

The role of diversity and redundancy in the resilience of the socio-hydrological system: A comparative study of Tehran's Urban districts

Samira Mohammadian¹, Mehdi Ghorbani^{1*}, Arash Malekian¹, Aboutaleb Mohammadi², Majid Rahimi³

1. Department of Arid and Mountainous Areas Rehabilitation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

2. Tehran City Studies and Planning Center, Tehran Municipality, Tehran, Iran

3. Social Business Institute, University of Tehran, Tehran, Iran

* Corresponding author: mehghorbani@ut.ac.ir

(Received: 28 July 2025

Revised: 13 September 2025

Accepted: 11 November 2025)

Extended Abstract

Introduction: Urban water resilience has emerged as a critical concept within urban science and resource management, particularly in metropolises like Tehran. The city faces a confluence of challenges, including rapid population growth, unbalanced physical development, the escalating impacts of climate change, and intensifying pressure on its limited water resources. These trends have profoundly impacted the sustainability and functionality of socio-hydrological systems—defined by the complex, feedback-driven interactions between human society and water systems. Consequently, urban water resilience has become a fundamental metric for evaluating a city's capacity to manage water crises. Within this context, the principles of diversity and redundancy are recognized as key components in maintaining the stability and continuous performance of urban water systems. By effectively strengthening these factors through urban policy, cities can reduce vulnerabilities and enhance their flexibility in confronting water crises and environmental changes. This study aims to conduct a comparative analysis of the role of diversity and redundancy in enhancing the resilience of the socio-hydrological system across three distinct urban districts of Tehran: Districts 4, 10, and 22.

Materials and methods: This research employed a comparative analytical approach, selecting three Tehran districts (4, 10, and 22) as case studies due to their significant differences in demographic and infrastructural characteristics. The conceptual framework was organized around five key dimensions of resilience: social, economic, organizational, infrastructural, and human capital. Data were collected using a structured questionnaire distributed to urban water managers and experts via a snowball sampling method. The questionnaire's validity was confirmed through expert review, and its reliability was demonstrated by a Cronbach's alpha coefficient of 0.89, indicating high internal consistency. For data analysis, the non-parametric Kruskal-Wallis test was utilized to compare the mean ranks across the different districts and dimensions, as the data distribution was non-normal.

Results and Discussion: The analysis revealed nuanced findings regarding diversity and redundancy. At the overall level of diversity, no significant difference was observed between the three districts ($p=0.577$). However, a detailed examination of sub-dimensions showed that District 22 held a significant superiority in social capital diversity ($p=0.003$). This indicates a high capacity for strengthening social participation and leveraging dynamic informal civic relationships, underscoring the importance of social networks in enhancing resilience in newer districts, even with less-developed physical infrastructure. In contrast, the redundancy dimension showed a notable advantage for the more established Districts 4 and 10, particularly in the economic, organizational, and infrastructural domains, with an overall significant difference ($p=0.019$). This superiority was statistically significant in the sub-dimensions of economic ($p=0.014$), institutional ($p=0.013$), and infrastructural ($p=0.033$) capital. These findings suggest that historical context and existing infrastructure bolster structural and economic resilience in older districts, whereas newer districts may derive dynamic resilience from robust social capital and informal networks. The study also identified cross-cutting challenges, including a lack of precise organizational data, a disconnect between national policies and local implementation, and structural-demographic constraints, which hinder resilience-building in all districts. Addressing these weaknesses requires holistic, region-specific strategies, improved inter-institutional communication, and the mobilization of local social capacities.

Conclusion: The findings demonstrate that urban water resilience is a multidimensional phenomenon that cannot be achieved through technical and infrastructural solutions alone. A comprehensive approach must also strengthen human interactions, institutional cooperation, and the strategic application of local social capacities. The analytical framework developed in this research provides a valuable, context-sensitive basis for evaluating, planning, and enhancing urban water resilience in other metropolises. Achieving sustainable urban water resilience is contingent upon participatory governance, transparent management mechanisms, meaningful stakeholder engagement, and a dedicated focus on the unique local capacities of each district. Therefore, it is recommended that urban policymakers, in their pursuit of enhanced water resilience, simultaneously address human, economic, and institutional aspects alongside the expansion of technical and financial infrastructures. Ultimately, resilience in the face of future water challenges demands a comprehensive, interdisciplinary, and continuous approach that integrates the participation of all stakeholders with the application of technological and managerial innovations.

Keywords: Redundancy, Diversity, Social capital, Water resources management, Socio-hydrological system

Citation: Mohammadian, S., Ghorbani, M., Malekian, A., Mohammadi, A., & Rahimi, M. (2026). The role of diversity and redundancy in the resilience of the socio-hydrological system: A comparative study of Tehran's Urban districts. *Integrated Watershed Management*, 2(6), 79-94. doi:10.22034/iwm.2025.2067168.1243

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Integrated Watershed Management. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



نقش تنوع و افزونگی در تاب‌آوری نظام اجتماعی-هیدرولوژیک: مطالعه تطبیقی مناطق

تهران

سمیرا محمدیان^۱، مهدی قربانی^{۱*}، آرش ملکیان^۱، ابوطالب محمدی^۲، مجید رحیمی^۳

۱. گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۲. مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران، شهرداری تهران، تهران، ایران

۳. موسسه کسب و کار اجتماعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

*نویسنده مسئول: mehghorbani@ut.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۲۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۶/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۰۶

چکیده مبسوط

مقدمه: تاب‌آوری منابع آب شهری امروزه به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مفاهیم در علوم شهری و مدیریت منابع، به‌ویژه در کلان‌شهرها که با رشد سریع جمعیتی، توسعه نامتوازن کالبدی، اثرات فزاینده تغییرات اقلیمی و فشار روزافزون بر منابع آب محدود مواجه است، مطرح می‌باشد. تداوم این روندها، پایداری و عملکرد نظام‌های اجتماعی-هیدرولوژیکی را به شدت تحت تأثیر قرار داده و تاب‌آوری منابع آب شهری را به شاخص بنیادینی برای ارزیابی ظرفیت مدیریت بحران‌های آب بدل کرده است. در این میان، دو مؤلفه تنوع و افزونگی نقش کلیدی در حفظ پایداری و استمرار عملکرد نظام آب شهری ایفا می‌کنند. تقویت مؤثر این دو عامل در چارچوب سیاست‌های شهری می‌تواند زمینه‌ساز کاهش آسیب‌پذیری‌ها و افزایش انعطاف‌پذیری شهرها در مواجهه با بحران‌های آبی و تغییرات محیطی باشد. پژوهش حاضر با هدف بررسی تطبیقی نقش دو اصل تنوع و افزونگی در ارتقاء تاب‌آوری نظام اجتماعی-هیدرولوژیکی مناطق ۴، ۱۰ و ۲۲ تهران انجام شده است.

مواد و روش‌ها: برای این پژوهش با رویکرد تحلیلی تطبیقی، سه منطقه شهری تهران (مناطق ۴، ۱۰ و ۲۲) به دلیل تفاوت‌های بارز در ساختارهای جمعیتی و زیرساختی به عنوان نمونه مطالعاتی انتخاب گردید. چارچوب مفهومی بر پنج بعد اصلی (سرمایه اجتماعی، اقتصادی، نهادی، زیرساختی و انسانی) استوار بود. داده‌ها از طریق پرسشنامه ساختاریافته و با روش نمونه‌گیری گلوله‌برفی از میان مدیران و کارشناسان آب شهری گردآوری شد. روایی پرسشنامه با نظر کارشناسان، پایایی آن با ضریب آلفای کرونباخ (۰/۸۹) و تحلیل داده‌ها با استفاده از آزمون غیرپارامتری کروسکال-والیس انجام شد.

نتایج و بحث: بررسی‌ها نشان داد که در بعد کلی تنوع، تفاوت معنی‌داری میان مناطق مشاهده نشد ($p = 0/577$). با این حال، تحلیل دقیق‌تر زیرباعد نشان داد که در زیربعد سرمایه اجتماعی تنوع، منطقه ۲۲ به طور معنی‌داری برتری داشت ($p = 0/003$). این امر بیانگر ظرفیت بالای این منطقه در تقویت مشارکت اجتماعی و پویایی روابط غیررسمی شهروندی است. این دستاورد، اهمیت شبکه‌ها و کنشگری‌های اجتماعی را در ارتقاء تاب‌آوری مناطق نوظهور با زیرساخت‌های کمتر تقویت می‌کند. در مقابل، یافته‌ها نشان از برتری قابل توجه بعد افزونگی در مناطق ۴ و ۱۰ در حوزه‌های اقتصادی، نهادی و زیرساختی داشت (با تفاوت کلی معنی‌دار در سطح $p = 0/019$). این تفاوت در زیرباعد اقتصادی ($p = 0/014$)، نهادی ($p = 0/013$) و زیرساختی ($p = 0/033$) از نظر آماری معنی‌دار بود. تحلیل‌ها نشان داد که سابقه تاریخی مناطق، تقویت کننده تاب‌آوری ساختاری و اقتصادی است، اما در مناطق جدیدتر، تاب‌آوری پویا عمدتاً از مسیر ارتقاء سرمایه اجتماعی و شبکه‌سازی غیررسمی حاصل می‌شود. از سوی دیگر، چالش‌هایی نظیر کمبود داده‌های دقیق سازمانی، نبود ارتباط مؤثر میان سیاست‌های ملی و اجرای منطقه‌ای و برخی محدودیت‌های ساختاری-جمعیتی، عامل اصلی موانع ارتقاء تاب‌آوری در هر سه منطقه شناسایی شد. مقابله با این ضعف‌ها تنها در گرو راهبردهای کل‌نگر و منطقه‌محور، ارتقاء ارتباطات بین‌نهادی و استفاده از ظرفیت‌های بومی و اجتماعی هر منطقه است.

نتیجه‌گیری: نتایج پژوهش نشان داد که تاب‌آوری منابع آب شهری یک پدیده چندبعدی و ترکیبی است که صرفاً با تکیه بر راهکارهای فنی و زیرساختی حاصل نمی‌شود؛ بلکه تقویت تعامل انسانی، همکاری نهادی و سازمانی و بهره‌گیری مدبرانه از ظرفیت‌های اجتماعی مناطق ضروری است. چارچوب تحلیلی پژوهش حاضر، مبنای بومی مناسبی برای ارزیابی، برنامه‌ریزی و ارتقاء تاب‌آوری منابع آب شهری در سایر کلان‌شهرها ارائه می‌دهد. تحقق تاب‌آوری پایدار منابع آب شهری تنها از طریق حکمرانی مشارکتی، شفافیت در سازوکارهای مدیریتی، ایجاد فرصت برای مشارکت ذینفعان و توجه ویژه به ظرفیت‌های بومی هر منطقه ممکن خواهد بود. از این‌رو، پیشنهاد می‌شود سیاست‌گذاران شهری در راستای ارتقاء تاب‌آوری منابع آب، توجه همزمان به جنبه‌های انسانی، اقتصادی و نهادی را در کنار گسترش زیرساخت‌های فنی و مالی دنبال نمایند. تاب‌آوری منابع آب شهری در مواجهه با چالش‌های پیش‌رو نیازمند رویکردی جامع، میان‌رشته‌ای و مستمر است که مشارکت همه ذینفعان و به‌کارگیری نوآوری‌های فناورانه و مدیریتی را به‌طور همزمان مدنظر قرار دهد.

واژه‌های کلیدی: افزونگی، تنوع، سرمایه اجتماعی، مدیریت منابع آب، نظام اجتماعی-هیدرولوژیکی

استناد: محمدیان، س.، قربانی، الف.، ملکیان، الف.، محمدی، الف. و رحیمی، م. (۱۴۰۵). نقش تنوع و افزونگی در تاب‌آوری نظام اجتماعی-هیدرولوژیکی: مطالعه تطبیقی مناطق تهران. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۶(۲)، ۷۹-۹۴.

حق چاپ:



حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این نشریه به‌صورت آزاد در وبسایت نشریه برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل‌دسترس است.

مقدمه

بحران کم‌آبی از مهم‌ترین چالش‌های پایدار و پیچیده‌ای است که کلان‌شهرهای ایران، به‌ویژه تهران، در دهه‌های اخیر با آن مواجه شده‌اند (Mirzavand & Bagheri, 2020; Talebi, 2023). این بحران، فراتر از یک مشکل فنی، به مسأله‌ای پیچیده و چندبعدی با مؤلفه‌های نهادی، اجتماعی و اقتصادی تبدیل شده است که نیازمند درک نظام اجتماعی-هیدرولوژیکی است. نظام‌های اجتماعی-هیدرولوژیکی (SHS)^۱، به عنوان یک چارچوب میان‌رشته‌ای، بر تعامل پویا و بازخوردی نهادهای انسانی (اقتصاد، سیاست، فرهنگ) با فرآیندهای طبیعی (هیدرولوژی و اقلیم) تأکید دارند (Van Meerbeek et al., 2021). درک این چرخه‌های پیچیده برای هرگونه مداخله مؤثر در بحران آب ضروری است (Bagheri et al., 2022; Ghorbani, 2024).

تاب‌آوری منابع آبی توانایی سیستم‌های اجتماعی و فیزیکی برای جذب، بازیابی و سازگاری با شوک‌ها و تغییرات نامطلوب است (Rodina et al., 2019; Dowlati et al., 2023). این ظرفیت فراتر از زیرساخت‌های فنی شامل جنبه‌های اجتماعی، نهادی و مشارکت ذی‌نفعان نیز می‌شود و با تنوع منابع، افزونگی سیستم‌ها و راهکارهای مبتنی بر طبیعت تقویت می‌شود (Krueger et al., 2020; Anamaghi et al., 2023).

در چنین فضایی، مفهوم تاب‌آوری شهری^۲ به‌عنوان چارچوبی کلیدی برای درک ظرفیت شهرها در مواجهه با بحران‌ها مطرح شده است (Zeng et al., 2022). تاب‌آوری شهری در این معنا، بیانگر توانایی یک نظام اجتماعی-اکولوژیک برای مقابله با شوک‌ها، سازگاری با شرایط متغیر و تداوم عملکرد سیستم در زمان‌های اختلال و بحران است (Fitrianto & Viola, 2023; Esposito, 2025). هرچند این توانایی اغلب با

زیرساخت‌ها و فناوری‌های فنی مرتبط است، اما بخش‌های اجتماعی و نهادی آن نیز به‌مراتب تعیین‌کننده‌تر و پایدارکننده‌تر به شمار می‌آیند (Rehak et al., 2018; Olfert et al., 2021). در واقع، تاب‌آوری در سطح اجتماعی و نهادی بر سرمایه اجتماعی، شبکه‌های همکاری بین سازمان‌ها، مشارکت ساکنان و انعطاف‌پذیری سیاست‌ها و ساختارهای مدیریتی متکی است (Sienkiewicz-Małyjurek, 2022). از این رو، تحلیل و ارزیابی راهکارهای مؤثر برای افزایش تاب‌آوری نظام‌های اجتماعی-هیدرولوژیکی از اولویت‌های حیاتی در سیاستگذاری و برنامه‌ریزی شهری است.

در ادبیات پویای تاب‌آوری، دو مفهوم تنوع و افزونگی^۳ به‌عنوان ساختارهای بنیادی برای ارتقاء ظرفیت مقابله و بازسازی سیستم‌ها شناخته می‌شوند (Li et al., 2020; Graveline & Germain, 2022). به بیان دقیق‌تر، تنوع در منابع تأمین آب، ساختار سازمانی، فناوری‌ها و سیاست‌ها، سازگاری و کاهش تمرکز بر یک مسیر خاص را افزایش می‌دهد (O'Connell, 2017; Pietrucha-Urbanik & Rak, 2023). در کنار آن، افزونگی به معنای وجود اجزای جایگزین و سامانه‌های پشتیبان برای تضمین عملکرد مستمر سیستم در شرایط فقدان یا اختلال در بخش‌هایی از شبکه است (Berger et al., 2021). پیوند تنوع و افزونگی، نه تنها در ابعاد فنی و زیرساختی بلکه در روابط سازمانی و اجتماعی نیز نقشی حیاتی در تاب‌آوری ایفا می‌کند. این رویکرد دوگانه، سیستم را در برابر انواع چالش‌ها مقاوم می‌سازد (Shi et al., 2020).

کلانشهر تهران، به‌سبب پیچیدگی‌های گسترده فضایی، اجتماعی و اقتصادی، نمونه‌ای شاخص از نظام‌های اجتماعی-هیدرولوژیکی است که در آن‌ها الگوهای مصرف متفاوت، قدمت برخی زیرساخت‌ها و وابستگی‌های شدید به منابع آب متعارف، آسیب‌پذیری

را مضاعف کرده‌اند (Moghaddam *et al.*, 2025). نگرانی‌های مرتبط با کاهش پایداری منابع آب شامل خشکسالی‌های پایایی، افت سطح سفره‌های زیرزمینی، فرونشست زمین در برخی مناطق و آلودگی منابع آبی، چالش‌های پیچیده و دشواری را پیش‌روی مدیران شهری قرار داده است (La Vigna, 2022). افزون بر این، تفاوت‌های هیدرولوژیکی (مانند میزان دسترسی به منابع زیرزمینی) و همچنین نابرابری‌های گسترده اجتماعی و اقتصادی در مناطق مختلف تهران، پیچیدگی مسائل مدیریت آب را دوچندان کرده است. یکی از موانع اصلی در برابر اجرای راهبردهای تاب‌آورانه در کلان‌شهر پیچیده‌ای مانند تهران، چندپارگی و عدم هماهنگی در ساختار حکمرانی آب است. این چندپارگی در تهران به دلیل تعداد زیاد نهادها و قوانین متناقض، ابعاد ویژه‌ای به خود گرفته است. نهادهای متعددی از جمله وزارت نیرو، شرکت آب و فاضلاب، شهرداری مناطق تهران، سازمان حفاظت محیط‌زیست و جهاد کشاورزی هر یک به نوعی در مدیریت منابع آب شهری دخیل هستند. این تعدد بازیگران، بدون وجود یک مکانیسم هماهنگ‌کننده قوی، اغلب منجر به سیاست‌های متعارض، ائتلاف منابع و کندی در واکنش به بحران‌ها می‌شود (Mohammadian *et al.*, 2024). این چالش نهادی، به کارگیری اصولی مانند تنوع و افزونگی را که نیازمند برنامه‌ریزی یکپارچه و بلندمدت هستند، با دشواری‌های جدی مواجه می‌کند (Rosso, 2025).

مطالعات پیشین به خوبی نشان داده‌اند که بحران آب در تهران را تنها نمی‌توان با تمرکز صرف بر راهکارهای فنی و زیرساختی مدیریت کرد، زیرا ضعف‌های گسترده در همکاری نهادی، نقص نظام حکمرانی مشارکتی، نبود یا ضعف سرمایه اجتماعی محلی و کمبود برنامه‌های آموزشی نیز سهمی تعیین‌کننده دارند (Delavari Edalat & Abdi, 2015; Moshtagh & Mohsenpour, 2019; Mohammadian *et al.*, 2025). با وجود این، آنچه در این میان به عنوان یک خلأ پژوهشی مشخص باقی مانده، تحلیل تطبیقی و

نظام‌مند چگونگی عملکرد اصول کلیدی تاب‌آوری مانند تنوع و افزونگی در مناطق مختلف یک کلان‌شهر با ساختارهای اجتماعی و اقتصادی متفاوت می‌باشد. در کلان‌شهری ناهمگون مانند تهران که راهکاری مؤثر در یک منطقه نوساز (مانند منطقه ۲۲) ممکن است در منطقه‌ای با بافت متراکم (مانند منطقه ۱۰) کارایی نداشته باشد، سیاست‌گذاری‌های کلان و یکسان اغلب به شکست و هدررفت منابع می‌انجامد.

اهمیت و نوآوری این پژوهش دقیقاً در پاسخ به همین ضرورت برنامه‌ریزی نهفته است. این پژوهش برای نخستین بار با تکیه بر شاخص‌های چندوجهی و جامع، یک تحلیل تطبیقی کامل از نقش مؤثر تنوع و افزونگی در تاب‌آوری نظام اجتماعی-هیدرولوژیکی مناطق مختلف تهران ارائه می‌دهد. انتخاب مناطق ۴، ۱۰ و ۲۲ شهرداری تهران به عنوان نمونه‌های مطالعه، بر اساس یک رویکرد هدفمند و با هدف پوشش‌دهی تفاوت‌های چشمگیر در بافت اجتماعی، اقتصادی و هیدرولوژیکی شهر صورت گرفته است. منطقه ۴، به عنوان یک منطقه با بافت متنوع و ترکیبی از مناطق قدیمی و نوساز در شرق تهران، نماینده‌ای از پیچیدگی‌های شهری است. منطقه ۱۰، در مرکز شهر، با تراکم بالای جمعیت و بافت فرسوده، نمونه‌ای از مناطق آسیب‌پذیر با چالش‌های زیرساختی است. در مقابل، منطقه ۲۲ در غرب تهران، به عنوان یک منطقه نوساز با زیرساخت‌های مدرن و برنامه‌ریزی شهری متفاوت، شرایطی متمایز را برای تحلیل ارائه می‌دهد. این تنوع در ویژگی‌های مناطق مورد مطالعه، امکان یک تحلیل تطبیقی جامع و معنی‌دار از عملکرد اصول تاب‌آوری در شرایط گوناگون شهری را فراهم می‌سازد.

بر این اساس، هدف اصلی این پژوهش، تحلیل تطبیقی نقش دو اصل تنوع و افزونگی در تاب‌آوری نظام اجتماعی-هیدرولوژیکی مناطق ۴، ۱۰ و ۲۲ شهرداری تهران است. برای دستیابی به این هدف، این مطالعه به ارزیابی تطبیقی سطح تنوع و تحلیل مقایسه‌ای وضعیت افزونگی در ابعاد پنج‌گانه سرمایه اجتماعی، اقتصادی، نهادی، زیرساختی و انسانی در این سه منطقه

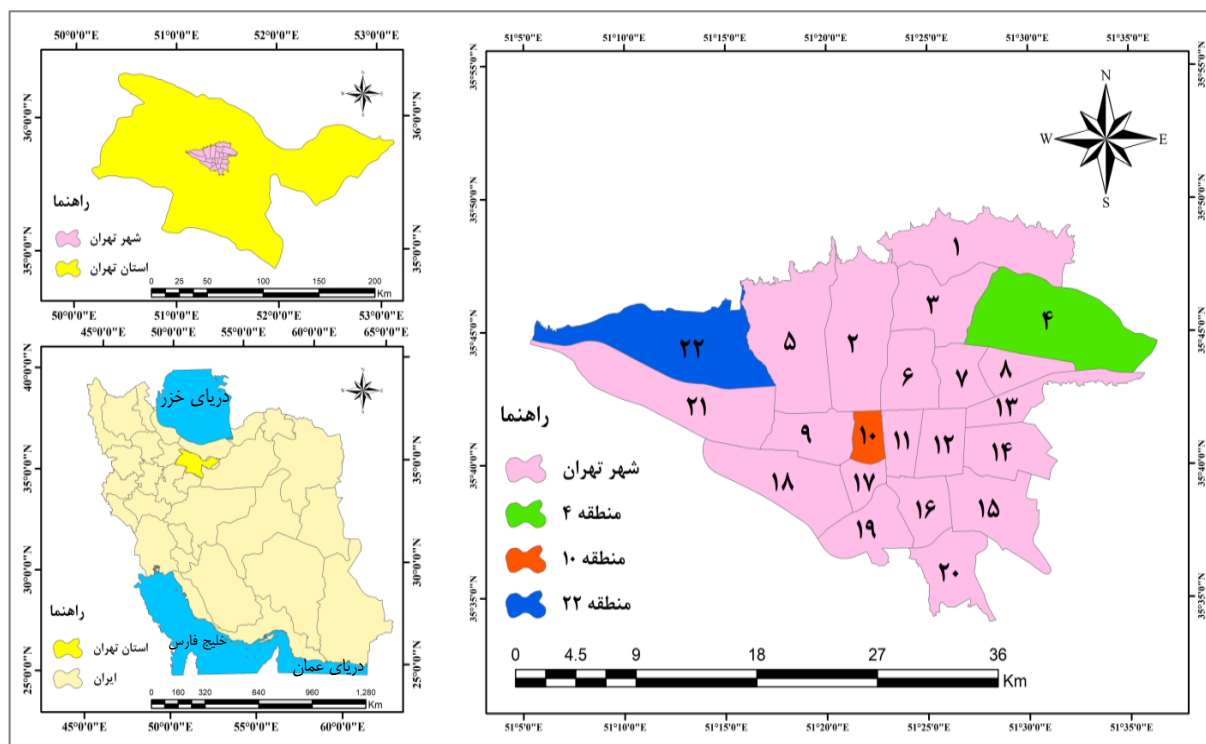
می‌پردازد و در نهایت، با شناسایی نقاط قوت و ضعف کلیدی هر منطقه، به دنبال ارائه پیشنهاد‌های مدیریتی منطقه‌محور برای بهبود تاب‌آوری منابع آبی است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

مناطق ۴ (شامل محله‌های؛ شمیران، تهران‌پارس، حکیمیه، لویزان و غیره)، ۱۰ (شامل محله‌های؛ امام خمینی، آزادی، نواب و غیره)، ۲۲ (شامل محله‌های؛ دهکده المپیک، زيبادشت بالا، دریاچه چیتگر و غیره) شهرداری تهران به دلیل تفاوت‌های بنیادین در جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی و کالبدی به عنوان محدوده مطالعه انتخاب شدند تا تحلیل تطبیقی دقیقی از تاب‌آوری نظام اجتماعی-هیدرولوژیکی آن‌ها ارائه گردد. منطقه ۴ با وسعت ۶۱/۵۷ کیلومترمربع و

جمعیت ۹۶۲,۰۹۲ نفر، یکی از پرجمعیت‌ترین مناطق تهران است. در حالی که منطقه ۱۰ با مساحت ۸/۱۹ کیلومترمربع و جمعیت ۳۴۲,۱۱۳ نفر، دارای تراکم ناخالص جمعیتی ۴۱۸ نفر در هکتار بوده که آن را به یکی از متراکم‌ترین بافت‌های شهری پایتخت بدل کرده است. در مقابل، منطقه ۲۲ با وسعت ۵۹ کیلومترمربع و جمعیت ۲۰۷,۵۰۱ نفر، کمترین تراکم جمعیتی را با ۳۵ نفر در هکتار داراست. این منطقه شامل توسعه‌های نوین بوده و فضای سبز گسترده‌ای را در خود جای داده است (TMICTO, 2023). این تفاوت‌های آشکار در ساختار جمعیتی، کالبدی و زیست‌محیطی، سه منطقه منتخب را به نمونه‌های مطالعاتی مناسبی برای بررسی تطبیقی نقش تنوع و افزونگی در تاب‌آوری بدل می‌سازد (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت منطقه‌های مورد مطالعه در شهر تهران

Figure 1- Location of the study areas in the city of Tehran

روش تحقیق

تحلیل تاب‌آوری نظام پیچیده اجتماعی-هیدرولوژیکی، نیازمند تلفیق سنجش‌های آماری قابل مقایسه (رویکرد

کمی) با دیدگاه‌های عمیق و تخصصی کارشناسان (رویکرد کیفی) است. در گام نخست، یک بازنگری نظام‌مند در ادبیات علمی صورت گرفت تا مولفه‌های

کلیدی دو اصل تنوع و افزونگی شناسایی شود. با توجه به اینکه تاب‌آوری صرفاً یک مفهوم فنی نیست، چارچوب مفهومی پژوهش بر پایه پنج بعد کلیدی سرمایه اجتماعی، اقتصادی، نهادی، زیرساختی و انسانی تدوین شد تا تصویری جامع و چندوجهی از سیستم ارائه دهد. ابزار اصلی گردآوری داده‌ها، پرسشنامه‌ای ساختاریافته بود که شامل ده گویه در دو بخش اصلی تنظیم گردید؛ به طوری که برای هر اصل (تنوع و افزونگی)، پنج گویه مجزا جهت پوشش دقیق ابعاد مختلف تاب‌آوری طراحی شد.

برای گردآوری نظام‌مند داده‌های ادراکی از جامعه متخصصان، ابزار پرسشنامه ساختاریافته انتخاب گردید. با توجه به ماهیت میان‌رشته‌ای موضوع، عناصری از علوم اجتماعی، مدیریت بحران و هیدرولوژی در قالب پرسشنامه و بر اساس طیف پنج‌گزینه‌ای لیکرت (از ۱=کاملاً مخالفم تا ۵=کاملاً موافقم) تلفیق شد تا امکان کمی‌سازی و مقایسه آماری دیدگاه‌ها فراهم آید

(Shariatyniya et al., 2025) (جدول ۱). کیفیت ابزار پژوهش از دو طریق مورد ارزیابی قرار گرفت. نخست، برای اطمینان از روایی محتوای پرسشنامه، گویه‌ها توسط جمعی از متخصصان حوزه تاب‌آوری و مدیریت آب بازبینی شدند تا تضمین شود که مفاهیم موردنظر به درستی نمایندگی می‌شوند. سپس، پایایی ابزار از طریق اجرای پیش‌آزمون و محاسبه ضریب آلفای کرونباخ ارزیابی شد. جامعه آماری پژوهش شامل مدیران، کارشناسان و مسئولان نهادهای دولتی و خصوصی مرتبط با مدیریت منابع و زیرساخت‌های آب در مناطق ۴، ۱۰ و ۲۲ شهرداری تهران بود. معیار ورود افراد به مطالعه، داشتن سابقه کار تخصصی یا مدیریتی در این حوزه بود. با توجه به ماهیت تخصصی و شبکه‌ای جامعه آماری و عدم وجود یک فهرست جامع که امکان نمونه‌گیری احتمالی را فراهم آورد، از روش نمونه‌گیری غیراحتمالی هدفمند از نوع گلوله‌برفی استفاده شد.

جدول ۱- گویه‌های پرسشنامه تاب‌آوری، تنوع و افزونگی نظام اجتماعی-هیدرولوژیکی مناطق شهری تهران
Table 1- Questionnaire items for the resilience, diversity, and redundancy of the socio-hydrological system in Tehran's urban districts

ابعاد	گویه‌ها	شرح
تنوع	سرمایه انسانی	تعاملات اجتماعی قوی همچون تشکیل شوراهای آب، برگزاری کارگاه‌های آموزشی، مشارکت در پروژه‌های تحقیقاتی بین شهروندان، نهادهای دولتی و بخش خصوصی برای مدیریت بهینه منابع آب وجود دارد.
	سرمایه اقتصادی	شهر تهران به منابع آبی متنوعی (سطحی، زیرزمینی و پساب تصفیه شده) وابسته است.
	سرمایه نهادی	نهادهای مختلفی از جمله شرکت آب و فاضلاب، سازمان محیط زیست و شهرداری مسئولیت مدیریت منابع آب را بر عهده دارند.
	سرمایه زیرساختی	شهر تهران دارای سیستم‌های متنوعی برای جمع‌آوری و استفاده مجدد از پساب است.
افزونگی	سرمایه اجتماعی	شهروندان تهرانی به اهمیت مدیریت پایدار منابع آب آگاه هستند و در این زمینه مشارکت فعال دارند.
	سرمایه انسانی	شهر تهران دارای شبکه گسترده‌ای از نیروی انسانی متخصص و آموزش‌دیده کافی در حوزه مدیریت بحران آب است.
	سرمایه اقتصادی	شهر تهران دارای ذخایر مالی برای اجرای پروژه‌های اضطراری، خرید تجهیزات و مواد موردنیاز و حمایت از آسیب‌دیدگان جهت مقابله با بحران‌های آبی است.
	سرمایه زیرساختی	میان نهادهای مختلف مسئول در مدیریت منابع آب، به‌ویژه در شرایط بحرانی، هماهنگی و همکاری بالایی وجود دارد.
سرمایه اجتماعی	سرمایه زیرساختی	شهر تهران دارای ظرفیت اضافی در شبکه آبرسانی، تصفیه‌خانه‌ها و مخازن ذخیره آب در مواقع اوج مصرف یا در صورت بروز اختلال در سیستم است.
	سرمایه اجتماعی	وجود اعتماد عمومی به نهادهای مسئول مدیریت آب در زمان بحران به بسیج منابع و همکاری شهروندان کمک کرده است.

در نهایت، نتایج این تحلیل‌های آماری در قالب نمودارها و جداول خلاصه و جهت ارائه و تفسیر آماده گردید. رویکرد چندبعدی اتخاذ شده در این پژوهش، امکانی فراهم ساخت تا مسئله پیچیده تاب‌آوری در نظام‌های اجتماعی-هیدرولوژیکی به صورتی جامع و چندسطحی تحلیل شود. انتخاب سه منطقه با ویژگی‌های اجتماعی، اقتصادی و زیرساختی متنوع، ظرفیت تحلیل تطبیقی یافته‌ها را افزایش داده و به درک عمیق‌تری از نقش زمینه در شکل‌دهی به تاب‌آوری کمک کرده است. مدل مفهومی تحقیق که بر اهمیت تعادل میان تنوع و افزونگی تأکید داشت، به عنوان چارچوبی برای تفسیر نتایج و شناسایی نقاط قوت و ضعف هر منطقه عمل نمود. در واقع، این رویکرد پژوهشی با شناسایی شکاف‌های موجود، راه را برای سیاست‌گذاری‌های آگاهانه و طراحی سازوکارهای انعطاف‌پذیر در برابر بحران آب هموار می‌سازد و نتایج حاصل از آن می‌تواند بستری علمی برای توسعه رویکردهای یکپارچه و پایدار در مدیریت آب کلان‌شهرها باشد.

نتایج

ابتدا به تحلیل پایایی ابزار پژوهش پرداخته شد و برای ارزیابی پایایی پرسشنامه، از ضریب آلفای کرونباخ استفاده شد. مقدار به دست آمده برای کل پرسشنامه برابر با $\alpha = 0.89$ بود که نشان‌دهنده همسانی درونی بسیار خوب بین گویه‌ها و قابلیت اطمینان بالای ابزار پژوهش است. این نتیجه، اعتبار داده‌های گردآوری شده را برای تحلیل‌های بعدی تأیید می‌کند. در ادامه، نتایج آزمون کروسکال-والیس برای بعد تنوع (جدول ۳ و شکل ۲) نشان داد که تفاوت آماری معنی‌داری بین سه منطقه در مجموع وجود ندارد ($p = 0.577$)، این بدان معناست که میزان تنوع در نظام اجتماعی-هیدرولوژیکی این مناطق تفاوت چشمگیری ندارد. با این حال، تحلیل دقیق‌تر زیرابعاد نشان داد که در بعد سرمایه اجتماعی تنوع، تفاوت معنی‌داری میان مناطق

این روش به پژوهشگر امکان می‌دهد تا با شناسایی افراد کلیدی و مطلع در یک شبکه تخصصی، به سایر متخصصان واجد شرایط دسترسی یابد و حجم نمونه‌ای متناسب با عمق و ماهیت پژوهش را گردآوری کند (Ghorbani et al., 2024). فرآیند نمونه‌گیری با شناسایی چند فرد کلیدی و مطلع در هر منطقه آغاز گردید و از ایشان خواسته شد تا متخصصان واجد شرایط دیگر را معرفی نمایند. این زنجیره معرفی تا رسیدن به حجم نمونه موردنظر ادامه یافت. در نهایت، در مجموع ۲۷ پرسشنامه تکمیل‌شده و قابل تحلیل گردآوری شد که به صورت مساوی بین سه منطقه توزیع گردیده بود (۹ پرسشنامه از هر منطقه) (جدول ۲). پس از تکمیل پرسشنامه‌ها، داده‌ها جهت پردازش‌های آماری وارد نرم‌افزارهای SPSS و Excel شدند. در گام نخست، پیش از اقدام به آزمون فرضیه‌ها، فرض نرمال بودن توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون‌های آماری کولموگروف-اسمیرنوف و شاپیرو-ویلک ارزیابی گردید. با توجه به حجم نمونه کوچک ($N=27$)، نتایج آزمون شاپیرو-ویلک به عنوان ملاک اصلی تصمیم‌گیری در نظر گرفته شد (Arguelles et al., 2021). نتایج این آزمون نشان داد که سطح معنی‌داری برای اغلب گویه‌ها کمتر از ۰/۰۵ بود، که بیانگر عدم نرمال بودن توزیع داده‌ها است (Bafarasat, 2021). به همین دلیل، استفاده از آزمون‌های پارامتری مانند ANOVA نامعتبر بود. بنابراین، برای مقایسه میانگین رتبه‌ای دیدگاه پاسخ‌دهندگان در ابعاد مختلف پرسشنامه بین سه منطقه مستقل، از آزمون ناپارامتری کروسکال-والیس استفاده شد (Popoola et al., 2021). معنی‌داری تفاوت‌ها در سطح ۰/۰۵ ارزیابی شد تا مشخص گردد که آیا دیدگاه‌های جامعه آماری در مناطق سه‌گانه نسبت به هر یک از گویه‌ها تفاوت آماری معنی‌داری دارد یا خیر. این تحلیل‌ها، تفاوت‌ها و شباهت‌های عملکردی را در بعدهای مختلف سرمایه اجتماعی، اقتصادی، نهادی، زیرساختی و انسانی مقایسه کرده و امکان شناسایی نقاط قوت و ضعف هر منطقه را فراهم آورد.

وجود دارد ($p=0/003$). منطقه ۲۲ با میانگین رتبه ۱۹/۶۷ بهترین عملکرد را در این بعد داشت، به دنبال آن منطقه ۱۰ با ۱۴/۶۱ و سپس منطقه ۴ با ۷/۷۲ قرار گرفتند. در سایر زیرابعاد مانند سرمایه انسانی، اقتصادی، نهادی و زیرساختی تنوع تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد ($p>0/05$)، اما میانگین رتبه‌ها حاکی از آن است که منطقه ۲۲ و منطقه ۴ وضعیت نسبتاً بهتری در زیرابعاد اقتصادی و زیرساختی دارند.

جدول ۲- اسامی سازمان‌ها و نهادهای مرتبط با آب شهری به تفکیک مناطق مورد مطالعه

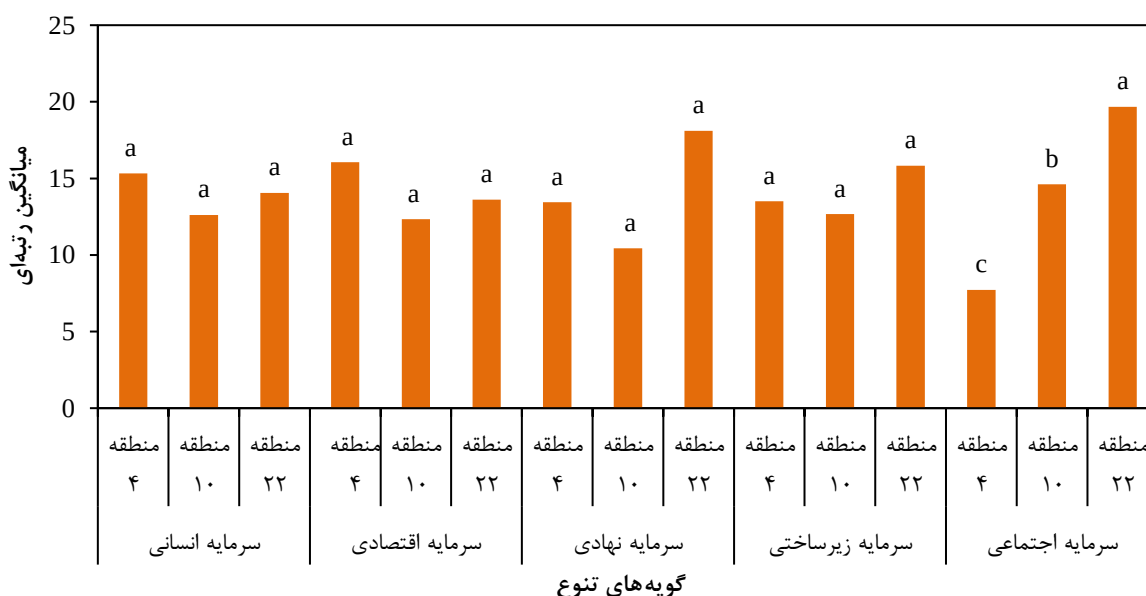
Table 2- List of organizations and institutions related to urban water, categorized by study districts

ردیف	مناطق شهری تهران	نام سازمان/نهاد
1	منطقه 4	دانشگاه علم و صنعت
2		شهرداری
3		ستاد مدیریت بحران آب و فاضلاب
4		سرای محله
5		بیمارستان رسالت
6		شرکت آب و فاضلاب (آبفای منطقه 2)
7		اداره مدیریت پسماند
8		اداره مدیریت بحران شهرداری
9		اداره آموزش و پرورش
10	منطقه 10	دانشگاه سوره
11		شهرداری
12		ستاد مدیریت بحران آب و فاضلاب
13		سرای محله
14		بیمارستان بهارلو
15		شرکت آب و فاضلاب (آبفای منطقه 5)
16		اداره مدیریت پسماند
17		اداره مدیریت بحران شهرداری
18		اداره آموزش و پرورش
19	منطقه 22	دانشگاه علامه طباطبایی
20		شهرداری
21		ستاد مدیریت بحران آب و فاضلاب
22		سرای محله
23		بیمارستان ترتیا
24		شرکت آب و فاضلاب غرب تهران (آبفای منطقه 3)
25		اداره مدیریت پسماند
26		اداره مدیریت بحران شهرداری
27		اداره آموزش و پرورش

جدول ۳- نتایج مقایسه میانگین بعد تنوع در مناطق مورد مطالعه بر اساس آزمون مقایسه میانگین کروسکال-والیس
Table 3- Results of the Kruskal-Wallis mean ranks comparison test for the diversity dimension in the studied regions

بعد	گویه	مناطق	میانگین رتبه‌ای	Chi-Square	درجه آزادی	سطح معنی‌داری
تنوع	سرمایه انسانی	4	15.33	0.592	2	0.744*
		10	12.61			
		22	14.06			
	سرمایه اقتصادی	4	16.06	1.124	2	0.570
		10	12.33			
		22	13.61			
	سرمایه نهادی	4	13.44	5.201	2	0.074*
		10	10.44			
		22	18.11			
	سرمایه زیرساختی	4	13.50	0.898	2	0.638*
		10	12.67			
		22	15.83			
	سرمایه اجتماعی	4	7.72	11.806	2	0.003*
		10	14.61			
		22	19.67			

* معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد.



شکل ۲- نتایج مقایسه میانگین بعد تنوع در مناطق مورد مطالعه بر اساس آزمون مقایسه میانگین کروسکال-والیس
Figure 2- Results of comparing the mean ranks for the diversity dimension in the study areas using the Kruskal-Wallis test

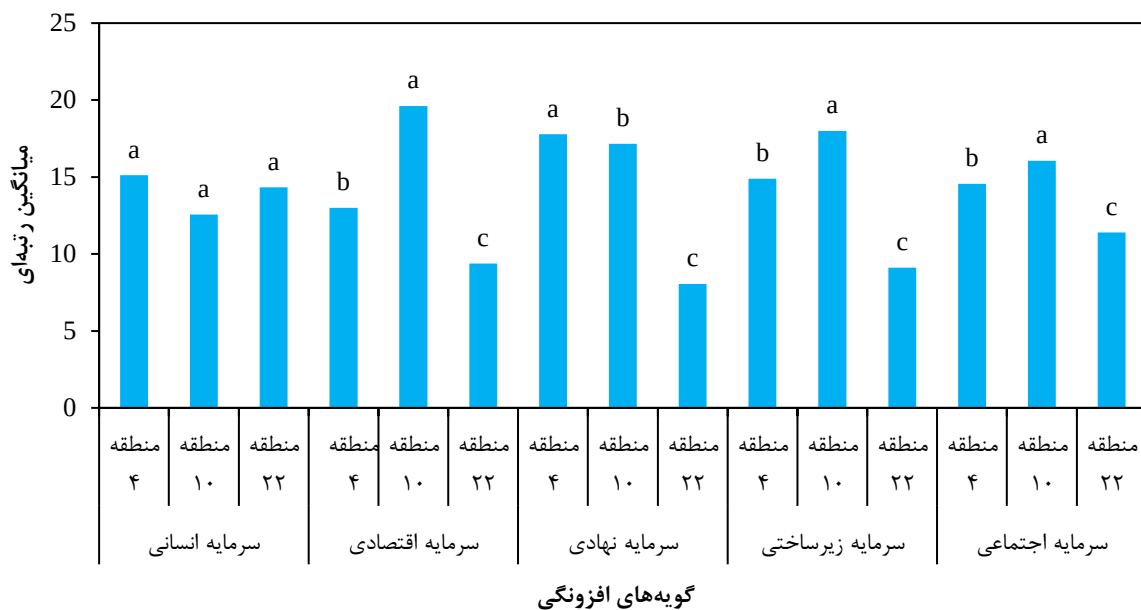
۱۰ (۱۷/۱۶) رتبه‌هایی به مراتب بالاتر از منطقه ۲۲ (۸/۰۶) کسب کردند. در بعد زیرساختی نیز، منطقه ۴ با میانگین رتبه ۱۴/۸۹ بالاترین جایگاه را به خود اختصاص داد. در نهایت، بعد سرمایه اجتماعی افزونگی تفاوت معنی‌داری میان مناطق نداشت ($p=0/4$)، هرچند منطقه ۱۰ در این بعد نیز بالاترین میانگین رتبه را دارا بود.

در مقابل، نتایج تحلیل بعد افزونگی (جدول ۴ و شکل ۳) تفاوت کلی معنی‌داری را میان مناطق نشان داد ($p=0/19$). بررسی دقیق‌تر زیربعضها مشخص کرد که این تفاوت در زیربعض اقتصادی ($p=0/14$)، نهادی ($p=0/13$) و زیرساختی ($p=0/33$) از نظر آماری معنی‌داری است. در سرمایه اقتصادی، منطقه ۱۰ (میانگین رتبه ۱۹/۶۱) و پس از آن منطقه ۴، بالاترین رتبه‌ها را داشتند. در بعد نهادی، مناطق ۴ (۱۷/۷۸) و

جدول ۴- نتایج مقایسه میانگین بعد افزونگی در مناطق مورد مطالعه بر اساس آزمون مقایسه میانگین کروسکال-والیس
Table 4- Results of the Kruskal-Wallis mean ranks comparison test for the redundancy dimension in the studied regions

بعد	گویه	مناطق	میانگین رتبه‌ای	Chi-Square	درجه آزادی	سطح معنی‌داری
افزونگی	سرمایه انسانی	4	15.11	0.538	2	0.764*
		10	12.56			
		22	14.33			
	سرمایه اقتصادی	4	13	8.600	2	0.014*
		10	19.61			
		22	9.39			
	سرمایه نهادی	4	17.78	8.695	2	0.013*
		10	17.16			
		22	8.06			
	سرمایه زیرساختی	4	14.89	6.818	2	0.033*
		10	18			
		22	9.11			
	سرمایه اجتماعی	4	14.56	1.831	2	0.400
		10	16.06			
		22	11.39			

* معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد.



شکل ۳- نتایج مقایسه میانگین بعد افزونگی در مناطق مورد مطالعه بر اساس آزمون مقایسه میانگین کروسکال-والیس
Figure 3- Results of Comparing the Mean Ranks for the Redundancy Dimension in the Study Areas Using the Kruskal-Wallis Test

سه منطقه دارند. منطقه ۲۲ در سرمایه اجتماعی تنوع برتری داشت، در حالی که مناطق ۴ و ۱۰ در ابعاد اقتصادی، نهادی و زیرساختی افزونگی بهتر عمل کردند.

بر اساس نتایج جدول ۵، در مجموع، بعد تنوع تفاوت معنی‌داری میان مناطق نداشت ($p=0/577$)، اما افزونگی بین مناطق معنی‌داری بود ($p=0/019$). این نشان می‌دهد که شاخص‌های افزونگی نقش مهم‌تری در تمایز تاب‌آوری نظام‌های اجتماعی-هیدرولوژیکی

جدول ۵- نتایج مقایسه میانگین ابعاد تنوع و افزونگی در مناطق مورد مطالعه بر اساس آزمون مقایسه میانگین کروسکال-والیس

Figure 3- Results of comparing the mean ranks for the redundancy dimension in the study areas using the Kruskal-Wallis test

معنی‌داری	درجه آزادی	Chi-Square	میانگین رتبه‌ای	مناطق	بعد
0/577*	2	1/10	13.17	4	تنوع
			12.61	10	
			16.22	22	
0/019*	2	7/93	16.50	4	افزونگی
			17.50	10	
			8	22	

بحث

یافته‌های این پژوهش نشان داد که تاب‌آوری نظام‌های اجتماعی-هیدرولوژیکی مناطق مورد مطالعه دارای ماهیتی چندبعدی است و تحقق آن نیازمند نگاهی جامع و تلفیقی به ابعاد فنی، اجتماعی، نهادی و اقتصادی است. در این میان، نقش سرمایه اجتماعی در بعد تنوع در منطقه ۲۲، که ساختار جمعیتی و هویتی در حال شکل‌گیری دارد، به‌خوبی برجسته شد. این نکته، بازتابی از اهمیت راهبردهای مشارکت‌محور و تقویت اعتماد اجتماعی در بافت‌های جدید شهری، به ویژه برای افزایش تاب‌آوری منابع آب شهری است؛ موضوعی که پژوهش‌هایی چون (Sienkiewicz- Małyjurek, 2022; Graveline & Germain, 2022) نیز بر آن تأکید کرده‌اند و آن را زمینه‌ساز بروز نوآوری‌های نهادی و اجتماعی در مدیریت منابع آب می‌دانند.

با تحلیل تطبیقی سه منطقه در زیرابعاد دیگر تنوع (انسانی، اقتصادی، نهادی، زیرساختی) مشخص شد که پیکره نهادی و ساختاری مناطق شهری تهران نسبتاً همگن است و این واقعیت، بیانگر سیاست‌های تمرکزگرا و توسعه نامتوازن در سطح کلان‌شهر تهران و سیستم مدیریت منابع آب شهری است (Delavari, Edalat & Abdi, 2015; Kolahi et al., 2024). نبود تفاوت معنی‌داری در این زیرابعاد، با P-value بالاتر از

۰/۰۵، نشان می‌دهد که پتانسیل بهره‌وری از تنوع در ابعاد غیرسرمایه اجتماعی برای تاب‌آوری منابع آب شهری هنوز به صورت جدی مورد استفاده قرار نگرفته و زمینه‌های ارتقاء این مؤلفه‌ها نیازمند بازبینی سیاست‌ها و توزیع عادلانه‌تر منابع در زمینه آب است. تحلیل داده‌های افزونگی نشان داد که مناطقی با پیشینه و زیرساخت‌های قوی‌تر، از لحاظ اقتصادی و نهادی نیز در حوزه خدمات آب شهری عملکرد بهتری دارند. این یافته‌ها به وضوح نشان‌دهنده ارتباط مستقیم میان بعد زیرساختی و توانایی سیستم در تضمین استمرار عملکرد است. برتری قابل توجه بعد افزونگی در مناطق ۴ و ۱۰ با p-value معنی‌دار ۰/۰۱۹، در حوزه‌های اقتصادی (p=۰/۰۱۴)، نهادی (p=۰/۰۱۳) و زیرساختی (p=۰/۰۳۳)، مؤید نقش حیاتی افزونگی در کاهش آسیب‌پذیری در موقعیت‌های بحرانی است. به طور خاص، منطقه ۱۰ با توجه به دسترسی بالاتر به منابع مالی و ظرفیت تأمین هزینه‌های اضطراری، و منطقه ۴ به دلیل سابقه زیرساختی و شبکه نهادی گسترده‌تر، برتری آشکاری نسبت به منطقه ۲۲ در تأمین و مدیریت منابع آب شهری داشتند. این نتایج هم‌راستا با مطالعات (Berger et al., 2021; Khan et al., 2024) است که نقش افزونگی زیرساختی و نهادی را در تداوم عملکرد سیستم‌های تأمین و توزیع آب شهری حیاتی دانسته و آن را عامل کاهش آسیب‌پذیری

در موقعیت‌های بحرانی مرتبط با منابع آب معرفی می‌کند.

همچنین، بررسی سطح همکاری نهادی و مشارکت بین سازمان‌های مسئول در حوزه آب نشان داد که قدرت مدیریت بحران منابع آب شهری در مناطق ۴ و ۱۰ به دلیل وجود شبکه ارتباطی قوی‌تر میان نهادهای اجرایی و حاکمیتی تقویت شده است. این عامل سبب تسریع در تصمیم‌گیری، هم‌افزایی منابع و تسهیل برنامه‌ریزی‌های واکنش سریع در مواقع بحران کم‌آبی می‌شود (Moshtagh & Mohsenpour, 2019). نبود این سطح همکاری در منطقه ۲۲، زمینه‌ساز آسیب‌پذیری سیستم و تأخیر در واکنش‌های مؤثر در هنگام بحران آبی است. بر این اساس، توسعه سازوکارهای ارتباطی و ایجاد سازوکارهای مشارکتی میان نهادها برای ارتقاء تاب‌آوری منابع آب شهری به عنوان اولویتی اساسی پیشنهاد می‌شود.

از منظر اجتماعی، تحقیقات نشان داده‌اند که سرمایه اجتماعی در مناطق نوظهور مانند منطقه ۲۲، علی‌رغم فقدان زیرساخت‌های قدیمی و سابقه حکمرانی، می‌تواند عامل تقویت ظرفیت جمعی و ایجاد تاب‌آوری پویا در مدیریت منابع آب شهری باشد. این موضوع به‌ویژه زمانی معنا پیدا می‌کند که روابط غیررسمی، شبکه‌های محلی و مشارکت مردم در خلق راه‌حل‌های خلاقانه برای مقابله با بحران آب و بهبود سیاست‌های مدیریت آب اثرگذارند (Graveline & Germain, 2022). این ویژگی در مناطق متراکم شهری کمرنگ‌تر است اما قابلیت احیا و توسعه برای ارتقاء تاب‌آوری منابع آب شهری را دارد.

در عین حال باید توجه داشت که تاب‌آوری منابع آب شهری در مناطق مورد مطالعه، تحت تأثیر چالش‌هایی نظیر ضعف داده‌های سازمانی درباره مصرف و توزیع آب، فقدان اتصال مؤثر میان سیاست‌های ملی آب و اجرا در سطح منطقه‌ای، و محدودیت‌های ساختاری-

جمعیتی قرار دارد. به بیان دیگر، حتی اگر در بخش‌هایی از زیرساخت یا سرمایه اجتماعی برای آب شهری تقویت حاصل شود، پایدارسازی ظرفیت تاب‌آوری منابع آب بدون حل مشکلات حکمرانی، سیاست‌گذاری و هم‌افزایی میان سازمان‌ها و ذینفعان امکان‌پذیر نخواهد بود (O'Connell, 2017; Esposito, 2025). این یافته‌ها تأکید می‌کند که تنها راه افزایش تاب‌آوری منابع آب شهری تهران، یکپارچه‌سازی تلاش‌ها، بهره‌گیری از دانش بومی مناطق و مشارکت مؤثر ذینفعان در همه سطوح مدیریت آب است.

نکته قابل اعتنا دیگر، ارتباط مستقیم میان تنوع ساختارهای اجتماعی و اقتصادی و توانایی مناطق برای مواجهه و سازگاری با تنش‌های بیرونی مرتبط با مدیریت منابع آب شهری است. مناطقی که فرصت بیشتری برای توسعه مناسبات اجتماعی نوین حول محور آب داشته‌اند، می‌توانند انعطاف‌پذیری بیشتری در مصرف و حفاظت از منابع آب نشان دهند و گزینه‌های متنوع‌تری برای مدیریت بحران آب پیش رو داشته باشند. تنوع به عنوان قابلیت برای خلق مسیرهای جایگزین در تأمین و مصرف آب و خروج از وضعیت‌های بسته عمل می‌کند، در حالی که افزونگی با تضمین وجود منابع و ظرفیت‌های جایگزین، تداوم و پایداری عملکرد سامانه آب شهری را در بلندمدت تضمین می‌کند (Li et al., 2020; Pietrucha- Urbanik & Rak, 2023).

در نهایت، باید تأکید کرد که یکی از مهم‌ترین موانع افزایش تاب‌آوری منابع آب شهری، ضعف در تحقق حکمرانی مشارکتی آب و فقدان سیاست‌های سیستمی در مدیریت منطقه‌ای منابع آب است. هرچند زیرساخت‌ها و منابع مادی اهمیت زیادی دارند، اما بدون توسعه سیاست‌های اجتماعی، آموزش، شفافیت داده و انعطاف‌پذیری نهادی، تاب‌آوری بلندمدت منابع

مکانی و اجتماعی هر منطقه را فراهم می‌آورد؛ راهکاری که می‌تواند کاستی‌های تصمیم‌گیری متمرکز را در مواجهه با بحران‌های چندبعدی منابع آب شهری تا حد زیادی برطرف سازد.

بر پایه این ارزیابی می‌توان چنین جمع‌بندی کرد که موفقیت راهبردهای ارتقاء تاب‌آوری منابع آب شهری در کلان‌شهر تهران، تنها با ادغام سیاست‌های تقویت سرمایه اجتماعی نواحی جدید، بهبود شبکه همکاری‌های نهادی، و ارتقاء سطح افزونگی اقتصادی و زیرساختی محقق خواهد شد. به عنوان مثال، برای تحقق حکمرانی مشارکتی، یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که تقویت شبکه‌های اجتماعی غیررسمی در منطقه ۲۲ و ایجاد سازوکارهای شفاف برای تبادل داده و اطلاعات میان سازمان‌ها در مناطق ۴ و ۱۰ به دلیل انسجام بالاتر نهادی، می‌تواند به عنوان نقطه شروعی برای این رویکرد باشد. این دیدگاه منطقه‌محور باید بر رویکردهای متمرکز غلبه کند و مدیران شهری را به اتخاذ برنامه‌هایی متناسب با ویژگی‌ها و ظرفیت‌های واقعی هر منطقه در حوزه مدیریت منابع آب شهری هدایت نماید.

از نظر کاربردی، این پژوهش پاسخی است به این سؤال که چگونه می‌توان تاب‌آوری منابع آب شهری را ارزیابی و برای آن برنامه‌ریزی کرد. چارچوب مفهومی و روش ارائه‌شده در این مطالعه می‌تواند به عنوان مدل بومی‌سازی‌شده برای سنجش، سیاست‌گذاری و افزایش تاب‌آوری منابع آب شهری در سایر کلان‌شهرها به کار رود و نقشه راهی جهت ارزیابی و بهبود تاب‌آوری آب شهری در مقیاس‌های مختلف فراهم کند. به علاوه، یافته‌ها نشان داد که تحقق تاب‌آوری پایدار منابع آب شهری تنها زمانی ممکن خواهد بود که حکمرانی مشارکتی، شفافیت و تعامل سازنده میان همه ذینفعان مدیریت آب شهری به‌عنوان اصول محوری مورد توجه قرار گیرد و سیاست‌گذاری آب شهری بر محور مشارکت و هم‌افزایی پیش رود.

با وجود مزیت‌های علمی و عملیاتی این پژوهش، محدودیت‌هایی نیز وجود داشته است که باید در

آب شهری امکان‌پذیر نخواهد بود (Olfert et al., 2021; Bagheri et al., 2022). موفقیت در عرصه تاب‌آوری منابع آب شهری تهران وابسته به پذیرش چندبعدی بودن چالش‌ها و یافتن راه‌حل‌های متناسب با بافت و ساختار هر منطقه است؛ این شیوه، تضمین‌کننده پایداری و امنیت منابع حیاتی آب شهر در افق بلندمدت خواهد بود.

نتیجه‌گیری کلی

پژوهش حاضر با هدف تبیین نقش دو مؤلفه بنیادین، یعنی تنوع و افزونگی، در ارتقاء تاب‌آوری در نظام اجتماعی-هیدرولوژیکی مناطق شهری تهران انجام شد. این پژوهش به صورت مستقیم به این پرسش پاسخ داد که چگونه این دو اصل در مناطق مختلف شهری عمل می‌کنند و چه تأثیری بر تاب‌آوری منابع آب شهری دارند. ارزیابی تطبیقی مناطق ۴، ۱۰ و ۲۲ نشان داد که تاب‌آوری منابع آب، پدیده‌ای چندعاملی و پویا است که نه صرفاً بر پایه برتری یک شاخص خاص، بلکه از طریق هم‌افزایی مؤلفه‌های انسانی، نهادی، زیرساختی و اقتصادی حاصل می‌شود. نتایج این پژوهش، نه تنها تصویری روشن از نقاط قوت و ضعف تاب‌آوری منابع آب شهری در مناطق مورد مطالعه ارائه داد، بلکه آشکار ساخت که دستیابی به تاب‌آوری پایدار منابع آب شهری بدون پیوند مؤثر میان ظرفیت‌های بومی و قابلیت‌های ساختاری مناطق مختلف میسر نیست.

دست‌آورد مهم این پژوهش که به سؤال اصلی تحقیق پاسخ می‌دهد، اثبات این واقعیت بود که افزایش تنوع در سرمایه اجتماعی به‌ویژه در مناطق نوظهور، سبب فعال شدن ظرفیت‌های مشارکت جمعی و تقویت ابتکار عمل در تاب‌آوری منابع آب شهری می‌شود؛ در حالی که افزونگی منابع اقتصادی، زیرساختی و نهادی، شرط اساسی تداوم عملکرد و پایداری خدمات حیاتی مربوط به آب شهری در مناطق متراکم و با پیشینه قدیمی‌تر به شمار می‌رود. ترکیب این دو رویکرد، زمینه خلق سیاست‌های منطقه‌محور و متناسب با ویژگی‌های

پژوهش حاضر، تلاشی است در مسیر توسعه مدل‌ها و راهبردهای نوین مدیریت منابع آب شهری و افزایش پایداری و امنیت آب شهرها در مواجهه با بحران‌های محیطی و اجتماعی، که می‌تواند مورد استفاده مدیران، پژوهشگران و تمامی کنشگران توسعه شهری قرار گیرد.

سیاسگزاری

این مقاله با حمایت‌های مالی و علمی مرکز تحقیقات حکمرانی منابع طبیعی دانشگاه تهران به انجام رسیده است. لذا نویسندگان از حمایت‌های این مرکز کمال تشکر و قدردانی را دارند.

مطالعات آینده مورد توجه قرار گیرد؛ ازجمله تمرکز بر سه منطقه منتخب و تکیه بر داده‌های ادراری متخصصان، که می‌تواند قابلیت تعمیم‌پذیری نتایج را محدود کند. بنابراین، توصیه می‌شود در پژوهش‌های آتی، ضمن پوشش جغرافیایی وسیع‌تر و استفاده از رویکردهای تلفیقی کمی-کیفی و داده‌های میدانی و شبکه‌ای، به افزایش اعتبار و غنای تحلیل تاب‌آوری منابع آب شهری پرداخته شود.

در نهایت، دستیابی به شهری تاب‌آور از منظر منابع آب شهری، نیازمند طراحی و اجرای سیاست‌هایی است که ظرفیت‌های انسانی، نهادی و ساختاری هر منطقه را به رسمیت بشناسد و با رویکردی ترکیبی، زمینه ارتقاء تاب‌آوری منابع آب در سطح محلی را فراهم کند.

References

- Anamaghi, S., Behboudian, M., Mahjouri, N., & Kerachian, R. (2023). A resilience-based framework for evaluating the carrying capacity of water and environmental resources under climate change. *Science of the Total Environment*, 902, 165986. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165986>
- Ardalan, A., Khaleghy Rad, M., & Hadi, M. (2019). Urban Water Issues in the Megacity of Tehran. In: Ray, B., Shaw, R. (eds) *Urban Drought. Disaster Risk Reduction*. Springer, Singapore, 263-288. https://doi.org/10.1007/978-981-10-8947-3_16
- Arguelles, G. R., Shin, M., Lebrun, D. G., Kocher, M. S., Baldwin, K. D., & Patel, N. M. (2021). The majority of patient-reported outcome measures in pediatric orthopaedic research are used without validation. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 41(1), 74-79.
- Bafarasat, A. Z. (2021). Is our urban water system still sustainable? A simple statistical test with complexity science insight. *Journal of Environmental Management*, 280, 111748. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111748>
- Bagheri, M., Mokhtari Hashi, H., Gandomkar, A., & Khademolhosseini, A. (2022). The effect of water crisis on the destruction of the foundations of life; Case study: land subsidence in Isfahan province. *Political Organizing of Space*, 4(4), 363-386 <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.26455145.2022.4.4.7.3> (In Persian)
- Berger, C., Eichhammer, P., Reiser, H. P., Domaschka, J., Hauck, F. J., & Habiger, G. (2021). A survey on resilience in the iot: Taxonomy, classification, and discussion of resilience mechanisms. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 54(7), 1-39. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2109.02328>
- Borah, G. (2025). Urban water stress: climate change implications for water supply in cities. *Water Conservation Science and Engineering*, 10(1), 20. <https://doi.org/10.1007/s41101-025-00344-5>
- Delavari Edalat, F., & Abdi, M. R. (2015). Constraints on the adoption of adaptive water management principles: the case of greater Tehran. *Water Resources Management*, 29(15), 5569-5591. <https://doi.org/10.1007/s11269-015-1135-3>. (In Persian)
- Dowlati, M., Seyedin, H., Behnami, A., Marzban, A., & Gholami, M. (2023). Water resources resilience model in climate changes with community health approach: Qualitative study. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 8, 100521. <https://doi.org/10.1016/j.csee.2023.100521>
- Esposito, D. (2025). A Ladder of Urban Resilience: An Evolutionary Framework for Transformative Governance of

- Communities Facing Chronic Crises. *Sustainability*, 17(13), 6010. <https://doi.org/10.3390/su17136010>
- Fitrianto, A. R., & Viola, H. A. (2023). City resilience strategies in dealing with the aftermath of the COVID-19 pandemic: Using socio-ecological systems. *Digital Theory, Culture & Society*, 1(1), 23-32. <https://doi.org/10.61126/dtcs.v1i1.6>
- Ghorbani, M. (2024). *Research Methods in Socio-Ecological Systems*. First Edition, Tehran University Press, 783 pages.
- Ghorbani, M., Bagheri Fahraji, R., Alam Baigi, A., Khaliqi Cigaroodi, S., & Yazdanparast, M. (2024). Measuring the Multi-Level Resilience Based on Social Heterogeneity Faced with Drought in Rangeland Users. *International Journal of Environmental Research*, 18(2), 23. <https://doi.org/10.1007/s41742-024-00573-x>
- Graveline, M. H., & Germain, D. (2022). Disaster risk resilience: conceptual evolution, key issues, and opportunities. *International Journal of Disaster Risk Science*, 13(3), 330-341. <https://doi.org/10.1007/s13753-022-00419-0>
- Gu, J., Sun, S., Wang, Y., Li, X., Yin, Y., Sun, J., & Qi, X. (2021). Sociohydrology: An effective way to reveal the coupled evolution of human and water Systems. *Water Resources Management*, 35(14), 4995-5010. <https://doi.org/10.1007/s11269-021-02984-3>
- Hamidifar, H. (2024). Water Crisis in Iran: Causes, Consequences, and Solutions. In *Water Crises and Sustainable Management in the Global South* (pp. 85-109). Singapore: Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-97-4966-9_3 (In Persian)
- Javadinejad, S., Eslamian, S., Ostad-Ali-Askari, K., Nekooei, M., Azam, N., Talebmorad, H., Hasantabar-Amiri, A., & Mousavi, M. (2020). Relationship between climate change, natural disasters, and resilience in rural and urban societies. In *Handbook of climate change resilience* (pp. 607-631). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93336-8_189 (In Persian)
- Khan, T., Samiullah, M., Rouf, I., Sultana, S., Rahman, S., Rahman, B., & Khanum, R. (2024). The nexus of water scarcity and climate change: understanding interconnected challenges and formulating resilient strategies. *International Journal of Environmental Sciences*, 7(3), 57-68. <https://doi.org/10.47604/ijes.2915>
- Kolahi, M., Davary, K., & Omranian Khorasani, H. (2024). Integrated approach to water resource management in Mashhad Plain, Iran: actor analysis, cognitive mapping, and roadmap development. *Scientific Reports*, 14(1), 162. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-50697-x>
- Krueger, E. H., Borchardt, D., Jawitz, J. W., & Rao, P.S.C. (2020). Balancing security, resilience, and sustainability of urban water supply systems in a desirable operating space. *Environmental Research Letters*, 15(3), 035005. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab6c2d>
- La Vigna, F. (2022). Urban groundwater issues and resource management, and their roles in the resilience of cities. *Hydrogeology Journal*, 30(6), 1657-1683. <https://doi.org/10.1007/s10040-022-02517-1>
- Li, T., Dong, Y., & Liu, Z. (2020). A review of social-ecological system resilience: Mechanism, assessment and management. *Science of the Total Environment*, 723, 138113. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138113>
- Mirzavand, M., & Bagheri, R. (2020). The water crisis in Iran: Development or destruction? *World Water Policy*, 6(1), 89-97. <https://doi.org/10.1002/wwp2.12023>
- Moghaddam, H. K., Abtahizadeh, E., & Abolfathi, S. (2025). Sustainable water allocation under climate change: Deep learning approaches to predict drinking water shortages. *Journal of Environmental Management*, 385, 125600. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.125600>
- Mohammadian, S., Heydari, A., & Rahimi, M. (2025). Water Resources Governance System within the Framework of Iran's Seventh Development Plan: Application of Institutional Network Analysis. *Natural Resources Governance*, 2(1), 91-112. <http://doi.org/10.22059/jnrg.2025.396798.1038> (In Persian)

- Mohammadian, S., Ghorbani, M., Malekian, A., Mohammadi, A. & Rahimi, M. (2024). Analysis of the urban water governance network structure in Tehran: identification of key actors and governance regime. *Natural Resources Governance*, 1(4), 379-388. <http://doi.org/10.22059/JNRG.2025.102732> (In Persian)
- Moshtagh, M., & Mohsenpour, M. (2019). Community viewpoints about water crisis, conservation and recycling: a case study in Tehran. *Environment, Development and Sustainability*, 21(6), 2721-2731. <https://doi.org/10.1007/s10668-018-0158-3> (In Persian)
- O'Connell, E. (2017). Towards adaptation of water resource systems to climatic and socio-economic change. *Water Resources Management*, 31(10), 2965-2984. <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1734-2>
- Olfert, A., Walther, J., Hirschnitz-Garbers, M., Hölscher, K., & Schiller, G. (2021). Sustainability and resilience—A practical approach to assessing sustainability in innovative infrastructure projects. In *Building Resilience to Natural Hazards in the Context of Climate Change: Knowledge Integration, Implementation and Learning* (pp. 75-111). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-33702-5_5
- Pietrucha-Urbanik, K., & Rak, J. (2023). Water, resources, and resilience: insights from diverse environmental studies. *Water*, 15(22), 3965. <https://doi.org/10.3390/w15223965>
- Popoola, A., Magidimisha-Chipingu, H., Chipungu, L., Adeleye, B., Akogun, O., & Medayese, S. (2021). Household water stress, adaptation and resilience in some selected peri-urban and rural communities of Oyo State, Nigeria. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 654, No. 1, p. 012006). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/654/1/012006>
- Prakash, A., George, R., & Barua, A. (2025). Socio-hydrological frameworks for adaptive governance: addressing climate uncertainty in South Asia. *Frontiers in Water*, 7, 1556820. <https://doi.org/10.3389/frwa.2025.1556820>
- Rehak, D., Senovsky, P., & Slivkova, S. (2018). Resilience of critical infrastructure elements and its main factors. *Systems*, 6(2), 21. <http://doi.org/10.3390/systems6020021>
- Rodina, L., & Chan, K. M. A. (2019). Expert views on strategies to increase water resilience: Evidence from a global survey. *Ecology and Society*, 24(4), 28. <https://doi.org/10.5751/es-11302-240428>
- Rosso, R. (2025). On Seven Principles of Water Governance. *Water*, 17(6), 896. <https://doi.org/10.3390/w17060896>
- Shariatyniya, L., Ghorbani, M., Azarnivand, H., & Rahimi, M. (2025). Resilience through Relationships: Evaluating rangeland governance structures in semi-arid Tafresh county. *Journal of Arid Environments*, 229, 105397. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2025.105397> (In Persian)
- Shi, X., Sun, W., Voß, S., Jin, J. (2020). Smart City: A Perspective of Emergency and Resilience at a Community Level in Shanghai. In: Lalla-Ruiz, E., Mes, M., Voß, S. (eds) *Computational Logistics. ICCL 2020. Lecture Notes in Computer Science*, vol 12433. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-59747-4_34
- Sienkiewicz-Małyjurek, K. (2022). Social capital and transformational leadership in building the resilience of local governance networks. *Sustainability*, 14(8), 4720. <https://doi.org/10.3390/su14084720>
- Talebi, M. (2023). Water crisis in Iran and its security consequences. *Journal of Hydraulic Structures*, 8(4), 17-28. <https://doi.org/10.22055/jhs.2023.42638.1239> (In Persian)
- Tehran Municipality Information and Communication Technology Organization (TMICTO), 2023.
- Van Meerbeek, K., Jucker, T., & Svenning, J. C. (2021). Unifying the concepts of stability and resilience in ecology. *Journal of Ecology*, 109(9), 3114-3132. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13651>
- 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>