University of Tehran Press

Journal of Natural Environment

Online ISSN: 2423-7817

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

Urban pathway design and stormwater management through green–blue infrastructure toward multidimensional resilience (Case study: North Taleghani Boulevard, Karaj)

Setayesh Zandi Babaei[1] | **Mohammad Reza Taheri**[2]✉ | **Arash Malekian**[3]

1. Department of Horticultural Science and Landscape Architecture, Faculty of Agriculture, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: setayeshzandi80@ut.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Horticultural Science and Landscape Architecture, Faculty of Agriculture, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: mrtaheri@ut.ac.ir
3. Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: malekian@ut.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 25 February 2026

Received in revised form 22 August 2026

Accepted 31 August 2026

Keywords:

Landscape Design,
Low-Impact Development (LID),
Resilience,
Stormwater Management,
SWOT Analysis,
SWMM model.

ABSTRACT

Extreme rainfall events associated with climate change have challenged the effectiveness of conventional urban drainage systems and highlighted the need to reconsider urban pathway design. This study aims to develop an integrated framework for resilient urban pathway landscape design by combining green–blue infrastructure and Low-Impact Development (LID) techniques within a multidimensional approach encompassing ecological, hydrological, socio-cultural, and economic dimensions. North Taleghani Boulevard in Karaj was selected as the study area due to its location within a riverbed, its considerable slope, and its history of flooding and waterlogging. The research adopted a descriptive–analytical approach and was conducted in qualitative and quantitative phases. In the qualitative phase, SWOT analysis was used to identify the strengths, weaknesses, opportunities, and threats of the study area based on documentary evidence, spatial data, and field observations. In the quantitative phase, hydrological modeling was performed using the Storm Water Management Model (SWMM) under baseline and proposed scenarios, with approximately 30% of each sub-catchment area allocated to LID measures. The results showed that the proposed scenario reduced average peak discharge from 0.227 to 0.173 m^3/s, corresponding to a 24% reduction, while average total runoff decreased from 20.20 to 16.87 mm, representing a 17% reduction. Based on the integrated interpretation of the SWOT findings and SWMM results, four landscape design strategies were developed across hydrological, ecological, socio-cultural, and economic dimensions. These strategies included permeable surfaces, rain gardens, green roofs, drainage and rainwater storage systems, and public-space interventions adapted to the characteristics of the study area. Overall, the findings demonstrate that integrating contextual assessment, hydrological evaluation, and landscape design can provide a practical framework for stormwater management and the development of resilient urban pathways.

Cite this article: Zandi Babaei, S., Taheri, M.R., & Malekian, A. (2026). Urban pathway design and stormwater management through green–blue infrastructure toward multidimensional resilience (Case study: North Taleghani Boulevard, Karaj). *Journal of Natural Environment*, *79* (4), 661-685.

DOI: http//doi.org/10.22059/jne.2026.411989.2898

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

Introduction

Rapid urbanization and climate change have intensified challenges in managing urban water resources and surface runoff. The expansion of impervious surfaces, declining soil infiltration capacity, and aging drainage infrastructure have increased flood risk and reduced the resilience of urban ecosystems. In this context, urban landscape design has evolved beyond aesthetic considerations to become a strategic approach to sustainable stormwater management and multidimensional urban resilience. Although previous studies have widely examined hydrological modeling and Low-Impact Development (LID) techniques, their integration with landscape design and multidimensional resilience principles has received less attention, particularly at the scale of urban pathways. To address this gap, the present study develops an integrated framework linking contextual assessment, hydrological evaluation, LID interventions, and resilient landscape design. North Taleghani Boulevard in Karaj was selected as the case study because of its location within a former riverbed, hilly terrain, considerable slopes, and history of flooding and waterlogging, making it an appropriate setting for evaluating resilient landscape strategies. The central research question was how a resilient pathway landscape could be designed through the effective use of rainwater harvesting systems and appropriate urban watershed management techniques.

Material and Methods

This descriptive-analytical study combined documentary research, field surveys, spatial analysis, and hydrological modeling. Climatic, physical, hydrological, topographic, land-use, and drainage-network data were obtained from relevant municipal and meteorological sources. A qualitative SWOT analysis was conducted to identify the strengths, weaknesses, opportunities, and threats of the study area based on documentary evidence, spatial data, and field observations. Quantitative runoff behavior was evaluated using the Storm Water Management Model (SWMM) under two scenarios: a baseline condition and a proposed condition incorporating LID measures across approximately 30% of each subcatchment's area. The qualitative and quantitative findings were interpreted together to identify contextually appropriate landscape strategies and to assess their potential hydrological effectiveness. Research validity was supported by the convergence of independent data sources and the consistency between the qualitative assessment and quantitative modeling results. The resulting design proposals, including two-dimensional plans, three-dimensional models, and final graphic renderings, were developed using standard landscape-design software.

Results

The SWOT analysis identified several natural and physical capacities for sustainable stormwater management in the study area, including favorable topographic and rainfall conditions, existing green spaces, and opportunities for rainwater harvesting and LID implementation. At the same time, weaknesses such as aging drainage infrastructure, discontinuous pedestrian and landscape elements, and limited environmentally oriented public spaces were identified. These findings indicated the need for an integrated and context-sensitive landscape design approach. The SWMM analysis, conducted across the defined subcatchments and drainage network under the selected design rainfall condition, showed that allocating approximately 30% of each subcatchment's area to LID measures reduced average peak discharge from 0.227 to 0.173 m^3/s, corresponding to a 24% reduction. Average total runoff decreased from 20.20 to 16.87 mm, representing a 17% reduction. The magnitude of reduction varied among subcatchments according to their physical and hydrological characteristics, including slope, area, and impervious surface ratio. Sensitivity analysis further showed that increases in impervious surface area and reductions in soil infiltration capacity were associated with higher peak discharge, indicating internally consistent hydrological responses within the model.

Discussion and Conclusion

The integrated interpretation of the qualitative and quantitative findings indicates that resilient pathway landscape design should address hydrological, ecological, socio-cultural, and economic considerations simultaneously. The SWOT and SWMM results were used to formulate four strategic approaches—competitive, aggressive, conservative, and defensive—which translated the identified contextual

conditions and modeled hydrological responses into landscape interventions. These interventions included permeable paving, rain gardens, green roofs, drainage and rainwater-storage systems, public-space improvements, and the use of locally appropriate and cost-conscious materials. Rather than treating stormwater management solely as an engineering problem, the proposed framework positions runoff management within a broader landscape-design process in which hydrological performance is considered alongside spatial quality, ecological functions, social use, and implementation feasibility. The findings suggest that integrating LID-based stormwater management with landscape design can provide a practical basis for enhancing the hydrological performance of urban pathways while creating opportunities for broader ecological, social, and spatial improvements. However, these broader benefits should be understood as design potentials rather than directly measured outcomes of the present study.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, and plagiarism, and any form of misconduct.

CRediT authorship contribution statement

All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Data availability statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

The authors wish to sincerely thank all those who contributed to this research through scientific guidance, executive cooperation, and necessary support. Their invaluable assistance played a significant role in advancing and completing this study.

محیط زیست طبیعی

انتشارات دانشگاه تهران

شاپای الکترونیکی: ۷۸۱۷-۲۴۲۳

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

طراحی منظر معابر شهری و مدیریت رواناب مبتنی بر زیرساخت‌های سبز–آبی در راستای تاب‌آوری چندبعدی (مطالعهٔ بلوار طالقانی شمالی، کرج)

ستایش زندی بابائی[۱] | محمدرضا طاهری[۲]✉ | آرش ملکیان[۳]

۱. گروه مهندسی علوم باغبانی و فضای‌سبز، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران،کرج، ایران. رایانامه: setayeshzandi80@ut.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی علوم باغبانی و فضای‌سبز، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران،کرج، ایران. رایانامه: mrtaheri@ut.ac.ir

۳. گروه مهندسی احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران،کرج، ایران. رایانامه: malekian@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۲/۰۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۵/۳۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۶/۰۹

کلیدواژه‌ها:

تاب‌آوری،

تحلیل SWOT،

توسعهٔ کم‌اثر (LID)،

طراحی منظر،

مدیریت رواناب،

مدل SWMM

چکیده

رشد شهرنشینی و افزایش سطوح نفوذناپذیر، در کنار تشدید بارش‌های حدی ناشی از تغییرات اقلیمی، کارایی سیستم‌های سنتی زهکشی شهری را با چالش مواجه کرده و ضرورت بازنگری در طراحی معابر شهری را برجسته ساخته است. پژوهش حاضر با هدف ارائهٔ الگویی یکپارچه برای طراحی منظر تاب‌آور معابر شهری، به تلفیق زیرساخت‌های سبز–آبی و تکنیک‌های توسعهٔ کم‌اثر (LID) در چارچوبی چندبعدی شامل ابعاد اکولوژیک، هیدرولوژیک، اجتماعی–فرهنگی و اقتصادی می‌پردازد. بلوار طالقانی شمالی شهر کرج، به‌دلیل قرارگیری در بستر رودخانه، برخورداری از شیب قابل توجه و سابقهٔ آب‌گرفتگی و سیلاب، به‌عنوان محدودهٔ مورد مطالعه انتخاب شد. روش پژوهش توصیفی–تحلیلی بوده و در دو بخش کیفی و کمی انجام گرفت. در بخش کیفی، تحلیل SWOT با استفاده از اسناد و مدارک، داده‌های مکانی و برداشت‌های میدانی، ظرفیت‌ها، محدودیت‌ها، فرصت‌ها و تهدیدهای محدوده را شناسایی کرد. در بخش کمی، مدل‌سازی هیدرولوژیک با استفاده از مدل SWMM در دو سناریوی پایه و پیشنهادی و با تخصیص حدود ۳۰ درصد از سطح زیرحوزه‌ها به تکنیک‌های LID انجام شد. نتایج نشان داد که در سناریوی پیشنهادی، میانگین دبی اوج از ۰/۲۲۷ به ۰/۱۷۳ مترمکعب بر ثانیه کاهش یافته و کاهش متوسط ۲۴ درصدی را نشان می‌دهد؛ همچنین میانگین رواناب کل از ۲۰/۲۰ به ۱۶/۸۷ میلی‌متر رسیده و ۱۷ درصد کاهش یافته است. براساس تلفیق یافته‌های SWOT و نتایج SWMM، چهار راهبرد طراحی در ابعاد هیدرولوژیک، اکولوژیک، اجتماعی–فرهنگی و اقتصادی تدوین شد که شامل استفاده از سطوح نفوذپذیر، باغچه‌های بارانی، بام سبز، سامانه‌های زهکشی و ذخیرهٔ آب باران و فضاهای عمومی متناسب با ویژگی‌های محدوده است. در مجموع، یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که تلفیق تحلیل زمینه‌ای، ارزیابی هیدرولوژیک و طراحی منظر می‌تواند چارچوبی کاربردی برای مدیریت رواناب و تدوین راهبردهای طراحی معابر تاب‌آور فراهم کند.

استناد: زندی بابائی، ستایش؛ طاهری، محمدرضا و ملکیان، آرش (۱۴۰۵). طراحی منظر معابر شهری و مدیریت رواناب مبتنی بر زیرساخت‌های سبز–آبی در راستای تاب‌آوری چندبعدی (مطالعهٔ بلوار طالقانی شمالی، کرج). *محیط زیست طبیعی*، ۷۹ (۴)، ۶۸۵-۶۶۱.

DOI: http//doi.org/10.22059/jne.2026.411989.2898

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

مقدمه

رشد شهرنشینی و توسعهٔ کالبدی شهرها، طی دهه‌های اخیر الگوی طبیعی گردش آب را در بسیاری از مناطق دستخوش تغییر کرده است. تبدیل اراضی طبیعی، باغ‌ها و سطوح نفوذپذیر به ساختمان‌ها، معابر، پارکینگ‌ها و دیگر زیرساخت‌های شهری، موجب افزایش سطوح نفوذناپذیر و کاهش ظرفیت جذب و ذخیرهٔ طبیعی آب باران شده است. در شرایط طبیعی، بخشی از بارش در خاک نفوذ می‌کند، بخشی توسط پوشش گیاهی جذب یا از طریق تبخیر و تعرق به چرخهٔ آب بازمی‌گردد و بخش دیگری با سرعت نسبتاً پایین در سطح زمین جریان می‌یابد. با گسترش سطوح سخت شهری، این تعادل مختل می‌شود و سهم رواناب سطحی، سرعت تمرکز جریان و فشار وارد بر آبراهه‌ها و شبکه‌های زهکشی افزایش می‌یابد. در نتیجه، حتی بارش‌هایی با شدت متوسط نیز می‌توانند در محدوده‌هایی که از ظرفیت زهکشی کافی برخوردار نیستند، به آب‌گرفتگی موضعی، فرسایش سطوح، اختلال در تردد و آسیب به زیرساخت‌های شهری منجر شوند. این چالش‌ها در شرایط تغییر اقلیم اهمیت بیشتری پیدا می‌کنند. افزایش فراوانی و شدت بارش‌های کوتاه‌مدت و حدی، تغییر در توزیع زمانی بارندگی و همزمانی دوره‌های خشکسالی با رخدادهای بارشی شدید، پیش‌بینی و مدیریت رواناب شهری را پیچیده‌تر کرده است. از سوی دیگر، توسعهٔ نامتوازن شهرها، کاهش ظرفیت نفوذ خاک و فرسودگی شبکه‌های زهکشی، آسیب‌پذیری شهرها را در برابر این رخدادها افزایش داده است. بنابراین، مسئلهٔ مدیریت آب باران در شهر معاصر تنها به دفع سریع رواناب محدود نمی‌شود، بلکه به چگونگی حفظ تعادل میان نفوذ، ذخیره‌سازی، انتقال، استفاده مجدد و تخلیهٔ کنترل‌شده آب مربوط است. افزایش سطوح نفوذناپذیر، کاهش ظرفیت نفوذ خاک و ناکارآمدی شبکه‌های زهکشی سنتی، خطر سیلاب‌های شهری را تشدید کرده و تاب‌آوری اکوسیستم‌های شهری را کاهش داده است. این عوامل تحت تأثیر تغییرات اقلیمی و بارش‌های شدید، پیامدهای گسترده‌تری پیدا می‌کنند (Moayeri and Entezar, 2008; Serati and Asghari Kolshani, 2020).

رویکردهای متعارف مدیریت رواناب شهری عمدتاً بر جمع‌آوری، انتقال و تخلیهٔ سریع آب از طریق کانال‌ها، آبگذرها و شبکه‌های زیرزمینی استوار بوده‌اند. اگرچه این رویکردها در کاهش بخشی از رواناب سطحی مؤثرند، در بسیاری از موارد ظرفیت آنها برای مقابله با رخدادهای بارشی شدید محدود است و افزایش حجم جریان در بالادست می‌تواند فشار مضاعفی بر بخش‌های پایین‌دست شبکه وارد کند. افزون بر این، انتقال سریع آب از سطح شهر، فرصت نفوذ، ذخیره‌سازی و استفادهٔ مجدد از منابع آب باران را کاهش می‌دهد و ممکن است پیامدهایی مانند فرسایش خاک، انتقال آلاینده‌ها به آبراهه‌ها و کاهش تغذیهٔ آب زیرزمینی را به‌همراه داشته باشد. ازاین‌رو، در دهه‌های اخیر، رویکردهای جدیدی مانند شهر اسفنجی، طراحی شهری حساس به آب، زیرساخت سبز–آبی و توسعهٔ کم‌اثر، در کنار زیرساخت‌های خاکستری متعارف مورد توجه قرار گرفته‌اند. هدف این رویکردها، بازگرداندن بخشی از عملکردهای طبیعی چرخهٔ آب به محیط شهری و مدیریت رواناب در نزدیک‌ترین نقطه به محل تولید آن است. در چنین بستری، طراحی منظر شهری می‌تواند از یک فعالیت صرفاً زیبایی‌شناختی فراتر رود و به ابزاری راهبردی برای مدیریت پایدار منابع آب، کاهش خطر سیلاب و ارتقای تاب‌آوری شهری تبدیل شود (Babaei and Mehrzanjani, 2026; Akbari Zarin *et al*., 2024). زیرساخت‌های سبز–آبی با پیوند دادن عناصر طبیعی، فضاهای سبز، مسیرهای آب، سطوح نفوذپذیر و تأسیسات ذخیره و تصفیهٔ آب، امکان ارائهٔ همزمان خدمات اکولوژیک، هیدرولوژیک، اجتماعی و اقتصادی را فراهم می‌کنند. در این چارچوب، معابر شهری صرفاً مسیرهای عبور و مرور نیستند؛ بلکه می‌توانند به‌عنوان بخشی از شبکهٔ مدیریت آب باران عمل کنند. پیاده‌روها، حاشیه‌های سبز، میانه‌بلوارها، پارکینگ‌ها و فضاهای مکث، در صورت طراحی مناسب، قابلیت تبدیل‌شدن به عناصر نفوذ، هدایت، تصفیه و ذخیرهٔ رواناب را دارند. به این ترتیب، طراحی منظر معابر می‌تواند همزمان عملکرد فنی شبکهٔ زهکشی و کیفیت فضایی محیط را بهبود دهد.

رویکردهای توسعهٔ کم‌اثر (LID)[1] با استفاده از تکنیک‌هایی مانند بام سبز، باغچه بارانی، سطوح نفوذپذیر و مخازن ذخیرهٔ آب باران، امکان مدیریت رواناب را در محل تولید آن فراهم می‌کنند. این تکنیک‌ها می‌توانند با کاهش سرعت جریان، افزایش نفوذ، ذخیره‌سازی موقت و استفاده مجدد از آب باران، دبی اوج و حجم رواناب را کاهش دهند و فشار وارد بر شبکه‌های زهکشی را کم کنند (Nazari and Kanani, 2025). علاوه بر کارکرد هیدرولوژیک، عناصر LID در صورت استقرار متناسب با ویژگی‌های

[1] LID: Low Impact Development

محیطی و کالبدی محل، می‌توانند به کاهش دمای سطح، بهبود کیفیت هوا، تقویت پوشش گیاهی، افزایش تنوع زیستی و ارتقای کیفیت بصری فضا کمک کنند. تلفیق این رویکردها با طراحی منظر معابر شهری، فرصت‌هایی برای ایجاد فضاهای چندعملکردی و ارتقای کیفیت زندگی و مشارکت اجتماعی شهروندان فراهم می‌آورد. شبکهٔ معابر شهری نیز نقشی کلیدی در هدایت رواناب دارد؛ به‌گونه‌ای که طراحی مناسب شیب خیابان‌ها، سازماندهی مسیرهای جریان و استفاده از پوشش‌های نفوذپذیر می‌تواند هدایت مؤثر آب باران و کاهش خطر آب‌گرفتگی را امکان‌پذیر کند (Shaali and Sanaei, 2010). فضاهای سبز شهری نیز با افزایش نفوذپذیری خاک و کاهش دما، علاوه بر کارکردهای اکولوژیک، ارزش‌های اجتماعی و زیبایی‌شناختی دارند (Barakbaf, 2024).

در چارچوب نظری تاب‌آوری، شهر تاب‌آور شهری است که بتواند در برابر اختلالات و مخاطرات مقاومت کند، عملکردهای اساسی خود را حفظ نماید و پس از وقوع بحران، ظرفیت سازگاری و بازگشت خود را تقویت کند. مفهوم منظر تاب‌آور شهری نیز با تلفیق عناصر طبیعی، کالبدی و ادراکی، ظرفیت سازگاری و پاسخ‌گویی فضاهای شهری را افزایش می‌دهد (Bahrami and Hemmati, 2020). از این دیدگاه، تاب‌آوری شهری مفهومی چندبعدی است و نمی‌توان آن را تنها با یک شاخص هیدرولوژیک یا یک مداخلهٔ کالبدی ارزیابی کرد. در بعد اکولوژیک، تقویت پوشش گیاهی و تنوع زیستی به مدیریت پایدار منابع آب و بهبود عملکرد محیطی کمک می‌کند؛ در بعد هیدرولوژیک، روش‌های LID جریان رواناب و فشار وارد بر شبکهٔ زهکشی را کنترل می‌کنند؛ در بعد اجتماعی–فرهنگی، طراحی فضاهای عمومی جذاب و قابل‌استفاده می‌تواند حس تعلق، تعامل اجتماعی و آگاهی محیط‌زیستی را ارتقا دهد؛ و در بعد اقتصادی، استفاده از راهکارهای کم‌هزینه و کم‌نیاز به نگهداری می‌تواند هزینه‌های اجرای و بهره‌برداری را کاهش دهد (Akbari Zarin *et al*., 2024). نظریه‌پردازان تاب‌آوری شهری، با تأکید بر ابعاد اکولوژیک، اجتماعی–فرهنگی، اقتصادی و کالبدی، ویژگی‌های شهرهای تاب‌آور را معرفی کرده‌اند (جدول ۱).

جدول ۱- مقایسه‌ای بر ویژگی‌های تاب‌آوری شهری از منظر نظریه‌پردازان (Zandi Babaei, 2025)

Table 1. Comparison of urban resilience characteristics based on the perspectives of different theorists

ویژگی شهرهای تاب‌آور	نظریه‌پردازان
افزونگی، تنوع، تأثیرگذاری، استقلال، استحکام، وابستگی، تغییرپذیری، همکاری، خودسازماندهی	Godschalk (2002)
یادگیری، تغییرپذیری، خودسازماندهی، استحکام	Alberti *et al* (2003)
چندعملکردی، استحکام، تغییرپذیری	Pickett (2004)
استحکام، افزونگی، تغییرپذیری، خودسازماندهی، چندعملکردی	UNDRR (2004)
تنوع، تغییرپذیری، مدولاریته، نوآوری، خودسازماندهی	Walker and Salt (2006)
تأثیرگذاری، استحکام، افزونگی، تغییرپذیری	Cutter (2008)
افزونگی، تنوع، چندعملکردی، ارتباط و اتصال، تغییرپذیری	Ahern (2013)
تنوع، یادگیری، افزونگی، خودسازماندهی	Folke (2016)
چندعملکردی، استحکام، تنوع، تغییرپذیری	Meerow (2016)

مؤلفه‌های مشترک این دیدگاه‌ها در سه بعد اکولوژیک، اجتماعی و اقتصادی قابل بررسی‌اند (Goldani, 2024). در طراحی منظر تاب‌آور شهری، مؤلفه‌هایی مانند افزونگی، تنوع، استحکام و چندعملکردی بودن نقش کلیدی دارند (Sabokro *et al*., 2021)؛ طراحی معابر با تمرکز بر این مؤلفه‌ها و همراه با مشارکت فعال ذی‌نفعان، می‌تواند به شکل‌گیری منظرهایی انعطاف‌پذیر و متناسب با نیازهای جامعه منجر شود (Karkhaneh *et al*., 2023). افزون بر ویژگی‌های کالبدی و محیطی، ابعاد ادراکی و تجربی فضا، از جمله حس تعلق و هویت جمعی، نیز در افزایش تاب‌آوری مؤثرند (Bahrami and Hemmati, 2020). راهکارهایی مانند افزایش نفوذپذیری سطوح، آزادسازی حریم رودخانه‌ها و استفاده از مصالح مقاوم، از جمله اقدامات مؤثر برای ارتقای تاب‌آوری شهری در برابر سیلاب محسوب می‌شوند (Noori, 2023; Akbari Zarin *et al*., 2024). پژوهش‌های پیشین نشان داده‌اند که سیلاب‌های شهری حاصل برهم‌کنش عوامل طبیعی و انسانی هستند و شدت آنها به عواملی مانند الگوی بارش، توپوگرافی، تغییرات کاربری زمین، درصد سطوح نفوذناپذیر و ظرفیت شبکهٔ زهکشی وابسته است (Moayeri and Entezar, 2008; Serati and Asghari Kolshani, 2020). مدیریت نوین رواناب، برخلاف رویکرد سنتی دفع سریع آب، اهداف چندگانه‌ای همچون کاهش خطر سیلاب،

ارتقای کیفیت محیط‌زیست و افزایش بهره‌وری منابع آب را دنبال می‌کند (Farzad Behtash and Ertefaei, 2022). روش‌های LIDنیز با کاهش دبی اوج و بهبود کیفیت آب، می‌توانند به ارتقای تاب‌آوری شهری کمک کنند و مدیریت پایدار منابع آب را در مسیر توسعهٔ پایدار شهری قرار دهند (Hosseinpour Moghadam, 2014; Kianian Golafshani and Amin Bidokhti, 2021). بنابراین، مدیریت رواناب و استحصال آب باران در قالب راهکارهای توسعهٔ کم‌اثر، بخشی جدایی‌ناپذیر از طراحی منظر تاب‌آور معابر شهری است.

در سطح مطالعات داخلی، Nazari (۲۰۱۷) با استفاده از بهترین شیوه‌های مدیریت (BMP)[۲] در فضای سبز کرج نشان داد این ابزارها منظر سبز پایدار ایجاد می‌کنند. Miremadi و همکاران (۲۰۲۰) با مدل (SWMM)[۳] در سمنان دریافتند سطوح نفوذپذیر دبی اوج و حجم سیلاب را کاهش می‌دهند. Mohammadkhani و همکاران (۲۰۲۰) در هشتگرد با تلفیق (IUWM)[۴] و (WSUD)[۵] مصرف سرانهٔ آب را کاهش دادند. Zakizadeh و همکاران (۲۰۲۰) در تهران نشان دادند سطوح نفوذناپذیر بیشترین اثر را بر دبی اوج دارند. Fotouhi Ahl و همکاران (۲۰۲۰) در پل‌دختر لرستان نقش مؤلفه‌های منظر شهری در کاهش آسیب‌پذیری سیلاب را بررسی کردند. Karimi (۲۰۲۱) در تهران با ترکیب مدل SWMM و نرم افزار (GIS)[۶]، مکان‌های مناسب اجرای LIDرا شناسایی کرد. Beheshti و همکاران (۲۰۲۲) در بیرجند نشان دادند سلول نگهداشت زیستی تا ۸۰ درصد رواناب را کاهش می‌دهد. Hosseinzadeh Kuhi (۲۰۲۲) عملکرد شبکهٔ زهکشی تهران را در شرایط اقلیمی آینده بررسی کرد. Hesari و همکاران (۲۰۲۴) در نیشابور ترکیب چند راهکار مدیریتی را مؤثرترین اقدام یافتند. Oraei Zare و Alizadeh Sanami (۲۰۲۵) در تهران کاهش دبی اوج و حجم رواناب را با الگوریتم‌های بهینه‌سازی گزارش کردند. Poorhasan Mehrzanjani و همکاران (۲۰۲۶) نشان دادند حکمرانی آب در ایران به‌سمت رویکرد توسعهٔ کم‌اثر حرکت کرده است. Zandi Babaei و Poorhasan Mehrzanjani(۲۰۲۶) در کرج تأکید کردند طراحی اکولوژیک و منظر دوست‌دار طبیعت تاب‌آوری فضاهای شهری را افزایش می‌دهد. Zandi Babaei (۲۰۲۶) نیز با رویکردی انتقادی بیان کرد مدیریت رواناب نباید صرفاً بر دفع آب متمرکز باشد، بلکه باید به ارتقای تاب‌آوری منظر شهری نیز بینجامد.

در سطح مطالعات خارجی، Zanandrea و Silveira (۲۰۱۸) در برزیل نشان دادند اجرای همزمان چند نوع LID مؤثرترین روش کاهش رواناب است. La Rosa و Pappalardo (۲۰۲۰) در ایتالیا و Taji و Regulwar (۲۰۲۱) در هند نیز با مدل SWMM یافته مشابهی گزارش کردند. Suresh و همکاران (۲۰۲۳) در هند اثر پشت‌بام‌های سبز را در کاهش رواناب بررسی کردند. Schulze و همکاران (۲۰۲۴) در آلمان، Gnecco و همکاران (۲۰۲۴) در ایتالیا و Nwokediegwu و همکاران (۲۰۲۴) در آمریکا نشان دادند تلفیق مدیریت منابع آب و فناوری‌های نوین، تاب‌آوری و عدالت آبی را افزایش می‌دهد. Nilubon و Laeni (۲۰۲۴) در تایلند کارگاه‌های طراحی مشارکتی را بستری برای مقابله با سیلاب معرفی کردند. Van Dijk (۲۰۲۴) با بررسی تطبیقی پارادایم‌های اکوشهر و شهر اسفنجی، نقش فناوری‌های نوآورانه را برجسته کرد. Ayda و همکاران (۲۰۲۴) در اتیوپی بر اصلاح ساختار کانال‌ها تأکید کردند. Bai و Wang (۲۰۲۵) در چین نشان دادند پارکینگ‌های نفوذپذیر تا ۸۳/۵ درصد حجم رواناب و ۷۳/۴ درصد دبی اوج را کاهش می‌دهند.

با وجود این مطالعات، بخش عمده پژوهش‌های پیشین یا بر ارزیابی هیدرولوژیک یک یا چند تکنیک LID تمرکز داشته‌اند، یا به تحلیل‌های مدیریتی، سیاست‌گذاری و طراحی شهری پرداخته‌اند. در نتیجه، هنوز نیاز به چارچوبی وجود دارد که بتواند شناخت زمینه‌ای و راهبردی محدوده، ارزیابی کمی عملکرد مداخلات و تبدیل نتایج به تصمیم‌های مشخص طراحی منظر را در یک فرایند منسجم به یکدیگر پیوند دهد. به‌طور مشخص، پژوهشی که تحلیل SWOT، مدل‌سازی عددی SWMM، راهکارهای LID و اصول تاب‌آوری شهری را به‌صورت همزمان در طراحی منظر معابر شهری و در چهار بعد اکولوژیک، هیدرولوژیک، اجتماعی–فرهنگی و اقتصادی تلفیق کند، شناسایی نشد. این خلأ، ضرورت انجام پژوهش حاضر را آشکار می‌سازد.

[2]BMP: Best Management Practices
[3]SWMM: Strom Water Management Model
[4]IUWM: Integrated Urban Water Management
[5]WSUD: Water Sensitive Urban Design
[6]GIS: Geographic Information System

در شهر کرج، توسعهٔ کالبدی سریع، افزایش سطوح ساخته‌شده، ناهمگونی کاربری‌ها، شیب قابل‌توجه زمین و محدودیت ظرفیت برخی سازه‌های کنترل سیلاب، مدیریت رواناب شهری را با چالش مواجه کرده است. بلوار طالقانی شمالی، واقع در محلهٔ عظیمیه، نمونه‌ای حساس از این وضعیت به‌شمار می‌رود. این محور در دامنه‌های جنوبی رشته‌کوه البرز قرار گرفته و در امتداد محدوده‌ای با شیب طولی قابل‌توجه، ترکیبی از سطوح نفوذناپذیر، کاربری‌های متنوع شهری، فضاهای سبز حاشیه‌ای و شبکهٔ زهکشی شهری را در خود جای داده است. قرارگیری بخشی از محور در مجاورت بستر رودخانه و انسداد یا محدودشدن برخی مسیرهای طبیعی جریان آب، احتمال تمرکز رواناب و ایجاد آب‌گرفتگی را افزایش می‌دهد. مسئلهٔ اصلی در این محدوده تنها افزایش حجم رواناب نیست، بلکه نحوهٔ انتقال و تمرکز جریان در شرایط بارش شدید، محدودیت عملکرد شبکهٔ زهکشی، کاهش نفوذپذیری سطوح و استفاده‌نشدن از ظرفیت آب باران برای مصارف محلی نیز اهمیت دارد. در صورت تداوم وضعیت موجود، افزایش دبی اوج می‌تواند فشار بیشتری بر شبکهٔ زهکشی و آبگذرهای موجود وارد کند، زمان و گسترهٔ آب‌گرفتگی را افزایش دهد و موجب فرسایش خاک و آسیب به عناصر کالبدی، فضای سبز و مسیرهای حرکتی شود. علاوه بر این، غلبهٔ سطوح سخت و نبود فضاهای عمومی محیط‌زیست‌محور، ظرفیت‌های اجتماعی، آموزشی و زیبایی‌شناختی محور را محدود می‌کند. ازاین‌رو، مسئلهٔ این بلوار باید نه صرفاً به‌عنوان یک مسئلهٔ مهندسی انتقال رواناب، بلکه به‌عنوان مسئله‌ای چندبعدی در پیوند با طراحی منظر، کیفیت فضای عمومی، کارایی اکولوژیک و بهره‌وری اقتصادی بررسی شود. با وجود این چالش‌ها، بلوار طالقانی شمالی از ظرفیت‌هایی نیز برخوردار است که می‌توانند مبنای یک مداخلهٔ تاب‌آور قرار گیرند. فضاهای سبز حاشیه‌ای و میان‌بلوار، امکان بازطراحی و ارتقا دارند؛ شیب طبیعی می‌تواند در صورت هدایت و کنترل مناسب، برای انتقال هدفمند رواناب به عناصر LID به‌کار گرفته شود؛ و رواناب تولیدشده می‌تواند پس از ذخیره‌سازی و مدیریت مناسب برای آبیاری فضای سبز یا دیگر مصارف محلی مورد استفاده قرار گیرد. بنابراین، طراحی مجدد این محور باید به‌گونه‌ای انجام شود که ضمن کاهش دبی اوج و حجم رواناب، به افزایش نفوذ، ذخیره‌سازی آب، ارتقای کیفیت فضایی و تقویت تجربه شهروندان نیز کمک کند.

ضرورت تدوین مدل مفهومی این پژوهش از آنجا ناشی می‌شود که مدیریت رواناب شهری و دستیابی به تاب‌آوری، صرفاً از طریق اجرای جداگانه اقدامات هیدرولوژیک، طراحی منظر یا برنامه‌های مدیریتی امکان‌پذیر نیست. در یک رویکرد یکپارچه، چالش‌های ناشی از شهرنشینی و تغییرات اقلیمی، از جمله افزایش سطوح نفوذناپذیر، کاهش نفوذپذیری خاک، تشدید تمرکز رواناب و افزایش فشار بر شبکه‌های زهکشی، به‌عنوان عوامل اصلی آسیب‌پذیری شهری در نظر گرفته می‌شوند. پاسخ به این چالش‌ها مستلزم پیوند میان شناخت ویژگی‌های زمینه‌ای، ارزیابی عملکرد هیدرولوژیک و ترجمهٔ نتایج به راهبردهای طراحی منظر است.

بر همین اساس، مدل مفهومی پژوهش بر پایهٔ ارتباط میان چهار مؤلفهٔ اصلی تدوین شد: چالش‌های شهرنشینی و اقلیمی، ارزیابی زمینه‌ای و هیدرولوژیک، مداخلات زیرساخت سبز–آبی و توسعهٔ کم‌اثر، و پیامدهای طراحی منظر تاب‌آور (شکل ۱). در این مدل، تحلیل SWOT برای شناسایی ظرفیت‌ها، ضعف‌ها، فرصت‌ها و تهدیدهای محیطی، کالبدی، عملکردی، اجتماعی–فرهنگی و اقتصادی محدوده به‌کار گرفته می‌شود. همزمان، مدل‌سازی SWMM عملکرد هیدرولوژیک سناریوی پایه و سناریوی پیشنهادی مبتنی بر تکنیک‌های LID را ارزیابی می‌کند. نتایج این دو مسیر تحلیلی در یک فرآیند تلفیقی به یکدیگر پیوند می‌یابند؛ به‌گونه‌ای که تحلیل SWOT امکان‌پذیری زمینه‌ای مداخلات و مدل SWMM اثربخشی هیدرولوژیک آنها را مشخص می‌کند. در مرحلهٔ بعد، یافته‌های تلفیقی مبنای انتخاب و استقرار عناصر زیرساخت سبز–آبی و تکنیک‌های توسعهٔ کم‌اثر، شامل بام سبز، باغچه بارانی، سطوح نفوذپذیر و مخازن ذخیره و استفادهٔ مجدد از آب باران، قرار می‌گیرند. خروجی این فرآیند، تدوین راهبردهای طراحی منظر تاب‌آور است که به‌صورت همزمان چهار بعد تاب‌آوری را دنبال می‌کند: تاب‌آوری هیدرولوژیک از طریق کاهش دبی اوج و حجم رواناب و کاهش فشار بر شبکهٔ زهکشی؛ تاب‌آوری اکولوژیک از طریق افزایش نفوذ، تقویت پوشش گیاهی و بهبود عملکرد محیطی؛ تاب‌آوری اجتماعی–فرهنگی از طریق ارتقای کیفیت و قابلیت استفاده از فضای عمومی؛ و تاب‌آوری اقتصادی از طریق بهره‌گیری از راهکارهای متناسب با ظرفیت اجرایی و هزینه‌های نگهداری محدوده. بنابراین، شکل ۱ صرفاً توالی مراحل روش تحقیق را نشان نمی‌دهد، بلکه رابطهٔ مفهومی میان مسئله، ابزارهای ارزیابی، مداخلات طراحی و ابعاد تاب‌آوری را تبیین می‌کند.

هدف اصلی پژوهش، ارائهٔ الگویی برای طراحی منظر تاب‌آور معابر شهری از طریق تلفیق تحلیل کیفی SWOT، مدل‌سازی هیدرولوژیکی SWMM و تکنیک‌های توسعهٔ کم‌اثر، با تأکید همزمان بر ابعاد اکولوژیک، هیدرولوژیک، اجتماعی–فرهنگی و اقتصادی است. بر این اساس، سؤال اصلی پژوهش به‌صورت زیر صورت‌بندی می‌شود:

چگونه می‌توان با تلفیق سیستم‌های استحصال آب باران، تکنیک‌های توسعهٔ کم‌اثر و راهبردهای طراحی منظر، الگویی تاب‌آور برای بلوار طالقانی شمالی کرج ارائه کرد که ضمن کاهش دبی اوج و حجم رواناب، به ارتقای عملکرد اکولوژیک، کیفیت فضایی، تعامل اجتماعی و بهره‌وری اقتصادی نیز کمک کند؟ برای پاسخ به این سؤال، پژوهش حاضر ابتدا ظرفیت‌ها و محدودیت‌های اجرای اقدامات LID را با استفاده از تحلیل SWOT شناسایی می‌کند. سپس، اثر سناریوی پیشنهادی شامل استقرار ترکیبی بام سبز، باغچه‌بارانی، سطوح نفوذپذیر و مخازن ذخیرهٔ آب باران را با استفاده از مدل SWMM و در مقایسه با سناریوی پایه ارزیابی می‌نماید. در نهایت، یافته‌های کیفی و کمی در قالب راهبردهای طراحی منظر تاب‌آور برای محدودهٔ مورد مطالعه به‌کار گرفته می‌شوند.



شکل ۱- مدل مفهومی پژوهش (Zandi Babaei, 2025)

Figure 1. Conceptual research model

روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش با رویکرد توصیفی–تحلیلی و با بهره‌گیری از مطالعات کتابخانه‌ای، برداشت‌های میدانی، تحلیل‌های مکانی و مدل‌سازی هیدرولوژیک انجام شد. بلوار طالقانی شمالی شهر کرج به‌عنوان محدودهٔ مطالعه انتخاب شد و فرآیند پژوهش در سه مرحله شامل گردآوری داده‌های پایه، تحلیل و ارزیابی داده‌ها و تدوین راهبردهای طراحی منظر تاب‌آور سازماندهی گردید.

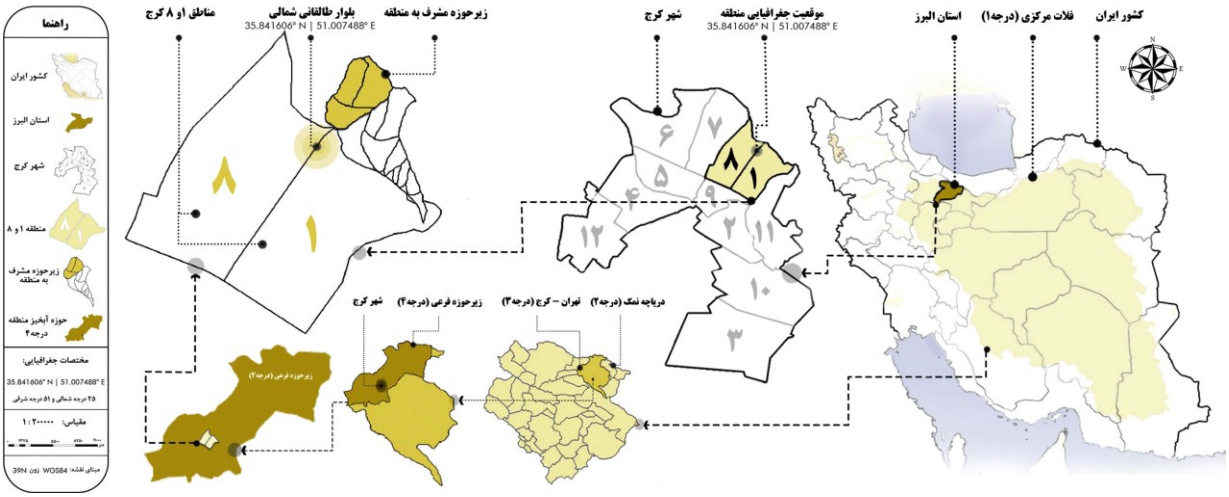
گردآوری داده‌ها: داده‌های اقلیمی مورد استفاده در این پژوهش براساس گزارش ادارهٔ کل هواشناسی استان البرز و روابط شدت–مدت–فراوانی بارندگی ایستگاه سینوپتیک کرج، مستخرج از سازمان هواشناسی کشور تعیین شد (Alborz Provincial Meteorological Administration, 2025; Iran Meteorological Organization, 1995). اطلاعات کالبدی، هیدرولوژیک، آب‌شناسی، توپوگرافی، کاربری اراضی و پوشش گیاهی براساس گزارش‌های طرح جامع فضای سبز شهر کرج تأمین گردید (Danekar and Azizi Jalilian, 2013; Khalighi Sigaroodi *et al*., 2012; Salajegheh and Sanjari, 2012). مرز زیرحوزه‌ها براساس نشریهٔ شمارهٔ ۳۱۰ دستورالعمل تقسیم‌بندی و کدگذاری حوزه‌های آبخیز و محدوده‌های مطالعاتی کشور تعیین شد (Office of Engineering and Technical Standards for Water and Wastewater, 2012)؛ و اطلاعات شبکهٔ زهکشی از طرح تفصیلی آبخیزداری و مهار سیلاب‌های حوزه‌های شمال منطقهٔ عظیمیه کلانشهر کرج، تهیه‌شده توسط سازمان سیما، منظر و فضای سبز کرج، برداشت‌های میدانی نیز به‌منظور مشاهده و ثبت وضعیت موجود محور، از جمله وضعیت سطوح نفوذپذیر و نفوذناپذیر، پوشش گیاهی، شیب، مسیرهای جریان سطحی، عناصر زهکشی، نقاط مستعد تجمع رواناب، کیفیت فضاهای باز و ظرفیت‌های بالقوهٔ مداخله انجام شد (Baharavaran Nastaran Company, 2021).

تحلیل داده‌ها: تحلیل وضع موجود در دو بخش کیفی و کمی انجام شد. در بخش کیفی، از جدول SWOT به‌عنوان یک چارچوب تحلیلی برای دسته‌بندی و سازماندهی یافته‌های حاصل از اسناد، نقشه‌ها و مشاهدات میدانی استفاده شد. در این پژوهش، SWOT به‌عنوان روش پیمایشی یا ابزار وزن‌دهی و اولویت‌بندی مبتنی بر پرسشنامه به‌کار نرفته است؛ ازاین‌رو، پژوهش دارای جامعهٔ آماری، نمونه‌گیری یا ارزیابی گویه‌ها توسط خبرگان نیست. مؤلفه‌های تحلیل SWOT براساس اطلاعات و نقشه‌های طرح جامع فضای سبز شهر کرج، اسناد آبخیزداری و کنترل سیلاب، داده‌های کالبدی و هیدرولوژیک و برداشت‌های میدانی از محدودهٔ مطالعه استخراج و دسته‌بندی شدند. نقاط قوت و ضعف، به ویژگی‌ها و شرایط درونی محدوده، از جمله ساختار کالبدی محور، شیب، وضعیت پوشش گیاهی، نوع سطوح، کیفیت شبکهٔ هدایت آب‌های سطحی، فضاهای باز موجود و محدودیت‌های زیرساختی مربوط هستند. فرصت‌ها و تهدیدها نیز با توجه به شرایط بیرونی و زمینه‌ای منطقه، از جمله اسناد و برنامه‌های مصوب، وضعیت حوزهٔ آبخیز بالادست، خطر سیلاب و آب‌گرفتگی، امکان استفاده از زیرساخت‌های سبز و راهکارهای توسعهٔ کم‌اثر، استخراج شدند. بنابراین، جدول SWOT در این پژوهش نقش ابزاری برای تلفیق ظرفیت‌ها و محدودیت‌های شناسایی‌شده در وضع موجود و تبدیل آنها به جهت‌گیری‌های راهبردی طراحی دارد. راهبردهای حاصل از این تحلیل، با هدف کاهش رواناب سطحی، افزایش نفوذپذیری، تقویت عملکرد اکولوژیک محور و ارتقای تاب‌آوری منظر شهری تدوین شدند. در بخش کمی، رواناب سطحی با استفاده از مدل SWMM و در دو سناریوی «وضعیت موجود» و «وضعیت پیشنهادی با اجرای راهکارهای توسعهٔ کم‌اثر (LID)» شبیه‌سازی شد. شاخص‌های حجم رواناب و دبی اوج برای ارزیابی عملکرد مداخلات پیشنهادی بررسی شدند. نتایج مدل‌سازی کمی، مبنای ارزیابی کارکرد هیدرولوژیک راهبردهای طراحی و انتخاب مداخلات مناسب در محدودهٔ مطالعه قرار گرفت. به‌منظور افزایش اتکاپذیری تحلیل، یافته‌های اسنادی با مشاهدات میدانی و نتایج مدل‌سازی هیدرولوژیک مقایسه و تلفیق شدند. این تطبیق، امکان بررسی همخوانی راهبردهای طراحی با شرایط کالبدی و عملکرد هیدرولوژیک محدوده را فراهم کرد.

تدوین راهبردها و طراحی پیشنهادی: نتایج تحلیل وضع موجود، جدول SWOT و مدل‌سازی رواناب، مبنای تدوین راهبردهای اجرایی و طراحی منظر تاب‌آور قرار گرفت. راهبردها با توجه به محدودیت‌های کالبدی، ظرفیت فضاهای باز، مسیرهای جریان سطحی، شیب محور و امکان استقرار راهکارهای LID به مداخلات طراحی تبدیل شدند. ترسیم نقشه‌های دوبعدی در نرم‌افزار

اتوکد[7]، مدل‌سازی سه‌بعدی در نرم‌افزار اسکچاپ[8] و پردازش و ارائهٔ نهایی گرافیکی با نرم‌افزار فتوشاپ[9] انجام شد. این فرآیند، پیوند میان شناخت وضع موجود، تحلیل هیدرولوژیک و طراحی منظر را فراهم ساخت.

شناخت منطقهٔ مورد مطالعه: براساس گزارش برنامهٔ عمل مناطق طرح جامع فضای سبز کرج (۲۰۱۳) بلوار طالقانی شمالی در شهر کرج، مرکز استان البرز با طول جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵۳ دقیقهٔ شمالی و عرض جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۲ دقیقهٔ شرقی در دامنه‌های جنوبی رشته‌کوه البرز واقع شده است. محور مورد مطالعه حدود ۲ کیلومتر از میدان طالقانی تا بام کرج را شامل می‌شود و مرز میان مناطق ۱ و ۸ شهر کرج را در بر می‌گیرد و در محلهٔ عظیمیه قرار دارد (Danekar and Azizi Jalilian, 2013) (شکل ۲).



شکل ۲- موقعیت جغرافیایی بلوار طالقانی شمالی، شهر کرج، استان البرز (Zandi Babaei, 2025)

Figure 2. Geographic location of North Taleghani Boulevard, Karaj, Alborz Province

تحولات کالبدی این بلوار از ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۲ شامل توسعهٔ سریع ساخت‌وسازها بود؛ از ۲۰۱۲ تا ۲۰۲۵ سیمای شهری نسبتاً تثبیت شده است. اختلاف ارتفاع بلوار ۲۲۸ متر و شیب طولی متوسط ۱۱/۴ درصد است. براساس گزارش آب و هواشناسی طرح جامع کرج (۲۰۱۲)، میانگین بارش سالانه در منطقه ۳۳۵ تا ۳۲۳ میلی‌متر و اقلیم منطقه نیمه‌خشک سرد است (Salajegheh and Sanjari, 2012). این در حالی است که میانگین بارندگی سالانه طبق آمار سازمان هواشناسی استان البرز (۲۰۲۵) برابر با ۱۹۵/۹ میلی‌متر است (Alborz Provincial Meteorological Administration, 2025) براساس گزارش آب‌شناسی طرح جامع کرج (۲۰۱۲) و نشریهٔ شماره ۳۱۰ دستورالعمل تقسیم‌بندی و کدگذاری حوزه‌های آبخیز و محدوده‌های مطالعاتی کشور (۲۰۱۲)، کرج در حوزهٔ آبخیز درجهٔ ۱ فلات مرکزی و درجهٔ ۲ دریاچهٔ نمک و زیرحوزهٔ درجهٔ ۳ تهران–کرج قرار دارد و دشت آبرفتی عظیمیه یکی از نواحی حساس سیل‌خیزی است. بررسی تحولات کالبدی نشان داد تغییر سطوح نفوذناپذیر معنی‌دار نبوده و نقشه‌های نرخ نفوذپذیری هورتون سال ۲۰۱۲ به‌عنوان مبنای مدل‌سازی استفاده شد (Khalighi Sigaroodi *et al.*, 2012; Office of Engineering and Technical Standards for Water and Wastewater, 2012). همچنین براساس گزارش طرح تفصیلی آبخیزداری و مهار سیلاب‌های حوزه‌های شمال منطقه عظیمیه کلان‌شهر کرج از سیما، منظر و فضای سبز کرج (۲۰۲۱)، زیرحوزهٔ آبخیز مشرف به بلوار مساحتی برابر با ۱/۲۷ کیلومترمربع دارد و حداکثر دبی خروجی آن ۴/۵۳ مترمکعب بر ثانیه برآورد شده است (Baharavaran Nastaran Company, 2021). موقعیت جغرافیایی بلوار و محدودیت ظرفیت سازه‌های کنترل سیلاب، منطقه را مستعد آب‌گرفتگی کرده است (Tahmoures, 2022). بررسی‌های میدانی نشان داد این محور بستری مناسب برای ارزیابی راهبردهای طراحی منظر تاب‌آور است (شکل ۳).

[7]AutoCAD
[8]SketchUp
[9]Adobe Photoshop



شکل ۳- برداشت‌های میدانی از بلوار طالقانی شمالی کرج (Zandi Babaei, 2025)

Figure 3. Representative field photographs of North Taleghani Boulevard, Karaj

یافته‌های پژوهش

یافته‌های پژوهش در دو بخش مکمل، شامل تحلیل کیفی وضعیت موجود با چارچوب SWOT و ارزیابی کمی سناریوهای مدیریت رواناب با مدل SWMM، ارائه می‌شوند. این دو بخش به‌ترتیب به دو مؤلفهٔ اصلی سؤال پژوهش پاسخ می‌دهند: نخست، شناخت ظرفیت‌ها، محدودیت‌ها و الزامات زمینه‌ای برای طراحی منظر تاب‌آور در بلوار طالقانی شمالی؛ و دوم، سنجش میزان اثربخشی تکنیک‌های توسعهٔ کم‌اثر (LID) در کاهش رواناب سطحی، دبی اوج و فشار وارد بر شبکهٔ زهکشی شهری.

بر این اساس، تحلیل SWOT مبنای استخراج جهت‌گیری‌های راهبردی طراحی را فراهم می‌کند و مدل‌سازی SWMM امکان ارزیابی کمی عملکرد هیدرولوژیک مداخلات پیشنهادی را فراهم می‌سازد. تلفیق نتایج این دو تحلیل، مبنای تدوین راهبردهای اجرایی طراحی منظر تاب‌آور در محدوده مطالعه است.

تحلیل وضع موجود و استخراج جهت‌گیری‌های طراحی در چارچوب (SWOT): در گام نخست، به‌منظور شناسایی ظرفیت‌ها، محدودیت‌ها و الزامات زمینه‌ای مؤثر بر امکان استقرار تکنیک‌های توسعهٔ کم‌اثر در محدودهٔ مطالعه، از چارچوب تحلیلی SWOT استفاده شد. این تحلیل بر پایهٔ طرح جامع فضای سبز شهر کرج، اسناد آبخیزداری و مهار سیلاب، داده‌های مکانی و برداشت‌های میدانی انجام گرفت. جدول SWOT در این پژوهش ابزار وزن‌دهی یا نظرسنجی نیست، بلکه یافته‌های مستند مربوط به وضعیت موجود را در چهار گروه قوت، ضعف، فرصت و تهدید سازماندهی می‌کند تا مبنای تدوین راهبردهای طراحی قرار گیرد.

تحلیل در سه دسته از مؤلفه‌ها شامل محیط‌زیستی–اکولوژیک، فیزیکی– کارکردی و اجتماعی–فرهنگی–اقتصادی انجام شد. نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد که وجود شیب طبیعی، فضای سبز حاشیه‌ای و میان‌بلوار، دسترسی به شبکه‌های شهری و امکان بهره‌گیری از رواناب برای آبیاری، از مهم‌ترین ظرفیت‌های محدوده‌اند. در مقابل، غلبهٔ سطوح نفوذناپذیر، فرسودگی نسبی زیرساخت زهکشی، محدودیت فضا در بافت متراکم و خطر تمرکز رواناب در شیب‌های طولی، مهم‌ترین محدودیت‌های طراحی محسوب می‌شوند. بر مبنای تلفیق یافته‌های جدول ۲، جهت‌گیری راهبردی پژوهش بر بهره‌گیری از ظرفیت فضاهای سبز موجود، میانه بلوار، حاشیه‌های قابل‌مداخله و مسیرهای جریان سطحی برای استقرار تدریجی زیرساخت سبز و راهکارهای LID متمرکز شد. به‌طور مشخص، ضعف ناشی از سطوح نفوذناپذیر و ناکارآمدی نسبی زهکشی موجود، در ترکیب با فرصت استفاده از رواناب برای آبیاری و تغذیهٔ خاک، به راهبرد کاهش و تأخیر رواناب در مبدأ منجر شد. همچنین، محدودیت فضایی و تراکم کالبدی محدوده،

لزوم استفاده ترکیبی از بام سبز، باغچه بارانی، کف‌سازی نفوذپذیر و ذخیره‌سازی آب باران را نشان داد. این جهت‌گیری‌ها در مرحلهٔ بعد، به‌صورت سناریوی پیشنهادی در مدلSWMM ارزیابی شدند.

جدول ۲- تحلیل وضعیت موجود بلوار طالقانی شمالی بر پایهٔ اسناد و مشاهدات میدانی در چارچوب SWOT (Zandi Babaei, 2025)

Table 2. SWOT-Based Analysis of the Existing Conditions of North Taleghani Boulevard Based on Documentary Sources, Spatial Data, and Field Observations

مولفه‌ها	مولفه‌های محیط‌زیستی و اکولوژیک	مولفه‌های فیزیکی و کارکردی	مولفه‌های اجتماعی-فرهنگی-اقتصادی
قوت	شیب طبیعی مناسب برای هدایت رواناب؛ بارش مدیترانه‌ای با پراکنش فصلی مطلوب؛ رس مؤثر در کاهش جذب آلاینده‌ها؛ پوشش گیاهی متناسب با اقلیم	فضای سبز حاشیه‌ای و میان‌بلوار با قابلیت ارتقاء؛ ارتباط مستقیم با شبکه‌های فرعی و اصلی شهر؛ دید و منظر چشم‌نواز به کوهستان	کاربری‌های اداری-خدماتی فعال؛ ظرفیت اقتصادی ناشی از فعالیت‌های خدماتی؛ تراکم جمعیتی بالا با پتانسیل بهره‌برداری از خدمات
ضعف	نبود پوشش گیاهی پایدار و متنوع در نواحی مرتفع (به‌ویژه در فصل سرد)؛ آلودگی صوتی ناشی از ترافیک؛ ناپایداری خاک‌های آبرفتی در بارش شدید و شیب‌دار؛ سطوح نفوذناپذیر و تراکم بالا	عدم هماهنگی در نمای ابنیه و مبلمان شهری؛ فرسودگی زیرساخت زهکشی؛ انسداد کریدورهای بصری توسط ساختمان‌های بلند؛ عدم پیوستگی کف‌سازی و مسیرهای حرکتی	ضعف زیرساخت حمل‌ونقل عمومی؛ نبود مدیریت مؤثر پسماند؛ کمبود فضای خالی برای توسعه سبز؛ نبود فضاهای فرهنگی/آموزشی مرتبط با مدیریت آب
فرصت	امکان بهره‌برداری از رواناب برای تغذیهٔ سفره‌های زیرزمینی و آبیاری فضای سبز؛ امکان اجرای تکنیک‌های LID متناسب با خاک و بارش منطقه؛ ارتقای کیفیت محیط‌زیست و کاهش اثر جزیره گرمایی	امکان بازطراحی منظر شهری با حفظ دید به کوهستان؛ بهبود شبکهٔ زهکشی و کاهش خطر سیلاب؛ ارتقای کیفیت فضاهای عمومی با تکنیک‌های مدیریت آب باران	افزایش مشارکت شهروندی در پروژه‌های محیط‌زیستی؛ جذب سرمایه‌گذاری در توسعهٔ پایدار؛ ارتقای ارزش اقتصادی و هویت محله‌ای منطقه
تهدید	تشدید تبخیر و تعرق در تابستان‌های گرم؛ کاهش بارندگی یا تشدید بارش‌های رگباری در بلندمدت؛ خطر فرسایش خاک در نواحی شیب‌دار	افزایش خطرات ترافیکی در صورت عدم اصلاح شیب‌ها؛ محدودیت فیزیکی مداخله در بافت متراکم؛ هزینهٔ بالای نوسازی زیرساخت‌های فرسوده	مقاومت اجتماعی در برابر تغییرات کالبدی و فرهنگی؛ فشار اقتصادی ناشی از قیمت زمین و هزینهٔ اجرا؛ افزایش تولید پسماند در صورت عدم هماهنگی با طرح‌های جدید

مأخذ: یافته‌های پژوهش براساس طرح جامع فضای سبز شهر کرج، اسناد آبخیزداری و مهار سیلاب، داده‌های مکانی و برداشت‌های میدانی نگارنده.

جدول حاضر یک چارچوب تحلیل کیفیِ وضع موجود است و با هدف استخراج ظرفیت‌ها و محدودیت‌های زمینه‌ای برای تدوین راهبردهای طراحی منظر تاب‌آور تنظیم شده است. نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد که محدودهٔ مطالعه، همزمان دارای ظرفیت‌های محیطی برای استقرار مداخلات کم‌اثر و محدودیت‌های کالبدی-عملکردی برای اجرای آنهاست. این دوگانه، مبنای طراحی سناریوی پیشنهادی و آزمون کمی آن در مدل SWMM قرار گرفت.

ارزیابی کمی عملکرد هیدرولوژیک سناریوهای طراحی با مدل (SWMM): به‌منظور آزمون کمی جهت‌گیری‌های حاصل از تحلیل SWOT و ارزیابی اثربخشی مداخلات پیشنهادی، مدل هیدرولوژیکی-هیدرولیکی محدوده در محیط SWMM توسعه یافت. مدل‌سازی در دو سناریو انجام شد: سناریوی پایه، شامل وضعیت موجود محدوده بدون مداخلهٔ LID؛ و سناریوی پیشنهادی، شامل استقرار ترکیبی راهکارهای توسعهٔ کم‌اثر در زیرحوزه‌های دارای قابلیت فضایی و عملکردی. شاخص‌های ارزیابی شامل دبی اوج، حجم یا عمق رواناب، زمان وقوع اوج و زمان بازگشت سیستم به شرایط پایدار بودند. اطلاعات ورودی شامل نقشه‌های کاربری اراضی، مدل رقومی ارتفاع (DEM) و داده‌های ArcGIS بود. ۳۳ زیرحوزه و ۳۵ گره شبکهٔ زهکشی تعریف شد؛ برای گره بالادست، جریان خارجی با دبی ۴/۵۳ مترمکعب بر ثانیه و دورهٔ بازگشت ۵ ساله لحاظ گردید و برای هر زیرحوزه پارامترهایی چون مساحت، شیب، درصد سطوح نفوذناپذیر و نرخ نفوذ هورتون (ارتفاع ذخیره (۴/۲ میلی‌متر) و ضریب زبری ۰/۲ در مناطق نفوذپذیر؛ (۱/۹ میلی‌متر) و ضریب ۰/۰۱۵ در مناطق نفوذناپذیر) براساس مراجع معتبر تعیین شد. همچنین ۳۴ آبگذر بتنی (ضریب زبری ۰/۰۱۱) با مقاطع مثلثی و مستطیلی وارد مدل شد. زمان تمرکز حوزه با روش جسم شناور ۲۰ دقیقه محاسبه و هیتوگراف بارندگی متناظر

طراحی شد (Zandi Babaei *et al*, 2026). پس از اجرای مدل با روش نفوذ هورتون و مسیریابی سینماتیک، پایداری آن تأیید گردید (شکل ۴).

در ادامه، برای بررسی حساسیت مدل، آنالیز حساسیت مطلق بر روی دو پارامتر کلیدی درصد اراضی نفوذناپذیر و نرخ نفوذ هورتون انجام شد. هر پارامتر در بازهٔ ۳۰ ± درصد نسبت به مقدار پایه و با گام‌های ۵ درصدی تغییر داده شد و مدل در مجموع ۲۸ بار اجرا گردید. نتایج نشان داد که افزایش درصد اراضی نفوذناپذیر باعث افزایش دبی اوج و کاهش نرخ نفوذ هورتون نیز باعث افزایش دبی اوج می‌شود. این تحلیل مشخص کرد که کاهش سطح نفوذناپذیر و افزایش ظرفیت نفوذ، به‌طور مؤثر عملکرد هیدرولوژیک زیرحوزه‌ها را بهبود می‌بخشد و می‌تواند نقش مهمی در ارتقاء کارایی تکنیک‌های توسعهٔ کم‌اثر ایفا نماید.



شکل٤- مدل‌سازی حوزه برای دورهٔ بازگشت ۵ ساله در محیط SWMM (Zandi Babaei, 2025)

Figure 4. SWMM-based watershed model developed for the 5-year return period

با توجه به نتایج حاصل از سناریوی پایه و به‌منظور ارزیابی کارایی راهکارهای توسعهٔ کم‌اثر در مدیریت رواناب و ارتقای تاب‌آوری منظر شهری، سناریوی پیشنهادی در محیط مدل SWMM طراحی و اجرا شد. هدف اصلی این سناریو، کاهش حجم و دبی اوج رواناب سطحی، کنترل جریان‌های ناشی از بارش‌های شدید، افزایش نفوذ آب به خاک، بهبود عملکرد هیدرولوژیک زیرحوزه‌ها و در نهایت کاهش فشار وارده بر شبکهٔ زهکشی شهری بود. در این راستا، با بررسی ویژگی‌های کالبدی، کاربری اراضی، میزان سطوح نفوذناپذیر، شیب و ظرفیت استقرار اقدامات توسعهٔ کم‌اثر در هر زیرحوزه، از مجموعه‌ای از تکنیک‌های LID شامل بام سبز، باغچه بارانی، سطوح نفوذپذیر و بشکه‌های ذخیرهٔ آب باران به‌صورت ترکیبی استفاده شد. این اقدامات تنها در زیرحوزه‌هایی که از نظر فضایی، کالبدی و عملکردی قابلیت استقرار این تکنیک‌ها را داشتند، اعمال شدند و به‌طور میانگین حدود ۳۰ درصد از سطح قابل اجرای هر زیرحوزه به این راهکارها اختصاص یافت. انتخاب این میزان، با هدف ایجاد تعادل میان امکان‌پذیری اجرایی در محیط شهری و دستیابی به بیشترین اثربخشی هیدرولوژیک انجام شد.

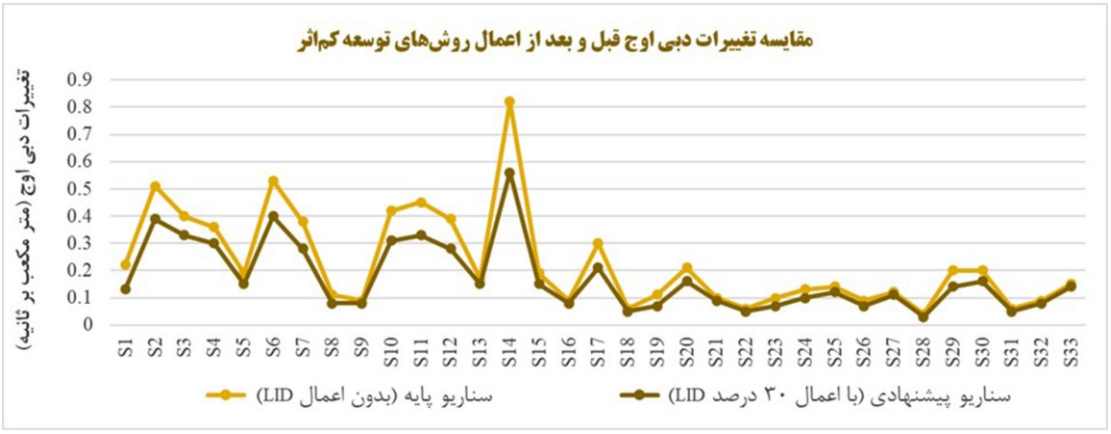
برای مقایسهٔ کمی دو سناریو، میانگین دبی اوج و رواناب کل در ۳۳ زیرحوزه مدل محاسبه شد. همچنین، بیشترین و کمترین میزان کاهش در سطح زیرحوزه‌ها گزارش شد تا تفاوت عملکرد راهکارهای LID در شرایط متفاوت شیب، مساحت، میزان نفوذناپذیری و قابلیت استقرار مداخله مشخص شود. نتایج این مقایسه در جدول ۳ ارائه شده است. برای سنجش اینکه راهبردهای استخراج‌شده از تحلیل SWOT تا چه حد در مقیاس هیدرولوژیک مؤثرند، عملکرد محدوده در دو سناریوی پایه و پیشنهادی شبیه‌سازی و مقایسه شد.

جدول ۳- مقایسهٔ دبی اوج و رواناب کل (دورهٔ بازگشت ۵ ساله) (Zandi Babaei, 2025)

Table 3. Comparison of Peak Discharge and Total Runoff (5-year return period)

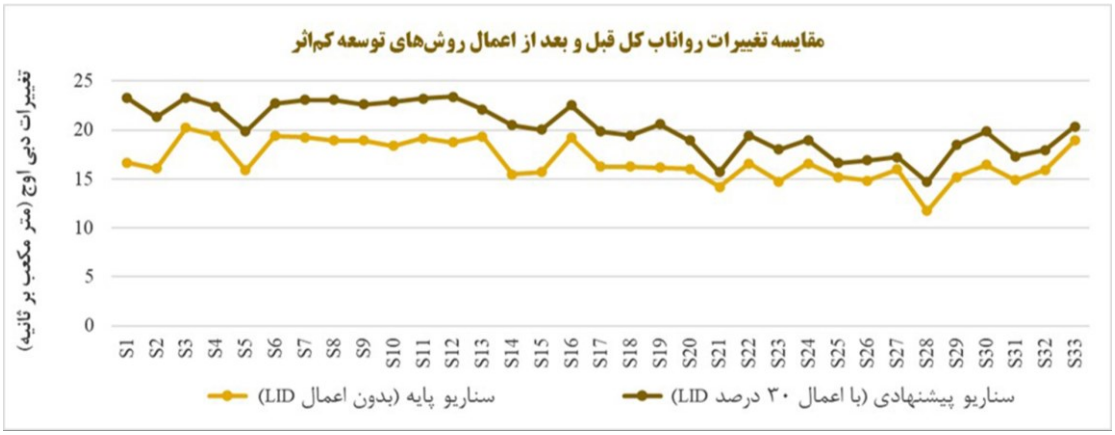
شاخص	میانگین سناریوی پایه (بدون LID)	میانگین سناریوی پیشنهادی (با 30 درصد LID)	میانگین درصد کاهش	بیشترین کاهش (زیرحوزه)	کمترین کاهش (زیرحوزه)
دبی اوج (m^3/s)	227.0	173.0	24 درصد	S1:از 0.22 به 0.13 (41 درصد کاهش)	S33:از 0.15 به 0.14 (7 درصد کاهش)
رواناب کل (mm)	20.20	16.87	17 درصد	S1:از 23.29 به 16.69 (28 درصد کاهش)	S27:از 17.21 به 15.99 (7 درصد کاهش)

همان‌گونه که نتایج ارائه‌شده در جدول ۳ و تغییرات نمایش‌داده‌شده در شکل ۵ نشان می‌دهد، اعمال تکنیک‌های توسعهٔ کم‌اثر در تمامی ۳۳ زیرحوزه منجر به کاهش دبی اوج شده است، اما شدت این کاهش بسته به شیب، مساحت و درصد سطوح نفوذناپذیر هر زیرحوزه متفاوت بوده است. بیشترین کاهش نسبی دبی اوج در زیرحوزهٔ S1 مشاهده شد (۴۱ درصد کاهش)، که می‌تواند ناشی از سطح محدودتر و شیب مساعدتر این زیرحوزه برای اثرگذاری نسبی تکنیک‌های LID باشد. در مقابل، کمترین کاهش نسبی دبی اوج در زیرحوزه S33 ثبت شد (۷ درصد کاهش)، که احتمالاً به‌دلیل ویژگی‌های فیزیکی خاص این زیرحوزه، از جمله درصد بالاتر سطوح نفوذناپذیر یا محدودیت فضایی برای اجرای اقدامات توسعهٔ کم‌اثر، کارایی این مداخلات را محدود کرده است.



شکل ۵- مقایسهٔ دبی اوج قبل و بعد از اجرای LID (دورهٔ بازگشت ۵ ساله) (Zandi Babaei, 2025)

Figure 5. Comparison of peak discharge before and after LID (5-year return period)



شکل ٦- مقایسهٔ رواناب کل قبل و بعد از اجرای LID (دورهٔ بازگشت ۵ ساله) (Zandi Babaei, 2025)

Figure 6. Comparison of total runoff before and after LID (5-year return period)

همان‌گونه که در شکل‌های ۵ و ۶ مشاهده می‌شود، روند تغییرات رواناب کل نیز الگوی مشابهی را نشان می‌دهد؛ به‌گونه‌ای که بیشترین کاهش رواناب کل در زیرحوزهٔ S1 (۲۸ درصد) و کمترین میزان کاهش در زیرحوزهٔ S27 (۷ درصد) رخ داده است. این نتایج بیانگر نقش مؤثر اقدامات توسعهٔ کم‌اثر در کنترل جریان‌های سطحی، افزایش نفوذ آب و کاهش فشار بر زیرساخت‌های زهکشی شهری است. با این حال، میزان اثربخشی این اقدامات در میان زیرحوزه‌ها یکسان نبوده و تحت تأثیر ویژگی‌های فیزیکی، توپوگرافی، درصد سطوح نفوذناپذیر و نوع کاربری اراضی هر زیرحوزه قرار دارد.

افزون بر مقایسهٔ عملکرد زیرحوزه‌ها، عملکرد کل سیستم در نقطهٔ خروجی نیز بررسی شد تا تأثیر سناریوی پیشنهادی بر بار هیدرولوژیک وارد بر شبکهٔ زهکشی شهری مشخص شود. جدول ۴، دبی خروجی و رواناب سیستم را در زمان اوج رخداد و نیز زمان بازگشت هر سناریو به وضعیت پایدار مقایسه می‌کند.

جدول ٤- مقایسهٔ دبی خروجی و رواناب سیستم در سناریوهای پایه و LID (دورهٔ بازگشت ۵ ساله) (Zandi Babaei, 2025)
Table 4. Comparison of outlet discharge and system runoff (5-year return period)

زمان	دبی خروجی-پایه (m^3/s)	دبی خروجی-پیشنهادی (m^3/s)	رواناب سیستم-پایه (mm)	رواناب سیستم-پیشنهادی (mm)
اوج جریان (دقیقه 20)	11.93	10.22 (14 درصد کاهش)	7.40	5.69 (23 درصد کاهش)
بازگشت به وضعیت پایدار	حدود دقیقه 60-55	حدود دقیقه 45-40	حدود دقیقه 60-55	حدود دقیقه 45-40

بررسی جدول ۴ نشان می‌دهد که اوج دبی خروجی و اوج رواناب سیستم در هر دو سناریو در دقیقهٔ ۲۰ رخ می‌دهد، اما در سناریوی پیشنهادی به‌ترتیب حدود ۱۴ و ۲۳ درصد کاهش یافته‌اند. نکتهٔ قابل‌توجه دیگر، سرعت بازگشت سیستم به وضعیت پایدار است؛ در سناریوی پیشنهادی، دبی خروجی و رواناب سیستم حدود ۱۵ تا ۲۰ دقیقه زودتر از سناریوی پایه به مقادیر پایه نزدیک می‌شوند. این یافته نشان می‌دهد که تکنیک‌های توسعهٔ کم‌اثر نه‌تنها اوج دبی و رواناب را کاهش می‌دهند، بلکه با تسریع در فرآیند تخلیه و کاهش زمان ماند رواناب در سطح، فشار زمانی وارد بر شبکهٔ زهکشی شهری را نیز کاهش می‌دهند. بنابراین، تحلیل SWOTجهت‌گیری طراحی را تعیین کرد، SWMM کارایی آن را آزمود و نتایج حاصل، مبنای تدوین راهبردهای اجرایی منظر تاب‌آور شد.

در مجموع، یافته‌ها نشان می‌دهند که طراحی منظر تاب‌آور در بلوار طالقانی شمالی باید همزمان به شرایط زمینه‌ای و عملکرد هیدرولوژیک محدوده پاسخ دهد. تحلیل SWOT نشان داد که وجود فضای سبز حاشیه‌ای، میانهٔ بلوار، شیب طبیعی و امکان بهره‌برداری از رواناب، ظرفیت لازم را برای استقرار زیرساخت سبز فراهم می‌کند؛ درحالی‌که سطوح نفوذناپذیر، فرسودگی شبکهٔ زهکشی، تراکم کالبدی و خطر تمرکز رواناب، ضرورت مداخله را آشکار می‌سازند.

نتایج مدل SWMM نیز نشان داد که استقرار ترکیبی راهکارهای LID در حدود ۳۰ درصد از سطح قابل‌اجرای زیرحوزه‌ها، میانگین دبی اوج را ۲۴ درصد و میانگین رواناب کل را ۱۷ درصد کاهش می‌دهد. در مقیاس کل سیستم نیز دبی خروجی اوج ۱۴ درصد و رواناب سیستم ۲۳ درصد کاهش یافت و بازگشت سیستم به وضعیت پایدار حدود ۱۵ تا ۲۰ دقیقه زودتر رخ داد. بنابراین، پاسخ به سؤال پژوهش چنین است که طراحی منظر تاب‌آور معابر شهری در این محدوده باید بر تلفیق مدیریت رواناب در مبدأ، افزایش نفوذپذیری سطوح، ذخیره و استفاده مجدد از آب باران و تقویت ساختار سبز محور استوار باشد؛ راهبردی که از نظر زمینه‌ای با محدودیت‌ها و ظرفیت‌های محدوده سازگار و از نظر هیدرولوژیک نیز قابل دفاع است.

بحث

نتایج تحلیل‌های کیفی و کمی این پژوهش نشان می‌دهد که طراحی منظر تاب‌آور در معابر شهری، با تلفیق ابعاد اکولوژیک، هیدرولوژیک، اجتماعی-فرهنگی و اقتصادی، می‌تواند به‌عنوان الگویی کارآمد برای ارتقاء تاب‌آوری شهری مطرح شود. تحلیل

کیفی مبتنی بر مدل SWOT با شناسایی ظرفیت‌های محیطی و چالش‌های زیرساختی، چارچوبی راهبردی برای مداخله طراحی فراهم کرد و مدل‌سازی SWMM اثربخشی سناریوی پیشنهادی را با کاهش میانگین ۲۴ درصدی دبی اوج و ۱۷ درصدی رواناب کل تأیید نمود.

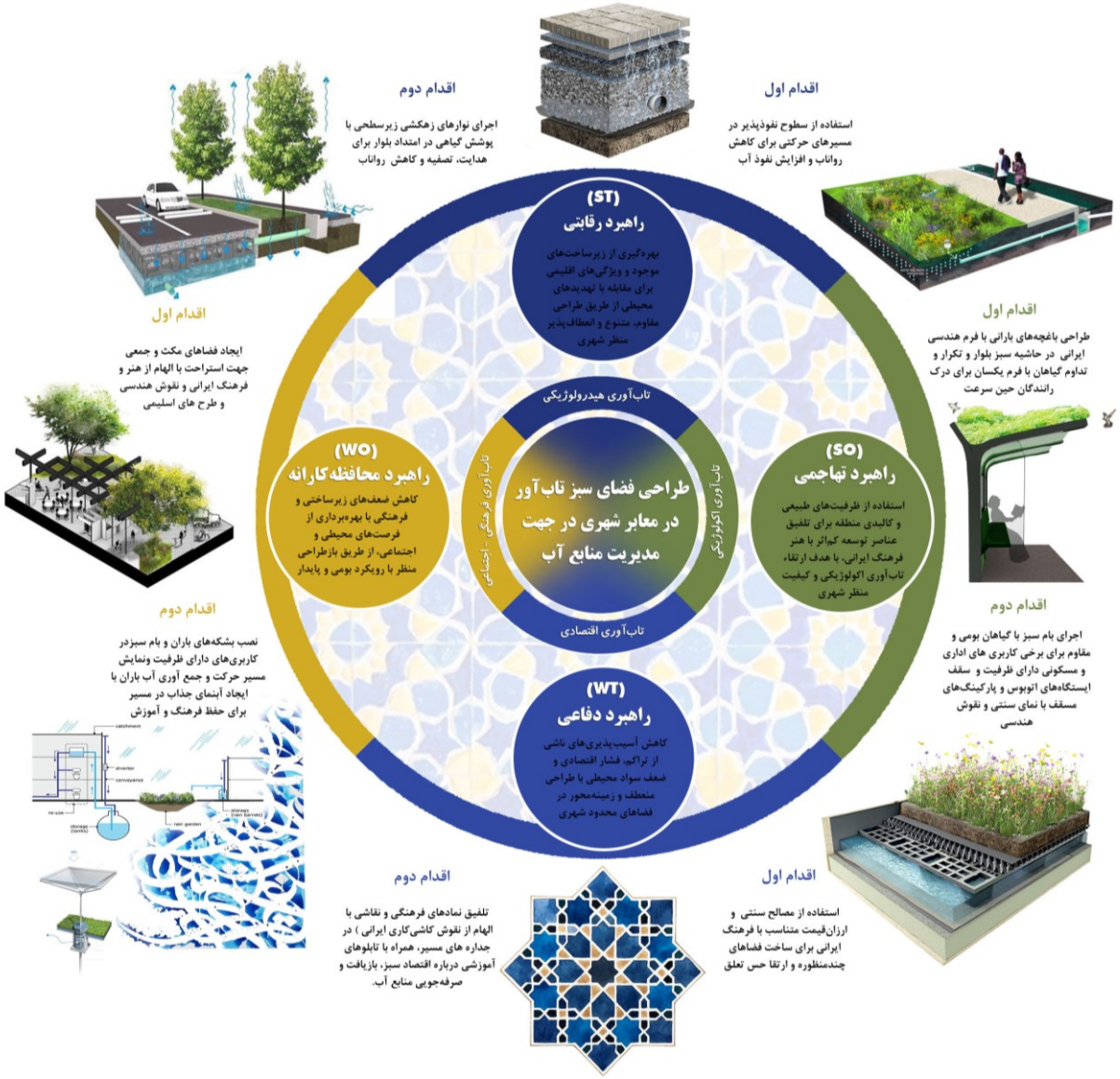
مقایسهٔ این یافته‌ها با پیشینهٔ پژوهش، هم همسویی کلی روند و هم تفاوت‌هایی در دامنهٔ اثربخشی را آشکار می‌سازد. Miremadi و همکاران (۲۰۲۰) در سمنان و Zakizadeh و همکاران (۲۰۲۰) در تهران نیز با مدل SWMM نشان دادند سطوح نفوذپذیر دبی اوج را کاهش می‌دهند؛ جهت این یافته با نتایج پژوهش حاضر همسوست، هرچند این پژوهش با ارائهٔ اعداد دقیق به تفکیک زیرحوزه‌ها، تصویر دقیق‌تری از تغییرپذیری مکانی اثربخشی LID ارائه می‌دهد. در مقابل، Beheshti و همکاران (۲۰۲۲) در بیرجند کاهشی تا ۸۰ درصد در رواناب گزارش کرده‌اند که به‌مراتب بیش از نتایج این پژوهش است؛ این تفاوت را می‌توان به نسبت پایین‌تر تخصیص LID در این پژوهش (۳۰ درصد در برابر پوشش گسترده‌تر) و شرایط اقلیمی متفاوت نسبت داد. به‌همین ترتیب، Bai و Wang (۲۰۲۵) در چین با بررسی پارکینگ‌های نفوذپذیر کاهشی به‌مراتب بیشتر گزارش کرده‌اند که ناشی از تمرکز آن مطالعه بر یک نوع خاص LID با پوشش بالاست. در مقابل، یافته‌های این پژوهش با نتایج Zanandrea و Silveira (۲۰۱۸) در برزیل و La Rosa و Pappalardo (۲۰۲۰) در ایتالیا هم‌راستاتر است؛ این مطالعات نیز نشان دادند اجرای ترکیبی و همزمان چند نوع LID مؤثرترین راهبرد است، رویکردی که در پژوهش حاضر نیز دنبال شد.

از منظر تحلیل حساسیت، یافتهٔ این پژوهش مبنی بر افزایش دبی اوج در پی افزایش سطوح نفوذناپذیر، با نتایج Zakizadeh و همکاران (۲۰۲۰) که سطوح نفوذناپذیر را مهم‌ترین عامل مؤثر بر دبی اوج در تهران معرفی کرده بودند، همسوست و اطمینان نسبی از نتایج مدل را با توجه به مقایسهٔ دو سناریو فراهم می‌کند. همچنین تسریع بازگشت سیستم به وضعیت پایدار پس از اعمال LID، با تأکید Hosseinzade Kuhi (۲۰۲۲) بر ضرورت بازطراحی شبکه‌های فرسوده همخوانی مفهومی دارد.

در سطح تطبیق چندبعدی، برخلاف Mohammadkhani و همکاران (۲۰۲۰) که عمدتاً بر بعد مدیریتی–سیاست‌گذاری متمرکز بودند، پژوهش حاضر با انتقال مستقیم یافته‌های SWOT و SWMM به راهبردهای طراحی مشخص، گامی فراتر از تحلیل مدیریتی صرف برداشته است. به‌همین ترتیب، برخلاف Nilubon و Laeni (۲۰۲۴) که مشارکت اجتماعی را صرفاً روش گردآوری داده در نظر گرفتند، پژوهش حاضر این بعد را در قالب راهبرد طراحی مستقل وارد کرده است. در مجموع، این پژوهش با ارائهٔ رویکردی تلفیقی «شامل تحلیل راهبردی SWOT، مدل‌سازی هیدرولوژیک SWMM و طراحی فضایی یکپارچه» چارچوبی نوآورانه و قابل تعمیم برای طراحی معابر شهری تاب‌آور ارائه می‌دهد که فراتر از مدل‌سازی هیدرولوژیک صرف یا تحلیل مدیریتی–سیاستی مطالعات پیشین است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها جهت پژوهش‌های آتی

براساس تلفیق یافته‌های جدول SWOT و نتایج مدل SWMM، بازطراحی بلوار طالقانی شمالی با رویکرد توسعهٔ کم‌اثر تدوین شد. مداخلات پیشنهادی به‌صورت عمومی انتخاب نشده‌اند؛ بلکه نوع و استقرار آنها متناسب با شرایط اختصاصی محدوده، شامل شیب طولی محور، تمرکز جریان‌های سطحی، وجود سطوح نفوذناپذیر، ظرفیت میانه و حاشیهٔ سبز بلوار، محدودیت فضا در بافت متراکم و ناکارآمدی نسبی شبکهٔ زهکشی موجود تعیین شده است. همچنین، اختصاص حدود ۳۰ درصد از سطح قابل‌اجرای زیرحوزه‌ها به تکنیک‌های LID، بر مبنای سناریوی ارزیابی‌شده در مدل SWMM و با هدف ایجاد تعادل میان امکان‌پذیری اجرایی و اثربخشی هیدرولوژیک انتخاب شد. به‌منظور تبدیل یافته‌های تحلیلی به مداخلات اجرایی، نتایج جدول ۲ و جداول ۳ و ۴ به‌صورت تلفیقی تفسیر شدند. در این فرآیند، تحلیل SWOT ظرفیت‌ها و محدودیت‌های زمینه‌ای مؤثر بر مکان، نوع و نحوهٔ استقرار مداخلات را مشخص کرد؛ درحالی‌که نتایج SWMM، کارایی هیدرولوژیک سناریوی پیشنهادی را از طریق کاهش میانگین ۲۴ درصدی دبی اوج، ۱۷ درصدی رواناب کل و کاهش دبی خروجی سیستم ارزیابی کرد. بر این اساس، راهبردهای طراحی در چهار بعد هیدرولوژیک، اکولوژیک، اجتماعی–فرهنگی و اقتصادی تنظیم شدند. شکل ۷، زنجیرهٔ تبدیل یافته‌های SWOT و SWMM به راهبردهای اجرایی طراحی را نشان می‌دهد (شکل ۷).



شکل ۷- فرآیند تبدیل یافته‌های تحلیل SWOT (جدول ۲) و نتایج مدل‌سازی SWMM (جداول ۳ و ٤) به راهبردهای طراحی منظر تاب‌آور بلوار طالقانی شمالی (Zandi Babaei, 2025)

Figure 7. Translation of SWOT findings (Table 2) and SWMM modeling results (Tables 3 and 4) into resilient landscape design strategies for North Taleghani Boulevard

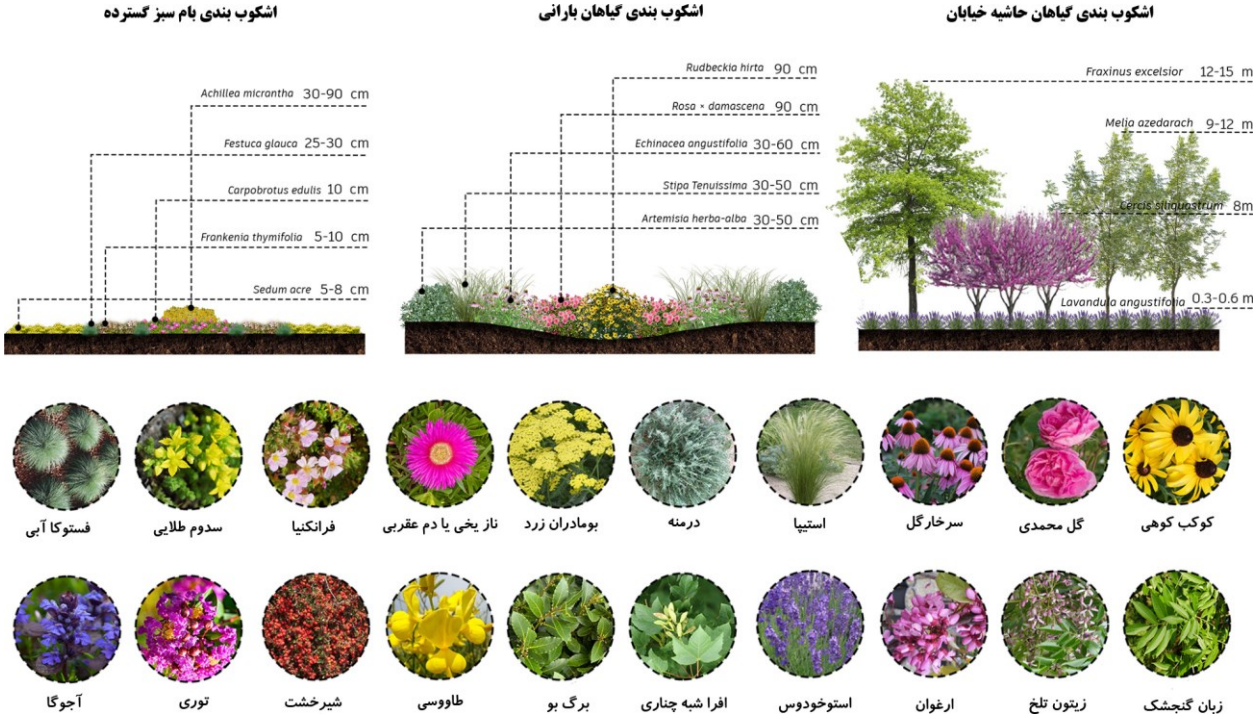
تاب‌آوری هیدرولوژیک (راهبرد رقابتی-ST): این راهبرد در پاسخ به تهدید تمرکز رواناب در شیب طولی محور، ضعف زیرساخت زهکشی و نتایج مدل SWMM مبنی بر امکان کاهش میانگین ۲۴ درصدی دبی اوج در سناریوی LID تدوین شد. ازاین‌رو، در زیرحوزه‌های دارای سطح نفوذناپذیر بالا و ظرفیت فضایی مناسب، استفاده از کف‌سازی نفوذپذیر در پیاده‌روها و پارکینگ‌ها، نوارهای زهکشی زیرسطحی و هدایت کنترل‌شده رواناب به باغچه‌های بارانی پیشنهاد شد. این مداخلات با هدف کاهش حجم و سرعت جریان در مبدأ و کاهش فشار وارد بر شبکه زهکشی طراحی شدند (شکل ۸).



شکل ۸- طرح پیشنهادی کف‌سازی و زهکشی بلوار (Zandi Babaei, 2025)

Figure 8. Proposed paving and drainage design for Boulevard

تاب‌آوری اکولوژیک (راهبرد تهاجمی-SO): این راهبرد از تلفیق ظرفیت فضای سبز حاشیه‌ای و میان‌بلوار، پوشش گیاهی سازگار با اقلیم و فرصت استفاده از رواناب برای آبیاری فضای سبز استخراج شد. بر این اساس، باغچه‌های بارانی با الهام از الگوی باغ ایرانی، بام سبز گسترده در سازه‌های مستعد و کاشت گونه‌های مقاوم به خشکی و آلودگی پیشنهاد شد. این راهبرد، افزون بر افزایش نفوذ و ذخیرهٔ بخشی از رواناب، در جهت کاهش دمای سطح و تقویت تنوع زیستی محور عمل می‌کند (شکل ۹).

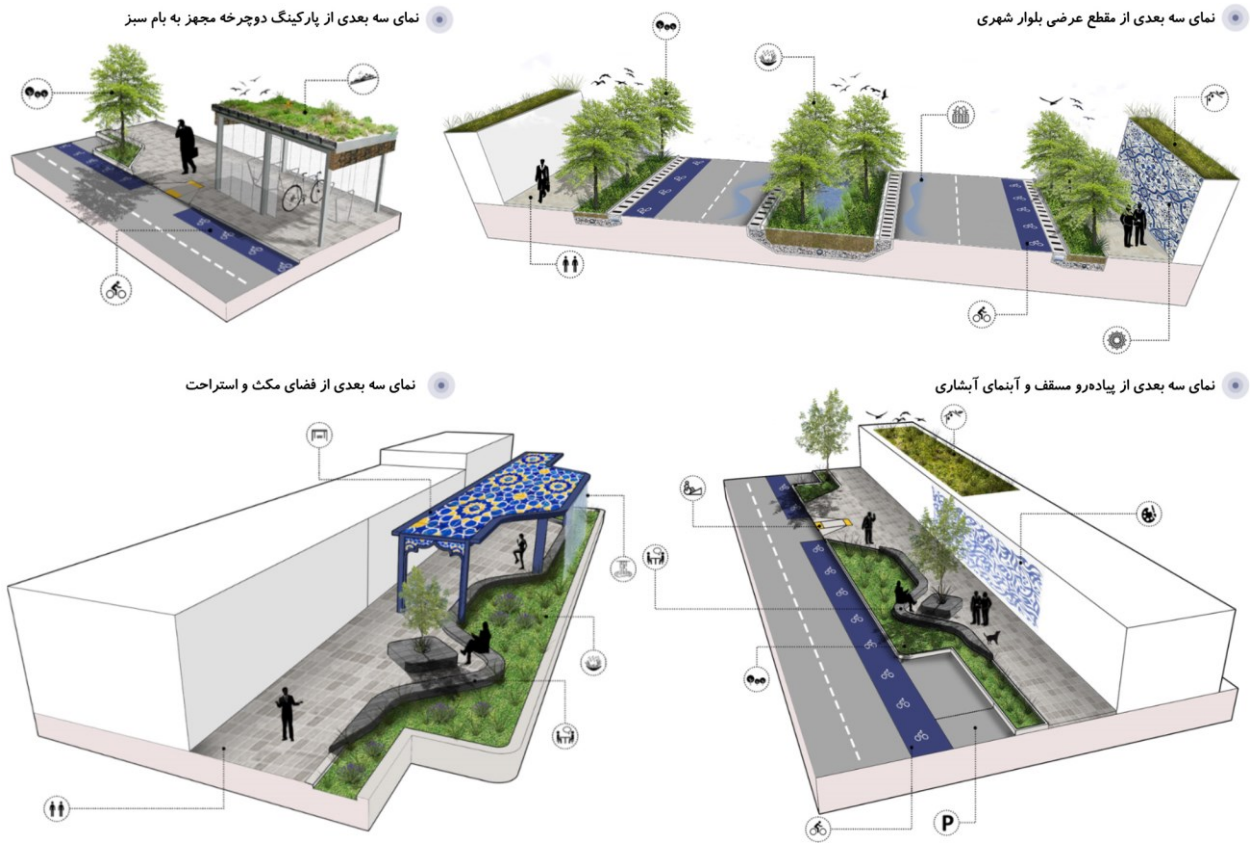


شکل ۹- طرح پیشنهادی کاشت و اشکوب‌بندی گیاهان بلوار (Zandi Babaei, 2025)

Figure 9. Proposed boulevard planting and vegetation design

تاب‌آوری اجتماعی-فرهنگی (راهبرد محافظه‌کارانه-WO): این راهبرد در پاسخ به ضعف شناسایی‌شده در زمینهٔ کمبود فضاهای فرهنگی ـآموزشی مرتبط با مدیریت آب و ضرورت افزایش آگاهی عمومی تدوین شد. ایجاد فضاهای مکث، استفاده از نقوش اسلیمی در عناصر منظر، طراحی آبنمای روایت‌گر مسیر آب باران و استقرار عناصر نمایان ذخیره آب، با هدف تبدیل فرآیند مدیریت رواناب به تجربه‌ای قابل مشاهده و آموزشی برای شهروندان پیشنهاد شد.

تاب‌آوری اقتصادی (راهبرد دفاعی-WT): این راهبرد در پاسخ به محدودیت مالی اجرای مداخلات، هزینهٔ بالای نوسازی زیرساخت‌های فرسوده و فشار ناشی از ارزش بالای زمین در محدوده تدوین شد. استفادهٔ مرحله‌ای از مصالح بومی و بادوام، گیاهان کم‌نیاز به آبیاری، بهره‌برداری از آب باران برای آبیاری و اولویت‌دهی به مداخلات کم‌هزینه در فضاهای موجود، هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری بلندمدت را کاهش می‌دهد. در طراحی سه‌بعدی نیز ریزفضاهایی نظیر ایستگاه‌های اتوبوس با بام سبز و آبنمای آموزشی پیش‌بینی شد که چرخهٔ آب باران را به تجربه‌ای قابل مشاهده برای شهروندان تبدیل می‌کند (شکل ۱۰).



شکل ۱۰- پیشنهادات طراحی نماهای سه‌بعدی از بلوار (Zandi Babaei, 2025)
Figure 10. Proposed 3D visualizations of the boulevard

به‌منظور شفاف‌سازی فرآیند تبدیل یافته‌های پژوهش به راهبردهای طراحی، پیوند میان مؤلفه‌های استخراج‌شده در تحلیل SWOT، نتایج کمی مدل SWMM و مداخلات پیشنهادی در جدول ۵ ارائه شده است. بر این اساس، تحلیل SWOT مبنای شناسایی ظرفیت‌ها، محدودیت‌ها و اولویت‌های مداخله در محدوده بوده و مدل SWMM کارایی هیدرولوژیک سناریوی پیشنهادی را ارزیابی کرده است. بنابراین، راهبردهای ارائه‌شده در شکل ۷ و مداخلات طراحی متناظر، صرفاً پیشنهادهای عمومی توسعه کم‌اثر نیستند، بلکه متناسب با شرایط کالبدی، اکولوژیک، اجتماعی و اقتصادی بلوار طالقانی شمالی و نتایج سناریوی مدل‌سازی‌شده تدوین شده‌اند.

این پژوهش، در پاسخ به پرسش اصلی خود، نشان داد که دستیابی به الگوی منظر تاب‌آور تنها با تلفیق همزمان چهار بعد یادشده امکان‌پذیر است. چارچوب پیشنهادی نشان داد که تکنیک‌های توسعهٔ کم‌اثر با اختصاص حدود ۳۰ درصد سطح هر زیرحوزه، به‌طور میانگین موجب کاهش ۲۴ درصدی دبی اوج و ۱۷ درصدی رواناب کل می‌شوند و همزمان کیفیت بصری، تنوع زیستی و تعاملات اجتماعی را ارتقا می‌دهند. این یافته‌ها نشان می‌دهد که مدیریت نوین رواناب، در بستر طراحی منظر و متناسب با زمینهٔ اجتماعی-اقتصادی محلی، می‌تواند به الگویی عملیاتی برای تاب‌آوری چندبعدی شهری تبدیل شود؛ الگویی که می‌تواند مبنایی برای تدوین ضوابط طراحی منظر معابر در کلان‌شهرهای مشابه کرج باشد.

پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده، عناصر توسعهٔ کم‌اثر به‌صورت آزمایشی در مقیاس محله‌ای اجرا و پایش شوند تا داده‌های واقعی عملکردی جمع‌آوری شود؛ پیامدهای اجتماعی–اقتصادی این مداخلات به‌صورت کمی ارزیابی گردد؛ مطالعات تطبیقی در اقلیم‌های مختلف کشور انجام شود؛ و نقش شهرداری‌ها در تدوین سیاست‌های تشویقی برای گسترش این زیرساخت‌ها بررسی شود.

جدول ۵- پیوند مؤلفه‌های تحلیل SWOT و نتایج SWMM با راهبردها و مداخلات پیشنهادی طراحی (Zandi Babaei, 2025)
Table 5. Linkage between SWOT components, SWMM results, resilience strategies, and proposed design interventions

بعد تاب‌آوری و نوع راهبرد	منشأ یافته در جدول ۲	پیوند با نتایج SWMM	راهبرد و مداخله طراحی متناظر
تاب‌آوری هیدرولوژیک: راهبرد رقابتی (ST)	محیط‌زیستی ـ اکولوژیک: شیب طبیعی محور، سطوح نفوذناپذیر و تراکم بالا، ناپایداری خاک‌های آبرفتی در بارش‌های شدید، خطر فرسایش در نواحی شیب‌دار و تشدید بارش‌های رگباری. فیزیکی–کارکردی: فرسودگی زیرساخت زهکشی، عدم پیوستگی کف‌سازی، محدودیت مداخله در بافت متراکم و امکان بهبود شبکهٔ زهکشی و کاهش خطر سیلاب.	اجرای سناریوی ترکیبی LID در حدود ۳۰ درصد از سطح قابل‌اجرای زیرحوزه‌ها، میانگین دبی اوج را ۲۴ درصد و رواناب کل را ۱۷ درصد کاهش داد. همچنین دبی خروجی سیستم در زمان اوج ۱۴ درصد و رواناب سیستم ۲۳ درصد کاهش یافت.	کاهش و تأخیر رواناب در مبدأ از طریق کف‌سازی نفوذپذیر در پیاده‌روها و پارکینگ‌ها، نوارهای زهکشی زیرسطحی، هدایت کنترل‌شده رواناب به باغچه‌های بارانی، و تقویت اتصال شبکهٔ زهکشی موجود با عناصر نفوذپذیر.
تاب‌آوری اکولوژیک: راهبرد تهاجمی (SO)	محیط‌زیستی–اکولوژیک: پوشش گیاهی متناسب با اقلیم، امکان استفاده از رواناب برای آبیاری فضای سبز، قابلیت اجرای LID متناسب با خاک و بارش منطقه، و امکان کاهش اثر جزیره گرمایی. فیزیکی–کارکردی: وجود فضای سبز حاشیه‌ای و میان‌بلوار با قابلیت ارتقا و امکان بازطراحی منظر با حفظ دید به کوهستان.	کاهش رواناب در سناریوی LID، امکان افزایش نفوذ و ذخیرهٔ بخشی از آب باران در محل را نشان داد؛ بنابراین، استفاده از رواناب جمع‌آوری‌شده برای پشتیبانی از پوشش گیاهی و عناصر سبز قابل توجیه است.	ایجاد باغچه‌های بارانی در فضاهای سبز حاشیه‌ای و میانه بلوار، استقرار بام سبز گسترده در سازه‌ها و ایستگاه‌های مستعد، و کاشت گونه‌های مقاوم به خشکی و آلودگی برای کاهش نیاز آبی، افزایش نفوذ و تقویت تنوع زیستی.
تاب‌آوری اجتماعی – فرهنگی: راهبرد محافظه‌کارانه (WO)	اجتماعی–فرهنگی–اقتصادی: نبود فضاهای فرهنگی و آموزشی مرتبط با مدیریت آب، ضعف زیرساخت حمل‌ونقل عمومی، تراکم جمعیتی بالا با ظرفیت بهره‌برداری از خدمات، و فرصت افزایش مشارکت شهروندی در پروژه‌های محیط‌زیستی. فیزیکی–کارکردی: امکان ارتقای کیفیت فضاهای عمومی با تکنیک‌های مدیریت آب باران.	نتایج SWMM نشان داد مدیریت رواناب در مبدأ و کاهش فشار بر شبکهٔ زهکشی امکان‌پذیر است. این فرآیند می‌تواند از یک عملکرد پنهان زیرساختی به تجربه‌ای قابل مشاهده و آموزشی در فضای عمومی تبدیل شود.	ایجاد فضاهای مکث و آموزشی، طراحی آبنمای روایت‌گر مسیر آب باران، استفاده از بشکه‌های ذخیرهٔ آب باران به‌عنوان عنصر آموزشی– کاربردی، و به‌کارگیری نقوش و الگوهای ایرانی در عناصر منظر برای تقویت هویت مکان.
تاب‌آوری اقتصادی: راهبرد تدافعی (WT)	اجتماعی–فرهنگی–اقتصادی: ظرفیت اقتصادی فعالیت‌های خدماتی، فرصت جذب سرمایه‌گذاری در توسعهٔ پایدار، فشار اقتصادی ناشی از قیمت زمین و هزینهٔ اجرا، و مقاومت احتمالی در برابر تغییرات کالبدی. فیزیکی–کارکردی: هزینهٔ بالای نوسازی زیرساخت‌های فرسوده و محدودیت فیزیکی مداخله در بافت متراکم.	سناریوی ۳۰ درصدی LID نشان داد که با مداخله‌ای محدود به سطح قابل‌اجرای زیرحوزه‌ها نیز کاهش معنی‌دار رواناب و دبی اوج حاصل می‌شود؛ در نتیجه، اجرای مرحله‌ای و هدفمند مداخلات، به‌جای نوسازی گسترده و پرهزینه، قابل دفاع است.	اولویت‌بندی مداخلات کم‌هزینه و قابل اجرا در فضاهای موجود، اجرای مرحله‌ای زیرساخت سبز، استفاده از گیاهان کم‌آب‌بر و مصالح بومی و بادوام، و بهره‌برداری از آب باران ذخیره‌شده برای کاهش هزینهٔ آبیاری و نگهداری.

محدودیت‌های پژوهش

در نهایت، این پژوهش با محدودیت‌هایی همراه بود: مهم‌ترین چالش، عدم امکان برداشت میدانی همزمان داده‌های بارش–رواناب بود که مانع از اعتبارسنجی مستقیم مدل با داده‌های مشاهداتی شد؛ با این حال، رویکرد مقایسه‌ای میان سناریوها و تطبیق روند نتایج با مطالعات مشابه، مبنایی قابل‌اتکا برای ارزیابی نسبی اثرات فراهم ساخت. این محدودیت، ضرورت پایش میدانی مستمر و همکاری میان‌نهادی را در مطالعات آتی برجسته می‌سازد.

ملاحظات اخلاقی

حامی مالی

این پژوهش تحت حمایت مالی شهرداری کرج می‌باشد.

مشارکت نویسندگان

نویسندگان به‌طور مساوی در کلیهٔ مراحل طراحی و انجام پژوهش، گردآوری داده‌ها، تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها، تحلیل و تفسیر اطلاعات و نتایج، تهیه پیشنویس مقاله، بررسی و کنترل نتایج، اصلاح، بازبینی و نهایی‌سازی مقاله مشارکت داشتند.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

بیانیه دسترسی به داده‌ها

داده‌های پژوهش حاضر از طریق درخواست از نویسندگان (نویسنده مسئول) قابل دسترسی است.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از تمامی افرادی که در انجام این پژوهش با ارائهٔ راهنمایی‌های علمی، همکاری‌های اجرایی و پشتیبانی‌های لازم نقش مؤثری داشته‌اند، صمیمانه قدردانی و تشکر می‌شود. حمایت‌های معنوی آنها سهم به‌سزایی در پیشبرد و تکمیل این پژوهش داشته است.

References

Ahern, J., 2013. Urban landscape sustainability and resilience: The promise and challenges of integrating ecology with urban planning and design. Landscape Ecology 28, 1203-1212.

Akbari Zarin, Z., Ghalehnoee, M., Mokhtarzadeh, S., 2024. Evaluation of the effective indicators on the resilience of urban form and space with an emphasis on flood and surface runoff (Case study: Noor City, Mazandaran province). Journal of Environmental Studies 49(4), 401-420. (In Persian)

Alberti, M., Marzluff, J.M., Shulenberger, E., Bradley, G., Ryan, C., Zumbrunnen, C., 2003. Integrating humans into ecology: Opportunities and challenges for studying urban ecosystems. BioScience 53(12), 1169-1179.

Alborz Provincial Meteorological Administration, 2025. Comparative statistics of 2025 for meteorological stations in Alborz province. (In Persian)

Ayda, B.A., Goshime, D.W., Finsa, M.M., Ayalew, A.T., 2024. Urban stormwater management under various runoff conditions for Arba Minch town of southern Ethiopia. Natural Hazard Research 189.

Babaei, S. Z., & Mehrzanjani, M. M. P. 2026. Application of advanced phytoremediation techniques in soils and waters contaminated with heavy metals (Case study: Eshtehard Industrial Town). In Development Engineering Conferences Center Articles Database 3(10).

Baharavaran Nastaran Company, 2021. Detailed watershed management and flood control plan for the northern basins of Azimiyeh district, Karaj metropolis. Green Space Deputy (Water Unit), Parks Organization of Karaj Municipality, Iran. (In Persian)

Bahrami, F., Hemmati, M., 2020. Landscape resilience, an examination and evaluation of existing definitions in the field of landscape resilience: A brief review of literature. MANZAR, the Scientific Journal of Landscape 12(50), 40-49. (In Persian)

Bai, C., Wang, Y., 2025. Structural design and simulation analysis of large permeable parking lot in sponge city based on SWMM. Archives of Civil Engineering 331-344.

Barakbaf, N.S., 2024. Investigating the role of urban green spaces in sustainable urban development. Geography and Human Relationships 6(3), 618-632. (In Persian)

Beheshti, F., Tajbakhsh, M., Shahidi, A., 2022. Evaluating the effect of water harvesting methods on urban runoff (Case study: Birjand urban watershed). Journal of Rainwater Catchment Systems 10(1), 112. (In Persian).

Cutter, S.L., Barnes, L., Berry, M., Burton, C., Evans, E., Tate, E., Webb, J., 2008. A place-based model for understanding community resilience to natural disasters. Global Environmental Change 18(4), 598–606.

Danekar, A., Azizi Jalilian, M., 2013. Comprehensive green space plan of Karaj City: Green space action program report for districts 1, 2,… and 9 of Karaj Municipality. Office of Planning and Research

Supervision, University of Tehran; Parks and Green Space Organization of Karaj Municipality; Karaj Municipality; Alborz Province Governorate, Iran. (In Persian)
Farzad Behtash, M.R., Ertefaei, F., 2022. Introducing three innovative approaches to urban runoff management to replace creative methods aimed at solving related problems in urban spaces. Scientific Journal Urban Design Discourse 2(3), 43-57. (In Persian)
Folke, C., 2016. Resilience (republished). Ecology and Society 21(4), 44.
Fotouhi Ahl, F., Belali Oskoyi, A., Shahbazi, Y., 2020. Optimization of townscapes with emphasize on flood resilience. Iranian Journal of Architecture and Urbanism 13(2), 419-434. (In Persian)
Gnecco, I., Pirlone, F., Spadaro, I., Bruno, F., Lobascio, M.C., Sposito, S., Pezzagno, M., Palla, A., 2024. Participatory mapping for enhancing flood risk resilient and sustainable urban drainage: A collaborative approach for the Genoa case study. Sustainability 16(5), 1936.
Godschalk, D.R., 2002. Urban hazard mitigation: Creating resilient cities. Natural Hazards Review 3(4), 136-143.
Goldani, M., 2024. Strengthening urban resilience through landscape architecture: A comprehensive review of strategies and best practices. Flower and Ornamental Plants 9(2), 185-206.
Hesari, E., Akhoond-Ali, A.M., Maddah, M.A., 2024. Simulating urban surface runoff and prioritizing low-impact development methods using the SWMM model (Case study: Neyshabur). Water and Irrigation Management 14(2), 263-275.
Hosseinpour Moghadam, M., Lashkaripour, G., Ghafoori, M., Dehghan, P., 2014. Sustainable water resources management in urban projects: Case study of Chehel Bazeh National Park, Mashhad. In: 8th Iranian Conference on Engineering Geology and Environment, Mashhad, Iran. (In Persian)
Hosseinzadeh Kuhi, H., 2022. Vulnerability and reliability of the runoff collection network of District 10 of Tehran Municipality in the face of urban flooding. Journal of New Research in Sustainable Water Engineering 1(2), 75-86. (In Persian)
Iran Meteorological Organization, 1995. Rainfall intensity–duration–frequency (IDF) relationships: Karaj synoptic meteorological station. Applied Meteorological Research Center, Ministry of Roads and Transportation.
Karkhaneh, G., Sahraeinejad, N., Mousavi Fatemi, H., 2023. A study on proposed urban highways landscape design elements and indicators with a landscape resilience enhancement approach. Armanshahr Architecture & Urban Development 15(41), 153-168. (In Persian)
Karimi, H., 2021. Urban green infrastructure design with an approach to urban runoff management and low impact development (LID). Master's thesis, Department of Horticultural Science and Landscape Architecture, Faculty of Agriculture, Campus of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Iran. (In Persian)
Khalighi Sigaroodi, S., Shahri, M., Ebrahimi, S., 2012. Comprehensive green space plan of Karaj City: Climate and meteorology report. Office of Planning and Research Supervision, University of Tehran; Parks and Green Space Organization of Karaj Municipality; Karaj Municipality; Alborz Province Governorate, Iran. (In Persian)
Kianian Golafshani, M., Amin Bidokhti, S., 2021. Types of non-conventional waters and their management in arid and semi-arid regions of Iran. In: The 2nd National Conference on Management Strategies of Water Resources & Environmental Challenges, Sari, Iran. (In Persian)
La Rosa, D., Pappalardo, V., 2020. Planning for spatial equity: A performance-based approach for sustainable urban drainage systems. Sustainable Cities and Society 53, 101885.
Meerow, S., Newell, J.P., Stults, M., 2016. Defining urban resilience: A review. Landscape and Urban Planning 147, 38-49.
Miremadi, S.Z., Karami, H., Hosseyni, K., Hashemi, S.A.A., 2020. Reducing flood in urban basins using LID-BMPs in SWMM model and selecting the best option with AHP-TOPSIS: A case study of Golestan area in Semnan. Iranian Journal of Ecohydrology 6(4), 1003-1013. (In Persian)
Moayeri, M., Entezar, M., 2008. Floods and review floods in province of Esfahan. Journal of the Studies of Human Settlements Planning (Journal of Geographical Landscape) 3(6), 109-123. (In Persian)
Mohammadkhani, M., Masnavi, M.R., Rezaei Hariri, M.T., Mirmoghtadaee, M., 2020. Integrated urban water management (IUWM) framework codification in architectural and urban design: The case of Hashtgerd Young City Project. Space Ontology International Journal 9(4), 29-41.
Nazari, B., Kanani, E., 2025. Rainwater harvesting in agriculture and rural areas: Strategic importance and legal requirements. Reports 33(4), e20813. (In Persian)

Nazari, F., 2017. Urban pathway design with optimal use of water based on urban watershed techniques: A case study of Esteghlal Boulevard, District 1, Karaj. Master's thesis, Department of Horticultural Science and Landscape Architecture, Faculty of Agriculture, Campus of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Iran. (In Persian)

Nilubon, P., Laeni, N., 2024. Re-thinking new possibilities for urban climate resilience planning in Bangkok: Introducing adaptation pathways through a multidisciplinary design workshop. Environmental Science & Policy 154, 103711.

Noori, M., Rezaei, M.R., Hosseini, S.M., Mansourian, H., 2023. Explaining the necessity of using modern methods in the management of urban runoff with the approach of increasing resilience against floods (Case study: Shiraz city). Geographical Urban Planning Research 11(1), 27-49. (In Persian)

Nwokediegwu, Z.Q.S., Ugwuanyi, E.D., Dada, M.A., Majemite, M.T., Obaigbena, A., 2024. Urban water management: A review of sustainable practices in the USA. Engineering Science & Technology Journal 5(2), 517-530.

Office of Engineering and Technical Standards for Water and Wastewater, 2012. Publication No. 310: Guideline for classification and coding of watersheds and study areas at the national level. Strategic Supervision Deputy of the Ministry of Energy; Vice Presidency for Strategic Planning and Supervision of the Islamic Republic of Iran. (In Persian)

Oraei Zare, S., Alizadeh Sanami, F., 2025. Investigation of multi-objective optimization algorithms for the design of urban spaces with a focus on quantitative and qualitative control of urban runoff. Water and Soil Management and Modelling 5(1), 301-316. (In Persian)

Pickett, S.T.A., Cadenasso, M.L., Grove, J.M., 2004. Resilient cities: Meaning, models, and metaphor for integrating the ecological, socio-economic, and planning realms. Landscape and Urban Planning 69(4), 369-384.

Poorhasan Mehrzanjani, M.M., Zandi Babaei, S., Malekian, A., 2026. A systematic meta-analysis of water governance: From challenges to sustainable strategies in Iran. Natural Resources Governance. Advance online publication. (In Persian)

Sabokro, D., Bahrami, F., Motedayen, H., 2021. Resilience planning and design of urban rivers in the face of flood disturbances (A case study: The resilience planning of the River Darakeh). MANZAR, the Scientific Journal of Landscape 13(55), 62-75. (In Persian)

Salajegheh, A., Sanjari, M., 2012. Comprehensive green space plan of Karaj City: Hydrology report. Office of Planning and Research Supervision, University of Tehran; Parks and Green Space Organization of Karaj Municipality; Alborz Province Governorate. (In Persian)

Serati, P., Asghari Kolshani, F., 2020. Urban runoff management with the green filters and the Internet of Things. Water, Soil and Air Protection 1(1), 26-31. (In Persian).

Schulze, J., Gehrmann, S., Somvanshi, A., Rudolph-Cleff, A., 2024. From district to city scale: The potential of water-sensitive urban design (WSUD). Water 16(4), 582.

Shaali, J., Sanaei, M., 2010. Analysis urban network path in convert by city morphology. Journal of Human Geography 2(3), 137-152. (In Persian)

Suresh, A., Pekkat, S., Subbiah, S., 2023. Quantifying the efficacy of low impact developments (LIDs) for flood reduction in micro-urban watersheds incorporating climate change. Sustainable Cities and Society 95, 104601.

Tahmoures, M., 2022. Urban water challenges and stormwater management (Case study: Urban watershed of Karaj). Water Conservation and Utilization 2(4), 41–51. (In Persian)

Taji, S.G., Regulwar, D.G., 2021. LID coupled design of drainage model using GIS and SWMM. ISH Journal of Hydraulic Engineering 27(sup1), 376-389.

United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR), 2004. Terminology on disaster risk reduction. United Nations.

Van Dijk, M.P., 2024. Different paradigms for dealing with urban water issues, using new technological and governance solutions, learning from Chinese, Indian and European experiences. Journal of Water and Health, jwh 2024365.

Walker, B., Salt, D., 2006. Resilience thinking: Sustaining ecosystems and people in a changing world. Island Press, Washington.

Zakizadeh, F., Moghaddam Nia, A., Salajegheh, A., Ardeshir, A., 2020. Evaluating the performance of SWMM model to simulate urban runoff hydrograph (Case study: Part of District 22 of Tehran). Rangeland and Watershed Management (Iranian Journal of Natural Resources) 73(2), 337-346.

Zanandrea, F., Silveira, A.L.L.D., 2018. Effects of LID implementation on hydrological processes in an urban catchment under consolidation in Brazil. Journal of Environmental Engineering 144(9), 04018072.

Zandi Babaei, S., Taheri, M. R. & Malekian, A., 2026. Urban Runoff Hydrological Modeling with a Low-Impact Development Approach (Case Study: North Taleghani Boulevard, Karaj). Journal of Ecohydrology. Advance online publication. (In Persian)

Zandi Babaei, S., 2025. Landscape redesign of urban pathways using watershed management and rainwater harvesting techniques towards urban resilience (Case study: N Taleghani Blvd, Karaj City). Master's thesis, Faculty of Agriculture, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Iran. (In Persian)

Zandi Babaei, S., 2026. Rethinking urban runoff in urban resilience: Drainage or landscape creation? Maktab Naqd-e-NAZAR 7(2). (In Persian)

Zandi Babaei, S., Poorhasan Mehrzanjani, M.M., 2026. Biophilic landscape design as a strategy to cope with the water crisis in urban spaces: Case study of the stepped landscape of Chamran Park, Karaj. Urban Development Policy Making 3(3) 517-540. (In Persian)