoshmaram and Asbar bridges experiencing flooding during high return periods. The maximum floodplain area for the 100-year return period was 34 ha, mainly comprising green spaces and residential areas. Causes of flooding included narrowing and clogging of bridge culverts, reduced slopes, and high runoff volumes.

Western Flood Diversion Canal: This canal played a crucial role in transporting floodwaters to the Kan River. The expansion of the floodplain in the downstream areas of the canal was significant due to reduced slopes. Several bridges, including the Ariafer Street Bridge, those near Yadegar Imam, Khosravi Bridge, bridges after the Second Sadeghieh Square, Vali Asr Street Bridge, Salimi Jahromi Street Bridges, and Sattari Highway, lacked sufficient capacity to manage high floodwaters. The largest floodplain area for the 100-year return period was 99.6 ha, encompassing residential areas along with commercial, service, and workshop uses. Key factors contributing to flooding in this area included high runoff volumes, reduced slopes, and insufficient capacity of both the canal and its bridges.

Kan River (Upstream of the Western Flood Diversion Canal): The floodplain in this area was less mountainous and steep, but it expanded towards the area of Azadi in Zibadasht. The largest floodplain for the 100-year return period was measured 66.1 ha, comprising green spaces and residential areas. Contributing factors to flooding included narrowing and clogging of bridge culverts, construction along the riverbanks, and reduced slopes.

Kan River (Downstream of the Western Flood Diversion Canal): At the junction with the Western Flood Diversion Canal, the accumulation of flows had led to significant floodplain expansion. This floodplain extended from the west of Tehransar to the east of Mehrabad Airport and continued towards Azadegan and Saveh Highway. The largest floodplain for the 100-year return period was 231 ha, making it the largest in the region. Major land uses in this area included green spaces (146.2 ha), commercial and shopping centers (80.1 ha), and residential areas (4.7 ha). The extensive flooding in this section with a maximum width of 1,037 m was primarily due to the accumulation of runoff from upstream catchments and slope reductions.

These findings provide critical information for effective urban planning and flood prevention measures in the northern and northwestern regions of Tehran. The northern and northwestern basins of Tehran are particularly vulnerable to floods. Key factors exacerbating this risk include reduced slopes, insufficient capacity of culverts and bridges to handle floodwaters, sediment accumulation, and human alterations to riverbeds. There is a significant risk of damage to life and property in residential, commercial, and green areas within the floodplains. Urgent measures are needed to enhance the water transfer capacity of critical sections, reconstruct bridges, and manage land use effectively in the river basins.

مقاله پژوهشی

تعیین محدوده‌های سیل‌گیر رودخانه‌های شهر تهران با مدل‌سازی هیدرولیکی

امیررضا صادقی، دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیای دانشگاه تهران، تهران، ایران

sadeghiamireza@ut.ac.ir

سیدموسی حسینی*، دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیای دانشگاه تهران، تهران، ایران

smhosseini@ut.ac.ir

چکیده

سیلاب شهری یک چالش جهانی چندبعدی است که احتمال دارد در آینده در اثر تغییرات اقلیمی، دگرگونی کاربری زمین و فرسودگی زیرساخت‌ها شدت یابد. هدف از انجام این پژوهش تهیه نقشه پهنه‌بندی سیلاب حوضه شمال-شمال غرب شهر تهران مربوط به رودخانه‌های درکه، فرحزاد، کن و کانال سیل‌برگردان غرب با دوره بازگشت‌های ۱۰ تا ۱۰۰ سال با هدف شناسایی نواحی با خطرپذیری زیاد در شهر تهران است. پژوهش حاضر به منظور تهیه نقشه پهنه‌بندی سیل شهری با استفاده از اطلاعات هیدرومتری برای شبیه‌سازی جریان از مدل هیدرولیکی HEC-GeoRAS با ترکیب در محیط نرم‌افزار ArcGIS انجام شد. نتایج نشان داد گسترش مساحت پهنه سیلابی در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله در رودخانه کن ۲۹۲ هکتار و بیشترین کاربری در منطقه خطر سیل را فضای سبز با ۲۰۳/۸ هکتار، در کانال سیل‌برگردان غرب ۹۹/۶ هکتار و بیشترین کاربری آن را مناطق مسکونی با ۵۷/۲ هکتار، در رودخانه درکه ۷۴/۸ هکتار و بیشترین کاربری آن را فضای سبز با ۵۵/۸ هکتار و در رودخانه فرحزاد ۳۴ هکتار و بیشترین کاربری آن را فضای سبز با ۳۲/۶ هکتار در بر می‌گیرد. نتایج نشان می‌دهد رودخانه کن (در پایین‌دست سیل‌برگردان غرب) و کانال سیل‌برگردان غرب بیشترین پهنه‌های سیل را دارد و کاربری مناطق مسکونی و مناطق خدماتی، اداری، تجاری و کارگاهی در پهنه‌های با خطر سیل و ارزش اقتصادی زیاد قرار گرفته‌اند. نتایج این پژوهش می‌تواند در شناسایی مناطق پرخطر و آسیب‌پذیر شهر تهران در برابر سیل، هدایت توسعه شهری، طراحی زیرساخت‌های شهری به سمت مناطق امن‌تر و طراحی بهینه سیستم‌های جمع‌آوری رواناب‌های سطحی شهر کمک کند.

واژه‌های کلیدی: سیلاب شهری، نقشه مخاطره سیلاب، کاربری اراضی، مدل‌سازی هیدرولیکی جریان

*نویسنده مسئول

صادقی، امیررضا و حسینی، سید موسی. (۱۴۰۴). تعیین محدوده‌های سیل‌گیر رودخانه‌های شهر تهران با مدل‌سازی هیدرولیکی، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۳۶ (۳)، ۳۴-۱.



مقدمه

سیلاب شهری مخاطره‌ای طبیعی است که خسارت‌های سنگینی را بر جوامع شهری وارد کرده و باعث جلب توجه زیاد مدیران و برنامه‌ریزان شده است (Jahangir et al., 2019; Khatooni et al., 2023). در دهه‌های اخیر، تعداد سیلاب‌ها به دلیل تغییر اقلیم، افزایش شهرنشینی و افزایش جمعیت بیش از ۴۰ درصد افزایش یافته است (Hens et al., 2020; Khosravi et al., 2018). براساس داده‌های ثبت‌شده، در فاصله سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۵ سیلاب‌ها جان ۵۹۰۹۲ نفر را در سرتاسر جهان گرفته است (Haynes et al., 2017). از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۵ تعداد ۱۷۱۹ سیل در سرتاسر زمین رخ داده است که ۴۵/۷۹ درصد از بلایای طبیعی را شامل می‌شود و باعث تلفات اقتصادی در حدود ۳/۳ میلیارد دلار شده و زندگی حداقل ۸۰۰ میلیون نفر را تحت تأثیر قرار داده است (Chau, 2017; Liu et al., 2020). ایران نیز با توجه به مساحت گسترده حوضه‌ها، تنوع اقلیمی و تغییرات زمانی-فضایی بارش هر سال با سیلاب‌های عظیمی روبرو بوده (Jahangir et al., 2019) و فقط در ۴۰ سال گذشته بیش از ۳۷۰۰ سیل ثبت شده است (وخشوری، ۱۳۹۱). باتوجه به تحقیقات و پیش‌بینی‌ها خطر سیلاب و تعداد قربانیان سیلاب در آینده به دلیل تغییر اقلیم و افزایش جمعیت بیشتر خواهد شد (Hirabayashi et al., 2013; Boulange et al., 2021) و تخمین زده می‌شود تعداد افرادی که تا سال ۲۰۵۰ در منطقه خطر سیل زندگی می‌کنند، به ۱/۳ میلیارد نفر برسد (Falah et al., 2019).

شهر تهران با وسعتی در حدود ۷۰۰ کیلومترمربع دهمین منطقه کلان‌شهری در معرض خطر زلزله و طغیان رودخانه (Moghadas et al., 2019) است و در دامنه جنوبی کوه‌های البرز قرار دارد که شامل دو حوضه شمال-شمال غرب (رودخانه‌های کن، وسک، فرحزاد، درکه و کانال‌های سیل‌برگردان غرب، شاهین و تپه نيزار) و حوضه شمال-شمال شرق (از ولنجک در شمال تا سرخه‌حصار در شرق شامل رودخانه‌های ولنجک، دربند، گلابدره، کاشانک، جمشیدیه، دارآباد و سوهانک) است (مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران، ۱۳۸۴ ب). این مناطق شیب تند، پوشش گیاهی تُنک و رخداد بارش‌های سنگین دارد که این عوامل سبب شده است آب باران فرصت نفوذ کمتری به درون زمین پیدا کند و به‌صورت سیلاب به سمت مناطق جنوبی شهر تهران سرازیر شود (قهرودی تالی و همکاران، ۱۳۹۵). در کلان‌شهر تهران به دلیل توسعه رود دره‌های شمال آن، تعامل بین سیستم‌های محیط طبیعی در حال تغییر، ترکیب ناهمگون شمال شهر، سوءمدیریت در بخش دولتی، برج‌سازی بخش خصوصی، سازه‌های شهری غیراصولی (قهرودی تالی و همکاران، ۱۴۰۳) و همچنین ارزش مکانی زمین در برخی از مناطق شهر تهران بستر رودخانه و مسیل‌ها مورد تعرض قرار گرفته و سطح مقطع آن‌ها کاهش یافته و محدود شده است که این موضوع می‌تواند بر رژیم طبیعی رودخانه و مسیل عبوری جریان تأثیر گذارد (مقیم و صفاری، ۱۳۸۹) و در صورت وقوع بارش‌های رگباری شدید خسارت‌های جبران‌ناپذیری را بر پیکره شهر وارد سازد (Afsari et al., 2022). صرف‌نظر از ویژگی‌های سیلاب، ویژگی‌های اجتماعی-اقتصادی ذاتی شهر نشان می‌دهد تهران با داشتن ۲۲ منطقه شهری، ۳۷۶۹۶ بلوک و تمرکز بالای صنایع و سازمان‌های دولتی و خدمات و تأسیسات از مخاطره سیل مصون نیست؛ بنابراین، مدیریت را در زمان وقوع بلایای طبیعی مانند سیل به مسئله‌ای بسیار پیچیده تبدیل می‌کند (UNDP, 2006). رونق ساخت‌وساز گسترده به دنبال موج مهاجرت سبب شده است زمین‌های غیرمسکونی به مناطق مسکونی تبدیل شود (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۰). گسترش مناطق ساخته‌شده باعث افزایش کنترل‌نشده در سطح غیرقابل نفوذ می‌شود که می‌تواند احتمال

وقوع سیل را افزایش دهد (Rodríguez et al., 2015). از اقدامات مدیریتی که می‌تواند نقش بسزایی در کاهش خسارات ناشی از وقوع سیلاب داشته باشد، تعیین پهنه‌های سیلاب با دوره‌های بازگشت مختلف به کمک مدل‌سازی هیدرولیکی جریان سیلاب است (زراعتکار و همکاران، ۱۳۹۳). در بین مدل‌های هیدرولیکی، مدل ریاضی HEC-RAS که توسط USACE^۱ تهیه شده، جزء کاربردی‌ترین مدل‌های هیدرولیکی در زمینه سیلاب است. این مدل به دلیل قابلیت شبیه‌سازی سیل به صورت یک‌بعدی، دوبعدی و سه‌بعدی معمول‌ترین روش برای درک حوادث سیل، ارزیابی خطر وقوع سیل و برنامه‌ریزی مدیریت سیل است که امکان شبیه‌سازی رخداد‌های مختلف سیل را فراهم می‌کند (Geravand et al., 2020).

غلامی و همکاران در مطالعه‌ای در امتداد رودخانه‌های سیاه‌رود و گوهررود (شهر رشت) با استفاده از مدل HEC-RAS و GIS و نقشه رقومی (مقیاس: ۱:۱۰۰۰) رفتار هیدرولیکی رودخانه‌ها را شبیه‌سازی کردند و نقشه پهنه‌بندی سیل را در دوره بازگشت‌های ۲، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ سال تهیه کردند. نتایج نشان داد که برخی از بخش‌های شهر رشت (اراضی کناره رودخانه) در معرض خطر سیل قرار دارند (Gholami et al., 2016). حسینی و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی در زمینه پهنه‌های سیل‌گیر رود کشکان با استفاده از مدل HEC-RAS، چنین استنباط کردند که از کل مساحت سیل‌گیر مربوط به دوره بازگشت ۱۰۰۰ سال، ۷۷ درصد آن مستعد سیل‌گیری با دوره‌های بازگشت کوتاه‌مدت (۲۵ سال) است. زوپ و همکاران با استفاده از مدل HEC-RAS و HEC-HMS به پهنه‌بندی سیل در محیط شهری بمبی در دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ سال پرداختند و به این نتیجه رسیدند که تغییر در کاربری اراضی و پوشش سطح باعث افزایش دبی و از طرفی گسترش پهنه‌های سیل‌گیر می‌شود (Zope et al., 2017). پراستیکا و همکاران با مدل HEC-RAS پهنه‌های سیل‌گیر در شهر Bojonegoro در دوره بازگشت‌های ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال را بررسی کردند که نتایج نشان داد سیلاب در دوره بازگشت‌های ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال بیشترین پهنه را داشته، از حریم رودخانه خارج شده و نواحی اطراف رودخانه را در بر گرفته است (Prastica et al., 2018). رنگاری و همکاران با ترکیب GIS با مدل بارش-رواناب (HEC-HMS) و مدل هیدرولژیکی (HEC-RAS) سیلاب را در مناطق شهری حیدرآباد هند مدل‌سازی کردند و نقشه‌های سیل را تهیه کردند. نتایج تحت قالب نقشه‌های طغیان سیل تهیه شده‌اند که نشان‌دهنده منطقه در معرض خطر و مناطقی است که احتمال وقوع سیل در آن‌ها وجود دارد (Rangari et al., 2019). موحدی و همکاران سیلاب شهری در منطقه ۱۳ تهران را با مدل هیدرولیکی HEC-RAS در دوره‌های بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ سال شبیه‌سازی کردند و بیان نمودند که در شرایط موجود به‌ویژه برای رویدادهای بارندگی با دوره بازگشت طولانی‌تر، سیل و حجم سرریز قابل توجهی در منطقه مطالعه‌شده رخ می‌دهد (Movahedini et al., 2019). دسالگن و مولو با استفاده از مدل HEC-RAS، GIS برای پردازش داده‌های مکانی و HEC-GeoRAS برای ارتباط بین HEC-RAS و GIS پهنه‌بندی سیل را با دوره بازگشت‌های ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال بررسی کردند (Desalegn & Mulu., 2021). نامارا و همکاران پهنه‌بندی سیلاب در اتیوپی را با دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال و ترکیب مدل‌های HEC-RAS، HEC-GeoRAS و HEC-HMS تجزیه

^۱. United States Army Corps of Engineers

و تحلیل کردند (Namara et al., 2022). پاریزی و حسینی (۱۴۰۲) میزان دقت مدل رقومی ارتفاعی TanDEM-X در شبیه‌سازی مشخصات هیدرولیکی سیلاب در حوضه رودخانه اترک را با دوره بازگشت‌های ۵ تا ۲۰۰ سال برآورد کردند و بیان نمودند که مدل دوبعدی HEC-RAS به همراه مدل رقومی ارتفاعی TanDEM-X می‌تواند پهنه سیلابی را با دقت نسبتاً زیاد استخراج کند. همچنین گوسوامی و همکاران و دریجانی و همکاران در دوره بازگشت‌های ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال با استفاده از مدل HEC-RAS پهنه‌های سیلابی را بررسی و تحلیل کرده‌اند (Darijani et al., 2025; Goswami et al., 2023).

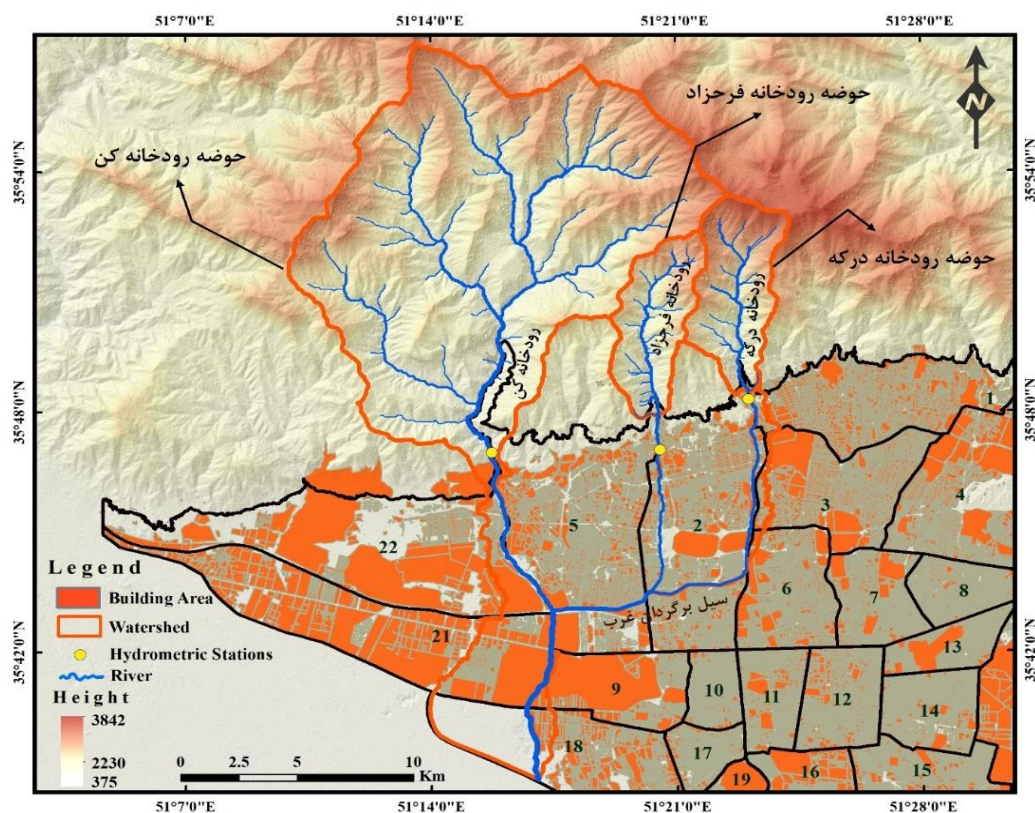
پهنه‌بندی و شناخت نقاط سیل‌گیر و ارائه نقشه‌های پهنه سیل در مناطق شهری یکی از روش‌های جلوگیری و کاهش تلفات و خسارات انسانی و اقتصادی و ارائه اطلاعات مطمئن به مردم درباره خطر سیل است. تهیه چنین نقشه‌هایی به شناسایی مناطق پرخطر و آسیب‌پذیر شهری در برابر سیل کمک می‌کند و امکان برنامه‌ریزی برای تخلیه اضطراری، امداد رسانی و کاهش خسارات مالی و جانی را فراهم می‌سازد. همچنین با داشتن چنین اطلاعاتی می‌توان توسعه شهری و طراحی زیرساخت‌های شهری را به سمت مناطق امن تر هدایت کرد و در طراحی بهینه سیستم‌های جمع‌آوری رواناب‌های سطحی شهر از آن‌ها استفاده کرد. بنابراین، باتوجه به وقوع سیل‌های مکرر در حوضه‌های شمالی شهر تهران انجام پژوهشی برای شناسایی مناطق در معرض سیل حوضه شمال-شمال غرب شهر تهران ضرورت دارد. در پژوهش حاضر سعی شده است نقشه پهنه‌بندی سیلاب برای دوره بازگشت‌های مختلف رودخانه‌های کن، فرحزاد، درکه و سیل‌برگردان غرب در حوضه شمال-شمال غرب شهر تهران با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS تهیه شود. تهیه نقشه‌های پهنه سیل‌گیر در محدوده شهر تهران می‌تواند مبنایی برای شناسایی مناطق با مخاطره بیشتر باشد و برای تهیه نقشه‌های خطرپذیری سیلاب شهر تهران استفاده شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعه شده

تهران پرجمعیت‌ترین شهر ایران است که طبق سرشماری ملی سال ۱۳۹۵ جمعیتی بالغ بر ۸۶۹۳۷۰۶ نفر دارد (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵) و تخمین زده می‌شود که در سال ۱۴۰۹ بیش از ۱۰ میلیون نفر جمعیت داشته باشد. این شهر با مساحت ۷۰۰ کیلومترمربع در جنوب رشته‌کوه البرز واقع شده است (شکل ۱). ارتفاع شهر در بلندترین نقاط شمالی حدود ۲۰۲۰ متر و در جنوبی‌ترین نقاط ۱۰۳۰ متر از سطح دریا متغیر است. بخش‌های شمالی تهران زمین‌هایی با شیب‌های تند مانند دامنه‌های کوه‌های البرز است که در جنوب به دشت‌های کم‌شیب ختم می‌شود و شیبی بین ۰ تا ۶۶ درجه دارد. میانگین بارندگی سالانه در شهر تهران بین ۱۸۸ تا ۴۲۸ میلی‌متر و میانگین دمای روز و شب بین ۲۷/۶ و ۱۳/۲ درجه سانتی‌گراد است. مناطق ساخته‌شده، مناطق بایر و درختان با ۷۳/۸ درصد، ۹/۳ درصد و ۷/۰ درصد پوشش غالب زمین در محدوده کلان‌شهر تهران هستند. درحالی‌که زمین‌های کشاورزی با پوشش ۱/۵ درصدی اغلب در بخش جنوبی و جنوب غربی شهر واقع شده‌اند، پهنه‌های آبی با ۰/۳ درصد در شمال غرب شهر قرار گرفته‌اند؛ علاوه‌بر این، بوته‌زارها و مراتع به‌ترتیب با پوشش ۲/۵ و ۲/۲ درصدی محدوده شهر غالباً در بخش شمال غربی واقع شده‌اند.

سیستم زهکشی منطقه مطالعه شده در شکل ۱ نشان داده شده است. حوضه شمال-شمال غرب شهر تهران شامل رودخانه‌های کن، فرحزاد، درکه و سیل‌برگردان غرب است. آب رودخانه‌های درکه و فرحزاد پس از خروج از حوضه کوهستانی و قسمتی از محدوده شهری، به وسیله سیل‌برگردان غرب به رودخانه کن منتقل می‌شود. مساحت حوضه در حدود ۴۱۵ کیلومترمربع است (مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران، ۱۳۸۴ الف). این حوضه در ناحیه کوهستانی البرز مرکزی واقع شده است. از نظر توپوگرافی شیب نسبتاً تندی دارد و متوسط شیب حوضه کن به حدود ۴۳/۵ درصد می‌رسد. همچنین با توجه به شرایط آب‌وهوایی منطقه، پوشش گیاهی تنکی دارد و پوشش سطحی نفوذناپذیری از نظر رخنمون زمین‌شناسی دارد. ایستگاه‌های هیدرومتری این حوضه شامل سولقان، هفت‌حوض و لشک است که براساس آمار و اطلاعات آن‌ها، متوسط آبدهی سالانه رودخانه درکه (ایستگاه هفت‌حوض) در محل ورود به منطقه شهری ۰/۴۳ مترمکعب بر ثانیه معادل ۱۳/۵ میلیون مترمکعب در سال است که از این مقدار ۷/۳ میلیون مترمکعب سهم رواناب و ۶/۲ میلیون مترمکعب به جریان پایه رودخانه مربوط است. در مقطع ورودی به شهر تهران رودخانه فرحزاد (ایستگاه لشک) دبی متوسط سالانه ۰/۲۲ مترمکعب بر ثانیه معادل ۶/۸ میلیون مترمکعب در سال دارد که از این مقدار ۴/۴ میلیون مترمکعب سهم رواناب سطحی و ۲/۴ میلیون مترمکعب به جریان پایه رودخانه مربوط است. همچنین میانگین رواناب روزانه حوضه کن (ایستگاه سولقان) در حدود ۴/۰۹ مترمکعب بر ثانیه، متوسط دبی سالانه ۲/۲ مترمکعب بر ثانیه و آبدهی سالانه آن نیز در حدود ۷۹ میلیون مترمکعب در سال برآورد شده است.



شکل ۱: موقعیت حوضه شمال-شمال غرب و رودخانه‌های اصلی در شهر تهران (منبع: نگارندگان)

Fig 1: Location of the northern and northwestern watershed and the main rivers in Tehran (Source: Authors)

اجرای مدل هیدرولیکی و روش تجزیه و تحلیل داده‌ها

در این پژوهش از داده‌های بلندمدت (از سال ۱۳۵۶ تا ۱۳۹۶) دبی حداکثر لحظه‌ای سالانه برای برآورد حجم سیلاب در دوره بازگشت‌های مختلف برای سه ایستگاه هیدرومتری (هفت‌حوض، سولقان و لشک) حوضه شمال-شمال غرب شهر تهران (شکل ۱) برای تحلیل فراوانی دبی اوج سیل با دوره بازگشت‌های مختلف استفاده شد. پس از بررسی استقلال و روند زمانی داده‌های دبی پیک، از نرم‌افزار Easyfit بهترین توزیع احتمالاتی برازشی داده‌های حداکثر دبی لحظه‌ای براساس سه معیار نکویی برازش شامل اندرسون-دارلینگ^۱، کولموگوروف-اسمیرنوف^۲ و کای اسکوئر^۳ در سطح معنی‌داری $\alpha=0.05$ استفاده شد. برای شبیه‌سازی جریان و تهیه نقشه پهنه‌های سیل در دوره بازگشت‌های مختلف از مدل هیدرولیک جریان HEC-RAS استفاده شد. HEC-RAS یک مدل هیدرودینامیکی است که انجمن مهندسان ارتش آمریکا برای شبیه‌سازی سیل ساخته‌اند (Brunner et al., 2016). قابلیت‌های نرم‌افزار HEC-RAS در انجام محاسبات هیدرولیکی یا شبیه‌سازی جریان رودخانه در حالت ماندگار و غیرماندگار و مدل‌سازی دشت سیلابی است (Rangari et al., 2019). در اجرای مدل هیدرولیکی، مقدار ضریب زبری مانینگ پارامتر هیدرولیکی مهمی است که نقش مؤثری در تراز آب و سرعت جریان دارد. عملی‌ترین روش برای تعیین این ضریب انجام بازدیدهای میدانی، اعمال قضاوت مهندسی و استفاده از جدول‌های پیشنهادی محققان است. این جدول‌ها معمولاً براساس نوع اندازه دانه‌های بستر و پوشش آن هستند. در میان روابط ارائه‌شده، رابطه معروف کوان (Cowan) برجسته است. در این روش، یک مقدار پایه برای ضریب براساس نوع کانال انتخاب می‌شود و سپس با استفاده از جدول کوان تنظیماتی برای عواملی مانند پوشش گیاهی، نامنظمی مقطع، موانع عمومی، جهت کانال و تغییرات در شکل و اندازه آن انجام می‌شود. مقدار معادل زبری مانینگ برای کانال‌های مطالعه‌شده در محدوده ۰/۰۱۵ تا ۰/۰۱۷ برای مقاطع بتنی و ۰/۰۲۰ تا ۰/۰۴۰ برای زبری بستر طبیعی و پهنه سیلابی در نظر گرفته شد و در نهایت با تحلیل حساسیت نتایج مدل به این ضرایب، صحت‌سنجی شدند.

در تحقیق حاضر به منظور تهیه نقشه پهنه‌های سیلابی و شبیه‌سازی سیل منطقه مطالعه‌شده، ابتدا از مدل رقومی ارتفاعی (DEM^۴) با اندازه پیکسل ۱۰ متر (سازمان نقشه‌برداری کشور) استفاده شد؛ سپس برای استفاده از آن، تصحیح هندسی شد و با استفاده از نرم‌افزار AecGIS شبکه نامنظم مثلثی سطح زمین (TIN^۵) برای وارد کردن به مدل تهیه شد. در ادامه جهت ورود اطلاعات هندسی رودخانه از افزونه HEC-Geo-RAS برای ترسیم خط مرکزی جریان، خط کناره‌های رودخانه، مقاطع عرضی از ساحل راست به سمت ساحل چپ و مسیر جریان استفاده شد. فواصل مقاطع عرضی ۵۰ متر در مدل برای تمام کانال‌ها در نظر گرفته شد. اطلاعات جریان برای مدل شامل رژیم جریان است که داده‌های مربوط به دبی، شرایط اولیه و مرزی را شامل می‌شود. رژیم جریان به صورت زیر بحران و فوق بحرانی یا ترکیبی تعریف می‌شود.

1. Anderson-Darling

2. Kolmogorov-Smirnov

3. Chi-square

4 Digital Elevation Model

5 Triangulated Irregular Network

اطلاعات دبی حداقل یک مقدار در طول هر بازه و شرایط مرزی جریان تعیین می‌شود (Merwade, 2004). اطلاعات اولیه موردنیاز برای شبیه‌سازی سیلاب حوضه مطالعه‌شده در مدل HEC-RAS شامل: ۱- اطلاعات هیدرولیکی (ضرایب زبری رودخانه در بازه‌های مختلف، وضعیت مسیر رودخانه، کانال رودخانه، مقاطع عرضی رودخانه، پل‌ها)؛ ۲- اطلاعات توپوگرافی (نیم‌رخ طولی و عرضی رودخانه) (شکل ۱) و ۳- اطلاعات جریان سیل (هیدروگراف ورودی سیل، دبی با دوره بازگشت‌های مختلف) است که برای محاسبه آن از آمار و اطلاعات ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه مطالعه شده استفاده شده است. پس از پردازش اطلاعات ورودی به مدل، نتایج خروجی در قالب شبیه‌سازی پهنه‌های سیلابی با دوره بازگشت‌های ۱۰ تا ۱۰۰ ساله و نتایج هیدرولیکی سرعت متوسط جریان، سطح مقطع جریان، عرض سطح آب و عدد فرود جریان به دست آمد؛ سپس پهنه‌های سیل با استفاده از نرم‌افزار گوگل ارث با مناطق تحت بررسی صحت‌سنجی شد و کاربری‌های در خطر سیل مشخص شد.

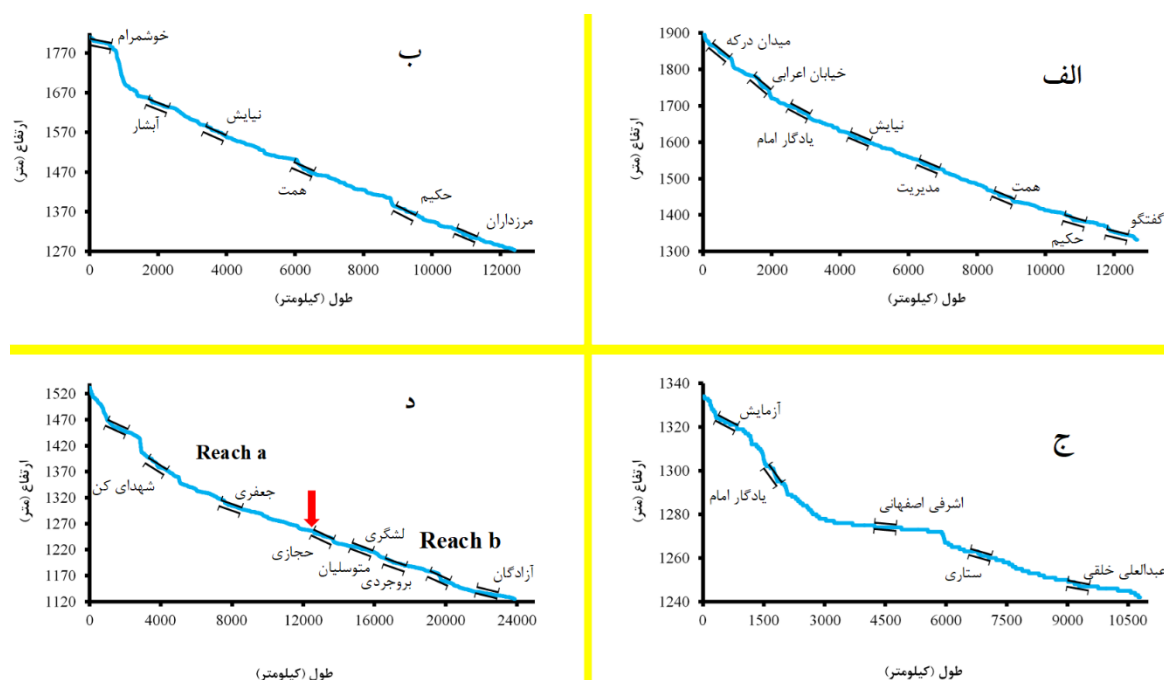
نیم‌رخ طولی رودخانه و کانال‌های منطقه مطالعاتی

نیم‌رخ طولی رودخانه اطلاعات شیب، سرعت جریان و قدرت فرسایش رودخانه را ارائه می‌دهد (Roberts et al., 2019). شکل ۲ نیم‌رخ طولی کانال‌ها و موقعیت پل‌های منطقه بررسی‌شده را نشان می‌دهد. نیم‌رخ طولی درکه از بالادست دهستان رودبار قصران تا کانال خشکه شیب ۷٪ و از این محل تا سیل‌برگردان شیب ۴٪ دارد (شکل ۲ الف). نیم‌رخ فرحزاد با تغییراتی در شیب رودخانه در فواصل ۱۸۰۵ تا ۱۶۷۰ متر ابتدای رودخانه با شیبی تند قابل‌مشاهده است؛ ولی در فواصل ۱۶۷۰ متر تا نقطه اتصال سیل‌برگردان غرب (۱۲۷۴ متر) با شیب متوسط ۵ درصد است (شکل ۲ ب). تغییرات نیم‌رخ طولی کانال سیل‌برگردان پنج محدوده شیب دارد که شامل محدوده صفر تا فاصله ۳۰۰۰ متر و از فاصله ۴۰۰۰ تا ۶۰۰۰ متر و نهایتاً ۷۰۰۰ تا ۷۵۰۰ متر با شیب بسیار ملایم و سپس محدوده ۳۰۰۰ تا ۴۰۰۰ متر و ۷۵۰۰ تا انتهای کانال با شیب ۲٪ است (شکل ۲ ج). همچنین نیم‌رخ طولی رودخانه کن در محدوده بالادست (پل بزرگراه شهید حجازی) شیب تند و با تغییرات پله‌ای از ارتفاعات به سمت دشت روبه‌رو است. تغییرات قابل‌توجه شیب در بالادست تقریباً به محدوده ۲۰۰۰ تا ۵۰۰۰ متر منحصر است. در پایین‌دست (پل بزرگراه شهید حجازی) این تغییرات محدود و رودخانه تقریباً با شیب نسبی ثابت در دشت جریان می‌یابد (شکل ۲ د).

نتایج و یافته‌ها

نقشه پهنه‌بندی سیلاب در دوره بازگشت‌های مختلف

نتایج شبیه‌سازی هیدرولیکی رودخانه‌های درکه، فرحزاد، کانال سیل‌برگردان غرب و رودخانه کن در بالادست و پایین‌دست کانال سیل‌برگردان در حوضه شمال-شمال غرب شهر تهران با استفاده از مدل HEC-RAS در محیط نرم‌افزار ArcGIS انجام شد. خروجی‌های مدل برای دوره بازگشت‌های ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال به صورت نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب، جدول‌ها و نمودارها تهیه و ترسیم شد (شکل‌های ۳، ۵، ۷، ۹ و ۱۱). نتایج به‌دست‌آمده از مدل تحت قالب نقشه پهنه‌های سیلابی علاوه‌بر تعیین مرزهای ایمن رودخانه‌ها و فعالیت‌های طراحی منظر و اکولوژی در مطالعات مدیریت شهری نیز کاربرد دارد.



شکل ۲: نیم‌رخ طولی رودخانه و کانال‌های مطالعه‌شده الف: رودخانه درکه، ب: رودخانه فرحزاد، ج: کانال سیل‌برگردان غرب و د: رودخانه کن. a: بالادست سیل‌برگردان غرب b: پایین‌دست سیل‌برگردان غرب (پیکان قرمز محل اتصال کانال سیل‌برگردان غرب به رودخانه کن) (منبع: نگارندگان)

Fig 2: Longitudinal profile of the studied channels: A: Darakeh, B: Farahzad, C: West Floodway Channel, and D: Kan. Reach a: Upstream of West Floodway, Reach b: Downstream of West Floodway (red arrow indicates the connection of West Floodway Channel to Kan River) (Source: Authors)

شبیه‌سازی جریان در رودخانه درکه از حدود ۸۵۰ متر بالاتر از سرپل بالا (حدود رستوران سلطان) تا اتصال به کانال سیل‌برگردان غرب انجام شد. این شبیه‌سازی در حدود ۹/۲ کیلومتر از رودخانه طبیعی و کانال بتنی-سنگی ساخته‌شده را شامل می‌شود. رودخانه درکه در حدود ۴/۷ کیلومتر (بالادست بزرگراه نیایش) بستر طبیعی دارد (در قسمت‌هایی دیوارسازی سنگی انجام شده است) و پس از آن به‌صورت بتنی-سنگی کانال‌سازی شده است. نتایج مدل‌سازی پهنه‌بندی سیلاب رودخانه درکه نشان می‌دهد پهنه سیل‌گیر این رودخانه از بالادست میدان درکه تا حدود ۸۰۰ متر پایین‌دست محل تقاطع رودخانه درکه و خشکه مسیل به دلیل شیب زیاد در دوره بازگشت‌های مختلف گسترش چندانی ندارد؛ اما در پایین‌دست کانال خشکه به دلیل کاهش شیب، عرض پهنه‌های سیل در دوره بازگشت‌های مختلف افزایش می‌یابد. گسترش پهنه‌ها از حدود مجتمع مسکونی باغ بهشت (پایین‌تر از بزرگراه یادگار امام) به طرف شهرک آتی‌ساز و شهرک نیایش که در ادامه از غرب بلوار مدیریت و کنار بوستان گفت‌وگو عبور کرده است، افزایش می‌یابد و وارد کانال سیل‌برگردان غرب می‌شود (شکل ۳). همچنین در شکل (۳-ه) نقشه سه‌بعدی پهنه آبرگرفتی رودخانه درکه در دوره بازگشت ۱۰۰ سال نمایش داده شده است. تعدادی از رستوران‌های اطراف رودخانه درکه در ترازای پایین‌تر از ارتفاع ایمن از کف رودخانه قرار گرفته‌اند که در معرض سیل هستند. همچنین در پایین‌دست میدان درکه بیشینه دبی سیلاب در دوره بازگشت ۱۰۰ سال حدود ۷۰ مترمکعب بر ثانیه با سرعت ۳/۴ متر



شکل ۳: پهنة سيلاب با دوره بازگشت الف: ۱۰ سال، ب: ۲۵ سال، ج: ۵۰ سال د: ۱۰۰ سال و هـ: نقشه سه‌بعدی دوره ۱۰۰ سال رودخانه درکه (منبع: نگارندگان)

Fig 3: Flood inundation area of the Darakeh River with return periods A: 10 years, B: 25 years, C: 50 years, and D: 100 years and E: 3D map of the 100 year period (Source: Authors)

جدول ۱: وسعت پهنه‌های سیلابی در دوره بازگشت ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال رودخانه درکه

Table 1: Flood inundation area of the Darakeh River with 10, 25, 50 and 100 year return periods

کاربری فضای سبز (هکتار)	کاربری خدماتی، تجاری (هکتار)	کاربری مسکونی (هکتار)	مساحت (هکتار)	دبی اوج سیلاب (مترمکعب در ثانیه)	دوره بازگشت (سال)	رودخانه
۵۵/۸	۴/۵	۱۴/۵	۷۴/۸	۷۰/۲	۱۰۰	درکه
۵۲/۸	۳/۸	۱۳/۴	۷۰	۵۷/۳	۵۰	
۴۸/۵	۳/۱	۱۲/۳	۶۳/۹	۴۸/۱	۲۵	
۳۷/۵	۲/۳	۱۰	۴۹/۸	۳۵/۳	۱۰	

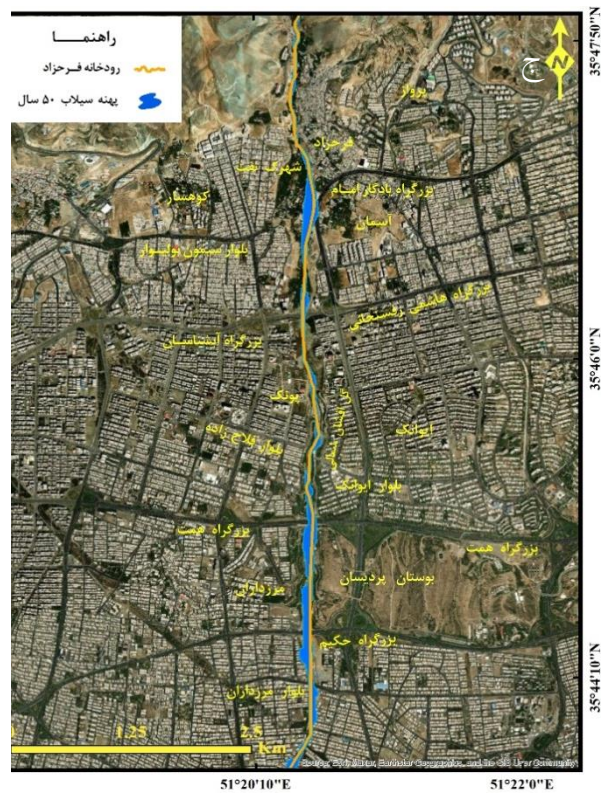
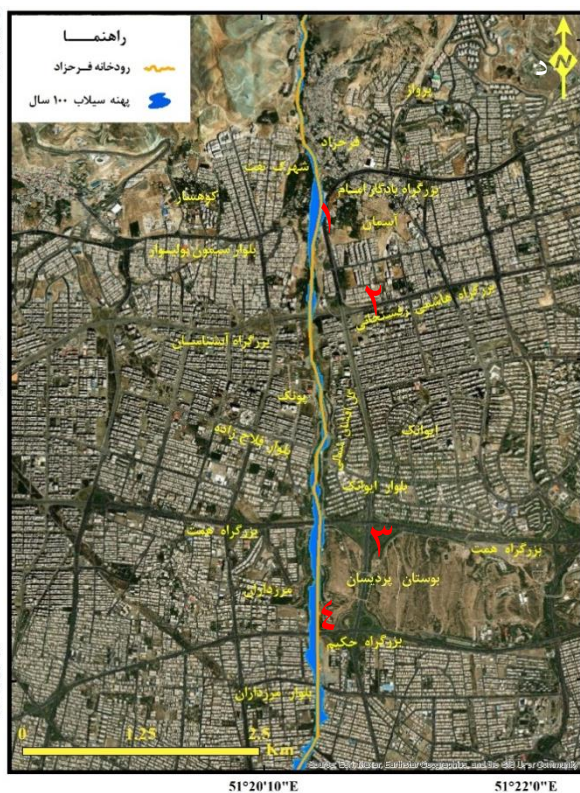
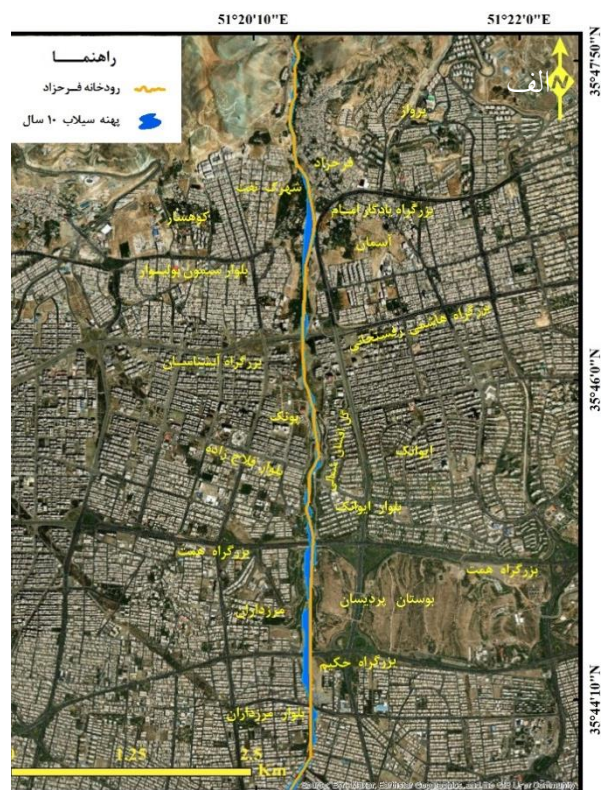
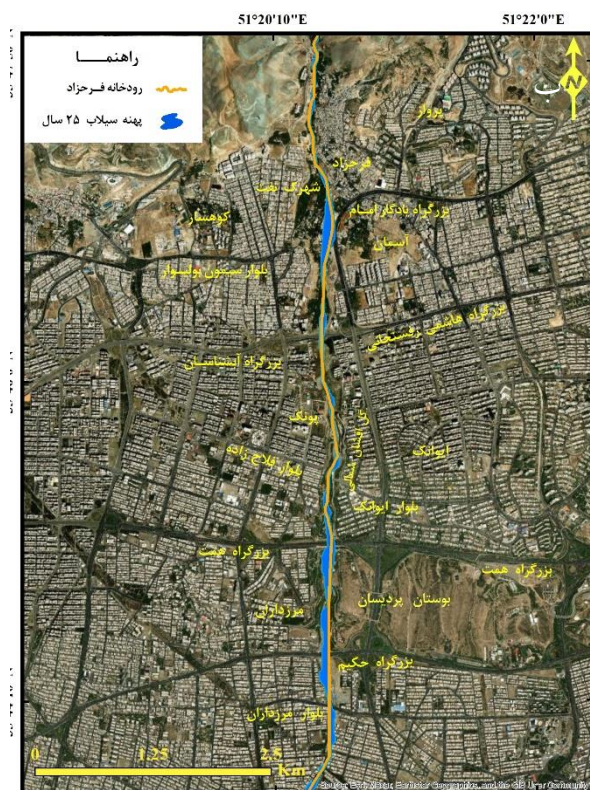
منبع: نگارندگان



شکل ۴: الف: پایین‌دست میدان درکه، ب: بالادست آبگذر بزرگراه یادگار امام، ج: پایین‌دست بزرگراه نیایش، د: بالادست بزرگراه همت
(منبع: نگارندگان)

Fig 4: Images of 1: Downstream of Darakeh Square, 2: Upstream of Yadegar Imam Highway Aqueduct, 3: Downstream of Niayesh Highway, 4: Upstream of Hemmat Highway (Source: Authors)

شبیه‌سازی جریان در رودخانه فرحزاد از حدود ۵۰۰ متر بالاتر از پل خوشمram تا اتصال به کانال سیل‌برگردان غرب انجام شد. این شبیه‌سازی در حدود ۹ کیلومتر از مسیر طبیعی و کانال بتنی-سنگی ساخته‌شده فرحزاد را شامل می‌شود. رودخانه فرحزاد در حدود ۴ کیلومتر (قبل از پل نیایش) بستر طبیعی دارد (در قسمت‌هایی دیوارسازی سنگی انجام شده است) و پس از آن به‌صورت بتنی-سنگی کانال‌سازی شده است. نتایج مدل‌سازی رودخانه فرحزاد نشان می‌دهد حداکثر سطح پهنه سیلابی در محل تقاطع این رودخانه با شاخه‌های فرعی بهرود و مرادآباد اتفاق می‌افتد. در این ناحیه عموماً باغ‌های شخصی در دو طرف رودخانه مشاهده می‌شود. به همین علت موضوع ذخیره‌سازی و گسترش فضای سبز در راستای مدیریت سیل در این محدوده نیازمند تأمل است. باتوجه‌به نقشه پهنه‌بندی سیل، از حدود بزرگراه همت (غرب بوستان پردیسان) تا بلوار مرزداران (حدود ۲ کیلومتر) پهنه سیل افزایش یافته است (شکل ۵). همچنین نقشه سه‌بعدی پهنه آبگرفتگی سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰ سال در شکل (۵-هـ) نمایش داده شده است. بیشترین پهنه سیل در حدود ۳۴ و ۲۹/۲ هکتار به‌ترتیب در دوره بازگشت ۱۰۰ و ۵۰ سال با عرض سطح آب ۲۴۷/۴ و ۲۳۷/۸ متر است. نتایج نشان می‌دهد در محل پل خوشمram سیلاب در تمام دوره‌های بازگشت سبب آبگرفتگی معبر خواهد شد. همچنین برای پل آبشار در دوره‌های ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال این اتفاق رخ می‌دهد. بیشینه دبی در پایین‌دست آبگذر آبشار با دوره ۱۰۰ سال ۷۱/۶ مترمکعب بر ثانیه با سرعت ۹/۴ متر بر ثانیه است. نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد حداکثر دبی لحظه‌ای با ۷۱/۴ و ۵۷/۹ مترمکعب بر ثانیه در دوره بازگشت ۱۰۰ و ۵۰ سال بوده است. باتوجه‌به شکل ۵ در بالادست تقاطع مرادآباد و بهرود با رودخانه فرحزاد به دلیل شیب زیاد، پهنه سیل تغییراتی در دوره بازگشت‌ها نشان نمی‌دهد؛ زیرا وجود شیب زیاد در بالادست رود دره عامل کاهش پهنه سیلاب در دوره‌های بازگشت مختلف بوده است. کاربری‌های فضای سبز با ۳۲/۶ و ۲۸/۴ هکتار و همچنین مناطق مسکونی با ۱/۲ و ۰/۷ هکتار در دوره بازگشت‌های ۱۰۰ و ۵۰ سال بیشترین کاربری در پهنه‌های سیل‌گیر را تشکیل می‌دهند (جدول ۲). همچنین عدد فرود جریان در دوره بازگشت ۵۰ تا ۱۰۰ سال ۲/۶ است که نشان‌دهنده شرایط فوق بحرانی است. علل وقوع سیل در مناطق مشخص‌شده در شکل ۶ تنگی و گرفتگی آبگذر پل به دلیل وجود رسوبات و حجم عظیم سیلاب در دوره بازگشت‌های زیاد است (شکل ۶، الف و ب). کاهش شیب، حجم بالای رواناب، تنگی مجاری انتقال آب و کافی‌نبودن عمق کانال تا لبه به دلیل وجود رسوبات در آن نیز از دیگر علل وقوع سیل در این مناطق است (شکل ۶-ج و د).





شکل ۵: پهنه سیلاب با دوره بازگشت الف: ۱۰ سال، ب: ۲۵ سال، ج: ۵۰ سال د: ۱۰۰ سال و ه: نقشه سه‌بعدی دوره ۱۰۰ سال رودخانه فرحزاد (منبع: نگارندگان)

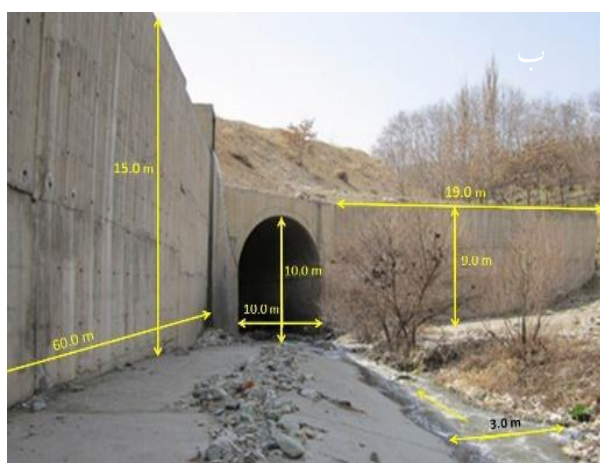
Fig 5: Flood inundation area of the Farahzad River with return periods A: 10 years, B: 25 years, C: 50 years, D: 100 years and E: 3D map of the 100 year period (Source: Authors)

جدول ۲: وسعت پهنه‌های سیلابی در دوره بازگشت ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال رودخانه فرحزاد

Table 2: Floodplain area of the Farahzad River with the 10, 25, 50, and 100-year return periods

رودخانه	دوره بازگشت (سال)	دبی اوج سیلاب (مترمکعب در ثانیه)	مساحت (هکتار)	کاربری مسکونی (هکتار)	کاربری خدماتی، تجاری (هکتار)	کاربری فضای سبز (هکتار)
فرحزاد	۱۰۰	۷۱/۶	۳۴	۱/۲	۰/۲	۳۲/۶
	۵۰	۵۷/۹	۲۹/۲	۰/۷	۰/۱	۲۸/۴
	۲۵	۴۷/۴	۲۴/۲	۰/۳	۰/۱	۲۳/۸
	۱۰	۳۴/۳	۱۹/۶	۰/۲	—	۱۹/۴

منبع: نگارندگان



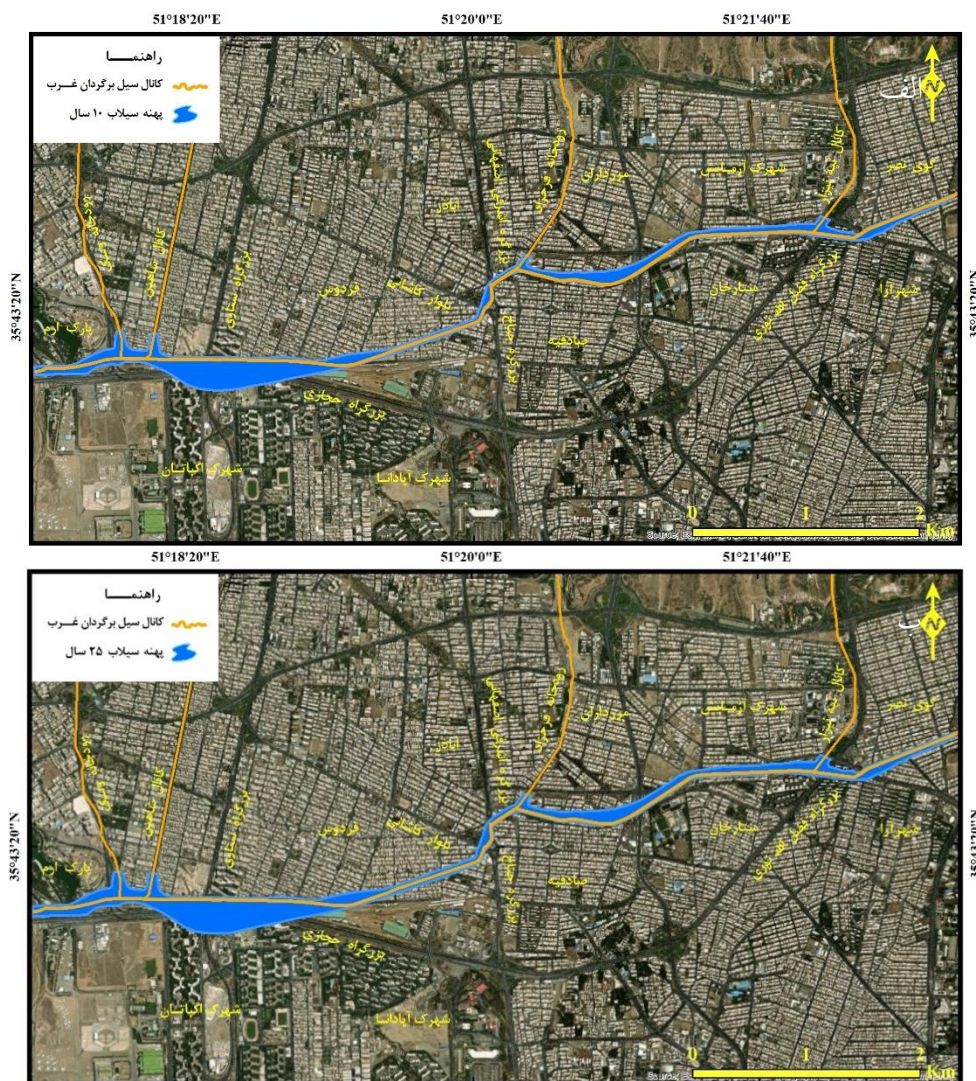


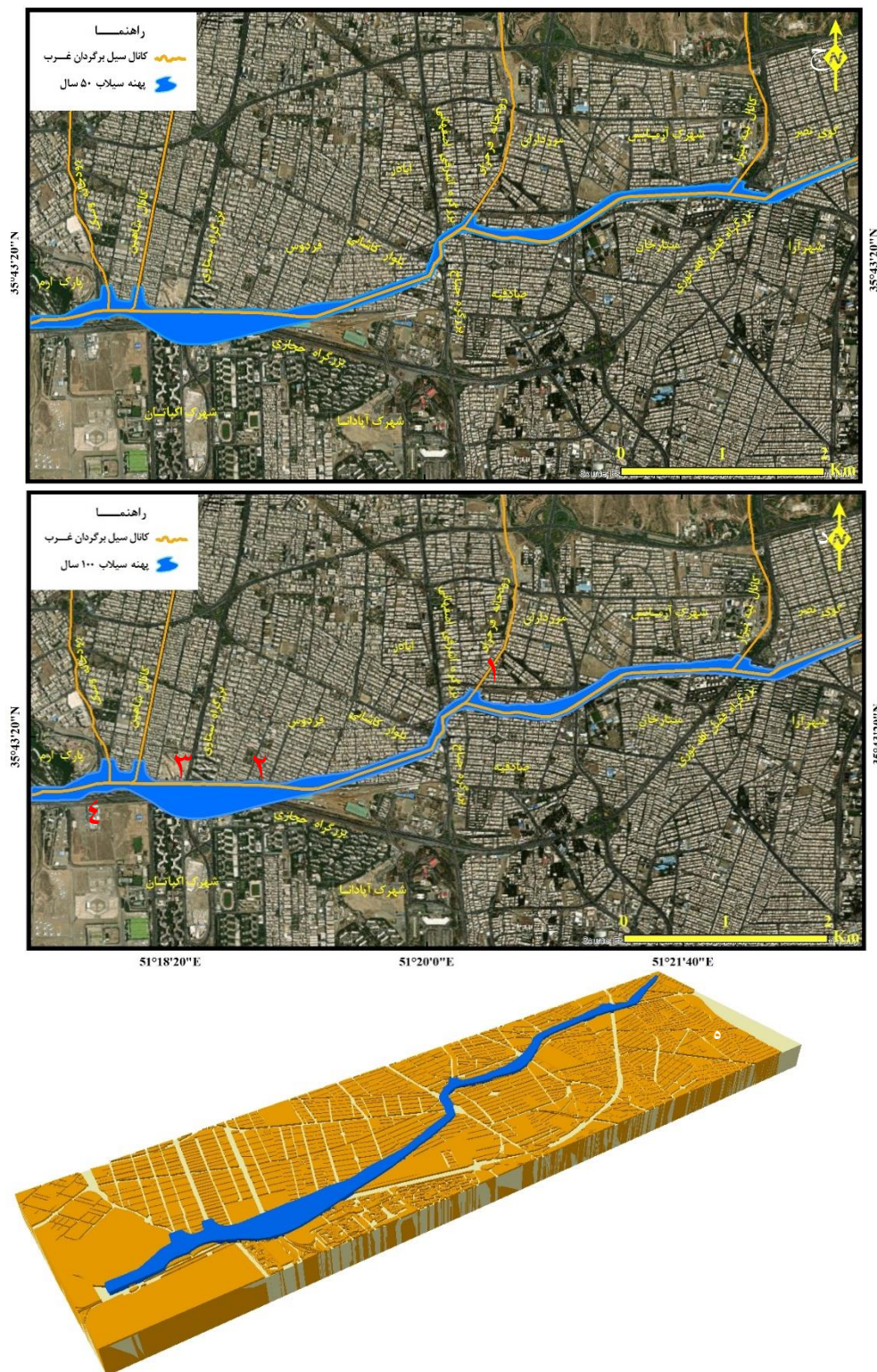
شکل ۶: الف: پل آبشار، ب: بالادست آبگذر بزرگراه نیایش، ج: بوستان نهج‌البلاغه، د: بین بزرگراه حکیم تا بلوار مرزداران (منبع: نگارندگان)

Fig 6: Images of 1: Waterfall Bridge, 2: Upstream of Niayesh Highway Aqueduct, 3: Nahjul Balagha Park, 4: Between Hakim Highway and Marzadaran Boulevard (Source: Authors)

شبیه‌سازی جریان کانال سیل‌برگردان غرب به طول ۹/۵ کیلومتر از جنوب بوستان گفت‌وگو (محل اتصال رودخانه درکه به کانال سیل‌برگردان غرب) به سمت غرب و با عبور از خیابان جلال آل احمد و پل آزمایش تا نقطه ورود به رودخانه کن (جنوب غرب پارک ارم) انجام شد. این کانال یک آبگذر مصنوعی (بتنی-سنگی) است. کانال سیل‌برگردان غرب نقش مؤثری در انتقال جریان‌های ورودی (شامل رودخانه درکه، کانال تپه نیزار، فرحزاد، کانال شاهین-شقایق و وسک) و انتقال این جریان‌ها به رودخانه کن دارد (شکل ۷). در شکل (۷-هـ) نقشه سه‌بعدی پهنه آبگرفتگی سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰ سال آورده شده است. به علت تفاوت شیب در طول کانال الگوی جریان در نقاط مختلف آن متفاوت است و باعث تجمع و گسترش پهنه سیل در مناطق انتهایی کانال می‌شود. بیشترین تغییرات پهنه سیل با ورود جریان‌های رودخانه درکه، کانال تپه نیزار و سپس فرحزاد باتوجه به قرارگیری در شیب تند گسترش چندانی ندارد؛ اما در ادامه به دلیل کاهش شیب کانال بعد از رودخانه فرحزاد و از حدود شمال شهرک آپادانا (تقاطع بلوار فرودسی با خیابان علی‌اکبر سلیمی جهرمی، نرسیده به بزرگراه ستاری) به‌طور چشمگیری پهنه سیل گسترش یافته و با ورود جریان کانال شاهین و حصارک بر پهنه افزوده می‌شود. شیب کانال از حدود شهرک آپادانا تا بزرگراه باکری به‌صورت ملایم است و تجمع و گسترش پهنه در این محدوده اتفاق می‌افتد. نتایج نشان داد پل خیابان آریافر ظرفیت کافی برای عبور سیلاب را در دوره بازگشت ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال ندارد. همچنین در پل‌های قبل از اتوبان یادگار امام و پل خسروی خروج جریان در تمام دوره‌ها وجود دارد. پل‌های بعد از فلکه دوم صادقیه و پل خیابان ولیعصر در دوره ۵۰ و ۱۰۰ سال برای عبور سیلاب با مشکل مواجه می‌شوند. نتایج مدل‌سازی نشان می‌دهد پل‌های خیابان سلیمی جهرمی، رمپ قبل از خیابان ستاری، اتوبان ستاری و پل بعد از تقاطع وسک ظرفیت کافی برای انتقال سیلاب را در هیچ کدام از دوره‌های بازگشت ندارند. بیشترین پهنه سیل‌گیر کانال در دوره بازگشت‌های ۱۰۰ و ۵۰ سال ۹۹/۶ و ۹۳/۸ هکتار با عرض سطح آب ۳۹۳/۶ و ۳۸۵/۲ متر است. بیشترین سرعت جریان در دوره ۵۰ و ۱۰۰ سال ۱۰ متر بر ثانیه و عدد فرود جریان در دوره بازگشت ۵۰ تا ۱۰۰ سال ۱/۸ است که نشان‌دهنده شرایط فوق

بحرانی است. همچنین از نظر نوع کاربری، مناطق مسکونی با ۵۷/۲ و ۵۲/۷ هکتار و سپس کاربری‌های خدماتی، تجاری و کارگاهی با ۲۶/۱ و ۲۵/۹ هکتار بیشترین مناطق در معرض سیل هستند (جدول ۳). از عوامل اصلی وقوع سیل در کانال سیل‌برگردان غرب می‌توان به ظرفیت ناکافی کانال آبگذر، تنگی و گرفتگی آبگذر پل (شکل ۸-الف)، کاهش شیب، حجم بالای رواناب و وجود رسوبات انباشته در آن اشاره کرد (شکل ۸-ب، ج و د).





شکل ۷: پهنه سیلاب با دوره بازگشت الف: ۱۰ سال، ب: ۲۵ سال، ج: ۵۰ سال د: ۱۰۰ سال و ه: نقشه سه بعدی دوره ۱۰۰ سال سیل برگردان غرب (منبع: نگارندگان)

Fig 7: Flood inundation area of the western floodway channel with return periods A: 10 years, B: 25 years, C: 50 years, D: 100 and E: 3D map of the 100 year period (Source: Authors)

جدول ۳: وسعت پهنه‌های سیلابی در دوره بازگشت ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال کانال سیل‌برگردان غرب (منبع: نگارندگان)

Table 3: Floodplain area extent of of the West Floodway Channel with the 10, 25, 50, and 100-year return periods

کانال	دوره بازگشت (سال)	مساحت (هکتار)	کاربری مسکونی (هکتار)	کاربری خدماتی، تجاری (هکتار)	کاربری فضای سبز (هکتار)
سیل‌برگردان غرب	۱۰۰	۹۹/۶	۵۷/۲	۲۶/۱	۱۶/۳
	۵۰	۹۳/۸	۵۲/۷	۲۵/۹	۱۵/۲
	۲۵	۸۸/۱	۴۹/۴	۲۵/۰	۱۳/۷
	۱۰	۸۴/۱	۴۷/۴	۲۴/۲	۱۲/۵

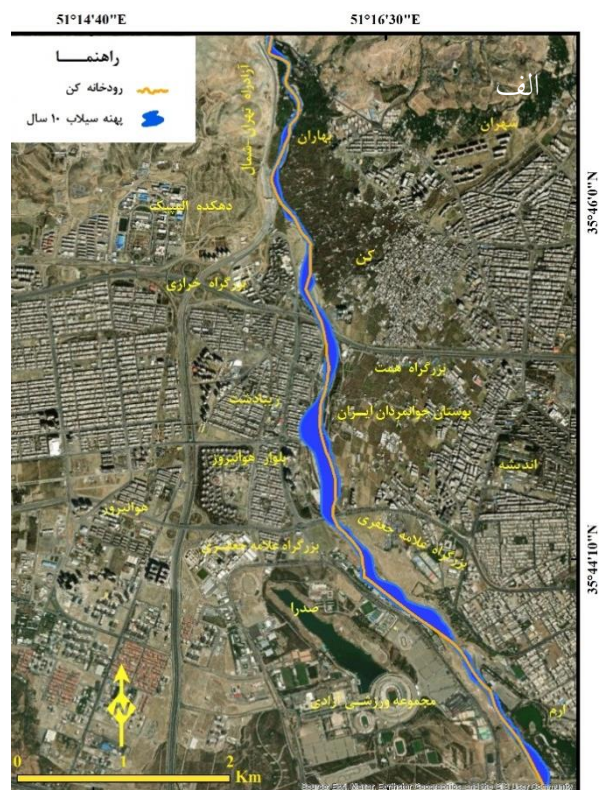
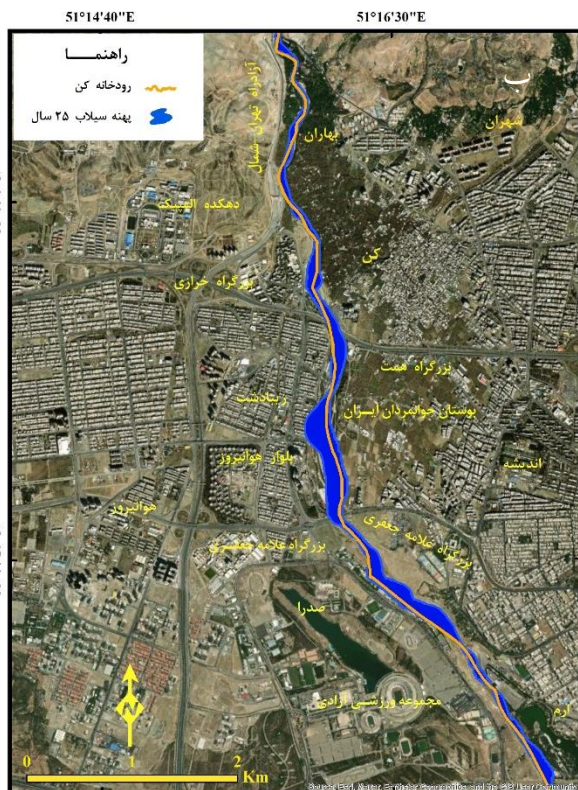


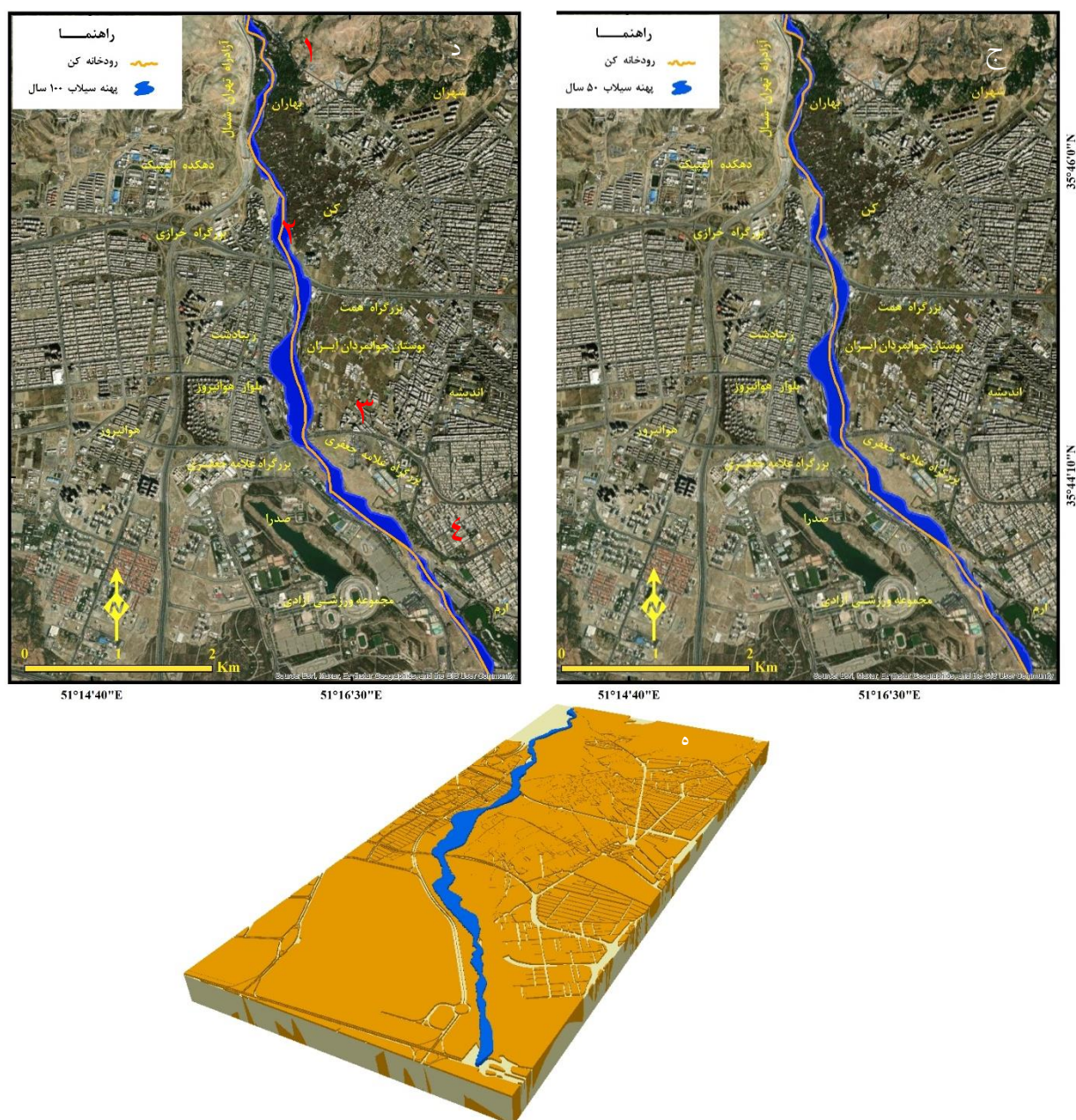
شکل ۸: الف: محدوده خیابان آریان‌فر، ب: بالادست بزرگراه ستاری، ج: محدوده مترو اکباتان، د: محدوده پارک ارم (منبع: نگارندگان)

Fig 8: Image of 1: Arianfar Street area, 2: Upstream of Sattari Highway, 3: Ekbatan Metro area, 4: Eram Park area (Source: Authors)

شبیه‌سازی جریان رودخانه کن در قسمت بالادست کانال سیل‌برگردان غرب به طول حدود ۹ کیلومتر انجام شد. قسمت شمالی رودخانه دره زرنو به کن تا دهکده المپیک و مجاور زیبادشت پایین به صورت کوهستانی و دارای شیبی تند است؛ لذا پهنه سیلابی آن در این منطقه نسبت به دیگر مناطق رودخانه وسعت کمتری دارد. پس از این منطقه، رودخانه در مسیر تقریباً مستقیم به سمت پایین دست حرکت می‌کند و با افزایش نسبی سیلاب دشت در محدوده پایین‌تر از زیبادشت به

سمت مجموعه ورزشی آزادی دوره بازگشت‌های مختلف دارد (شکل ۹). همچنین در شکل (۹-ه) نقشه سه‌بعدی پهنه سیلابی با دوره بازگشت ۱۰۰ سال رودخانه کن (بالادست سیل‌برگردان غرب) نمایش داده شده است. پهنه‌های سیل‌گیر محدوده در دوره ۱۰۰ و ۵۰ سال با مساحت ۶۶/۱ و ۵۵/۱ هکتار دارای بیشترین حد بوده که حدود ۵۷/۶ و ۵۲/۲ هکتار از این پهنه‌ها را فضای سبز و ۲/۸ و ۲/۳ هکتار را مناطق مسکونی شامل می‌شود. همچنین بیشترین دبی لحظه‌ای در پایین‌تر از زیادشت در دوره ۱۰۰ سال حدود ۴۱۰ مترمکعب در ثانیه با سرعت جریان ۱۲/۷ متر بر ثانیه است (جدول ۴). عدد فرود جریان نیز در دوره بازگشت ۵۰ تا ۱۰۰ سال ۳/۷ است که نشان‌دهنده شرایط فوق بحرانی است. شکل ۱۰ شامل تصاویر مناطقی است که می‌تواند عاملی در سیلابی شدن منطقه باشد یا به دلیل شرایط آنجا، پهنه سیلاب در آن گسترش یابد. از عوامل وقوع سیلاب در این مناطق می‌توان به تنگی و گرفتگی آبگذر پل باتوجه‌به مساحت زیاد حوضه بالادست رودخانه و ورود حجم بالای رواناب در دوره بازگشت‌های زیاد (شکل ۱۰، الف)، تجمع حجم بالای سیلاب، کاهش شیب و ساخت‌وساز و دستکاری اطراف رودخانه (شکل ۱۰، ب)، بر هم زدن بستر طبیعی رودخانه بدون توجه به دوره بازگشت‌های مختلف سیل در حوضه بالادست، بتنی کردن کناره‌های رودخانه و کاهش شیب نیم‌رخ طولی (شکل ۱۰، ج)، پایاب و تجمع رواناب‌های مختلف از دیگر شاخه‌ها، کاهش شیب و دستکاری بستر طبیعی رودخانه اشاره کرد (شکل ۱۰، د).



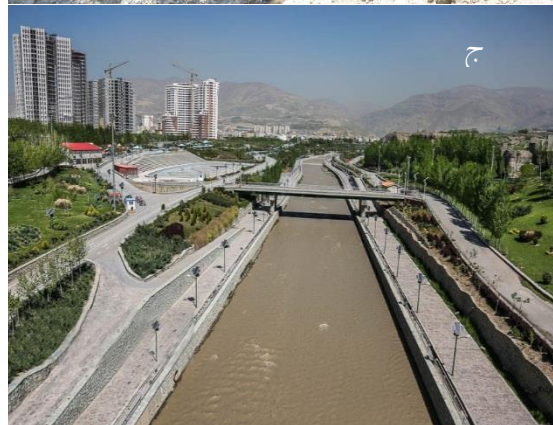


شکل ۹: پهنه سیلاب رودخانه کن در بالادست سیل‌برگردان با دوره بازگشت الف: ۱۰ سال، ب: ۲۵ سال، ج: ۵۰ سال، د: ۱۰۰ سال و ه: نقشه سه‌بعدی دوره ۱۰۰ سال (منبع: نگارندگان)

Fig 9: Flood inundation area of the Kan River upstream of the west floodpway junction with return periods A: 10 years, B: 25 years, C: 50 years, D: 100 years and E: 3D map of the 100 year period (Source: Authors)

جدول ۴: وسعت پهنه‌های سیلابی در دوره بازگشت ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال رودخانه کن (بالادست سیل‌برگردان غرب) (منبع: نگارندگان)
 Table 4: The extent of floodplains in the 10, 25, 50, and 100-year return periods of the Kan River (upstream of the western floodplain) (Source: Authors)

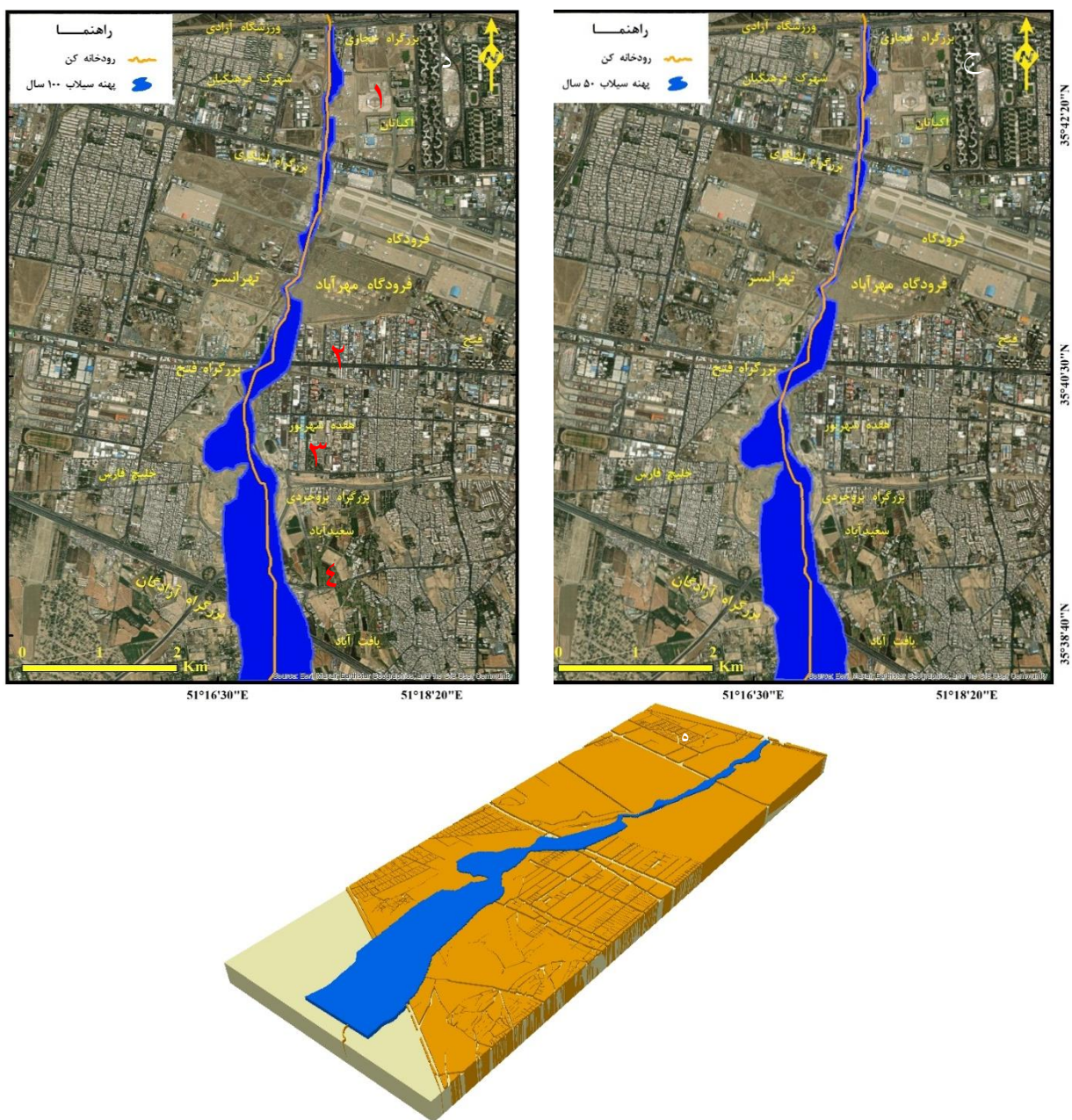
کاربری فضای سبز (هکتار)	کاربری خدماتی، تجاری (هکتار)	کاربری مسکونی (هکتار)	مساحت (هکتار)	دبی اوج سیلاب (مترمکعب در ثانیه)	دوره بازگشت (سال)	رودخانه
۵۷/۶	۰/۷	۲/۸	۶۱/۱	۴۱۰	۱۰۰	کن (بالادست سیل‌برگردان غرب)
۵۲/۲	۰/۶	۲/۳	۵۵/۱	۳۲۳	۵۰	
۴۶/۸	۰/۳	۱/۷	۴۸/۸	۲۴۴/۳	۲۵	
۴۱/۱	۰/۱	۱/۰	۴۲/۲	۱۵۰/۷	۱۰	



شکل ۱۰: الف: پل سنگان، ب: دهکده المپیک، ج: بالادست بزرگراه جعفری، د: مجموعه آزادی بالادست پارک ارم (منبع: نگارندگان)

Fig 10: Images of 1: Sangan Bridge, 2: Olympic Village, 3: Upstream of Jafari Highway, 4: Azadi Complex upstream of Eram Park (Source: Authors)

در ادامه شبیه‌سازی جریان رودخانه کن، پایین‌دست کانال سیل‌برگردان غرب به طول ۹/۲ کیلومتر انجام گرفت. در نقطه اتصال سیل‌برگردان با رودخانه کن، به دلیل تجمع تمامی جریانات حوضه شمال-شمال غرب در این محل، گسترش پهنه سیل‌گیر زیاد و حجم جریان در حالت فوق بحرانی است. نتایج مدل‌سازی نشان می‌دهد بیشترین پهنه‌های سیل‌گیر رودخانه کن از حدود غرب تهرانسر و شرق فرودگاه مهرآباد به دلیل کاهش شیب طولی شروع و با



شکل ۱۱: پهنه‌بندی سیلاب رودخانه کن پایین‌دست سیل‌برگردان با دوره بازگشت الف: ۱۰ سال، ب: ۲۵ سال، ج: ۵۰ سال، د: ۱۰۰ سال و ه: نقشه سه‌بعدی دوره ۱۰۰ سال (منبع: نگارندگان)

Fig 11: Flood inundation area of the Kan River downstream of the west floodpway junction with return periods e: 10 years, f: 25 years, g: 50 years, h: 100 years and E: 3D map of the 100 year period (Source: Authors)

جدول ۵: وسعت پهنه‌های سیلابی در دوره بازگشت ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال رودخانه کن (پایین دست سیل برگردان غرب) (منبع: نگارندگان)
 Table 5: The extent of floodplains in the 10, 25, 50, and 100-year return periods of the Kan River (downstream of the western floodplain) (Source: Authors)

کاربری فضای سبز (هکتار)	کاربری خدماتی، تجاری (هکتار)	کاربری مسکونی (هکتار)	مساحت (هکتار)	دوره بازگشت (سال)	رودخانه
۱۴۶/۲	۸۰/۱	۴/۷	۲۳۱	۱۰۰	کن (پایین دست سیل برگردان غرب)
۱۴۰	۷۴/۵	۴/۱	۲۱۸/۶	۵۰	
۱۳۳/۸	۶۹/۶	۳/۶	۲۰۷	۲۵	
۱۲۷/۱	۶۴/۴	۲/۸	۱۹۴/۳	۱۰	



شکل ۱۲: الف: غرب شهرک فرهنگیان (فرودگاه مهرآباد)، ب: بالادست بزرگراه فتح، ج: پایین دست بزرگراه فتح، د: بوستان مادر (منبع: نگارندگان)

Fig 12: Images of 1: West of Farhangian Town (Mehrabad Airport), 2: Upstream of Fath Highway, 3: Downstream of Fath Highway, 4: Mother's Garden (Source: Authors)

بحث

مطالعه حاضر با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS پهنه‌های سیلابی در حوضه‌های شمال-شمال غرب شهر تهران را طی دوره‌های بازگشت ۲، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ سال شبیه‌سازی کرده است. نتایج نشان داد که پهنه‌های سیلاب در

دوره‌های بازگشت زیاد (۱۰۰ و ۲۰۰ سال) به‌طور قابل توجهی گسترش یافته و مناطق مسکونی و کاربری‌های مختلف شهری را تحت‌تأثیر قرار داده است. این یافته‌ها اهمیت برنامه‌ریزی شهری و مدیریت پیشگیرانه سیلاب را برجسته می‌کند و نشان می‌دهد مدیریت کارآمد رواناب و زیرساخت‌های شهری برای کاهش خسارت‌های جانی و مالی ضروری است.

نتایج این پژوهش با مطالعات پیشین همخوانی دارد؛ مثلاً [Gholami et al., 2016](#) نیز با استفاده از HEC-RAS مشاهده کردند وسعت پهنه‌های سیلاب در دوره‌های بازگشت زیاد افزایش می‌یابد و مناطق مسکونی و تجاری در معرض خطر بیشتری قرار دارند. همچنین زپ و همکاران در بمبئی هند با تحلیل دوره‌های بازگشت مشابه گزارش کردند وسعت پهنه‌های سیلاب از ۱۴,۲۲٪ به ۴۲,۵٪ افزایش یافته است و مناطق شهری پرجمعیت در معرض خطر بیشتری قرار دارند ([Zope et al., 2017](#)). نتایج مطالعه حاضر نیز این روند افزایشی را تأیید می‌کند و نشان می‌دهد مناطق شهری با تراکم کاربری بالا بیشترین آسیب‌پذیری را در برابر سیلاب‌های شدید دارند.

تحلیل مکانی نتایج پژوهش نشان داد پهنه سیلاب رودخانه‌های درکه و فرحزاد در بالادست به دلیل شیب زیاد محدود است؛ اما با کاهش شیب در پایین‌دست وسعت آن به‌طور چشمگیری افزایش می‌یابد. در رودخانه درکه بیشینه پهنه سیلابی (۱۰۰ ساله) برابر با ۷۴,۸ هکتار است و عمدتاً شامل فضای سبز و مناطق مسکونی می‌شود. عوامل اصلی سیلاب در این رودخانه تنگی و گرفتگی آبگذر پل‌ها و کاهش شیب کانال است. در رودخانه فرحزاد نیز بیشینه پهنه سیلابی (۳۴ هکتار) در محل تقاطع با شاخه‌های فرعی رخ می‌دهد و بیشتر شامل باغ‌های شخصی است. این یافته‌ها نشان می‌دهند تغییرات کاربری اراضی و مدیریت ناکارآمد زیرساخت‌ها نقش مهمی در افزایش خطر سیلاب دارند. در کانال سیل‌برگردان غرب و رودخانه کن گسترش پهنه سیلابی به دلیل کاهش شیب و تجمع جریان‌ها بسیار گسترده است. بیشینه پهنه سیلابی در پایین‌دست کانال سیل‌برگردان غرب ۹۹,۶ هکتار و در پایین‌دست رودخانه کن ۲۳۱ هکتار گزارش شد. بیشترین کاربری‌ها در این پهنه‌ها شامل فضای سبز، مناطق خدماتی، تجاری و کارگاهی است. حداکثر عرض سیلاب در برخی نقاط به بیش از ۱۰۳۷ متر می‌رسد که نشان‌دهنده شدت رواناب و لزوم مدیریت اضطراری در این مناطق است.

مطالعات [Natarajan & Radhakrishnan., 2021](#) و [Goswami et al., 2023](#) نیز نشان داد که با افزایش دوره بازگشت سیلاب، عمق کانال و وسعت پهنه‌های سیلاب افزایش می‌یابد و شبیه‌سازی هیدرولیکی می‌تواند ابزاری مؤثر برای پیش‌بینی و هشدار خطر سیلاب در مناطق شهری باشد. نتایج این پژوهش همسو با مطالعات ذکرشده است و بر اهمیت استفاده از HEC-RAS برای شناسایی مناطق پرخطر و برنامه‌ریزی مدیریتی تأکید می‌کند.

از نظر علمی این تحقیق نشان می‌دهد ترکیب شبیه‌سازی هیدرولیکی با تحلیل کاربری زمین، شیب و شبکه جریان‌های شهری می‌تواند به شناسایی دقیق‌تر مناطق آسیب‌پذیر کمک کند. علاوه‌براین، یافته‌ها قابلیت کاربرد در طراحی بهینه سیستم‌های جمع‌آوری رواناب، برنامه‌ریزی تخلیه اضطراری و کاهش خسارت‌های مالی و جانی را فراهم می‌آورد. با این حال، محدودیت‌هایی نیز در این پژوهش وجود دارد؛ مثلاً دقت مدل به کیفیت داده‌های هیدرومتری و DEM وابسته است و تأثیرات تغییرات اقلیمی آینده و توسعه شهری جدید ممکن است باعث افزایش عدم قطعیت در نتایج شود. پژوهش‌های آینده می‌توانند با ترکیب داده‌های دینامیک شهری، سناریوهای تغییر اقلیم و مدل‌های پیشرفته هیدرولوژیکی و هیدرولیکی دقت پیش‌بینی پهنه‌های سیلاب را افزایش دهند.

درمجموع، نتایج این تحقیق می‌تواند به شناسایی مناطق پرخطر و آسیب‌پذیر شهر تهران کمک کند و ابزار علمی لازم را برای برنامه‌ریزی شهری امن‌تر، مدیریت رواناب سطحی و کاهش خطر سیلاب فراهم آورد.

نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر با هدف تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب در حوضه شمال-شمال غرب شهر تهران طی دوره‌های بازگشت ۱۰ تا ۱۰۰ سال و در راستای مدیریت و کنترل خطر سیلاب انجام شد و نتایج حاصل از مدل‌سازی وضعیت سیلاب را در بازه‌های زمانی مختلف شبیه‌سازی کرد و نشان داد نقشه‌های پهنه‌بندی می‌توانند ابزاری مؤثر برای ارتقای تصمیم‌گیری و مدیریت شهری باشند. این نقشه‌ها ضمن نمایش وسعت و توزیع و پراکنش مناطق پرخطر، امکان افزایش آگاهی مدیران و برنامه‌ریزان و تقویت سیاست‌های پیشگیرانه را در مدیریت سیلاب فراهم می‌آورند.

براساس یافته‌ها، از عوامل اصلی تشدید خطر سیلاب در رودخانه‌های بررسی شده طی دوره‌های بازگشت زیاد (۵۰ و ۱۰۰ سال) می‌توان به بارش‌های همرفتی، ضعف پوشش گیاهی، تغییر کاربری اراضی اطراف رودخانه‌ها، تجاوز به حریم و بستر، ناکارآمدی مدیریت منابع آب، فقدان سیستم زهکشی مناسب و عدم لایروبی به موقع اشاره کرد. در چنین شرایطی مناطق شهری مطالعه شده با خسارت‌های جانی و مالی قابل توجهی مواجه خواهند شد. مدل شبیه‌سازی نیز نشان داد در دوره‌های بازگشت زیاد، پهنه‌های سیلاب در مناطق کم‌شیب گسترش می‌یابد و دبی‌های حداکثری با سرعت بالا رخ می‌دهد. کاهش نفوذپذیری خاک، حجم بالای رواناب، فقدان پوشش گیاهی و دستکاری کانال‌های طبیعی نیز از دیگر عوامل مؤثر در تشدید سیلاب هستند.

بررسی رودخانه‌ها نشان داد پهنه سیلاب در رودخانه‌های درکه و فرحزاد در بالادست محدود است؛ اما با کاهش شیب در پایین دست به‌طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. در رودخانه درکه، رستوران‌های نزدیک کانال در معرض خطر سیلاب قرار دارند و بیشینه پهنه سیلابی (۱۰۰ ساله) برابر با ۷۴٫۸ هکتار است که عمدتاً شامل فضای سبز و مناطق مسکونی می‌شود. علل اصلی سیلاب در این رودخانه تنگی و گرفتگی آبگذر پل‌ها و کاهش شیب کانال است. در رودخانه فرحزاد بیشترین پهنه سیلابی (۳۴ هکتار) در محل تقاطع با شاخه‌های فرعی بهرود و مرادآباد رخ می‌دهد و عمدتاً باغ‌های شخصی را در بر می‌گیرد. پل‌های خوشمram و آبشار نیز در بازه‌های بازگشت زیاد دچار آبگرفتگی می‌شوند.

در کانال سیل‌برگردان غرب، پهنه سیلابی به دلیل کاهش شدید شیب در بخش‌های انتهایی گسترده است. چندین پل شامل پل خیابان آریافر، پل‌های قبل و بعد از یادگار امام، پل خسروی، پل‌های محدوده صادقیه، پل خیابان ولیعصر، پل خیابان سلیمی جهرمی و اتوبان ستاری ظرفیت عبور جریان‌های بزرگ را ندارند. بیشترین پهنه سیلابی (۱۰۰ ساله) برابر با ۹۹٫۶ هکتار است که شامل مناطق مسکونی و کاربری‌های خدماتی، تجاری و کارگاهی می‌شود. رودخانه کن نیز در بالادست کانال سیل‌برگردان غرب در بخش‌های کوهستانی و شیب‌دار پهنه محدودی دارد؛ اما از محدوده زیبادشت تا آزادی گسترش یافته و در پایین دست به بیشینه مقدار ۲۳۱ هکتار رسیده است. علت اصلی این گسترش، کاهش شیب و تجمع جریان‌هاست. بیشترین کاربری‌ها در این پهنه شامل فضای سبز، خدماتی، تجاری و کارگاهی است و حداکثر عرض سیلاب در برخی نقاط به ۱۰۳۷ متر می‌رسد.

درمجموع، نتایج این تحقیق می‌تواند مبنای ارزشمندی برای شناسایی مناطق پرخطر و آسیب‌پذیر تهران در برابر سیلاب فراهم آورد و به برنامه‌ریزی برای تخلیه اضطراری، امدادرسانی، کاهش خسارت‌های جانی و مالی، هدایت توسعه شهری به سمت مناطق ایمن‌تر و طراحی بهینه سامانه‌های جمع‌آوری و مدیریت رواناب سطحی کمک کند.

تشکر و قدردانی

این پژوهش با حمایت مالی بنیاد ملی علم ایران با شماره طرح ۴۰۲۱۳۱۰ انجام شده است. نویسندگان مقاله مراتب تشکر خود را از این بنیاد ابراز می‌دارند.

منابع

- پاریزی، اسماعیل، و حسینی، سیدموسی (۱۴۰۲). برآورد میزان دقت مدل رقومی ارتفاعی TanDEM-X در شبیه‌سازی مشخصات هیدرولیکی سیلاب (مطالعه موردی: حوضه رودخانه اترک). *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۳۴(۲)، ۱۱۳-۱۳۴. <https://doi.org/10.22108/gep.2022.134293.1533>
- حسینی، سیدموسی، جعفری‌گل، منصور، و گراوند، فاطمه (۱۳۹۴). تعیین پهنه‌های سیل‌خیز رود کشکان با استفاده از مدل هیدرولیکی به‌منظور کاهش مخاطرات سیل. *مدیریت مخاطرات محیطی*، ۲(۳)، ۳۵۵-۳۶۹. <https://doi.org/10.22059/jhsci.2015.58102>
- زراعتکار، زهرا، حسن‌پور، فرزاد، و تابع، مرضیه (۱۳۹۳). *ارزیابی روش‌های برآورد دبی پیک سیلاب در حوزه آبخیز شهری جهت کنترل سیلاب*. سومین همایش بین‌المللی سامانه‌های سطوح آبگیر باران، بیرجند. <https://civilica.com/doc/919207>
- قهرودی تالی، منیژه، و مسعودی، شیرین (۱۴۰۳). تحلیل سیلاب‌های رودهای دربند و گلابدره در مناطق شهری شمال تهران. *مدیریت مخاطرات محیطی*، ۱۱(۴)، ۲۸۹-۳۰۳. https://jhsci.ut.ac.ir/article_100735.html?lang=fa
- قهرودی تالی، منیژه، مجیدی هروی، آنتیا، عبدلی، اسماعیل (۱۳۹۵). آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب شهری (مطالعه موردی: تهران، درکه تا کن). *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۵(۱)، ۲۱-۳۶. <https://doi.org/10.22067/geo.v5i1.49976>
- مرکز آمار ایران (۱۳۹۵). *سرشماری عمومی نفوس و مسکن*. <https://amar.org.ir/population-and-housing-census>
- مرکز آمار ایران (۱۳۹۰). *سرشماری عمومی نفوس و مسکن*. <https://amar.org.ir/population-and-housing-census>
- مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران (۱۳۸۴الف). *گزارش محاسبات هیدرولیکی و پهنه‌بندی سیل*. <https://shahrdoc.ir/product/tehran-flood-calculation-report-hydraulic-calculations/>
- مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران (۱۳۸۴ب). *مطالعات پهنه‌بندی سیل در طرح جامع تهران*. شرکت جهاد تحقیقات آب و آبریزداری. <https://shahrdoc.ir/product/tehran-flood-zoning-flood-hydrology/>

مقیم، ابراهیم، و صفاری، امیر (۱۳۸۹). ارزیابی ژئومورفولوژیکی توسعه شهری در قلمروی حوضه‌های زهکشی سطحی مطالعه موردی: کلان شهر تهران. *آمایش فضا و ژئوماتیک*، ۱۴(۱)، ۳۱-۱.

<http://hsmasp.modares.ac.ir/article-21-1594-fa.html>

وخشوری، علی (۱۳۹۱). بررسی سیلاب‌های حوضه سد سیل‌بند و راه‌های جلوگیری از خطرات ناشی از آن بر شهر لار. *فصلنامه علمی پژوهشی اطلاعات جغرافیایی سپهر*، ۲۱(۸۱)، ۷۵-۶۶.

https://www.sepehr.org/article_26295.html

References

- Afsari, R., Nadizadeh-Shorabeh, S., Kouhnavard, M., Homaei, M., & Jokar-Arsanjani, J. (2022). A spatial decision support approach for flood vulnerability analysis in urban areas: A case study of Tehran. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(7), 380.
<http://dx.doi.org/10.3390/ijgi11070380>
- Boulange, J., Hanasaki, N., Yamazaki, D., & Pokhrel, Y. (2021). Role of dams in reducing global flood exposure under climate change. *Nature Communications*, 12(1), 1-7.
<https://www.nature.com/articles/s41467-020-20704-0>
- Brunner, M. I., Seibert, J., & Favre, A. C. (2016). Bivariate return periods and their importance for flood peak and volume estimation. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 3(6), 819-833.
<http://dx.doi.org/10.1002/wat2.1173>
- Center for Tehran Urban Studies and Planning. (2005a). *Report on Hydraulic Calculations and Flood Zonation*. <https://shahrdoc.ir/product/tehran-flood-calculation-report-hydraulic-calculations> [In Pershin]
- Center for Tehran Urban Studies and Planning/Jahad Water and Watershed Research Company. (2005b). *Flood Zonation Studies in the Comprehensive Plan of Tehran*. <https://shahrdoc.ir/product/tehran-flood-zoning-flood-hydrology/> [In Pershin]
- Chau, K. W. (2017). Use of meta-heuristic techniques in rainfall-runoff modelling. *Water*, 9(3), 186.
<http://dx.doi.org/10.3390/w9030186>
- Darijani, Z., Ghaeini-Hessaroeiyeh, M., & Fadaei-Kermani, E. (2025). Flood inundation and hazard mapping using the HEC-RAS 2D model: A case study of Adoori river, Iran. *Modeling Earth Systems and Environment*, 11(1), 1-14. <http://dx.doi.org/10.1007/s40808-024-02280-0>
- Desalegn, H., & Mulu, A. (2021). Mapping flood inundation areas using GIS and HEC-RAS model at Fetam river, Upper Abbay Basin, Ethiopia. *Scientific African*, 12, e00834.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e00834>
- Falah, F., Rahmati, O., Rostami, M., Ahmadisharaf, E., Daliakopoulos, I. N., & Pourghasemi, H. R. (2019). Artificial neural networks for flood susceptibility mapping in data-scarce urban areas. *Spatial Modeling in GIS and R for Earth and Environmental Sciences*, 323-336.
<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-815226-3.00014-4>
- Geravand, F., Hosseini, S. M., & Ataie-Ashtiani, B. (2020). Influence of river cross-section data resolution on flood inundation modeling: Case study of Kashkan river basin in western Iran. *Journal of Hydrology*, 584, 124743. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124743>
- Gholami, V., Asghari, A., & Taghvaye-Salimi, E. (2016). Flood hazard zoning using geographic information system (GIS) and HEC-RAS model (Case study: Rasht city). *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 14(3), 263-272. <https://civilica.com/doc/1996359/>
- Goswami, G., Prasad, R. K., & Kumar, D. (2023). Hydrodynamic flood modeling of Dikrong river in Arunachal Pradesh, India: A simplified approach using HEC-RAS 6.1. *Modeling Earth Systems Environment*, 9, 331-345. <http://dx.doi.org/10.1007/s40808-022-01507-2>
- Haynes, K., Coates, L., van den Honert, R., Gissing, A., Bird, D., Oliveira, F. D., D'Arcy, R., Smith, C., & Radford, D. (2017). Exploring the circumstances surrounding flood fatalities in Australia—1900-

- 2015 and the implications for policy and practice. *Environmental Science & Policy*, 76, 165-176. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2017.07.003>
- Hens, L., Thinh, N. A., Hanh, T. H., Cuong, N. S., Lan, T. D., Thanh, N. V., & Le, D. T. (2018). Sea-level rise and resilience in Vietnam and the Asia-Pacific: A synthesis. *Vietnam Journal of Earth Sciences*, 40(2), 126-152. <http://dx.doi.org/10.15625/0866-7187/40/2/11107>
- Hirabayashi, Y., Mahendran, R., Koirala, S., Konoshima, L., Yamazaki, D., Watanabe, S., Kim, H., & Kanae, S. (2013). Global flood risk under climate change. *Nature Climate Change*, 3, 816-821. <http://dx.doi.org/10.1038/nclimate1911>
- Hosseini, S. M., Jafarbeyglou, M., & Garavand, F. (2015). Determining flood-prone areas of the Kashkan River using a hydraulic model to reduce flood risks. *Environmental Hazard Management*, 2(3), 355-369. <https://doi.org/10.22059/jhsci.2015.58102> [In Pershin]
- Jahangir, M. H., Mousavi-Reineh, S. M., & Abolghasemi, M. (2019). Spatial predication of flood zonation mapping in Kan river basin, Iran, using artificial neural network algorithm. *Weather and Climate Extremes*, 25, 100215. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wace.2019.100215>
- Khosravi, K., Panahi, M., Golkarian, A., Keesstra, S. D., Saco, P. M., Bui, D. T., & Lee, S. (2020). Convolutional neural network approach for spatial prediction of flood hazard at national scale of Iran. *Journal of Hydrology*, 591, 125552. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125552>
- Khatooni, K., Hooshyaripor, F., Malek-Mohammadi, B., & Noori, R. (2023). A combined qualitative-quantitative fuzzy method for urban flood resilience assessment in Karaj city, Iran. *Scientific Reports*, 13, 241. <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-023-27377-x>
- Liu, D., Fan, Z., Fu, Q., Li, M., Faiz, M. A., Ali, S., Li, T., Zhang, L., & Khan, M. I. (2020). Random forest regression evaluation model of regional flood disaster resilience based on the whale optimization algorithm. *Journal of Cleaner Production*, 250, 119468. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119468>
- Moghadas, M., Asadzadeh, A., Vafeidis, A., Fekete, A., & Kötter, T. (2019). A multi-criteria approach for assessing urban flood resilience in Tehran, Iran. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 35, 101069. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijdr.2019.101069>
- Movahedini, 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. <http://dx.doi.org/10.2166/wst.2019.412>
- Moghimi, E., & Safari, A. (2010). Geomorphological evaluation of urban development in surface drainage basins (Case study: Tehran Metropolis). *Space Management and Geomatics*, 14(1), 1-31. <http://hsm.spm.modares.ac.ir/article-21-1594-fa.html> [In Pershin]
- Namara, W. G., Damisse, T. A., & Tufa, F. G. (2022). Application of HEC-RAS and HEC-GeoRAS model for flood inundation mapping, the case of Awash bello flood plain, upper Awash river basin, Oromiya Regional State, Ethiopia. *Modeling Earth Systems and Environment*, 8, 1449-1460. <https://doi.org/10.1007/s40808-021-01166-9>
- Natarajan, S., & Radhakrishnan, N. (2021). Flood risk assessment for a medium size city using geospatial techniques with integrated flood models. In M.N. Islam, & A. van Amstel (Eds.), *India: Climate Change Impacts, Mitigation and Adaptation in Developing Countries* (pp. 39-77). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-67865-4_3
- Prastica, R. M. S., Maitri, C., Hermawan, A., Nugroho, P. C., Sutjiningsih, D., & Anggraheni, E. (2018, March). Estimating design flood and HEC-RAS modelling approach for flood analysis in Bojonegoro city. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 316, No. 1, p. 012042). IOP Publishing. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/316/1/012042>
- Parizi, E., & Hosseini, S. M. (2023). Estimating the Accuracy of the TanDEM-X Digital Elevation Model in Simulating Flood Hydraulic Characteristics (Case Study: Atrak River Basin). *Geography and Environmental Planning*, 34(2), 113-134. <https://doi.org/10.22108/gep.2022.134293.1533> [In Pershin]
- Qahroudi Tali, M., Majidi Heravi, A., & Abdoli, E. (2016). Urban flood vulnerability (Case study: Tehran, Darakeh to Kan). *Geography and Environmental Hazards*, 5(1), 21-36. <https://doi.org/10.22067/geo.v5i1.49976> [In Pershin]

- Qahroudi Tali, M., & Masoudi, S. (2024). Analysis of Darband and Golabdareh River floods in the northern urban areas of Tehran. *Environmental Hazard Management*, 11(4), 289-303. https://jhsci.ut.ac.ir/article_100735.html?lang=fa [In Pershin]
- Rangari, V. A., Sridhar, V., Umamahesh, N. V., & Patel, A. K. (2019). Floodplain mapping and management of urban catchment using HEC-RAS: A case study of Hyderabad city. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series A*, 100, 49-63. <https://doi.org/10.1007/s40030-018-0345-0>
- Rodríguez, M. I., Cuevas, M. M., Huertas, F., Martínez, G., & Moreno, B. (2015). Indicators to evaluate water sensitive urban design in urban planning. *WIT Transactions on The Built Environment*, 168, 371-382. <https://doi.org/10.2495/SD150321>
- Roberts, G. G., White, N., & Lodhia, B. H. (2019). The generation and scaling of longitudinal river profiles. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 124(1), 137-153. <https://doi.org/10.1029/2018JF004796>
- Statistical Center of Iran. (2011). *National Population and Housing Census, 2011*. Statistical Portal of Iran. <https://amar.org.ir/population-and-housing-census> [In Pershin]
- Statistical Center of Iran. (2016). *National Population and Housing Census, 2016*. Statistical Portal of Iran. <https://amar.org.ir/population-and-housing-census> [In Pershin]
- United Nations Development Programme (UNDP) (2006). *Disaster Risk Management Profile Tehran, Iran*. <https://alnap.org/help-library/resources/disaster-risk-management-profile-tehran-iran/>
- Merwade, V. M. (2004). *Geospatial Description of River Channels in Three Dimensions* [Doctoral thesis, The University of Texas]. ProQuest. <https://B2n.ir/sh5773>
- Vakhshouri, A. (2012). Investigation of floods in the Seyband Dam basin and ways to prevent their associated risks for the city of Lar. *Sepehr*, 21(81), 66-75. https://www.sepehr.org/article_26295.html [In Pershin]
- Zope, P. E., Eldho, T. I., & Jothiprakash, V. (2017). Hydrological impacts of land use–land cover change and detention basins on urban flood hazard: a case study of Poisar river basin, Mumbai, India. *Natural Hazards*, 87, 1267-1283. <https://doi.org/10.1007/s11069-017-2816-4>
- Zeraatkar, Z., Hasanpour, F., & Tabee, M. (2014). *Evaluation of peak flood discharge estimation methods in an urban watershed for flood control*. In 3rd International Conference on Rainwater Harvesting Systems. Birjand, Iran. <https://civilica.com/doc/919207> [In Pershin]