



## Analysis of Ecosystem Service Valuation in the Process of Rapid Urban Growth: A Case study of Tehran Metropolis

Ahmad Hatami<sup>1</sup>, Hossein Mansourian<sup>2</sup>, Hossein Hataminejad<sup>3</sup>, Ahmad Pourahmad<sup>4</sup>

1. Department of Human Geography and Planning, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran

Email: [ahmad.hatami@ut.ac.ir](mailto:ahmad.hatami@ut.ac.ir)

2. (Corresponding Author) Department of Human Geography and Planning, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran

Email: [h.mansourian59@ut.ac.ir](mailto:h.mansourian59@ut.ac.ir)

3. Department of Human Geography and Planning, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran

Email: [hataminejad@ut.ac.ir](mailto:hataminejad@ut.ac.ir)

3. Department of Human Geography and Planning, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran

Email: [apoura@ut.ac.ir](mailto:apoura@ut.ac.ir)

### Article Info

Article type:  
Research Article

Article History:

Received:

26 December 2025

Received in revised form:

4 March 2026

Accepted:

28 March 2026

Available online:

10 May 2026

Keywords:

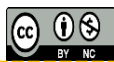
City Physical Growth,  
Evaluation of Ecosystem  
Services, Land Use  
Changes, Remote Sensing  
Analysis, Tehran  
Metropolis.

### ABSTRACT

The rapid physical growth of Tehran metropolis over the past decades has made extensive changes in land use and had significant consequences on the value of urban ecosystem services. This study employs descriptive-analytical method to analyze the physical growth of Tehran and evaluate its impacts on the value of ecosystem services. The data used include images of Multispectral Scanner System (MSS), Landsat thematic mapper (TM) and Operational Land Imager (OLI) sensors in 1972, 1986, 2005, and 2024, which were classified in ENVI software after radiometric and atmospheric correction. The reference control points acquired from Google Earth were utilized to validate the classification results, and the error matrix and kappa index were calculated, which indicated the classification's high accuracy. Then, using the Castanza valuation model, the value of ecosystem services was calculated at each time period based on global coefficients (dollar per hectare per year). The results demonstrate that the physical growth of the city has increased from 14559 hectares in 1972 to more than 68645 hectares in 2024; This amount of physical growth has led to a substantial reduction in agricultural uses, pastures, and orchards, a total of \$ 266 million of the net worth of ecosystem services. The largest decline was related to support, regulatory, and supplier services such as soil conservation, biodiversity, food production, and climate regulation. In contrast, the restricted increase in urban green infrastructure has not been able to compensate lost natural performance. These findings indicate that Tehran is on the path of instability due to the loss of natural capital and ecological functions.

**Cite this article:** Hatami, A., Mansourian, H., Hataminejad, H., & Pourahmad, A. (2026). Analysis of Ecosystem Service Valuation in the Process of Rapid Urban Growth: A Case study of Tehran Metropolis. *Geographical Urban Planning Research Quarterly*, 14 (1), 39-60.

<http://doi.org/10.22059/jurbangeo.2026.399927.2086>



© The Author (s)

Publisher: University of Tehran Press

## Extended Abstract

### Introduction

Urbanization is one of the most imperative transformational trends of the 21st century, which, beyond rural-urban migration, fundamentally has changed lifestyle, economic structures, and land use patterns. This phenomenon not only upsurges the concentration of population, but also with the physical expansion of cities, affects natural systems and changes the ecological structure of the land. The gradual destruction of urban ecosystem services is a key consequence of urbanization. Ecosystem services, as tangible or intangible benefits of ecological functions, shape the backbone of urban sustainability and health. These services include food supply, temperature regulation, runoff reduction, air refining, carbon storage, biodiversity support, and the cultural and psychological values of natural spaces. Numerous studies have warned that urban development, regardless of these services, has consequences such as heat islands, increased floods, reduced air quality, and decline in the mental health of residents.

Urban ecosystem services can be evaluated in four dimensions: economic, regulatory-environmental, socio-cultural, and urban resilience. Ignoring these dimensions, particularly in developing countries, has led to spatial instability; Therefore, the integration of multiple values of ecosystem services is an inevitable necessity in urban planning. In Iran, despite the rapid growth of urbanization, the concept of urban ecosystem services has not been seriously considered in spatial policies and urban plans. The development of cities is mainly based on physical and functional indicators, and the lack of ecological analysis and valuation of ecosystem services is absolutely obvious. During the last half century, the metropolis of Tehran has witnessed widespread physical growth and severe land use changes, which has been accompanied by the removal of large parts of agricultural land, gardens, and natural open spaces. Tehran's urban area, as the epicenter of political, economic, industrial, and demographics of Iran, has suffered rapid and extensive changes in its spatial, physical, and environmental structure in recent decades. This city, which has over 16 million population and makes up about 20% of Iran's population, has become one of the most complex metropolitan areas in the Middle East following the campaigns of urban modernization, land reform, rising oil revenues, rapid growth of industry and infrastructure. The region's share of Iran's GDP is over 25% and the value of its industrial production is close to 23%, which indicates a very high concentration of economic, administrative, and service activities. Nevertheless, unruly physical growth, the sporadic expansion of formal and informal settlements, drastic changes in land use, and the destruction of natural resources have had serious environmental consequences. The hysterical development of the city, regardless of available natural capacity, is not only a threat to environmental sustainability, but also reduces vital services such as urban temperature regulation, runoff control, and the quality of life. Accordingly, the purpose is to analyze the impacts of physical growth in Tehran on the value of urban ecosystem services and provide solutions to reform this trend in order to bolster sustainability and ecological rehabilitation.

### Methodology

This applied research adopts a descriptive-analytical approach and a combination of remote sensing techniques and spatial analysis. Landsat satellite images of MSS, TM and OLI sensors were employed for the years 1972, 1986, 2005, and 2024. The pre-processing of images including radiometric and atmospheric corrections executed in ENVI software and then with the supervised classification algorithm, seven land use categories were extracted. The basis for determining land use classes in the study area has been a set of scientific and applied factors. The selection of classes was completed according to the purpose of the research, resolution and spectral characteristics of satellite images, classification structures presented in valid domestic and international studies, as well as utilizing the specialized perspective of professors and experts in the field of remote sensing and urban planning. The accuracy assessment using the Kappa coefficient indicates values above 0.84 in all time periods, which demonstrates a high classification reliability. Ecosystem services were evaluated based on the Castanza model and global value coefficients for each user class. An integrated approach has been adopted in the

process of valuing ecosystem services, based on a systematic review of credible international sources.

For this purpose, data obtained from reference studies such as De Grot, Castanza et al., as well as the results of 13 other selected studies were collected and analyzed that have directly addressed the economic evaluation of ecosystem services. In each case, the lowest and highest estimated value was extracted for each user class and each type of ecosystem service (in dollars per hectare per year). Then, by calculating the average of this price range, the normalized amount was determined as the base coefficient of the value of ecosystem services, which was founded on the calculation of the total value of services in the region. This approach, while considering the heterogeneities in valuation methods in different sources, has made it possible to have a coherent, realistic, and comparable evaluation of ecosystem services in the urban area. Sensitivity analysis was also utilized with three pessimistic, basic, and optimistic scenarios and linear regression modeling employed to investigate the relationship between the physical growth of the city and the value of ecosystem services.

### Results and Discussion

The results indicate that Tehran, during the period of 1972 to 2024, has experienced unprecedented physical growth leading to a fundamental change in the land use structure and consequently the weakening of ecosystem services. The urban area of Tehran has increased from 14559 hectares in 1972 to 68645 hectares in 2024, which is equivalent to a net growth of 54086 hectares. In contrast, agricultural lands, orchards, and pastures have been totally reduced more than 55,000 hectares. From the ecological point of view, a fundamental change undergone in the spatial structure of the urban landscape. The share of urban land has amplified from 6.65% in 1972 to 34.31% in 2024 (increase more than 24%), which indicates the explosive growth of artificial development and the compression of man-made fabrics in the natural bed.

This profound change in the structure of the landscape has led to a net reduction of \$266 million in the value of ecosystem services. In 1972, the total value of ecosystem services was about \$ 804 million, most of which belonged to agricultural uses (approximately \$303 million) and pastures (\$266 million). Such a huge number demonstrates that in the 1970s, the natural-agricultural composition of urban and peripheral lands played a pivotal role in providing ecological services such as water regulation, food production, biodiversity preservation, and climatic balance. In the beginning of 1986, despite the relative preservation of the share of natural uses, a significant reduction detected in the value of pastures (about 10%). In 2006, the trend of devaluation of ecosystems intensified, the value of pastures diminished to about \$176 million compared to 1972, and the value of agriculture reached \$224 million. The obtained value of services from orchards is \$67 million. The reduction, which indicates the destruction of garden lands and the replacement of them with urban development and growth, data from 2024 clearly illustrate the extensive and continuous impact of urbanization on the ecological structure of the region. The value of pastures has decreased to about \$95 million and agriculture to \$187 million, which indicates a decrease of 60% compared to 1972. In contrast, the value of urban green infrastructure has risen to about \$141 million, possibly due to the development of parks, green belts, and new environmental policies at the urban management level.

The key point is that while green infrastructure plays a significant role in improving the quality of life of citizens, they are not a perfect alternative to natural ecosystems from an ecological and environmental perspective. Services such as material cycles, soil conservation, flood control, and carbon storage can only be provided through pasture, forest, and sustainable agriculture. In general, the value of ecosystem services from \$804 million in 1972 reached \$538 million, which shows a reduction of \$266 million. The sensitivity analysis, to augment the validity of the results, accomplished with three scenarios of pessimistic (-25%), basic (0%), and optimistic (+25%) on global Castanza coefficients. The results exhibited the net decline regarding the value of ecosystem services in the pessimistic scenario is about \$199 million and in the optimistic scenario more than \$325 million. Despite the numerical differences, in all three scenarios, the trend of sharp decline is confirmed in the value of ecosystem services due to physical growth in Tehran, which indicates the validity and stability of the research results. To

calculate the net reduction of service value, the sum of the decreasing values deducted from the added values.

According to the five types of land use (agriculture, gardens, pastures, green infrastructure, water resources), the first three types recorded a significant decline and the second two types had a relative increase. The total devaluation estimated \$289,072,484 and the total increase was \$24,677,244; Therefore, the net loss is estimated at \$266/395 indicating a widespread erosion of ecosystem services in Tehran. The biggest decline, in terms of service type, occurred in the area of support and regulatory services: "Habitat" (reduction more than \$45.9 million), "Genetic Resources" (more than \$65 million), "Climate Regulation" (more than \$9.3 million). "Waste Refining" (more than \$12.2 million), "Erosion Control" (more than \$2.3 million), and "Soil Formation" (more than \$11 million). In the realm of supplier services, "food Production" (more than \$96 million) and "water Supply" (more than \$9.6 million) fell sharply, warning of the threat of food security and growing dependence on external resources.

The development of green infrastructure and water resources, although it has created a limited rise in services such as "recreation" (about \$4 million), "water Regulation", and "pollination", but these increases are insignificant and unrestrained compared to the damage to habitats and food resources. They do not compensate for the ecological performance of the lost natural uses. In this regard, the rapid urbanization of Tehran through severe land reduction with ecological performance and replacement with artificial structures, has reduced viability, weakened resilience to climate change, water shortage and biological stress, and erosion of ecosystem services. A review of land use policies, purposeful development of continuous green infrastructure, and revitalization of ecosystem service functions should be at the heart of future urban planning strategies. Linear regression analysis indicates that the coefficient of determination is equal to 0.812, which means that more than 81% of the changes in the devaluation of ecosystem services are explained due to the physical expansion of the city. This finding approves the negative and strong impact of rapid and scattered urban growth on the performance of ecosystem services in Tehran.

## Conclusion

Land use changes to meet the infrastructure requirements of the urban population, especially with inefficient planning, lead to ecosystem degradation, biodiversity reduction, and the weakening of potential ecosystem services. Tehran's physical growth over the past five decades has experienced a rapid, unruly, and lacking ecological perspective. Significant reduction of pastures (64%), agricultural land (more than 50%), and orchards are a sign of systematic destruction of natural resources and a sharp decrease in the capacity of ecosystem services. The total value lost of natural uses (agriculture, pastures, orchards) is estimated at \$289 million, while the added value of green infrastructure and water storages is only \$24.6 million, indicating the inability of artificial infrastructure to compensate for natural functions.

The biggest devaluation was related to regulatory and support services: soil conservation (\$13.1 million), wastewater treatment (\$12.2 million), biodiversity (\$6.5 million), genetic resources (\$65.2 million), and wildlife habitats (45.9 million dollar). Supply services, including food production (\$96.6 million) and water supply (\$9.6 million), reduce food security and put pressure on water resources. Even cultural services such as entertainment have declined. Linear regression analysis showed that the physical growth of the city has a negative and significant effect on the value of ecosystem services (81% explanation of variance).

The loss of these services has increased natural hazards (floods, air pollution, urban warming), declining public health and exacerbating urban instability. The inadequate expansion of green infrastructure and aquatic zones failed to compensate for the functional role of lost natural ecosystems; artificial infrastructure has never been a substitute for complicated and self-regulating processes of nature. In the realm of policy, the results are a serious alarm for the capital's viability. A fundamental revision of planning approaches, moving from physical planning to ecosystem-based planning, rehabilitating destroyed lands, stabilizing continuous green spaces, strengthening green and blue infrastructure, and introducing the economic, cultural, and social dimensions of ecosystem services is essential to decision-making processes. Tehran still has the opportunity to recreate and recover ecologically through commitment of

urban management to integrate ecological knowledge with urban policy and the participation of urban society in the protection and reconstruction of natural capital.

### **Funding**

There is no funding support.

### **Authors' Contribution**

This article is derived from the first author's (Ahmad Hatami) doctoral dissertation. He carried out all stages of the research, including writing the text, data processing, analyses, and extraction of results. Dr. Hossein Mansourian (primary supervisor) contributed to developing the conceptual model, refining the problem statement and article texts, as well as the remote sensing process and map production. Dr. Hossein Hataminejad (secondary supervisor) and Dr. Ahmad Pourahmad (advisor) played roles in scientific guidance, overseeing the research process, and the final review of the article.

### **Conflict of Interest**

Authors declared no conflict of interest.

### **Acknowledgments**

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

### تحلیل ارزش‌گذاری خدمات اکوسیستم در فرایند رشد شتابان شهری مطالعه موردی: کلان‌شهر تهران\*

احمد حاتمی<sup>۱</sup>، حسین منصوریان<sup>۲</sup>، حسین حاتمی نژاد<sup>۳</sup>، احمد پورا احمد<sup>۴</sup>

۱- گروه جغرافیای انسانی و برنامه‌ریزی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: [ahmad.hatami@ut.ac.ir](mailto:ahmad.hatami@ut.ac.ir)

۲- نویسنده مسئول، گروه جغرافیای انسانی و برنامه‌ریزی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: [h.mansourian59@ut.ac.ir](mailto:h.mansourian59@ut.ac.ir)

۳- گروه جغرافیای انسانی و برنامه‌ریزی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: [hataminejad@ut.ac.ir](mailto:hataminejad@ut.ac.ir)

۴- گروه جغرافیای انسانی و برنامه‌ریزی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: [apoura@ut.ac.ir](mailto:apoura@ut.ac.ir)

#### چکیده

#### اطلاعات مقاله

رشد فیزیکی شتابان کلان‌شهر تهران طی دهه‌های گذشته، تغییرات گسترده‌ای در کاربری اراضی ایجاد کرده و پیامدهای قابل‌توجهی بر ارزش خدمات اکوسیستم شهری داشته است. پژوهش حاضر با هدف تحلیل روند رشد فیزیکی شهر تهران و ارزیابی اثرات آن بر ارزش خدمات اکوسیستم، از روش توصیفی-تحلیلی بهره گرفته است. داده‌های مورد استفاده شامل تصاویر سنجنده‌های TM، MSS و OLI ماهواره لندست در سال‌های ۱۳۵۰، ۱۳۶۵، ۱۳۸۵ و ۱۴۰۳ است که پس از تصحیح رادیومتریک و اتمسفریک در نرم‌افزار ENVI طبقه‌بندی شدند. برای اعتبارسنجی نتایج طبقه‌بندی از نقاط کنترل مرجع برداشت شده از Google Earth استفاده شد و ماتریس خطا و شاخص کاپا محاسبه گردید که مقادیر دقت بالای طبقه‌بندی را نشان دادند. سپس با استفاده از مدل ارزش‌گذاری کاستانزا، ارزش خدمات اکوسیستم در هر مقطع زمانی بر اساس ضرایب جهانی (دلار بر هکتار در سال) محاسبه شد. نتایج نشان داد که رشد فیزیکی شهر از ۱۴۵۵۹ هکتار در سال ۱۳۵۰ به بیش از ۶۸۶۴۵ هکتار در سال ۱۴۰۳ رسیده است؛ این میزان رشد فیزیکی منجر به کاهش چشمگیر کاربری‌های کشاورزی، مراتع و باغات شده که در مجموع، ۲۶۶ میلیون دلار از ارزش خالص خدمات اکوسیستم کاهش یافته است. بیشترین افت، مربوط به خدمات پشتیبان، تنظیمی و تأمین‌کننده نظیر حفظ خاک، تنوع زیستی، تولید غذا و تنظیم اقلیم بوده است. در مقابل، افزایش محدود زیرساخت‌های سبز شهری توان جبران عملکردهای طبیعی ازدست‌رفته را نداشته است. این یافته‌ها نشان می‌دهد که شهر تهران با از دست دادن سرمایه‌های طبیعی و عملکردهای اکولوژیکی در مسیر ناپایداری قرار گرفته است.

نوع مقاله:  
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:

۱۴۰۴/۱۰/۰۵

تاریخ بازنگری:

۱۴۰۴/۱۲/۱۳

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۵/۰۱/۰۸

تاریخ چاپ:

۱۴۰۵/۰۲/۲۰

واژگان کلیدی:

رشد فیزیکی شهر،  
ارزش‌گذاری خدمات  
اکوسیستم،  
تغییرات  
پوشش/کاربری زمین،  
شهر تهران.

استناد: حاتمی، احمد؛ منصوریان، حسین؛ حاتمی نژاد، حسین و پورا احمد، احمد. (۱۴۰۵). تحلیل ارزش‌گذاری خدمات اکوسیستم در فرایند رشد شتابان شهری مطالعه موردی: کلان‌شهر تهران. *پژوهش‌های جغرافیای برنامه‌ریزی شهری*، ۱۴ (۱)، ۶۰-۳۹.

<http://doi.org/10.22059/jurbangeo.2026.399927.2086>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

© نویسندگان



\*. این مقاله برگرفته از رساله دکتری احمد حاتمی در رشته جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری به راهنمای نویسنده دوم، سوم و چهارم در دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران می‌باشد.

## مقدمه

شهرنشینی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین روندهای دگرگون ساز قرن ۲۱ فراتر از مهاجرت‌های روستا شهری تلقی می‌شود و پدیده‌ای اجتماعی-فضایی است که سبک زندگی، ساختارهای اقتصادی و الگوهای کاربری زمین را به‌طور بنیادین تغییر می‌دهد (United Nations, 2012; Bhatta et al., 2010). شهرنشینی نه‌تنها به افزایش تمرکز جمعیت در مناطق شهری منجر می‌شود؛ بلکه با گسترش کالبدی شهرها، سیستم‌های طبیعی را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد (Cohen, 2009; Deng et al., 2004). این پدیده با گسترش فیزیکی ساخت‌وساز، تغییر کاربری اراضی و تمرکز جمعیتی، ساختار اکولوژیکی سرزمین را دگرگون می‌سازد (Brimoh & Onishi, 2007). در کشورهای جهان سوم و در حال توسعه، شهرنشینی اغلب با رشد سریع و غیرقابل کنترل همراه است؛ فرایندی که در آن برنامه‌ریزی فضایی ناتوان از مدیریت الگوهای گسترش شهری است و غالباً به نابودی منابع طبیعی، بی‌عدالتی فضایی و کاهش زیست‌پذیری شهری منجر می‌شود (Dewan & Yamaguchi, 2009; Deng et al., 2009). این رشد بی‌برنامه، شکل‌گیری الگوهای پراکنده افقی و مصرف‌گرایانه شهری را تشدید کرده و یکی از مهم‌ترین پیامدهای آن، تغییرات شدید کاربری زمین و فشار بر فضاهای سبز و اراضی طبیعی پیرامون شهرهاست (Barron et al., 2013; Yang et al., 2011). در این میان، یکی از مهم‌ترین پیامدهای کمتر مورد توجه این نوع شهرنشینی، تخریب تدریجی خدمات اکوسیستم شهری است. خدمات اکوسیستم به‌عنوان منافع ملموس و ناملموس حاصل از عملکردهای بوم‌شناختی، ستون فقرات پایداری و سلامت شهرها را تشکیل می‌دهند (Pickett et al., 2001). این خدمات شامل تأمین غذا، تنظیم دما، کاهش رواناب، پالایش هوا، ذخیره کربن، حمایت از تنوع زیستی و ارزش‌های فرهنگی و روانی فضاهای طبیعی می‌شوند (Costanza et al., 1997; Willemen et al., 2010). در فضای پیچیده شهری، جایی که فشار بر منابع بالا و فضا محدود است، کیفیت و کمیت این خدمات وابسته به کاربری زمین، پوشش گیاهی و یکپارچگی اکولوژیکی است (Tan et al., 2018). در عین حال، مطالعات زیادی هشدار داده‌اند که توسعه شهری اغلب بدون در نظر گرفتن این خدمات صورت می‌گیرد که پیامد آن، جزایر گرمایی، افزایش سیل، کاهش کیفیت هوا و افت سلامت روانی ساکنان شهری است (Keeler et al., 2019; Raymond et al., 2017; Dorst et al., 2019). رمه و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۲۴) چارچوبی برای پیوند خدمات اکوسیستم با چالش‌های مدیریت شهری ارائه دادند و ماری و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۲۴) نشان دادند اعیان‌سازی شهری می‌تواند خدمات اکوسیستم را افزایش و آسیب‌های زیستی-اجتماعی را کاهش دهد. لودرس<sup>۳</sup> (۲۰۲۳) ظرفیت‌های خدمات اکوسیستم را برای توسعه پایدار در جنوب شرق آسیا شناسایی کرد. اویانگ و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۲۲) سه محدودیت مدل‌های ارزیابی را مشخص و مدل‌های پویا را پیشنهاد دادند، در حالی که لی و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۲۲) مناطق بحرانی شهری را از نظر کاهش سیل، ذخیره کربن و تنش گرمایی شناسایی کردند. مک‌فیرسون و همکاران<sup>۶</sup> (۲۰۲۲) بر یکپارچگی سیستم‌های انسانی، طبیعی و فناورانه در راه‌حل‌های مبتنی بر طبیعت تأکید کردند. زینگ و همکاران<sup>۷</sup> (۲۰۲۱) همبستگی منفی بین رشد شهری و ارزش خدمات اکوسیستم را مستند ساختند و پن و همکاران<sup>۸</sup> (۲۰۲۱) راه‌حل‌های مکان‌محور و طبیعت‌محور را

1. Rameh et al
2. Mari et al
3. Lourdes
4. Ouyang et al
5. Lee et al
6. McPherson et al
7. Xing et al
8. Pan et al

پیشنهاد دادند. تن و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۲۰) سه راهکار یکپارچه‌سازی، کاهش منابع غیرتجدیدپذیر و نوآوری فناورانه را مطرح کردند. شیائو و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۲۰) و وانگ و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۲۰) کاهش سلامت و خدمات اکوسیستم را در اثر رشد بی‌رویه شهری تأیید کردند. یانگ و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۱۹) در منطقه پکن-تیانجین-هبی با وجود کاهش اراضی کشاورزی، افزایش برخی خدمات را در اثر احیای اکولوژیکی گزارش دادند و جیان پنگ و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۱۷) در پکن کاهش آستانه خدمات اکوسیستم را با افزایش شهرنشینی نشان دادند. کاستانزا و همکاران<sup>۶</sup> (۲۰۱۴) ارزش جهانی خدمات اکوسیستم را ۱۲۵ تریلیون دلار برآورد کرده و از کاهش سالانه ۳/۴ تریلیون دلاری هشدار دادند. در نهایت، گومز و بارتون<sup>۷</sup> (۲۰۱۳) چارچوب ارزش‌گذاری چندبعدی را برای بهبود تاب‌آوری و کیفیت زندگی شهری ارائه کردند. در ایران، علیرغم رشد سریع شهرنشینی، مفهوم خدمات اکوسیستم شهری هنوز در سیاست‌گذاری‌های فضایی، طرح‌های شهری و برنامه‌ریزی کالبدی موردتوجه جدی قرار نگرفته است. توسعه شهرها، به‌ویژه کلان‌شهرها، عمدتاً بر پایه شاخص‌های کالبدی و عملکردی انجام‌شده و جای خالی تحلیل‌های اکولوژیکی و ارزش‌گذاری خدمات اکوسیستم در آن مشهود است. هیچ‌گونه چارچوب نهادینه‌شده‌ای برای تلفیق خدمات اکوسیستم در طرح‌های توسعه شهری در ایران وجود ندارد و حتی در سطح آکادمیک نیز مطالعات محدودی به بررسی کمی و فضایی رابطه رشد شهری و عملکرد اکوسیستم پرداخته‌اند. در این میان، کلان‌شهر تهران، به‌عنوان بزرگ‌ترین سکونتگاه شهری ایران، طی نیم‌قرن اخیر شاهد رشد فیزیکی گسترده و تغییرات شدید کاربری زمین بوده است؛ روندی که با حذف بخش‌های وسیعی از اراضی کشاورزی، باغات و فضاهای باز طبیعی همراه بوده و ساختار اکولوژیکی پیرامون شهری را به‌شدت تضعیف کرده است. توسعه بی‌رویه شهر بدون لحاظ ظرفیت‌های طبیعی و عملکردهای بوم‌شناختی، نه‌تنها تهدیدی برای پایداری محیطی محسوب می‌شود؛ بلکه باعث کاهش خدمات حیاتی مانند تنظیم دمای شهری، کنترل رواناب، و کیفیت زیست‌انسان‌ها شده است. با توجه به این خلأ، هدف پژوهش حاضر تحلیل اثرات رشد فیزیکی شهر تهران بر ارزش خدمات اکوسیستم شهری است. این مطالعه تلاش دارد با استفاده از تحلیل‌های سنجش‌ازدوری به این سؤال پاسخ دهد که رشد فیزیکی تهران طی پنج دهه گذشته چه تأثیری بر ظرفیت و ارزش خدمات اکوسیستم شهری داشته است و چگونه می‌توان این روند را در جهت پایداری و باززنده‌سازی اکولوژیکی اصلاح کرد.

## مبانی نظری

### شهرنشینی، الگوهای رشد شهری و ایده خدمات اکوسیستم

شهرنشینی فرآیندی چندبعدی، فراتر از مهاجرت جمعیت، شامل تغییرات رفتاری، ساختاری و فضایی ناشی از زندگی شهری است (United Nations, 2012; Bhatta, 2010) که با تأثیر بر سبک زندگی، اقتصاد و حکمرانی، تحولات بنیادین در کاربری اراضی ایجاد می‌کند (Cohen, 2004; Deng et al., 2009; Li et al., 2013). این پدیده به‌ویژه در کشورهای درحال توسعه، عاملی مؤثر در تغییرات پوشش زمین و گسترش سکونتگاه‌های انسان‌ساخت است (Brammoh, 2007) و اغلب با تخریب تالاب‌ها، جنگل‌ها و اراضی کشاورزی همراه می‌شود (Dewan & Yamaguchi, 2007).

1. Tan et al
2. Xiao et al
3. Wang et al
4. Yang et al
5. Jian Peng et al
6. Costanza et al
7. Gómez-Baggethun

2009). با وجود اینکه تنها ۳ درصد از سطح زمین در تصرف مناطق شهری است، آثار زیست‌محیطی رشد شهری فراتر از مرزهای رسمی شهرها گسترش یافته است (Barron et al., 2013; Yang et al., 2011). الگوی رشد پراکنده شهری با ویژگی‌هایی مانند تراکم پایین، جدایی کاربری‌ها، وابستگی به خودرو و گسترش بیرونی نامحدود (Barnes et al., 2003; Hasse & Lathrop, 2003; Aguilera et al., 2011; 2001)، ضمن افزایش هزینه‌های زیرساختی، موجب ناکارآمدی انرژی، از بین رفتن زمین‌های تولیدی و ناپایداری زیست‌محیطی می‌شود (Zhang et al., 2010; Nelson, 1990; Bhatta, 2010; 2007). در واکنش، مفهوم شهر فشرده با پشتیبانی از حمل‌ونقل عمومی، تراکم بالا، پیاده‌مداری و کاربری‌های ترکیبی، به‌عنوان راهبردی در راستای توسعه پایدار مطرح شده است (Arbury, 2005). در همین زمینه، ایده خدمات اکوسیستم از دهه ۱۹۷۰ ظهور یافت و تعاریف آن تا دهه ۱۹۹۰ توسعه پیدا کرد (Lahon et al., 2023). بر اساس تعریف ارزیابی اکوسیستم هزاره<sup>۱</sup>، خدمات اکوسیستم شامل مزایایی است که انسان از طبیعت برای سلامت و رفاه خود دریافت می‌کند و در چهار طبقه تأمین‌کننده، تنظیم‌کننده، فرهنگی و حمایتی یا زیستگاه طبقه‌بندی می‌شوند (Lahon et al., 2023). طبیعت در شهرها به‌عنوان بستر حیاتی روابط انسان و محیط، زیربنای اصلی تولید خدمات اکوسیستم شهری محسوب می‌شود (Anguelovski et al., 2018a). این مفهوم که از تلاش‌های اولیه معمارانی مانند اولمستد<sup>۲</sup> در قرن نوزدهم ریشه می‌گیرد، امروزه به‌عنوان یکی از ارکان کلیدی در ارتقاء کیفیت زندگی، سلامت عمومی و زیست‌پذیری شهری شناخته می‌شود (Felipe-Lucia et al., 2015; Ramos et al., 2018). خدمات اکوسیستم شهری به منافع ملموس و ناملموس اشاره دارند که از عملکرد اکولوژیکی فضاهای طبیعی و نیمه‌طبیعی درون یا پیرامون شهرها حاصل می‌شود (Brinkhoff, 2022). (شکل ۱) و توسط برنامه‌ریزان و طراحان منظر به‌عنوان ابزاری برای دستیابی به پایداری، تاب‌آوری و عدالت شهری تلقی می‌گردد (Willemsen et al., 2010).



شکل ۱. خدمات اکوسیستم ارائه‌شده توسط زیرساخت‌های سبز و آبی<sup>۲</sup> (Gould & Lewis, 2017)

مطابق با چارچوب اهداف توسعه پایدار سازمان ملل (SDG)، توجه به حفاظت، احیا و بهره‌برداری هوشمندانه از اکوسیستم‌های شهری، امری ضروری برای آینده انسان و سیاره تلقی شده است. شهرها به‌رغم اشغال تنها ۳ درصد از

۱. ارزیابی اکوسیستم هزاره (Millennium Ecosystem Assessment) یک پروژه بزرگ و بین‌المللی بود که از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۵ با مشارکت بیش از ۱۳۰۰ متخصص از سراسر جهان انجام شد هدف اصلی آن ارزیابی وضعیت اکوسیستم‌های زمین و تأثیر تغییرات آن‌ها بر رفاه انسان بود.

۲. Olmsted

۳. (a) تنظیم ریز اقلیم، (b) کاهش سروصدا، (c) تولید غذا، (d) ذخیره‌سازی و جداسازی کربن، (e) تأمین زیستگاه، (f) ذخیره و تصفیه آب، (g) ارزش‌های تفریحی و فرهنگی، و (h) تصفیه هوا (تصویر اصلاح‌شده از Macrovector/Freepik).

سطح زمین، میزبان بیش از نیمی از جمعیت جهان‌اند و به‌شدت به خدمات اکوسیستم وابسته‌اند (EEA, 2011). این خدمات به چهار دسته اصلی تقسیم می‌شوند: تأمین‌کننده، تنظیم‌کننده، پشتیبان و فرهنگی (شکل ۲) (Pickett et al., 2001) در این میان، ساختار فیزیکی شهر شامل پوشش زمین، چگالی جمعیت، زیرساخت‌ها و مقیاس مناطق سبز نقشی تعیین‌کننده در میزان و کیفیت این خدمات دارد (Tan et al., 2018). از آنجاکه اجزای اکوسیستم شهری پیچیده‌تر از سامانه‌های طبیعی‌اند، حتی تغییرات کوچک در محیط شهری می‌تواند عدم تعادل در خدمات اکوسیستم ایجاد کرده و زنجیره‌ای از واکنش‌های منفی را فعال کند (Luederitz et al., 2015). پژوهش‌ها نشان داده‌اند که ارتباط و توازن بین انواع خدمات اکوسیستم عامل کلیدی در افزایش کارایی این خدمات و بهره‌مندی جوامع انسانی از آنهاست (Vandecasteele et al., 2019). با این حال، رشد فزاینده شهرها و بهره‌برداری ناپایدار از زمین منجر به زوال اکوسیستم‌های طبیعی و کاهش کیفیت خدمات آنها شده است که پیامدهایی نظیر کاهش زیستگاه‌ها، جزایر گرمایی، افزایش سیلاب‌ها و انتشار کربن را به دنبال داشته است (Keeler et al., 2019; Raymond et al., 2017). این آسیب‌ها اغلب بدون درک مناسبی از پیچیدگی رابطه انسان و طبیعت در شهرها رخ داده و به تحلیل رفتن زیرساخت‌های اکولوژیکی منجر شده است (Dorst et al., 2019). در پاسخ، رویکردهای اجتماعی-اکولوژیکی به‌عنوان راهکاری نوین برای تقویت خدمات اکوسیستم شهری با در نظر گرفتن ویژگی‌های انسانی، اجتماعی و فضایی مطرح شده‌اند این رویکردها بر لزوم ادغام برنامه‌ریزی شهری، طراحی منظر و راهبردهای حفاظت اکولوژیکی در جهت ساخت و بازسازی فضاهای شهری تاب‌آور، کارآمد و انسانی تأکید دارند.



شکل ۲. طبقه‌بندی خدمات اکوسیستم بر اساس ارزیابی اکوسیستم هزاره

### ارزش‌های چندگانه خدمات اکوسیستم شهری

درک مزایای زیرساخت‌های سبز شهری، نقشی اساسی در توسعه پایدار، شناسایی تغییرات کاربری زمین، پیش‌بینی آثار منفی و مداخله به‌موقع در برنامه‌ریزی برای کاهش افت خدمات اکوسیستم ایفا می‌کند. با این حال، این مزایا به‌درستی شناخته‌نشده و در تصمیم‌سازی‌ها کمتر لحاظ می‌شوند (Koohsari et al., 2013). دلیل اصلی، عدم حضور این خدمات در بازارهای رسمی و نبود قیمت‌گذاری مستقیم است؛ تنها بخشی از خدمات قابل‌مبادله در بازار هستند (Daily et al., 1997). از دست دادن این خدمات، هزینه‌های اقتصادی پنهانی تحمیل می‌کند حذف پوشش گیاهی هزینه‌های انرژی سرمایه‌های را افزایش می‌دهد (Chaparro & Terradas, 2009). کاهش خدمات تنظیمی آب نیاز به تصفیه‌خانه‌های پرهزینه را بالا می‌برد (Daily & Ellison, 2002) و از بین رفتن ظرفیت تصفیه هوا نرخ بیماری‌های تنفسی و هزینه‌های سلامت را افزایش می‌دهد (Escobedo & Nowak, 2009). فراتر از ارزش‌های اقتصادی، خدمات اکوسیستم واجد ارزش‌های فرهنگی، اجتماعی و زیبایی‌شناختی (منافع غیرمادی حاصل از تجربه زیبایی‌شناختی، تأمل



جدول ۱. مجموعه تصاویر اخذ شده

ردیف	ماهواره	سنجنده	سال اخذ تصویر	دقت مکانی	سیستم تصویر
۱	لندست ۲	MSS	۱۳۵۰	۶۰ متر	WGS84 UTM Zone ۳۹ N
۲	لندست ۵	TM	۱۳۶۵	۳۰ متر	WGS84 UTM Zone ۳۹ N
۳	لندست ۵	TM	۱۳۸۵	۳۰ متر	WGS84 UTM Zone ۳۹ N
۴	لندست ۸	OLI	۱۴۰۳	۳۰ متر	WGS84 UTM Zone ۳۹ N

در این پژوهش، به منظور تحلیل پویایی‌های کاربری اراضی و ارزیابی تغییرات کارکردی اکوسیستم‌های شهری، ابتدا تصاویر ماهواره‌ای لندست مربوط به دوره زمانی پنجاه ساله انتخاب و دانلود شد. پس از بارگذاری داده‌ها در نرم‌افزار ENVI، تصحیحات رادیومتریک و اتمسفریک به‌عنوان گام‌های ضروری جهت ارتقای کیفیت داده و استخراج اطلاعات کمی معتبر اعمال گردید. این تصحیحات امکان مقایسه زمانی و استفاده از مقادیر بازتاب سطحی استاندارد را برای تحلیل تغییرات فراهم ساخت. برای استخراج نقشه‌های کاربری اراضی، از طبقه‌بندی نظارت‌شده مبتنی بر الگوریتم "بیشینه احتمال"<sup>۱</sup> استفاده شد. این الگوریتم با بهره‌گیری از ماتریس واریانس-کوواریانس نمونه‌ها و تحلیل پراکنش طیفی باندهای مختلف، هر پیکسل را بر اساس بیشترین احتمال تعلق به کلاس‌های تعریف‌شده دسته‌بندی می‌کند. کلاس‌های کاربری اراضی شامل "کاربری شهری، اراضی کشاورزی، مراتع، باغات، زیرساخت‌های سبز شهری، اراضی کوهستانی و پهنه‌های آبی"<sup>۲</sup> تعریف و نمونه‌برداری طیفی برای هر کدام انجام شد. خروجی این مرحله، نقشه‌های کاربری اراضی در مقاطع زمانی مختلف بود که روند گسترش فضایی منطقه شهری تهران را در بازه موردبررسی نشان می‌دهند. در مرحله بعد، نقشه‌های تولیدشده در محیط ArcGIS Pro پردازش و تحلیل فضایی شدند تا الگوی تغییرات، نرخ تبدیل کاربری‌ها و جهت‌گیری رشد فضایی شهر مشخص شود. در مراتب بعدی به منظور سنجش و مقایسه ارزش اقتصادی خدمات اکوسیستم در هر کلاس کاربری، از ضرایب جهانی ارزش خدمات اکوسیستمی منتشرشده در مطالعات معتبر بین‌المللی کاستانزا<sup>۳</sup> و دی‌گروت<sup>۴</sup> استفاده شد. این ضرایب (به دلار بر هکتار در سال) نمایانگر ارزش سالانه خدماتی چون تنظیم کیفیت هوا، تعدیل اقلیم، حفاظت آب‌و‌خاک، تصفیه زیستی، پشتیبانی از تنوع زیستی، تولید غذا و مواد خام، و خدمات فرهنگی-تفریحی هستند. سپس مساحت هر کلاس در هر دوره زمانی با ضرایب ارزش اقتصادی متناظر، طبق جدول (۴)، تلفیق شد و محاسبات بر اساس معادلات ۱، ۲ و ۳ صورت گرفت (عشورنژاد و همکاران، ۱۳۹۸).

$$ESV_k = A_k * VC_k \quad (1)$$

$$ESV_t = \sum_k A_k * VC_k \quad (2)$$

$$ESV_f = \sum_k A_k * VC_{kf} \quad (3)$$

که در آن  $ESV_k$ ،  $ESV_t$  و  $ESV_f$  به ترتیب به ارزش خدمات اکوسیستم کاربری/ پوشش اراضی نوع  $k$  ارزش عملکرد خدمت  $f$  و ارزش خدمات اکوسیستمی تمامی کاربری/ پوشش‌های اراضی اشاره دارد.  $A_k$  مساحت کاربری/ پوشش اراضی نوع  $k$  است که در این تحقیق از طریق طبقه‌بندی تصاویر لندست به دست می‌آید.  $VC_k$  ضریب ارزش برای کاربری/ پوشش اراضی نوع  $k$  است که در جدول (۲) آمده است.  $VC_{kf}$  نیز ضریب ارزش کاربری/ پوشش اراضی نوع  $k$  با

### 1. Maximum likelihood

۲. مبنای تعیین طبقات کاربری اراضی در محدوده مورد مطالعه، مجموعه‌ای از عوامل علمی و کاربردی بوده است. انتخاب طبقات با توجه به هدف پژوهش، توان تفکیک‌پذیری و ویژگی‌های طیفی تصاویر ماهواره‌ای، ساختارهای طبقه‌بندی ارائه‌شده در مطالعات معتبر داخلی و بین‌المللی، و همچنین بهره‌گیری از دیدگاه‌های تخصصی اساتید و کارشناسان حوزه سنجش‌ازدور و برنامه‌ریزی شهری انجام گرفت. این رویکرد ترکیبی، امکان تعریف طبقات سازگار با شرایط محیطی، نیازهای پژوهش و قابلیت‌های داده‌های سنجش‌ازدور را فراهم ساخت و دقت طبقه‌بندی نهایی را افزایش داد.

3. Costanza

4. de Groot

عملکرد خدمات اکوسیستم نوع  $f$  است که در جدول ۲ آمده است.  $ESV_k$  و  $VC_{kf}$  در این پژوهش بر اساس ارزش جهانی آن‌ها تعیین شده است. سپس با مقایسه تغییرات در خدمات اکوسیستم بین دو مقطع زمانی، میزان کاهش یا افزایش ارزش خدمات در هر کلاس کاربری محاسبه گردید. در گام نهایی، مجموع کاهش ارزش خدمات اکوسیستم در کلاس‌هایی مانند کشاورزی، باغات، مرتع و ... با مجموع افزایش خدمات در کلاس‌هایی مانند منابع آبی و زیرساخت‌های سبز شهری مقایسه شد مابه‌التفاوت این دو مقدار به‌عنوان ارزش خالص ازدست‌رفته خدمات اکوسیستم در اثر شهرنشینی و تغییرات کاربری اراضی در نظر گرفته شد. برای سنجش پایداری نتایج مدل ارزش‌گذاری خدمات اکوسیستم، یک تحلیل حساسیت با تغییر  $\pm 25\%$  در ضرایب جهانی کاستانزا انجام شد. در این تحلیل، سه سناریو شامل خوش‌بینانه، پایه و بدبینانه تعریف و مقادیر ارزش خدمات برای هر سناریو محاسبه گردید. این کار امکان ارزیابی تأثیر خطای احتمالی ضرایب بر برآورد نهایی ارزش خدمات را فراهم نمود.

جدول ۲. ارزش‌گذاری خدمات اکوسیستم<sup>۱</sup> با توجه طبقات کاربری اراضی محدوده مورد مطالعه

نوع کاربری زمین	کشاورزی	زیرساخت سبز	باغات	مراتع	منابع آبی
تولید غذا	۳۳۳۳	۲۰۰	۲۳۳۳	۱۱۹۲	۱۰۶
تأمین آب	۴۰۰	۲۷	۴۰۰	۶۰	۱۸۰۸
مواد خام	۲۱۹	۸۴	۲۱۹	۵۴	۰
منابع ژنتیکی	۱۰۴۲	۱۵۱۷	۱۰۴۲	۱۲۱۴	۰
تنظیم آب	۸	۸	۸	۴۰۱۴	۷۵۱۴
تصفیه پسماند	۳۹۷	۱۸۷	۳۹۷	۱۲۰۶	۹۱۸
کنترل فرسایش	۱۰۷	۳۳۸.۱	۱۲۰	۴۴	۰
تنظیم اقلیم	۴۱۱	۲۰۴۴	۲۰۴۴	۴۰	۰
کنترل زیستی	۳۳	۱۱	۳۳	۳۱.۷۴	۰
تنظیم گازها	۰	۱۸.۸۸	۱۲	۹.۶۶	۰
چرخه مواد مغذی	۰	۲۵۴	۲۵۴	۰	۰
گرده‌افشانی	۲۲	۱۰.۳	۳۰	۳۵	۰
تشکیل خاک	۵۳۲	۱۳.۸	۱۴	۲	۰
زیستگاه/پناهگاه	۳۹	۲۳.۸۷	۳۹	۱۲۱۴	۰
تفریح	۸۲	۸۶۷	۸۶۷	۲۶	۲۱۶۶
فرهنگی	۰	۲.۷۶	۲	۱۶۷	۰
جمع کل	۵۶۳۳	۵۶۱۳	۷۷۱۵	۴۶۰۷	۱۲۵۱۲

de Groot, 2012, Yang, 2014, Tang, 2022, Lu, 2023, Costanza, 2007, Costanza, 2014, de Groot, 2002, Lahon, 2023, Xiaomin, 2022, Kindu, 2016, عسور نژاد و همکاران, ۱۳۹۸.

## محدوده مورد مطالعه

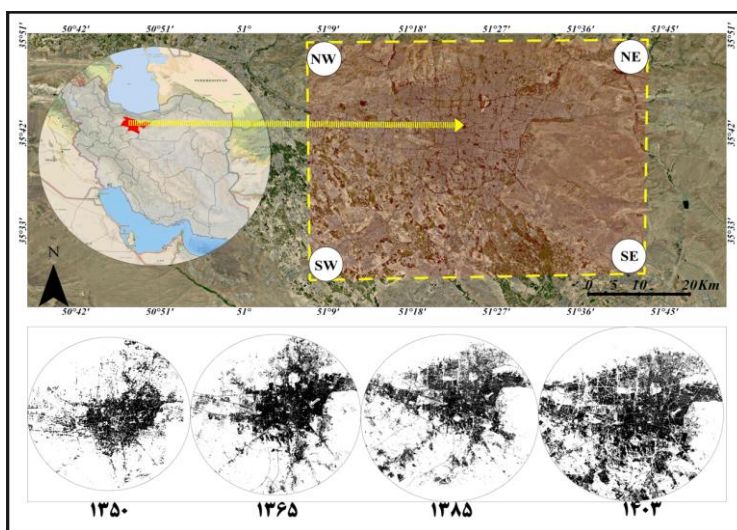
محدوده جغرافیایی مورد مطالعه، کلان‌شهر تهران و پیرامون آن را در برمی‌گیرد که به‌طور دقیق مختصات چهارگوشه محدوده در جدول (۳) آمده است. منطقه شهری تهران، به‌عنوان قلب تپنده سیاسی، اقتصادی، صنعتی و جمعیتی کشور ایران، طی دهه‌های اخیر دستخوش تحولات سریع و گسترده‌ای در ساختار فضایی، کالبدی و محیط زیستی خود شده است. این منطقه که امروزه بالغ‌بر ۱۶ میلیون نفر جمعیت را در خود جای داده و حدود ۲۰ درصد جمعیت کشور را تشکیل می‌دهد در پی پویای‌های نوسازی شهری، اصلاحات ارضی، افزایش درآمدهای نفتی، رشد سریع صنعت و زیرساخت‌ها به

۱. برای محاسبه ارزش خدمات اکوسیستم از مقالات و منابع معتبر داخلی و خارجی استفاده شده است ارزش نهایی هر خدمت از میانگین پژوهش‌ها به‌دست‌آمده است.

یکی از پیچیده‌ترین فضاهای کلان‌شهری خاورمیانه تبدیل شده است. سهم منطقه از تولید ناخالص داخلی کشور بیش از ۲۵ درصد و ارزش تولید صنعتی آن نزدیک به ۲۳ درصد است که نشان‌دهنده تمرکز بسیار بالای فعالیت‌های اقتصادی، اداری و خدماتی در این منطقه است.<sup>۱</sup> با این حال، رشد فیزیکی بی‌ضابطه، گسترش پراکنده سکونتگاه‌های رسمی و غیررسمی، تغییرات شدید در کاربری اراضی و تخریب منابع طبیعی، پیامدهای محیط زیستی سنگینی را برای تهران به همراه داشته است. از میان رفتن یکپارچگی فضاهای سبز و اراضی کشاورزی، افزایش سطح اراضی غیرقابل نفوذ، ایجاد جزایر حرارتی، افت کیفیت منابع آب‌و خاک، و آلودگی شدید هوا، تنها بخشی از بحران‌هایی هستند که خدمات اکوسیستمی شهر را در معرض تهدید جدی قرار داده‌اند. کاهش چشمگیر ظرفیت تنظیم اقلیم، تصفیه طبیعی، حفاظت خاک، تنوع زیستی، تأمین منابع غذایی و فرصت‌های فرهنگی و تفریحی، نشانه‌هایی از افول زیست‌پذیری در این کلان‌شهر هستند.

جدول ۳. مختصات محدوده جغرافیایی مورد مطالعه

جهت جغرافیایی	حروف اختصاری	طول جغرافیایی			عرض جغرافیایی		
		ثانیه	دقیقه	درجه	ثانیه	دقیقه	درجه
شمال غربی	NW	۳۹	۵۸	۵۰	۲۱	۵۲	۳۵
شمال شرقی	NE	۴۹	۳۶	۵۱	۱۵	۵۲	۳۵
جنوب غربی	SW	۳۸	۵۸	۵۰	۳۶	۲۵	۳۵
جنوب شرقی	SE	۳۵	۳۶	۵۱	۳۳	۲۵	۳۵



شکل ۴. نقشه محدوده مورد مطالعه

### یافته‌ها

تحلیل رشد فیزیکی شهر تهران و تأثیر آن بر خدمات اکوسیستم شهری (۱۴۰۳-۱۳۵۰) در ابتدای تحلیل‌ها و به‌منظور اطمینان از صحت نتایج حاصل از فرآیند سنجش‌ازدور در تولید نقشه‌های پوشش اراضی، عملیات صحت‌سنجی طبقه‌بندی انجام شد. برای این منظور، از تصاویر مرجع در محیط Google Earth Pro و همچنین ابزار Confusion Matrix Using Truth ROI در نرم‌افزار ENVI به‌عنوان معیارهای ارزیابی دقت استفاده

۱. گزارش مقایسه‌ای استان‌ها با کشور مرکز آمار ۱۳۹۹

گردید. شاخص اصلی این بررسی، ضریب کاپا است که مقدار آن بین ۱- تا ۱ قرار دارد و میزان توافق واقعی بین طبقه‌بندی انجام‌شده و داده‌های مرجع زمینی را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج ارائه‌شده در جدول (۵)، مقادیر ضریب کاپا برای سال‌های مختلف برابر با ۰/۸۰ برای سال ۱۳۵۰، ۰/۸۶ برای سال ۱۳۶۵، ۰/۸۴ برای سال ۱۳۸۵ و ۰/۸۵ برای سال ۱۴۰۳ به دست آمده است. تمامی این مقادیر در محدوده "دقت خوب تا بسیار خوب" قرار دارند و نشان‌دهنده تطابق قابل توجه میان طبقه‌بندی و واقعیت زمینی هستند. بیشترین مقدار کاپا مربوط به سال ۱۳۶۵ است که بیانگر عملکرد مطلوب و بیشترین سطح توافق در این سال است. هرچند مقدار کاپا در سال ۱۳۵۰ نسبتاً پایین‌تر از سایر سال‌هاست، اما همچنان در حد قابل قبول و معتبر محسوب می‌شود.

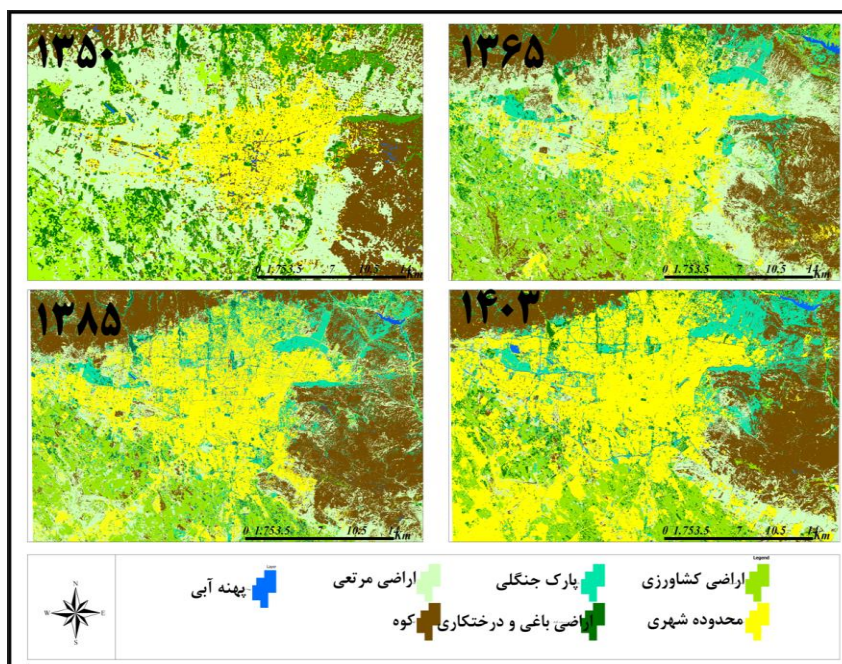
جدول ۵. دقت کاپای طبقه‌بندی تصاویر

ردیف	سال	شاخص کاپا
۱	۱۳۵۰	۰/۸۰
۲	۱۳۶۵	۰/۸۶
۳	۱۳۸۵	۰/۸۴
۴	۱۴۰۳	۰/۸۵

طی بازه زمانی ۱۳۵۰ تا ۱۴۰۳، تهران رشد فیزیکی بی‌سابقه‌ای داشته که به دگرگونی بنیادین ساختار کاربری اراضی و تضعیف خدمات اکوسیستم انجامیده است. مساحت اراضی شهری از ۱۴۵۵۹ هکتار به ۶۸۶۴۵ هکتار رسیده (افزایش ۵۴۰۸۶ هکتاری) که عمدتاً به شکل پراکنده در نواحی حاشیه‌ای و با تصرف اراضی طبیعی و کشاورزی صورت گرفته است. اراضی کشاورزی از ۵۳۹۵۸ به ۳۳۲۳۰ هکتار (کاهش ۲۰۷۲۸ هکتاری)، باغات از ۱۱۷۴۰ به ۹۶۶۴ هکتار (کاهش ۲۰۷۶ هکتاری) و مراتع از ۵۵۳۴۲ به ۲۰۷۳۰ هکتار (کاهش ۳۴۶۱۲ هکتاری) کاهش یافته‌اند. در مقابل، زیرساخت‌های سبز شهری از ۲۲۷۶۱ به ۲۵۱۴۵ هکتار رسیده (افزایش ۲۳۹۰ هکتاری) اما این میزان توان جبران تخریب سایر اراضی سبز را ندارد. اراضی کوهستانی تقریباً ثابت مانده‌اند، اما تغییرات پیرامونی خطر تخریب کیفی را افزایش داده است. منابع آبی اگرچه تغییر مساحت محسوسی نداشته‌اند، اما کاهش پوشش‌های گیاهی نفوذپذیر منجر به افت تغذیه آب‌های زیرزمینی و افزایش رواناب سطحی شده است. پیامد این تغییرات، افزایش جزایر حرارتی، افت کیفیت هوا، کاهش ظرفیت جذب آلاینده‌ها، تشدید سیلاب‌های شهری و کاهش تنوع زیستی است. ساختار محیط‌زیستی تهران که زمانی متکی بر اراضی کشاورزی و طبیعی پیرامون بود، اکنون تاب‌آوری کمتری در برابر تغییر اقلیم، خشک‌سالی، آلودگی و بحران‌های زیستی دارد و تداوم رشد افقی و بی‌ضابطه توان‌زیستی شهر را به شدت تضعیف خواهد کرد.

جدول ۶. تغییرات کاربری اراضی محدوده شهری تهران

نوع اراضی	هکتار اراضی ۱۳۵۰	هکتار اراضی ۱۳۶۵	هکتار اراضی ۱۳۸۵	هکتار اراضی ۱۴۰۳	تغییرات اول و آخر دوره
شهری	۱۴۵۵۹	۳۱۹۰۲	۴۹۱۴۸	۶۸۶۴۵	+۵۴۰۸۶
اراضی کشاورزی	۵۳۹۵۸	۴۹۴۰۴	۳۹۸۰۳	۳۳۲۳۰	-۲۰۷۲۸
باغات	۱۱۷۴۰	۹۴۲۸	۸۷۱۱	۹۶۶۴	-۲۰۷۶
زیرساخت‌های سبز	۲۲۷۶۱	۱۵۷۶۸	۱۸۳۴۳	۲۵۱۵۱	+۲۳۹۰
مراتع	۵۵۳۴۲	۵۲۲۱۱	۴۱۶۲۸	۲۰۷۳۰	-۳۴۶۱۲
کوه	۵۹۳۸۴	۵۹۵۷۵	۵۹۹۳۱	۵۸۴۲۰	-۹۶۴
آب	۱۲۷۶	۷۳۲۰۷	۱۴۵۶	۳۱۸۰	+۱۹۴۰
جمع	۲۱۹۰۲۰	۲۱۹۰۲۰	۲۱۹۰۲۰	۲۱۹۰۲۰	-



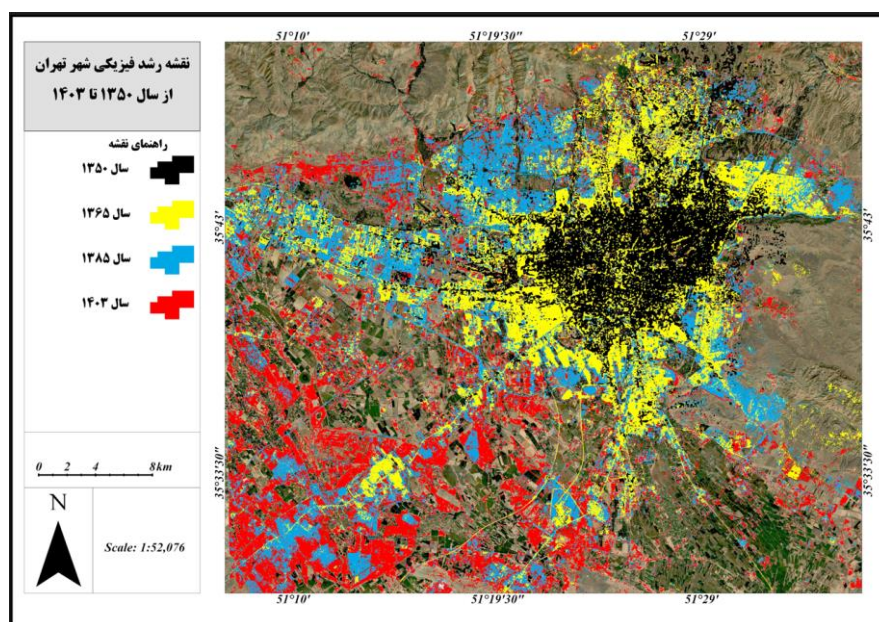
شکل ۵. نقشه کاربری اراضی شهر تهران از سال ۱۳۵۰ تا ۱۴۰۳

### بررسی تغییرات چشم‌انداز اکولوژیکی شهر تهران

جدول (۷) گویای تغییرات کاربری اراضی محدوده شهری تهران (۱۳۵۰-۱۴۰۳) از منظر بوم‌شناسی سیمای سرزمین و تحول بنیادین در ساختار فضایی چشم‌انداز شهری است. سهم اراضی شهری از ۶/۶۵ درصد در سال ۱۳۵۰ به ۳۴/۳۱ درصد در سال ۱۴۰۳ رسیده (افزایش بیش از ۲۴ درصد) که بیانگر رشد انفجاری توسعه مصنوعی و فشرده شدن بافت‌های انسان‌ساخت در بستر طبیعی است. این گسترش عمدتاً از طریق تصرف کاربری‌های اکولوژیکی صورت گرفته و با کاهش پیوستگی و افزایش گسست ساختاری همراه بوده است. اراضی کشاورزی از ۲۴/۶۴ درصد به ۱۵/۱۷ درصد (۹/۵ درصد) کاهش یافته که حاکی از فروپاشی چشم‌اندازهای تولیدی و نفوذپذیر است. باغات کاهشی آرام‌تر اما استراتژیک داشتند (۵/۳۶ درصد به ۴/۴۱ درصد) که به دلیل موقعیت مجاور بافت مسکونی، تأثیر چند برابری بر کاهش تنوع زیستی داشته است. پارک‌های جنگلی از ۱۰/۳۹ درصد به ۱۱/۴۸ درصد (افزایش ۱/۹ درصد) رسیده‌اند که تلاشی برای بازگرداندن لکه‌های سبز به ماتریس شهری محسوب می‌شود، اما مقیاس این ترمیم بسیار محدودتر از تخریب سایر لکه‌های اکولوژیکی است. مراتع با کاهش ۸/۵ درصد (۱۷/۹۸ درصد به ۹/۴۶ درصد) بیشترین آسیب را متحمل شده‌اند که تضعیف عملکردهای تنظیمی مانند تثبیت خاک، حفظ تنوع گیاهی و تعدیل اقلیم خرد را در پی داشته است. کوه‌ها با سهم ثابت حدود ۲۶ درصد باقی‌مانده‌اند، اما این ثبات نباید از تغییرات کیفی پوشش گیاهی و فرسایش دامنه‌ها غافل کند. منابع آبی از ۰/۵۸ درصد به ۱/۴۵ درصد افزایش یافته که احتمالاً ناشی از سطوح آبی مصنوعی مانند دریاچه چیتگر است. در این باره باید گفت الگوی غالب سیمای سرزمین محدوده شهری تهران، همراه با جایگزینی لکه‌های طبیعی و تولیدی با لکه‌های مصنوعی فشرده، افزایش گسستگی ساختارهای سبز و تضعیف خدمات اکوسیستم است؛ روندی که ظرفیت تطبیق‌پذیری محیط شهری را در برابر تغییرات اقلیم، بحران‌های زیست‌محیطی و نیازهای زیستی آینده به شدت کاهش داده است.

جدول ۷. اطلاعات تغییرات کاربری اراضی سیمای سرزمین در شهر تهران

نوع اراضی	درصد اراضی ۱۳۵۰	درصد اراضی ۱۳۶۵	درصد اراضی ۱۳۸۵	درصد اراضی ۱۴۰۳	تغییرات اول و آخر دوره
شهری	۶/۶۵	۱۴/۵۷	۲۲/۴۴	۳۱/۳۴	۱۴/۶۹
اراضی کشاورزی	۲۴/۶۴	۲۲/۵۶	۱۸/۱۷	۱۵/۱۷	-۹/۴۶
باغات	۵/۳۶	۴/۳۰	۳/۹۸	۴/۴۱	-۰/۹۵
پارک‌های جنگلی	۱۰/۳۹	۷/۲۰	۸/۳۷	۱۱/۴۸	۱/۰۹
مراتع	۱۷/۹۸	۲۳/۸۴	۱۷/۵۲	۹/۴۶	-۸/۵۲
کوه	۲۶/۴۱	۲۷/۲۰	۲۷/۳۶	۲۶/۶۷	۰/۲۷
آب	۰/۵۸	۳۳۴/۲۱	-/۶۶	۱/۴۵	۰/۸۷
جمع	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	-



شکل ۶. نقشه تغییرات فیزیکی شهر تهران ۱۳۵۰-۱۴۰۳

### تحلیل تغییرات ارزش خدمات اکوسیستم (۱۴۰۳-۱۳۵۰)

روند شتابان شهرنشینی در تهران طی نیم‌قرن گذشته، تغییرات بنیادینی در کاربری اراضی ایجاد کرده و به تبع آن، ارزش خدمات اکوسیستم<sup>۱</sup> در مقیاس منطقه شهری را به شدت تحت تأثیر قرار داده است. جدول (۷) تغییرات ارائه شده، ارزش خدمات اکوسیستم<sup>۲</sup> را برحسب دلار آمریکا<sup>۳</sup> و برای کاربری‌های مختلف در سال‌های ۱۳۵۰، ۱۳۶۵، ۱۳۸۵ و ۱۴۰۳ نمایش می‌دهد. این تغییرات، بازتابی از تحول چشم‌اندازهای طبیعی به فضاهای مصنوعی و شهری تحت فشار رشد جمعیت، توسعه فیزیکی و تغییر سیاست‌های کاربری زمین هستند. در سال ۱۳۵۰، مجموع ارزش خدمات اکوسیستم در حدود ۸۰۴ میلیون دلار بوده که بخش عمده‌ای از آن متعلق به کاربری‌های کشاورزی (تقریباً ۳۰۳ میلیون دلار) و مرتعی

#### 1. Ecosystem Services Value - ESV

۲. در فرآیند ارزش‌گذاری خدمات اکوسیستم در این پژوهش، از رویکرد تلفیقی مبتنی بر مرور نظام‌مند منابع معتبر بین‌المللی استفاده شده است. برای این منظور، داده‌های حاصل از مطالعات مرجع از جمله دی گروت، کاستانزا و همکاران، و همچنین نتایج ۱۳ پژوهش منتخب دیگر که به صورت مستقیم به ارزش‌گذاری اقتصادی خدمات اکوسیستم پرداخته‌اند، گردآوری و تحلیل گردید. در هر مورد، پایین‌ترین و بالاترین مقدار ارزش برآورد شده برای هر کلاس کاربری و هر نوع خدمت اکوسیستمی (برحسب دلار به ازای هر هکتار در سال) استخراج شد. سپس با محاسبه میانگین این بازه قیمتی، مقدار نرمال‌شده‌ای به عنوان ضریب پایه ارزش خدمات اکوسیستم تعیین گردید که مبنای محاسبات کل ارزش خدمات در منطقه مورد مطالعه قرار گرفت. این رویکرد، ضمن لحاظ کردن ناهمگونی‌های موجود در روش‌شناسی‌های ارزش‌گذاری در منابع مختلف، امکان ارزیابی منسجم، واقع‌گرایانه و مقایسه پذیر خدمات اکوسیستم در منطقه شهری تهران را فراهم ساخته است.

#### 3. USD

(۲۶۶ میلیون دلار) است. این رقم بالا نشان می‌دهد که در دهه ۱۳۵۰، ترکیب طبیعی-زراعی اراضی شهری و پیرامونی نقش پررنگی در تأمین خدمات اکولوژیکی مانند تنظیم آب، تولید غذا، حفظ تنوع زیستی، و تعادل اقلیمی ایفا می‌کرده است. با ورود به سال ۱۳۶۵، با وجود حفظ نسبی سهم کاربری‌های طبیعی، کاهش قابل توجهی در ارزش مراتع (حدود ۱۰ درصد کاهش) مشاهده می‌شود. در سال ۱۳۸۵، روند کاهش ارزش اکوسیستم‌ها تشدید می‌شود، ارزش مراتع نسبت به سال ۱۳۵۰، به حدود ۱۷۶ میلیون دلار کاهش یافته و ارزش کشاورزی نیز به ۲۲۴ میلیون دلار می‌رسد. این در حالی است که ارزش خدمات حاصل از باغات به ۶۷ میلیون دلار می‌رسد؛ کاهش که بیانگر تخریب اراضی باغی و جایگزینی این اراضی با توسعه و رشد شهری است، داده‌های مربوط به سال ۱۴۰۳ به‌روشنی گویای تأثیر گسترده و مستمر شهرنشینی بر ساختار اکولوژیکی منطقه است. ارزش مراتع به حدود ۹۵ میلیون دلار و کشاورزی به ۱۸۷ میلیون دلار کاهش یافته‌اند که نسبت به سال ۱۳۵۰، افتی بالغ بر ۶۰ درصد را نشان می‌دهد. در مقابل، ارزش زیرساخت‌های سبز شهری به حدود ۱۴۱ میلیون دلار افزایش یافته که احتمالاً ناشی از توسعه بوستان‌ها، کمربندهای سبز، و سیاست‌گذاری‌های محیط‌زیستی جدید در سطح مدیریت شهری است. نکته کلیدی اینجاست که درحالی‌که زیرساخت‌های سبز نقش مهمی در ارتقای کیفیت زندگی شهروندان دارند، اما از منظر اکولوژیکی و خدمات زیست‌محیطی، جایگزین کاملی برای اکوسیستم‌های طبیعی به شمار نمی‌آیند. خدماتی مانند چرخه مواد، حفظ خاک، کنترل سیلاب، و ذخیره کربن تنها از طریق کاربری‌های مرتعی، جنگلی و کشاورزی پایدار قابل تأمین‌اند. به‌طور کلی ارزش خدمات اکوسیستم از ۸۰۴ میلیون دلار در سال ۱۳۵۰ به ۵۳۸ میلیون دلار که کاهش ۲۶۶ میلیون دلاری را نشان می‌دهد.

جدول ۸. محاسبات تغییرات ارزش خدمات کلی اکوسیستم در فرآیند گسترش شهری

ردیف	نوع کاربری	تعداد منابع	بالاترین ارزش	میانگین	مسلحت هکتار	پایین‌ترین ارزش	بالاترین ارزش	میانگین	پایین‌ترین ارزش
۱۳۵۰ سال	مرتع	۱۵	۲۵۰۰	۴۲۱۴	۴۶۰۷	۵۷۸۶۳	۱۴۴۶۵۷۵۰۰	۲۴۲۸۳۴۸۲	۲۶۶۵۷۴۸۴۱
	کشاورزی	۱۵	۲۸۵۰	۵۵۶۶	۵۶۳۳	۵۳۹۵۸	۱۵۳۷۸۰۳۰۰	۳۰۰۳۳۰۲۲۸	۳۰۳۹۴۵۴۱۴
	باغات	۱۵	۴۳۴۰	۶۷۵۰	۷۷۱۵	۱۱۷۴۰	۵۰۹۵۱۶۰۰	۷۹۲۴۵۰۰۰	۹۰۵۷۴۱۰۰
	زیرساخت‌های سبز شهری	۱۵	۲۴۶۰	۶۳۰۶	۵۶۱۳	۲۲۷۶۱	۵۵۹۹۲۰۶۰	۱۴۳۵۳۰۸۶۶	۱۲۷۷۵۷۴۹۳
	آب‌ها	۱۵	۵۸۰۰	۱۳۴۲۴	۱۲۵۱۲	۱۲۷۶	۷۴۰۰۸۰۰	۱۷۱۲۹۰۲۴	۱۵۹۶۵۳۱۲
	مجموع					۱۴۷۵۹۸	۴۱۲۷۸۲۲۶۰	۷۸۴۰۶۹۸۰۰	۸۰۴۸۱۷۱۶۰
۱۳۶۵ سال	مرتع	۱۵	۲۵۰۰	۴۲۱۴	۴۶۰۷	۵۲۲۱۱	۱۳۰۵۲۷۵۰۰	۲۲۰۰۱۷۱۵۴	۲۴۰۵۳۶۰۷۷
	کشاورزی	۱۵	۲۸۵۰	۵۵۶۶	۵۶۳۳	۴۹۴۰۴	۱۴۰۸۰۱۴۰۰	۲۷۴۹۸۲۶۶۴	۲۷۸۲۹۲۷۳۲
	باغات	۱۵	۴۳۴۰	۶۷۵۰	۷۷۱۵	۹۴۲۸	۴۰۹۱۷۵۲۰	۶۳۶۳۹۰۰۰	۷۲۷۳۷۰۲۰
	زیرساخت‌های سبز شهری	۱۵	۲۴۶۰	۶۳۰۶	۵۶۱۳	۱۵۷۶۶	۳۸۷۸۴۳۶۰	۹۹۴۲۰۳۹۶	۸۸۴۹۴۵۵۸
	آب‌ها	۱۵	۵۸۰۰	۱۳۴۲۴	۱۲۵۱۲	۷۳۲	۴۲۴۵۶۰۰	۹۸۲۶۳۶۸	۹۱۵۸۷۸۴
	مجموع					۱۲۷۵۴۱	۳۵۵۲۷۶۳۸۰	۶۶۷۸۸۵۵۸۲	۶۸۹۲۱۹۱۷۱
۱۳۷۵ سال	مرتع	۱۵	۲۵۰۰	۴۲۱۴	۴۶۰۷	۳۸۳۷۴	۹۵۹۳۵۰۰۰	۱۶۱۷۰۸۰۳۶	۱۷۶۷۸۹۰۱۸
	کشاورزی	۱۵	۲۸۵۰	۵۵۶۶	۵۶۳۳	۳۹۸۰۳	۱۱۳۴۳۸۵۵۰	۲۲۱۵۴۳۴۹۸	۲۲۴۲۱۰۲۹۹
	باغات	۱۵	۴۳۴۰	۶۷۵۰	۷۷۱۵	۸۷۱۱	۳۷۸۰۵۷۴۰	۵۸۱۹۹۲۵۰	۶۷۲۰۵۳۶۵
	زیرساخت‌های سبز شهری	۱۵	۲۴۶۰	۶۳۰۶	۵۶۱۳	۱۸۳۴۳	۴۵۱۲۳۷۸۰	۱۱۵۶۷۰۹۵۸	۱۰۲۹۵۹۲۵۹
	آب‌ها	۱۵	۵۸۰۰	۱۳۴۲۴	۱۲۵۱۲	۱۴۵۶	۸۴۴۴۸۰۰	۱۹۵۴۵۳۴۴	۱۸۲۱۷۴۷۲
	مجموع					۱۰۶۶۸۷	۳۰۰۷۴۷۸۷۰	۵۷۷۲۶۷۰۸۶	۵۸۹۴۸۱۴۱۳
۱۴۰۳ سال	مرتع	۱۵	۲۵۰۰	۴۲۱۴	۴۶۰۷	۲۰۷۳۰	۵۱۸۲۵۰۰۰	۸۷۳۵۶۲۲۰	۹۵۵۰۳۱۱۰

۱۸۷۱۸۴۵۹۰	۱۸۴۹۵۸۱۸۰	۹۴۷۰۵۵۰۰	۳۳۳۳۰	۵۶۳۳	۵۵۶۶	۲۸۵۰	۱۵	کشاورزی
۷۴۵۵۷۷۶۰	۶۵۲۳۳۰۰۰	۴۱۹۴۱۷۶۰	۹۶۶۴	۷۷۱۵	۶۷۵۰	۴۳۴۰	۱۵	باغات
۱۴۱۱۳۸۸۸۵	۱۵۸۵۶۴۳۷۰	۶۱۸۵۶۷۰۰	۲۵۱۴۵	۵۶۱۳	۶۳۰۶	۲۴۶۰	۱۵	زیرساخت‌های سبز شهری
۳۹۷۸۸۱۶۰	۴۲۶۸۱۳۲۰	۱۸۴۴۴۰۰۰	۳۱۸۰	۱۲۵۱۲	۱۳۴۲۴	۵۸۰۰	۱۵	آب‌ها
۵۳۸۱۷۲۵۰۵	۵۳۸۱۷۹۹۰۹۰	۲۶۸۱۷۷۲۹۶۰	۹۱۹۴۹					مجموع

### تحلیل حساسیت مدل ارزش‌گذاری خدمات اکوسیستم

برای افزایش اعتبارپذیری نتایج و سنجش حساسیت مدل ارزش‌گذاری، تحلیل سناریو محور با تغییر  $\pm 25\%$  در ضرایب جهانی کاستانزا انجام شد (جدول ۹). این ضرایب، پایه محاسبه ارزش خدمات اکوسیستم برای کاربری‌های مختلف مانند مراتع، اراضی کشاورزی و باغات بودند. در این تحلیل، سه سناریو در نظر گرفته شد.

• سناریوی بدبینانه ( $-25\%$ ): فرض بر این است که ضرایب جهانی خدمات اکوسیستم، در شرایط بومی ایران ارزش‌گذاری بیش‌ازحد داشته‌اند.

• سناریوی پایه ( $0\%$ ): بر اساس ضرایب اصلی استخراج‌شده از منابع بین‌المللی (کاستانزا و همکاران)

• سناریوی خوش‌بینانه ( $+25\%$ ): فرض بر این است که خدمات اکوسیستم در شرایط ایران (به‌ویژه در مناطق نیمه‌خشک مانند تهران) ارزش بالاتری دارند.

نتایج نشان داد که در سناریوی بدبینانه، کاهش خالص ارزش خدمات اکوسیستم طی سال‌های ۱۳۵۰ تا ۱۴۰۳ برابر با حدود ۱۹۹ میلیون دلار بوده و در سناریوی خوش‌بینانه این مقدار به بیش از ۳۲۵ میلیون دلار می‌رسد. علی‌رغم تفاوت عددی، در هر سه سناریو روند کاهش شدید ارزش خدمات اکوسیستم در اثر رشد فیزیکی شهر تهران تأیید می‌شود. این ثبات در روند تحلیلی، نشان می‌دهد که یافته‌های پژوهش به لحاظ اعتبار علمی و پایداری نتایج، قابل اتکا هستند؛ اگرچه توسعه ضرایب بومی از طریق مطالعات محلی همچنان یک ضرورت پژوهشی برای آینده محسوب می‌شود.

جدول ۹. تحلیل حساسیت مدل ارزش‌گذاری خدمات اکوسیستم

سناریو	ارزش خدمات در سال ۱۳۵۰ (دلار)	ارزش خدمات در سال ۱۴۰۳ (دلار)	کاهش ارزش کل (دلار)
سناریوی بدبینانه ( $-25\%$ )	۸۷۰/۶۱۲/۶۰۳	۳۷۸/۶۲۹/۴۰۳	۴۹۱/۹۸۳/۱۹۹
سناریوی پایه ( $0\pm$ )	۱۶۰/۸۱۷/۸۰۴	۵۰۵/۱۷۲/۵۳۸	۶۵۵/۶۴۴/۲۶۶
سناریوی خوش‌بینانه ( $+25\%$ )	۲۷۸/۹۷۳/۹۹۷	۶۳۱/۷۱۵/۶۷۲	۶۴۷/۲۵۷/۳۲۵

### بررسی اثرات رشد شهر بر خدمات نهایی اکوسیستم

در این بخش از پژوهش خدمات هر کلاس کاربری در سال مرجع با توجه به مساحت و ضرایب ارزش‌گذاری<sup>۱</sup> (دلار آمریکا) تعیین و سپس تغییرات هر خدمت در طول دوره مطالعه استخراج گردید. در دو کلاس "منابع آبی" و "زیرساخت‌های سبز شهری" افزایش ارزش و در سایر کلاس‌ها کاهش ارزش مشاهده گردید. برای محاسبه کاهش خالص ارزش خدمات، مجموع ارزش‌های کاهش از مجموع ارزش‌های افزایشی کسر شد. از میان پنج نوع کاربری (کشاورزی، باغات، مراتع، زیرساخت سبز، منابع آبی)، سه نوع اول کاهش چشمگیر و دو نوع دوم افزایش نسبی داشتند. مجموع کاهش ارزش ۲۸۹/۰۷۲/۴۸۴ دلار و مجموع افزایش ۲۴/۶۷۷/۲۴۴ دلار بود؛ بنابراین خسارت خالص ۲۶۶/۳۹۵/۲۴۰ دلار برآورد می‌شود که بیانگر فرسایش گسترده خدمات اکوسیستم در محدوده کلان‌شهر تهران است. از

۱. مرجع‌ترین ضرایب برای محاسبه ارزش خدمات اکوسیستم شامل ضرایب دی گروت و همکاران، کاستانزا و همکاران و شی و همکاران می‌باشد.

نظر نوع خدمات، بیشترین افت در حوزه خدمات پشتیبان و تنظیمی بود: "زیستگاه" (کاهش بیش از ۴۵/۹ میلیون دلار)، "منابع ژنتیکی" (بیش از ۶۵ میلیون دلار)، "تنظیم اقلیم" (بیش از ۹/۳ میلیون دلار)، "تصفیه پسماند" (بیش از ۱۲/۲ میلیون دلار)، "کنترل فرسایش" (بیش از ۳/۲ میلیون دلار) و "تشکیل خاک" (بیش از ۱۱ میلیون دلار). در خدمات تأمین کننده نیز "تولید غذا" (بیش از ۹۶ میلیون دلار) و "تأمین آب" (بیش از ۹/۶ میلیون دلار) کاهش شدیدی داشتند که تهدید امنیت غذایی و وابستگی فزاینده به منابع بیرونی را هشدار می دهد. توسعه زیرساخت های سبز و منابع آبی اگرچه افزایش محدودی در خدماتی مانند "تفریح" (حدود ۴ میلیون دلار)، "تنظیم آب" و "گرده افشانی" ایجاد کرده است، اما این افزایش ها در مقایسه با خسارت وارده به زیستگاه ها و منابع غذایی ناچیز و غیر بازدارنده بوده و توان جبران عملکرد اکولوژیکی کاربری های طبیعی ازدست رفته را ندارند. در این باره باید گفت، شهرنشینی شتابان در کلان شهر تهران از طریق کاهش شدید اراضی با عملکرد اکولوژیکی و جایگزینی با ساختارهای مصنوعی، موجب کاهش زیست پذیری، تضعیف تاب آوری در برابر تغییرات اقلیم، کم آبی و تنش های زیستی، و فرسایش خدمات اکوسیستم شده است. بازنگری در سیاست های کاربری زمین، توسعه هدفمند زیرساخت های سبز پیوسته و احیای عملکردهای خدمات اکوسیستم باید در کانون راهبردهای برنامه ریزی شهری آینده قرار گیرد.

جدول ۱۰. محاسبات اثرات رشد شهر تهران بر مهم ترین ارزش خدمات اکوسیستم

نوع کاربری زمین	کشاورزی	زیرساخت سبز	باغات	مراتع	منابع آبی	کاربری کاهشی	کاربری افزایشی	تغییرات نهایی
تغییرات (هکتار)	-۲۰۷۲۸	+۲۳۸۴	-۲۰۷۶	-۳۷۱۳۳	+۹۰۴	-	-	-
تولید غذا	۲۳۲۳	۲۰۰	۲۳۲۳	۱۱۹۲	۱۰۶	۹۷۲۳۶۲۲۸	۵۷۲۶۲۴	۹۶۶۳۶۰۴
تأمین آب	۴۰۰	۲۷	۴۰۰	۶۰	۱۸۰۸	۱۱۳۴۹۵۸۰	۱۶۹۸۸۰۰	۹۶۵۰۷۸۰
مواد خام	۲۱۹	۸۴	۲۱۹	۵۴	۰	۶۹۹۹۲۵۸	۲۰۰۲۵۶	۶۷۹۹۰۰۲
منابع ژنتیکی	۱۰۴۲	۱۵۱۷	۱۰۴۲	۱۲۱۴	۰	۶۸۸۴۱۲۳۰	۳۶۱۶۵۲۸	۶۵۲۳۴۷۰۲
تنظیم آب	۸	۸	۸	۴۰۱۴	۷۵۱۴	۳۳۶۱۶۲۶۲	۶۸۱۱۷۲۸	۶۴۷۵۵۶۵۰۳۸
تصفیه پسماند	۳۹۷	۱۸۷	۳۹۷	۱۲۰۶	۹۱۸	۱۳۵۳۱۴۲۷۸	۱۲۷۵۶۸۰	۱۲۲۵۵۷۴۸
کنترل فرسایش	۱۰۷	۳۳۸۰	۱۲۰	۴۴	۰	۴۱۰۰۸۶۸	۸۰۶۰۳۰۴	۳۲۹۴۸۳۷۶
تنظیم اقلیم	۴۱۱	۲۰۴۴	۲۰۴۴	۴۰	۰	۱۴۲۴۷۸۷۲	۴۸۷۲۸۹۶	۹۳۷۴۹۷۶
کنترل زیستی	۳۳	۱۱	۳۳	۳۱۰۷۴	۰	۱۹۳۱۱۳۳۰۴۲	۲۶۲۲۴	۱۹۰۴۹۰۹۰۴
تنظیم گازها	۰	۱۸۸۸	۱۲	۹۶۶	۰	۳۸۳۶۱۶۰۷۸	۴۵۰۰۹۰۹۲	۳۳۸۶۰۶۰۸۶
چرخه مواد مغذی	۰	۲۵۴	۲۵۴	۰	۰	۵۲۷۳۰۴	۶۰۵۵۲۶	۷۸۲۳۲
گرده افشانی	۲۲	۱۰۰۳	۳۰	۳۵	۰	۱۸۱۷۹۵۱	۲۴۵۵۵۰۲	۱۷۹۳۳۹۵۸
تشکیل خاک	۵۳۲	۱۳۸	۱۴	۲	۰	۱۱۱۳۰۶۲۶	۳۲۸۹۹۰۲	۱۱۰۹۷۷۲۷
زیستگاه/پناهگاه	۳۹	۲۳۸۷	۳۹	۱۲۱۴	۰	۴۵۹۶۸۸۱۸	۵۶۹۰۶۰۰۸	۴۵۹۱۱۹۱۲
تفریح	۸۲	۸۶۷	۸۶۷	۲۶	۲۱۶۶	۴۴۶۵۰۴۶	۴۰۳۴۹۹۲	۴۴۰۰۵۴
فرهنگی	۰	۲۰۷۶	۲	۱۶۷	۰	۶۲۰۵۳۶۳	۶۵۷۹۰۸۴	۶۱۹۸۷۸۳۰۲
جمع کل	۵۶۱۵	۵۶۰۶۰۷۱	۷۸۰۴	۴۲۱۴۰۱۴	۱۲۵۱۲	۲۸۹۰۷۲۴۸۴۶	۲۴۶۷۷۲۴۴۶۴	۲۶۶۳۹۵۲۴۰

#### ارزیابی رابطه نهایی رشد شهر تهران و ارزش خدمات اکوسیستم

برای تحلیل اثرات رشد فیزیکی شهر تهران بر ارزش خدمات اکوسیستم شهری، از مدل رگرسیون خطی استفاده شد. در این تحلیل، داده های مربوط به تغییرات کالبدی شهر تهران از سال ۱۳۵۰ تا ۱۴۰۳ به عنوان متغیر مستقل، و ارزش پولی خدمات اکوسیستم شهری در همین بازه به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد. نتایج مدل نشان داد که رابطه ای معکوس و معنادار بین این دو متغیر وجود دارد؛ به گونه ای که ضریب همبستگی (R) برابر با ۰/۹۰۱ و ضریب تعیین (R<sup>2</sup>)

معادل ۰/۸۱۲ به دست آمد که نشان‌دهنده تبیین بیش از ۸۰ درصد از تغییرات ارزش خدمات اکوسیستم توسط رشد فیزیکی شهر است. ضریب رگرسیون استاندارد شده نیز منفی و معنادار بود  $\beta = -0/901$ ،  $p = 0/019$ ، که حاکی از آن است که با افزایش سطح فیزیکی شهر، ارزش خدمات اکوسیستم به‌طور چشمگیری کاهش یافته است. با توجه به این نتیجه، به‌طور یقین می‌توان گفت که شهرنشینی و گسترش بی‌رویه فیزیکی، اثرات منفی جدی بر کارکردهای زیست‌محیطی و خدمات اکوسیستمی شهری دارد. در صورت تداوم این روند، پیش‌بینی می‌شود که در سال‌های آینده ارزش این خدمات بیش‌ازپیش کاهش یابد و پیامدهایی چون افت کیفیت هوا، افزایش جزایر حرارتی، کاهش تنوع زیستی، افت سلامت عمومی و افزایش هزینه‌های مدیریت شهری برای تهران به وجود آید.

جدول ۱۱. نتایج رگرسیون خطی بین رشد فیزیکی شهر تهران و ارزش خدمات اکوسیستم شهری

بخش	شاخص	مقدار	تفسیر
خلاصه مدل	ضریب همبستگی (R)	۰/۹۰۱	همبستگی قوی بین دو متغیر
	ضریب تعیین ( $R^2$ )	۰/۸۱۲	تبیین ۸۱.۲٪ از تغییرات توسط مدل
	$R^2$ تعدیل شده	۰/۷۱۸	اصلاح شده بر اساس df پایین
	خطای استاندارد برآورد	۱۲۳۰۲۶۷	میزان خطای پیش‌بینی مدل
آزمون ANOVA	مقدار F	۸/۶۵۴	معناداری مدل کلی
	سطح معناداری (Sig)	۰/۰۱۹	مدل معنادار در سطح ۰/۰۵
ضرایب رگرسیون	مقدار ثابت (Intercept)	۱۹۵/۵۹۹	برآورد پایه ارزش خدمات اکوسیستم
	ضریب متغیر (B)	۰/۰۰۰	اثر مستقیم رشد فیزیکی
	Beta استاندارد شده	-۰/۹۰۱	اثر منفی و قوی
	آماره t	-۲/۹۴۲	معنادار بودن اثر
	سطح معناداری (Sig)	۰/۰۱۹	اثر معنادار در سطح ۰/۰۵

## بحث

تحلیل تغییرات کاربری اراضی در منطقه شهری تهران طی دوره ۱۳۵۰ تا ۱۴۰۳ نشان می‌دهد که ساختار فضایی شهر در نتیجه گسترش افقی و رشد فیزیکی بی‌ضابطه، دستخوش دگرگونی‌های بنیادین شده است. بررسی داده‌های سنجش‌ازدور و محاسبه سهم نسبی کاربری‌ها بیانگر کاهش قابل‌توجه اراضی طبیعی و نیمه‌طبیعی و جایگزینی آن‌ها با کاربری‌های ساخته‌شده شهری است. این روند افزایشی در تبدیل سطوح اکولوژیک به اراضی نفوذناپذیر پیامدهای عمیقی بر ظرفیت ارائه خدمات اکوسیستم داشته و کارکردهای محیطی تهران را با افت جدی مواجه کرده است. تغییر گسترده الگوی کاربری اراضی، کاهش خدمات اکوسیستمی از جمله تنظیم خرد اقلیم، کنترل سیلاب، تصفیه هوا، تقویت تغذیه آب‌های زیرزمینی، تنوع زیستی و تولید غذا را به دنبال داشته است. پیش‌تر ساختار محیط‌زیستی تهران متکی بر پهنه‌های کشاورزی، باغی و طبیعی پیرامونی بود؛ اما حذف تدریجی این اراضی موجب کاهش تاب‌آوری شهر در برابر تغییر اقلیم، خشک‌سالی و آلاینده‌ها شده است. تداوم رشد پراکنده و بی‌ضابطه نه‌تنها فشار بر بسترهای طبیعی را افزایش داده، بلکه روند افت عملکرد اکولوژیک را در مقیاسی گسترده تشدید کرده است. یافته‌های این پژوهش با نتایج وانگ و همکاران (۲۰۲۰) همخوان است؛ به‌گونه‌ای که هر دو مجموعه مطالعات وجود رابطه‌ای منفی و معنادار میان گسترش فیزیکی شهر و کاهش خدمات اکوسیستم شهری را تأیید می‌کنند. همچنین نتایج با پژوهش‌های جیان پنگ و همکاران (۲۰۱۷) و عشورنژاد و همکاران (۱۳۹۸) هم‌راستاست؛ پژوهش‌هایی که کاهش آستانه خدمات اکولوژیک، به‌ویژه اراضی زراعی و باغی، را پیامد مستقیم تشدید شهرنشینی می‌دانند. به‌صورت مشخص‌تر، نتایج حاضر با یافته‌های کامیاب و

شعبانی (۱۳۹۸) نیز همخوانی دارد و روند نزولی خدماتی همچون تولید غذا، مواد خام، کنترل زیستی، تنظیم اقلیم و خدمات تفریحی را تأیید می‌کند. با توجه به شواهد، رشد فیزیکی شهر بدون مدیریت یکپارچه و سیاست‌گذاری مبتنی بر ظرفیت‌های محیطی، منجر به تخریب پایدار خدمات اکوسیستمی در تهران شده است. گرچه توسعه زیرساخت‌های سبز می‌تواند بخشی از اثرات تخریب اکوسیستم‌ها را جبران کند، اما این اقدامات به‌تنهایی قادر به بازگرداندن کارکردهای ازدست‌رفته یا جبران آسیب‌های گسترده ناشی از نابودی اراضی طبیعی نیستند. پیامدهای این غفلت هم‌اکنون در تهران به‌وضوح قابل‌مشاهده است: کاهش شدید منابع آب، افت تغذیه سفره‌های زیرزمینی، افزایش رواناب و سیلاب‌های شهری، تشدید آلودگی صوتی و هوا، و کاهش امنیت غذایی. بر این اساس، از منظر برنامه‌ریزی شهری ضروری است سیاست‌های توسعه مبتنی بر مهار گسترش افقی، تقویت باز توسعه درونی، حفاظت از پهناهای طبیعی و زراعی، و ارتقای نقش زیرساخت‌های سبز در ساختار فضایی شهر موردبازنگری اساسی قرار گیرد. تنها از طریق اتخاذ چنین رویکردی می‌توان پایداری اکولوژیک منطقه شهری تهران را در بلندمدت تضمین و کیفیت زندگی ساکنان آن را ارتقا داد.

### نتیجه‌گیری

تغییرات کاربری زمین که برای برآوردن نیازهای زیرساختی جمعیت شهری رخ می‌دهد، اغلب منجر به تخریب اکوسیستم و ازدست‌داده تنوع زیستی می‌شود که می‌تواند با برنامه‌ریزی ناکارآمد، تشدید شود؛ علاوه بر این طیف چالش‌های زیست‌محیطی شهری که با شهرنشینی شتابان همراه است، ارائه خدمات بالقوه اکوسیستم را بیش‌تر کاهش می‌دهد و بر رفاه جمعیت شهری تأثیر منفی می‌گذارد. روند رشد فیزیکی کلان‌شهر تهران طی پنج دهه اخیر، نمایانگر یک توسعه فضایی سریع، بی‌ضابطه و فاقد نگاه بوم‌شناختی بوده که پیامدهای آن مستقیماً بر کیفیت و کمیت خدمات اکوسیستم شهری اثر گذاشته است. تحلیل‌های مبتنی بر داده‌های سنجش‌ازدور، طبقه‌بندی کاربری اراضی و ارزش‌گذاری خدمات اکوسیستم در این پژوهش، گویای آن است که تهران در مسیر گسترش کالبدی خود، توازن اکولوژیکی خود را به‌شدت ازدست‌داده است. کاهش چشمگیر کاربری‌های طبیعی از جمله مراتع (با کاهش ۶۴ درصد)، اراضی کشاورزی (با کاهش بیش از ۵۰ درصد) و باغات، نشانه‌ای روشن از تخریب نظام‌مند منابع طبیعی و کاهش شدید ظرفیت‌های خدمات اکوسیستمی در شهر است. یافته‌های پژوهش حاضر به‌وضوح نشان می‌دهد که توسعه فضایی تهران، نه بر مبنای اصول اکولوژیکی یا در چارچوبی از مدیریت پایدار سرزمین، بلکه عمدتاً تحت تأثیر فشارهای جمعیتی، اقتصادی و کالبدی و با الگوی پراکنده و نامتوازن شهری پیش رفته است. این امر باعث جایگزینی سریع کاربری‌های طبیعی، تولیدی و نفوذپذیر مانند اراضی کشاورزی، مراتع و باغات با زیرساخت‌های مصنوعی و غیرقابل نفوذ شهری شده و ساختار اکوسیستم شهری را به ورطه نابودی کشانیده است. بر اساس محاسبات انجام‌شده، تغییرات کاربری زمین در بازه ۱۳۵۰ تا ۱۴۰۳ منجر به کاهش حدود ۲۶۴ میلیون دلار از ارزش خالص خدمات اکوسیستم در محدوده شهر تهران شده است. در این میان، مجموع ارزش ازدست‌رفته در کاربری‌های طبیعی مانند کشاورزی، مراتع و باغات، ۲۸۹ میلیون دلار برآورد شده، درحالی‌که ارزش‌افزوده ناشی از گسترش زیرساخت‌های سبز شهری و سطوح آبی تنها ۲۴/۶ میلیون دلار بوده است. این عدم توازن، به‌وضوح بیانگر ناتوانی زیرساخت‌های مصنوعی در جبران عملکردهای اکوسیستم‌های طبیعی است. بیشترین کاهش ارزش خدمات، مربوط به خدمات تنظیمی و پشتیبان بوده است؛ به‌گونه‌ای که خدماتی مانند حفظ خاک کاهش ۱۳/۱ میلیون دلار، تصفیه پسماند ۱۲/۲ میلیون دلار، تنوع زیستی ۶/۵ میلیون دلار، منابع ژنتیکی ۶۵/۲ میلیون دلار، و زیستگاه‌ها و پناهگاه‌های حیات‌وحش ۴۵/۹ میلیون دلار به‌شدت تضعیف‌شده‌اند. همچنین خدمات مرتبط با تولید غذا و تأمین آب، به ترتیب با کاهش ۹۶/۶ و ۹/۶ میلیون دلار، بیانگر کاهش امنیت غذایی و فشار بیشتر بر منابع آبی خارج از

محدوده شهر است. حتی در حوزه‌های فرهنگی، خدماتی مانند تفریح و خدمات فرهنگی و معنوی نیز کاهش قابل توجهی را نشان داده‌اند که می‌تواند بر کیفیت زندگی و سلامت روانی شهروندان اثر منفی بگذارد. به‌طور کلی نتایج تحلیل رگرسیون خطی هم نشان داد که رشد فیزیکی شهر تهران تأثیر منفی و معناداری بر ارزش خدمات اکوسیستم شهری دارد؛ این مدل توانست بیش از ۸۱ درصد از تغییرات ارزش خدمات اکوسیستم را تبیین کند که بیانگر ارتباط قوی بین توسعه کالبدی شهر و افت خدمات زیست‌محیطی است. از دست رفتن این خدمات، موجب افزایش خطرات طبیعی (نظیر سیلاب‌ها، آلودگی هوا و گرمایش شهری)، افت سلامت عمومی، و تشدید ناپایداری شهری شده است. هرچند گسترش محدود زیرساخت‌های سبز شهری و پهنه‌های آبی در برخی دوره‌ها باعث افزایش نسبی ارزش برخی خدمات شده، اما این تحولات به‌هیچ‌وجه نتوانسته‌اند نقش کارکردی اکوسیستم‌های طبیعی از دست‌رفته را جبران کنند. زیرساخت‌های مصنوعی هرگز نمی‌توانند جایگزین کامل فرآیندهای پیچیده و خودتنظیم طبیعت باشند. این نکته در تحلیل تفکیکی ارزش خدمات نیز تأیید شده که نشان می‌دهد حتی با رشد بوستان‌ها و پهنه‌های آبی کنترل‌شده، تنوع عملکردها و کیفیت خدمات ارائه‌شده توسط اکوسیستم‌های طبیعی قابل بازتولید نبوده است. از منظر سیاست‌گذاری شهری، نتایج این مطالعه زنگ خطری جدی برای آینده زیست‌پذیری پایتخت است. پایداری شهری بدون حفظ سرمایه‌های طبیعی و تقویت عملکردهای اکوسیستم امکان‌پذیر نیست. در این راستا، بازنگری بنیادین در رویکردهای برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای ضروری است؛ به‌ویژه حرکت از برنامه‌ریزی صرف کالبدی به‌سوی برنامه‌ریزی اکوسیستم محور که در آن ارزش خدمات اکوسیستم به‌عنوان یکی از ارکان اصلی تصمیم‌گیری فضایی لحاظ شود. همچنین احیای اراضی تخریب‌شده، تثبیت و توسعه فضاهای سبز پیوسته، ترمیم شبکه‌های طبیعی، و تقویت زیرساخت‌های سبز و آبی باید در اولویت قرار گیرد. لازم است ابعاد اقتصادی، فرهنگی و اجتماعی خدمات اکوسیستم در فرایندهای تصمیم‌سازی نهادهای محلی و ملی وارد شود تا بینش صرفاً توسعه‌گرا به بینشی یکپارچه و اکولوژیکی تغییر یابد. در نهایت، تهران اگرچه اکنون در مرحله بحرانی محیط‌زیستی قرار دارد، اما هنوز فرصت بازآفرینی و بازیابی اکولوژیکی را از دست نداده است. شرط لازم آن، تعهد مدیریت شهری به ادغام دانش بوم‌شناسی با ابزارهای سیاست‌گذاری شهری، و شرط کافی، مشارکت فعالانه جامعه شهری در حفاظت و بازسازی سرمایه‌های طبیعی است. آینده پایدار تهران در گرو درک و بهره‌گیری آگاهانه از ظرفیت‌های خدمات اکوسیستمی است؛ ظرفیتی که حفظ آن به معنای حفظ حیات شهر است.

#### حامی مالی

این اثر حامی مالی نداشته است.

#### سهم نویسندگان در پژوهش

نویسندگان در تمام مراحل و بخش‌های انجام پژوهش، سهم برابر داشته‌اند.

#### تضاد منافع

این مقاله مستخرج از رساله دکتری نویسنده اول (احمد حاتمی) است. ایشان کلیه مراحل پژوهش شامل نگارش متن، پردازش داده‌ها، تحلیل‌ها و استخراج نتایج را انجام داده‌اند. دکتر حسین منصوریان (استاد راهنمای اول) در تدوین مدل مفهومی، بهبود بیان مسئله و متون مقاله و فرآیند سنجش‌ازدور و تولید نقشه‌ها مشارکت داشته است. دکتر حسین حاتمی‌نژاد (استاد راهنمای دوم) و دکتر احمد پوراحمد (استاد مشاور) نیز نقش هدایت علمی، نظارت بر فرآیند تحقیق و بازبینی نهایی مقاله را بر عهده داشته‌اند.

## تقدیر و تشکر

نویسندگان از همه کسانی که در انجام این پژوهش به ما یاری رسانده‌اند، به‌ویژه کسانی که کار ارزیابی کیفیت مقالات را انجام داده‌اند، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

## منابع

عشورنژاد، غدیر؛ امیراصلانی، فرشاد؛ کیاورز مقدم، مجید و تومانیان، آرا. (۱۳۹۸). بررسی اثرهای تغییرات کاربری/پوشش اراضی منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس بر ارزش اقتصادی خدمات اکوسیستمی با استفاده از تصاویر سنجنش‌ازدوری. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۵۱ (۲)، ۳۳۳-۳۱۷. doi:10.22059/jphgr.2019.270215.1007303

کامیاب، حمیدرضا و شعبانی، نسیم. (۱۳۹۸). تأثیر تغییر کاربری/پوشش زمین بر خدمات اکوسیستم در استان گلستان. *فصلنامه علوم محیطی*، ۱۷ (۲)، ۴۳-۵۶. doi: 10.29252/envs.17.2.43

## References

- Ahern, J., Cilliers, S., & Niemelä, J. (2014). The concept of ecosystem services in adaptive urban planning and design: A framework for supporting innovation. *Landscape and Urban Planning*, 125, 254-259. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.01.020>
- Ashournejad, G., Amiraslani, F., Kiavarz Moghaddam, M., & Toomanian, A. (2019). Investigating the effects of land use/land cover changes on the economic value of ecosystem services in the Pars Special Economic Energy Zone using remote sensing imagery. *Physical Geography Research*, 51(2), 317-333. <https://doi.org/10.22059/jphgr.2019.270215.1007303> [In Persian]
- Anguelovski, I., Connolly, J. J. T., & Brand, A. L. (2018). From landscapes of utopia to the margins of the green urban life: For whom is the new green city?. *City*, 22(3), 417-436. <https://doi.org/10.1080/13604813.2018.1473126>
- Bhatta, B. (2010). *Analysis of urban growth and sprawl from remote sensing data*. Springer Science & Business Media. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-05299-6>
- Bolund, P., & Hunhammar, S. (1999). Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics*, 29(2), 293-301. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(99\)00013-0](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00013-0)
- Chaparro, L., & Terradas, J. (2009). *Ecological services of urban forests in Barcelona*. Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals, Universitat Autònoma de Barcelona. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:132082139>
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., ... & van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387(6630), 253-260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>
- Costanza, R., de Groot, R., Sutton, P., van der Ploeg, S., Anderson, S. J., Kubiszewski, I., ... & Turner, R. K. (2014). Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, 26, 152-158. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002>
- Daily, G. C., & Ellison, K. (2002). *The new economy of nature: The quest to make conservation profitable*. Island Press.
- de Groot, R., Wilson, M., & Boumans, R. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41(3), 393-408. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00089-7](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00089-7)
- De Groot, R., Brander, L., Van Der Ploeg, S., Costanza, R., Bernard, F., Braat, L., ... & Van Beukering, P. (2012). Global estimates of the value of ecosystems and their

- services in monetary units. *Ecosystem Services*, 1(1), 50-61. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.07.005>
- Dewan, A. M., & Yamaguchi, Y. (2009). Land use and land cover change in Greater Dhaka, Bangladesh: Using remote sensing to promote sustainable urbanization. *Applied Geography*, 29(3), 390-401. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2008.12.005>
- Escobedo, F. J., & Nowak, D. J. (2009). Spatial heterogeneity and air pollution removal by an urban forest. *Landscape and Urban Planning*, 90(3-4), 102-110. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.10.021>
- Escobedo, F. J., Kroeger, T., & Wagner, J. E. (2011). Urban forests and pollution mitigation: Analyzing ecosystem services and disservices. *Environmental Pollution*, 159(8-9), 2078-2087. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.01.010>
- Felipe-Lucia, M. R., Martín-López, B., Lavorel, S., Berraquero-Díaz, L., Escalera-Reyes, J., & Comín, F. A. (2015). Ecosystem services flows: Why stakeholders' power relationships matter. *PLoS ONE*, 10(7), e0132232. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0132232>
- Gómez-Baggethun, E., & Barton, D. N. (2013). Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. *Ecological Economics*, 86, 235-245. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.08.019>
- Gómez-Baggethun, E., & de Groot, R. S. (2010). *Natural capital and ecosystem services: The ecological foundation of human society*. In R. E. Hester & R. M. Harrison (Eds.), *Ecosystem services* (Vol. 30, pp. 105-121). Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/9781849731058-00105>
- Gould, K. A., & Lewis, T. L. (2017). *Green gentrification: Urban sustainability and the struggle for environmental justice*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315687322>
- Grahn, P., & Stigsdotter, U. A. (2003). Landscape planning and stress. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2(1), 1-18. <https://doi.org/10.1078/1618-8667-00019>
- Kamyab, H., & Shabani, N. (2019). The impact of land use/land cover change on ecosystem services in Golestan province. *Environmental Sciences*, 17(2), 43-56. <https://doi.org/10.29252/envs.17.2.43> (In Persian)
- Koohsari, M. J., Sugiyama, T., & Badland, H. (2013). Associations of street layout with walking and sedentary behaviors in an urban Japanese neighborhood. *Preventive Medicine*, 56(2), 118-122. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2012.11.004>
- Kindu, M., Schneider, T., Teketay, D., & Knoke, T. (2016). Changes of ecosystem service values in response to land use/land cover dynamics in Munessa-Shashemene landscape of the Ethiopian highlands. *Science of the Total Environment*, 547, 137-147. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.12.127>
- Lee, D., Oh, K., & Suh, J. (2022). Diagnosis and prioritization of vulnerable areas of urban ecosystem regulation services. *Land*, 11(10), 1804. <https://doi.org/10.3390/land11101804>
- Lourdes, K. T. (2023). *Mapping and valuing urban ecosystem services in the greater Kuala Lumpur metropolitan city* (Doctoral dissertation). University of Nottingham. <https://eprints.nottingham.ac.uk/71906/>
- Lahon, D., Sahariah, D., Debnath, J., Nath, N., Meraj, G., Kumar, P., ... & Farooq, M. (2023). Assessment of ecosystem service value in response to LULC changes using geospatial techniques: A case study in the Merbil Wetland of the Brahmaputra Valley, Assam, India. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 12(4), 165. <https://doi.org/10.3390/ijgi12040165>
- Lu, Z., Song, Q., Zhao, J., & Wang, S. (2023). Prediction and evaluation of ecosystem service value based on land use of the Yellow River source area. *Sustainability*, 15(1), 687. <https://doi.org/10.3390/su15010687>

- Maas, J., Verheij, R. A., Groenewegen, P. P., De Vries, S., & Spreeuwenberg, P. (2006). Green space, urbanity, and health: How strong is the relation?. *Journal of Epidemiology & Community Health*, 60(7), 587-592. <https://doi.org/10.1136/jech.2005.043125>
- McPhearson, T., Cook, E. M., Berbés-Blázquez, M., Cheng, C., Grimm, N. B., Andersson, E., ... & Troxler, T. G. (2022). A social-ecological-technological systems framework for urban ecosystem services. *One Earth*, 5(5), 505-518. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2022.04.007>
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Island Press. <http://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>
- Moskw, A. (1999). Havana's self-provision gardens. *Environment and Urbanization*, 11(2), 127-134. <https://doi.org/10.1177/095624789901100211>
- Ouyang, Z., Remme, R. P., Sharp, R. P., Tardieu, L., Viguie, V., Xu, D., & Daily, G. C. (2021). Mapping the benefits of nature in cities with the InVEST software. *NPJ Urban Sustainability*, 1(1), 1-9. <https://doi.org/10.1038/s42949-021-00029>
- Pan, H., Page, J., Cong, C., Barthel, S., & Kalantari, Z. (2021). How ecosystem services drive urban growth: Integrating nature-based solutions. *Anthropocene*, 35, 100297. <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2021.100297>
- Page, H. J. (2002). *Urban agriculture in Havana: Opportunities and constraints*. University College London, Development Planning Unit. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2002.101571>
- Peng, J., Tian, L., Liu, Y., Zhao, M., & Wu, J. (2017). Ecosystem services response to urbanization in metropolitan areas: Thresholds identification. *Science of the Total Environment*, 607, 706-714. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.218>
- Raymond, C. M., Frantzeskaki, N., Kabisch, N., Berry, P., Breil, M., Nita, M. R., ... & Calfapietra, C. (2017). A framework for assessing and implementing the co-benefits of nature-based solutions in urban areas. *Environmental Science & Policy*, 77, 15-24. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.07.008>
- Remme, R. P., Meacham, M., Pellowe, K. E., Andersson, E., Guerry, A. D., Janke, B., ... & van Oudenhoven, A. P. (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>
- Rodgman, M. K., Anguelovski, I., Pérez-del-Pulgar, C., Shokry, G., Garcia-Lamarca, M., Connolly, J. J., ... & Triguero-Mas, M. (2024). Perceived urban ecosystem services and disservices in gentrifying neighborhoods: Contrasting views between community members and state informants. *Ecosystem Services*, 65, 101571. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2023.101571>
- Smit, J., & Nasr, J. (1992). Urban agriculture for sustainable cities: Using wastes and idle land and water bodies as resources. *Environment and Urbanization*, 4(2), 141-152. <https://doi.org/10.1177/095624789200400214>
- Takano, T., Nakamura, K., & Watanabe, M. (2002). Urban residential environments and senior citizens' longevity in megacity areas: The importance of walkable green spaces. *Journal of Epidemiology & Community Health*, 56(12), 913-918. <https://doi.org/10.1136/jech.56.12.913>
- Tang, X., Liu, Y., Ren, Y., & Feng, H. (2022). A dynamic evaluation of ecosystem services value in the Beijing–Tianjin–Hebei region based on scarcity modification of spatiotemporal supply–demand influence. *Land*, 11(9), 1545. <https://doi.org/10.3390/land11091545>
- Tan, P. Y., Zhang, J., Masoudi, M., Alemu, J. B., Edwards, P. J., Grêt-Regamey, A., ... & Wong, L. W. (2020). A conceptual framework to untangle the concept of urban ecosystem services. *Landscape and Urban Planning*, 200, 103837. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.103837>

- Taylor, A. F., & Kuo, F. E. (2009). Children with attention deficits concentrate better after walk in the park. *Journal of Attention Disorders*, 12(5), 402-409. <https://doi.org/10.1177/1087054708323000>
- Tzoulas, K., Korpela, K., Venn, S., Yli-Pelkonen, V., Kaźmierczak, A., Niemelä, J., & James, P. (2007). Promoting ecosystem and human health in urban areas using green infrastructure: A literature review. *Landscape and Urban Planning*, 81(3), 167-178. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.02.001>
- Ulrich, R. S. (1984). View through a window may influence recovery from surgery. *Science*, 224(4647), 420-421. <https://doi.org/10.1126/science.6143402>
- van den Berg, A. E., van Winsum-Westra, M., de Vries, S., & van Dillen, S. M. E. (2010). Allotment gardening and health: A comparative survey among allotment gardeners and their neighbors without an allotment. *Environmental Health*, 9, 74. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-9-74>
- Villarreal, E. L., & Bengtsson, L. (2005). Response of a Sedum green-roof to individual rain events. *Ecological Engineering*, 25(1), 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2004.11.008>
- Wang, W., Wu, T., Li, Y., Xie, S., Han, B., Zheng, H., & Ouyang, Z. (2020). Urbanization impacts on natural habitat and ecosystem services in the Guangdong–Hong Kong–Macao “megacity”. *Sustainability*, 12(16), 6675. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.109030>
- Willemsen, L., Hein, L., van Mensvoort, M. E. F., & Verburg, P. H. (2010). Space for people, plants, and livestock? Quantifying interactions among multiple landscape functions in a Dutch rural region. *Ecological Indicators*, 10(1), 62-73. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2009.02.015>
- Xiao, Y., Guo, L., & Sang, W. (2020). Impact of fast urbanization on ecosystem health in mountainous regions of southwest China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(3), 826. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.110191>
- Xiaomin, G., Chuanglin, F., Xufang, M., & Dan, C. (2022). Coupling and coordination analysis of urbanization and ecosystem service value in Beijing–Tianjin–Hebei urban agglomeration. *Ecological Indicators*, 137, 108782. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e39878>
- Xing, L., Zhu, Y., & Wang, J. (2021). Spatial spillover effects of urbanization on ecosystem services value in Chinese cities. *Ecological Indicators*, 121, 107028. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.111521>
- Yang, Y., Zheng, H., Xu, W., Zhang, L., & Ouyang, Z. (2019). Temporal changes in multiple ecosystem services and their bundles responding to urbanization and ecological restoration in the Beijing–Tianjin–Hebei metropolitan area. *Sustainability*, 11(7), 2079. <https://doi.org/10.3390/su11072079>
- Yang, D., Luo, T., Lin, T., Qiu, Q., & Luo, Y. (2014). Combining aesthetic with ecological values for landscape sustainability. *PLoS ONE*, 9(7), e102437. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0102437>