

Strategic analysis of the sponge city for zoning areas susceptible to green infrastructure development in Zanjan city

Majid Hazrati ¹, Mohammad Taghi Heydari ²

1- PhD Student in Geography and Urban Planning, Department of Geography, Faculty of Social Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran

2- Associate Professor, Department of Geography, Faculty of Social Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Received:
2025/11/12

Accepted:
2025/12/01

pp:
142- 157

Keywords:
Sponge City;
City Zoning;
Green Infrastructure;
Urban Flooding;
Zanjan City.

ABSTRACT

The sponge city approach, as a new paradigm in sustainable surface water management, is a strategic response to the challenges arising from accelerated urban development and changes in the natural hydrological cycle. The present study is a descriptive-analytical study following a strategic analysis of the sponge city approach for zoning areas susceptible to green infrastructure development in the city of Zanjan. The research indicators are in two categories: objective statistical data that were extracted and analyzed in the form of a map, and GIS analyses. The second is subjective data in the form of sponge city components, including 4 welfare-cultural components: supporting, regulating the city ecosystem, and productive. For data analysis, the fuzzy overlap technique in the GIS environment, the one-sample T-test with SPSS software and the Structural Equation Modeling with SmartPLS software were used. The research findings show that 40% of the city area (mainly in the southern and southwestern regions) is located in areas with high and very high priority for flooding. These critical areas are mainly characterized by a slope of less than 5 percent, a high density of hard tissue (more than 60%), and a distance of more than 500 meters from the main waterways. Thus, the concentration of critical flood hotspots is in the southern and southwestern regions of the city. Also, the production components with a coefficient of 36.83 and the support components with a coefficient of 41.32 are in a relatively favorable state. On the other hand, according to the structural equation model analysis, the welfare-cultural component with a path coefficient of 3.356 has the largest contribution to explaining the sponge city in Zanjan. Overall, realizing a sponge city in Zanjan requires a serious determination to transform integrated surface water management, redesign urban spaces based on permeability patterns, and combine technical solutions with improving cultural-welfare indicators.



Citation: Hazrati, M., & Heydari, M. T. (2026). Strategic analysis of the sponge city for zoning areas susceptible to green infrastructure development in Zanjan city. *Journal of Geography and Regional Future Studies*, 4(2), 142-157.



© Authors retain the copyright and full publishing rights. **Publisher:** Urmia University.

DOI: <https://doi.org/10.30466/grfs.2025.56763.1174>

DOR: <https://dorl.net/dor/20.1001.1.2981118.1405.4.2.8.5>

¹ **Corresponding author:** Mohammad Taghi Heydari, **Email:** mt.heydari@znu.ac.ir, **Tell:** +989127407087

Extended Abstract

Introduction

The Sponge City approach, as a modern paradigm in sustainable stormwater management, serves as a strategic response to the challenges posed by rapid urban development and the alteration of natural hydrological cycles. By leveraging Blue-Green Infrastructures (BGI) and Nature-Based Solutions (NBS), this approach strengthens urban resilience against flooding and waterlogging, improves citizens' quality of life, and preserves the health of urban ecosystems. Emphasizing the use of "green infrastructures"—such as green roofs, rain gardens, and infiltration basins—the Sponge City concept aims to mimic the natural water cycle by facilitating infiltration, storage, filtration, and evapotranspiration at the source, thereby increasing urban resilience. Consequently, "the design of sponge cities with a rainwater absorption and retention approach can contribute to improving residents' quality of life and preventing pollution. The significance of this lies in mitigating the negative impacts of water crises and enhancing urban resilience" (Jamshidi, 2024: 1). Generally, the Sponge City approach is designed for the protection, sustainable management, and ecological restoration of ecosystems against environmental damage (Oral et al., 2020: 112-136). Considering spatial characteristics and aiming to utilize existing potentials (such as green spaces) while reducing vulnerable points (such as flood bottlenecks), this research undertakes the zoning of areas suitable for implementing Sponge City solutions to leverage existing natural and man-made capacities for enhancing the hydrological resilience of Zanjan within the framework of passive defense.

Methodology

This study employs a descriptive-analytical method to conduct a strategic analysis of the Sponge City approach for zoning areas suitable for green infrastructure development in Zanjan. The research indicators are categorized into two groups: first, objective statistical data extracted and analyzed as maps via GIS analysis; and second, subjective data in the form of Sponge City components, which include four dimensions: Socio-cultural, Supportive, Urban

Ecosystem Regulator, and Productive. Data analysis was performed using Fuzzy Overlay techniques within a GIS environment, One-sample T-tests in SPSS software, and Structural Equation Modeling (SEM) using SmartPLS software.

Results and discussion

An examination of the "Urban Street Network" map reveals its role as a secondary artery for runoff collection and a primary factor in surface water permeability in sponge cities. The high density of the street network in the central and northern parts of the city generates a massive volume of runoff, injecting it into the main system. Unlike the surface water conveyance systems in other sponge cities, these streets in Zanjan function as rapid conveyance channels toward the southern part of the city. The analysis of the "Urban Watercourse and Flood Network" map, representing Zanjan's natural drainage system, indicates that flood paths align closely with the city's natural slope lines. Areas where the flood network undergoes sharp directional changes or convergence represent critical points; the efficiency of surface water conveyance and drainage heavily depends on these bottlenecks. During heavy rainfall, these areas occasionally fail to fulfill their primary roles, leading to waterlogging and runoff diversion into the streets. An analysis of the "Urban Soft and Hard Scape" map shows that the "soft scape" (areas without concrete or asphalt cover) allows for rainfall infiltration. These infiltration systems are primarily located in the south, east, and west of the city, while the center and north of the city act as impervious surfaces, built-up areas, and asphalted pathways, characterized by high population density and urban sprawl, are less resilient than other urban fabrics, making them highly susceptible to flooding and waterlogging. An analysis of the city's waterlogging susceptibility map during heavy rainfall indicates that the southern and southwestern regions are predominantly prone to flooding. These areas coincide precisely with the downstream points of the water conveyance system and regions with gentle slopes. Consequently, the areas where the highest number of drainage lines converge are identified as the red zones of waterlogging.

Accordingly, based on the final mapping, the southern part of the city has been identified as the primary critical hotspot due to its position in the downstream of the catchment area, the convergence of torrents and water conveyance channels, gentle slopes (less than 5%), and high density of impervious built-up surfaces. Additionally, the central areas are ranked as high priority for flooding, primarily due to the compactness of the built environment, their distance from the main torrent networks, and the deterioration of the street and drainage networks.

Qualitative evaluation of the indicators reveals that while the productive components, with a mean of 3.38 and a t-value of 36.83, and the supportive components, with a mean of 3.02 and a t-value of 41.32, are in a relatively favorable state, the socio-cultural and urban ecosystem regulator components, which play a key role in long-term sustainability, fall short of the desired status. Furthermore, Structural Equation Modeling (SEM) corroborates that the socio-cultural component, with a path coefficient of 3.356, holds the greatest contribution to explaining the "Sponge City" concept in Zanjan. In aggregate, it can be inferred that realizing a Sponge City in Zanjan requires a dual focus on enhancing socio-cultural capabilities and

strengthening ecological infrastructures. These two dimensions can act synergistically to foster the sustainable and resilient development of Zanjan against hydrological and environmental challenges.

Conclusion

Achieving a Sponge City in Zanjan necessitates a serious commitment to transforming integrated stormwater management, redesigning urban spaces based on permeability patterns, and integrating technical solutions with the enhancement of socio-cultural indicators. Only through this integrated approach can Zanjan be transformed into a flood-resilient city that not only manages hydrological threats but also enhances the quality of life for its citizens.

Funding: There is no funding support.

Authors' Contribution: The authors contributed equally to the conceptualization and writing of the article. All of the authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work.

Conflict of Interest: The authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments: We are grateful to all the scientific consultants of this paper.



تحلیل راهبردی رویکرد شهر اسفنجی برای پهنه‌بندی مناطق مستعد توسعه زیرساخت‌های سبز در شهر زنجان

مجید حضرتی^۱ و محدثی حیدری^۲

۱- دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، گروه جغرافیا، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۲- دانشیار، گروه جغرافیا، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	رویکرد شهر اسفنجی به‌عنوان پارادایمی نوین در مدیریت پایدار آب‌های سطحی، پاسخی راهبردی به چالش‌های ناشی از توسعه شهری شتابان و تغییر چرخه هیدرولوژیکی طبیعی است. این رویکرد با بهره‌گیری از زیرساخت‌های سبز-آبی و راه‌حل‌های طبیعت‌محور، تقویت تاب‌آوری شهری در برابر سیلاب و آب‌گرفتگی، به بهبود کیفیت زندگی شهروندان و حفظ سلامت اکوسیستم‌های شهری منجر می‌شود. پژوهش حاضر با روش توصیفی-تحلیلی به بررسی و تحلیل راهبردی رویکرد شهر اسفنجی برای پهنه‌بندی مناطق مستعد توسعه زیرساخت‌های سبز در شهر زنجان پرداخته است. شاخص‌های تحقیق در دودسته، داده‌های آماری عینی که در قالب تحلیل‌های GIS به‌صورت نقشه استخراج و تحلیل گردید. دوم داده‌های ذهنی در قالب مؤلفه‌های شهر اسفنجی شامل ۴ مؤلفه رفاهی-فرهنگی؛ حمایتی؛ تنظیم‌کننده اکوسیستم شهر؛ و تولیدی می‌باشد. برای تحلیل داده‌ها از تکنیک همپوشانی فازی در محیط GIS و آزمون تک‌نمونه‌ای T با نرم‌افزار SPSS و مدل معادلات ساختاری با نرم‌افزار SmartPLS استفاده شد. یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد که ۴۰ درصد از مساحت شهر (عمدتاً در مناطق جنوبی و جنوب‌غربی) در پهنه‌های با اولویت بالا و بسیار بالا برای آب‌گرفتگی قرار دارند. این مناطق بحرانی عمدتاً با شیب کمتر از ۵ درصد، تراکم بالای بافت سخت (بیش از ۶۰٪) و فاصله بیش از ۵۰۰ متر از مسیرهای اصلی مشخص می‌شوند. بدین ترتیب، تمرکز کانون‌های بحرانی آب‌گرفتگی در مناطق جنوبی و جنوب‌غربی شهر است. همچنین، مؤلفه‌های تولیدی با ضریب ۳۶/۸۳ و حمایتی با ضریب ۴۱/۳۲ در وضعیت نسبتاً مطلوبی قرار دارند، از طرفی، طبق تحلیل مدل معادلات ساختاری، مؤلفه رفاهی-فرهنگی با ضریب مسیر ۳/۳۵۶ بیشترین سهم را در تبیین شهر اسفنجی در زنجان دارد. در مجموع، تحقق شهر اسفنجی در زنجان نیازمند عزمی جدی برای تحول در مدیریت یکپارچه آب‌های سطحی، بازطراحی فضاهای شهری بر اساس الگوهای نفوذپذیری و تلفیق راهکارهای فنی با ارتقای شاخص‌های فرهنگی-رفاهی است.
دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۲۱	
پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۱۰	
صص: ۱۴۲-۱۵۷	
واژگان کلیدی: شهر اسفنجی، پهنه‌بندی شهر، زیرساخت سبز، سیلاب شهری، شهر زنجان	

استناد: حضرتی، مجید؛ و حیدری، محدثی. (۱۴۰۵). عنوان مقاله. فصلنامه جغرافیا و آینده‌پژوهی منطقه‌ای، ۴(۲)، ۱۴۲-۱۵۷.

ناشر: دانشگاه ارومیه.

© نویسندگان حق چاپ و حقوق نشر را حفظ می‌کنند.



DOI: <https://doi.org/10.30466/grfs.2025.56763.1174>

DOR: <https://dorl.net/dor/20.1001.1.2981118.1405.4.2.8.5>



مقدمه

شهرنشینی شتابان و توسعه کالبدی شهرها در دهه‌های اخیر، پیامدهای زیست‌محیطی متعددی را به همراه داشته که از جمله آن‌ها می‌توان به تغییر در چرخه هیدرولوژیکی طبیعی اشاره کرد (Hoseinpour et al., 2024- Mousavi et al., 2024: 1- Hassanpour et al, 2024). گسترش روزافزون سطوح نفوذناپذیر^۱ نظیر آسفالت، بتن و بام‌ها، موجب کاهش نفوذ آب به خاک و افزایش حجم و دبی رواناب سطحی شده است. به عبارت دیگر، توسعه شهری و استفاده از مصالح غیرقابل نفوذ در ساخت‌وسازها مانع از جذب آب باران در خاک شده است (Lin et al, 2018: 88-96). این پدیده، مدیریت سنتی آب‌های سطحی را با چالش‌های جدی مواجه ساخته و شهرها را در برابر مخاطراتی همچون آب‌گرفتگی معابر و سیلاب‌های ناگهانی، آسیب‌پذیرتر کرده است. از این‌رو، کنترل بلایای طبیعی از جمله سیل و اقدامات پیشگیری از آن به دلیل خسارات بالقوه زیاد به زیرساخت‌های شهری، نیاز به‌فوریتر دارد (Mousavi et al., 2025: 84- Bagheri & Aghayri, 2025). لذا، «توجه به خدمات اکوسیستم در برنامه‌ریزی شهر اسفنجی که توسط زیرساخت‌های سبز-آبی ارائه می‌شود اهمیت زیادی دارد» (Nouri et al, 2023: 133). در برابر روش‌های سنتی مقابله با این پدیده (مانند احداث کانال‌های بتنی و شبکه‌های زهکشی بزرگ‌مقیاس) که اغلب پرهزینه، غیرمنعطف و با پیامدهای زیست‌محیطی همراه هستند، همان‌گونه که فلچر و همکاران^۲ (۲۰۱۵) به‌طور مفهیم مختلف مدیریت آب شهری اشاره داشته‌اند، «رویکرد شهر اسفنجی^۳» در مدیریت پایدار آب‌های سطحی مطرح شده است (Fletcher et al, 2015: 525-542). نگوین و همکاران^۴ (۲۰۱۸) در تحقیقات خود به‌طور انتقادی روش‌های مرسوم مدیریت منابع آب را بررسی کردند و سپس مفهوم شهر اسفنجی و اعمال و اجرای آن و همچنین محدودیت‌ها و فرصت‌های آن را موردبررسی قرار دادند و بیان کردند که این مفهوم دارای چهاراصل شامل: منابع آب شهری، مدیریت زیست‌محیطی آب، زیرساخت‌های سبز و پیاده‌روهای نفوذپذیر است (Nguyen et al, 2019: 147-162). امروزه راه‌حل‌های طبیعت‌محور به‌عنوان رویکردی نوین و جامع‌نگر جهت حل چالش‌های آبی، افزایش تاب‌آوری و تحقق مدیریت پایدار منابع آب شهری مطرح شده است (Nouri and Rezaei, 2023: 1). این رویکرد با تأکید بر استفاده از «زیرساخت‌های سبز^۵» نظیر بام‌های سبز، باغچه‌های بارانی و حوضچه‌های نفوذی، در پی آن است تا با تقلید از چرخه طبیعی آب، امکان نفوذ، ذخیره، تصفیه و تبخیر رواناب را در مبدأ ایجاد کند و تاب‌آوری شهری را افزایش دهد. بدین ترتیب، «طراحی شهرهای اسفنجی با رویکرد جذب و نگهداشت آب باران می‌تواند به بهبود کیفیت زندگی ساکنان و جلوگیری از آلودگی کمک کند. اهمیت این موضوع در کاهش اثرات منفی بحران‌های آبی و ارتقاء تاب‌آوری شهری نهفته است» (Jamshidi, 2024: 1). مفهوم شهر اسفنجی از لحاظ معنایی بیان‌کننده اقداماتی است که دولت چین برای مدیریت آب‌های سطحی به‌کاربرده است که این مفهوم شباهت زیادی با دیگر روش‌ها و تکنیک‌های کنترل و مدیریت سیلاب دارد. صفت زیرساخت سبز در مفهوم شهر اسفنجی، ترکیبی از فضاهای آبی (دارای آب) و سبز (دارای پوشش گیاهی) است (Rostami et al, 2024: 218). به‌طورکلی، رویکرد شهر اسفنجی با هدف حفاظت، مدیریت پایدار، بازیابی اکوسیستم‌ها در برابر آسیب‌های زیست‌محیطی و اکولوژیکی طراحی شده‌اند (Oral et al, 2020: 112-136).

به‌طورکلی، رویکرد شهر اسفنجی، با تغییر پارادایم از «دفع سریع رواناب» به «جذب، ذخیره و استفاده از آن در محل»، نقش بی‌بدیلی در تحقق مدیریت یکپارچه و پایدار منابع آب شهری ایفا می‌کند. این رویکرد نه تنها با کاهش مستقیم بار شبکه‌های زهکشی و خطر آب‌گرفتگی، به ارتقای تاب‌آوری کالبدی شهر در برابر بارش‌های شدید می‌پردازد، بلکه از طریق افزایش نفوذپذیری و احیای چرخه طبیعی آب، به تقویت زیست‌بوم شهری، بهبود کیفیت هوا، تعدیل جزیره گرمایی و در نهایت، ارتقای کیفیت زندگی و پایداری محیطی شهر منجر می‌شود؛ بنابراین، شهر اسفنجی صرفاً یک راهکار فنی نیست، بلکه یک استراتژی راهبردی است که امنیت آبی، پایداری محیطی و تاب‌آوری شهری را در بلندمدت تضمین می‌کند. با این حال، پیاده‌سازی موفق این راهکار، مستلزم شناسایی دقیق مکان‌هایی است که دارای بیشترین پتانسیل و ضرورت برای استقرار چنین زیرساخت‌هایی هستند. یک اقدام یکسان در تمامی نقاط شهر، نه مقرون‌به‌صرفه است و نه کارآمد. موقعیت جغرافیایی و مورفولوژی شهر زنجان به‌گونه‌ای است که اگرچه تاکنون سیلاب بزرگ و مخربی در محدوده شهر رخ نداده، اما شرایط توپوگرافی و هیدرولوژی آن حاکی از آمادگی برای مخاطرات آب‌گرفتگی و انتقال سریع رواناب است. قرارگیری شهر روی پایانه آبرفتی زنجان‌چای و وجود ۹ مسیل اصلی با جهت شمالی-جنوبی، شبکه طبیعی هدایت آب را شکل داده است؛ با این حال، توسعه شهری و افزایش سطوح نفوذناپذیر می‌تواند ظرفیت جذب و نفوذ این سیستم را کاهش داده و در مواقع بارش‌های شدید، این کانال‌ها با اضافه‌بار مواجه شوند. همچنین، وجود ۳۰ پارک و فضای سبز با وسعت ۶۶۵ هکتار، اگرچه از نظر کمی امتیاز محسوب می‌شود،

¹ Impervious Surfaces² Felcher et al³ Sponge City Approach⁴ Nguyen et al⁵ Green Infrastructures

اما پراکندگی، موقعیت و کارکرد هیدرولوژیک این فضاها در ارتباط با مسیل‌ها و مناطق آبگیر شهر به‌طور سیستماتیک تحلیل نشده است؛ بنابراین، پژوهش حاضر با در نظر گرفتن این ویژگی‌های مکانی و با هدف بهره‌گیری از پتانسیل‌های موجود (نظیر فضاها (سبز) و کاهش نقاط آسیب‌پذیر (نظیر گلوگاه‌های مسیل)، به پهنه‌بندی مناطق مستعد اجرای راهکارهای شهر اسفنجی می‌پردازد تا از ظرفیت‌های طبیعی و مصنوع موجود برای ارتقای تاب‌آوری هیدرولوژیک شهر زنجان در چارچوب پدافند غیرعامل بهره‌گیرد. از این‌رو، مسئله اصلی پژوهش، عدم وجود یک برنامه مکانی‌شده و علمی برای شناسایی مناطق مستعد توسعه زیرساخت‌های سبز در شهر زنجان است.

پیشینه و مبانی نظری پژوهش

«شهر اسفنجی» یکی از طرح‌های نوینی است که در سال ۲۰۱۳ مطرح شده است و اخیراً به‌عنوان یک طرح برای شهر سبز-آبی موفق موردتوجه بسیاری از برنامه‌ریزان شهری قرار گرفته است. اساس پایه‌گذاری این طرح، استفاده از طبیعت در طراحی و اجرای زیرساخت‌های شهری در طیف وسیعی از مقیاس‌ها برای کنترل کمیت، مدیریت کیفیت، تأمین منابع آب و جلوگیری از آلودگی و استفاده از فرصت‌های گسترده‌تر برای ایجاد و حفظ مکان‌های قابل زیست‌تر برای ساکنین شهرها می‌باشد (Hamidi et al., 2021). گرچه، خاستگاه این اصطلاح عمدتاً به برنامه ملی دولت چین در سال ۲۰۱۴ برای ساخت شهرهای اسفنجی بازمی‌گردد، اما اصول آن ریشه در مفاهیم پایدارتر و جهانی‌تری مانند مدیریت یکپارچه منابع آب^۱، توسعه پایدار و زیرساخت سبز دارد. درواقع، شهر اسفنجی، یک پارادایم مدیریت آب شهری است که با الهام از عملکرد طبیعی یک اسفنج، هدف اصلی آن جذب، ذخیره، تصفیه و رهاسازی آرام آب‌های سطحی در محل است. این مفهوم، واکنشی است به چالش‌های ناشی از توسعه سریع شهری و گسترش سطوح نفوذناپذیر که چرخه هیدرولوژیکی طبیعی را مختل کرده و منجر به افزایش حجم و اوج رواناب، کاهش تغذیه آب‌های زیرزمینی و تشدید خطر سیلاب شده است (Jia et al., 2017). در شهر اسفنجی، زیرساخت‌های سبز-آبی به شکل یک شبکه برنامه‌ریزی راهبردی از عناصر طبیعی و نیمه‌طبیعی با سایر ویژگی‌های زیست‌محیطی است که با ارائه طیف گسترده‌ای از خدمات اکوسیستم مانند تصفیه آب، بهبود کیفیت هوا، فضایی برای تفریح و کاهش تأثیرات شدید اقلیمی و سازگاری طراحی و ساخته شده است (Europe Commission, 2019). به‌طور کلی، شهر اسفنجی بر چند اصل کلیدی استوار است:

- سازگاری با طبیعت^۲: به‌جای مقابله و کنترل طبیعت با کانال‌های بتنی عظیم (روش خاکستری)، این رویکرد در پی همکاری و تقلید از فرآیندهای طبیعی است.
 - مدیریت در مبدأ^۳: به‌جای انتقال مشکل به پایین‌دست، شهر اسفنجی از طریق راهکارهای غیرمتمرکز و پراکنده (مانند بام‌های سبز و حوضچه‌های نفوذی) سعی در مدیریت رواناب در همان محل تولید آن دارد.
 - انعطاف‌پذیری و تاب‌آوری^۴: این سیستم‌ها به‌گونه‌ای طراحی می‌شوند که در برابر رویدادهای شدید آب‌وهوایی (که به دلیل تغییر اقلیم افزایش یافته‌اند) انعطاف‌پذیر بوده و عملکرد خود را حفظ کنند.
 - ارائه خدمات چندمنظوره^۵: زیرساخت‌های شهر اسفنجی علاوه بر مدیریت آب، مزایای ثانویه‌ای مانند افزایش تنوع زیستی، ایجاد فضاهای تفریحی، کاهش اثر جزیره گرمایی شهری و بهبود کیفیت هوا را به ارمغان می‌آورند (Wang et al., 2018).
- در واقع یکی از نقش‌های اصلی شهر اسفنجی ارائه خدمات اکوسیستمی متنوع در بستر شهره است. این خدمات به‌عنوان منافعی است که افراد به‌صورت مستقیم یا غیرمستقیم از اکوسیستم به‌دست‌آمده می‌آورند و به چهار گروه خدمات تولیدی، تنظیمی، فرهنگی و پشتیبان حمایت قابل‌تقسیم‌اند که سه دسته اول به‌طور مستقیم بر مردم اثر گزارند و دسته چهارم بر استمرار تدارک سایر خدمات مذکور از سوی اکوسیستم‌ها حیاتی است (Nouri and Rezaei, 2023: 134). راهکارهای فنی شهر اسفنجی عمدتاً در قالب روش‌های مدیریت سیلاب شهری (LID) و زیرساخت سبز (GI) دسته‌بندی می‌شوند که به‌صورت یک «زنجیره عملیاتی» یکپارچه باید عمل کنند. این راهکارها عبارت‌اند از:
- راهکارهای نفوذپذیری: پیاده‌روهای نفوذپذیر، باغچه‌های بارانی، حوضچه‌های نفوذی.
 - راهکارهای ذخیره‌سازی: بام‌های سبز، مخازن ذخیره آب باران، حوضچه‌های نگهداشت.
 - راهکارهای تصفیه: زمین‌های تالابی، نوارهای فیلتراسیون (EPA, 2023: 168).

¹ IWRM

² Adapting to Nature

³ Source Control

⁴ Resilience

⁵ Multifunctionality

بدین ترتیب، شهر اسفنجی را می‌توان تجلی عینی و عملیاتی «شهر پایدار» و «شهر تاب‌آور» در حوزه مدیریت آب دانست. این مفهوم به‌طور مستقیم با چندین مورد از اهداف توسعه پایدار (SDGs) سازمان ملل، به‌ویژه هدف ششم (دسترسی به آب و بهداشت برای همه) و هدف یازدهم (ایجاد شهرها و سکونتگاه‌های همه‌شمول، ایمن، تاب‌آور و پایدار) در ارتباط است (United Nations, 2015: 73). از طرفی، در مناطقی که بهبود فضای سبز شهری مورد توجه قرار گرفته، کاهش قابل توجهی در انتشار آلاینده‌ها و افزایش قابل توجهی در سلامت عمومی مشاهده شده است (Ahangari & Yavari, 2025: 44). این رویکرد نشان می‌دهد که مدیریت آب دیگر یک بخش جداگانه و مهندسی محض نیست، بلکه جزئی جدایی‌ناپذیر از برنامه‌ریزی، طراحی و حکمرانی یکپارچه شهری است.

سیر تحولات نظری شهر اسفنجی

ایده اصلی شهر اسفنجی این است که شهر را مانند یک اسفنج طراحی کنیم تا بتواند در زمان بارش‌های شدید، آب را جذب، ذخیره و سپس در زمان نیاز دوباره آزاد کند. این مفهوم به‌عنوان پاسخی به دو چالش بزرگ قرن بیست‌ویکم مطرح شده است:

- سیلاب‌های شهری: ناشی از افزایش سطوح نفوذناپذیر (مانند آسفالت و بتن) و تغییرات اقلیمی.
- کم‌آبی و خشک‌سالی: به‌ویژه در شهرهای بزرگ (United Nations Environment Programme, 2021).

تحول اصلی در مفهوم شهر اسفنجی، گذار از «مدیریت خاکستری» مبتنی بر استفاده از کانال‌ها و لوله‌های بتنی برای دفع سریع آب به «مدیریت سبز-آبی» است که در آن از راهکارهای مبتنی بر طبیعت^۱ برای انطباق با چرخه هیدرولوژیکی استفاده می‌شود (World Bank, 2019). در کل، مفهوم شهر اسفنجی یک تحول اساسی در نگرش به آب و شهرسازی است. با وجود چالش‌ها، این پارادایم به‌سرعت در حال نهادینه شدن در سیاست‌های شهری در سراسر جهان (از اروپا تا آمریکای شمالی) است. آینده این مفهوم در ادغام هرچه بیشتر با شهر هوشمند (با استفاده از IoT برای مانیتورینگ بلادرنگ) و اقتصاد چرخشی (بازیافت و استفاده مجدد از آب) تعریف می‌شود (European Commission, 2020). مفهوم شهر اسفنجی برای اولین بار در سال ۲۰۱۲ توسط رئیس‌جمهور چین، شی جین پینگ، مطرح شد و بعد از شناسایی چند شهر توسط اداره کنترل سیلاب و خشکی کشور چین، این مفهوم در ماه دسامبر سال ۲۰۱۳ به‌طور رسمی در دستور کار قرار گرفت (Rostami et al, 2024: 218). چین با انتشار سند «راهنمای ساخت شهرهای اسفنجی» در سال ۲۰۱۵ توسط سازمان مسکن و توسعه شهری-روستایی^۲، به اولین و بزرگ‌ترین آزمایشگاه این مفهوم در جهان تبدیل شد. مهم‌ترین هدف این برنامه در چین شامل جذب و استفاده مجدد از حداقل ۸۰٪ آب باران در مناطق شهری تا سال ۲۰۳۰ عنوان شده است (Ministry of Housing and Urban-Rural Development China, 2015). در ایالات متحده، مفهوم شهر اسفنجی معمولاً به‌عنوان «زیرساخت سبز» یا «توسعه کم‌اثر» (LID) شناخته می‌شود. در استرالیا و هلند، رویکرد مشابه «طراحی شهری حساس به آب» (WSUD) توسعه یافته است. این رویکردها بر یکپارچه‌سازی چرخه آب در طراحی شهری و استفاده از راهکارهای طبیعت‌محور مانند باغ‌های بارانی و روسازی‌های نفوذپذیر تأکید دارند. مسئله مهم در زمینه توسعه شهرهای اسفنجی، علاوه بر هزینه بسیار سنگین در توسعه زیرساخت‌های مرتبط، اثربخشی این زیرساخت‌ها در برابر بارش‌های فوق سنگین همراه با نیاز به تقویت هم‌زمان زیرساخت‌های خاکستری می‌باشد (Chan et al, 2018).

زیرساخت‌های سبز

زیرساخت‌های سبز، رویکردی مبتنی بر طبیعت هستند که با تقلید از فرآیندهای هیدرولوژیکی طبیعی، هدف مدیریت رواناب شهری، بهبود کیفیت آب و افزایش تاب‌آوری شهری را دنبال می‌کنند (EPA, 2023: 31). عمده این زیرساخت‌ها عبارت‌اند از:

- **بام سبز:** سیستمی که بر روی پشت‌بام ساختمان‌ها اجرا شده و از لایه‌های گیاهی، محیط کشت، زهکش و عایق رطوبتی تشکیل شده است. در این سیستم، بخشی از بارش را از طریق گیاهان تبخیر-تعرق می‌کند و بخشی را در محیط کشت ذخیره و با تأخیر به سیستم زهکش تخلیه می‌کند. این امر موجب کاهش قابل توجه حجم و دبی اوج رواناب می‌شود (Berndtsson, 2010).
- **حوضچه نفوذی:** شیاری است که با مصالح سنگی درشت‌دانه (مانند شن و ماسه شکسته) پر شده و با یک لایه ژئوتکستایل پوشانده می‌شود. در این روش، رواناب جمع‌آوری شده را در فضای خالی بین سنگ‌ها به‌طور موقت ذخیره کرده و به تدریج به لایه‌های زیرین خاک نفوذ می‌دهد. این راهکار برای مناطقی با خاک با نفوذپذیری نسبتاً خوب مناسب است (Ferguson, 2005).
- **باغچه باران:** یک فرورفتگی یا گودی کم‌عمق در زمین که با خاک مهندسی شده نفوذپذیر و گیاهان مقاوم به خشکی و غرقابی پر شده و رواناب سطحی از سطوح مجاور (مانند پشت‌بام و پارکینگ) را به سمت خود هدایت می‌کند. در این سیستم، رواناب ورودی را به‌طور

¹ Nature-Based Solutions

² MOHURD

موقت ذخیره کرده و از طریق نفوذ به خاک و تبخیر-تعرق از بین می‌برد. همچنین با کمک گیاهان و خاک، آلاینده‌های رواناب (مانند فلزات سنگین و رسوبات) را تصفیه می‌کند. این سیستم به‌طور ویژه در حاشیه پارکینگ‌ها، مجاور ساختمان‌ها و در میانه بلوک‌های شهری قابل اجراست (Davis et al., 2009).

- **معابر نفوذپذیر:** سطوحی که امکان نفوذ آب باران از طریق آن‌ها به لایه‌های زیرین فراهم می‌شود. در این مدل، با جایگزینی سطوح نفوذناپذیر (مانند آسفالت)، حجم رواناب را کاهش داده و امکان تغذیه آب‌های زیرزمینی را فراهم می‌کند.
- **حوضچه‌های نگهداشت:** برای جمع‌آوری و مدیریت رواناب در مقیاس بزرگ‌تر مانند محله یا منطقه طراحی شده است. این سیستم، همیشه دارای یک استخر دائمی آب است و علاوه بر کنترل سیل، امکان تصفیه طبیعی آب از طریق فرآیندهای زیستی را فراهم می‌کند (Ferguson, 2005).

پیشینه تحقیق

مفهوم شهر اسفنجی در سال‌های اخیر به‌عنوان راهبردی نوین در مدیریت پایدار رواناب‌های شهری و افزایش تاب‌آوری در برابر سیلاب، موردتوجه محققان و برنامه‌ریزان شهری قرار گرفته است. مطالعات متعددی در سطح جهانی به بررسی راهکارهای مختلف زیرساخت‌های سبز از قبیل بام‌های سبز، باغچه‌های بارانی و معابر نفوذپذیر پرداخته و کارایی آن‌ها را در کاهش حجم رواناب و بهبود کیفیت آب مورد تأیید قرار داده‌اند. این پژوهش درصدد است تا با تلفیق معیارهای هیدرولوژیک، کالبدی و محیطی در محیط GIS، گامی مؤثر در این زمینه بردارد.

رستمی و همکاران (۱۴۰۳) در مقاله‌ای با عنوان بررسی استفاده از مفهوم شهر اسفنجی برای شهر سمنان برای پیشگیری از سیلاب، ذخیره و تخصیص بهینه آب نشان دادند که بیشترین سهم کمبود آب به بخش کشاورزی و بعدازآن به‌این‌ترتیب به بخش‌های شهری-صنعتی و تغذیه آب زیرزمینی اختصاص دارد؛ اما می‌توان مشاهده کرد که در سالی که بارندگی به آن اختصاص داده‌شده است یعنی سال ۲۰۲۱، نه‌تنها نیاز آبی خود را برطرف می‌کند بلکه می‌تواند تا سال ۲۰۳۰ نیازهای دو بخش شهری-صنعتی و تغذیه آب زیرزمینی را برطرف کند.

جمشیدی (۱۴۰۳) در مقاله‌ای با عنوان رویکرد شهرهای اسفنجی برای تحقق پایداری منابع آبی در شهرهای کویری نشان داد که پیاده‌سازی اصول این نوع طراحی شهری با بهره‌گیری از فناوری‌های نوین، آموزش ساکنان و استفاده از مصالح نفوذپذیر، می‌تواند به کنترل آب و بهبود منابع آبی در شهرهای کویری کمک کند.

نوری و همکاران (۱۴۰۲) در مقاله‌ای با عنوان ارزیابی نقش شهر اسفنجی به‌عنوان شهری سبز-آبی در ارتقاء سطح خدمات اکوسیستم شهر شیراز نشان دادند که مؤلفه تأمین آب پایدار از زیرمجموعه خدمات تولیدی، مؤلفه کنترل مؤثر رواناب شهری و کاهش آب‌گرفتگی معابر و مدیریت ریسک و خطر سیلاب از زیرمجموعه خدمات تنظیمی به‌این‌ترتیب با نمره اکتسابی ۲۶/۲۵، ۲۵/۵۵ و ۲۴/۷۸ مهم‌ترین مؤلفه‌های شهر اسفنجی هستند.

صمیمی و همکاران (۱۴۰۱) در پژوهشی با عنوان مروری بر اجزای شهرهای اسفنجی ساخته‌شده از بتن متخلخل در راستای توسعه پایدار نشان دادند که بتن متخلخل به‌عنوان فناوری نوین در توسعه فضاهای شهری به‌منظور کنترل رواناب‌های شهری در سال‌های اخیر در بسیاری از کشورهای پیشرفته تحت عنوان شهرهای اسفنجی موردتوجه بوده است. چالش‌های فراوانی در رسیدن به این مفهوم وجود دارد که اصلی‌ترین آن عدم وجود مدلی جامع و یکپارچه، با توجه به وجود ویژگی‌های اقلیمی و نیازهای متفاوت در مناطق مختلف یک کشور می‌باشد.

سونگ و همکاران^۱ (۲۰۲۵) در پژوهشی با عنوان ارزیابی تأثیر ساخت شهر اسفنجی بر تاب‌آوری اکوسیستم شهری: تحلیل‌های سودمندی و سازوکار نشان دادند که سیاست آزمایشی شهر اسفنجی نه‌تنها تاب‌آوری اکولوژیکی شهر را بهبود می‌بخشد، بلکه اثرات سرریز مثبتی بر شهرهای اطراف نیز ایجاد می‌کند و یک الگوی بهبود مشارکتی منطقه‌ای را تشکیل می‌دهد.

مبارکی^۲ (۲۰۲۵) در مقاله‌ای با عنوان شهر اسفنجی: الگویی در مدیریت بحران سیل شهری نشان دادند که نتایج نشان می‌دهد که شهر اسفنجی و اصول آن می‌تواند به توسعه پایدار در ابعاد زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی کمک کند. ساخت یک شهر اسفنجی می‌تواند توانایی شهرها را برای سازگاری با تغییرات زیست‌محیطی و مقابله با سیل بهبود بخشد و توسعه شهرها را به سمت مسیری سالم‌تر و پایدارتر تشویق کند. ما و همکاران^۳ (۲۰۲۴) در مقاله‌ای با عنوان توسعه شهر اسفنجی چین: جایگاه جهانی، حاکمیت و ارتقای پتانسیل با خدمات اکوسیستم نشان دادند که در مدیریت شهرهای مبتنی بر شهر اسفنجی چالش‌ها و مسائلی در مورد برنامه‌ریزی و مدیریت به‌ویژه وجود دارد که با فقدان یک رویکرد سیستماتیک مرتبط با پروژه‌های فیزیکی، عملکردهای اکوسیستم، تأثیر اجتماعی و اهداف توسعه شهری تحت تأثیر قرار می‌گیرد.

¹ Song et al

² Mobaraki

³ Ma et al

دنگ و همکاران^۱ (۲۰۲۳) در مقاله‌ای با عنوان برنامه‌ریزی و ساخت شهر اسفنجی و محیط آبی در منطقه جیبو در شهر چانگده نشان دادند که با اجرای پروژه شهر اسفنجی، نرخ کنترل جریان روان آب شهر و آلودگی ناشی از آن و همچنین مشکلات آب‌گرفتگی شهری و آب‌های سیاه و بدبو کاهش می‌یابد و در بلندمدت توسعه پایدار محیط آب شهری تضمین می‌گردد.

ژاو و همکاران^۲ (۲۰۲۲) در پژوهشی با عنوان مقایسه هزینه-فایده زیست‌محیطی و اقتصادی ساخت شهر اسفنجی در مناطق مختلف عملکردی شهری نشان دادند که برای منطقه مسکونی و محوطه و عمومی، روسازی نفوذپذیر به دلیل مصرف بتن کمتر، بیشترین تأثیر زیست‌محیطی و هزینه اقتصادی را دارد.

حمیدی و همکاران^۳ (۲۰۲۱) در مقاله‌ای با عنوان شهر اسفنجی-مفهومی نوظهور در مدیریت پایدار منابع آب نشان داد که در شهر اسفنجی با مدیریت آب‌های سطحی از طریق افزایش نفوذ، مهار، ذخیره‌سازی، تصفیه و زهکشی، تأثیر توسعه شهری بر مشکلات مربوط به آب و اکوسیستم‌های طبیعی کاهش می‌یابد.

نگوین و همکاران^۴ (۲۰۱۹) در پژوهشی با عنوان اجرای یک مدیریت آب شهری خاص - شهر اسفنجی به این نتیجه رسیدند که برای دستیابی به خدمات چند اکوسیستمی شهر اسفنجی، باید در مقیاس حوضه آبریز اجرا شود و بسته به سطوح مختلف تصمیم‌گیری یا ویژگی‌های حوضه آبریز، انعطاف‌پذیر باشد.

لی و همکاران^۵ (۲۰۱۶) در مقاله‌ای با عنوان مطالعات موردی برنامه شهر اسفنجی در چین نشان دادند که دولت چین بر اساس ویژگی‌های جغرافیایی، هیدرولوژیکی و اقتصادی ۱۶ شهر، طرح و اجرای شهر اسفنجی در ۱۶ شهر متفاوت از یک روش سرمایه‌گذاری و حمایت مالی جدید مبتنی بر مفهوم مشارکت عمومی-خصوصی برای مدیریت هزینه‌های ساخت و بهره‌برداری شهر اسفنجی استفاده کردند.

مواد و روش پژوهش

این پژوهش از نظر هدف، کاربردی و از نظر ماهیت و روش، توصیفی-تحلیلی است. داده‌های تحقیق بر مبنای اطلاعات دقیق و رسمی گردآوری شده از طرح جامع شهر زنجان مصوب ۱۴۰۱ و اطلاعات منتشر نشده از شهرداری زنجان می‌باشد که شامل آمارهای دقیق از شیب زمین، شبکه معابر، سیلاب‌های سالانه و حجم سیل و نقاط با آب‌گرفتگی در مواقع بارانی، است. داده‌ها و شاخص‌های تحقیق در دودسته، داده‌های آماری عینی که در قالب تحلیل‌های GIS به صورت نقشه استخراج و تحلیل گردید. داده‌های ذهنی در قالب شاخص‌ها و مؤلفه‌های شهر اسفنجی شامل ۴ مؤلفه به شرح جدول ۱ می‌باشد.

جدول ۱- شاخص‌های تحقیق

ابعاد	مؤلفه	شاخص
عینی	خصیصه‌های تبیین‌کننده شهر اسفنجی	۱. نحوه هدایت آب‌های سطحی؛ ۲. شبکه معابر شهر؛ ۳. شبکه آبراهه و مسیل شهر؛ ۴. بافت نرم و سفت شهر؛ ۵. سطح‌بندی آب‌گرفتگی شهر در بارندگی شدید؛ ۶. شیب زمین
	مؤلفه‌های رفاهی-فرهنگی	ارتقاء ارزش‌های زیباشناسی بصری و منظر شهری؛ بهبود سلامت شهری و کیفیت زندگی؛ ارتباط و دسترسی بهتر به طبیعت؛ ارتقاء حس هویت مکان و تعلق خاطر؛ ارتقاء زیست‌پذیری؛ و تفریح و اکوتوریسم
ذهنی	مؤلفه‌های حمایتی	ایجاد اکوسیستم‌های فعال؛ بهبود تنوع زیستی؛ حفظ، احیاء و تقویت پوشش گیاهی؛ بازیابی اکوسیستم‌های طبیعی؛ حفظ حاصلخیزی خاک؛ و پایداری محیط‌زیست
	مؤلفه‌های تنظیم‌کننده اکوسیستم شهر	تهویه و خنک‌سازی به روش طبیعی؛ افزایش فضای سبز؛ ایجاد فضاهای باز عمومی با کیفیت بالا؛ تنظیم چرخه آب؛ کنترل آلودگی شهری؛ ارتقاء سیستم زهکشی سنتی و افزایش سطوح نفوذپذیر؛ کنترل مؤثر رواناب شهری و کاهش آب‌گرفتگی معابر؛ کاهش بیماری‌های قابل انتقال از آب؛ تغذیه سقره‌های آب زیرزمینی و مدیریت ریسک و خطر سیلاب
	مؤلفه‌های تولیدی	تأمین آب پایدار؛ گسترش انرژی‌های پاک؛ کاهش مصرف انرژی فسیلی؛ و امنیت غذایی

منابع: Oral et al, 2020; Hamidi et al., 2021; Mobaraki, 2025; Nouri et al., 2023; Jamshidi, 2024; Rostami et al., 2024

¹ Deng et al

² Zhu et al

³ Hamidi et al

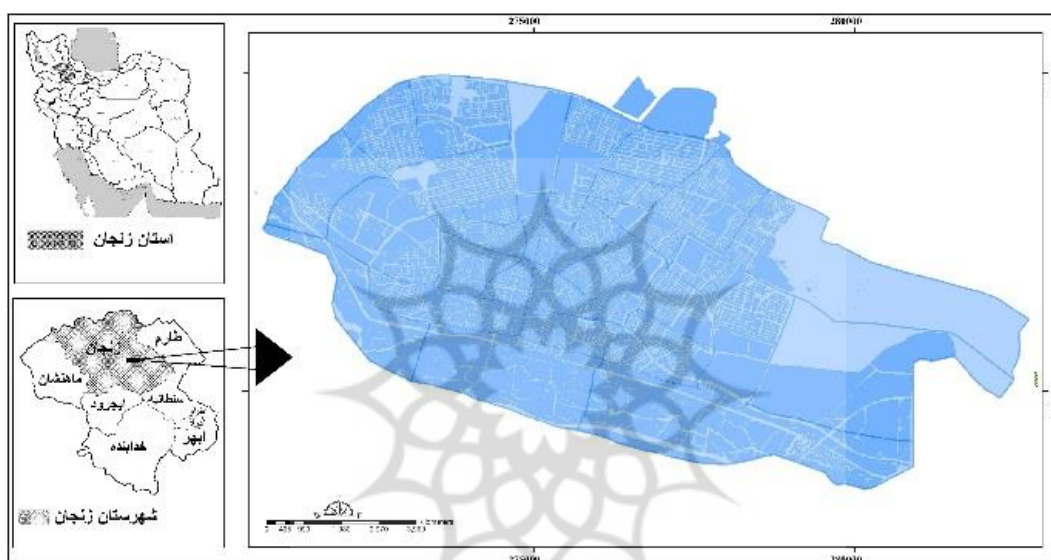
⁴ Nguyen et al

⁵ Li et al

روش تحلیل داده‌ها نیز به صورت ترکیبی انجام شد. در این زمینه، به منظور سنجش رابطه میان شاخص‌های شهر اسفنجی و وضع موجود شهر زنجان، از آزمون تک‌نمونه‌ای T با نرم‌افزار SPSS و مدل معادلات ساختاری با نرم‌افزار SmartPLS استفاده شد. همچنین، در تحلیل فضایی مبتنی بر GIS نیز داده‌ها در محیط نرم‌افزار ARC MAP وارد و لایه‌های مختلف شامل نحوه هدایت آب‌های سطحی؛ شبکه معابر شهر؛ شبکه آبراهه و مسیل شهر؛ بافت نرم و سفت شهر؛ سطح‌بندی آب‌گرفتگی شهر در بارندگی شدید؛ شیب زمین با استفاده از روش Weighted Overlay و منطق فازی روی هم‌گذاری شدند. این تحلیل فضایی امکان شناسایی پهنه‌های منطبق با خصیصه‌های شهر اسفنجی را فراهم کرد.

محدوده مورد مطالعه

شهر زنجان به عنوان مرکز استان زنجان در شمال غرب کشور بین مسیر ترانزیتی تهران- تبریز واقع شده است. موقعیت جغرافیایی این شهر منطبق بر ۴۸ درجه و ۲۹ دقیقه طول شوقی و ۳۶ درجه و ۴۰ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. جمعیت شهر نیز ۴۳۰۸۷۱ نفر است.



شکل ۱- موقعیت شهر زنجان در کشور

(ترسیم: نویسندگان، ۱۴۰۴)

بحث و ارائه یافته‌ها

تحلیل کمی فضایی خصیصه‌های شهر اسفنجی در شهر زنجان

بخش کمی این پژوهش با به کارگیری سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و رویکرد تحلیل چندمعیاره فضایی، به شناسایی و پهنه‌بندی مناطق مستعد اجرای راهکارهای شهر اسفنجی در شهر زنجان می‌پردازد. در این راستا، شش لایه معیار اصلی شامل شیب، شبکه مسیل‌ها، شبکه انتقال آب‌های سطحی، بافت نرم و سفت شهری، شبکه معابر و نقشه سطح‌بندی آب‌گرفتگی، تهیه و مورد تحلیل قرار گرفته‌اند. تلفیق این لایه‌ها در محیط GIS و با استفاده از روش همپوشانی فازی، امکان شناسایی عینی‌ترین و کارآمدترین مناطق برای استقرار زیرساخت‌های سبز را فراهم می‌سازد.

بررسی شیوه هدایت آب‌های سطحی شهر بر اساس شکل ۲ نشان می‌دهد که سیستم جمع‌آوری آب‌های سطحی در شهر منشأ آلودگی است. چراکه این سیستم، فاضلاب شهر را نیز انتقال می‌دهد. ترکیب آب باران و فاضلاب و انتقال آن به پایین دست شهر در رود «زنجان چای» موجب آلودگی آب رود و متعاقب آن آلودگی اراضی کشاورزی پایین دست می‌شود.

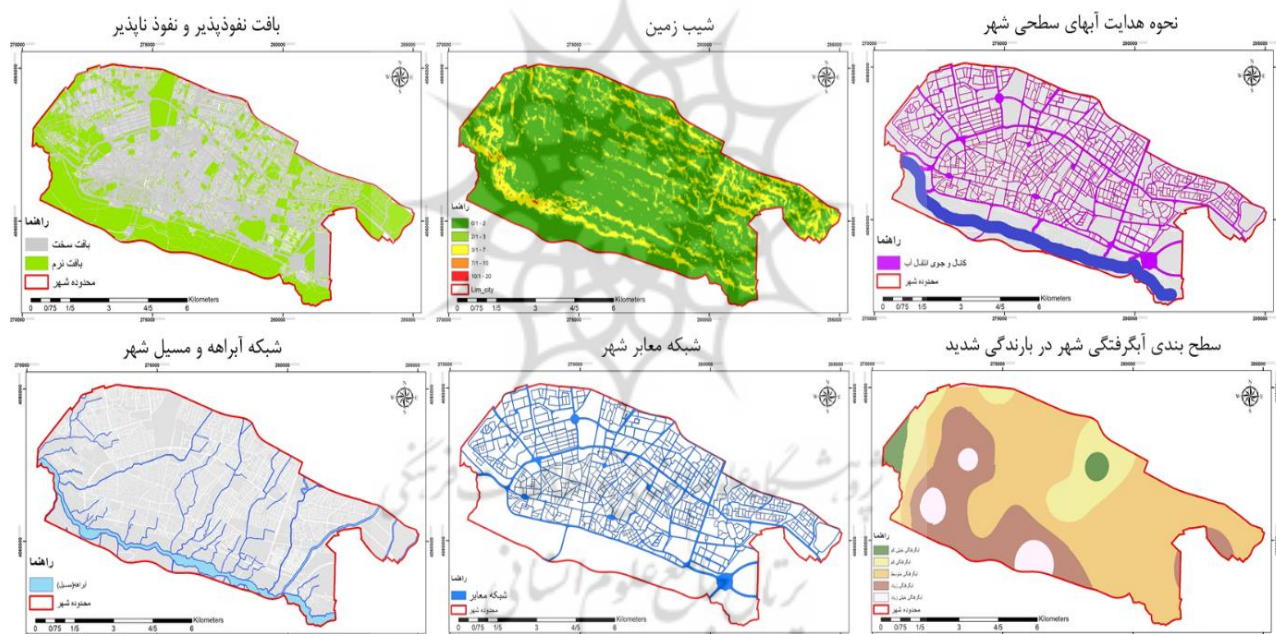
بررسی نقشه «شبکه معابر شهر» به عنوان شریان‌های فرعی جمع‌آوری رواناب و یکی از عوامل اصلی در نفوذپذیری آب‌های سطحی در شهرهای اسفنجی است. تراکم بالای شبکه معابر در مرکز و شمال شهر، حجم عظیمی از رواناب را تولید و به سیستم اصلی تزریق می‌کند. این معابر در شهر زنجان، برخلاف سیستم هدایت آب سطحی شهرهای اسفنجی، نقش کانال‌های انتقال سریع را به سمت جنوب شهر ایفا می‌کنند.

بررسی نقشه «شبکه آبراهه و مسیل شهر» به‌عنوان سیستم طبیعی زهکشی شهر زنجان نشان می‌دهد که مسیر مسیل‌ها کاملاً منطبق بر خطوط شیب طبیعی شهر است. مناطقی که شبکه مسیل‌ها تغییر جهت شدید یا همگرایی پیدا می‌کنند، نقاط حساس هستند. عمدتاً نحوه انتقال و زهکشی آب‌های سطحی به این نقاط و گلوگاه‌ها بستگی دارد. در برخی مواقع در بارندگی شدید، این مناطق نمی‌توانند نقش غالب خود را ایفا کنند. آب‌گرفتگی و انتقال آن به معابر اتفاق می‌افتد.

بررسی نقشه بافت نرم و سفت شهر نشان می‌دهد که بافت نرم شامل فضای باز بدون پوشش بتن و آسفالت است که باران و آب در آن به زمین نفوذ می‌کند. این فضا به‌عنوان سیستم زهکشی و نفوذ آب‌های سطحی عمدتاً در جنوب و شرق و غرب شهر قرار دارند. مرکز و شمال شهر به‌عنوان فضای سخت و فضای ساخته‌شده و معابر آسفالت با تراکم جمعیت و ساخت‌ساز، کمتر از این نوع بافت بهره‌مند است. لذا مستعد سیل و آب‌گرفتگی هستند.

بررسی نقشه سطح‌بندی آب‌گرفتگی شهر در بارندگی شدید نشان می‌دهد که مناطق جنوبی و جنوب‌غربی عمدتاً در معرض آب‌گرفتگی قرار دارند. این مناطق دقیقاً منطبق بر نقاط پایین‌دست سیستم هدایت آب و مناطقی با شیب ملایم هستند. بدین ترتیب، مناطقی که بیشترین خطوط هدایت آب به سمت آن‌ها همگرا می‌شوند، همان مناطق قرمز رنگ آب‌گرفتگی هستند.

بدین ترتیب، فضای فعلی شهر زنجان به‌گونه‌ای است که با بارش شدید و تولید رواناب سریع در معابر و سطوح نفوذناپذیر و انتقال آب‌های سطحی از طریق کانال‌ها و مسیل‌ها به سمت جنوب موجب همگرایی جریان‌ها در جنوب شهر می‌شود و با کاهش شیب و کاهش سرعت جریان منجر به اشباع ظرفیت شبکه انتقال آب‌های سطحی و آب‌گرفتگی می‌گردد.



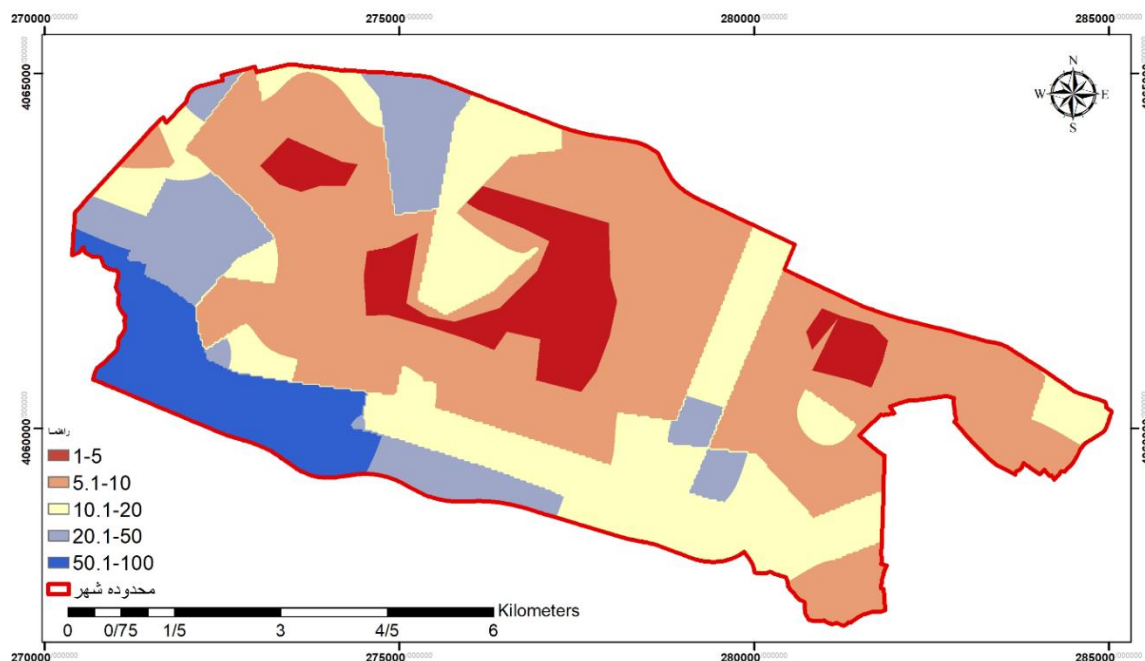
شکل ۲- نقشه‌های شهر زنجان بر اساس ساختار شهر اسفنجی

(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴)

نقشه نهایی حاصل تلفیق شش لایه معیار در محیط GIS و با استفاده از روش همپوشانی فازی است. بر اساس مقادیر پیکسل‌ها و طیف رنگی، شهر زنجان به ۶ کلاس اولویت تقسیم‌بندی شد. کانون بحرانی اصلی: پهنه‌ی نارنجی‌رنگ (اولویت بسیار بالا) در جنوب و جنوب‌غربی شهر واقع شده است.

بدین ترتیب، پهنه‌ی نارنجی و قرمز رنگ به‌عنوان کانون بحرانی اصلی در جنوب و جنوب‌غربی شهر واقع شده است پهنه‌ی زرد رنگ به‌عنوان کانون بحرانی ثانویه به‌صورت حلقه‌ای مناطق مرکزی و میانی شهر را فرا گرفته است. این محدوده نزدیک به ۴۰ درصد از سطح شهر به خود اختصاص داده است.

طبق بررسی نقشه نهایی، جنوب شهر به‌دلیل قرارگیری در پایین‌دست حوضه آبریز و همگرایی مسیل‌ها و کانال‌های انتقال آب و شیب ملایم (کمتر از ۵ درصد) و تراکم بالای بافت سفت به‌عنوان کانون بحرانی اصلی شناسایی شده است. همچنین، مناطق مرکزی عمدتاً به دلیل فشردگی بافت ساخته‌شده، دوری از شبکه اصلی مسیل‌ها و فرسودگی شبکه معابر و زهکشی در اولویت بالا قرار گرفته‌اند.



شکل ۳- نقشه نهایی وضعیت شهر زنجان بر اساس استانداردهای شهر اسفنجی با همپوشانی فازی
(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴)

طبق اهداف تحقیق، در بخش اول، با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و تلفیق لایه‌های معیار، به تحلیل عینی وضعیت موجود پرداخته شده تا پهنه‌های بحرانی و مستعد مداخله به‌طور مکانی شناسایی شوند. در بخش دوم، با به‌کارگیری پرسشنامه نخبه‌محور و آزمون‌های آماری، شاخص‌های شهر اسفنجی از دیدگاه متخصصان ارزیابی و رتبه‌بندی شده‌اند. این رویکرد ترکیبی، از یک سو وضعیت کالبدی و هیدرولوژیکی شهر را می‌سنجد و از سوی دیگر، اولویت‌های متخصصین را مشخص می‌کند. در این رابطه، از آزمون تک نمونه‌ای t و مدل معادلات ساختاری بهره‌گیری شده است.

تحلیل وضعیت شاخص‌های شهر اسفنجی در شهر زنجان با آزمون تک نمونه‌ای T

در تبیین و ارزیابی خصیصه‌های شهر اسفنجی در شهر زنجان با استفاده از آزمون تک نمونه‌ای t ، وضعیت شاخص‌های شکل‌دهنده شهر اسفنجی موردبررسی قرار گرفت. نتایج بر اساس جدول ۲ نشان می‌دهد مقدار آماره شاخص کلی شهر اسفنجی در سطح متوسط قرار دارد. در این بین، مؤلفه تولیدی (با ضریب $T=36.83$) و مؤلفه حمایتی (با ضریب $T=41.32$) بالاترین امتیاز را کسب کرده‌اند. در مقابل، مؤلفه تنظیم‌کننده اکوسیستم شهر با ضریب $T=43.43$ و مؤلفه رفاهی-فرهنگی با ضریب $T=37.69$ در سطح پایین‌تری قرار دارند. طبق آمار جدول، در مؤلفه تولیدی، شاخص امنیت غذایی با ضریب 26.05 و شاخص تأمین آب پایدار با ضریب 21.76 بیشترین امتیاز را دریافت کرده‌اند. این نشان‌دهنده توجه مناسب به جنبه‌های تولیدی و امنیتی شهر اسفنجی در زنجان است. در مؤلفه حمایتی، شاخص پایداری محیط‌زیست با ضریب 17.03 و شاخص ایجاد اکوسیستم‌های فعال با ضریب 16.56 بالاترین عملکرد را نشان داده‌اند. در مؤلفه تنظیم‌کننده اکوسیستم شهر، شاخص مدیریت ریسک سیلاب با ضریب 16.51 و کاهش بیماری‌های قابل‌انتقال با ضریب 17.03 نسبتاً مطلوب عمل کرده‌اند. در مقابل، شاخص‌های تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی با ضریب 16.98 و تهویه و خنک‌سازی با ضریب 12.59 امتیاز کمتری دریافت کرده‌اند. در مؤلفه رفاهی-فرهنگی، شاخص بهبود سلامت و کیفیت زندگی با ضریب 17.30 و ارتباط و دسترسی به طبیعت با ضریب 16.62 بالاترین امتیاز را کسب کرده‌اند. در مقابل، شاخص‌های تفریح و اکوتوریسم با ضریب 19.41 و ارتقاء زیست‌پذیری با ضریب 21.75 امتیاز کمتری دریافت کرده‌اند.

جدول ۲- وضعیت شاخص‌های شهر اسفنجی در شهر زنجان با نظر متخصصین با آزمون تک نمونه‌ای T

شاخص	میانگین	t	Sig	شاخص	میانگین	t	Sig
ارتقاء ارزش زیباشناسی بصری	۲.۹۰	۱۵.۹۷	۰.۰۰۰	افزایش فضای سبز	۳.۱۷	۱۴.۳۸	۰.۰۰۰
بهبود سلامت و کیفیت زندگی	۳.۳۷	۱۷.۳۰	۰.۰۰۰	ایجاد فضاهای باز عمومی	۲.۸۰	۲۰.۱۵	۰.۰۰۰
ارتباط و دسترسی به طبیعت	۳.۳۰	۱۶.۶۲	۰.۰۰۰	تنظیم چرخه آب	۲.۵۳	۲۰.۳۶	۰.۰۰۰

شاخص	میانگین	t	Sig	شاخص	میانگین	t	Sig
ارتقاء حس هویت مکان	۳.۰۷	۱۷.۷۹	۰.۰۰۰	کنترل آلودگی شهری	۲.۴۷	۱۷.۴۱	۰.۰۰۰
ارتقاء زیست‌پذیری	۲.۵۰	۲۱.۷۵	۰.۰۰۰	ارتقاء سیستم زهکشی سنتی	۲.۳۰	۱۹.۳۴	۰.۰۰۰
تفریح و اکوتوریسم	۲.۲۷	۱۹.۴۱	۰.۰۰۰	کنترل مؤثر رواناب شهری	۳.۰۳	۱۷.۲۳	۰.۰۰۰
کل (مؤلفه رفاهی-فرهنگی)	۲.۹۰	۳۷.۶۹	۰.۰۰۰	کاهش بیماری‌های قابل انتقال	۳.۱۳	۱۷.۰۳	۰.۰۰۰
ایجاد اکوسیستم‌های فعال	۳.۲۷	۱۶.۵۶	۰.۰۰۰	تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی	۲.۱۷	۱۶.۹۸	۰.۰۰۰
بهبود تنوع زیستی	۳.۱۳	۱۸.۳۱	۰.۰۰۰	مدیریت ریسک سیلاب	۳.۲۳	۱۶.۵۱	۰.۰۰۰
حفظ، احیاء پوشش گیاهی	۳.۰۰	۱۷.۳۵	۰.۰۰۰	کل (مؤلفه تنظیم‌کننده اکوسیستم شهر)	۲.۷۱	۴۳.۴۳	۰.۰۰۰
بازیابی اکوسیستم‌های طبیعی	۲.۵۰	۱۵.۹۰	۰.۰۰۰	تأمین آب پایدار	۳.۵۷	۲۱.۷۶	۰.۰۰۰
حفظ حاصلخیزی خاک	۲.۷۷	۱۹.۵۸	۰.۰۰۰	گسترش انرژی‌های پاک	۳.۰۷	۲۰.۲۹	۰.۰۰۰
پایداری محیط‌زیست	۳.۴۳	۱۷.۰۳	۰.۰۰۰	کاهش مصرف انرژی فسیلی	۳.۱۷	۱۵.۹۸	۰.۰۰۰
کل (مؤلفه حمایتی)	۳.۰۲	۴۱.۳۲	۰.۰۰۰	امنیت غذایی	۳.۷۳	۲۶.۰۵	۰.۰۰۰
تهویه و خنک‌سازی	۲.۲۳	۱۲.۵۹	۰.۰۰۰	کل (مؤلفه تولیدی)	۳.۳۸	۳۶.۸۳	۰.۰۰۰

(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴)

با توجه به مدل معادلات ساختاری و نتایج تحلیل عاملی تأییدی ارائه‌شده، می‌توان به تحلیل روابط بین مؤلفه‌های شهر اسفنجی در شهر زنجان پرداخت. این مدل با در نظر گرفتن «شهر زنجان با الگوی شهر اسفنجی» به‌عنوان متغیر وابسته و مؤلفه‌های «رفاهی-فرهنگی»، «حمایتی» و «تنظیم اکوسیستم شهر» به‌عنوان متغیرهای مستقل، به بررسی میزان تبیین‌کنندگی این ابعاد پرداخته است. با استفاده از ترکیب تحلیل عاملی تأییدی و مدل معادلات ساختاری، یکپارچگی و انسجام چارچوب نظری پژوهش حفظ‌شده است.

نتایج محاسبات صورت گرفته حاکی از آن است که کلیه روابط بین شاخص‌ها در مدل معنادار هستند، چرا که ضرایب مسیر استاندارد (β) تمامی شاخص‌ها بالاتر از ۰.۹۶ محاسبه‌شده است. بر این اساس، با توجه به ضریب مسیر ۰.۳۵۶ مربوط به مؤلفه رفاهی-فرهنگی، می‌توان ادعا نمود که این مؤلفه بیشترین تأثیر مستقیم و معنادار را بر تحقق شهر اسفنجی در زنجان دارد. در واقع، بهبود شاخص‌هایی همچون «ارتقای ارزش‌های زیباشناختی»، «ارتقای حس هویت مکان» و «بهبود سلامت و کیفیت زندگی» از طریق تقویت فضاهای عمومی و منظر شهری، به‌عنوان پیش‌نیاز اصلی توسعه شهر اسفنجی در زنجان عمل می‌کند.

در میان شاخص‌های جزئی‌تر نیز، شاخص‌های «ایجاد اکوسیستم‌های فعال» ($\beta = ۰.۴۰۱۳$) و «پایداری محیط‌زیست» ($\beta = ۰.۳۴۰۶$) در مؤلفه حمایتی و «مدیریت ریسک سیلاب» ($\beta = ۰.۱۸۴۸$) در مؤلفه تنظیم اکوسیستم شهر، بیشترین ضرایب تأثیر را به خود اختصاص داده‌اند. این امر نشان می‌دهد اگرچه ابعاد فرهنگی-رفاهی در اولویت هستند، ولی بدون تقویت زیرساخت‌های اکولوژیک و مدیریت ریسک، تحقق شهر اسفنجی در زنجان با چالش‌های جدی مواجه خواهد بود.

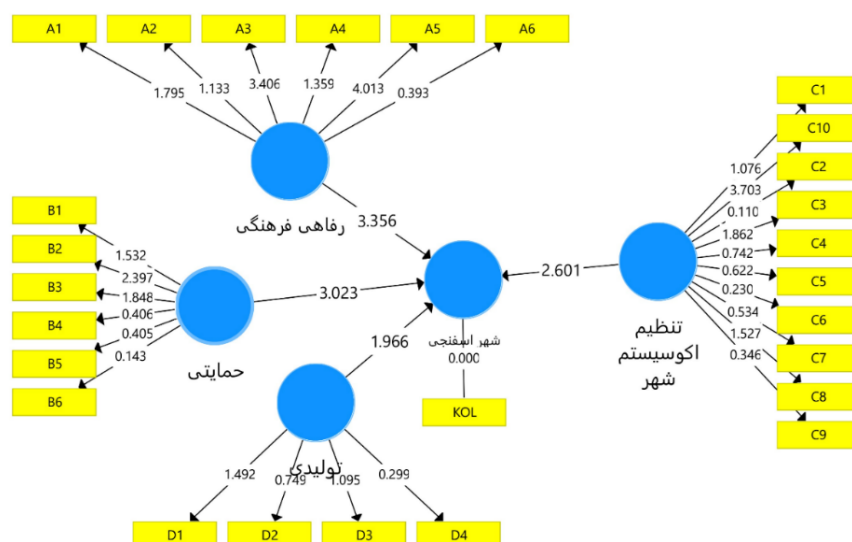
در مقابل، شاخص‌هایی نظیر «تفریح و اکوتوریسم» ($\beta = ۰.۰۳۹۳$) و «تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی» ($\beta = ۰.۰۱۴۳$) اگرچه معنادار بوده‌اند، ولی سهم کمتری در تبیین مدل داشته‌اند. این نتیجه نشان می‌دهد که رویکرد موجود در زنجان، بیشتر معطوف به مدیریت بحران و سیلاب بوده و less به جنبه‌های پیشگیرانه و زیرساخت‌های طبیعی توجه شده است.

در مجموع، می‌توان استنباط نمود که تحقق شهر اسفنجی در زنجان نیازمند توأمان توجه به «ارتقای قابلیت‌های رفاهی-فرهنگی» و «تقویت زیرساخت‌های اکولوژیک» است. این دو بُعد به‌صورت هم‌افزایی می‌توانند زمینه‌ساز توسعه پایدار و تاب‌آور شهر زنجان در برابر چالش‌های آبی و محیطی باشند.

جدول ۳- محاسبه اثرات مستقیم مؤلفه‌های شهر اسفنجی در شهر زنجان

شاخص	نمونه واقعی (O)	میانگین نمونه (M)	انحراف استاندارد (STDEV)	آماره تی ((O/STDEV))	سطح معنی‌داری
تنظیم‌کننده اکوسیستم شهر <-- شهر اسفنجی	۰.۳۲۶	۰.۳۳۲	۰.۲۰۳	۱.۶۰۱	۰.۰۰۱
تولیدی <-- شهر اسفنجی	۰.۱۷۷	۰.۱۱۷	۰.۲۵۴	۰.۶۹۶	۰.۰۰۰
حمایتی <-- شهر اسفنجی	-۰.۴۵۵	-۰.۳۲۶	۰.۲۲۵	۲.۰۲۳	۰.۰۴۴
رفاهی فرهنگی <-- شهر اسفنجی	۰.۳۳۹	۰.۳۲۵	۰.۱۴۴	۲.۳۵۶	۰.۰۱۹

(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴)



شکل ۴- نتایج بتای استاندارد شاخص‌ها با تحلیل عاملی تأییدی

(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴)

نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادها

رویکرد شهر اسفنجی به‌عنوان پارادایمی نوین در مدیریت پایدار آب‌های سطحی، پاسخی راهبردی به چالش‌های ناشی از توسعه شهری شتابان و تغییر چرخه هیدرولوژیکی طبیعی است. این رویکرد با بهره‌گیری از زیرساخت‌های سبز-آبی و راه‌حل‌های طبیعت‌محور، نه تنها امکان نفوذ، ذخیره و تصفیه رواناب را در مبدأ فراهم می‌سازد، بلکه با تقلید از فرآیندهای طبیعی، تاب‌آوری شهری در برابر مخاطراتی چون سیلاب و آب‌گرفتگی را افزایش داده و به بهبود کیفیت زندگی شهروندان و حفظ سلامت اکوسیستم‌های شهری منجر می‌شود. در این رابطه، تحقیقات پراکنده و جدیدی انجام شده است. از جمله رستمی و همکاران (۱۴۰۳) بر تغذیه آب زیرزمینی؛ جمشیدی (۱۴۰۳) بر آموزش ساکنان و استفاده از مصالح نفوذپذیر؛ نوری و همکاران (۱۴۰۲) بر کنترل مؤثر رواناب شهری و کاهش آب‌گرفتگی معابر؛ مبارکی (۲۰۲۵) بر توانایی شهرها را برای سازگاری با تغییرات زیست‌محیطی و مقابله با سیل؛ حمیدی و همکاران (۲۰۲۱) برافزایش نفوذ، مهار، ذخیره‌سازی، تصفیه و زهکشی آب؛ و دنگ و همکاران (۲۰۲۳) بر کنترل جریان روان‌آب شهر و آلودگی ناشی از آن تأکید نموده‌اند.

یافته‌های این پژوهش به‌وضوح نشان می‌دهد که شهر زنجان از حیث انطباق با مؤلفه‌های شهر اسفنجی با چالش‌های ساختاری متعددی روبرو است. تحلیل‌های فضایی حاکی از آن است که سیستم مدیریت آب‌های سطحی شهر نه تنها کارایی لازم را ندارد، بلکه خود به منبعی برای آلودگی تبدیل شده است. طبق بررسی‌ها ۴۰ درصد از مساحت شهر (عمدتاً در مناطق جنوبی و جنوب‌غربی) در پهنه‌های با اولویت بالا و بسیار بالا برای آب‌گرفتگی قرار دارند. این مناطق بحرانی عمدتاً با شیب کمتر از ۵ درصد، تراکم بالای بافت سخت (بیش از ۶۰٪) و فاصله بیش از ۵۰۰ متر از مسیل‌های اصلی مشخص می‌شوند. بدین ترتیب، تمرکز کانون‌های بحرانی آب‌گرفتگی در مناطق جنوبی و جنوب‌غربی شهر که پذیرای رواناب تولیدشده در مناطق مرکزی و شمالی با بافت سخت و نفوذناپذیر هستند، گواه این مدعاست. از سوی دیگر، ارزیابی کیفی شاخص‌ها نشان می‌دهد اگرچه مؤلفه‌های تولیدی با میانگین ۳.۳۸ و ضریب $t = ۳۶.۸۳$ و حمایتی با میانگین ۳.۰۲ و ضریب $t = ۴۱.۳۲$ در وضعیت نسبتاً مطلوبی قرار دارند، اما مؤلفه‌های رفاهی-فرهنگی و تنظیم‌کننده اکوسیستم شهری که نقش کلیدی در پایداری بلندمدت دارند، از وضعیت مطلوب فاصله دارند. از طرفی، تحلیل مدل معادلات ساختاری نیز مؤید آن است که مؤلفه رفاهی-فرهنگی با ضریب مسیر ۳.۳۵۶ بیشترین سهم را در تبیین شهر اسفنجی در زنجان دارد. در مجموع، تحقق شهر اسفنجی در زنجان نیازمند عزمی جدی برای تحول در مدیریت یکپارچه آب‌های سطحی، بازطراحی فضاهای شهری بر اساس الگوهای نفوذپذیری و تلفیق راهکارهای فنی با ارتقای شاخص‌های فرهنگی-رفاهی است. تنها از این طریق می‌توان امیدوار بود که زنجان به شهری تاب‌آور در برابر سیلاب تبدیل شود که نه تنها تهدیدهای آبی را مدیریت می‌کند، بلکه کیفیت زندگی شهروندان خود را نیز ارتقاء می‌بخشد. با توجه به یافته‌های تحقیق به‌منظور بهبود مدیریت آب‌های سطحی در مواقع بارندگی بر اساس استانداردهای شهر اسفنجی، برای شهر زنجان به شرح ذیل می‌باشد:

➤ ایجاد سامانه یکپارچه مدیریت آب‌های سطحی با اولویت‌بندی اجرای پروژه‌ها در پهنه‌های نارنجی و قرمز (جنوب و جنوب‌غرب شهر)

➤ اجباری کردن استانداردهای نفوذپذیری در پروژه‌های جدیدالاحداث و بازآفرینی شهری

- ◀ اختصاص حداقل ۲۰٪ از بودجه فضای سبز به توسعه زیرساخت‌های سبز (باغچه‌های بارانی، پوشش‌های نفوذپذیر)
- ◀ تبدیل جوی‌های سنتی به باغچه‌های بارانی در ۳ راسته اصلی شهر (با اولویت مرکز و شمال شهر) و پیرو آن نصب سامانه‌های برداشت آب باران در ساختمان‌های عمومی (پارکینگ‌ها، مدارس، ادارات)
- ◀ تدوین ضوابط ویژه شهر اسفنجی در طرح‌های تفصیلی و جامع شهری متعاقب آن اعطای تخفیف عوارض ساخت به پروژه‌های دارای بام سبز و سطوح نفوذپذیر
- ◀ برگزاری کارگاه‌های آموزشی تخصصی برای پیمانکاران و مهندسان شهری با ایجاد گردشگری تخصصی با محوریت معرفی پروژه‌های موفق شهر اسفنجی

References:

- Ahangari, N., & Yavari, A. (2025). Structural analysis of urban sustainable transportation policies for the future livability of Tehran. *Geography and Regional Future Studies*, 3(1), 39-55 <https://doi.org/10.30466/grfs.2025.56019.1093>
- Bagheri, B., & Aghayari, S. F. (2025). Identifying and analyzing the indicators affecting urban flooding with a futures research approach (Case study: Talesh city). *Geography and Regional Future Studies*, 3(3), 80-94. <https://doi.org/10.30466/grfs.2025.56169.1120>
- Berndtsson, J. C. (2010). Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review. *Ecological Engineering*, 36(4), 351-360. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.12.014>
- Chan, F. K. S., Griffiths, J. A., Higgitt, D., Xu, S., Zhu, F., Tang, Y.-T., Xu, Y., & Thorne, C. R. (2018). "Sponge City" in China—A breakthrough of planning and flood risk management in the urban context. *Land Use Policy*, Vol 76: 772–778. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.03.005>
- Davis, A. P., Hunt, W. F., Traver, R. G., & Clar, M. (2009). Bioretention technology: Overview of current practice and future needs. *Journal of Environmental Engineering*, 135(3), 109-117. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(2009\)135:3\(109\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(2009)135:3(109))
- Deng, Y., & Deng, J., & Zhang, C. (2023). Sponge City and Water Environment Planning and Construction in Jibu District in Changde City. *Sustainability*, 15(1), 444; <https://doi.org/10.3390/su15010444>
- European Commission. (2020). Nature-Based Solutions for Climate Resilience in Urban Areas. European Commission. 2019. *EU Guidance on Integrating Ecosystems and Their Services into Decision-Making*. [B2n.ir/j31837](https://doi.org/10.1016/j.b2n.2019.03.005)
- Ferguson, B. K. (2005). *Porous Pavements*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420038439>
- Fletcher, T. D., Shuster, W., Hunt, W. F., Ashley, R., Butler, D., Arthur, S., ... & Viklander, M. (2015). SUDS, LID, BMPs, WSUD and more—The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal*, 12(7), 525-542. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2014.916314>
- Hamidi, A., Ramavandi, B., & Sorial, G.A. (2021). Sponge City - An emerging concept in sustainable water resource management: A scientometric analysis. *Resources, Environment and Sustainability*, 5 (2021) 100028. <https://doi.org/10.1016/j.resenv.2021.100028>
- Hassanpour, O., Heydari, P., Sharifi, N., & Osmanzadeh-Rad, A. (2024) Urbanization and its environmental impacts and the role of sustainable urban development, *6th International Conference and 7th National Conference on Civil Engineering, Architecture, Art and Urban Design*, Tabriz Islamic Art University, 13. <https://civilica.com/doc/2043316/> [In Persian]
- Hoseinpour, M., Mousavi, M., & Ghalehtimouri, K. J. (2024). Enhancing urban and regional development for border security in Iran: A futures study of West Azerbaijan province. *Town Reg. Plan.*, 84, 15–28. <http://dx.doi.org/10.38140/trp.v84i.7823>
- Jamshidi, M. (2024). Sponge City Approach to Achieve Water Resources Sustainability in Desert Cities, *First National Conference on Engineering and Management Strategies in Water Systems*, Isfahan, <https://civilica.com/doc/2120454> [In Persian]
- Jia, H., Wang, Z., Zhen, X., Clar, M., & Yu, S. L. (2017). China's sponge city construction: A discussion on technical approaches. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 11(4), 18. <https://doi.org/10.1007/s11783-017-0984-9>
- Li, X., & Li, J., & Fang, X., & Gong, Y., & Wang, W. (2016). Case Studies of the Sponge City Program in China, *World Environmental and Water Resources Congress*, May 2016, <https://doi.org/10.1061/9780784479858.031>
- Lin, T., Liu, X., Song, J., Zhang, G., Jia, Y., Tu, Z., Zheng, Z. and Liu, C. (2018). Urban waterlogging risk assessment based on internet open data: A case study in China. *Habitat International*, 71, pp.88-96. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2017.11.013>
- Ma, Y., & Ning, X., & Jiang, Y. (2024). China's Sponge City Development: Global Position, Governance, and Potential Enhancement with Ecosystem Services, *Journal of Urban Technology*, 31(3), 83-106. <https://doi.org/10.1080/10630732.2024.2381181>
- Ministry of Housing and Urban-Rural Development (MOHURD), China. (2015). Technical Guide for Sponge City Construction—Stormwater Management and Drainage.
- Mobaraki O. (2025). Sponge City: A Paradigm in Urban Flood Crisis Management, *Sci J Rescue Relief* ; 17(1): 51-62. <https://doi.org/10.61186/jorar.17.1.51>

- Mousavi, M. N., Ghalehtemouri, K. J., Alizadeh, I. S., Bahramijaf, S., Shamsoddini, A. (2024). The Impact of Urban Governance on Enhancing Resilience in Informal Settlements: A Case Study from Jafarabad, Kermanshah. *Journal of Urban Development and Management*, 3(2), 95-108. <https://doi.org/10.56578/judm030202>
- Mousavi, M., Jahangirzadeh, J., Bayramzadeh, N., & Omidvarfar, S. (2023). An analysis of the state of good governance in Urban Peripheral villages of Urmia. *Preipheral Urban Spaces Development*, 5(2), 221-236. <https://doi.org/10.22034/jpusd.2023.397271.1270> [In Persian].
- Nguyen, T.T., Ngo, H.H., Guo, W., Wang, X.C., Ren, N., Li, G., Ding, J. and Liang, H.(2018). Implementation of a specific urban water Management-Sponge City. *Science of the Total Environment*, 652, pp.147-162.2. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.168>
- Nouri, M., & Rezaei, M. (2023). Explaining the performance of sponge city as a nature-based approach in sustainable management of urban water resources (case study: Shiraz city). *Quarterly Scientific and Research Journal of Urban Research and Planning*, (), <https://doi.org/10.30495/jupm.2023.32001.4357> [In Persian]
- Nouri, M., Rezaei, M. R., & Asgari, E. (2024). Evaluating the role of the sponge city as a green-blue city in improving the level of ecosystem services in Shiraz. *Research in the Geography of Urban Planning*, 11(4), 133-153. <https://doi.org/10.22059/jurbangeo.2024.369561.1892> [In Persian]
- Oral, H.V., Carvalho, P., Gajewska, M., Ursino, N., Masi, F., Hullebusch, E.D.V., & Zimmermann, M.(2020). A review of nature-based solutions for urban water management in European circular cities: a critical assessment based on case studies and literature. *Blue-Green Systems*, 2(1), 112-136. <https://doi.org/10.2166/bgs.2020.93>
- Rostami, E., Isari, M., Jafari Nadushan, E., & Bahrami, J. (2014). Investigating the Use of the Sponge City Concept for Sanandaj City for Flood Prevention, Water Storage and Optimal Water Allocation. *Iranian Journal of Irrigation and Water Engineering*, 15(2), 214-231. <https://doi.org/10.22125/iwe.2024.459447.1810>
- Samimi, K., Pakan, M., & Sinai, Y. (2022). A review of the components of sponge cities made of porous concrete towards sustainable development. *Concrete Materials and Structures*, 7(1), 46-59. <https://doi.org/10.30478/jcsm.2022.344918.1270> [In Persian]
- Song, M., Yu, M., Chen, X.-L., Du, J., & Lobont, O.-R. (2024). Evaluating the impact of sponge city construction on urban ecosystem resilience: Utility and mechanism analyses. *Energy & Environment*. Vol1. <https://doi.org/10.1177/0958305X251385238>
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2021). *Sponge Cities: A Solution to Urban Water Logging*.
- United Nations. (2015). *transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. United Nations Press, New York. <https://sdgs.un.org/2030agenda>
- United States Environmental Protection Agency (EPA). (2023). *Green Infrastructure*, Federal Government of the United States. <https://www.epa.gov/green-infrastructure>
- Wang, H., Mei, C., Liu, J., & Shao, W. (2018). A new strategy for integrated urban water management in China: Sponge city. *Science China Technological Sciences*, 61(3), 317-329. <https://doi.org/10.1007/s11431-017-9170-5>
- World Bank. (2019). *Implementing Nature-Based Solutions for Urban Water Management*.
- Zhu, Y., Xu, C., Yin, D., Xu, J., Wu, Y., & Jia, H. (2022). Environmental and economic cost-benefit comparison of sponge city construction in different urban functional regions. *Journal of Environmental Management*, Vol 304, 114230. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114230>



COPYRIGHTS



© Authors retain the copyright and full publishing rights. This is an open access article under the CC BY-NC license:

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

Publisher: Urmia University.