



## Research Paper

# Disaster Resilience: An Assessment of the Application of Nature-based Solutions (NBS) in Urban Infrastructure) A Case Study of Selected Districts in Tehran

Vida Auobi<sup>1</sup> , Somayeh Ahani<sup>\*2</sup> , Amir Hosein Azimpour<sup>3</sup> 

<sup>1</sup> M.A in Regional Planning, Department of Regional Planning, Faculty of Urban Planning, College of Fine Arts, University of Tehran, Iran.

<sup>2</sup> Assistant Professor, Department of Regional Planning, Faculty of Urban Planning, College of Fine Arts, University of Tehran, Tehran, Iran.

<sup>3</sup> PhD student in Urban Planning, Department of Regional Planning, Faculty of Urban Planning, College of Fine Arts, University of Tehran, Tehran, Iran.



[10.22080/usfs.2026.28846.2539](https://doi.org/10.22080/usfs.2026.28846.2539)

### Received:

August 10, 2025

### Accepted:

November 23, 2025

### Available online:

June 8, 2026

### Keywords:

Climate Change,  
Environmental Hazards,  
Urban Infrastructure,  
Analytic Network Process  
(ANP), Tehran

## Abstract

This research evaluates the role of Nature-Based Solutions (NBS) in enhancing urban resilience. The primary objective is to address the key question of what institutional, technical, financial, and social challenges exist in implementing NBS in Tehran's urban infrastructure and what framework can be proposed to overcome them. This study employed a quantitative research method with a descriptive-exploratory approach, utilizing library-based and field studies for data collection. Subsequently, the ANP, as a multi-criteria decision-making method, was used to assess the priorities for implementing NBS in four selected districts of Tehran. The findings indicated that among resilience components, "environmental resilience" and among solutions, "development of permeable green spaces" have the highest priorities. In response to the main research question, the study identified the most significant challenges as "lack of financial resources", "weak inter-sectoral coordination", and "lack of stakeholder participation", respectively. Additionally, the results revealed that District 1, due to its high vulnerability and ecological capacity, holds the highest priority for NBS implementation with a normalized score of 0.489. Ultimately, the study proposes an "Adaptive Resilience Framework" as an operational roadmap. By providing scientific evidence and clear prioritization, this research underscores the necessity of shifting from fragmented interventions to systematic and adaptive planning to achieve a resilient Tehran.

Copyright © 2024 The Authors. Published by University of Mazandaran. This work is published as an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4>). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

**\*Corresponding Author:** Somayeh Ahani

**Address:** Department of Regional Planning, Faculty of Urban Planning, College of Fine Arts, University of Tehran, Tehran, Iran.

**Tel:** 09147622656

**Email:** [Somaye.Ahani@ut.ac.ir](mailto:Somaye.Ahani@ut.ac.ir)



## 1. Introduction

Escalating climate events, such as severe floods, heatwaves, and air pollution, have rendered major urban centers like Tehran highly vulnerable. Traditional, reactive crisis management approaches are no longer sufficient to address these complex, interconnected challenges. Consequently, a paradigm shift towards proactive strategies focused on enhancing urban resilience—the capacity of an urban system to absorb, adapt, and recover from shocks and stresses—has become imperative.

Within this new paradigm, Nature-Based Solutions (NBS) have emerged as a promising, multi-functional approach. NBS are actions inspired by ecological processes to address socio-environmental challenges sustainably and cost-effectively, while providing simultaneous benefits for human well-being and biodiversity. However, despite the acknowledged potential of NBS, a significant gap exists between theory and practice in Tehran's urban planning and projects. Merely recognizing the advantages of NBS is insufficient; a deep analysis of the practical barriers and opportunities is essential for its successful implementation. This study aims to address this gap by answering a key research question: What are the primary institutional, technical, financial, and social challenges to implementing NBS in Tehran's urban infrastructure, and what operational framework can be proposed to overcome them?

## 2. Research Methodology

This study employed a quantitative, descriptive-exploratory methodology, with data collected from a questionnaire distributed to 178 urban planning professionals in Tehran. To analyze the

multi-criteria problem, the Analytic Network Process (ANP) was utilized for its ability to model complex systems with interdependencies, making it highly suitable for urban planning issues. Using Super Decisions software, the ANP model was structured with clusters representing criteria (Urban Resilience Components, NBS Strategies, Implementation Challenges) and alternatives (selected Tehran districts). The study focused on four selected districts of Tehran: District 1, District 5, District 12, and District 22. These districts were chosen to represent a diverse range of geographical, socio-economic, and environmental characteristics—from the affluent, ecologically sensitive northern foothills (District 1) and the dense, developing western area (District 5) to the historic, deteriorating core (District 12) and the newly planned western zone (District 22). This diversity provides a comprehensive basis for evaluating the challenges and opportunities of NBS implementation across different urban contexts.

## 3. Research Findings

The ANP analysis yielded prioritized rankings for the criteria clusters, their internal components (nodes), and the alternative districts. Among the main clusters, NBS received the highest priority, 0.443, followed by "Urban Resilience Components", 0.387, and "Implementation Challenges", 0.169, indicating that the experts perceived the solutions themselves as the most critical focus area. The final output of the model was the prioritization of the selected districts for NBS implementation. The results showed a clear hierarchy of urgency: District 1 (Shemiranat): Highest priority (normalized weight: 0.489); District 22: Second priority (normalized weight: 0.221); District 5: Third priority (normalized weight: 0.150);

and District 12 (Historic Center): Lowest priority among the selected areas (normalized weight: 0.138).

This ranking highlighted that from a technical and ecological vulnerability perspective, the northern areas of Tehran are in the most critical need of NBS interventions.

#### 4. Conclusion

The study successfully identified the key barriers to implementation and proposed a framework to navigate them. The findings revealed that the primary obstacles are not technical but are rooted in governance and economic structures: a lack of financial resources, poor inter-sectoral coordination, and inadequate stakeholder participation. This aligns with global research, which emphasizes that the success of NBS is highly dependent on reforming governance systems. However, the technical prioritization of District 1, while logical from an ecological standpoint, highlights a critical conflict with socio-political realities, such as high land values and resistance from powerful

stakeholders. To bridge the gap between technical findings and implementation realities, this study proposes an "Adaptive Resilience Framework". Ultimately, this research emphasizes that achieving a resilient Tehran requires a fundamental paradigm shift—moving away from sporadic, disconnected projects towards systematic, evidence-based, and adaptive planning that integrates nature into the core of urban development.

#### Funding

There is no funding support.

#### Authors' Contribution

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

The authors appreciate all the scientific consultants in this paper.



## علمی پژوهشی

## تاب‌آوری در برابر سوانح طبیعی: ارزیابی کاربست رویکرد طبیعت‌محور (NBS) در زیرساخت‌های شهری (مطالعه موردی: مناطق منتخب تهران)

ویدا ایوبی<sup>۱</sup> ID، سمیه آهنی<sup>۲\*</sup> ID، امیرحسین عظیم‌پور<sup>۳</sup> ID

<sup>۱</sup> کارشناسی‌ارشد، گروه برنامه‌ریزی منطقه‌ای، دانشکده شهرسازی، دانشکده‌های زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.  
<sup>۲</sup> استادیار، گروه برنامه‌ریزی منطقه‌ای، دانشکده شهرسازی، دانشکده‌های زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.  
<sup>۳</sup> دانشجوی دکتری، گروه شهرسازی، دانشکده شهرسازی، دانشکده‌های زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

[10.22080/usfs.2026.28846.2539](https://doi.org/10.22080/usfs.2026.28846.2539)

## چکیده

با توجه به چالش‌های فزاینده‌ای مانند تغییرات اقلیمی، سیلاب‌ها و آلودگی هوا در تهران، این پژوهش به ارزیابی نقش راهکارهای مبتنی بر طبیعت (NBS) در ارتقاء تاب‌آوری شهری می‌پردازد. هدف اصلی، پاسخ به این پرسش کلیدی است که چالش‌های نهادی، فنی، مالی و اجتماعی در مسیر کاربست NBS در زیرساخت‌های شهری تهران کدام‌اند و چه چهارچوبی برای غلبه بر آن‌ها می‌توان ارائه داد. این مطالعه با روش پژوهش کمی و با ماهیت توصیفی - اکتشافی، از مطالعات کتابخانه‌ای و میدانی (پرسش‌نامه خبرگان‌محور) برای گردآوری داده‌ها بهره برده است. سپس با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) به عنوان یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره، اولویت‌های اجرای NBS در چهار منطقه منتخب تهران (مناطق ۱، ۵، ۱۲ و ۲۲) ارزیابی شد. یافته‌ها نشان می‌دهد که در میان مؤلفه‌های تاب‌آوری، «تاب‌آوری زیست‌محیطی» (با امتیاز ۰.۲۳۸) و در میان راهکارها، «توسعه فضاهای سبز نفوذپذیر» (با امتیاز ۰.۲۲۳) بالاترین اولویت را دارند. این پژوهش در پاسخ به سؤال اصلی خود، مشخص کرد که مهم‌ترین چالش‌ها به ترتیب «کمبود منابع مالی»، «چالش مالی»، «ضعف هماهنگی بین‌بخشی»، «چالش نهادی» و «مشارکت ضعیف ذی‌نفعان» (چالش اجتماعی) هستند. همچنین نتایج حاکی از آن است که منطقه یک (شمیرانات) به دلیل آسیب‌پذیری بالا و توانایی اکولوژیک، با امتیاز نرمال‌شده ۰.۴۸۹ بالاترین اولویت را برای اجرای NBS دارد. درنهایت، این مطالعه با تحلیل شکاف میان یافته‌های فنی و واقعیت‌های اجرایی، یک «چارچوب تاب‌آوری تطبیقی» به عنوان نقشه راه پیشنهاد می‌دهد. این چارچوب که بر سه اصل یادگیری پویا، حکمرانی چندلایه و پایش هوشمند استوار است، راهکاری برای غلبه بر چالش‌های شناسایی‌شده و کاهش شکاف میان نظریه و عمل ارائه می‌دهد. این پژوهش با ارائه شواهد علمی و اولویت‌بندی مشخص، بر ضرورت تغییر پارادایم از مداخلات پراکنده به سمت برنامه‌ریزی نظام‌مند و تطبیق‌پذیر برای دستیابی به تهران تاب‌آور تأکید می‌کند.

## تاریخ دریافت:

۱۹ مرداد ۱۴۰۴

## تاریخ پذیرش:

۲ آذر ۱۴۰۴

## تاریخ انتشار:

۱۸ خرداد ۱۴۰۵

## کلیدواژه‌ها:

تغییرات اقلیمی، رویکرد طبیعت‌محور، زیرساخت‌های شهری، فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP)، مخاطرات طبیعی، تهران

\* نویسنده مسئول: سمیه آهنی

آدرس: گروه برنامه‌ریزی منطقه‌ای، دانشکده شهرسازی، دانشکده‌های زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

تلفن: ۰۹۱۴۷۶۲۲۶۵۶

ایمیل: [Somaye.Ahani@ut.ac.ir](mailto:Somaye.Ahani@ut.ac.ir)



## ۱ مقدمه

سیاره زمین در دهه‌های اخیر شاهد تغییرات اقلیمی بی‌سابقه‌ای بوده است که به‌طور فزاینده‌ای ساختار و عملکرد سکونتگاه‌های انسانی، به‌ویژه شهرها را تحت تأثیر قرار داده است. سوانح طبیعی، براساس چهارچوب اندیشه‌ای دفتر کاهش خطرات بلایای سازمان ملل متحد<sup>۱</sup> (۲۰۲۴)، به‌عنوان «اختلال جدی در عملکرد یک جامعه یا سیستم در هر مقیاسی، ناشی از تعامل رویدادهای خطرناک با شرایط قرارگیری، آسیب‌پذیری و ظرفیت که منجر به خسارات انسانی، اقتصادی یا زیست‌محیطی می‌شود» تعریف می‌گردد. در این پژوهش، منظور از سوانح طبیعی، رویدادهای هیدرو-متروئیک شدید مانند سیلاب‌های ناگهانی و خشکسالی در تهران است که از هم‌پوشانی سوانح طبیعی اقلیمی با آسیب‌پذیری شهری ناشی می‌شوند. افزایش متوسط دما، تغییر الگوهای بارش و تشدید این رویدادهای جدی، شهرها را به کانون‌های آسیب‌پذیری در برابر سوانح تبدیل کرده است (IPCC, 2023; UNDRR, 2024).

در مواجهه با چالش‌های پیچیده، رویکردهای سنتی مدیریت بحران که عمدتاً بر واکنش پس از وقوع حادثه متمرکز بودند، دیگر به‌تنهایی قادر به ارائه راهکارهای پایدار نیستند. ازاین‌رو، رویکرد غالب به سمت راهبردهای پیشگیرانه و مبتنی بر ارتقاء تاب‌آوری شهری سوق یافته است؛ تاب‌آوری، برگرفته از اندیشه اکولوژیک Holling (۱۹۷۳) به‌عنوان «پایداری سیستم در برابر اختلال و ظرفیت جذب تغییرات بدون ازدست‌دادن روابط کلیدی»، در چهارچوب شهری به «توانایی پویای نظام شهری در جذب شوک‌ها، انطباق و بازیابی مؤثر از تنش‌ها» اطلاق می‌شود. در این مطالعه، منظور از تاب‌آوری شهری، رویکرد چندبعدی (فیزیکی، اجتماعی، زیست‌محیطی و نهادی) است که NBS را به‌عنوان

ابزار کلیدی ارتقاء آن می‌بیند (Meerow et al., 2016). در چهارچوب این رویکرد نوین، راهکارهای مبتنی بر طبیعت به‌عنوان یک رویکرد امیدبخش و چندمنظوره مطرح شده‌اند. این راهکارها با الهام از فرآیندهای بوم‌شناختی و بهره‌گیری از ظرفیت‌های طبیعت، راهکارهایی پایدار و مقرون‌به‌صرفه برای مقابله با چالش‌های اجتماعی - محیطی ارائه می‌دهند (Kabisch et al., 2017)؛ چراکه تجارب موفق جهانی اثربخشی NBS<sup>۲</sup> را در کاهش خطرات ناشی از بحران‌های محیطی به اثبات رسانده است (Chan et al., 2018).

فرآیند توسعه شهری در بسیاری از کلان‌شهرهای ایران با نادیده‌گرفتن ملاحظات بوم‌شناختی همراه بوده که آسیب‌پذیری آن‌ها را در برابر مخاطرات محیط زیستی به‌شدت افزایش داده است. کلان‌شهر تهران به‌عنوان پایتخت و قلب اقتصادی کشور، نمونه‌ای بارز از انباشت این چالش‌ها و پیامدهای ناشی از توسعه ناهمگون با طبیعت است. براساس گزارش‌ها فراوانی سیلاب‌های ناگهانی در یک دهه اخیر افزایش یافته و سالانه خسارت بالایی به زیرساخت‌ها وارد می‌کند. از سوی دیگر، آلودگی هوا و پدیده جزیره حرارتی در این کلان‌شهر موجب کاهش تاب‌آوری شهر شده است.

باوجود اذعان به توانایی بالای رویکرد طبیعت‌محور برای مقابله با بحران‌ها (سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران<sup>۳</sup>، ۲۰۱۹؛ صابونچی<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۲۵)، کاربست نظام‌مند و گسترده این راهکارها در سیاست‌گذاری و پروژه‌های شهری تهران با شکافی عمیق میان نظریه و عمل روبه‌روست. بر اساس این، هدف اصلی پژوهش حاضر، ارزیابی چالش‌ها و فرصت‌های فراروی برنامه‌ریزی، طراحی، اجرا و ارزیابی راهکارهای مبتنی بر طبیعت در مناطق منتخب کلان‌شهر تهران است. این مطالعه حول این پرسش کلیدی منسجم شده

<sup>۳</sup> Tehran Disaster Mitigation and Management Organization

<sup>۴</sup> Sabounchi

<sup>۱</sup> UNDRR

<sup>۲</sup> Nature-Based Solutions - NBS



رویکردهای مبتنی بر طبیعت می‌توانند در بهبود تاب‌آوری شهری مؤثر باشند.

## ۲،۲ درک چندبعدی از تاب‌آوری شهری در مواجهه با سوانح

تاب‌آوری شهری به‌عنوان یک مفهوم حیاتی برای شهرها جهت آمادگی و پاسخ‌گویی به ضربه‌ها و تنش‌های مختلف ظهور کرده است. این مفهوم ارتباط نزدیکی با پایداری دارد و هر دو پارادایم بر حفظ رفاه اجتماعی در چارچوب تغییرات محیطی تمرکز دارند (Zeng et al., 2022). برای ارزیابی و افزایش تاب‌آوری شهری، پژوهشگران چارچوب‌ها و روش‌هایی مانند چارچوب تاب‌آوری شهر و شاخص تاب‌آوری شهر را توسعه داده‌اند (Croese et al., 2020). این ابزارها می‌توانند برای ارزیابی تأثیر سناریوهای مختلف شهری بر عملکرد تاب‌آوری در طول زمان مورد استفاده قرار گیرند (Bottero et al., 2020). تاب‌آوری شهری مفهومی چندوجهی است که ابعاد مختلفی از جمله جنبه‌های فیزیکی، اجتماعی، اقتصادی، زیست‌محیطی و نهادی - مدیریتی را در بر می‌گیرد. در این راستا، فرآیند تحلیل شبکه‌ای می‌تواند برای ارزیابی اهمیت نسبی اجزای مختلف شهری در پشتیبانی از ظرفیت‌های تاب‌آوری مورد استفاده قرار گیرد (Datola et al., 2021). درک این روابط می‌تواند به طراحی شهرها با امنیت و تاب‌آوری بیشتر در ابعاد مختلف مکانی کمک کند.

تاب‌آوری شهری، به‌ویژه تاب‌آوری فیزیکی، جنبه‌ای حیاتی از برنامه‌ریزی شهری برای کاهش خطرات ناشی از بلایای طبیعی مانند زلزله است. اجزای کلیدی تاب‌آوری فیزیکی شامل ساختمان‌های مقاوم، عرض خیابان‌ها و ظرفیت تخلیه اضطراری است (Parizi et al., 2022; Farhadi et al., 2022). عناصر شکل شهری مانند قطعات زمین، فضاهای باز، ساختمان‌ها و خیابان‌ها نقش مهمی در افزایش تاب‌آوری دارند، به‌طوری که شبکه‌های خیابانی به‌ویژه برای برنامه‌ریزی اضطراری مهم هستند. برای بهبود تاب‌آوری فیزیکی، شهرها باید بر

است که چالش‌های کلیدی (نهادی، فنی، مالی و اجتماعی) در مسیر کاربست راهکارهای مبتنی بر طبیعت در زیرساخت‌های شهری تهران کدام‌اند؟

## ۲ مبانی نظری

### ۲،۱ سیر فرآیند راه‌حل‌های مبتنی بر طبیعت (NBS): از شکل‌گیری تا گسترش

اتحادیه بین‌المللی حفاظت از طبیعت (IUCN) این رویکرد مبتنی بر طبیعت را در سیاست‌های جهانی معرفی کرد و استاندارد جهانی IUCN برای NbS™ را در سال ۲۰۲۰ برای هدایت اجرا و ارزیابی توسعه داد (Le Gouvello et al., 2023). این مفهوم در سال‌های اخیر به‌عنوان پاسخی به بحران‌های دوگانه جهانی: تغییرات اقلیمی و از بین رفتن تنوع زیستی، شتاب قابل‌توجهی یافته است. NBS به‌طور فزاینده‌ای به‌عنوان راه‌های مؤثر برای مقابله با این چالش‌های به‌هم‌پیوسته دیده می‌شود (Levinthal & Weller, 2023).

با افزایش محبوبیت NBS، نیاز به طبقه‌بندی و درک نظام‌مند این مداخلات پدیدار شد. پژوهش‌ها بر توسعه چارچوب‌هایی برای ارزیابی آسیب‌پذیری و ریسک در زمینه اجرای NBS (Shah et al., 2020)، کمی‌سازی مزایای آن‌ها در کاهش اثرات HMM (Clemente et al., 2023) و درک برداشت‌های مردم از NBS متمرکز شده است. اثربخشی NBS وابسته به زمینه و براساس این موارد متغیر است: ۱. موقعیت جغرافیایی ۲. معماری ۳. گونه‌شناسی و طراحی ۴. گونه‌های گیاهی / سبز ۵. شرایط محیطی ۶. سیستم‌های غیرخطی مرتبط (Debele et al., 2023). در مقیاس بزرگ‌تر، "پروژه‌های مگا - اکو" به‌عنوان پیاده‌سازی‌های مهم NBS ظهور کرده‌اند. این پروژه‌ها را می‌توان به چهار گروه اتصال، آنتی‌دس، مدیریت حوزه آبخیز و پروژه‌های زیست‌محیطی کلان‌شهرها طبقه‌بندی کرد (Levinthal & Weller, 2023). بر اساس این،



بلندمدت، سازگاری دگرگون‌کننده و مطالعات در بافت‌های شهری منحصربه‌فرد، به‌ویژه در کشورهای درحال‌توسعه که مستعد بلایای طبیعی هستند، تمرکز کنند.

### ۲،۳ راه‌حل‌های طبیعت‌محور: رویکردی نوین برای بهبود تاب‌آوری شهری

راه‌حل‌های مبتنی بر طبیعت می‌تواند انواع زیستگاه‌های بومی را برای بهبود تنوع زیستی و رسیدگی به مسائل شهری مانند کاهش دما و مدیریت آب‌های سطحی در خود جای دهد (Dremel et al., 2023). درحالی‌که مشارکت، اغلب در اجرای NBS مورد تأکید قرار می‌گیرد، انتقاداتی در مورد ابزاری‌سازی آن وجود دارد، به‌طوری‌که برخی از پژوهشگران از رویکردی مشترک برای افزایش توانایی دموکراتیک حمایت می‌کنند (Remme & Haarstad, 2022). شیوه‌های شهرداری‌ها، برای ادغام NBS در توسعه شهری شامل مشارکت جامعه، استفاده از چهارچوب‌های مفهومی و رویکردهای مشارکتی است، اگرچه شرایط نهادی می‌تواند چالش‌هایی را ایجاد کند (Brokking et al., 2021). طراحی شهری هم نقش مهمی در جریان‌سازی NBS ایفا می‌کند، همان‌طور که توسط پارک Biblioteca degli Alberi در میلان نشان داده شده است، جایی که ملاحظات طراحی بر تمام مراحل چرخه حیات NBS تأثیر گذاشت و بر اهمیت ادغام دیدگاه‌های بوم‌شناسی شهری در طول فرآیند طراحی تأکید کرد (Boros & Mahmoud, 2021).

شیوه‌های توسعه کم‌تأثیر (LID) به‌عنوان راه‌حل‌های مؤثر مبتنی بر طبیعت، مانند خیابان‌های سبز و بشک‌های باران می‌توانند در مقایسه با رویکردهای مرسوم، سیل و رواناب شهری را تا ۲۰٪ به‌طور قابل توجهی کاهش دهند (Quichimbo-Miguitama et al., 2022). شیوه‌های LID با ارائه مزایایی مانند کاهش سیل، حذف آلاینده‌ها و احیای خدمات بوم‌زیستی با اهداف توسعه پایدار سازمان ملل متحد هم‌سو هستند. بااین‌حال، ارزیابی سهم NBS در تاب‌آوری شهری همچنان چالش‌برانگیز

عواملی مانند تراکم ساختمان، نسبت ابعاد و توزیع فضاهای امداد و نجات و امنیت تمرکز کنند (همان). علاوه بر این، تاب‌آوری شهری عناصر زیست‌محیطی، اجتماعی، اقتصادی و فیزیکی را در بر می‌گیرد (Dehghani et al., 2023). تاب‌آوری اقتصادی، یکی از اجزای حیاتی تاب‌آوری شهری، ثبات و رشد را در مواجهه با ضربه‌های خارجی تضمین می‌کند (Shi & Lu, 2024). در سال‌های اخیر، شهرها با استفاده از فناوری‌های هوشمند برای بهبود کارایی خدمات، نقش مهمی در افزایش تاب‌آوری شهری، به‌ویژه در سناریوهای پس از همه‌گیری ایفا می‌کنند (Apostu et al., 2022). همچنین نشان داده شده است که تحول دیجیتال از مسیر بهبود ساختار صنعتی و نوآوری‌های فناورانه، تأثیر مثبتی بر تاب‌آوری اقتصادی دارد و تأثیرات آن در مناطق و اندازه‌های مختلف شهر متفاوت است (Shi & Lu, 2024). مطالعات نشان داده‌اند که عوامل اجتماعی - فرهنگی در کنار مؤلفه‌های زیست‌محیطی و اقتصادی، برای ایجاد تاب‌آوری اقلیمی شهری اساسی هستند (Jamali et al., 2023).

تاب‌آوری فرهنگی به‌عنوان یک راه‌حل بالقوه برای مقابله با چالش‌های ناشی از پارادوکس‌ها و اخلاق دیجیتال دیده می‌شود. هماهنگی عوامل فرهنگی و دیجیتال برای جبران کاستی‌ها در ساخت تاب‌آوری و حرکت به سمت حکمرانی تاب‌آورتر جامعه شهری بسیار مهم است (Xiang et al., 2024). این در حالی است که شهرها می‌توانند تاب‌آوری خود را از مسیر مؤلفه‌های مختلف شهری، از جمله فضاهای سبز هم بهبود ببخشند. تاب‌آوری محیطی، به‌ویژه تاب‌آوری زیست‌محیطی، نقش حیاتی در حفظ تنوع زیستی و سلامت کلی شهری ایفا می‌کند (McCloy et al., 2024). برای بهبود تاب‌آوری محیطی، شهرها باید بر حفظ فضاهای سبز، حفاظت از تنوع زیستی و اجرای راهبردهای شهرسازی پایدار تمرکز کنند (Zeng et al., 2022). از دیدگاه پژوهشگران، پژوهش‌های آینده باید بر راهبردهای تاب‌آوری



دما، مدیریت آب‌های سطحی و بهبود کیفیت هوا باشند (Dremel et al., 2023). برای به حداکثر رساندن مزایای NBS، تدوین دستورالعمل‌ها و سیاست‌های حمایتی که اجرای آن‌ها را در مقیاس شهر ترویج می‌دهد و آن‌ها را در فرآیندهای برنامه‌ریزی شهری ادغام می‌کند، بسیار مهم است (Xiao et al., 2023).

## ۲٫۴ چالش‌ها و موانع اجرای راه‌حل‌های مبتنی بر طبیعت در زیرساخت‌های شهری

پژوهشگران موانعی مانند تأمین مالی ناکافی، شکاف بین دانش علمی و کاربرد عملی و نیاز به همکاری بین‌رشته‌ای را نمایان می‌کنند (Zhao et al., 2024). جمعی دیگر با تمرکز بر چالش‌های حکمرانی در آسیا، بر ضرورت چارچوب‌های متناسب که NBS را با نهادهای و بازیگران محلی هم‌سو می‌کند، تأکید می‌کنند (Morita & Matsumoto, 2021).

موانع کلیدی شامل مسئولیت‌های نامشخص و پراکنده برای مدیریت آب‌های سطحی، فقدان مقررات خاص و منابع مالی محدود است (Venuti et al., 2025). ارادهٔ سیاسی و محدودیت‌های فرهنگی، مانند ترجیح گیاهان نامناسب نسبت به گونه‌های بومی، مانع از اجرای NBS می‌شود. پیچیدگی هماهنگی بین‌بخشی، موانع بیشتری را ایجاد می‌کند، به‌ویژه برای ابتکارات NBS در هدایت جامعه (He et al., 2022) (جدول ۱).

است؛ زیرا اکثر چهارچوب‌های موجود فاقد امکان‌سنجی برای معیارگذاری شهری و ارزیابی جامع هستند (Beceiro et al., 2022). مطالعات موردی از سنگاپور و لیسبون نشان می‌دهد که NBS را می‌توان با موفقیت در زمینه‌های مختلف شهری که توسط اهداف مشترکی مانند مدیریت تأمین آب، پایش سیل و بهبود کیفیت کلی زندگی هدایت می‌شوند، اجرا کرد (Cui et al., 2021). ازجمله مزایای دیگر شامل مدیریت خطر سیل، بهبود کیفیت آب و حفاظت از تنوع زیستی است. موانع خاکریز، نوعی NBS رودخانه‌ای هستند که به‌خوبی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند و می‌توانند محافظت در برابر سیل، تاب‌آوری در برابر خشکسالی و فرصت‌های تفریحی را فراهم کنند (van Rees et al., 2024). هنگام مواجهه با مکان‌های آلوده، NBS می‌تواند به‌گونه‌ای طراحی شود که تماس آب با آلاینده‌ها را کاهش داده و خاک و آب آلوده را پاک‌سازی کند (Hale et al., 2021).

سقف‌های سبز می‌توانند رواناب آب‌های سطحی و مصرف انرژی ساختمان را کاهش دهند، اگرچه اثربخشی آن‌ها بسته به طراحی و نوع پوشش گیاهی متفاوت است (Xiao et al., 2023). بااین‌حال، برخی از سقف‌های سبز ممکن است صرفاً برای رعایت مقررات و نه به‌عنوان NBS واقعی اجرا شوند که به‌طور بالقوه مزایای تنوع زیستی آن‌ها را محدود می‌کند (Michalik-Śnieżek et al., 2024). انواع زیستگاه‌های بومی می‌توانند NBS مؤثری برای رسیدگی به مسائل متعدد شهری، ازجمله کاهش



جدول ۱. چارچوب نظری

| ردیف | خوشه (معیار)                   | گزینه (زیرگروه، گره یا نود)                                                                 |
|------|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| ۱    | مؤلفه‌های تاب‌آوری شهری        | تاب‌آوری کالبدی - زیرساختی<br>(Parizi et al., 2022; Farhadi et al., 2022)                   |
|      |                                | تاب‌آوری اجتماعی - فرهنگی<br>(Zeng et al., 2022; Abedini et al., 2022; Jamali et al., 2023) |
|      |                                | تاب‌آوری اقتصادی<br>(Dehghani et al., 2023; Shi & Lu, 2024)                                 |
|      |                                | تاب‌آوری زیست‌محیطی<br>(McCloy et al., 2024; Zeng et al., 2022)                             |
|      |                                | تاب‌آوری نهادی - مدیریتی<br>(Xiang et al., 2024)                                            |
| ۲    | راهکارهای مبتنی بر طبیعت (NBS) | احیای رود دره‌ها و مسیل‌ها                                                                  |
|      |                                | توسعه فضاهای سبز نفوذپذیر                                                                   |
|      |                                | ایجاد بام‌ها و دیوارهای سبز<br>(Boros & Mahmoud, 2021; Xiao et al., 2023)                   |
|      |                                | استفاده از پوشش گیاهی بومی<br>(Boros & Mahmoud, 2021; Xiao et al., 2023)                    |
| ۳    | چالش‌های اجرایی                | مدیریت رواناب با رویکرد LID<br>(Quichimbo-Miguitama et al., 2022)                           |
|      |                                | محدودیت‌های قانونی<br>(Venuti et al., 2025;)                                                |
|      |                                | کمبود منابع مالی<br>(Zhao et al., 2024)                                                     |
|      |                                | ضعف هماهنگی بین‌بخشی                                                                        |
|      |                                | عدم مشارکت ذی‌نفعان<br>(Remme & Haarstad, 2022; et al., 2021)                               |
| ۴    | گزینه‌ها (مناطق تهران)         | منطقه یک (شمیرانات)                                                                         |
|      |                                | منطقه ۲۲                                                                                    |
|      |                                | منطقه ۵                                                                                     |
|      |                                | منطقه ۱۲ (مرکز تاریخی)                                                                      |

### ۳ روش تحقیق

کتابخانه‌ای به بررسی ادبیات مرتبط پرداخته و معیارهای پژوهش انتخاب و دسته‌بندی شد. در قدم بعدی، به‌منظور شناسایی اولویت‌های رویکرد طبیعت‌محور برای بهبود تاب‌آوری شهر تهران، از پرسش‌نامه‌ای خبرگان‌محور استفاده شد که توسط ۱۷۸ نفر از کارشناسان حوزه‌های شهرسازی، مدیریت شهری و محیط زیست شهری تکمیل شد.

پژوهش حاضر به جهت روش کمی، بر پایه هدف، کاربردی و به لحاظ ماهیت توصیفی - اکتشافی است. به‌منظور گردآوری اطلاعات و داده‌ها، از مطالعه کتابخانه‌ای، میدانی و بررسی اسنادی استفاده شده است. در وهله نخست، پس از برداشت‌های میدانی و براساس مطالعات



(حدود ۸۹ درصد) دارای CR کمتر از ۰/۱ بودند و در تحلیل نهایی لحاظ شدند؛ میانگین نرخ ناسازگاری کل برابر با ۰/۰۷۲ به دست آمد که بیانگر سازگاری مناسب قضاوت‌های خبرگان و اعتبار نتایج وزن‌دهی است.

سرانجام با استفاده از موارد به‌دست‌آمده و با توجه به ویژگی‌های فرآیند تحلیل شبکه‌ای و خصوصیات شهر تهران، اطلاعات اولیه طبقه‌بندی و به‌تبع آن الگوی مفهومی ANP با استفاده از نرم‌افزار Super Decisions تهیه و پیاده‌سازی شد. روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای یکی از قدرتمندترین فن‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است که در این پژوهش، معیارها به‌عنوان خوشه‌ها و گزینه‌ها به‌عنوان زیرگروه یا زیرشبکه (نود) تعریف شده‌اند. وزن‌دهی به معیارهای الگو بر پایه داده‌های به‌دست‌آمده از عملیات پیمایشی در سطح مناطق منتخب تهران انجام گرفت و خروجی آن به‌صورت سوپرماتریس‌های مقایسه زوجی در نرم‌افزار تحلیل شد.

این خبرگان براساس معیارهایی چون حداقل پنج سال سابقه حرفه‌ای مرتبط، دارا بودن مدرک کارشناسی‌ارشد یا بالاتر در رشته‌های مرتبط و آشنایی با مسائل شهر تهران انتخاب شدند. انتخاب نمونه‌ها با ترکیب روش هدفمند و زنجیره‌ای انجام گرفت تا نمایندگان متنوعی از بخش‌های دانشگاهی، شهرداری، شرکت‌های مشاور و سازمان‌های مردم‌نهاد در مطالعه حضور داشته باشند. ابزار گردآوری داده‌ها شامل پرسش‌نامه‌ای چهاربخشی بود که بخش نخست به اطلاعات دموگرافیک و حرفه‌ای اختصاص داشت، بخش دوم شامل سؤالات بسته با مقیاس پنج‌درجه‌ای لیکرت برای ارزیابی اهمیت نسبی شاخص‌ها بود، بخش سوم مقایسات زوجی میان معیارها و زیرمعیارها را در چارچوب فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) دربرمی‌گرفت و بخش چهارم شامل چند سؤال باز برای دریافت دیدگاه‌های تکمیلی خبرگان بود. داده‌های حاصل از مقایسات زوجی در نرم‌افزار Super Decisions وارد و نرخ ناسازگاری (CR) برای هر ماتریس مقایسه محاسبه شد. از مجموع پرسش‌نامه‌های دریافتی، ۱۵۸ مورد

جدول ۲. ویژگی‌های جمعیت‌شناختی و حرفه‌ای خبرگان شرکت‌کننده در پژوهش

| متغیر               | طبقه‌بندی            | آقایان | بانوان | کل   | درصد از کل |
|---------------------|----------------------|--------|--------|------|------------|
| میانگین سنی (سال)   | —                    | ۴۴٫۲   | ۴۱٫۷   | ۴۳٫۱ | —          |
| جنسیت               | —                    | ۱۱۰    | ۶۸     | ۱۷۸  | ۱۰۰        |
| تحصیلات             | کارشناسی‌ارشد        | ۶۲     | ۳۶     | ۹۸   | ۵۵٫۱       |
|                     | دکتری                | ۴۸     | ۳۲     | ۸۰   | ۴۴٫۹       |
| سابقه حرفه‌ای مرتبط | ۵-۱۰ سال             | ۲۲     | ۱۸     | ۴۰   | ۲۲٫۵       |
|                     | ۱۱-۲۰ سال            | ۵۴     | ۲۸     | ۸۲   | ۴۶٫۱       |
|                     | بیش از ۲۰ سال        | ۳۴     | ۲۲     | ۵۶   | ۳۱٫۴       |
| وابستگی سازمانی     | دانشگاه/پژوهش        | ۴۲     | ۳۰     | ۷۲   | ۴۰٫۴       |
|                     | شهرداری/سازمان دولتی | ۳۸     | ۲۲     | ۶۰   | ۳۳٫۷       |
|                     | شرکت مشاور/خصوصی     | ۲۰     | ۱۰     | ۳۰   | ۱۶٫۹       |
|                     | NGO و سایر           | ۱۰     | ۶      | ۱۶   | ۹٫۰        |

تحلیل سلسله‌مراتبی توسط توماس ساعتی در دهه ۱۹۹۰ معرفی شد. این روش برای الگوسازی مسائل

فرآیند تحلیل شبکه‌ای یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره است که به‌عنوان توسعه‌ای از فرآیند



که در ANP وابستگی‌های درونی و بیرونی بین عناصر نیز در نظر گرفته می‌شود. خبرگان با استفاده از مقیاس ۱-۹ ساعتی، اهمیت نسبی عناصر را مشخص می‌کنند (Si & Niu, 2024).

- **مرحله سوم:** تشکیل سوپرماتریس اولیه: در این مرحله، نتایج مقایسات زوجی در قالب یک سوپرماتریس بزرگ قرار می‌گیرند که روابط متقابل بین همه عناصر شبکه را نشان می‌دهد. این سوپرماتریس شامل زیرماتریس‌هایی است که وزن‌های نسبی عناصر را در خود جای می‌دهد.

- **مرحله چهارم:** تشکیل سوپرماتریس موزون - برای اطمینان از اینکه سوپرماتریس تصادفی است، ستون‌های سوپرماتریس اولیه نرمالیزه می‌شوند تا مجموع هر ستون برابر با یک شود.

- **مرحله پنجم:** محاسبه سوپرماتریس حد: در این مرحله، سوپرماتریس موزون به توان می‌رسد تا همگرا شود. فرآیند به توان رساندن تا زمانی ادامه می‌یابد که عناصر هر ردیف سوپرماتریس با یکدیگر برابر شوند؛ یعنی سوپرماتریس حد به دست آید. این سوپرماتریس حد، اولویت‌های نهایی عناصر را نشان می‌دهد (Widjajanti & Sugiyanto, 2024).

- **مرحله ششم:** انتخاب بهترین گزینه: با توجه به اولویت‌های به‌دست‌آمده از سوپرماتریس حد، گزینه‌ها رتبه‌بندی شده و بهترین گزینه انتخاب می‌شود (Xu et al., 2021).

پس از تکمیل پرسش‌نامه‌ها توسط خبرگان و ورود داده‌ها به نرم‌افزار Super Decisions، فرآیند ANP با تشکیل ماتریس‌های مقایسه زوجی برای کلیه ارتباطات شبکه آغاز گردید. به منظور اطمینان از قابلیت اعتماد و سازگاری درونی قضاوت‌های خبرگان، نرخ ناسازگاری (CR) برای هریک از این ماتریس‌ها محاسبه شد. براساس معیار ساعتی، تنها ماتریس‌هایی که نرخ ناسازگاری آن‌ها کمتر یا مساوی ۰/۱ بود، مورد تأیید قرار گرفتند و در تحلیل نهایی ( $CR \leq 0.1$ ) استفاده شدند که میانگین این نرخ‌ها در نهایت به ۰/۰۶ رسید که نشان از سازگاری

پیچیده با وابستگی‌ها و بازخوردهای متقابل بین معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها طراحی شده است. برخلاف AHP که ساختار سلسله‌مراتبی خطی را فرض می‌کند، ANP با استفاده از یک ساختار شبکه‌ای، روابط متقابل و پیچیده بین عناصر تصمیم‌گیری را در نظر می‌گیرد که این ویژگی آن را برای تحلیل مسائل چندوجهی در شهرسازی مناسب می‌کند.

در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، ANP با ایجاد یک چارچوب منسجم برای ارزیابی گزینه‌های مختلف تحت معیارهای متعدد و اغلب متضاد، به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند تا اولویت‌ها را تعیین کرده و راه‌حل‌های بهینه را انتخاب کنند. این فرآیند با شناسایی هدف اصلی تصمیم‌گیری آغاز می‌شود، مانند انتخاب مکان بهینه برای توسعه زیرساخت‌های شهری یا ارزیابی تاب‌آوری در برابر سوانح طبیعی. سپس، عناصر تصمیم‌گیری شامل معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها تعریف می‌شوند. این عناصر در یک شبکه تصمیم‌گیری سازمان‌دهی می‌شوند که در آن خوشه‌ها (clusters) و گره‌ها (nodes) نشان‌دهنده معیارها و گزینه‌ها هستند و پیکان‌ها روابط متقابل و بازخورد بین آن‌ها را نشان می‌دهند. مزیت اصلی ANP، توانایی آن در مدیریت پیچیدگی‌های ذاتی مسائل شهری است که اغلب شامل ذی‌نفعان متعدد، معیارهای متضاد و اثرات متقابل غیرخطی هستند.

مراحل اجرای فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) به شرح زیر است:

- **مرحله اول:** ساخت الگو و ساختاردهی مسأله: مسأله تصمیم‌گیری تعریف و به اهداف، معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها تجزیه می‌شود. برخلاف AHP، در ANP این عناصر در یک ساختار شبکه‌ای با روابط متقابل و بازخوردی قرار می‌گیرند.

- **مرحله دوم:** مقایسات زوجی و بردارهای اولویت: در این مرحله، مانند AHP، مقایسات زوجی بین عناصر تصمیم انجام می‌شود، اما با این تفاوت



البرز، از تراکم جمعیتی پایین‌تر و فضای سبز بیشتری نسبت به سایر مناطق برخوردار است. این منطقه به‌عنوان یکی از مناطق مرفه‌نشین تهران شناخته می‌شود. با این حال، توسعه شهری بی‌رویه و ساخت‌وسازهای غیراصولی در سال‌های اخیر، آسیب‌پذیری این منطقه را در برابر سوانحی مانند سیل و زمین‌لغزش افزایش داده است.

- منطقه ۵ تهران، واقع در غرب شهر، یکی از مناطق پرتراکم و در حال توسعه است. این منطقه ترکیبی از کاربری‌های مسکونی، تجاری و اداری را در خود جای داده و با چالش‌هایی مانند کمبود فضای سبز، آلودگی هوا و افزایش دمای شهری مواجه است. همچنین، این منطقه به دلیل نزدیکی به اراضی بایر و حاشیه‌ای، توانایی بالایی برای اجرای پروژه‌های احیای بوم‌شناختی دارد.

- منطقه ۱۲ به‌عنوان هسته تاریخی تهران، از بافت شهری فرسوده و تراکم بالای جمعیتی برخوردار است. این منطقه با چالش‌های متعددی مانند فرسودگی زیرساخت‌ها، کمبود فضاهای سبز و آسیب‌پذیری بالا در برابر زلزله و سیل مواجه است. همچنین، مشارکت جامعه محلی در اجرای این راهکارها از اهمیت بالایی برخوردار است.

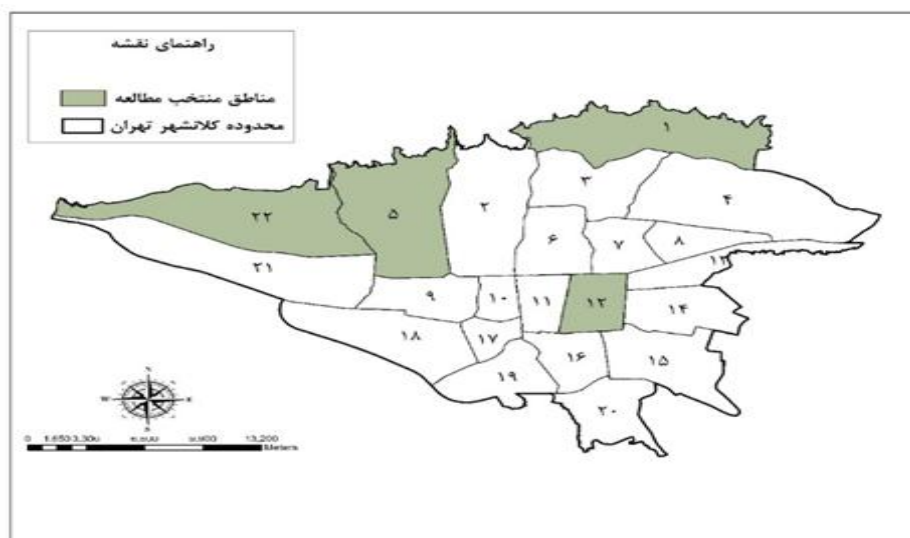
- منطقه ۲۲، واقع در شمال غرب تهران، یکی از مناطق جدید و برنامه‌ریزی شده است که با هدف ایجاد شهری پایدار طراحی شده است. این منطقه از توانایی بالایی برای اجرای راهکارهای مبتنی بر طبیعت برخوردار است؛ چراکه هنوز در مراحل اولیه توسعه قرار دارد و امکان ادغام اصول تاب‌آوری در طراحی زیرساخت‌های آن وجود دارد.

و قابلیت اطمینان بالای داده‌های ورودی دارد. در گام بعدی، ماتریس‌های تأیید شده ادغام و سوپر ماتریس اولیه تشکیل شد. این سوپر ماتریس سپس نرمال‌سازی شد تا سوپر ماتریس موزون به دست آید. در نهایت، با به توان رساندن سوپر ماتریس موزون تا حد همگرایی، سوپر ماتریس حد حاصل شد که اولویت‌های نهایی همه معیارها و گزینه‌ها، از جمله امتیاز ۰/۲۳۸ برای تاب‌آوری زیست‌محیطی، امتیاز ۰/۲۲۳ برای توسعه فضاهای سبز نفوذپذیر، امتیاز ۰/۳۱۶ برای کمبود منابع مالی و امتیاز ۰/۴۸۹ برای منطقه یک، مستقیماً از آن استخراج شد.

### ۳/۱ محدوده مورد مطالعه

مناطق ۱، ۵، ۱۲ و ۲۲ تهران به‌عنوان عرصه پژوهش این مطالعه انتخاب شده‌اند. هر یک از این مناطق دارای ویژگی‌های منحصربه‌فردی هستند که آن‌ها را به نمونه‌های مناسبی برای بررسی کاربست راهکارهای مبتنی بر طبیعت (NBS) در ارتقاء تاب‌آوری شهری تهران تبدیل می‌کند. انتخاب این چهار منطقه به دلیل تنوع در ویژگی‌های جغرافیایی، اجتماعی و محیط‌زیستی، امکان بررسی جامع چالش‌ها و فرصت‌های اجرای راهکارهای مبتنی بر طبیعت در تهران را فراهم می‌کند. هر منطقه نماینده بافت‌های متفاوت شهری است که نیازمند راهکارهای خاص خود هستند. این مطالعه با تمرکز بر این مناطق، می‌تواند به ارائه راهبردهایی برای نهادینه‌سازی NBS در کلان‌شهر تهران کمک کند. در ادامه، توضیحاتی درباره هریک از این مناطق ارائه می‌شود:

- منطقه ۱ تهران، واقع در شمال شهر، به دلیل موقعیت جغرافیایی خاص خود در دامنه‌های

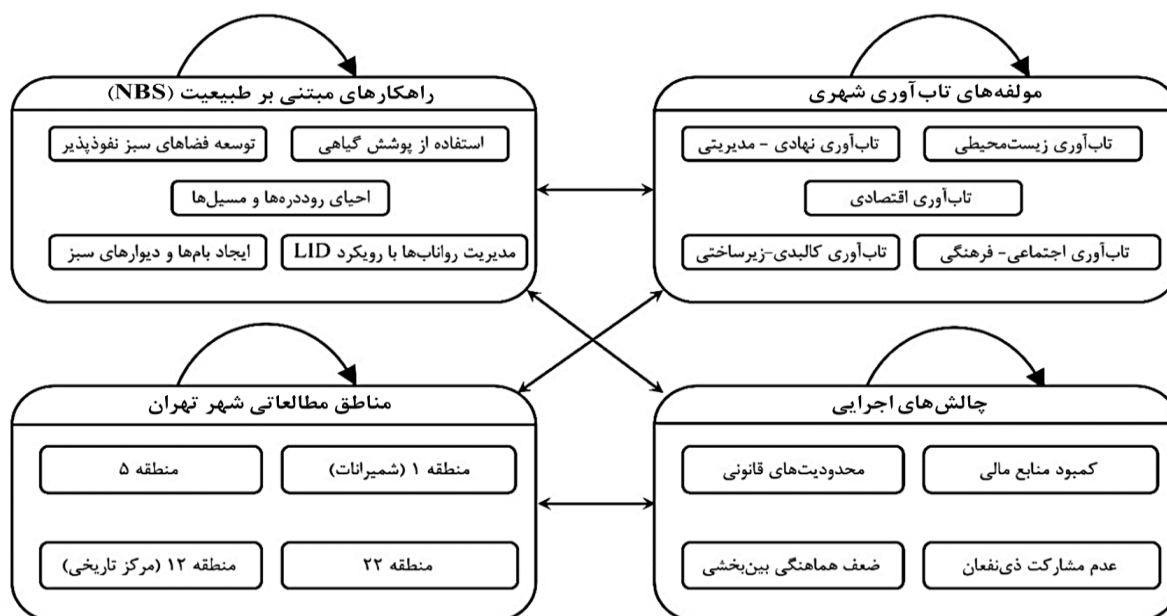


شکل ۱. محدوده‌های انتخابی پژوهش

مورد استفاده قرار گرفته است. در داخل هر خوشه، عناصر و معیارهای مربوطه جای می‌گیرند. عناصر هر خوشه ضمن آنکه به هم مربوط می‌شوند؛ برخی از آن‌ها ممکن است با عناصر سایر خوشه‌ها در ارتباط باشند. جدول شماره ۱ معیارها و شاخص‌های مؤثر در الگو و شکل (۲) ساختار شبکه‌ای الگو را نشان می‌دهد.

## ۴ یافته‌ها و بحث

در پژوهش حاضر، معیارها به‌عنوان خوشه‌ها و گزینه‌ها به‌عنوان زیرگروه یا زیرشبکه (نود) تعریف شده‌اند. بر اساس این، سه خوشه (معیار / گروه) و یک خوشه با عنوان گزینه‌ها (مناطق شهری منتخب تهران) و ۱۸ زیرگروه (نود) در طراحی کلی الگو ANP



شکل ۱. ساختار شبکه‌ای الگوی پژوهش



## ۴،۱ وزن‌دهی به معیارها و شاخص‌های الگو ANP

وزن‌دهی به معیارها و شاخص‌های الگو ANP براساس خروجی داده‌ها و اطلاعات به‌دست‌آمده از عملیات پیمایشی در سطح مناطق منتخب تهران انجام شده است. این روش، مبتنی بر گستره وزنی الگو ANP است که دامنه‌ای عددی از ۱ تا ۹ را شامل می‌شود. در این روش، شبکه به شاخه‌های کوچک‌تر تقسیم شده و تک‌تک عناصر شاخه مانند  $i$  نسبت به یک عنصر در شاخه  $j$  مقایسه زوجی می‌شود. بر

اساس این، ترجیح‌ها شناسایی شده و ماتریس مقایسه زوجی تشکیل می‌شود. سپس بردار ویژه این ماتریس به دست می‌آید. به عبارت دیگر، از مقایسه عناصر شاخه  $i$  با هر عنصر از  $j$  یک بردار ویژه حاصل می‌شود. حال با مجموعه این بردارهای ویژه یک ماتریس بزرگ (سوپرماتریس) به دست می‌آید. شکل سه نمونه‌ای از روش وزن‌دهی براساس داده‌ها و اطلاعات حاصل از بررسی‌ها در سطح چهار منطقه منتخب کلان‌شهر تهران در الگو ANP (نرم‌افزار Super decisions) را نشان می‌دهد.

| Inconsistency Ratio: 0.04258       |                       |          |
|------------------------------------|-----------------------|----------|
| Name                               | Normalized by Cluster | Limiting |
| احیای رودرها و مسیله‌ها            | 0.26041               | 0.26041  |
| استفاده از پوشش گیاهی بومی         | 0.24309               | 0.24309  |
| ایجاد بله‌ها و دیوارهای سبز        | 0.4019                | 0.4019   |
| توسعه فضاهای سبز و پوشش گیاهی بومی | 0.15631               | 0.15631  |

شکل ۲. نمونه‌ای از روش وزن‌دهی براساس داده‌ها و اطلاعات حاصل در الگو ANP

بازسازی شده از شبکه تعاملات ابعاد و شاخص‌های فرآیندمحوری با استفاده از خروجی‌های الگوسازی به عنوان ورودی‌های نرم‌افزار ANP است که تعیین روابط و سطح‌بندی ابعاد خوشه‌ها و نودها را در الگو نرم‌افزار مشخص و اجرا می‌کند. در ادامه، جدول سه و چهار، خروجی ماتریس حد و ماتریس خوشه‌ها را نشان می‌دهد که عنوان‌های سطری و ستونی مؤید نام خوشه‌ها است و پردازش گره‌ها یا نودها در ذیل قسمت میانی نمایان است.

## ۴،۲ حل مسائل شبکه‌ای و طراحی الگو ANP

باید در نظر داشت که حل مسائل به کمک شبکه به مقدار زیاد به (هنر الگوساز) بستگی داشته و تشکیل از یک قاعده خاص پیروی نمی‌کند؛ بنابراین حل هر مسأله پیچیدگی خاص خود را دارد و یک قاعده یا فرمول کلی را نمی‌توان برای حل مسائل شبکه اختصاص داد. خطوط شکل دو، شکلی

جدول ۳. نمونه‌ای از حد ماتریس براساس داده‌ها در الگو ANP

| Cluster Node Labels            |                             | راهکارهای مبتنی بر طبیعت (NBS) |                               |                            |                             |                           | مولفه‌های تاب‌آوری شهری |                  |                     |
|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|-------------------------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------|------------------|---------------------|
|                                |                             | مدیریت LID<br>رواناب یا رویکرد | احیای رودخانه‌ها<br>و مسیل‌ها | استفاده از پوشش گیاهی بومی | ایجاد بام‌ها و دیوارهای سبز | توسعه فضاهای سبز نفوذپذیر | تاب‌آوری اجتماعی-فرهنگی | تاب‌آوری اقتصادی | تاب‌آوری زیست‌محیطی |
| راهکارهای مبتنی بر طبیعت (NBS) | مدیریت LID رواناب یا رویکرد | 0.000000                       | 0.075162                      | 0.073905                   | 0.044343                    | 0.110857                  | 0.111111                | 0.066667         | 0.066667            |
|                                | احیای رودخانه‌ها و مسیل‌ها  | 0.115475                       | 0.000000                      | 0.073905                   | 0.044343                    | 0.000000                  | 0.055556                | 0.066667         | 0.066667            |
|                                | استفاده از پوشش گیاهی بومی  | 0.107794                       | 0.139861                      | 0.000000                   | 0.177372                    | 0.110857                  | 0.055556                | 0.066667         | 0.066667            |
|                                | ایجاد بام‌ها و دیوارهای سبز | 0.150849                       | 0.144531                      | 0.147810                   | 0.000000                    | 0.110857                  | 0.055556                | 0.066667         | 0.066667            |
|                                | توسعه فضاهای سبز نفوذپذیر   | 0.069312                       | 0.083875                      | 0.147810                   | 0.177372                    | 0.110857                  | 0.055556                | 0.066667         | 0.066667            |
| مولفه‌های تاب‌آوری شهری        | تاب‌آوری اجتماعی-فرهنگی     | 0.184718                       | 0.043564                      | 0.136825                   | 0.056028                    | 0.077474                  | 0.000000                | 0.083333         | 0.083333            |
|                                | تاب‌آوری اقتصادی            | 0.027829                       | 0.085784                      | 0.053762                   | 0.030276                    | 0.077474                  | 0.051746                | 0.000000         | 0.083333            |
|                                | تاب‌آوری زیست‌محیطی         | 0.061170                       | 0.124898                      | 0.093336                   | 0.195421                    | 0.077474                  | 0.132256                | 0.083333         | 0.000000            |

جدول ۴. نتایج الگوی ANP مبتنی بر اولویت‌های راهکارهای مبتنی بر طبیعت (NBS) در بهبود تاب‌آوریشهری تهران

| Cluster Node Labels            |                             | راهکارهای مبتنی بر طبیعت (NBS) |                               |                            |                             |                           | مولفه‌های تاب‌آوری شهری |                  |                     |
|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|-------------------------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------|------------------|---------------------|
|                                |                             | مدیریت LID<br>رواناب یا رویکرد | احیای رودخانه‌ها<br>و مسیل‌ها | استفاده از پوشش گیاهی بومی | ایجاد بام‌ها و دیوارهای سبز | توسعه فضاهای سبز نفوذپذیر | تاب‌آوری اجتماعی-فرهنگی | تاب‌آوری اقتصادی | تاب‌آوری زیست‌محیطی |
| راهکارهای مبتنی بر طبیعت (NBS) | مدیریت LID رواناب یا رویکرد | 0.079256                       | 0.079256                      | 0.079256                   | 0.079256                    | 0.079256                  | 0.079256                | 0.079256         | 0.079256            |
|                                | احیای رودخانه‌ها و مسیل‌ها  | 0.059520                       | 0.059520                      | 0.059520                   | 0.059520                    | 0.059520                  | 0.059520                | 0.059520         | 0.059520            |
|                                | استفاده از پوشش گیاهی بومی  | 0.081942                       | 0.081942                      | 0.081942                   | 0.081942                    | 0.081942                  | 0.081942                | 0.081942         | 0.081942            |
|                                | ایجاد بام‌ها و دیوارهای سبز | 0.083019                       | 0.083019                      | 0.083019                   | 0.083019                    | 0.083019                  | 0.083019                | 0.083019         | 0.083019            |
|                                | توسعه فضاهای سبز نفوذپذیر   | 0.087672                       | 0.087672                      | 0.087672                   | 0.087672                    | 0.087672                  | 0.087672                | 0.087672         | 0.087672            |
| مولفه‌های تاب‌آوری شهری        | تاب‌آوری اجتماعی-فرهنگی     | 0.070343                       | 0.070343                      | 0.070343                   | 0.070343                    | 0.070343                  | 0.070343                | 0.070343         | 0.070343            |
|                                | تاب‌آوری اقتصادی            | 0.055827                       | 0.055827                      | 0.055827                   | 0.055827                    | 0.055827                  | 0.055827                | 0.055827         | 0.055827            |
|                                | تاب‌آوری زیست‌محیطی         | 0.077242                       | 0.077242                      | 0.077242                   | 0.077242                    | 0.077242                  | 0.077242                | 0.077242         | 0.077242            |

شکل چهار مقایسه وضعیت خوشه‌ها را در ماتریس تحلیل و ارزیابی اولویت‌های راهکارهای مبتنی بر طبیعت (NBS) در ارتقاء تاب‌آوری شهری نشان می‌دهد. براساس این اهمیت و برتری خوشه

هر خوشه و کل الگو نتایج خاص خود را ارائه می‌کند. از آنجاکه ارائه این نتایج حجم عملیات گسترده‌ای را دارا است؛ بنابراین در اینجا به برخی از وضعیت‌های برجسته و عمده حاصل از اجرای الگو اشاره می‌شود.



امتیاز نرمال ۰/۱۶۹ نمایان است؛ بنابراین خوشه راهکارهای مبتنی بر طبیعت (NBS) نسبت به سایر خوشه‌ها در اولویت بوده است.

راهکارهای مبتنی بر طبیعت (NBS) با امتیاز نرمال ۰/۴۴۳ در مقایسه با خوشه‌های مؤلفه‌های تاب‌آوری شهری با امتیاز نرمال ۰/۳۸۷ و چالش‌های اجرایی با

| Inconsistency Ratio: 0.01759 |          |                          |
|------------------------------|----------|--------------------------|
| Category                     | Priority | Design Notes             |
| راهکارهای مبتنی بر طبیعت     | 0.44343  | Top Priority (Highlight) |
| مؤلفه‌های تاب‌آوری شهری      | 0.38737  | Secondary Emphasis       |
| چالش‌های اجرایی              | 0.1692   | Lower Priority           |

شکل ۴. مقایسه وضعیت خوشه‌ها در ماتریس

- در خوشه مؤلفه‌های تاب‌آوری شهری، نود «تاب‌آوری زیست‌محیطی» (با امتیاز نرمال ۰/۲۳۸)
- در خوشه راهکارهای مبتنی بر طبیعت (NBS)، نود «توسعه فضاهای سبز نفوذپذیر» (با امتیاز نرمال ۰/۲۲۳)
- در خوشه چالش‌های اجرایی، نود «کمبود منابع مالی» (با امتیاز نرمال ۰/۳۱۶)

شکل‌های پنج، اولویت‌بندی هرکدام از خوشه‌ها براساس مقادیر اولیه از ماتریس کران‌دار، مقادیر نرمال‌شده و مقادیر ایده‌آل براساس ارزیابی نهایی در الگو ANP است که مقادیر اولیه از ماتریس کران‌دار حاصل می‌شود. مقادیر نرمال‌شده از نرمال‌کردن مقادیر اولیه (تقسیم هریک از مقادیر بر مجموع) به دست می‌آید و مقادیر ایده‌آل از تقسیم مقادیر اولیه با بزرگ‌ترین مقدار از بین آن‌ها به دست می‌آید؛ بنابراین اولویت راهکارهای مبتنی بر طبیعت (NBS) در ارتقاء تاب‌آوری شهری تهران به این صورت است:



| Here are the Priorities |                           |                       |          |
|-------------------------|---------------------------|-----------------------|----------|
| Icon                    | Name                      | Normalized by Cluster | Limiting |
| No Icon                 | تلب‌آوری کالبدی- زیرساختی | 0.17908               | 0.058116 |
| No Icon                 | تلب‌آوری اجتماعی- فرهنگی  | 0.21676               | 0.070343 |
| No Icon                 | تلب‌آوری اقتصادی          | 0.17203               | 0.055827 |
| No Icon                 | تلب‌آوری زیست محیطی       | 0.23802               | 0.077242 |
| No Icon                 | تلب‌آوری نهلی- مدیریتی    | 0.1941                | 0.062989 |

| Here are the Priorities |                      |                       |          |
|-------------------------|----------------------|-----------------------|----------|
| Icon                    | Name                 | Normalized by Cluster | Limiting |
| No Icon                 | محدودیت‌های قانونی   | 0.15425               | 0.043817 |
| No Icon                 | کمبود منابع مالی     | 0.31646               | 0.089899 |
| No Icon                 | ضعف هماهنگی بین بخشی | 0.28425               | 0.080747 |
| No Icon                 | عدم مشارکت ذینفعان   | 0.24504               | 0.06961  |

| Here are the Priorities |                             |                       |          |
|-------------------------|-----------------------------|-----------------------|----------|
| Icon                    | Name                        | Normalized by Cluster | Limiting |
| No Icon                 | احیای رودرها و مسیله‌ها     | 0.15207               | 0.05952  |
| No Icon                 | توسعه فضاهای سبز نفوذپذیر   | 0.22399               | 0.087672 |
| No Icon                 | ایجاد بله‌ها و دیوارهای سبز | 0.2121                | 0.083019 |
| No Icon                 | استفاده از پوشش گیاهی بومی  | 0.20935               | 0.081942 |
| No Icon                 | مدیریت روانب با رویکرد LID  | 0.20249               | 0.079256 |

اشکال ۵. اولویت‌بندی گره‌ها در هرکدام از خوشه‌ها براساس مقادیر اولیه از ماتریس کران‌دار، مقادیر نرمال‌شده و مقادیر ایده‌آل براساس ارزیابی نهایی در الگوی ANP

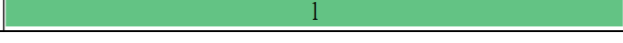
براساس ارزیابی نهایی، اولویت مناطق تهران از لحاظ ضرورت اجرای NBS به صورت زیر خواهد بود:

- منطقه ۱ (شمیرانات) با وزن نرمال‌شده ۰/۴۸۹ - منطقه ۲۲ با وزن نرمال‌شده ۰/۲۲۱ - منطقه ۵ با وزن نرمال‌شده ۰/۱۵۰ - منطقه ۱۲ با وزن نرمال‌شده ۰/۱۳۸

براساس نتایج به دست آمده، با مقایسه نتایج خوشه‌ها و گره‌ها، اولویت‌بندی راهکارهای مبتنی بر طبیعت (NBS) در بهبود تاب‌آوری شهری تهران مشخص می‌شود. نتایج نهایی منجر به تصمیم‌گیری در انتخاب اولویت‌ها خواهد شد. شکل شش اولویت‌های الگو را نشان می‌دهد و براساس مقادیر اولیه از ماتریس کران‌دار، مقادیر نرمال‌شده و ایده‌آل



Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct  
Overall Synthesized Priorities for the Alternatives  
Synthesized from the network Super Decisions Main Window: 2.mod (Formulaic)

| Name            | Graphic                                                                                    | Ideals   | Normals  | Raw      |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------|----------|
| منطقه ۱۲        |  0.282773 | 0.282773 | 0.138462 | 0.018556 |
| منطقه ۲۲        |  0.306936 | 0.306936 | 0.150293 | 0.020141 |
| منطقه ۵         |  0.452537 | 0.452537 | 0.221588 | 0.029696 |
| منطقه (شمیرانک) |  1       | 1        | 0.489657 | 0.06562  |

شکل ۶. اولویت‌بندی مناطق کلان‌شهر تهران براساس ارزیابی نهایی در الگوی ANP

صرفاً اقتصادی به یک شاخص کلیدی برای بحران حکمرانی تبدیل می‌کند؛ لذا، پیشنهاد عملیاتی تدوین «صندوق تاب‌آوری سبز تهران» با تخصیص حداقل ۲۰ درصد بودجه سالانه شهرداری (متناسب با وزن چالش) از طریق مالیات‌های زیست‌محیطی و ابزارهای نوآورانه است.

«توسعه فضاهای سبز نفوذپذیر» با وزن نرمال‌شده ۰/۲۲۳ یکی از اولویت‌های فنی است، اما ANP ابعاد کیفی را کامل پوشش نمی‌دهد؛ یکی دیگر از محدودیت‌های ذاتی الگوهای کمی مانند ANP، ناتوانی در سنجش کامل ابعاد کیفی و اجتماعی - فرهنگی است. بنابراین، پیشنهاد عملیاتی اجباری‌سازی مشارکت محلی در طراحی (نظرسنجی از ۳۰ درصد ساکنان هدف) و پایش اجتماعی سالانه برای هر پروژه NBS است. اولویت یافتن شاخص‌های فنی مانند «توسعه فضاهای سبز نفوذپذیر»، گرچه مهم است، اما بدون پاسخ به پرسش‌های بنیادین اجتماعی بی‌معنا خواهد بود. آیا در طراحی آن‌ها، نیازها و الگوهای رفتاری ساکنان محلی و گروه‌های مختلف اجتماعی (کودکان، سالمندان، زنان) در نظر گرفته شده است؟ آیا این پروژه‌ها به «اعیان‌نشینی سبز» و طرد ساکنان قدیمی منجر خواهند شد؟ موفقیت یک پارک یا فضای سبز شهری در عمل، بیش از آنکه به معیارهای مهندسی وابسته باشد، به عواملی چون احساس تعلق مکانی، امنیت اجتماعی، پذیرش فرهنگی و دسترسی عادلانه گره خورده است.

### ۴،۳ بحث: تاب‌آوری شهری در میانه نظریه و عمل - چارچوبی نوین برای تهران

منطقه ۱ با وزن نرمال‌شده ۰/۴۸۹ بالاترین اولویت را دارد؛ نتایج این پژوهش، شکلی واضح از اولویت‌های فنی برای کاربری راهکارهای مبتنی بر طبیعت (NBS) در تهران ارائه می‌دهد. بنابراین، اولویت نخست مداخلات NBS با مکانیزم‌های جبرانی برای مقاومت ذی‌نفعان باید بر منطقه ۱ متمرکز شود. منطقه ۱ برای اجرای NBS، اگرچه از منظر شاخص‌هایی چون شیب، وجود رود دره‌ها و خطر بالای سیل کاملاً منطقی و قابل‌دفاع است، اما در عمل نمونه‌ای بارز از تضادهای برنامه‌ریزی شهری در ایران محسوب می‌شود. این منطقه با بالاترین ارزش زمین در تهران و مقاومت شدید ذی‌نفعان قدرتمند (مالکان خصوصی و سازندگان) در برابر هرگونه محدودیتی که پروژه‌های مبتنی بر طبیعت بر ساخت‌وساز تحمیل کند، روبه‌رو است؛ لذا، پیشنهاد عملیاتی ایجاد طرح مشارکتی PPP با معافیت ۵۰ درصد مالیاتی برای حفظ حریم رود دره‌ها است، تا یافته فنی (وزن ۰/۴۸۹) به اجرا برسد.

«کمبود منابع مالی» با وزن نرمال‌شده ۰/۳۱۶ اصلی‌ترین چالش اجرایی است؛ همچنین «کمبود منابع مالی» به‌عنوان اصلی‌ترین چالش اجرایی توسط خبرگان، در نگاه اول یک نتیجه بدیهی به نظر می‌رسد، اما تحلیل عمیق‌تر، این یافته را از یک مانع



چارچوب در یک منطقه پایلوت، گام بعدی را در این مسیر بردارند.

## ۵ جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر در پاسخ به چالش‌های فزاینده محیطی در کلان‌شهر تهران و با اذعان به این واقعیت که رویکردهای سنتی مدیریت بحران، همان‌طور که در ادبیات پژوهش اشاره شد (مانند Vale, 2014 بر ناکارآمدی واکنش‌های پس‌ا حادثه تأکید دارد)، دیگر کارآمد نمی‌باشند، آغاز شد. این ناکارآمدی، با مبانی نظری Kabisch et al (۲۰۱۷) که رویکردهای واکنشی را ناکافی و NBS را چندمنظوره می‌دانند، همخوانی دارد. هدف اصلی، ارائه یک نقشه راه علمی برای کاربری راهکارهای مبتنی بر طبیعت (NBS) بود. این مطالعه در راستای پاسخ به پرسش کلیدی خود مبنی بر شناسایی «چالش‌های کلیدی (نهادی، فنی، مالی و اجتماعی) در مسیر کاربری NBS در تهران» و ارائه یک چارچوب، به نتایج مشخص و قابل‌توجهی دست‌یافت. در پاسخ به بخش نخست سؤال پژوهش، یافته‌ها به‌وضوح نشان داد که مهم‌ترین موانع، ریشه در ساختارهای مدیریتی و اقتصادی دارند. چالش مالی که در قالب «کمبود منابع مالی» رتبه‌بندی شد، اصلی‌ترین مانع شناسایی گردید. بلافاصله پس از آن، چالش نهادی، یعنی «ضعف هماهنگی بین‌بخشی» و چالش اجتماعی، یعنی «عدم مشارکت ذی‌نفعان»، به‌عنوان موانع کلیدی بعدی مشخص شدند. این نتایج، با مبانی نظری Zhao et al (۲۰۲۴) که موانع نهادی و مالی را اصلی‌ترین چالش‌های اجرای NBS می‌دانند و همچنین Brokking et al (۲۰۲۱) که بر پیچیدگی هماهنگی بین‌بخشی تأکید دارد، کاملاً هم‌سو است؛ این نتایج که با مطالعات جهانی همچون پژوهش‌های ژائو و همکاران (۲۰۲۴) نیز هم‌سو است، تأیید می‌کند که موفقیت راهکارهای طبیعت‌محور بیش از آنکه در گرو فناوری باشد، به اصلاحات در نظام حکمرانی وابسته است. در پاسخ به بخش دوم سؤال پژوهش، این مطالعه صرفاً به شناسایی موانع

برتری خوشه NBS با وزن ۰/۴۴۳ بر چالش‌ها (۰/۱۶۹) و مؤلفه‌های تاب‌آوری (۰/۳۸۷) شکاف نظریه-عمل را نشان می‌دهد؛ برای عبور از چالش‌های تحلیل‌شده و پر کردن شکاف میان یافته‌های نظری این پژوهش و واقعیت‌های اجرایی، یک «چارچوب تاب‌آوری تطبیقی» (شکل هفت) پیشنهاد می‌شود؛ لذا، هر ستون چارچوب مستقیماً به یک گسست ANP پاسخ می‌دهد: - یادگیری پویا و مبتنی بر بازخورد (برای انطباق اولویت منطقه ۱ با واقعیت‌های اجتماعی)، - حکمرانی چندلایه و یکپارچه (برای رفع چالش مالی و نهادی)، - پایش هوشمند و انسان‌محور (برای پوشش ابعاد اجتماعی فضاهای سبز).

این چارچوب بر سه ستون اصلی استوار است که هر یک مستقیماً به یکی از گسست‌های شناسایی‌شده پاسخ می‌دهد. نخست، یادگیری پویا و مبتنی بر بازخورد است که در تضاد با برنامه‌ریزی‌های ایستا و از بالا به پایین قرار دارد و با تأکید بر ارزیابی مستمر پروژه‌ها، امکان اصلاح و انطباق راهکارها با شرایط متغیر را فراهم می‌کند. این اصل، پاسخی مستقیم به ماهیت وابسته به زمینه راهکارهای NBS است. دوم، حکمرانی چندلایه و یکپارچه است که مستقیماً بحران نهادی و مدیریتی را هدف قرار می‌دهد و به معنای تعریف دقیق نقش‌ها در سه سطح کلان، میانی و محلی است تا به تداخل مسؤولیت‌ها و ضعف هماهنگی پایان دهد. سوم، پایش هوشمند و انسان‌محور است که برای پوشش حلقه مفقوده اجتماعی - فرهنگی طراحی شده و نه تنها شاخص‌های فنی، بلکه اثرات اجتماعی پروژه‌ها مانند رضایتمندی و حس امنیت شهروندان را نیز می‌سنجد. این چارچوب با ایجاد تعادل میان ساختار و انعطاف‌پذیری، زمینه را برای تبدیل چالش‌ها به فرصت‌های یادگیری و توسعه پایدار فراهم می‌کند. موفقیت آن مستلزم وجود تعهد نهادی، مشارکت اجتماعی و پشتیبانی فنی است و پژوهش‌های آتی می‌توانند با سنجش این



در آخر همان‌طور که در ادبیات تأکید شد، تاب‌آوری مفهومی چندبعدی است؛ این چندبعدی بودن، با مبانی نظری Meerow et al (۲۰۱۶) که تاب‌آوری را پویا و وابسته به زمینه می‌داند و Abedini et al (۲۰۲۲) که بر ابعاد فیزیکی، اجتماعی و نهادی تمرکز دارد، همخوانی کامل دارد؛ این پژوهش با به‌کارگیری فرآیند تحلیل شبکه‌ای، این ابعاد متعدد را در یک الگوی یکپارچه کمی صورت‌بندی کرده و به یک خروجی مشخص، یعنی اولویت‌بندی مناطق شهری (با محوریت منطقه ۱) دست‌یافت. درنهایت، این مطالعه با ارائه شواهد علمی و یک چارچوب مشخص، تأکید می‌کند که حرکت به‌سوی تهران تاب‌آور، نیازمند یک تغییر پارادایم از مداخلات پراکنده به سمت برنامه‌ریزی نظام‌مند، مبتنی بر شواهد و تطبیق‌پذیر است. این تغییر پارادایم، با مبانی نظری Levinthal & Weller (۲۰۲۳) که پروژه‌های مگا-اکو را الگوی تاب‌آوری می‌دانند و Beceiro et al (۲۰۲۲) که بر ارزیابی جامع NBS تأکید دارد، هماهنگ است.

بسندۀ نکرد، بلکه راهکارهای غلبه بر آن‌ها را نیز ارائه داد. بزرگ‌ترین فرصت و ظرفیت بالقوه، توانایی بالای خود راهکارهای مبتنی بر طبیعت تشخیص داده شد که در الگوی تحلیلی بالاترین اهمیت را کسب کردند. این ظرفیت، با مبانی نظری Chan et al (۲۰۱۸) که اثربخشی NBS را در کاهش ریسک‌های محیطی اثبات کرده همخوانی دارد. مهم‌تر از آن، این پژوهش با تلاش برای ارائه «چارچوب تاب‌آوری تطبیقی»، یک چارچوب مشخص برای نهادینه‌سازی NBS پیشنهاد داد. این چارچوب با سه محور یادگیری پویا، حکمرانی چندلایه و پایش هوشمند، مستقیماً برای مقابله با چالش‌های شناسایی‌شده مالی، نهادی و اجتماعی طراحی شده است. این چارچوب، با مبانیورانی نظری Zeng et al (۲۰۲۲) که تاب‌آوری را چندبعدی و نیازمند حکمرانی یکپارچه می‌داند و Lowe et al (۲۰۲۴) که بر پایش مستمر تأکید دارد، هم‌سو است.

## منابع

bedini, A., Aram, F., Khalili, A., & Mirzaei, E. (2022). Recognition and evaluating the indicators of urban resilient by using the network analysis process. *Urban Science*, 6(2), 31.

<https://doi.org/10.3390/urban-sci6020031>

Apostu, S. A., Vasile, V., Vasile, R., & Rosak-Szyrocka, J. (2022). Do smart cities represent the key to urban resilience? Rethinking urban resilience. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(22), 15410.

<https://doi.org/10.3390/ijerph192215410>

Beceiro, P., Brito, R. S., & Galvão, A. (2022). Nature-based solutions for water management: Insights to assess the contribution to urban resilience. *Blue-Green Systems*, 4(2), 108–134. <https://doi.org/10.2166/bgs.2022.009>

Boros, J., & Mahmoud, I. (2021). Urban design and the role of placemaking in mainstreaming nature-based solutions: Learning from the Biblioteca degli Alberi case study in Milan. *Frontiers in Sustainable Cities*, 3, 635610.



- <https://doi.org/10.3389/frsc.2021.635610>
- Bottero, M., Datola, G., & De Angelis, E. (2020). A system dynamics model and analytic network process: An integrated approach to investigate urban resilience. *Land*, 9(8), 242. <https://doi.org/10.3390/land9080242>
- Brokking, P., Mörtberg, U., & Balfors, B. (2021). Municipal practices for integrated planning of nature-based solutions in urban development in the Stockholm region. *Sustainability*, 13(18), 10389. <https://doi.org/10.3390/su131810389>
- Chan, F. K. S., Griffiths, J. A., & Higgitt, D. (2018). Nature-based solutions for urban climate adaptation and disaster risk reduction. In T. Kabisch, H. Korn, J. Stadler, & A. Bonn (Eds.), *Nature-based solutions to climate change adaptation in urban areas* (pp. 123-142). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-56091-5\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-319-56091-5_7)
- Clemente, M. F., D'Ambrosio, V., Di Martino, F., & Miraglia, V. (2023). Quantify the contribution of nature-based solutions in reducing the impacts of hydro-meteorological hazards in the urban environment: A case study in Naples, Italy. *Land*, 12(3), 569. <https://doi.org/10.3390/land12030569>
- Croese, S., Green, C., & Morgan, G. (2020). Localizing the Sustainable Development Goals through the lens of urban resilience: Lessons and learnings from 100 Resilient Cities and Cape Town. *Sustainability*, 12(2), 550. <https://doi.org/10.3390/su12020550>
- Cui, M., Ferreira, F., Fung, T. K., & Matos, J. S. (2021). Tale of two cities: How nature-based solutions help create adaptive and resilient urban water management practices in Singapore and Lisbon. *Sustainability*, 13(18), 10427. <https://doi.org/10.3390/su131810427>
- Datola, G., Bottero, M., De Angelis, E., & De Gregorio, M. (2021). Enhancing urban resilience capacities: An Analytic Network Process-based application. *Environmental and Climate Technologies*, 25(1), 1270-1283. <https://doi.org/10.2478/rtuct-2021-0096>
- Debele, S. E., Kumar, P., Sahani, J., Marti-Cardona, B., Mickovski, S. B., Leo, L. S., Porcù, F., Bertini, F., Montesi, D., Vojinovic, Z., & Di Sabatino, S. (2019). Nature-based solutions for hydro-meteorological hazards: Revised concepts, classification schemes and databases. *Environmental Research*, 179(B), 108799. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108799>



- Dehghani, A., Alidadi, M., & Soltani, A. (2023). Density and urban resilience: Cross-section analysis in an Iranian metropolis context. *Urban Science*, 7(1), 23.  
<https://doi.org/10.3390/urban-sci7010023>
- Dremel, M., Goličnik Marušić, B., & Zelnik, I. (2023). Defining natural habitat types as nature-based solutions in urban planning. *Sustainability*, 15(18), 13708.  
<https://doi.org/10.3390/su151813708>
- Farhadi, E., Pourahmad, A., Ziari, K., Faraji Sabokbar, H., & Tondelli, S. (2022). Indicators affecting the urban resilience with a scenario approach in Tehran metropolis. *Sustainability*, 14(19), 12756.  
<https://doi.org/10.3390/su141912756>
- Ferretti, V., & Montibeller, G. (2023). An integrated framework for multi-criteria decision analysis in urban planning: Combining ANP with GIS and stakeholder engagement. *European Journal of Operational Research*, 305(2), 494–509.  
<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2022.06.032>
- Hale, S. E., Folde, M. S., Melby, U. H., Sjødahl, E. U., Smebye, A. B., & Oen, A. M. P. (2022). From landfills to landscapes—Nature-based solutions for water management taking into account legacy contamination. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 18(1), 99–107.  
<https://doi.org/10.1002/ieam.4467>
- He, Y., Jorgensen, A., Sun, Q., Corcoran, A., & Alfaro-Simmonds, M. J. (2022). Negotiating complexity: Challenges to implementing community-led nature-based solutions in England pre- and post-COVID-19. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(22), 14906.  
<https://doi.org/10.3390/ijerph192214906>
- Holling, C. S. (1973). Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4(1), 1–23.  
<https://doi.org/10.1146/annurev.es.04.110173.000245>
- IPCC. (2023). Climate change 2023: Synthesis report. Intergovernmental Panel on Climate Change.  
<https://doi.org/10.1017/9781009157926>
- Jamali, A., Robati, M., Nikoomaram, H., Farasad, F., & Aghamohammadi, H. (2023). Urban resilience and climate change: Developing a multidimensional index to adapt against climate change in the Iranian capital city of Tehran. *Urban Science*, 7(1), 7.  
<https://doi.org/10.3390/urban-sci7010007>



- Kabisch, N., Frantzeskaki, N., & Pauleit, S. (2017). Urban green infrastructure for climate change adaptation and mitigation. *Urban Ecosystems*, 20(4), 857–873.  
<https://doi.org/10.1007/s11252-017-0656-3>
- Le Gouvello, R., Cohen-Shacham, E., Herr, D., Spadone, A., Simard, F., & Brugere, C. (2023). The IUCN Global Standard for Nature-based Solutions™ as a tool for enhancing the sustainable development of marine aquaculture. *Frontiers in Marine Science*, 10, 1146637.  
<https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1146637>
- Levinthal, R., & Weller, R. (2023). Mega-eco projects: A global assessment of large-scale ecological restoration initiatives. *Socio-Ecological Practice Research*, 5, 341–361.  
<https://doi.org/10.1007/s42532-023-00157-7>
- Lowe, M., Bell, S., Briggs, J., McMillan, E., Morley, M., Grenfell, M., & Jordan, N. (2024). A research-based, practice-relevant urban resilience framework for local government. *Local Environment*, 29(7), 886–901.  
<https://doi.org/10.1080/13549839.2024.2318571>
- McCloy, M. W. D., Andringa, R. K., Maness, T. J., Smith, J. A., & Grace, J. K. (2024). Promoting urban ecological resilience through the lens of avian biodiversity. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 12, 1302002.  
<https://doi.org/10.3389/fevo.2024.1302002>
- Meerow, S., Newell, J. P., & Stults, M. (2016). Defining urban resilience: A review. *Landscape and Urban Planning*, 147, 38–49.  
<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.11.011>
- Michalik-Śnieżek, M., Adamczyk-Mucha, K., Sowisz, R., & Bieske-Matejak, A. (2024). Green roofs: Nature-based solution or forced substitute for biologically active areas? A case study of Lublin City, Poland. *Sustainability*, 16(8), 3131.  
<https://doi.org/10.3390/su16083131>
- Morita, K., & Matsumoto, K. (2021). Governance challenges for implementing nature-based solutions in the Asian region. *Politics and Governance*, 9(4), 102–113.  
<https://doi.org/10.17645/pag.v9i4.4420>
- Parizi, S. M., Taleai, M., & Sharifi, A. (2022). A GIS-based multi-criteria analysis framework to evaluate urban physical resilience against earthquakes. *Sustainability*, 14(9), 5034.  
<https://doi.org/10.3390/su14095034>
- Putri, A. A., Sari, D. P., & Santoso, B. (2024). Application of the Analytic Network Process (ANP) in multi-criteria



- decision-making: A review of recent trends. *Journal of Decision Systems*, 33(2), 123-140.
- <https://doi.org/10.1080/12460125.2023.2278912>
- Quichimbo-Miguitama, F., Matamoros, D., Jiménez, L., & Quichimbo-Miguitama, P. (2022). Influence of low-impact development in flood control: A case study of the Febres Cordero stormwater system of Guayaquil (Ecuador). *Sustainability*, 14(12), 7109.
- <https://doi.org/10.3390/su14127109>
- Remme, D., & Haarstad, H. (2022). From instrumentalization to commoning: A critical review of participation in urban nature-based solutions. *Frontiers in Sustainable Cities*, 4, 917607.
- <https://doi.org/10.3389/frsc.2022.917607>
- Sabunchi, P., Khosravani Niko, M., Masnavi, M. R., & Motadin, H. (2025). Strategies for reducing drought and water stress in Tehran with emphasis on nature-based solutions (fuzzy cognitive map-based decision making). *Manzar*, 17(70), 26-33.
- <https://doi.org/10.22034/manzar.2024.473280.2307> [in Persian]
- Shah, M. A. R., Renaud, F. G., Wild, A., Anderson, C. C., Loupis, M., Panga, D., Stefanopoulou, M., Polderman, A., Pouta, E., Votsis, A., Thomson, C., Munro, K., Basu, B., Pilla, F., Pulvirenti, B., Toth, E., Domeneghetti, A., & Di Sabatino, S. (2020). A conceptual framework for vulnerability and risk assessment in the context of nature-based solutions to hydro-meteorological risks. EGU General Assembly.
- <https://doi.org/10.5194/egusphere-e-egu2020-20403>
- Shi, C., & Lu, J. (2024). Unlocking economic resilience: A new methodological approach and empirical examination under digital transformation. *Land*, 13(5), 621.
- <https://doi.org/10.3390/land13050621>
- Si, W., & Niu, L. (2024). Enhancing Human Reliability Prediction in Smart Tower Crane Interfaces: A Refined Approach Using Simplified Plant Analysis Risk-Human Reliability Assessment and the Decision Making Trial and Evaluation Laboratory-Analytic Network Process. *Buildings*, 14(4), 1083.
- <https://doi.org/10.3390/buildings14041083>
- Tehran Disaster Mitigation and Management Organization. (2018, October). Tehran Municipality statistical yearbook 1397 [Statistical yearbook]. Tehran Municipality. [in Persian]
- UNDRR. (2024). Global assessment report on disaster risk reduction 2024.



- United Nations Office for Disaster Risk Reduction.
- <https://www.undrr.org/terminology/disaster#:~:text=A%20serious%20disruption%20of%20the%20functioning%20of,material%2C%20economic%20and%20environmental%20losses%20and%20impacts>.
- van Rees, C. B., Chambers, M. L., Catalano, A. J., Buhr, D. X., Mansur, A. V., Hall, D. M., Nelson, A., Suedel, B., Hawley, R. J., Bledsoe, B., & Nibbelink, N. (2024). An interdisciplinary overview of levee setback benefits: Supporting spatial planning and implementation of riverine nature-based solutions. *WIREs Water*, 11(6), e1750.  
<https://doi.org/10.1002/wat2.1750>
- Venuti, F., Heinilä, A., & Davids, P. R. (2025). Regulations 'under the weather': Legal factors of stability and change for the implementation of natural stormwater management in Finland. *Environmental Policy and Governance*, 35(4), 431–449.  
<https://doi.org/10.1002/eet.2150>
- Widjajanti, K., & Sugiyanto, E. K. (2024). Competitiveness improvement strategies of MSME Blora Batik: Analytic network process approach. *International Journal of Professional Business Review*, 9(1), Article e03381.  
<https://doi.org/10.26668/businessreview/2024.v9i1.3381>
- Xiang, H., Heng, X., Zhai, B., & Yang, L. (2024). Digital and culture: Towards more resilient urban community governance. *Land*, 13(6), 758.  
<https://doi.org/10.3390/land13060758>
- Xiao, Z., Ge, H., Lacasse, M. A., Wang, L., & Zmeureanu, R. (2023). Nature-based solutions for carbon neutral climate resilient buildings and communities: A review of technical evidence, design guidelines, and policies. *Buildings*, 13(6), 1389.  
<https://doi.org/10.3390/buildings13061389>
- Xu, W., Cong, J., Proverbs, D., & Zhang, L. (2021). An Evaluation of Urban Resilience to Flooding. *Water*, 13(15), 2022.  
<https://doi.org/10.3390/w13152022>
- Zeng, X., Yu, Y., Yang, S., Lv, Y., & Sarker, M. N. I. (2022). Urban resilience for urban sustainability: Concepts, dimensions, and perspectives. *Sustainability*, 14(5), 2481.  
<https://doi.org/10.3390/su14052481>
- Zhao, J., Davies, C., Veal, C., Xu, C., Zhang, X., & Yu, F. (2024). Review on the application of nature-based solutions in urban forest planning and sustainable management. *Forests*, 15(4), 727.  
<https://doi.org/10.3390/f15040727>