



Meta-Analysis of The Role of Green Infrastructure in The Sustainability of Urban Ecosystem Services in Tehran Metropolis

Navid Ahangari¹, Asma Yavari²

1. Corresponding author, Department of Geography and Urban Planning, Faculty of Geography, Kharazmi University, Tehran, Iran. E-mail: std_navid.ahangari@alumni.khu.ac.ir

2. Department of Urban Planning, South Tehran International Campus, Tehran, Iran. E-mail: ms.asmayavari@gmail.com

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article	Green infrastructure and ecosystem services have emerged as critical concepts for enhancing environmental planning in urban areas, as they provide a more comprehensive understanding of the complex and dynamic relationships within socio-ecological systems. The present study is designed with the aim of conducting a meta-analysis of the role of green infrastructure in the sustainability of urban ecosystem services in the metropolis of Tehran. The research method is applied in terms of purpose and descriptive-analytical in nature, and it has been conducted using a mixed approach combining a systematic review and path analysis. The systematic review was conducted using bibliometric analysis of articles published between 1995 and 2024, with the support of VOSviewer software. For the path analysis, the SMARTPLS software was employed. The statistical population consists of experts in the field of green infrastructure and urban ecosystem services, from whom a purposive sample of 96 individuals was selected using Cochran's formula. The findings from the systematic review revealed a significant increase in scientific attention to green infrastructure, ecosystem services, and urban issues since 2005. Co-authorship analysis highlighted the scientific leadership of the USA, Germany, and the UK, while keywords such as "ecosystem services" and "green infrastructure" were central to academic discourse. Structural equation modeling indicated that all pathways from green infrastructure to urban ecosystem services were statistically significant at the 95% confidence level. The significance values for spatial networking (5.170), multifunctionality (2.183), strategic planning (3.177), ecological quality (2.546), and human well-being linkage (2.555), as well as the overall impact of green infrastructure (5.441), confirm the positive and meaningful influence of green infrastructure on ecosystem service sustainability. These findings underline the necessity for policymakers to prioritize the strategic development and enhancement of green infrastructure as a foundational step toward more sustainable urban futures.
Article history: Received: 25 July 2025 Revised: 19 November 2025 Accepted: 03 December 2025 Published: 06 November 2026	
Keywords: Meta-analysis, Urban Green Infrastructure, Urban Ecosystem Services, Urban Sustainability, Tehran Metropolis.	

Cite this article: Ahangari, A., & Yavari, A. (2026). Meta-Analysis of The Role of Green Infrastructure in The Sustainability of Urban Ecosystem Services in Tehran Metropolis. *Journal of Urban Space and Social Life*, 5 (18), 1-18. <http://doi.org/10.22034/jprd.2025.68306.1220>



© The Author(s).

Publisher: University of Tabriz.

DOI: <http://doi.org/10.22034/jprd.2025.68306.1220>

Introduction

In recent decades, the rapid and accelerating trend of urbanization, characterized by the physical concentration of populations in limited areas and the destruction of natural landscapes, has led to high population density, increased conflicts between humans and urban infrastructure, resulting in environmental inequalities and a decline in urban quality of life. This trend has exerted additional pressure on urban ecosystems, altering their structure and function and reducing vital ecosystem services, which not only threatens the health and livelihoods of urban residents but also poses significant challenges to sustainable development. Under such conditions, the concept of ecosystem services—referring to the benefits that nature provides to humans—has emerged as a key approach in urban environmental decision-making, paving the way for innovative solutions such as green infrastructure. Green infrastructure, as a comprehensive and multidimensional approach utilizing natural processes to enhance urban environmental quality, encompasses a network of ecological resources and corridors that, while strengthening the flow of ecosystem services, help mitigate adverse effects of urbanization, including urban heat islands, stormwater runoff, and air pollution, thereby promoting the health and well-being of inhabitants. In megacity Tehran, which faces challenges such as unplanned physical growth, decreasing per capita green space, and uneven distribution of ecosystem services, developing green infrastructure as a network at multiple scales can strengthen ecological linkages and facilitate the achievement of urban sustainability. Therefore, the present study aims to comprehensively review the scientific literature on the role of green infrastructure in sustaining urban ecosystem services in Tehran.

Materials and Methods

This study employs a mixed-methods approach, integrating meta-analysis, systematic review, and path analysis, with applied and descriptive-analytical objectives. In the first phase, bibliometric analysis of 9,846 articles related to the keywords “green infrastructure,” “ecosystem services,” and “cities” in three search combinations was conducted using VOSviewer software and Scopus database. The combinations included “green infrastructure and cities” (3,485 articles), “ecosystem services and cities” (5,511 articles), and “green infrastructure, ecosystem services, and cities” (850 articles). The coefficients of determination (R^2) for publication trends in each combination were 0.87, 0.91, and 0.78 respectively, indicating significant research growth. In the second phase, five components of urban green infrastructure were selected as independent variables, and five components of urban ecosystem services as dependent variables; their relationships were examined through path analysis. The statistical population comprised 96 experts including university professors, municipal specialists, consultants, researchers, and environmental activists in Tehran, selected via purposive sampling using Cochran’s formula without N. Data were collected via a Likert-scale questionnaire and analyzed using Structural Equation Modeling (PLS3). The analysis encompassed measurement model assessments (reliability, validity) and structural model indices including R^2 , Q^2 , GoF, VIF, and significance levels (t-values).

Results

Temporal trend analysis of scientific publications from 1995 to 2024 reveals a marked increase in attention to green infrastructure, ecosystem services, and urban studies especially after 2005; for instance, articles on ecosystem services and cities rose from 3 in 2000 to 900 in 2024, and green infrastructure and cities from 2 to 580 articles. Although the triadic combination counts only 150 articles, its upward trend post-2010 indicates emerging integrative and interdisciplinary approaches. Co-authorship analysis identifies the United States as the global leader in scientific collaboration across all three domains, followed by Germany and the United Kingdom, whereas China, despite high publication volume, ranks lower in international collaboration. Countries such as Sweden, Italy, and the Netherlands also play active roles. Keyword co-occurrence analysis shows “ecosystem services” as a central and frequently linked term across domains, while keywords such as green infrastructure, green space, land use, climate change, and urbanization highlight increasing research focus on the interconnection between natural infrastructures and urban ecosystem functioning. Confirmatory factor analysis validated five components each for urban green infrastructure and ecosystem services with satisfactory reliability, validity, and factor loadings. Structural model indices (GoF=0.534, R^2 =0.486, Q^2 =0.586) indicate good model fit and explanatory power. All causal pathways from green infrastructure components to urban ecosystem services were statistically significant, with an overall effect coefficient of 5.441 ($p<0.001$).

Conclusion

In recent years, with the rapid expansion of urbanization and the rise of environmental challenges, the concepts of green infrastructure and ecosystem services have gained significant attention as key factors in enhancing urban sustainability. A temporal analysis of scientific publications from 1995 to 2023 indicates that the 2005 Millennium Ecosystem Assessment report marked a pivotal point, leading to a sharp increase in studies; for instance, articles related to ecosystem services and cities grew from 3 in 2000 to over 900 by 2024, with green infrastructure following a similar trajectory. This growth reflects the emergence and strengthening of interdisciplinary approaches linking green infrastructure and ecosystem services within urban contexts, especially after 2010. Co-authorship analysis reveals that the United States, Germany, and the United Kingdom have been leading producers and collaborators, whereas China, despite high output, shows lower international cooperation. Keyword co-occurrence highlights ecosystem services, green spaces, and urban policy as dominant themes, with climate change primarily emphasized in green infrastructure studies. Existing research identifies gaps, such as insufficient focus on certain green infrastructure types and cultural services. Structural equation modeling in Tehran's megacity study demonstrates that green infrastructure components—spatial networking, multifunctionality, strategic planning, ecological quality, and human well-being linkage—have significant positive effects on urban ecosystem services, consistent with international findings. Therefore, strategic, integrated development of green infrastructure alongside enhanced cultural and social awareness in urban management is essential, while acknowledging study limitations and recommending broader, deeper future research.



فرا تحلیل نقش زیر ساخت های سبز بر پایداری خدمات اکوسیستم شهری در کلان شهر تهران

نوید آهنگری^۱ ✉، اسما یاوری^۲

۱. نویسنده مسئول، دکتری جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. رایانامه: std_navid.ahangari@alumni.khu.ac.ir

۲. دانشجوی دکتری شهرسازی، پردیس بین الملل تهران جنوب، تهران، ایران. رایانامه: ms.asmayavari@gmail.com

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۰۳

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۸/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۱۲

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۸/۱۵

کلیدواژه‌ها:

فرا تحلیل،

زیر ساخت سبز شهری،

خدمات اکوسیستم شهری،

پایداری شهری،

کلان شهر تهران.

زیر ساخت سبز و خدمات اکوسیستم به عنوان مفاهیمی با ظرفیت ارتقای برنامه ریزی محیطی در مناطق شهری مطرح شده اند، چرا که درک جامع تری از روابط پیچیده و پویای نظام های اجتماعی-بوم شناختی ارائه می دهند. در این راستا، در این راستا، پژوهش حاضر با هدف فرا تحلیل نقش زیر ساخت های سبز بر پایداری خدمات اکوسیستم شهری در کلان شهر تهران تدوین شده است. روش پژوهش به لحاظ هدف کاربردی و از نظر نوع توصیفی-تحلیلی است که به صورت ترکیبی مرور نظام مند و تحلیل مسیر انجام شده است. مرور نظام مند با تحلیل کتاب سنجی مقاله های مرتبط در بازه زمانی ۱۹۹۵ تا ۲۰۲۴ با استفاده از نرم افزار VOSviewer انجام شده است. در بخش تحلیل مسیر، از روش نرم افزار SMARTPLS استفاده شده است. جامعه آماری خبرگان در حوزه زیر ساخت های سبز و خدمات اکوسیستم شهری می باشد که با نمونه گیری هدفمند به روش کوکران، ۹۶ نمونه انتخاب شده است. نتایج مروری نظام مند نشان داد که روند زمانی انتشار مقالات علمی از ۱۹۹۵ تا ۲۰۲۴ بیانگر رشد چشمگیر توجه به زیر ساخت سبز، خدمات اکوسیستم و مسائل شهری، به ویژه پس از سال ۲۰۰۵ است. تحلیل هم نویسنده گی کشورها نشانگر رهبری علمی آمریکا، آلمان و بریتانیا در این حوزه ها است، در حالی که واژه های کلیدی خدمات اکوسیستم و زیر ساخت سبز محور اصلی مطالعات علمی به شمار می روند. نتایج در بخش مدل سازی معادلات ساختاری نشان داد که کلیه مسیرهای اثر گذاری زیر ساخت سبز بر خدمات اکوسیستم شهری در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنادار هستند؛ ضریب معناداری شبکه سازی فضایی ۵/۱۷۰، کارکردهای چندگانه ۲/۱۸۳، برنامه ریزی راهبردی ۳/۱۷۷، کیفیت اکولوژیکی ۲/۵۴۶، پیوند با رفاه انسانی ۲/۵۵۵ و زیر ساخت سبز شهری ۵/۴۴۱ می باشد؛ بنابراین، با توجه به نقش مهم زیر ساخت های سبز در پایداری خدمات اکوسیستم شهری، لازم است سیاست گذاران به توسعه و تقویت این زیر ساخت ها در ایجاد شهرهای پایدارتر توجه ویژه داشته باشند

استناد: آهنگری، نوید و نام یاوری، اسما (۱۴۰۵). فرا تحلیل نقش زیر ساخت های سبز بر پایداری خدمات اکوسیستم شهری در کلان شهر تهران. *فضای شهری و حیات اجتماعی*، ۵ (۱۸)، ۱-۱۸.

<http://doi.org/10.22034/jprd.2025.68306.1220>



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه تبریز.

مقدمه

شهرنشینی سریع به عنوان یکی از مهمترین تغییرات جمعیتی قرن بیست و یکم شناخته می‌شود (Bozkurt et al., 2025). با توسعه شهرنشینی جهانی، حدود ۴/۶ میلیارد نفر در سال ۲۰۲۳ در مناطق شهری زندگی می‌کردند که این رقم معادل ۵۷/۴ درصد از جمعیت جهان است (Su et al., 2025). علاوه بر این، با توجه به پیش‌بینی‌ها، جمعیت شهری تا سال ۲۰۳۰ به ۶۰ درصد از جمعیت جهان خواهد رسید و تا سال ۲۰۵۰ نیز انتظار می‌رود ۲/۶ میلیارد نفر دیگر به جمعیت شهرنشین افزوده شود (United Nations, 2023). با وجود جمعیت بالای شهری، مساحت ساخته شده تنها ۱/۶۹٪ از کل سطح خشکی زمین را به خود اختصاص داده است که این موضوع منجر به میانگین تراکم جمعیتی بیش از ۱۸۴۰ نفر در هر کیلومتر مربع در مناطق شهری ساخت شده است. چنین تراکم بالایی باعث بروز تعارضات جدی میان انسان و زیرساخت‌های شهری شده و مسائل شهری قابل توجهی را به همراه داشته است (Yang et al., 2023). چنین توسعه شهری که اغلب ناشی از تبدیل چشم‌اندازهای طبیعی به ساختارهای شهری است، نه تنها بر ظرفیت تحمل شهری فشار بیشتری وارد می‌آورد، بلکه نابرابری‌ها و بی‌عدالتی‌های زیست‌محیطی را نیز تشدید می‌کند و مانع از تحقق فضاهای زیست‌پذیر و پایدار در شهرها می‌گردد (Sokolova et al., 2024).

روند شتابان شهرنشینی ساختار و عملکرد اکوسیستم‌های منطقه‌ای را به شدت دگرگون کرده و منجر به عدم تعادل و کاهش خدمات اکوسیستمی حیاتی شده است که این موضوع، سلامت و معیشت شهروندان را به خطر می‌اندازد (Zhang et al., 2023) و اکوسیستم‌های شهری را با فشارهای فزاینده‌ای ناشی از تغییرات سریع کاربری زمین و رشد جمعیت مواجه کرده است (Hasan et al., 2020). این تغییرات در کاربری زمین اغلب به تخریب یا از بین رفتن اکوسیستم‌های طبیعی منجر می‌شود و به تبع آن، توان اکوسیستم‌ها در ارائه خدمات کاهش یافته و سلامت و رفاه جمعیت شهری تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Lechner et al., 2020). از این رو، چگونگی ارتقاء توسعه هم‌افزا بین فرایند شهرنشینی و خدمات اکوسیستمی جهت بهبود عملکرد اکوسیستم و دستیابی به پیشینه رفاه انسانی، به کانون توجه اصلی توسعه پایدار اجتماعی-اقتصادی در زمان حاضر تبدیل شده است (Wang et al., 2023). در این راستا، خدمات اکوسیستمی به منفی اشاره دارد که از طبیعت به انسان جریان می‌یابد و برای کیفیت زندگی در شهرها اهمیت بالایی دارد (Wang et al., 2024). امروزه، این مفهوم به یکی از رویکردهای تثبیت‌شده در تصمیم‌گیری‌های محیط‌زیستی تبدیل شده است (Xu & Peng, 2024). با این حال، هم‌زمان با رشد سریع جمعیت در شهرها، نیاز به بهره‌مندی از خدمات اکوسیستمی به‌طور مداوم در حال افزایش است. این در حالی است که اکوسیستم‌هایی که به‌عنوان مناطق تأمین‌کننده خدمات اکوسیستمی عمل می‌کنند، به شدت تحت فشار قرار گرفته و در معرض زوال و نابودی هستند (Bi et al., 2025).

خدمات اکوسیستم شهری به‌عنوان پایه‌ای علمی برای استفاده از منافع طبیعت شهری در تصمیم‌گیری‌ها، به تدریج مفاهیمی همچون زیرساخت سبز در برنامه‌ریزی شهری، منظرسازی و راه‌حل‌های مبتنی بر طبیعت را دربر گرفته است (Fang et al., 2023). این مفاهیم در میان پژوهشگران، برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران برای دستیابی به پایداری شهری با تمرکز بر طبیعت شهری مورد توجه فزاینده‌ای قرار گرفته‌اند (Dushkova et al., 2024). در میان این مفاهیم، زیرساخت‌های سبز در سال‌های اخیر به عنوان پاسخی مناسب به چالش‌های محیط‌زیست ناشی از صنعتی‌شدن و شهرنشینی سریع، توجه فزاینده‌ای را به خود جلب کرده‌اند (Engemann et al., 2024). زیرساخت سبز رویکردی جامع‌تر و نوظهورتر است که به اقداماتی اشاره دارد که از فرآیندهای طبیعی و اکوسیستمی برای دستیابی به شهرهای پایدار استفاده می‌کند (Remme et al., 2024). زیرساخت سبز، فضاهای سبز را در بستر شهری یکپارچه می‌کند و رویکردی چندجانبه برای مقابله با مسائلی مانند انتشار گازهای گلخانه‌ای، پدیده جزیره گرمای شهری و روان‌آب‌های طوفانی ارائه می‌دهد، در حالی که هم‌زمان منافع اجتماعی-اقتصادی و سلامت عمومی را نیز ارتقا می‌بخشد (Koh et al., 2022). از این رو، شبکه زیرساخت سبز شامل منابع اکولوژیکی و کریدورهایی است که جریان منطقه‌ای خدمات اکوسیستمی را تقویت می‌کنند (Ma et al., 2021)، فرآیندهای اکولوژیکی خاص را به‌طور مؤثر تنظیم می‌کنند، تحقق کامل عملکردها و خدمات اکوسیستم را ممکن می‌سازند و به مدیریت منظم منابع اکولوژیکی کمک می‌کنند؛ بنابراین، ایجاد شبکه

زیرساخت سبز راهبردی عملی و مؤثر برای حفاظت از خدمات اکوسیستم و تسهیل توسعه پایدار شهری محسوب می‌شود (Zhou et al., 2024).

در کلان‌شهر تهران، فشارهای ناشی از رشد فیزیکی بی‌برنامه، کاهش سرانه فضای سبز و توزیع نابرابر خدمات اکوسیستمی، پایداری شهری را با چالش‌های جدی مواجه ساخته است (Badakhshan et al., 2025)؛ درحالی‌که توسعه شبکه‌ای و چندمقیاسی زیرساخت‌های سبز می‌تواند پیوندهای اکولوژیکی و جریان منظم خدمات اکوسیستم را تقویت کرده و مسیر تحقق توسعه پایدار شهری را هموارتر کند (Alavi et al., 2024). با توجه به جایگاه تهران به‌عنوان نمونه‌ای بارز از شهرهای درحال توسعه با اکوسیستم‌های شکننده و نابرابر، بررسی نقش هم‌افزای زیرساخت‌های سبز و خدمات اکوسیستم در این کلان‌شهر، می‌تواند زمینه‌ساز درک بهتر ابعاد پایداری شهری در سطح نظری و عملی باشد. ازاین‌رو، هدف این مطالعه، بررسی فراگیر ادبیات علمی پیرامون زیرساخت سبز و خدمات اکوسیستمی با تمرکز بر کلان‌شهر تهران، به‌منظور پاسخ به این پرسش است که: نقش زیرساخت‌های سبز بر پایداری خدمات اکوسیستم شهری در کلان‌شهر تهران چگونه است؟

مبانی نظری و پیشینه تحقیق

در دهه گذشته، مفاهیم زیرساخت سبز و خدمات اکوسیستم در رشته‌های مختلفی از جمله معماری منظر، بوم‌شناسی، جغرافیا، علوم محیط‌زیست و اجتماعی، اقتصاد و اخیراً برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای مورد مطالعه قرار گرفته‌اند (Di Marino and Lapintie, 2018). در این راستا، زیرساخت سبز نقش محوری در حفظ تنوع زیستی و تأمین خدمات اکوسیستم در محیط‌های شهری ایفا می‌کند (Amorim et al., 2021)؛ این خدمات که به ارتقای بهزیستی انسان مرتبط‌اند، مبنای راه‌حل‌های مبتنی بر طبیعت برای مقابله با چالش‌های مهم شهری مانند تغییرات اقلیمی و کاهش تنوع زیستی هستند (Sun et al., 2020). زیرساخت سبز شامل پارک‌های عمومی، جنگل‌ها، باغ‌های محلی، بام‌های سبز، رودخانه‌ها و دریاچه‌ها، نقش چشمگیری در بهبود کیفیت محیط‌زیست و سلامت انسان در محیط‌های شهری ایفا می‌کنند (Fagerholm et al., 2025). سیاست‌گذاران به‌ویژه در سطح بین‌المللی، زیرساخت سبز را به‌عنوان ابزاری کلیدی برای مدیریت هم‌زمان این مسائل تلقی می‌کنند (Liberalesso et al., 2020) و کمیسیون اروپا آن را شبکه‌ای با برنامه‌ریزی راهبردی از مناطق طبیعی و نیمه‌طبیعی، همراه با سایر ویژگی‌های زیست‌محیطی که با هدف ارائه طیف گسترده‌ای از خدمات اکوسیستمی طراحی و مدیریت می‌شود و در عین حال تنوع زیستی را ارتقا می‌بخشد، تعریف می‌کند (European Commission, 2024). در این راستا، زیرساخت سبز با پیوند دادن مناطق شهری و روستایی، محیط‌هایی جذاب برای زندگی و کار فراهم می‌آورد و یکی از اصطلاحات فزاینده‌ای است که برای توصیف منافع حاصل از طبیعت، در هر دو بعد اقتصادی و غیراقتصادی، به‌کار می‌رود و به تصمیم‌گیری‌های محیطی کمک می‌کند (Washbourne, 2022).

زیرساخت سبز بر پنج اصل اصلی استوار است: (۱) تلفیق: در نظر گرفتن ترکیب زیرساخت‌های خاکستری-سبز؛ (۲) عملکردی: عملکردهای زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی، زیستی و فرهنگی فضاهای سبز؛ (۳) اتصال بین فضاهای سبز؛ (۴) رویکرد چندمقیاسی که تمام قطعات، از فردی تا جامعه، منطقه‌ای و کشوری را در بر می‌گیرد؛ (۵) رویکرد چندهدفه شامل انواع مختلف فضای سبز و آبی (شهری) (Ronchi et al., 2020). با وجود اهمیت چندکارکردی زیرساخت سبز، ارتباط پیچیده میان خدمات اکوسیستم و زیرساخت سبز در عمل کمتر مورد توجه قرار گرفته است؛ در حالی که هر دو مؤلفه برای سلامت زمین و رفاه انسان حیاتی‌اند (Chaplin-Kramer et al., 2019) و زیرساخت سبز با حمایت از گونه‌ها و گروه‌های کلیدی زیستی، عملکرد اکوسیستم‌ها را تقویت می‌کند و خدماتی مانند کاهش دما، تصفیه هوا، تنظیم آب و ارتقای سلامت روانی و جسمی را فراهم می‌آورد که بهبود کیفیت زندگی و کاهش خسارت‌های اقتصادی را به دنبال دارد (Meerow & Newell, 2019)؛ بنابراین، رویکرد زیرساخت سبز در سیاست‌ها و استراتژی‌های مدیریت زمین به‌طور فزاینده‌ای پذیرفته شده است تا تضمین شود خدمات اکوسیستمی مورد نیاز برای رفاه و کیفیت زندگی انسان تأمین می‌شود (García et al., 2020). خدمات اکوسیستمی زمانی مورد توجه گسترده قرار گرفت که گزارش ارزیابی اکوسیستم هزاره در سال ۲۰۰۵ منتشر شد (Krajter Ostoic et al., 2024). بر اساس این گزارش، خدمات

اکوسیستمی به مزایایی اطلاق می‌شود که انسان‌ها از اکوسیستم‌ها دریافت می‌کنند که آن را می‌توان به خدمات تأمین‌کننده (مانند محصولات به دست آمده شامل غذا، آب شیرین، چوب، الیاف)، خدمات تنظیم‌کننده (مزایای حاصل از تنظیم فرآیندهای اکوسیستم، مانند تنظیم اقلیم، تنظیم مخاطرات طبیعی، تصفیه آب و مدیریت پسماند)، خدمات زیستگاه (که اهمیت اکوسیستم‌ها در فراهم کردن زیستگاه برای گونه‌ها را برجسته می‌کند) و خدمات فرهنگی (که شامل منافع غیرمادی است که انسان‌ها از اکوسیستم‌ها به دست می‌آورند، مانند غنای معنوی، توسعه فکری، تفریح و ارزش‌های زیبایی‌شناختی) تقسیم‌بندی کرد (Baldessari et al., 2025). این خدمات به عنوان بخش مهمی از چارچوب خدمات اکوسیستم برای حفاظت از اکوسیستم‌ها شناخته می‌شوند (Chen et al., 2025).

با توجه به اهمیت فزاینده زیرساخت‌های سبز در ارتقای خدمات اکوسیستم شهری، بررسی مطالعات پیشین می‌تواند در شناسایی الگوهای موفق، چالش‌های موجود و مسیرهای آینده پژوهش نقش مؤثری ایفا کند. نتایج پیشینه‌های پژوهش با توجه به جدول (۱) نشان داد که زیرساخت‌های سبز با تأمین خدمات متنوع اکوسیستمی مانند تنظیم میکروکلیم، بهبود کیفیت هوا، کاهش آلودگی صوتی، مدیریت روان‌آب‌ها و ارتقای سلامت روانی و جسمی، نقش کلیدی در افزایش پایداری شهرها دارند. همچنین، ادغام زیرساخت‌های سبز در برنامه‌ریزی شهری و بهره‌گیری از مدل‌های ترکیبی خدمات اکوسیستم موجب بهینه‌سازی طراحی و مکان‌یابی این زیرساخت‌ها و افزایش هم‌افزایی بین اهداف زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی می‌شود. با این حال، محدودیت‌هایی مانند کم‌توجهی به ابعاد اجتماعی-فرهنگی خدمات، پراکندگی روش‌ها و فقدان چارچوب‌های تصمیم‌گیری یکپارچه، از کاربردی شدن کامل یافته‌ها در سطح شهری جلوگیری می‌کند. نوآوری پژوهش حاضر در ارائه فرا تحلیلی جامع و نظام‌مند با تمرکز بر کلان‌شهر تهران است که ضمن شناسایی روندهای نوظهور و شکاف‌های تحقیقاتی، چارچوبی کاربردی برای سیاست‌گذاران فراهم می‌آورد تا با توجه به شرایط خاص این کلان‌شهر، به تحقق توسعه پایدار شهری کمک نماید.

جدول ۱- پیشینه پژوهش

عنوان مقاله	نویسنده (سال)	نتایج
اهمیت اجتماعی خدمات اکوسیستم زیرساخت سبز شهری	بالدساری و همکاران (۲۰۲۵)	خدمات فرهنگی و تنظیم میکروکلایمات شهری از مهم‌ترین نقش‌های زیرساخت سبز در ارتقاء کیفیت زندگی هستند
تصمیم‌گیری برای زیرساخت سبز مبتنی بر عرضه، جریان و تقاضای خدمات اکوسیستم	لو ^۱ و همکاران (۲۰۲۵)	چارچوبی یکپارچه برای تصمیم‌گیری در زیرساخت سبز ارائه شده که پایداری خدمات اکوسیستم را تقویت می‌کند.
نقش زیرساخت سبز در تأمین خدمات اکوسیستم شهری: دیدگاهی کتاب‌سنجی	سوکولوا و همکاران (۲۰۲۴)	توجه به زیرساخت سبز و خدمات اکوسیستم در شهرها افزایش یافته و برای توسعه پایدار نیاز به رویکردی یکپارچه و جامع وجود دارد.
نقش زیرساخت‌های سبز شهری بر پایداری خدمات اکوسیستم	ایزولا ^۲ و همکاران (۲۰۲۴)	زیرساخت‌های سبز موجب بهبود تنظیم اقلیم، جذب کربن و کیفیت زیستگاه شده و پیوستگی اکولوژیکی را افزایش می‌دهند
طبقه‌بندی یکپارچه زیرساخت سبز شهری برای ارزیابی خدمات اکوسیستم و تنوع زیستی	مورپورگو ^۳ و همکاران (۲۰۲۳)	طبقه‌بندی جدید زیرساخت سبز امکان ارزیابی دقیق‌تر خدمات اکوسیستم و تنوع زیستی را فراهم می‌کند
مرور نظام‌مند خدمات اکوسیستم ارائه شده توسط زیرساخت سبز	جاتو-اسپینو ^۴ و همکاران (۲۰۲۳)	زیرساخت سبز، خدمات اکوسیستم متنوع را فراهم کرده و اصل کلیدی مقابله با چالش‌های شهری است
برنامه‌ریزی زیرساخت سبز با استفاده از مدل‌های خدمات اکوسیستم شهری و تحلیل چندمعیاره	لوردس ^۵ و همکاران (۲۰۲۲)	ترکیب مدل‌های خدمات اکوسیستم و تحلیل چندمعیاره، مکان‌های مناسب برای برنامه‌ریزی زیرساخت سبز را شناسایی می‌کند
طراحی زیرساخت سبز در توسعه شهری برای دستیابی به مزایای چندگانه اکوسیستم	چپمن و جیم‌هال ^۶ (۲۰۲۲)	طراحی زیرساخت سبز باعث افزایش عملکرد خدمات اکوسیستم از جمله کنترل سیلاب، بهبود کیفیت آب و افزایش تنوع زیستی می‌شود

1 - Lu

2 - Isola

3 - Morpurgo

4 - Jato-Espino

5 - Lourdes

6 - Chapman and Hall

مرور مطالعات تجربی درباره خدمات فرهنگی اکوسیستم در زیرساخت سبز شهری	چنگ ^۱ و همکاران (۲۰۲۱)	زیرساخت سبز پایداری خدمات فرهنگی اکوسیستم شهری را با تقویت هویت مکان و ارتقای کیفیت زندگی افزایش می‌دهد
ادغام زیرساخت سبز در مقررات برنامه‌ریزی فضایی برای بهبود کوسیستم‌های شهری	رونکی و همکاران (۲۰۲۰)	ادغام زیرساخت‌های سبز و راه‌حل‌های مبتنی بر طبیعت در برنامه‌ریزی فضایی باعث بهبود خدمات اکوسیستم شهری می‌شود
گزینه‌های فضایی برای برنامه‌ریزی زیرساخت سبز از دیدگاه خدمات اکوسیستم	والچیو ^۲ و همکاران (۲۰۱۸)	زیرساخت سبز در مناطق شهری متراکم بیشترین خدمات اکوسیستم را ارائه می‌دهد و اهداف محیط‌زیستی را تأمین می‌کند
تحلیل مقیاس، کیفیت و تنوع زیرساخت سبز و تأمین خدمات اکوسیستم شهری	کالدرون-کنتراس و کیروز-روساس ^۳ (۲۰۱۷)	تنوع، کیفیت و مقیاس زیرساخت سبز تأثیر مستقیمی بر ظرفیت ارائه خدمات اکوسیستم دارد
شناسایی ارزش‌های اجتماعی-فرهنگی خدمات اکوسیستم در برنامه‌ریزی زیرساخت سبز محلی	ویریکو و نیمل ^۴ (۲۰۱۶)	ارزش‌های اجتماعی-فرهنگی در طراحی زیرساخت سبز، پایداری خدمات اکوسیستم را افزایش می‌دهد
زیرساخت سبز، خدمات اکوسیستم و سلامت انسانی	کوتس ^۵ و همکاران (۲۰۱۵)	زیرساخت سبز از طریق تقویت همزمان چندین خدمت اکوسیستم، آثار گسترده‌ای بر سلامت و رفاه انسان دارد
تأثیر خدمات اکوسیستمی خنک‌کنندگی زیرساخت‌های سبز شهری بر بار گرمای محیطی	هریسچیان و همکاران (۱۴۰۲)	خدمات اکوسیستم شهری، خنک‌کنندگی زیرساخت سبز و جزایر گرمایی را در دوره‌های مختلف کاهش داده است.

منبع: یافته‌های پژوهش

روش پژوهش

پژوهش حاضر مبتنی بر رویکرد فرا تحلیل مرور نظام‌مند و تحلیل مسیر است و روش پژوهش از نظر هدف کاربردی، از لحاظ نوع توصیفی - تحلیلی است. در بخش اول، مرور نظام‌مند با استفاده از نرم‌افزار ویس و یور تحلیل کتاب‌سنجی مطالعات مرتبط با سه کلیدواژه اصلی زیرساخت سبز، خدمات اکوسیستمی و شهرها انجام شده و داده‌ها از پایگاه اسکوپوس انجام شد. در مجموع، ۹۸۴۶ مقاله علمی منتشرشده بین سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۲۴، مورد بررسی قرار گرفتند. سه عبارت جست‌وجو به کار شامل زیرساخت سبز و شهرها با ۳۴۸۵ مقاله، خدمات اکوسیستمی و شهرها با ۵۵۱۱ مقاله و زیرساخت سبز، خدمات اکوسیستمی و شهرها با ۸۵۰ مقاله بودند. ضریب تعیین (R^2) برای روند زمانی انتشار مقاله‌ها در سه ترکیب کلیدواژه‌ای به ترتیب برابر با ۰/۸۷، ۰/۹۱ و ۰/۷۸ به دست آمد که نشان‌دهنده رشد معنادار و همبسته تولیدات علمی است. در بخش دوم، با استفاده از تحلیل مسیر و با توجه خروجی نهایی مرور نظام‌مند، ۵ مؤلفه زیرساخت سبز شهری به عنوان متغیر مستقل شناسایی گردید تا اثرات آن بر روی خدمات اکوسیستم شهری با ۵ مؤلفه به عنوان متغیر وابسته تحلیل شود (جدول ۱). جامعه آماری شامل خبرگان در حوزه زیرساخت‌های سبز و خدمات اکوسیستم شهری (استاد دانشگاه، مدیران و کارشناسان شهرداری تهران، مشاوران شرکت‌های محیط‌زیستی و شهرسازی، پژوهشگران مرکز مطالعات و برنامه ریزی شهر تهران و انجمن‌های زیست‌محیطی) می‌باشد که با توجه به عدم وجود یک پایگاه داده جامع برای لیست افراد حرفه‌ای، از روش نمونه‌گیری هدفمند به روش کوکران بدون N، ۹۶ نمونه انتخاب شده است. مقیاس تحلیل بر اساس طیف لیکرت پنج سطحی کاملاً مخالف تا کاملاً موافق تنظیم شده است. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از روش مدل‌سازی معادلات ساختاری (PLS3) استفاده شده است. این روش در دو مرحله مدل‌های اندازه‌گیری شامل ضرایب بارهای عاملی، ضریب آلفای کرونباخ، پایایی ترکیبی، روایی همگرا و مدل‌های ساختاری شامل ضرایب معیار (R^2)، معیار استون-گیزر (Q^2)، معیار GoF، معیار VIF و ضرایب معناداری (t) انجام شده است. نمودار فرایند گام به گام پژوهش در شکل (۱) ارائه شده است.

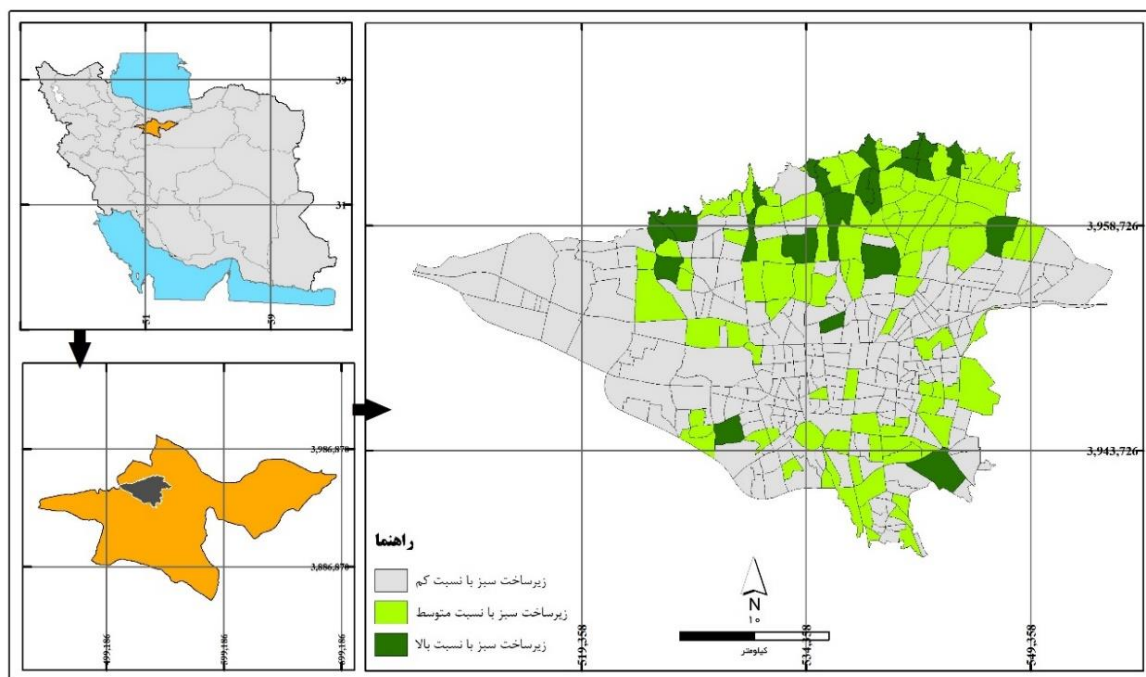
¹ - Cheng² - Vallecillo³ - Calderón-Contreras and Quiroz-Rosas⁴ - Vierikko and Niemelä⁵ - Coutts



شکل ۱- فرایند اجرایی پژوهش

محدوده مورد مطالعه

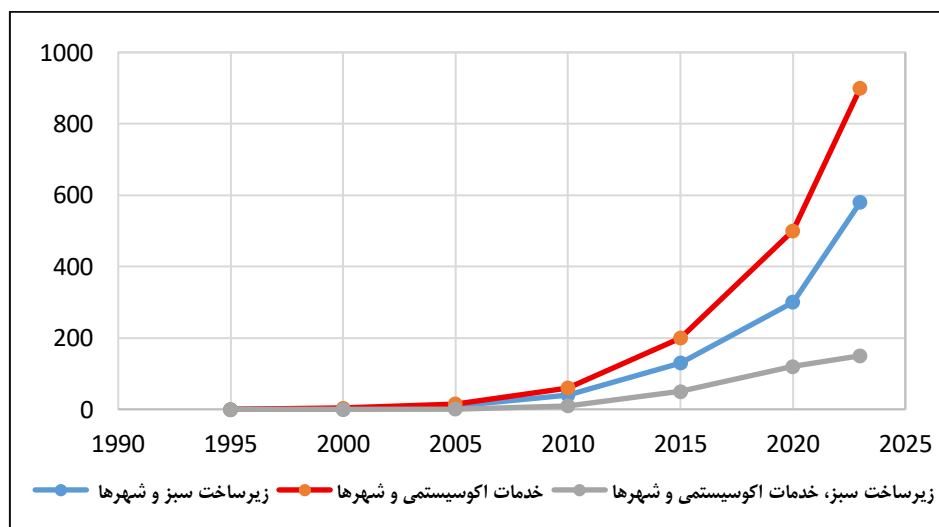
کلان‌شهر تهران، با جمعیتی بیش از ۱۳ میلیون نفر و مساحتی حدود ۶۲۴ کیلومتر مربع، در شمال به رشته‌کوه‌های البرز و در جنوب به کویر محدود می‌شود که تأثیر بسزایی بر اقلیم و اکوسیستم آن دارد (شکل ۲). گسترش شهری باعث تبدیل دره‌های رودخانه به کانال‌های بتنی شده که به اکوسیستم‌ها و تنوع زیستی آسیب رسانده و نیازمند بهبود پایداری و پیوستگی اکولوژیکی است (Sarmadi et al., 2021). همچنین رشد سریع شهر منجر به تبدیل فضاهای سبز و اراضی باز به بافت‌های ساخته‌شده شده که چشم‌انداز اکولوژیکی تهران را دستخوش تغییرات جدی کرده است (Arsanjani et al., 2011). زیرساخت‌های سبز شهری تهران، خدمات اکوسیستم مهمی مانند تنظیم دما، تصفیه هوا و مدیریت رواناب را فراهم می‌کنند، اما کاهش فضاهای سبز، آلودگی هوا و نابرابری فضایی در دسترسی به این خدمات، چالش‌های اصلی شهر برای پایداری اکولوژیکی هستند (Aghaloo and Sharifi, 2025).



شکل ۲- موقعیت جغرافیایی شهر تهران

نتایج

تحلیل روند زمانی: روند زمانی انتشارات علمی در بازه ۱۹۹۵ تا ۲۰۲۴ نشان می‌دهد که توجه به موضوعات زیرساخت سبز، خدمات اکوسیستم و شهرها پس از سال ۲۰۰۵، به‌طور چشمگیری افزایش یافته است. داده‌های پایگاه اسکوپوس نشان می‌دهد که مقاله‌های مرتبط با خدمات اکوسیستم و شهرها از ۳ مورد در سال ۲۰۰۰ به ۹۰۰ مورد در سال ۲۰۲۴ رسیده‌اند؛ حوزه زیرساخت سبز و شهرها نیز با ۲ مقاله در سال ۲۰۰۰ آغاز شده و تا سال ۲۰۲۴ به ۵۸۰ مقاله افزایش یافته است. اگرچه تعداد مقالات مربوط به ترکیب سه‌گانه زیرساخت سبز، خدمات اکوسیستم و شهرها در سال ۲۰۲۴ به ۱۵۰ مورد می‌رسد، اما روند صعودی نشان‌دهنده شکل‌گیری رویکردهای تلفیقی و میان‌رشته‌ای نوین در این حوزه است که از سال ۲۰۱۰ به بعد تقویت شده است (شکل ۳).



شکل ۳- روند انتشارات مرتبط با زیرساخت سبز و خدمات اکوسیستمی از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۲۴

تحلیل هم‌نویسندگی کشورها: نتایج تحلیل هم‌نویسندگی کشورها نشان می‌دهد که ایالات متحده در حوزه زیرساخت سبز و شهرها با ۸۴۰ مقاله و قدرت پیوند ۳۶۷ و در حوزه خدمات اکوسیستم و شهرها با ۱۰۳۱ مقاله و قدرت پیوند ۸۳۰، بیشترین میزان همکاری علمی را دارد. آلمان نیز با ۴۷۲ مقاله و قدرت پیوند ۶۱۳ و بریتانیا با ۴۰۸ مقاله و قدرت پیوند ۵۶۱، در رتبه‌های بعدی قرار دارند. در حوزه ترکیبی زیرساخت سبز، خدمات اکوسیستمی و شهرها، آلمان با ۱۱۲ مقاله و قدرت پیوند ۱۱۹، بریتانیا با ۹۶ مقاله و قدرت پیوند ۱۰۷ و ایالات متحده با ۱۷۴ مقاله و قدرت پیوند ۱۰۴ در صدر قرار دارند. چین اگرچه با ۱۸۶۹ مقاله بیشترین تولید علمی را دارد، اما با قدرت پیوند ۵۴۱، مشارکت بین‌المللی کمتری نسبت به کشورهای غربی نشان می‌دهد. همچنین کشورهای سوئد با قدرت پیوند ۳۶۶، ایتالیا با ۳۴۱ و هلند با ۱۷۵ نیز در تعاملات علمی جهانی نقش فعالی ایفا کرده‌اند (جدول ۲).

جدول ۲- کشورهای اصلی بر اساس قدرت کل ارتباط تولید شده

کشور	تعداد	مجموع قدرت پیوند	کشور	تعداد اسناد	مجموع قدرت پیوند	کشور	تعداد	مجموع قدرت پیوند
زیرساخت سبز و شهرها			خدمات اکوسیستمی و شهرها			زیرساخت سبز، خدمات اکوسیستمی و شهرها		
آمریکا	۸۴۰	۳۶۷	آمریکا	۱۰۳۱	۸۳۰	آلمان	۱۱۲	۱۱۹
بریتانیا	۳۲۸	۳۵۵	آلمان	۴۷۲	۶۱۳	بریتانیا	۹۶	۱۰۷
آلمان	۲۸۵	۳۲۷	بریتانیا	۴۰۸	۵۶۱	آمریکا	۱۷۴	۱۰۴
چین	۳۹۷	۲۵۰	چین	۱۸۶۹	۵۴۱	سوئد	۵۲	۸۱
سوئد	۱۱۸	۱۹۷	سوئد	۲۱۱	۳۶۶	چین	۸۲	۶۴
ایتالیا	۲۷۵	۱۹۳	اسپانیا	۲۰۹	۳۴۹	ایتالیا	۱۱۱	۶۳
هلند	۱۱۰	۱۷۵	ایتالیا	۴۱۷	۳۴۱	هلند	۲۹	۵۲

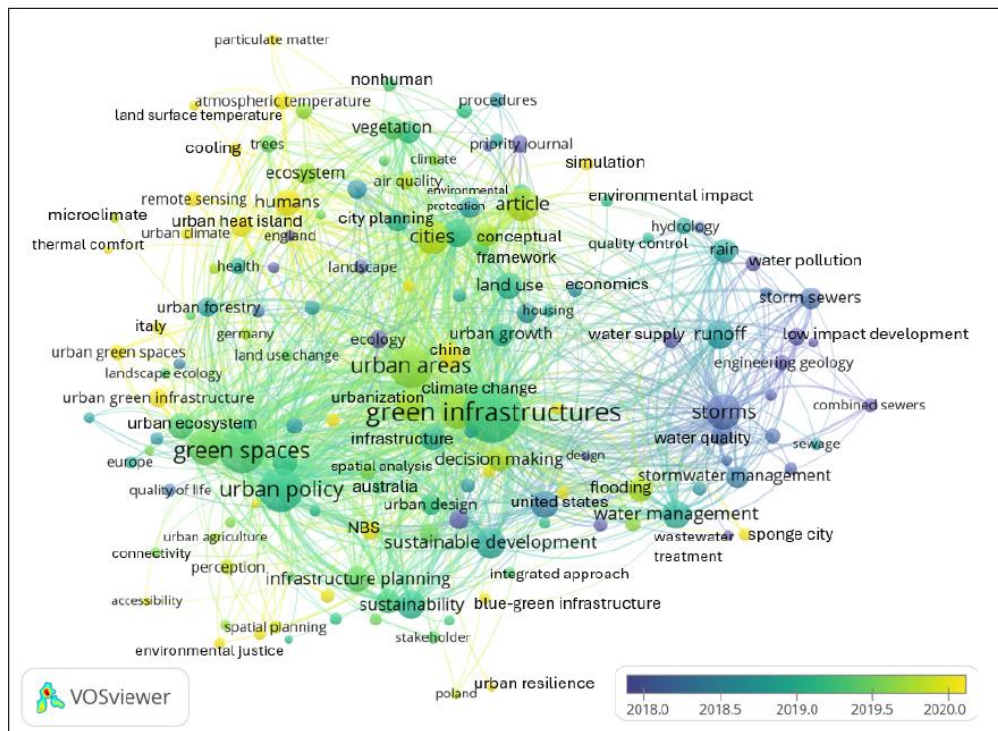
منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴

وقوع همزمان واژه‌های کلیدی: نتایج نشان داد که کلیدواژه خدمات اکوسیستم با بیشترین رخداد و قدرت ارتباط در هر سه حوزه زیرساخت سبز و شهرها، خدمات اکوسیستم و شهرها و ترکیب هر سه، محور اصلی پژوهش‌هاست. زیرساخت سبز و فضای سبز نیز به ویژه در حوزه‌های مرتبط با زیرساخت سبز جایگاه مهمی دارند، در حالی که موضوعاتی مانند تغییر اقلیم و طوفان‌ها عمدتاً در این حوزه حضور دارند و در سایر حوزه‌ها کمتر دیده شده‌اند. کلیدواژه‌های اکوسیستم‌ها، کاربری زمین و شهرنشینی بیشتر در حوزه خدمات اکوسیستم فعال هستند (جدول ۳) (اشکال ۴، ۵ و ۶).

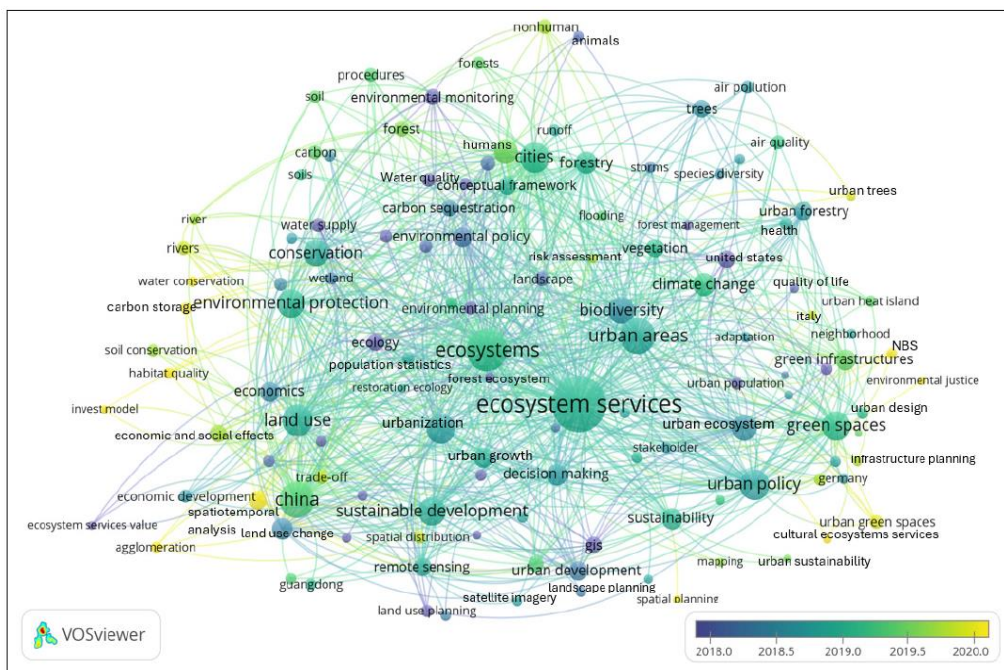
جدول ۳- کلیدواژه‌های برتر در سه ترکیب جستجو بر اساس مجموع قدرت ارتباط تولیدشده توسط

کلیدواژه	رخداد در زیرساخت سبز و شهرها	قدرت ارتباط کل در زیرساخت سبز و شهرها	رخداد در خدمات اکوسیستم و شهرها	قدرت ارتباط کل در خدمات اکوسیستم و شهرها	رخداد در زیرساخت سبز، خدمات اکوسیستم و شهرها	قدرت ارتباط کل در خدمات اکوسیستم و شهرها
خدمات اکوسیستم	۵۴۸	۳۹۶۳	۳۵۱۷	۲۴۵۴۸	۵۴۸	۴۱۲۵
زیرساخت سبز	۱۹۰۹	۱۱۰۴۰	-	-	۴۷۰	۳
فضای سبز	۷۹۶	۶۳۱۳	-	-	۲۷۱	۲۵۱۶
سیاست شهری	۷۷۶	۵۸۵۸	۹۱۴	۷۳۵۸	۲۵۲	۲۱۸۵
مناطق شهری	۶۴۳	۵۶۵۹	۱۰۸۶	۱۰۰۰۶	۱۹۲	۲۰۱۲
تغییر اقلیم	۵۲۲	۳۹۷۳	-	-	-	-
طوفان‌ها	۴۵۵	۳۹۰۱	-	-	-	-
شهرها	۳۲۱	۳۴۴۶	۶۶۹	۷۸۲۷	۱۰۵	۱۳۲۲
اکوسیستم‌ها	-	-	۱۴۸۵	۱۳۵۸۶	۲۰۰	۲۰۳۷
کاربری زمین	-	-	۸۰۴	۷۷۲۹	-	-
شهرنشینی	-	-	۷۹۹	۷۳۹۴	-	-
اکوسیستم شهری	-	-	-	-	۱۲۲	۱۲۳۱

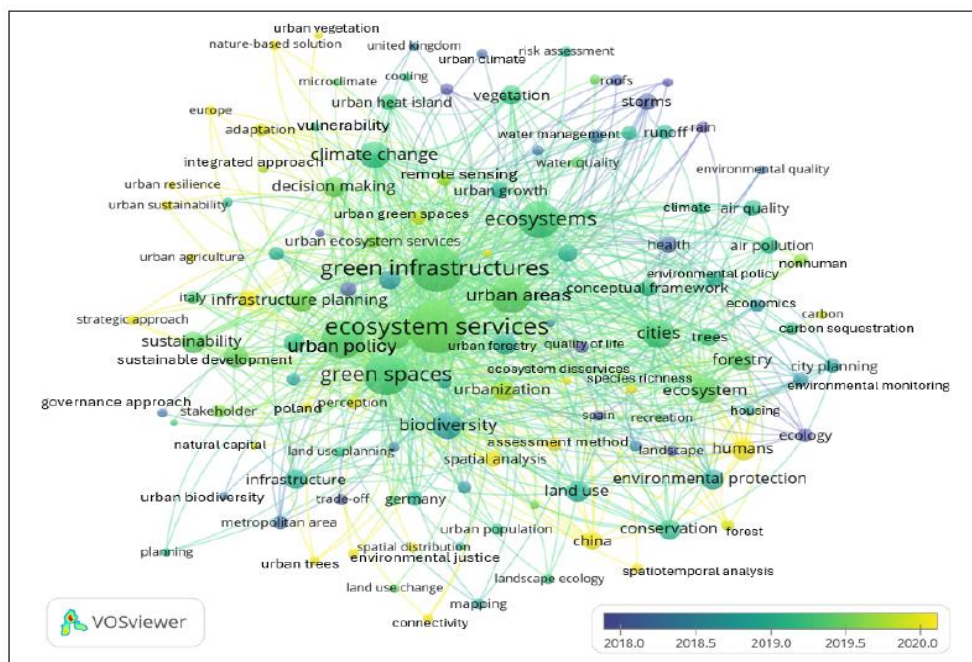
منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴



شکل ۴- نقشه شبکه همپوشانی هم رخدادی کلمات کلیدی مرتبط با زیرساخت سبز و شهرها



شکل ۵- نقشه شبکه همپوشانی هم رخدادی کلمات کلیدی مرتبط با خدمات اکوسیستم و شهرها



شکل ۶- نقشه شبکه همپوشانی هم رخدادی واژه‌های کلیدی مرتبط زیرساخت سبز خدمات اکوسیستم و شهرها

تحلیل مدل‌سازی معادلات ساختاری: با توجه به نتایج مروری نظام‌مند و در جهت تحلیل مدل‌سازی معادلات ساختاری، متغیرها، مؤلفه‌ها و شاخص‌های پژوهش شامل متغیر مستقل زیرساخت سبز شهری با ۵ مؤلفه و ۱۵ گویه و متغیر وابسته خدمات اکوسیستم شهری با ۵ مؤلفه و ۱۵ گویه شناسایی شدند (جدول ۴).

جدول ۴- شناسایی متغیرهای پژوهش

متغیر	مؤلفه	شاخص
زیرساخت سبز شهری	شبکه‌سازی فضایی	پیوستگی فضاهای سبز، اتصال بین‌عملکردی کاربری‌ها، کاهش پراکندگی فضایی
	کارکردهای چندگانه	کنترل رواناب و سیلاب، تنظیم دمای شهری، بهبود کیفیت هوا
	برنامه‌ریزی راهبردی	طراحی با محور طبیعت، جانمایی بر پایه تحلیل اکوسیستمی، اولویت‌بندی مناطق بحرانی
	کیفیت اکولوژیکی	تنوع زیستی گیاهی، سطح نفوذپذیری خاک، پایداری عملکرد در زمان
	پیوند با رفاه انسانی	افزایش حس تعلق مکانی، ارتقاء منظر شهری، دسترسی آسان به فضای سبز
خدمات اکوسیستم شهری	خدمات تنظیمی	کاهش جزیره حرارتی، تصفیه هوا و جذب آلاینده‌ها، ذخیره و نفوذ آب باران
	خدمات فرهنگی	ارتقاء سلامت روان، تقویت تعاملات اجتماعی، افزایش ارزش زیبایی‌شناختی
	خدمات زیرساختی	حفاظت از خاک شهری، تقویت چرخه طبیعی آب، کاهش نیاز به زیرساخت‌های مصنوعی
	خدمات تأمین‌کننده	تولید گیاهان دارویی، تأمین منابع طبیعی درون‌شهری، بهره‌برداری پایدار از منابع
	خدمات حمایتی	حفظ تنوع زیستی، پشتیبانی از چرخه مواد آلی، حفاظت از زیستگاه‌های شهری

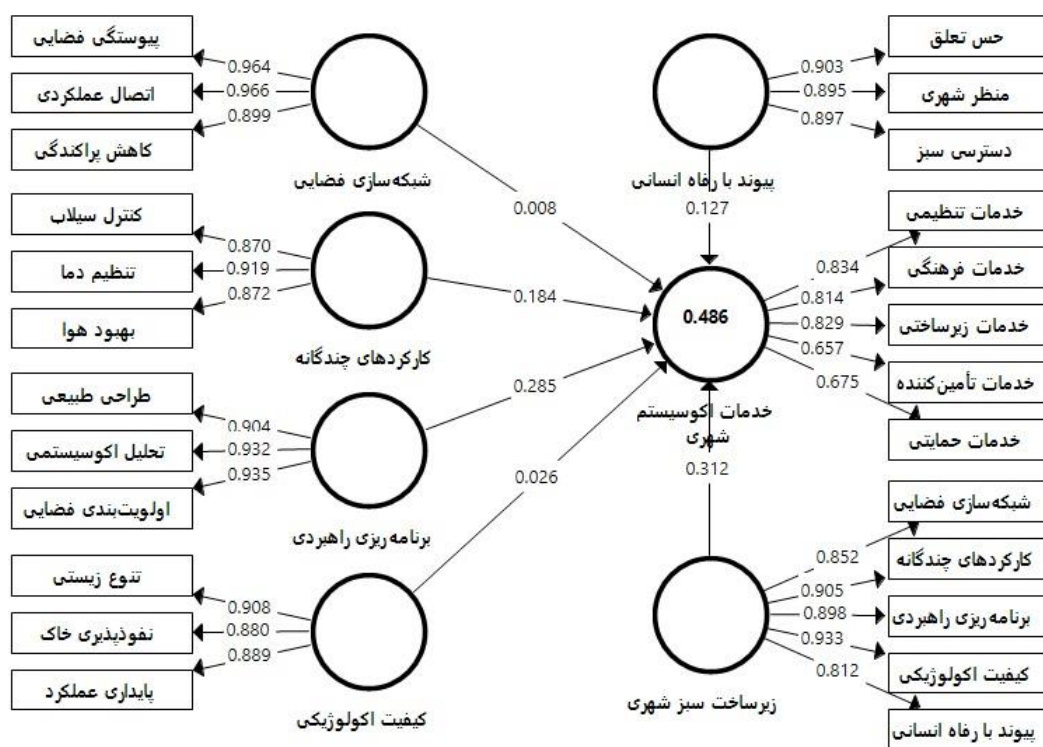
منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴

مدل اندازه‌گیری: برآزش مدل اندازه‌گیری بر اساس تحلیل عاملی تأییدی نشان داد که بارهای عاملی تمامی شاخص‌ها بالاتر از حد آستانه ۰/۶ بوده و هر سازه حداقل ۵۰ درصد از واریانس شاخص‌های مربوط را توضیح می‌دهد. پایایی ترکیبی و ضریب آلفای کرونباخ برای تمامی متغیرها بالاتر از ۰/۷ است که بیانگر قابلیت اطمینان و انسجام درونی مناسب شاخص‌ها است. همچنین، شاخص روایی همگرا برای همه متغیرها بالاتر از ۰/۵ بوده و دلالت بر روایی قابل قبول و واریانس توضیح داده شده کافی دارد. بنابراین، مدل اندازه‌گیری از نظر پایایی و روایی در سطح قابل قبولی قرار دارد و می‌تواند پایه مناسبی برای تحلیل مدل ساختاری باشد (جدول ۵) و شکل (۷).

جدول ۵- برآورد نتایج برازش مدل اندازه‌گیری و مدل ساختاری

مؤلفه و متغیر	بار عاملی	پایایی ترکیبی (CR)	آلفای کرونباخ (Alpha)	روایی همگرا (AVE)	معیار GoF	معیار VIF	معیار R^2	معیار Q^2
شبکه‌سازی فضایی	۰/۸۵۲	۰/۹۶۱	۰/۹۴۰	۰/۸۹۰				
کارکردهای چندگانه	۰/۹۰۵	۰/۹۱۷	۰/۸۶۵	۰/۷۸۷				
برنامه‌ریزی راهبردی	۰/۸۹۸	۰/۹۴۶	۰/۹۱۴	۰/۸۵۳				
کیفیت اکولوژیکی	۰/۹۳۳	۰/۹۲۲	۰/۸۷۳	۰/۷۹۷				
پیوند با رفاه انسانی	۰/۸۱۲	۰/۹۲۶	۰/۸۸۱	۰/۸۰۷				
زیرساخت سبز شهری	-	۰/۹۴۵	۰/۹۲۷	۰/۷۷۶				
خدمات اکوسیستم شهری	-	۰/۸۷۵	۰/۸۲۰	۰/۵۸۷	۰/۵۳۴	۱/۹۴	۰/۴۸۶	۰/۵۸۶

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴



شکل ۷- مدل معادلات ساختاری پژوهش همراه با ضرایب مسیر (بارهای عاملی)

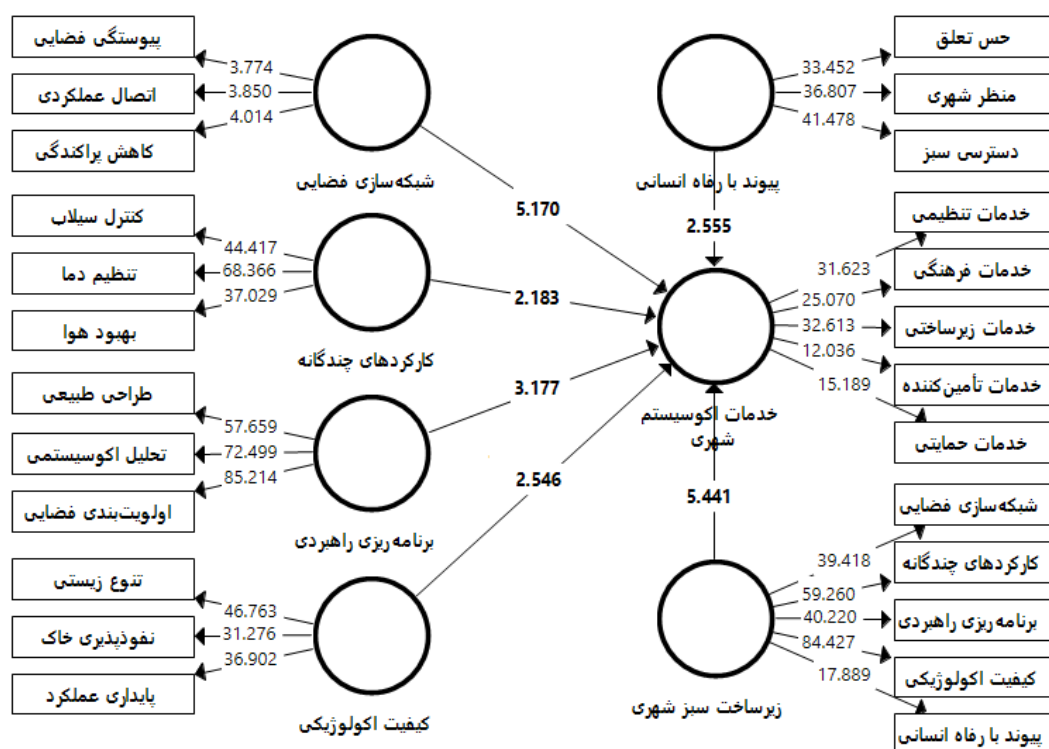
مدل ساختاری: نتایج مدل ساختاری برای متغیر خدمات اکوسیستم شهری نشان می‌دهد که معیار GoF برابر با ۰/۵۳۴ است که از حداقل استاندارد ۰/۳۶ فراتر رفته و نشان‌دهنده برازش کلی قوی و قابل قبول مدل است. مقدار VIF معادل ۱/۹۴ است که کمتر از آستانه مجاز ۵ بوده و بیانگر عدم وجود هم‌خطی شدید میان متغیرهای مستقل و قابل اعتماد بودن برآورد ضرایب می‌باشد. همچنین، مقدار R^2 برابر با ۰/۴۸۶ نشان می‌دهد متغیرهای مستقل توان بالایی در تبیین واریانس متغیر وابسته دارند. در نهایت، مقدار Q^2 برابر با ۰/۵۸۶ قدرت پیش‌بینی مطلوب مدل را تأیید می‌کند (جدول ۵). همچنین بر اساس نتایج جدول (۶)، کلیه مسیرهای اثرگذاری زیرساخت سبز بر خدمات اکوسیستم شهری در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنادار و تأیید شده‌اند. ضریب معنادار شبکه‌سازی فضایی برابر با ۵/۱۷۰ و سطح معنادار آن ۰/۰۰۱، کارکردهای چندگانه ضریب معنادار ۲/۱۸۳ و سطح معنادار ۰/۰۲۹، برنامه‌ریزی راهبردی ضریب معنادار ۳/۱۷۷ و سطح معنادار ۰/۰۰۲، کیفیت اکولوژیکی ضریب معنادار ۲/۵۴۶ و سطح معنادار ۰/۰۰۰، پیوند با رفاه انسانی ضریب معنادار ۲/۵۵۵ و سطح معنادار ۰/۰۱۱ بوده است که نشان‌دهنده تأثیر معنادار و مثبت تمامی این مؤلفه‌ها بر

خدمات اکوسیستم شهری است؛ بنابراین مسیر اثرگذاری زیرساخت سبز بر خدمات اکوسیستم شهری با ضریب معنادار برابر با ۵/۴۴۱ و سطح معنادار آن ۰/۰۰۰ معنادار و تأیید شده است (شکل ۸).

جدول ۶- برآورد نتایج برازش مدل ساختاری (ضریب معنادار t)

نتیجه	سطح معنادار	ضرایب معنادار	ضریب مسیر	مسیر اثرگذاری	
				وابسته	مستقل
تأیید و معنادار	۰/۰۰۱	۵/۱۷۰	۰/۰۰۸	خدمات اکوسیستم شهری	شبکه سازی فضایی
تأیید و معنادار	۰/۰۲۹	۲/۱۸۳	۰/۱۸۴		کارکردهای چندگانه
تأیید و معنادار	۰/۰۰۲	۳/۱۷۷	۰/۲۸۵		برنامه ریزی راهبردی
تأیید و معنادار	۰/۰۰۰	۲/۵۴۶	۰/۰۲۶		کیفیت اکولوژیکی
تأیید و معنادار	۰/۰۱۱	۲/۵۵۵	۰/۱۲۷		پیوند با رفاه انسانی
تأیید و معنادار	۰/۰۰۰	۵/۴۴۱	۰/۳۱۲		زیرساخت سبز شهری

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴



شکل ۷- مدل معادلات ساختاری پژوهش همراه با ضرایب معناداری (آماره t) برای مدل پژوهش

بحث و نتیجه گیری

در سال‌های اخیر، با افزایش چالش‌های زیست‌محیطی ناشی از گسترش بی‌رویه شهرنشینی، مفاهیم زیرساخت سبز و خدمات اکوسیستمی به‌عنوان دو مؤلفه کلیدی در ارتقای پایداری در کانون توجه پژوهش‌های علمی قرار گرفته‌اند. تحلیل روند زمانی مقالات علمی از ۱۹۹۵ تا ۲۰۲۳ نشان می‌دهد که انتشار گزارش جهانی ارزیابی هزاره در سال ۲۰۰۵ نقطه عطفی در افزایش مطالعات این حوزه بوده؛ به‌طوری‌که تعداد مقالات مرتبط با خدمات اکوسیستمی و شهرها از ۳ مورد در سال ۲۰۰۰ به بیش از ۹۰۰ مورد در سال ۲۰۲۴ رسیده و حوزه زیرساخت سبز نیز مسیر مشابهی را طی کرده است. این رشد بیانگر شکل‌گیری رویکردهای تلفیقی و میان‌رشته‌ای میان زیرساخت سبز و خدمات اکوسیستمی در بستر مسائل شهری است که پس از سال ۲۰۱۰ تقویت شده. نتایج تحلیل هم‌نویسندگی کشورها نشان می‌دهد ایالات متحده، آلمان و بریتانیا بیشترین نقش را در تولید و همکاری‌های علمی

داشته‌اند، در حالی که کشورهای نظیر چین با وجود تولید علمی بالا، مشارکت بین‌المللی کمتری را تجربه کرده‌اند. همچنین، تحلیل هم‌رخدادی واژگان کلیدی نشان می‌دهد کلیدواژه‌هایی چون خدمات اکوسیستم، فضای سبز و سیاست شهری در هر سه حوزه مورد بررسی، بیشترین تکرار و پیوند مفهومی را داشته‌اند؛ درحالی که موضوعاتی مانند تغییر اقلیم و طوفان‌ها عمدتاً در مطالعات زیرساخت سبز پررنگ‌تر بوده‌اند. در عین حال، برخی شکاف‌های مهم نیز در ادبیات پژوهش مشاهده می‌شود، از جمله عدم توجه کافی به انواع کمتر بررسی شده زیرساخت سبز مانند بام‌های سبز، تالاب‌ها و فضاهای ورزشی، و نیز کم‌ارزشی خدمات فرهنگی در مقایسه با سایر خدمات اکوسیستمی. یافته‌ها نشان می‌دهند که باوجود تقویت پیوند مفهومی میان زیرساخت سبز و خدمات اکوسیستمی در مطالعات علمی، همچنان نیاز به تعمیق مفهومی و تعادل بیشتر در پوشش موضوعی برای دستیابی به شناختی جامع‌تر از نقش این مؤلفه‌ها در ارتقای کیفیت زندگی شهری وجود دارد.

تحلیل معادلات ساختاری به منظور ارزیابی نقش زیرساخت‌های سبز بر پایداری خدمات اکوسیستم شهری در کلان‌شهر تهران نشان داد که تمامی مسیرهای اثرگذاری با سطح اطمینان ۹۵ درصد معنادار هستند. نتایج نشان می‌دهد که شبکه‌سازی فضایی به‌طور معناداری در تقویت خدمات اکوسیستم شهری نقش داشته و این یافته با نتایج مطالعات رونکی و همکاران (۲۰۲۰)، و لو و همکاران (۲۰۲۵)، که بر اهمیت انسجام فضایی و تصمیم‌گیری یکپارچه در ارتقای عملکرد اکوسیستمی شهرها تأکید کرده‌اند، هم‌راستاست. همچنین، مشخص شد که کارکردهای چندگانه زیرساخت‌های سبز نقش مؤثری در بهبود کیفیت خدمات اکوسیستمی دارند؛ نتیجه‌ای که با پژوهش‌های چین و هال (۲۰۲۲) و کالدرون-کنتراس (۲۰۱۷)، که به تنوع عملکردی و ظرفیت خدمات چندمنظوره زیرساخت‌های سبز اشاره داشته‌اند، مطابقت دارد. در ادامه، تأثیر مثبت برنامه‌ریزی راهبردی نیز تأیید شد که نشان می‌دهد طراحی هدفمند و طبقه‌بندی شده زیرساخت‌های سبز می‌تواند پایداری خدمات را افزایش دهد؛ امری که در مطالعات مورپورگو و همکاران (۲۰۲۳) و لوردس و همکاران (۲۰۲۲)، نیز به آن پرداخته شده است. کیفیت اکولوژیکی نیز با تأثیر معنادار خود، بیانگر نقش مثبت عناصر اکولوژیکی زیرساخت سبز در حفظ و ارتقاء خدمات زیست‌محیطی بود، موضوعی که در پژوهش‌های ایزولا و همکاران (۲۰۲۴) و سوکولوا (۲۰۲۴)، مورد تأکید قرار گرفته است. همچنین، پیوند مؤلفه‌های زیرساخت سبز با رفاه انسانی، از جمله ارتقای کیفیت زندگی، هویت مکانی و خدمات فرهنگی، نیز معنادار گزارش شد و این یافته با نتایج بالدساری و همکاران (۲۰۲۵)، چنگ و همکاران (۲۰۲۱) و کوتس (۲۰۱۵)، هم‌جهت است. در مجموع، مسیر کلی تأثیر زیرساخت سبز بر خدمات اکوسیستم شهری به‌طور معنادار و مثبت تأیید شده و نتایج به‌دست‌آمده با طیف گسترده‌ای از مطالعات بین‌المللی هم‌خوان است؛ یافته‌هایی که بر نقش بنیادین زیرساخت‌های سبز در تقویت پایداری، تنوع عملکردی و بهبود کیفیت زندگی در بستر شهری تأکید دارند.

نتیجه‌گیری نهایی بیانگر آن است که زیرساخت‌های سبز با بهره‌گیری از مؤلفه‌های متنوعی مانند شبکه‌سازی فضایی، کارکردهای چندگانه، برنامه‌ریزی راهبردی، کیفیت اکولوژیکی و پیوند با رفاه انسانی، به‌طور معناداری خدمات اکوسیستم شهری را در کلان‌شهر تهران پایداری می‌بخشند و این نقش تأثیرگذار باید در سیاست‌گذاری‌های شهری مدنظر قرار گیرد. پیشنهاد می‌شود شهرداری‌ها و نهادهای تصمیم‌گیر، ضمن توسعه و تقویت زیرساخت‌های سبز، به‌ویژه در حوزه‌هایی که کمتر مورد توجه بوده‌اند مانند بام‌های سبز، تالاب‌ها و فضاهای ورزشی، اقدام به تدوین برنامه‌های راهبردی جامع نمایند که این مؤلفه‌ها را به صورت تلفیقی و میان‌رشته‌ای در فرآیندهای مدیریت شهری بگنجانند. همچنین ارتقای آگاهی عمومی درباره خدمات فرهنگی و اجتماعی زیرساخت سبز می‌تواند به افزایش پذیرش و مشارکت شهروندان کمک کند. از محدودیت‌های پژوهش می‌توان به محدود بودن نمونه مورد مطالعه به یک کلان‌شهر و اتکا به داده‌های مقطعی اشاره کرد که قابلیت تعمیم نتایج به سایر شهرها و شرایط زمانی متفاوت را محدود می‌سازد. برای پژوهش‌های آتی توصیه می‌شود تحلیل‌های مقطعی و طولی در چند کلان‌شهر با رویکردهای مقایسه‌ای صورت گیرد و به بررسی دقیق‌تر خدمات فرهنگی و اجتماعی زیرساخت سبز و نقش فناوری‌های نوین در بهبود عملکرد این زیرساخت‌ها پرداخته شود تا شناخت جامع‌تر و عملیاتی‌تری از این حوزه حاصل گردد.

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

در مطالعه حاضر فرم‌های رضایت نامه آگاهانه توسط تمامی آزمودنی‌ها تکمیل شد.

حامی مالی

هزینه‌های مطالعه حاضر توسط نویسندگان تامین شد.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است.

منابع

- Aghaloo, K., & Sharifi, A. (2025). Balancing priorities for a sustainable future in cities: Land use change and urban ecosystem service dynamics. *Journal of Environmental Management*, 382, 125460. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.125460>.
- Alavi, S. A., Esfandi, S., Khavarian-Garmsir, A. R., Tayebi, S., Shamsipour, A., & Sharifi, A. (2024). Assessing the connectivity of urban green spaces for enhanced environmental justice and ecosystem service flow: A study of Tehran using graph theory and least-cost analysis. *Urban Science*, 8(1), Article 14. <https://doi.org/10.3390/urbansci8010014>.
- Amorim, J. H., Engardt, M., Johansson, C., Ribeiro, I., & Sannebro, M. (2021). Regulating and cultural ecosystem services of urban green infrastructure in the Nordic countries: A systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(3), 1219. <https://doi.org/10.3390/ijerph18031219>.
- Arsanjani, J. J., Wolfgang, K., & Mousivand, A. J. (2011). Tracking dynamic land-use change using spatially explicit Markov chain based on cellular automata: The case of Tehran. *International Journal of Image and Data Fusion*, 2(4), 329–345. <https://doi.org/10.1080/19479832.2011.605397>.
- Badakhshan, B., Sharifi, A., & Karami, T. (2025). Is life green on the other half? Linking urban green infrastructure to socio-economic inequality and spatial segregation in Tehran, Iran. *Applied Geography*, 103562. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2025.103562>.
- Baldessari, S., De Meo, I., Cantiani, M. G., & Paletto, A. (2025). Social relevance of ecosystem services provided by urban green infrastructures: A mixed qualitative–quantitative case study approach. *Land*, 14(2), 230. <https://doi.org/10.3390/land14020230>.
- Bi, J., Lu, M., Liu, F., Cai, Y., Wang, Y., Duan, M., Li, J., Li, X., & Yu, D. (2025). Multi-scale urban ecosystem service changes and their impact mechanisms on human well-being. *Journal of Environmental Management*, 374, 124117. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.124117>.
- Bozkurt, Y., Rossmann, A., Pervez, Z., & Ramzan, N. (2025). Assessing data governance models for smart cities: Benchmarking data governance models on the basis of European urban requirements. *Sustainable Cities and Society*, 130, 106528. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2025.106528>.

- Calderón-Contreras, R., & Quiroz-Rosas, L. E. (2017). Analysing scale, quality and diversity of green infrastructure and the provision of urban ecosystem services: A case from Mexico City. *Ecosystem Services*, 23, 127–137. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.12.004>.
- Chaplin-Kramer, R., Sharp, R. P., Weil, C., Bennett, E. M., Pascual, U., Arkema, K. K., ... Daily, G. C. (2019). Global modeling of nature's contributions to people. *Science*, 366, 255–258. <https://doi.org/10.1126/science.aaw3372>
- Chapman, C., & Hall, J. W. (2022). Designing green infrastructure and sustainable drainage systems in urban development to achieve multiple ecosystem benefits. *Sustainable Cities and Society*, 85, 104078. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104078>.
- Chen, M., Lin, G., Zhou, W., & Chen, C. (2025). Deciphering the impact mechanisms of cultural ecosystem benefits in urban green spaces: A site-scale analysis integrating environmental perceived characteristics and usage patterns. *Ecological Indicators*, 178, 113829. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2025.113829>.
- Cheng, X., Van Damme, S., & Uyttenhove, P. (2021). A review of empirical studies of cultural ecosystem services in urban green infrastructure. *Journal of Environmental Management*, 293, 112895. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112895>.
- Coutts, C., & Hahn, M. (2015). Green infrastructure, ecosystem services, and human health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(8), 9768–9798. <https://doi.org/10.3390/ijerph120809768>.
- Di Marino, M., Tiitu, M., Lapintie, K., Viinikka, A., & Kopperoinen, L. (2019). Integrating green infrastructure and ecosystem services in land use planning: Results from two Finnish case studies. *Land Use Policy*, 82, 643–656. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.01.007>.
- Dushkova, D., Ignatieva, M., Konstantinova, A., Nilon, C., & Müller, N. (2024). Urban biodiversity and design in time of (post)pandemics: Research perspectives from URBIO international network. *Urban Ecosystems*, 27(5), 1767–1779. <https://doi.org/10.1007/s11252-024-01547-9>.
- Engemann, K., Breed, C., Brom, P., & Pasgaard, M. (2024). Transdisciplinary approaches assessing unmanaged urban green spaces reveal benefits for biodiversity and people. *Socio-Ecological Practice Research*, 6(2), 155–175. <https://doi.org/10.1007/s42532-024-00184>.
- European Commission. (2024). *Green infrastructure*. https://environment.ec.europa.eu/topics/nature-and-biodiversity/green-infrastructure_en.
- Fagerholm, N., Tanhuanpää, T., Hasanzadeh, K., Kajosaari, A., Rinne, T., Holpainen, M., & Kyttä, M. (2025). Urban green infrastructure and recreational patterns: A 3D geospatial data analysis. *Urban Forestry & Urban Greening*, 112, 128892. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2025.128892>
- Fang, X., Li, J., Ma, Q., 2023. Integrating green infrastructure, ecosystem services and nature-based solutions for urban sustainability: a comprehensive literature review. *Sustain. Cities Soc.* 98. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104843>.
- García, A. M., Santé, I., Loureiro, X., & Miranda, D. (2020). Green infrastructure spatial planning considering ecosystem services assessment and trade-off analysis: Application at

- landscape scale in Galicia region (NW Spain). *Ecosystem Services*, 43, 101115. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101115>.
- Harischian, M., Mahmoudzadeh, H., & Ghorbani, R. (2023). Investigating the effect of urban green infrastructure cooling ecosystem service on reducing environmental heat load and energy efficiency in the metropolis of Tabriz. *Geographical Urban Planning Research*, 11(4), 20–175. <https://doi.org/10.22059/jurbangeo.2024.363482.1850>. (In Persian).
- Hasan, S. S., Zhen, L., Miah, M. G., Ahamed, T., & Samie, A. (2020). Impact of land use change on ecosystem services: A review. *Environment and Development*, 34, 100527. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2020.100527>.
- Isola, F., Lai, S., Leone, F., & Zoppi, C. (2024). Urban green infrastructure and ecosystem service supply: A study concerning the functional urban area of Cagliari, Italy. *Sustainability*, 16(19), 8628. <https://doi.org/10.3390/su16198628>
- Jato-Espino, D., Capra-Ribeiro, F., Moscardó, V., Bartolomé del Pino, L. E., Mayor-Vitoria, F., Gallardo, L. O., Carracedo, P., & Dietrich, K. (2023). A systematic review on the ecosystem services provided by green infrastructure. *Urban Forestry & Urban Greening*, 86, 127998. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.127998>.
- Koh, C., Kondo, M. C., Rollins, H., & Bilal, U. (2022). Socioeconomic Disparities in Hypertension by Levels of Green Space Availability: A Cross-Sectional Study in Philadelphia, PA. *International journal of environmental research and public health*, 19(4), 2037. <https://doi.org/10.3390/ijerph19042037>.
- Krajter Ostoić, S., Vuletić, D., & Kičić, M. (2024). Exploring the negative perceptions of tree-based urban green space: People's behaviour and management are crucial. *Urban Forestry & Urban Greening*, 101, 128539. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2024.128539>.
- Lechner, A. M., Gomes, R. L., Rodrigues, L., Ashfold, M. J., Selvam, S. B., Wong, E. P., ... Gibbins, C. (2020). Challenges and considerations of applying Nature-based Solutions in low- and middle-income countries in Southeast and East Asia. *Blue-Green Systems*, 2(1), 331–351. <https://doi.org/10.2166/bgs.2020.014>.
- Liberalesso, T., Oliveira Cruz, C., Matos Silva, C., & Manso, M. (2020). Green infrastructure and public policies: An international review of green roofs and green walls incentives. *Land Use Policy*, 96, Article 104693. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104693>.
- Lourdes, K. T., Hamel, P., Gibbins, C. N., Sanusi, R., Azhar, B., & Lechner, A. M. (2022). Planning for green infrastructure using multiple urban ecosystem service models and multicriteria analysis. *Landscape and Urban Planning*, 226, 104500. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2022.104500>.
- Lu, G., Zhang, G., Liu, K., Cheng, Z., & Liu, H. (2025). Decision-making framework for green infrastructure practices based on the quantification of ecosystem services supply-flow-demand: A review. *Journal of Environmental Management*, 389, 126163. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.126163>.
- Ma, Q., Li, Y., & Xu, L. (2021). Identification of green infrastructure networks based on ecosystem services in a rapidly urbanizing area. *Journal of Cleaner Production*, 300, 126945. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126945>.

- Meerow, S., & Newell, J. P. (2019). Urban resilience for whom, what, when, where, and why? *Urban Geography*, 40(3). <https://doi.org/10.1080/02723638.2016.1206395>.
- Morpurgo, J., Remme, R. P., & Van Bodegom, P. M. (2023). CUGIC: The Consolidated Urban Green Infrastructure Classification for assessing ecosystem services and biodiversity. *Landscape and Urban Planning*, 234, 104726. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2023.104726>.
- Remme, R. P., Meacham, M., Pellowe, K. E., Andersson, E., Guerry, A. D., Janke, B., Liu, L., Lonsdorf, E., Li, M., Mao, Y., Nootenboom, C., Wu, T., & van Oudenhoven, A. P. E. (2024). Aligning nature-based solutions with ecosystem services in the urban century. *Ecosystem Services*, 66, 101610. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2024.101610>.
- Ronchi, S., Arcidiacono, A., & Pogliani, L. (2020). Integrating green infrastructure into spatial planning regulations to improve the performance of urban ecosystems: Insights from an Italian case study. *Sustainable Cities and Society*, 53, 101907. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101907>.
- Sarmadi, H., Salehi, E., & Kusari, N. (2021). The mega city of Tehran water quantity assessment based on DPSIR model. *Journal of Physics: Conference Series*, 1834(1), 012007. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1834/1/012007>.
- Sokolova, M. V., Fath, B. D., Grande, U., Buonocore, E., & Franzese, P. P. (2024). The role of green infrastructure in providing urban ecosystem services: Insights from a bibliometric perspective. *Land*, 13(10), 1664. <https://doi.org/10.3390/land13101664>.
- Su, P., Yan, Y., Li, H., Wu, H., Liu, C., & Huang, W. (2025). Images and deep learning in human and urban infrastructure interactions pertinent to sustainable urban studies: Review and perspective. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 136, 104352. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2024.104352>.
- Sun, S., Jiang, Y., & Zheng, S. (2020). Research on ecological infrastructure from 1990 to 2018: A bibliometric analysis. *Sustainability*, 12(6). <https://doi.org/10.3390/su12062304>.
- United Nations. (2023). World Population Prospects 2019: Highlights. United Nations. <http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/igo/>.
- Vallecillo, S., Polce, C., Barbosa, A., Perpiñá Castillo, C., Vandecasteele, I., Rusch, G. M., & Maes, J. (2018). Spatial alternatives for green infrastructure planning across the EU: An ecosystem service perspective. *Landscape and Urban Planning*, 174, 41–54. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.03.001>
- Vierikko, K., & Niemelä, J. (2016). Bottom-up thinking—Identifying socio-cultural values of ecosystem services in local blue–green infrastructure planning in Helsinki, Finland. *Land Use Policy*, 50, 537–547. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.09.031>
- Wang, J., Li, Y., Wang, S., Li, Q., Li, L., & Liu, X. (2023). Assessment of multiple ecosystem services and ecological security pattern in Shanxi Province, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(6), 4819. <https://doi.org/10.3390/ijerph20064819>.

- Wang, Y., Sun, J., Liu, C., & Liu, L. (2024). Exploring the nexus between perceived ecosystem services and well-being of rural residents in a mountainous area, China. *Applied Geography*, 164, 103215. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2024.103215>.
- Washbourne, C. L. (2022). Environmental policy narratives and urban green infrastructure: Reflections from five major cities in South Africa and the UK. *Environmental Science & Policy*, 129, 96–106. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.12.016>.
- Xu, Z., & Peng, J. (2024). Recognizing ecosystem service's contribution to SDGs: Ecological foundation of sustainable development. *Geography and Sustainability*, 5(4), 511–525. <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2024.05.001>.
- Yang, J., Yuan, M., Yang, S., Zhang, D., Wang, Y., Song, D., Dai, Y., Gao, Y., & Gong, J. (2023). Spatial diffusion waves of human activities: Evidence from harmonized nighttime light data during 1992–2018 in 234 cities of China. *Remote Sensing*, 15(5), 1426. <https://doi.org/10.3390/rs15051426>.
- Zhang, Z., Shen, Z., Liu, L., Zhang, Y., Yu, C., Cui, L., Gao, Y., 2023. Integrating ecosystem services conservation into the optimization of urban planning policies in eco-fragile areas: a scenario-based case study. *Cities* 134. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2023.104200>.
- Zhou, X., Wanghe, K., Jiang, H., Ahmad, S., & Zhang, D. (2024). Construction of green infrastructure networks based on the temporal and spatial variation characteristics of multiple ecosystem services in a city on the Tibetan Plateau: A case study in Xining, China. *Ecological Indicators*, 163, 112139. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112139>.