

Assessing urban flood resilience using the improved urban flood risk index in Tehran's 12th district

T. Torabi¹, F. Hooshyaripor^{2*} and S.H. Rahmati³

Extended Abstract

Introduction:

Studies related to flood resilience indicate that the spatial analysis of indicators plays a crucial role in identifying critical areas and prioritizing management actions. However, the results of spatial assessments are highly dependent on the type of indicator, the selected components, the weighting method, and the approach used to integrate the criteria. Consequently, two different indices applied within the same geographical area may produce different patterns of risk or resilience. Accordingly, comparing the UFRI and IUFRI indices in District 12 of Tehran can provide a more accurate representation of flood resilience by incorporating the concept of sustainable development, while also clarifying the effect of adding the flood coexistence component to the assessment results. Such a comparison may reveal whether the improved index is capable of better capturing intra-regional differences. Given that District 12 of Tehran is characterized by high population density, deteriorated urban fabric, unbalanced land-use development, and highly sensitive infrastructure, its examination can contribute to a better understanding of vulnerability and resilience capacity in dense urban environments. Overall, the results of such studies can provide a scientific basis for more informed urban management decisions, flood risk reduction, strengthening social preparedness, and enhancing the resilience of urban areas.

Materials and Methods:

The Urban Flood Resilience Index (UFRI) consists of three components: (1) Pre-flood resilience (absorptive capacity), (2) Resilience during flood events (coping capacity), and (3) Post-flood resilience (recovery capacity). Previous studies, through a detailed examination of the UFRI, stated that this index is unable to account for all components influencing flood resilience. In particular, the UFRI lacks soft indicators such as flood perception, public culture, education, environmental protection, and collective responsibility. While the UFRI focuses on four components—hazard, exposure, vulnerability, and coping capacity—the IUFRI incorporates an additional component, namely “capacity for coexistence with floods”, thereby considering the environmental, social, and behavioral dimensions of residents. In this regard, the IUFRI can be regarded as an index with a stronger emphasis on the concepts of sustainable development. The two aforementioned indices were evaluated using questionnaires and quantitative–qualitative analyses. The number of respondents was determined based on the number of questionnaire items and the population of District 12, using Cochran’s formula. In the questionnaire analysis, differences among the various areas of District 12 are examined using ANOVA and MANOVA tests. ANOVA, or analysis of variance, is a statistical test used to determine whether there are significant differences among the means of two or more independent statistical populations.

Results and Discussions:

The results indicated that there were significant differences between the two compared indices. In the socio-cultural dimension, there was a substantial difference between the UFRI and IUFRI results; the IUFRI consistently indicated a higher level of flood resilience across all studied areas compared with the UFRI. In

¹- MSc Graduated, Department of Civil Engineering, SR.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran

^۲- Associate Professor, Department of Civil Engineering, SR.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran

^۳- Associate Professor, Department of Environmental Engineering, SR.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran

* Corresponding Author: Hooshyaripor@sbiau.ac.ir

Received: 2009/08/08

Accepted: 2010/11/11

contrast, a completely different pattern was observed for the institutional–organizational dimension. In some areas, the UFRI indicated a better condition, whereas in other areas, the IUFRI showed a higher level of resilience. In the infrastructural–physical dimension, the IUFRI values were higher than the UFRI in most areas, suggesting more favorable physical conditions in the majority of the sub-areas according to this dimension. In the economic dimension, the difference between the two indices was the largest after the socio-cultural dimension. The sharp decrease in UFRI values indicated greater economic vulnerability and reduced economic capacity in some locations. A different pattern was observed in the hydraulic dimension, where in some sub-areas the UFRI values were close to, or even higher than, those of the IUFRI, although this superiority was not widespread. Finally, the flood coexistence index in the IUFRI varied from 0.52 to 0.87 across the different areas. The mean resilience value obtained using the IUFRI method was 0.605, whereas the corresponding value for the UFRI method was 0.458. Therefore, the IUFRI indicated a higher level of resilience than the UFRI. For all common dimensions, the IUFRI values were higher than those of the UFRI, particularly in the socio-cultural dimension, where the value increased from 0.35 to 0.59. Moreover, the inclusion of the flood coexistence dimension, with a value of 0.70, played an important role in increasing the final mean value of the IUFRI. These findings suggest that the IUFRI provided a more comprehensive and more optimistic representation of flood resilience.

Conclusion:

The comparison of UFRI and IUFRI in assessing flood resilience in District 12 of Tehran showed that IUFRI performs better due to its more comprehensive structure and detailed questionnaire. Its key advantage is the inclusion of the “capacity for coexistence with floods,” which is absent in UFRI but essential for evaluating citizens’ behavior and adaptability in flood-prone areas. As an updated version of UFRI, IUFRI incorporates behavioral, environmental, and cultural indicators while retaining the core resilience components. Therefore, it provides a more realistic tool for urban planning, policymaking, and flood risk reduction, supporting deeper understanding of urban resilience and sustainability.

Keywords: District 12, IUFRI, Resilience, Tehran, UFRI, Urban flood

How to cite this paper:

Torabi, T., (2026). Assessing urban flood resilience using the improved urban flood risk index in Tehran's 12th district. *Journal of Researches in Mechanics of Agricultural Machinery*. 35: 1-24. <https://dx.doi.org/10.2203>.

Copyright:

© Authors, Published by Journal of Research in Mechanics of Agricultural Machinery. This is an open-access article distributed under the CC-BY (license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Citation: این قسمت توسط دفتر مجله تکمیل خواهد شد.



ارزیابی تاب‌آوری سیلاب شهری با استفاده از شاخص بهبودیافته ریسک سیلاب شهری در منطقه ۱۲ تهران

توحید ترابی^۱، فرهاد هوشیاری پور^{۲*} و سیده هدی رحمتی^۳

چکیده

در این پژوهش تاب‌آوری سیلاب با دو شاخص ریسک سیلاب شهری (UFRI) و شاخص بهبود یافته ریسک سیلاب شهری (IUFRI) ارزیابی و مقایسه شده است. شاخص UFRI در سال ۲۰۱۹ به عنوان یک شاخص چندبعدی و نسبتاً جامع معرفی گردید. شاخص IUFRI نیز در سال ۲۰۲۶ با توجه به نقاط ضعف و نواقص شاخص قبل پیشنهاد شد. در حالی که UFRI بر چهار مؤلفه خطر، مواجهه، آسیب‌پذیری و ظرفیت مقابله تمرکز دارد، IUFRI با افزودن مؤلفه ظرفیت همزیستی با سیلاب، ابعاد زیست محیطی، اجتماعی و رفتاری ساکنان را نیز در نظر می‌گیرد بنابراین شاخصی با تمرکز بر مفاهیم توسعه پایدار است. در این پژوهش، این دو شاخص در یک کاربرد عملی و فنی مورد ارزیابی قرار گرفته و تفاوت نتایج تحلیل و ارزیابی شدند. بر اساس نتایج بدست آمده، (۱) به‌طور کلی IUFRI در مقایسه با UFRI سطح تاب‌آوری را در محدوده‌های مختلف بالاتر و بهتر نشان می‌دهد و (۲) توزیع مکانی و پراکنش دو شاخص در محدوده‌های مختلف یکسان نبوده و به یک نسبت تغییر نمی‌کند، به این معنا که تاثیر شاخص همزیستی به‌طور معناداری در محدوده‌های مختلف، متفاوت است. در مجموع می‌توان گفت شاخص IUFRI تصویری جامع‌تر از تاب‌آوری با مضمون توسعه پایدار ارائه می‌دهد و به‌عنوان گزینه‌ای مناسب برای ارزیابی تاب‌آوری شهری است. نتایج این پژوهش می‌تواند مبنای تصمیم‌گیری‌های آگاهانه‌تر در مدیریت شهری و سیاست‌گذاری‌های کلان در حوزه کاهش خطر سیلاب و ارتقای تاب‌آوری مناطق شهری قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: تاب‌آوری، تهران، سیلاب شهری، منطقه ۱۲، UFRI، IUFRI.

ارجاع: این قسمت توسط دفتر مجله تکمیل خواهد شد.

۱- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد، دانشکده عمران، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- دانشیار، دانشکده عمران، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۳- دانشیار، گروه مهندسی محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

* نویسنده مسئول: Hooshyarypor@srbiau.ac.ir

تاریخ دریافت: (همان تاریخ نامه دریافت مقاله) تاریخ پذیرش: (همان تاریخ نامه دریافت مقاله)

مقدمه

رویکردهای سنتی مدیریت سیلاب که عمدتاً بر کنترل سازه‌ای و کاهش مستقیم خطر تمرکز دارند، به‌تنهایی پاسخگوی پیچیدگی محیط‌های شهری نیستند و روش‌های کم‌اثر برای کاهش حجم رواناب پیشنهاد شده است (Hooshyaripor and Yazdi, 2017; Hooshyaripor et al. 2025). از این‌رو، در سال‌های اخیر مفهوم تاب‌آوری به‌عنوان رویکردی جامع‌تر برای مدیریت خطر سیلاب مورد توجه پژوهشگران و سیاست‌گذاران قرار گرفته است (Ahern, 2011). با این فرض که نمی‌توان سکونت‌گاه‌های شهری را از حاشیه رودخانه و یا حتی در برخی موارد دره‌ها جابه‌جا کرد، باید شرایطی را به وجود آورد که سکونتگاه‌های شهری در معرض خطر را تاب‌آور کرد (Khatooni et al., 2025). تاب‌آوری سیلاب شهری به معنای توانایی یک شهر یا منطقه شهری در آمادگی، جذب، پاسخ، بازیابی و سازگاری در برابر رخداد‌های سیلابی است (Rezende et al., 2019). تاب‌آوری طیف به‌هم‌پیوسته‌ای از ارتباطات بین محیط، رودخانه و واکنش اکوسیستم به تغییرات وارد شده را برای حفظ پایداری نشان می‌دهد (Jafarzadeh et al., 2020). تاب‌آوری یک مفهوم چندوجهی است که مفاهیم و عناصر آن باید به‌طور دقیق مورد بررسی قرار گیرد و در هر موقعیتی، چه قبل از سیل، چه در هنگام سیل یا بعد از سیل، یکپارچه شود تا بتواند بیشترین اثر را پیدا کند (Amini and Haji Kandi, 2021). ارزیابی تاب‌آوری شهری مستلزم شناسایی مجموعه‌ای از شاخص‌هاست که بتوانند وضعیت خطر، میزان مواجهه، سطح آسیب‌پذیری و ظرفیت پاسخ‌گویی را به‌صورت هم‌زمان نشان دهند (Cutter et al., 2010). در این زمینه، شاخص تاب‌آوری سیلاب شهری^۱ (UFRI) یکی از شاخص‌هایی است که برای ارزیابی ریسک سیلاب شهری معرفی شده است (Rezende et al., 2019). Ouma and Tateishi (2014) بیان کردند که مزیت اصلی UFRI در ساختار نسبتاً جامع و قابلیت به‌کارگیری آن در مقیاس‌های مختلف شهری است؛ با این حال، پژوهش‌های بعدی نشان دادند که شاخص‌های مبتنی بر ریسک، اگر صرفاً بر مؤلفه‌های خطر، مواجهه و آسیب‌پذیری تکیه کنند، ممکن است تمام ابعاد تاب‌آوری شهری را منعکس نکنند (Jha et al., 2012). در سال‌های اخیر، پژوهش‌های مدیریت سیلاب شهری از رویکردهای صرفاً کنترل‌محور به سمت رویکردهای سازگارانه و

تاب‌آورانه حرکت کرده است. بر اساس این دیدگاه، حذف کامل خطر سیلاب در بسیاری از مناطق شهری، به‌ویژه در کلان‌شهرهای متراکم، امکان‌پذیر نیست؛ بنابراین، شهرها باید علاوه بر کاهش خطر، توانایی سازگاری و همزیستی با سیلاب را نیز تقویت کنند. این تغییر رویکرد در مفاهیمی مانند شهرهای حساس به آب، زیرساخت‌های سبز-آبی و راهکارهای مبتنی بر طبیعت نیز مشاهده می‌شود (Ahern, 2011; Fletcher et al., 2015). پژوهش‌ها نشان داده‌اند که افزایش آگاهی شهروندان، بهبود رفتارهای پیشگیرانه، مشارکت اجتماعی و سازگاری کاربری زمین می‌تواند نقش مهمی در کاهش خسارات و افزایش تاب‌آوری ایفا کند (Adger, 2006). بنابراین، ارزیابی تاب‌آوری سیلاب باید علاوه بر شاخص‌های فیزیکی و مدیریتی، ابعاد اجتماعی و رفتاری را نیز در نظر بگیرد. بر همین اساس، شاخص بهبود یافته ریسک سیلاب شهری^۲ (IUFRI) پیشنهاد شده است (Khatooni et al., 2026). این شاخص ضمن حفظ ساختار اصلی UFRI، مؤلفه‌های مکمل با عنوان «ظرفیت همزیستی با سیلاب» را به فرآیند ارزیابی اضافه می‌کند.

نتایج ارزیابی فضایی به‌شدت به نوع شاخص، مؤلفه‌های انتخاب‌شده، روش وزن‌دهی و نحوه ترکیب معیارها وابسته است (Baky et al., 2020). بنابراین، ممکن است دو شاخص مختلف در یک محدوده جغرافیایی، الگوهای متفاوتی از ریسک یا تاب‌آوری ارائه دهند. بر این اساس، مقایسه شاخص‌های UFRI و IUFRI در منطقه ۱۲ شهر تهران می‌تواند علاوه بر ارائه تصویری دقیق‌تر از وضعیت تاب‌آوری سیلاب با در نظر گرفتن مفهوم توسعه پایدار، به روشن شدن اثر افزودن مؤلفه همزیستی با سیلاب در نتایج ارزیابی کمک کند. چنین مقایسه‌ای می‌تواند نشان دهد که آیا شاخص بهبود یافته قادر است تفاوت‌های درون منطقه‌ای را بهتر آشکار سازد یا خیر. از آنجا که منطقه ۱۲ تهران دارای تراکم بالای جمعیت، بافت‌های فرسوده، توسعه نامتوازن کاربری‌ها و حساسیت زیاد زیرساختی است، مطالعه آن می‌تواند به درک بهتر آسیب‌پذیری و ظرفیت تاب‌آوری در نواحی شهری متراکم کمک کند. در مجموع، نتایج این نوع مطالعات می‌تواند مبنایی علمی برای تصمیم‌گیری‌های آگاهانه‌تر در مدیریت شهری، کاهش خطر سیلاب، تقویت آمادگی اجتماعی و ارتقای تاب‌آوری مناطق شهری فراهم کند.^۳

^۲. Improved Urban Flood Resilience Index

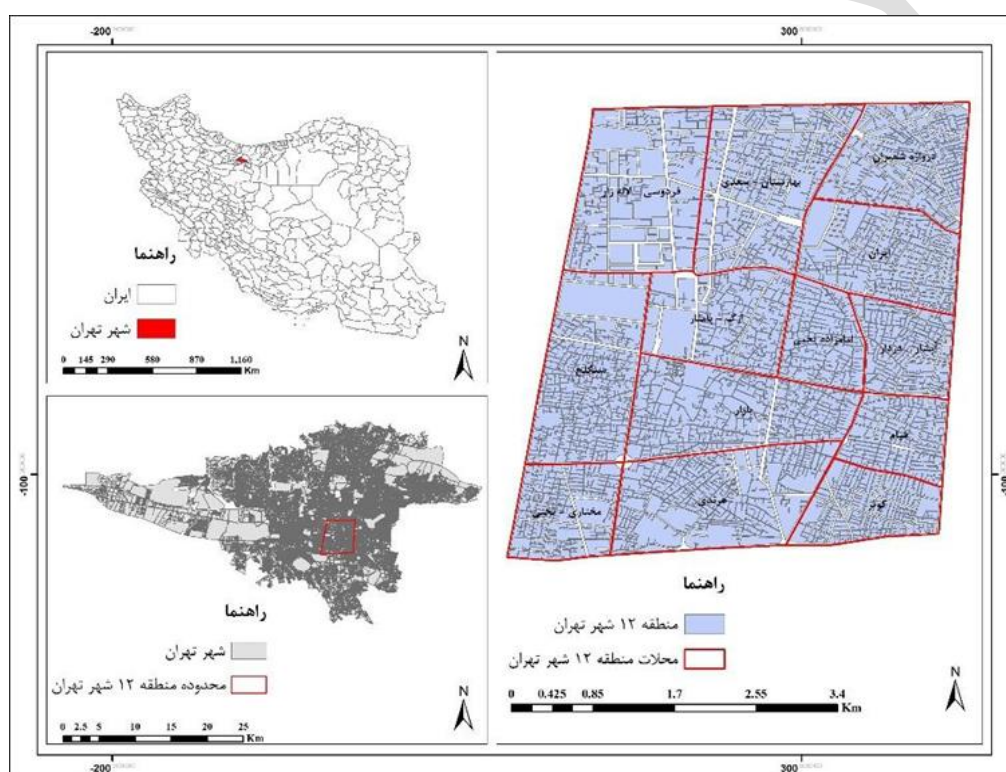
^۱. Urban Flood Resilience Index

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

این پژوهش به بررسی منطقه ۱۲ شهرداری تهران می‌پردازد که در مختصات جغرافیایی $51/5$ تا $51/53$ درجه شرقی و $35/30$ تا $35/42$ درجه شمالی واقع شده است. منطقه ۱۲ به عنوان یک نقطه کلیدی در مرکز تهران شناخته می‌شود و از شمال به خیابان انقلاب، از غرب به خیابان حافظ و وحدت اسلامی، از جنوب به خیابان شوش و از شرق به خیابان ۱۷ شهریور و بزرگراه شهید محلاتی محدود می‌گردد. منطقه ۱۲

با وسعتی معادل ۱۶۰۰ هکتار، حائز اهمیت تاریخی و اقتصادی است و به دلیل وجود مراکز حکومتی، سفارتخانه‌ها و مراکز علمی، نقش قابل توجهی در فعالیتهای تجاری و سیاسی دارد. این منطقه از لحاظ آموزشی با دارا بودن ۱۶ مرکز آموزش عالی، ۳۲۳ مدرسه و ۲۶ حوزه علمیه از اهمیت بالایی برخوردار است. در مجموع، منطقه ۱۲ با دارا بودن ۹۱۰۰۰ خانوار و رشد جمعیتی $2/5$ درصد در سال، به دو بخش جمعیتی ساکن و شناور تقسیم می‌شود که به ترتیب شامل ۳۶۵۰۰۰ نفر ساکن دائمی و $1/4$ میلیون نفر جمعیت شناور است. شکل ۱، محدوده منطقه ۱۲ تهران را نشان می‌دهد.



شکل ۱. موقعیت منطقه ۱۲ شهرداری تهران در ایران و تهران

مدلسازی سیلاب با نرم‌افزار SWMM

SWMM به عنوان ابزاری قوی برای شبیه‌سازی بارش و رواناب در مناطق شهری و غیرشهری مورد استفاده قرار می‌گیرد. این نرم‌افزار که توسط لوئیس آ. راسمن در آزمایشگاه تحقیقاتی مدیریت ملی ریسک ایالات متحده توسعه یافته، برای نخستین بار در سال ۱۹۷۱ منتشر شد و در سال ۲۰۰۴ به‌روز شده است. نسخه پنجم این مدل به زبان برنامه‌نویسی Delphi نوشته شده و قابلیت‌هایی همچون شبیه‌سازی هیدرولوژیکی و هیدرولیکی را در محیطی مشابه GIS ارائه می‌دهد. این نرم‌افزار قادر است مشخصات هیدرولیکی و هیدرولوژیکی اجزاء مختلف، داده‌های هواشناسی و اطلاعات مربوط به مدل‌های مفهومی را وارد کند.

همچنین، توانایی مدل‌سازی تأثیر برف و سایر داده‌های اقلیمی مانند دما و تبخیر را دارد. در این پژوهش، از مدل SWMM برای ارزیابی کارایی سیستم جمع‌آوری آب‌های سطحی و بررسی میزان سیل‌زدگی در مناطق مختلف تهران استفاده شده است. این مدل می‌تواند نقاط آسیب‌پذیر و بحرانی را در زمان وقوع سیلاب شناسایی کند و به مدیران و برنامه‌ریزان شهری در مطالعه تاب‌آوری کمک نماید.

داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز در این نرم‌افزار برای شبیه‌سازی سیلاب عبارتند از: (۱) پارامترهای فیزیوگرافی حوضه شامل مساحت حوضه، شیب، درصد مناطق نفوذناپذیر و ذخیره سطحی مناطق نفوذپذیر (۲) اطلاعات هواشناسی و

می‌باشد؛ ۲) ظرفیت تطبیقی یا توانایی انطباق با رویداد نام دارد که از طریق بررسی و محاسبه ریسک در عملکرد سیستم‌های شهری قابل محاسبه و بررسی است. این زیرشاخص پتانسیل شهر را در برابر وقوع سیلاب‌های شهری بررسی می‌کند و ۳) ظرفیت ترمیمی یا توانایی سیستم برای بازیابی است که به توانایی بازگشت به حالت اولیه گفته می‌شود.

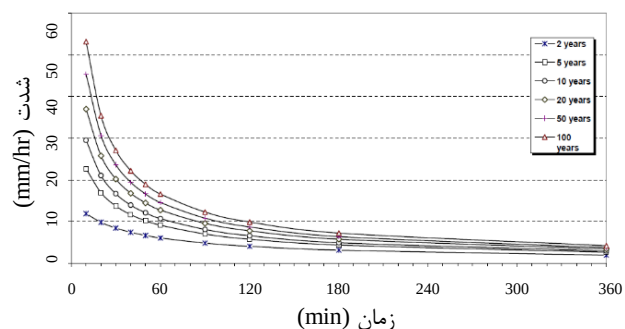
(Khatooni et al., 2026) با بررسی دقیق شاخص UFRI بیان کردند که این شاخص نمی‌تواند تمام اجزای موثر بر تاب‌آوری سیلاب را در نظر بگیرد. از جمله اینکه UFRI فاقد شاخص‌های نرم مثل نگرش به سیل، فرهنگ عمومی، آموزش، حفاظت از محیط زیست و مسئولیت همگانی است. ایشان با معرفی زیر شاخص چهارم "تاب‌آوری آمادگی برای سیل" ذیل ظرفیت جدید همزیستی با سیل (LWF) به معرفی شاخص جدید IUFRI پرداختند. لازم به ذکر است به‌منظور بهبود شاخص و انطباق آن بر منطقه مطالعاتی، زیرشاخص LWF بر اهمیت نگرش‌های فردی نسبت به سیلاب، آگاهی عمومی، آموزش، حفاظت از محیط‌زیست و آسیب‌پذیری اجتماعی تأکید دارد. این عوامل در راهبردهای سنتی مدیریت سیلاب اغلب نادیده گرفته شده‌اند، در حالی که نقش مهمی در ارتقای تاب‌آوری جامعه ایفا می‌کنند. تحلیل مدل‌سازی سیلاب در کرج، آسیب‌پذیری این شهر را به‌ویژه در محله‌های قدیمی زیرساخت‌های فرسوده آشکار می‌سازد. با ادغام مفهوم LWF در راهبردهای مدیریت سیلاب، برنامه‌ریزان شهری می‌توانند رویکردی جامع‌تر برای تقویت تاب‌آوری شهری ایجاد کنند (Khatooni et al., 2026).

سنجش تاب‌آوری سیلاب

الف) پرسشنامه: از آنجا که هدف این مقاله مقایسه عملکرد دو شاخص تاب‌آوری سیلاب UFRI و IUFRI است، لازم است برای کمی‌سازی آنها از پرسشنامه استفاده نمود. برای سنجش و مقایسه این دو در منطقه ۱۲ تهران لازم است از یک پرسشنامه دقیق و جامع استفاده شود. پرسشنامه‌ها از دو مرجع (Khatooni et al., 2026) و (Rezende et al., 2019) استخراج شدند.

تعداد پاسخ‌دهندگان بر اساس تعداد پرسش‌ها و با در نظر گرفتن جمعیت منطقه ۱۲، با استفاده از روش کوکران (Cochran, 1963) تعیین می‌شود. فرمول کوکران، مطابق رابطه ۱، یکی از رایج‌ترین روش‌ها برای تعیین حجم نمونه است.

هیدرولوژیکی شامل مقادیر بارش، تبخیر ماهانه و پارامترهای برف (۳) اطلاعات سیستم زهکشی شامل طول آبرو، ضریب زبری، شکل و سطح مقطع و مشخصات اتصالات و (۴) اطلاعات هواشناسی و هیدرولوژیکی شامل منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی. در شکل ۲، منحنی شدت-مدت-فراوانی ایستگاه مهرآباد تهران که بر اساس رابطه قهرمان-آبخضر (Ghahraman and Abkhezr, 2004) توسعه داده شده و در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته، ارائه شده است.



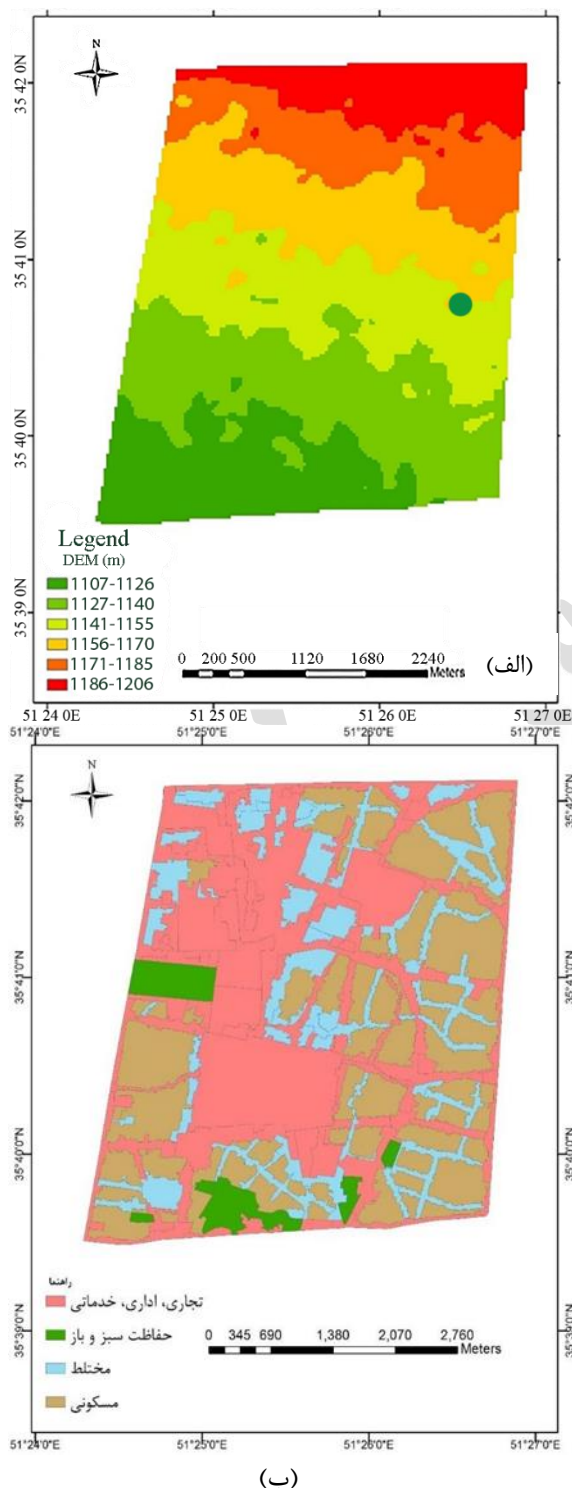
شکل ۲- منحنی شدت-مدت-فراوانی بارندگی در ایستگاه مهرآباد تهران

به دلیل محدودیت داده و اطلاعات، برای کالیبراسیون مدل از روش داده‌های شهروندی (Assumpção et al., 2018) استفاده شده است. در این روش تطابق و مقایسه نتایج سیل گرفتگی (flooding) در مدل و شواهد ارائه شده توسط شهروندان بررسی می‌شود. به این صورت که نقاطی از سیستم زهکش که معمولاً در واقعه‌های سیلاب تاریخی دچار سیل گرفتگی می‌شوند، در گزارش شهروندان جمع‌آوری و با گره‌هایی از مدل که سیل گرفتگی رخ داده، مقایسه می‌شوند تا از عملکرد صحیح مدل اطمینان حاصل شد.

شاخص تاب‌آوری UFRI و IUFRI

شاخص UFRI را می‌توان یکی از جامع‌ترین شاخص‌ها به‌منظور ارزیابی تاب‌آوری شهری در برابر سیل به حساب آورد که بر مبنای مدیریت ریسک سیل و افزایش تاب‌آوری شهری طراحی شده است. UFRI بر اساس چرخه‌ی سیلاب طراحی شده و سایر جنبه‌های موجود در تاب‌آوری شهری در برابر سیل را در بر می‌گیرد (Khatooni et al., 2023). UFRI از سه زیرشاخص عمده تشکیل شده است که ترکیب آن‌ها با یکدیگر کمیت تاب‌آوری سیلاب را رقم خواهد زد (Rezende et al., 2019): ۱) ظرفیت جذب یا توانایی سیستم برای جذب رویدادهای مخرب مثل سیل و سیلاب‌های شهری است. این شاخص نشان‌دهنده‌ی دوام و مقاومت در برابر سیلاب

نرم‌افزار تعریف و شبیه‌سازی شوند. در مرحله اول، حوضه‌ها و زیرحوضه‌ها باید تشکیل و مرزهای آن‌ها مشخص گردد. سپس باید اطلاعات مرتبط با هر حوضه، شامل کد ارتفاعی، شیب، مساحت و عرض معادل، همچنین مقدار رواناب‌های مشرف به آن حوضه و زیرحوضه‌های مربوطه، به مدل ارائه شود (شکل ۳).



شکل ۳- الف) نقشه DEM و ب) کاربری اراضی منطقه ۱۲ تهران

$$n = \frac{\frac{z^2 pq}{d^2}}{1 + \frac{1}{N} \left[\frac{z^2 pq}{d^2} - 1 \right]} \quad (1)$$

که در آن، N اندازه جامعه آماری؛ p درصد توزیع صفت در جامعه؛ q درصد افراد فاقد صفت؛ z آماره z در سطح خطای ۵ درصد معادل مقدار t در نظر گرفته می‌شود؛ و d بیانگر اختلاف بین نسبت واقعی صفت در جامعه و نسبت برآوردشده آن توسط پژوهشگر است. دقت نمونه‌گیری به مقدار d بستگی دارد که معمولاً برابر با ۰/۰۵ در نظر گرفته می‌شود.

ب) نرمال‌سازی زیر شاخص‌ها: برای مقایسه درست شاخص‌ها، مقدار هر زیرشاخص با استفاده از رابطه (۲) در مقیاس ۰ تا ۱ نرمال‌سازی می‌شود:

$$X = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (2)$$

که در آن X مقدار نرمال‌شده‌ی X و $X_{\min}$ و $X_{\max}$ به ترتیب مقادیر حداقل و حداکثر مشاهده شده هستند.

ج) وزن‌دهی به شاخص‌ها: با توجه به اینکه همه شاخص‌ها به یک اندازه در تاب‌آوری در برابر سیلاب نقش ندارند، بر اساس اهمیت نسبی هر شاخص، وزن‌های متفاوتی به آن‌ها اختصاص داده شد. این وزن‌ها از طریق نظرات خبرگان و بر اساس پرسشنامه تعیین شدند.

د) محاسبه شاخص IUFRI: گام نهایی در محاسبه IUFRI شامل تجمیع شاخص‌های نرمال شده بر اساس وزن آنها (W) برای تولید یک مقدار شاخص واحد است. این تجمیع با استفاده از معادله (۳) انجام می‌شود:

$$IUFRI = \sum_{i=1}^n W_i X_i \quad (3)$$

که در آن n تعداد کل زیرشاخص‌ها است. این مجموع، امتیازی جامع به دست می‌دهد که بازتاب تاب‌آوری کلی در برابر سیلاب منطقه مورد بررسی است.

هـ) تحلیل واریانس: در تحلیل پرسشنامه، تفاوت میان محدوده‌های مختلف منطقه ۱۲ با استفاده از آزمون‌های ANOVA یا تحلیل واریانس و MANOVA یا تحلیل واریانس چندمتغیره بررسی می‌شود. آزمون ANOVA یک آزمون آماری است که برای تعیین وجود تفاوت معنادار میان میانگین‌های دو یا چند جامعه آماری مستقل به کار می‌رود.

نتایج و بحث

شبیه‌سازی هیدرولیکی سیلاب

برای پردازش مدل نرم‌افزار SWMM، ابتدا لازم است که تمام اطلاعات و پارامترهای اولیه به‌طور دقیق و مرحله به مرحله در

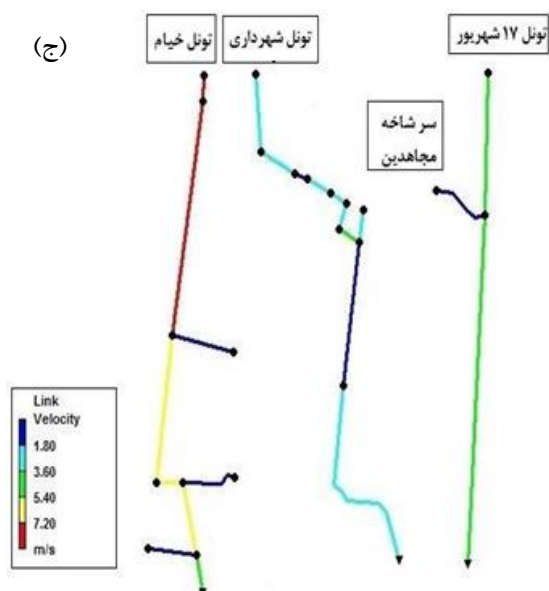
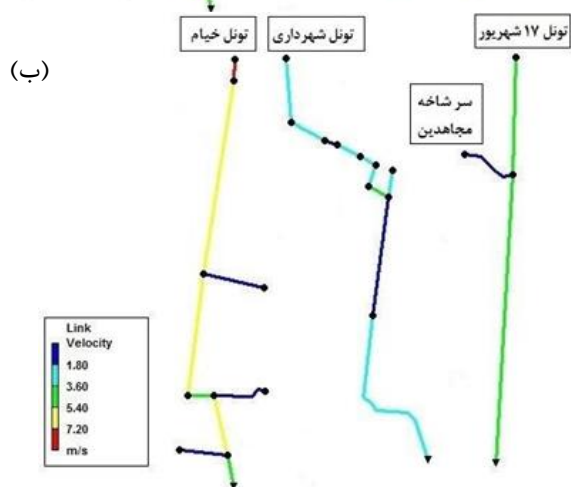
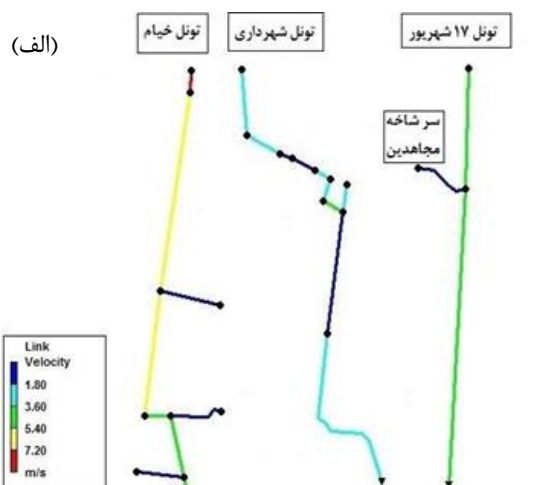
سیستم زهکشی منطقه ۱۲ شهرداری تهران بر اساس توپوگرافی منطقه طراحی شده است؛ بنابراین مرز حوضه‌ها و زیرحوضه‌ها بر اساس توپوگرافی و شبکه زهکشی، شامل معابر اصلی و فرعی و چاه‌های جذبی، با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS به صورت دستی برای منطقه ۱۲ شهرداری ترسیم گردید. در شکل ۳، نقشه توپوگرافی و کاربری اراضی مورد استفاده در مدلسازی ارائه شده است.

در مطالعاتی که روی بارش‌های تهران انجام شده، روشن شده است که برای بارش‌های ۳ ساعته و طولانی‌تر، شدیدترین بخش بارندگی در بخش میانی یا اواسط بارش رخ می‌دهد که این مطلب در ساخت الگوی زمانی بارش لحاظ شده است.

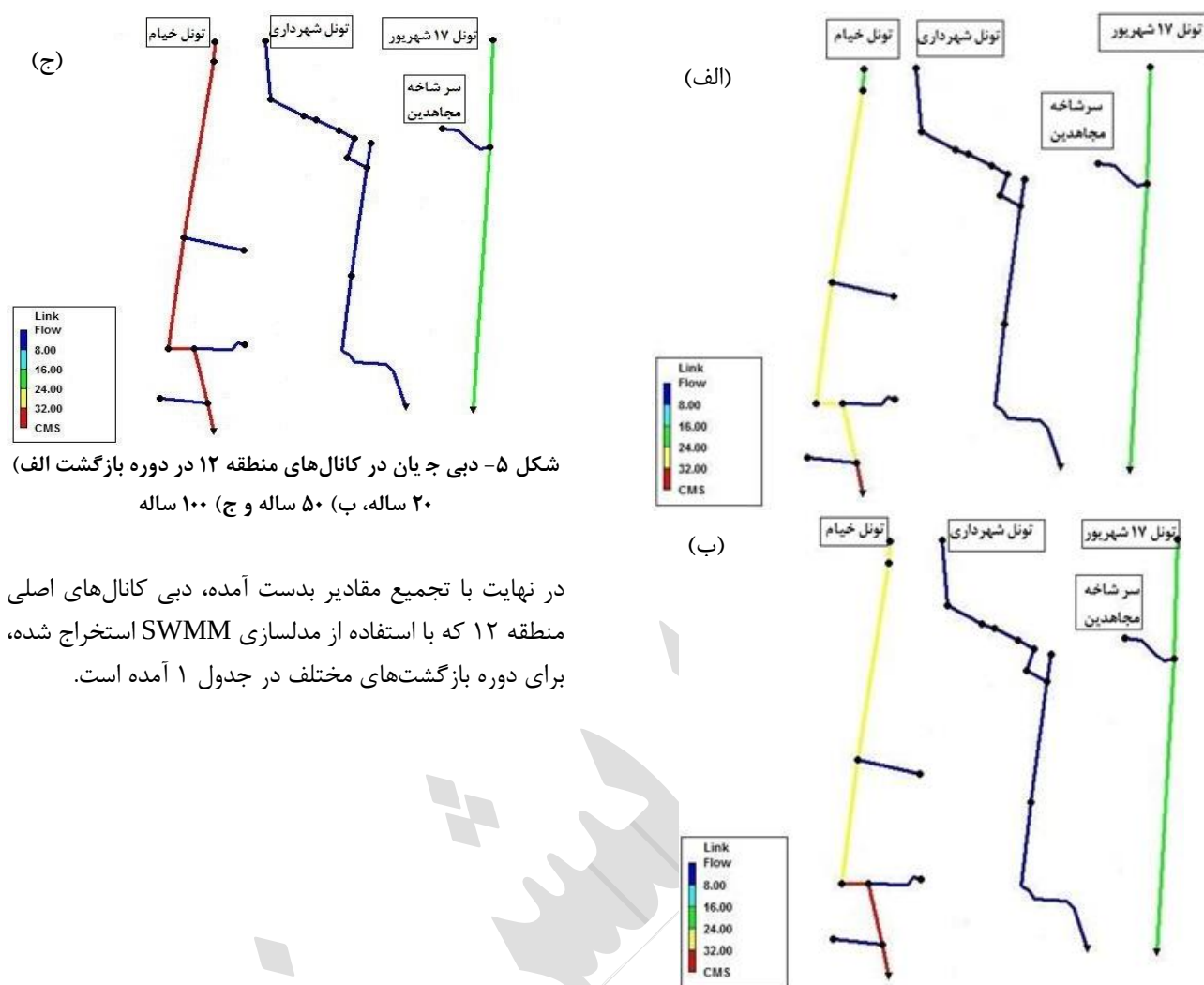
این منطقه از ۲۳ زیرحوضه تشکیل شده و اطلاعات مربوط به هر زیرحوضه به مدل SWMM وارد شده است. روندهای گسترش شهری با افزایش پهنه‌های نفوذناپذیر، کارکرد و ساختار سامانه‌های آبخیز طبیعی را تغییر می‌دهند و این تغییرات می‌توانند به تشدید سیلاب‌ها در محدوده‌های شهری منجر شوند. به همین دلیل لازم است طراحی یک سیستم جمع‌آوری آب‌های سطحی به‌طور دقیق و کارآمد صورت گیرد. برای تعیین حجم سیلاب منطقه ۱۲، ورود سیلاب از سایر مناطق شهرداری تهران مانند مناطق ۶، ۷، ۱۱، ۱۳ و ۱۴ به سه کانال زهکش اصلی در نظر گرفته شد. این سه ورودی که بر پایه نقشه‌برداری‌های توپوگرافی منطقه و با در نظر داشتن شبکه زهکشی، شیب‌های اصلی و فرعی و چاه‌های جذب‌کننده تعیین شده‌اند، به مدل وارد شده‌اند و بر اساس خط (Rod) شهری که توسط شهرداری برای دو سال برآورد شده است، به کار گرفته شدند تا جریان‌های ورودی به کانال‌های زهکشی اصلی منطقه به‌طور دقیق مشخص شود.

در شکل ۴ سرعت جریان در ۴ ساعت و ۳۰ دقیقه بعد از بارش در دوره بازگشت‌های ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله و عملکرد کانال‌های اصلی شامل تونل ۱۷ شهریور، تونل شهرداری و تونل خیام نمایش داده شده است. همان‌طور که از شکل پیدا است سرعت جریان در بعضی از کانال‌ها از میزان ۴/۵ متر بر ثانیه تجاوز می‌نماید که نشان‌دهنده سرعت بالای آب بوده لیکن از حد مجاز سرعت آب (6 m/s) تجاوز نمی‌نماید.

مشابه شکل ۴، در شکل ۵ دبی جریان سیلابی در کانال با دوره بازگشت‌های ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله نشان داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود دبی در سرشاخه‌ها از ۸ متر مکعب بر ثانیه تا ۳۲ متر مکعب در ثانیه در مناطق پایین دست، متغیر است.



شکل ۴- سرعت جریان در کانال‌های منطقه ۱۲ در دوره بازگشت
(الف) ۲۰ ساله، (ب) ۵۰ ساله و (ج) ۱۰۰ ساله



در نهایت با تجميع مقادير بدست آمده، دبی کانال‌های اصلی منطقه ۱۲ که با استفاده از مدلسازی SWMM استخراج شده، برای دوره بازگشت‌های مختلف در جدول ۱ آمده است.

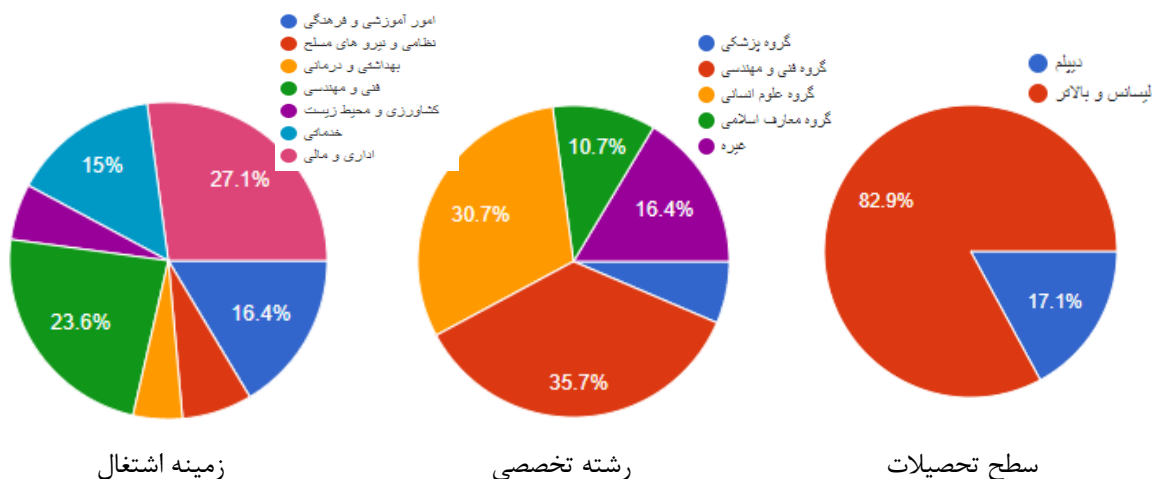
جدول ۱- دبی سیلاب (m^3/s) در دوره بازگشت‌های مختلف برای کانال‌های ۳ گانه منطقه ۱۲

نام کانال	دوره بازگشت					
	۲	۵	۱۰	۲۰	۵۰	۱۰۰
خیام	۱۳/۲	۲۲	۲۷/۳	۲۴/۲	۴۲	۵۰/۵
شهرداری	۸/۸	۱۴/۲	۱۸	۲۳/۳	۲۷/۱	۳۴/۲
۱۷ شهریور	۱۳/۶	۲۵	۳۰/۵	۳۷	۴۶/۱	۵۵/۱

نتایج شاخص‌های تاب‌آوری

همانطور که توضیح داده شد، شاخص‌های تاب‌آوری مستقیم روی تاب‌آوری مناطق تاثیرگذار بوده و با کیفیت و چگونگی زندگی ساکنان و افراد در حوضه مورد مطالعه، رابطه مستقیم دارد. این بدان معنی است که هرچقدر درست و صحیح به این شاخص‌ها پاسخ مطلوب داده شود می‌توان بررسی درست و دقیق‌تری از تاب‌آوری این مناطق در اختیار داشت. بدین

منظور برای بررسی و تحلیل شاخص‌های تاب‌آوری و مقایسه ۲ روش، هر دو پرسشنامه UFRI و IUFRI تنظیم و در محله‌های مختلف منطقه ۱۲ بین ۲۸۷ نفر از متخصصان و مطلعان توزیع گردیدند. بعد از پاسخ به سوالات توسط افراد در منطقه، پاسخ‌ها دسته‌بندی شدند و پس از صحت‌سنجی پاسخ‌ها، شاخص‌های تاب‌آوری ارزیابی شدند. شکل ۶، نحوه توزیع شرکت‌کنندگان را از نظر سطح تحصیلات، رشته تحصیلی و شغل نشان می‌دهد.

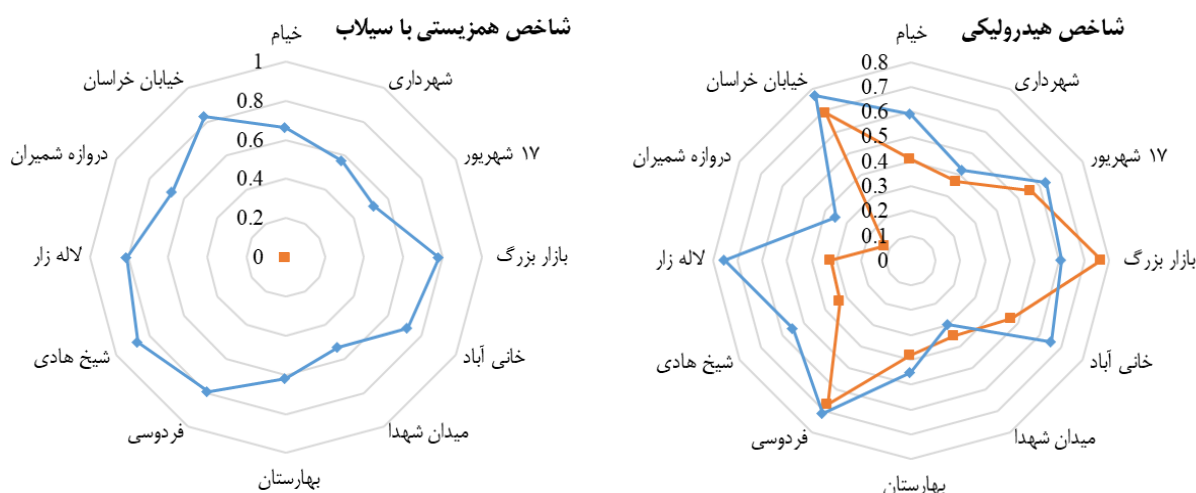


شکل ۶- مشخصات جامعه آماری مشارکت کننده در تکمیل پرسشنامه‌ها

هیدرولیکی و ۶) همزیستی با سیل برای ۱۲ زیرمحدوده از منطقه ۱۲ تهران محاسبه گردید. مقادیر به دست آمده بین صفر و یک استاندارد شدند. در شکل ۷، نتایج به دست آمده از این تحلیل نمایش داده شده است.

در ادامه بر اساس شاخص‌های تاب‌آوری، مقدار تاب‌آوری سیلاب منطقه ۱۲ تهران به صورت امتیازدهی به پاسخ‌ها و استانداردسازی مقادیر نهایی محاسبه شد. شاخص‌های مربوط به هر شاخص در ۶ دسته استاندارد (۱) اجتماعی- فرهنگی، (۲) نهادی سازمانی، (۳) اقتصادی، (۴) زیرساختی- کالبدی، (۵)





شکل ۷- نتایج بدست آمده از پرسشنامه‌های UFR و IUFR برای ۱۲ زیر محدوده منطقه ۱۲ تهران

شاخص بعد از شاخص اجتماعی- فرهنگی بیشترین مقدار را دارد؛ به‌طوری‌که کاهش شدید مقادیر شاخص UFR نشان‌دهنده آسیب‌پذیری اقتصادی بیشتر و کاهش توان اقتصادی در برخی نقاط است. در شاخص هیدرولیکی الگوی متفاوتی دیده می‌شود و در برخی زیرمحدوده‌ها شاخص UFR وضعیت نزدیک یا حتی بهتری از شاخص IUFR دارد، هرچند این برتری فراگیر نیست. شاخص همزیستی با سیلاب در شاخص IUFR از ۰/۵۲ تا ۰/۸۷ در محدوده‌های مختلف متغیر است. در مجموع، نتایج نشان می‌دهد که تغییر سناریو از آبی به نارنجی باعث افت محسوس در بیشتر ابعاد، به‌ویژه در مؤلفه‌های اقتصادی و همزیستی با سیلاب شده و این تفاوت‌ها در سطح محلی نیز ناهمگن هستند. در جدول ۲ تمامی امتیاز شاخص‌های کلان به‌دست آمده از دو شاخص UFR و IUFR برای مقایسه بهتر میانگین‌گیری شده و در کنار یکدیگر قرار گرفته است. در این جدول مقادیر بیشتر نشان دهنده وضعیت بهتر تاب‌آوری است.

در شکل ۷ مقایسه بین دو شاخص تاب‌آوری مورد بررسی برای هر شاخص استاندارد آمده است. این نتایج نشان می‌دهند که وضعیت زیرمحدوده‌های منطقه ۱۲ تهران در ابعاد مختلف کاملاً یکنواخت نیست و بین دو شاخص مقایسه‌شده، تفاوت‌های قابل توجهی وجود دارد. همانطور که دیده می‌شود در شاخص اجتماعی- فرهنگی برخلاف سایر شاخص‌ها، تمایز زیادی بین نتایج UFR و IUFR وجود دارد؛ به‌طوری‌که IUFR به‌طور یک‌دست وضعیت بهتری از تاب‌آوری سیلاب را در کلیه محدوده‌های مورد بررسی در مقایسه با UFR نشان می‌دهد. اما از نظر شاخص نهادی- سازمانی وضعیتی کاملاً متفاوت دیده می‌شود؛ به‌طوری‌که در برخی محدوده‌ها شاخص UFR وضعیت بهتری را نشان می‌دهد و در دیگر محدوده‌ها شاخص IUFR در جایگاه بهتری ایستاده است. در شاخص زیرساختی- کالبدی، IUFR در بیشتر محورها بالاتر از UFR قرار گرفته و این امر بیانگر شرایط بهتر کالبدی در اغلب زیرمحدوده‌ها از نظر این شاخص است. در شاخص اقتصادی نیز، فاصله دو

جدول ۲- مقدار نهایی شاخص‌های تاب‌آوری به تفکیک پرسشنامه‌ها

شاخص	اقتصادی - اجتماعی	نهادی و اقتصادی	زیرساختی	هیدرولیکی	همزیستی با سیلاب	متوسط
UFR	۱۰/۳۵	۰/۵۰	۰/۵۳	۰/۴۶	۰/۴۵	۰/۴۵۸
IUFR	۰/۵۹	۰/۵۸	۰/۶۴	۰/۵۵	۰/۵۷	۰/۶۱

نشان می‌دهد. در تمام شاخص‌های مشترک، مقادیر IUFR بیشتر از UFR است؛ به‌ویژه در شاخص اجتماعی- فرهنگی که از ۰/۳۵ به ۰/۵۹ افزایش یافته است. همچنین، افزودن

این جدول نشان می‌دهد که مقدار میانگین تاب‌آوری در روش IUFR برابر با ۰/۶۰۵ و در روش UFR برابر با ۰/۴۵۸ است؛ بنابراین، IUFR سطح تاب‌آوری بالاتری را نسبت به UFR

شاخص همزیستی با سیلاب با مقدار ۰/۷ نقش مهمی در افزایش میانگین نهایی IUFRی داشته است. این نتایج نشان می‌دهد که IUFRی تصویر جامع‌تر و خوش‌بینانه‌تری از تاب‌آوری سیلاب ارائه می‌کند.

به طور کلی انتظار می‌رود که شاخص به‌روزشده IUFRی، به دلیل ساختار تکامل‌یافته‌تر و گنجاندن بعد «ظرفیت همزیستی با سیلاب»، تصویری دقیق‌تر و واقع‌بینانه‌تر از میزان تاب‌آوری مناطق شهری ارائه دهد. تحلیل پرسشنامه‌ها می‌تواند نشان دهد که سؤالات طراحی‌شده در چارچوب IUFRی، نسبت به UFRI، توانایی بالاتری در سنجش شاخص‌های نرم‌افزاری تاب‌آوری مانند تعاملات اجتماعی، سطح آمادگی ذهنی ساکنان و میزان انعطاف‌پذیری نهادی داشته‌اند. با بررسی پرسشنامه و ارزیابی عملکرد ظرفیت همزیستی با سیلاب، می‌توان گفت IUFRی نه تنها شاخصی کمی‌تر و کاربردی‌تر است، بلکه ابزاری مؤثرتر برای تحلیل عمیق تاب‌آوری شهری در سطح محلی محسوب می‌شود. با تحلیل داده‌های به‌دست‌آمده از دو شاخص UFRI و IUFRی در منطقه مورد مطالعه، مشخص می‌شود که شاخص IUFRی سطح بالاتری از ابعاد مختلف تاب‌آوری شهری ارائه دهد. گنجاندن مؤلفه‌ای کلیدی همچون «توان همزیستی با سیلاب» در ساختار این شاخص، آن را از نظر محتوایی کامل‌تر و از نظر تحلیلی، کاربردی‌تر از UFRI ساخته است. همچنین، پرسش‌های دقیق‌تر و عمیق‌تری که در چارچوب پرسشنامه IUFRی طراحی شده‌اند، توانسته‌اند داده‌های میدانی را با کیفیت بالاتری استخراج کرده و شناخت بهتری از ظرفیت‌ها و نارسایی‌های مناطق شهری در برابر بحران سیلاب فراهم کنند. این موضوع نشان می‌دهد که استفاده از IUFRی می‌تواند نقش مهمی در ارتقای دقت ارزیابی‌ها و تصمیم‌گیری‌های مدیریتی ایفا کند.

مطابق نتایج، با توجه به امکان کمی‌سازی مقادیر می‌توان گفت هر دو روش به‌طور مؤثری به تحلیل تاب‌آوری سیلاب می‌پردازند، اما از زوایای متفاوتی به این موضوع نگاه می‌کنند. روش UFRI با تمرکز بر ادغام اجزای خطر و آسیب‌پذیری، به دنبال ارائه یک تصویر کلی از وضعیت تاب‌آوری در برابر سیلاب‌ها است. این روش با استفاده از مدل‌های هیدرولیکی و

داده‌های کیفی، به تحلیل دقیق‌تری از دینامیک‌های سیلاب و تأثیرات آن بر زیرساخت‌ها و جوامع محلی می‌پردازد. از سوی دیگر، روش IUFRی با معرفی مفهوم همزیستی با سیلاب، به‌عنوان یک رویکرد نوین در مدیریت تاب‌آوری سیلاب، به تحلیل این موضوع می‌پردازد که چگونه می‌توان با سیلاب‌ها به‌طور مؤثرتری همزیستی کرد. IUFRی با ترکیب شاخص‌های کیفی و کمی در ابعاد مختلف اجتماعی، اقتصادی، زیرساختی و هیدرولیکی، به تحلیل عمیق‌تری از تاب‌آوری سیلاب در مناطق مختلف می‌پردازد و به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند تا نیازهای خاص هر منطقه را شناسایی کنند. به‌طور کلی، هر دو روش UFRI و IUFRی به‌عنوان ابزارهای مؤثر برای ارزیابی و بهبود تاب‌آوری سیلاب در مناطق شهری شناخته می‌شوند و می‌توانند به مدیران و برنامه‌ریزان در اتخاذ تصمیمات بهینه برای مدیریت ریسک سیلاب کمک کنند.

در نهایت با در نظر گرفتن شاخص تاب‌آوری IUFRی، می‌توان توصیه‌های عملی برای بهبود شاخص در سطح منطقه ۱۲ ارائه کرد. در اینجا با در نظر گرفتن زیرشاخص‌هایی که مقدار آنها از ۰/۶ کمتر است، می‌توان اولویت‌های اقدامات مدیریتی را به صورت جدول ۳ پیشنهاد داد.

تحلیل واریانس

در جدول ۴ نتایج تحلیل ANOVA یک‌طرفه برای شاخص UFRI و IUFRی آمده است. نتایج نشان می‌دهد که بین محله‌های مورد مطالعه از نظر میزان تاب‌آوری سیلاب تفاوت معناداری وجود دارد ($p\text{-value} < 0.001$). این نتیجه بیانگر آن است که مقادیر UFRI و IUFRی در همه محله‌ها یکسان نیست و الگوی تاب‌آوری سیلاب بر اساس این شاخص دارای ناهمگونی فضایی است.

از طرفی بر اساس جدول ۵، تحلیل ANOVA یک‌طرفه تجمیعی بین ۱۲ محله، نشان‌دهنده تفاوت معناداری بین محله‌ها است ($p < 0.001$). لازم به ذکر است با توجه به تجمیعی بودن این آزمون، مقدار اخیر نباید بدون اجرای تحلیل جداگانه بر داده خام به هر یک از دو شاخص UFRI و IUFRی نسبت داده شود.

جدول ۳- اولویت‌بندی اقدامات بهبود تاب‌آوری سیلاب بر اساس شاخص IUFRI

اولویت	محل	زیرشاخص‌های نیازمند بهبود (مقادیر کمتر از ۰/۶)	پیشنهاد مدیریتی
۱	میدان شهدا	زیرساختی کالبدی، هیدرولیکی، اقتصادی، همزیستی با سیلاب، نهادی‌سازمانی، اجتماعی فرهنگی	بازسازی شبکه زهکشی، افزایش ظرفیت کانال‌ها، رفع نقاط آب‌گرفتگی، اجرای اقدامات توسعه کم‌اثر (LID)، حمایت مالی از گروه‌های آسیب‌پذیر و تدوین برنامه واکنش اضطراری محله‌ای
۲	شهرداری	زیرساختی کالبدی، نهادی‌سازمانی، هیدرولیکی، همزیستی با سیلاب	اصلاح و لایروبی کانال‌ها، رفع گلوگاه‌های شبکه، اجرای روسازی نفوذپذیر و باغباران، تقویت هماهنگی سازمانی و آموزش آمادگی در برابر سیلاب
۳	شیخ هادی	اقتصادی، نهادی‌سازمانی، زیرساختی کالبدی، هیدرولیکی، اجتماعی فرهنگی	حمایت مالی و بیمه‌ای از خانوارها و مشاغل، تقویت مدیریت بحران، اصلاح شبکه زهکشی و اجرای اقدامات توسعه کم‌اثر (LID) در مقیاس ساختمان و معبر
۴	خانی‌آباد	نهادی‌سازمانی، اقتصادی، اجتماعی فرهنگی	ایجاد سازوکار هماهنگی بین سازمان‌ها، حمایت از گروه‌های اقتصادی آسیب‌پذیر، آموزش عمومی و تشکیل گروه‌های داوطلب محله‌ای
۵	دروازه شمیران	هیدرولیکی، زیرساختی کالبدی، اجتماعی فرهنگی	افزایش ظرفیت انتقال رواناب، اصلاح آبروها و کانال‌ها، رفع انسداد مسیر جریان، ایجاد مخازن تأخیر و تقویت آموزش عمومی
۶	بهارستان	هیدرولیکی، زیرساختی کالبدی	افزایش ظرفیت زهکشی، اصلاح آبروها، اجرای باغباران، روسازی نفوذپذیر و مخازن ذخیره موقت رواناب
۷	لاله‌زار	نهادی‌سازمانی، زیرساختی کالبدی، اجتماعی فرهنگی	تقویت هماهنگی سازمانی، نگهداری کانال‌ها، توسعه سطوح نفوذپذیر، بهبود سامانه هشدار و افزایش مشارکت کسب و کارها
۸	۱۷ شهریور	اقتصادی، نهادی‌سازمانی، همزیستی با سیلاب، اجتماعی فرهنگی، زیرساختی کالبدی	حمایت از خانوارها و کسب و کارهای آسیب‌پذیر، تقویت هماهنگی نهادی، آموزش سازگاری با سیلاب و بهسازی موضعی شبکه زهکشی
۹	خیابان خراسان	اجتماعی فرهنگی	افزایش آگاهی عمومی، برگزاری مانورهای محلی، تقویت مشارکت شهروندان و بهبود اطلاع‌رسانی و هشدار سریع
۱۰	خیام	هیدرولیکی	پایش نقاط آب‌گرفتگی، نگهداری و لایروبی شبکه و اجرای اقدامات محدود کنترل رواناب در نقاط بحرانی

جدول ۴- تحلیل واریانس برای مقایسه UFRI و IUFRI

منبع تغییرات	درجات آزادی صورت	درجات آزادی مخرج	آماره F	مقدار p	تفسیر
اثر روش محاسبه	۱	۱۱	۱۰۸/۵	<۰/۰۰۱	معنادار

جدول ۵- تحلیل واریانس بین ۱۳ محدوده منطقه ۱۲ بر اساس داده‌های تجمیعی شاخص‌های تاب‌آوری

منبع تغییرات	df1	df2	F	p	نتیجه
بین محدوده‌ها	۱۲	۱۰۸	۵/۸۳	<۰/۰۰۱	معنادار

نتیجه‌گیری

در این مقاله مقایسه‌ای بین دو شاخص UFRI و IUFRI برای ارزیابی تاب‌آوری سیلاب شهری انجام و نتایج حاصل از ارزیابی وضعیت هر یک از شاخص‌های یادشده در محدوده‌های مختلف

منطقه ۱۲ شهرداری تهران، بررسی و ارائه شد. در این تحلیل، وضعیت تاب‌آوری هر منطقه از منظر پنج مؤلفه اصلی ارزیابی و با تلفیق نتایج، تصویر کلی از وضعیت تاب‌آوری شهری استخراج شد. این ارزیابی جامع امکان شناسایی نقاط ضعف و

بهینه‌تری برای درک عمیق‌تر از پایداری و تاب‌آوری شهری فراهم آورد.

تضاد منافع نویسندگان

در این مقاله هیچ‌گونه تضاد منافی وجود ندارد و این مسئله مورد تایید همه نویسندگان است.

دسترسی به داده‌ها

داده‌های استفاده شده در این پژوهش از طریق مکاتبه با نویسنده مسئول در اختیار قرار خواهد گرفت.

مشارکت نویسندگان

نحوه و میزان مشارکت نویسندگان در انجام این پژوهش به صورت زیر است:

توحید ترابی: جمع‌آوری و تحلیل اولیه داده‌ها، تهیه نسخه اولیه مقاله

فرهاد هوشیاری‌پور: تحلیل داده‌ها، راهنمایی، ویرایش و بازبینی مقاله، کنترل نتایج

سیده هدی رحمتی: تحلیل داده‌ها، راهنمایی، ویرایش و بازبینی مقاله، کنترل نتایج.

اصول اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر عملی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تایید همه آنها می‌باشد.

منابع

- 1- Adger, W.N., 2006. Vulnerability. *Global Environmental Change*, 16(3), pp.268–281. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.02.006>
- 2- Ahern, J., 2011. From fail-safe to safe-to-fail: Sustainability and resilience in the new urban world. *Landscape and Urban Planning*, 100(4), pp.341–343. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.11.011>
- 3- Amini, M.R. and Haji Kandi, H., 2021. Evaluation of sewage collection network vulnerability by Analytical Hierarchy Process method (Case study: sewerage collection network implemented in a part of District 5 of Tehran Municipality), *Iranian Water Research Journal*, 15(2), pp.41-53. (In Persian)
- 4- Assumpção, T.H., Popescu, I., Jonoski, A. and Solomatine, D.P., 2018. Citizen observations contributing to flood modelling: opportunities and challenges, *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(2), pp.1473–1489. doi.org/10.5194/hess-22-1473-2018
- 5- Baky, M.A.A., Islam, M. and Paul, S., 2020. Flood hazard, vulnerability and risk assessment for different

کمبودهای هر منطقه را فراهم کرده و زمینه‌ساز تدوین راهکارهای اصلاحی و ارتقای متناسب با ویژگی‌های خاص آن منطقه برای افزایش تاب‌آوری سیلاب خواهد بود. اهمیت این موضوع در آن است که تاب‌آوری، شاخصی ترکیبی و وابسته به عملکرد متقابل مؤلفه‌های مختلف است و لذا ممکن است متغیر غالب در کاهش یا افزایش تاب‌آوری در هر منطقه متفاوت باشد. در نهایت، نتایج این پژوهش تصویر روشن‌تری از رفتار منطقه ۱۲ تهران در برابر سیلاب‌های شهری ارائه داده و نشان داده است که ارتقای شاخص‌های معرفی شده، به‌ویژه از طریق رویکردهای برنامه‌ریزی محله‌محور، می‌تواند مسیر مؤثری برای افزایش تاب‌آوری شهری باشد. در مجموع:

- افزایش سطوح نفوذناپذیر در اثر گسترش شهرنشینی باعث کاهش نفوذپذیری شده و به تبع آن میزان رواناب افزایش می‌یابد. لذا برای آنکه بتوان تولید رواناب در سطوح شهری را کاهش داد باید از گسترش بی‌رویه و غیر منطقی سطوح نفوذناپذیر روی سطوح نفوذپذیر جلوگیری کرد.

- مقایسه‌ی دو شاخص UFRی و IUFRI در ارزیابی تاب‌آوری منطقه ۱۲ شهر تهران نشان داد که شاخص IUFRI به‌واسطه‌ی ساختار جامع‌تر و پرسشنامه‌ی دقیق‌تر، عملکرد بهتری در سنجش ابعاد واقعی تاب‌آوری شهری از خود نشان داده است. یکی از مزیت‌های برجسته این شاخص، گنجاندن بعد «ظرفیت همزیستی با سیلاب» است؛ بعدی که در شاخص UFRی مغفول مانده و در عین حال در مناطق در معرض خطر سیلاب، عنصری کلیدی در ارزیابی رفتار شهروندان و تطبیق‌پذیری آن‌ها با شرایط پرخاطر محسوب می‌شود.

- سؤالات طراحی شده در پرسشنامه IUFRI به‌صورت هدفمند و با رویکرد جامعه‌محور تنظیم شده‌اند که این امر موجب افزایش دقت و واقع‌گرایی در سنجش عوامل مؤثر بر تاب‌آوری شده است. شاخص IUFRI به‌عنوان نسخه‌ی توسعه‌یافته و به‌روزشده‌ی UFRی، ضمن حفظ مؤلفه‌های پایه‌ای تاب‌آوری، ابعاد تکمیلی مانند شاخص‌های رفتاری، زیست‌محیطی و فرهنگی مرتبط با همزیستی با خطر سیلاب را نیز در بر می‌گیرد. این شاخص با ارائه‌ی مدلی جامع‌تر، امکان تحلیل دقیق‌تر نقاط ضعف و قوت تاب‌آوری در هر منطقه را فراهم می‌سازد و از این منظر، ابزاری کارآمدتر برای برنامه‌ریزی‌های کلان، سیاست‌گذاری شهری و تدوین طرح‌های کاهش خطر سیلاب به شمار می‌رود.

- نتایج این مطالعه تأکید دارد که به‌کارگیری شاخص‌هایی مانند IUFRI در مطالعات آینده می‌تواند مسیر

- 17- Ouma, Y.O. and Tateishi, R., 2014. Urban flood vulnerability and risk mapping using integrated multi-parametric AHP and GIS: Methodological overview and case study assessment. *Water*, 6, 1515–1545. doi.org/10.3390/w6061515
- 18- Rezende, O.M., Miranda, F.M., Haddad, A.N. and Miguez, M.G., 2019. A Framework to Evaluate Urban Flood Resilience of Design Alternatives for Flood Defence Considering Future Adverse Scenarios. *Water*, 11(7), 1485. doi.org/10.3390/w11071485.
- land use classes using a flow model. *Earth Systems and Environment*, 4(1), pp.225–244. doi.org/10.1007/s41748-019-00141-w
- 6- Cochran, W.G., 1963. Sampling techniques. (second ed.), John Wiley and Sons, Inc, New York (1963). https://doi.org/10.1002/bimj.19650070312
- 7- Cutter, S.L., Burton, C.G. and Emrich, C.T., 2010. Disaster resilience indicators for benchmarking baseline conditions. *Journal of Homeland Security and Emergency Management*, 7(1). https://doi.org/10.2202/1547-7355.1732.
- 8- Fletcher, T.D., Shuster, W., Hunt, W.F., Ashley, R., Butler, D., et al., 2015. SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal*, 12(7), pp.525–542. https://doi.org/10.1080/1573062X.2014.916314.
- 9- Ghahraman, B. and Abkhezr, H., 2004. Improvement in Intensity-Duration-Frequency Relationships of Rainfall in Iran. *Journal of Water and Soil Science*, 8(2), pp.1–14. (in persian). doi:20.1001.1.24763594.1383.8.2.1.4
- 10- Hooshyaripor, F. and Yazdi, J., 2017. A new methodology for surcharge risk management in urban areas (case study: Gonbad-e-Kavus city), *Water Science and Technology*, 75(4), pp.823–832. doi.org/10.2166/wst.2016.567
- 11- Hooshyaripor, F., Hajforoush, Z. and Khatooni, K., 2025. A prioritization index for effective implementation of optimal low impact development techniques. *Urban Water Journal*, 22(9), pp.1043–1057. doi.org/10.1080/1573062X.2025.2529929
- 12- Jafarzadeh, N., Mirbagheri Firozabadi, S., Rajaei, T., Daneh kar, A. and Robati M., 2020. Evaluation of river bio-resilience with artificial intelligence models (case study: Aliabad river). *Iranian Water Research Journal*, 14(3), pp.61–70. (In Persian)
- 13- Jha, A.K., Bloch, R. and Lamond, J., 2012. Cities and flooding: A guide to integrated urban flood risk management for the 21st century. World Bank.
- 14- Khatooni, K., Hooshyaripor, F., MalekMohammadi, B. and Noori, R., 2023. A combined qualitative–quantitative fuzzy method for urban flood resilience assessment in Karaj City, Iran. *Scientific Reports*, 13, 241. doi.org/10.1038/s41598-023-27377-x
- 15- Khatooni, K., Hooshyaripor, F., MalekMohammadi, B. and Noori, R., 2025. A new approach for urban flood risk assessment using coupled SWMM–HEC-RAS-2D model. *Journal of Environmental Management*, 374, 123849. doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123849
- 16- Khatooni, K., Hooshyaripor, F., MalekMohammadi, B. and Noori, R., 2026. IUFRI: An Urban Flood Resilience Index improved by flood adaptation strategy. *Applied Water Science*, 16, 3. doi.org/10.1007/s13201-025-02666-0