Journal of Sustainable City, 8 (3), 2025

Journal of Sustainable City

Online ISSN: 2476-6151

Journal Homepage: www.jscity.ir

Analysis of the Consequences of the Ecological Footprint on its Sustainability of Tehran Metropolis

Babak Moradi [1], Farzaneh Sasanpour [2], Ali Shamai [3]

1. *Department of Geography and Planning, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran*
Email: babak.moradi@khu.ac.ir
2. (Corresponding Author) *Department of Geography and Planning, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran*
Email: sasanpour@khu.ac.ir
3. *Department of Geography and Planning, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran*
Email: shamai@khu.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article History:
Received:
2 June 2025
Revised:
1 September 2025
Accepted:
7 October 2025
Available online:
9 November 2025

Keywords:
Ecological Survey,
Sustainable urban Development,
Stability,
Tehran Metropolis.

ABSTRACT

Ecological footprint indicates the amount of natural resource consumption and services needed by humans and is equal to the amount of land or water required to meet the consumption needs of society and absorb their waste production. This study used ecological footprint methods and GIS software for data analysis and sustainability assessment. The ecological footprint and biocapacity of Tehran city were used using this quantitative method, and ecological footprint and biocapacity, descriptive-analytical method, and library resources were used. The analyses showed that Tehran's ecological footprint equals 6.12 hectares, and its biocapacity is 0.0141 hectares. Compared to its biocapacity and ecological footprint, Tehran city is suffering from environmental deficiency and is in an ecologically unstable state. Its biocapacity is facing an ecological balance deficit of 74,632,890.7 hectares. Based on calculations, the Tehran metropolis is ecologically unsustainable, and with current consumption patterns, its residents are unable to meet their needs through domestic production. The consumption rate in this city has exceeded the global ecological limit, and the tolerable biological capacity of the environment does not meet the needs of the residents. It is necessary to take comprehensive and multifaceted measures to address the problem of unsustainability and reduce the ecological footprint. These measures include resource management, reducing consumption, improving urban infrastructure, and increasing public awareness. Implementing these solutions will help reduce pressure on natural resources, improve the quality of life of citizens, and create a sustainable city.

Citation: Moradi, B., Sasanpour, F., & Shamai, A. (2025). Analysis of the Consequences of the Ecological Footprint on its Sustainability of Tehran Metropolis. *Journal of Sustainable City,* 8(3), 1-21.
http://doi.org/10.22034/jsc.2025.476326.1801

© The Author(s)
Publisher: Iranian Geography and Urban Planning Association.
This is an open access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

Extended Abstract

Introduction

Rapid urbanization has transformed the functions and identity of the city and has affected its sustainability in various environmental, social, economic, cultural, political, and environmental aspects in recent decades. This has made urban management one of the most complex and important areas of interaction between people and the government. Ecological footprint is a method and approach that shows the extent of human intervention in nature. This estimate shows how much of the land and sea surface has natural production capacity to meet their residents' vital needs and lifestyles. In recent decades, Tehran has faced numerous challenges and problems in managing city affairs. These problems indicate excessive pressure on the ecological capacity of the region and cause its instability. It is clear that the Tehran metropolis requires a continuous flow of goods and resources from the supporting region for its survival and, equally, exports significant amounts of waste and garbage to this region.

Methodology

The method of this research is descriptive-analytical in type and applied in purpose. Ecological Footprint computational methods are used to analyze the data, and then GIS software is used to display the results. In the first stage, the required information will be collected and extracted using documentaries, libraries, and Internet websites, as well as by descriptive methods and referring to relevant organizations. In the second stage, we will evaluate the Ecological Footprint of the Tehran metropolis using the combined method of "Ecological Footprint," which includes a combination of two inductive and deductive approaches. In the third stage, GIS software will also be used to analyze and display the data.

Results and discussion

According to the calculations, Tehran depends on a much larger area than its current area to meet its biological and sustainability needs. With the current consumption pattern continuing, Tehran will need about 432 times its current area to provide food, energy, and land required to absorb carbon dioxide. These results show that this city's biological capacity and ecological footprint are inconsistent with the current consumption of sustainable resources. The goods and services sector in Tehran has the highest ecological footprint index among other consumer sectors, and approximately 50 percent of the total ecological footprint of Tehran belongs to this sector. The per capita ecological footprint in the goods and services sector for each city resident is estimated to be about 2.99 hectares, which indicates that this city needs a land area of about 36,534,859 hectares to provide goods and services to its residents. The findings of this study show that the ecological footprint of the Tehran metropolis is equal to 6.12 hectares for each resident of this city, while the ecological footprint of each person in the world in 2022 is 2.85 hectares. Also, the per capita biocapacity calculated in the Tehran metropolis is 0.0141 hectares. In contrast, based on the Living Planet Report, the per capita biocapacity of each Iranian in 2022 is equal to 0.75 hectares per person. According to the results of the Tehran metropolis's ecological footprint and biocapacity calculations, this city has an ecological deficit of 74,632,890.7 hectares.

Conclusion

-Individual solutions:

- Reducing energy consumption;
- Using public transportation;
- Reducing water consumption;
- Waste management and recycling;
- Changing food consumption patterns.

-Urban and infrastructure solutions

- Increasing urban green space CO_2;
- Developing renewable energies;
- Improving public transportation;
- Proper waste management.

-Policy and management solutions:

- Enact strict environmental laws;
- Encourage reduction in fossil fuel consumption;
- Education and culture;
- Financial incentives for green buildings.

-Raising awareness and changing citizens' lifestyles:

- Educational and cultural campaigns;
- Financial incentives and discounts;
- Ecological footprint calculation applications.

-Urban and infrastructure measures:

- Green space development;
- Support for sustainable transport;
- Green buildings;
- Better waste management.

-Macroeconomic policies:

- Environmental law reform;
- Subsidies for clean energy;
- International cooperation;
- Industrial optimization;
- Creation of performance indicators.

-Continuous monitoring and evaluation:

- Data analysis and smart decision-making;
- Encouraging sustainable cities.

-Focus on the development of small and medium-sized cities:

- Incentive policies for settling in other areas;
- Increasing awareness and population planning.

Funding
There is no funding support.

Authors' Contribution
The authors contributed equally to the conceptualization and writing of the article. All authors approved the manuscript's content and agreed on all aspects of the work declaration of competing interest, but none.

Conflict of Interest
Authors declared no conflict of interest.

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

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

مجلـــه شـــهر پایـــدار
Journal Homepage: www.jscity.ir
شاپا الکترونیکی:2476-6151

تحلیل پیامدهای جاپای بوم‌شناختی بر پایداری کلان‌شهر تهران

بابک مرادی [۱]، فرزانه ساسان پور [۲]✉، علی شماعی [۳]

۱- گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشکده علوم جغرافیای، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران رایانامه: babak.moradi@khu.ac.ir
۲- نویسنده مسئول، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشکده علوم جغرافیای، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. رایانامه: sasanpour@khu.ac.ir
۳- گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشکده علوم جغرافیای، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران رایانامه: shamai@khu.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۴/۰۳/۱۲
تاریخ بازنگری:
۱۴۰۴/۰۶/۱۰
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۴/۰۷/۱۵
تاریخ چاپ:
۱۴۰۴/۰۸/۱۸

واژگان کلیدی:
جاپای بوم‌شناختی،
توسعه پایدار شهری،
پایداری،
کلان‌شهر تهران.

چکیده

جاپای بوم‌شناختی نشان‌دهنده میزان مصرف منابع طبیعی و خدمات موردنیاز انسان است و برابر با مقدار زمین یا آب لازم برای تأمین نیازهای مصرفی جامعه و جذب پسماندهای تولیدی آن‌ها می‌باشد. در این پژوهش، از روش‌های جاپای بوم‌شناختی و نرم‌افزار GIS برای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها و ارزیابی پایداری استفاده‌شده است. جاپای بوم‌شناختی و ظرفیت زیستی شهر تهران با بهره‌گیری ازاین‌روش کمی و ارزیابی جاپای بوم‌شناختی و ظرفیت زیستی، از روش توصیفی-تحلیلی و منابع کتابخانه‌ای استفاده‌شده است. تحلیل‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که جاپای بوم‌شناختی تهران معادل ۶.۱۲ هکتار و ظرفیت زیستی آن ۰.۱۴۱ هکتار است. شهر تهران در مقایسه با ظرفیت زیستی و جاپای بوم‌شناختی خود دچار کمبود زیست‌محیطی است و از نظر اکولوژیکی در وضعیت ناپایداری قرار دارد. بررسی ظرفیت زیستی آن با کسری تعادل اکولوژیکی معادل ۷۴,۶۳۲,۸۹۰.۷ هکتار مواجه است. بر اساس محاسبات انجام‌شده، کلان‌شهر تهران از نظر بوم‌شناختی ناپایدار است و با الگوهای مصرف فعلی، ساکنان آن توانایی تأمین نیازهای خود از طریق تولیدات داخلی را ندارند. میزان مصرف در این شهر از حد اکولوژیکی جهانی فراتر رفته و ظرفیت زیستی قابل‌تحمل محیط، پاسخگوی نیازهای ساکنان نیست. برای مواجهه با مشکل ناپایداری و کاهش جاپای بوم‌شناختی، لازم است که به‌طور جامع و چندجانبه اقداماتی صورت گیرد. این اقدامات شامل مدیریت منابع، کاهش مصرف، بهبود زیرساخت‌های شهری، و افزایش آگاهی عمومی می‌باشند. اجرای این راهکارها به کاهش فشار بر منابع طبیعی، بهبود کیفیت زندگی شهروندان و ایجاد شهری پایدار کمک کند.

استناد: مرادی، بابک؛ ساسان پور، فرزانه و شماعی؛ علی. (۱۴۰۴). تحلیل پیامدهای جاپای بوم‌شناختی بر پایداری کلان‌شهر تهران. *مجله شهر پایدار*، ۸ (۳)، ۲۱-۱.

http://doi.org/ 10.22034/jsc.2025.476326.1801

© نویسندگان

ناشر: انجمن جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری ایران

مقدمه

رشد سریع شهرنشینی باعث دگرگونی عملکردها و هویت شهر شده و در چند دهه اخیر پایداری آن را از جنبه‌های مختلف زیست‌محیطی، اجتماعی، اقتصادی، فرهنگی، سیاسی و محیطی تحت تأثیر قرار داده است. این امر مدیریت شهری را به یکی از پیچیده‌ترین و مهم‌ترین عرصه‌های تعامل بین مردم و حکومت تبدیل کرده است (Huang et al, 2022:8). بر اساس شاخص‌های پایداری آنچه یک شهر خوب باید داشته باشد عبارت است از: محل زندگی و کار مناسب، درآمد معقول، حمل‌ونقل و ارتباطات و دسترسی به خدمات و تسهیلات و... است یک شهر پایدار شهری است که خوب طراحی‌شده باشد و از نظر کالبدی قابل تجسم، از نظر زیبایی‌شناسی مطبوع باشد این شهر عاری از تصادفات بزهکاری و سروصدا می‌باشد (ساسان پور، ۱۳۹۰:۱۶۱). هیچ شهری نمی‌تواند بدون وابستگی به منابع و ظرفیت جذب ضایعات منطقه پشتیبان خود به پایداری دست یابد. در مقابل، شهر نیز با ارائه کالاها، خدمات، نوآوری‌ها، دانش و فناوری به منطقه پیرامونی خود، در فرآیند توسعه هماهنگ و متقابل مشارکت می‌کند تا رابطه‌ای دوسویه میان شهر و منطقه برقرار شود (ساسان پور و نوروزی، ۱۳۹۵). پایداری محیطزیست به معنای تأمین نیازهای نسل حاضر بدون کاهش یا از بین بردن ظرفیت‌های محیطزیست برای نسل‌های آینده تعریف می‌شود. معیار جاپای بوم‌شناختی، علاوه بر جامعیت ارتباط به سایر عوامل، نمایانگر سطح پایداری محیطزیست است و می‌تواند در یک منطقه مشخص مورداستفاده قرار گیرد (Cornelia, 2014). ناپایداری شهری یکی از اصلی‌ترین موضوع‌ها و چالش‌های شهرهای قرن بیست‌ویک به‌ویژه در کشورهای درحال‌توسعه به شمار می‌آید .(Kazemi and Mohammadi 2001,)؛ ساسان پور،۱۳۹۰). طی سال‌های اخیر، استفاده از جاپای بوم‌شناختی که معرف مجموعه فشارها بر محیطزیست است، به‌عنوان موفق‌ترین شاخص جهت ارزیابی توسعه پایدار، از طرف سیاست‌گذاران و محققین مرتبط با محیطزیست موردتوجه قرارگرفته است (Uddin et al., 2017). جاپای بوم‌شناختی روش و رویکردی است که میزان مداخله انسان در طبیعت را نشان می‌دهد. این برآورد نشان می‌دهد که چه مقدار از سطح زمین و دریاها دارای قدرت تولید طبیعی برای پاسخ به نیازهای حیاتی و سبک زندگی ساکنان آن‌ها، نیاز است (ساسان پور،۱۳۹۰: ۹۱؛ Wheeler & Beatieey,2004:211). از دیگر مفاهیمی که در روش جاپای بوم‌شناختی بر آن تأکید می‌شود فضای بوم‌شناختی می‌باشد که این فضا شامل زمین‌های حاصلخیز و دریاهای مولد و مزارع و مزارع پرورش ماهی می‌شود. فضای بوم‌شناختی زمین و یا آبی است که نیازهای مصرفی جامعه را تأمین کرده، یا آنکه آلاینده‌های آن‌ها را جذب می‌کند(Ecological Footprint Atlas, 2010: 23) . از نظر بوم‌شناختی، سرانه مصرف انرژی و مواد مصرف در ۴۰ سال گذشته سریع‌تر از رشد جمعیت افزایش‌یافته است اگر روند مصرف را کنترل نکنیم و هم این‌گونه بر مصرف منابع سرمایه و طبیعی خود روی آوریم سلامتی پایداری و رفاه زندگی خود و جامعه را به خطر انداخته و به حداقل ممکن می‌رساندیم (ارجمند نیا ۹۴:۱۳۸۰) شهرهای ایران مانند سایر شهرهای جهان با مشکل افزایش جمعیت روبه‌رو هستند که این امر فشار فزاینده‌ای را بر منابع مانند آب، زمین و انرژی موجود وارد نموده است و باعث تخریب شدید محیطزیست شهرها شده. بر اساس داده‌های گزارش سیاره زنده جا پای بوم‌شناختی ۲/۵۸ هکتار برای هر نفر در جهان و این عدد در ایران در سال ۲۰۲۲ با جمعیت ۸۰ میلیون برای هر نفر ۳/۲۵ هکتار می‌باشد. که نشان می‌دهد مصرف سرانه منابع و انتشار کربن در ایران از سطحی فراتر رفته است. (Globl Footprint Network). بنابراین، در دهه‌های اخیر، کلان‌شهر تهران با چالش‌ها، مشکلات و مسائل متعددی در اداره امور شهر روبرو بوده است. این معضلات نشان‌دهنده فشار بیش‌ازحد بر توان بوم‌شناختی منطقه و باعث ناپایداری آن می‌شود. معلوم و واضح است که کلان‌شهر تهران برای استمرار زیست خود نیازمند جریان مداوم کالا و منابع از منطقه پشتیبان است و به همان اندازه، مقادیر قابل‌توجهی ضایعات و زباله به این منطقه صادر می‌کند. (ساسان پور، ۱۳۹۰). کلان‌شهر تهران در گذر زمان به‌عنوان شهر برتر در ابعاد اقتصادی، سیاسی، اجتماعی و غیره به مصادره ظرفیت‌های پشتیبان خود، متشکل از دیگر شهرها و سکونت‌گاه‌های تحت سلطه‌اش پرداخته است، که بر اساس آمار و داده‌های علمی می‌توان گستره کشور را به‌عنوان منطقه پشتیبان تهران در نظر گرفت، بدیهی است که در چنین فرایند ناپایداری مناطق دیگر و

روابط ناعادلانه به نفع تهران خواهد شد. در این ضمیمه پیدا کردن الگوی پایداری کلان‌شهرهای مانند تهران، مستلزم نگرشی یکپارچه به کلان‌شهرها و منطقه پشتیبان آن است. رسیدن به چنین الگوی فقط در همبستگی با دیگر سکونت‌گاه‌ها منطقه امکان‌پذیر است. (ساسان پور،۱۳۹۰).

یونگ مینگ هوانگ[1]، محمد حسیب[2]، (۲۰۲۲) در پژوهش خود با نام ارتباط پویا بین فناوری اطلاعات و، انرژی‌های تجدید پذیر، پیچیدگی اقتصادی و جاپای بوم‌شناختی: این تحقیق تجربی پیوند بین فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات (ICT)، انرژی‌های تجدید پذیر، پیچیدگی اقتصادی، سرمایه انسانی، توسعه مالی، و جاپای زیست‌محیطی را برای کشورهای E-7 و G-7 در بازه زمانی ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۸ موردبررسی قرار می‌دهد. و از چهار مورداستفاده می‌کند.

ماتیس واکرناگل[3]: ۲۰۲۰ در مطالعه خود با نام ارزیابی جاپای بوم‌شناختی و ظرفیت زیستی شهرهای پرتغال: نتایج حیاتی برای آگاهی زیست‌محیطی و مدیریت محلی. این مقاله نتایج و تقاضای سالانه برای منابع طبیعی و خدمات زیست‌محیطی توسط ساکنان شهر را ردیابی کرده و آن را با «ظرفیت حمل» دارایی‌ها زیست‌محیطی شهرها مقایسه کرده. این مقاله جاپای بوم‌شناختی و نتایج ظرفیت زیستی را برای شش شهرداری ارائه می‌کند و پیامدهای آگاهی زیست‌محیطی و حکمرانی شهری در پرتغال را موردبحث قرار می‌دهد

ون شنگ لی[4]، یه چنگ وانگ[5]، یوان وی د[6]و، در پژوهش خود در سال ۲۰۲۲ با نام روش جاپای بوم‌شناختی اضطراری با در نظر گرفتن عدم قطعیت و کاربرد آن در ارزیابی منابع دامداری دریایی و ظرفیت حمل محیطی این مطالعه با ترکیب تجزیه‌وتحلیل سیستم اضطراری مرتع‌داری دریایی و قوانین حسابداری مدل جاپای بوم‌شناختی، منابع عدم قطعیت در ارزیابی دامداری دریایی را با استفاده از مدل جاپای بوم‌شناختی تجزیه‌وتحلیل کرد.

عباس عبد شاهی و همکاران, در پژوهش خود با عنوان تأثیر شاخص‌های اکولوژیکی بر رشد اقتصادی در ایران که در سال (۱۴۰۰) انجام دادند که در این مطالعه به بررسی شاخص جاپای بوم‌شناختی و ظرفیت زیستی بر رشد اقتصادی ایران در چارچوب تابع تولید پرداخته شد. پس از ارزیابی نتایج مانایی متغیرها, با استفاده از رهیافت مدل خود توضیحی با وقفه‌های گسترده (ARDL) به بررسی روابط بلندمدت و کوتاه‌مدت بین متغیرها پرداخته شد. نتایج پژوهش حاکی از آن است که شاخص جاپای بوم‌شناختی با وجود اثرگذاری منفی بر رشد اقتصادی، فاقد معنی‌داری آماری بود. در مقابل, میزان سرمایه, مصرف انرژی و ارتقای ظرفیت زیستی ,مطابق انتظار, تأثیری مثبت و معنادار بر رشد اقتصادی بر جا می‌گذارند.

مریم نظری، محسن کلانتری، در سال ۱۴۰۱ مقاله پژوهشی خود را با عنوان بررسی عوامل مؤثر بر جاپای بوم‌شناختی (مورد مطالعه شهری: ساری) انجام داده‌اند. جاپای بوم‌شناختی در بخش مصرف) شامل جاپای بوم‌شناختی، مسکن، خدمات و حمل‌ونقل (در چهار منطقه شهر ساری محاسبه‌شده که با توجه به نتایج حاصله از تجزیه تحلیل اطلاعات به‌دست‌آمده جاپای بوم‌شناختی مصرف در شهر ساری برابر ۹/۰۳ و ظرفیت زیستی این شهر برابر ۹/۹۰ هکتار جهانی به ازای هر فرد است که در نتیجه با مقایسه ظرفیت زیستی و جاپای بوم‌شناختی شهر ساری کمبود اکولوژیک داشته و به لحاظ اکولوژیک ناپایدار است. بین جاپای محاسبه‌شده در بخش مصرف، حمل‌ونقل با جاپای بوم‌شناختی ۳۳۰۳۰/۲۳ هکتار جهانی بیش‌ترین جاپای بوم‌شناختی را به خود اختصاص داده است و همچنین با تحلیل جاپای بوم‌شناختی در

1. Yongming Huang
2. Mohammad Haseeb
3. Mathis Wackernagel
4. Wen-Sheng Li
5. Ye-Cheng Wang
6. Yuan-Wei Du

مناطق چهارگانه شهر ساری مشخص شد که منطقه یک نسبت به سایر مناطق این شهر از الگوی مصرف بیشتری پیروی می‌کند. در این میان آگاهی از وضعیت آینده پایداری تهران در ارتباط با جاپای بوم‌شناختی آن می‌تواند از غافلگیری مدیران شهری در ارتباط با وضعیت آینده تهران جلوگیری کند. لذا این مقاله به بررسی پایداری کلان‌شهر تهران با استفاده از روش جاپای بوم‌شناختی می‌پردازد و در پی پاسخگویی به این سؤال است که آیا توان و ظرفیت بوم‌شناختی کلان‌شهر تهران قادر به پاسخگویی به نیازهای کنونی ساکنان خود خواهد بود.

تاکنون یعنی تا سال ۱۴۰۳ پژوهش‌های که در ارتباط با جاپای بوم‌شناختی شهر تهران انجام‌نشده در این پژوهش سعی بر آن است که بررسی و عملکرد جاپای بوم‌شناختی در ارتباط با پایداری کلان‌شهر تهران در ابعاد مختلف بررسی گردد و میزان و توان اکولوژی و پایداری آن بررسی و محاسبه و به راهکار مناسب برای آینده شهر تهران به دست آورد. مقایسه نتایج این پژوهش با یافته‌های پژوهش‌های مشابه گذشته، بیان‌کننده مطالب قابل‌توجهی است. ساسان پور جاپای بوم‌شناختی کلان‌شهر تهران در سال ۱۳۹۰ معادل ۳/۷۹ هکتار برای هر نفر به دست آورده بود. در تحقیق دیگری در سال ۱۳۹۲ که توسط مهدی قرخلو با عنوان ارزیابی پایداری توسعه شهری با روش جای پای اکولوژیکی شهر کرمانشاه انجام گرفت. نتایج این پژوهش نشان‌دهنده جاپای اکولوژیکی ۱/۸۲ هکتار برای هر نفر بوده است. همچنین بر اساس مطالعات شایسته و همکاران ارزیابی ظرفیت برد و امنیت اکولوژیکی شهر سنندج به روش جاپای بوم‌شناختی پرداختند که دارای جاپای معادل ۱/۴۳ هکتار برای نفر از ساکنین این شهرستان می‌باشد. در این مقایسه میزان جا پای بوم‌شناختی شهر تهران نسبت به شهرستان‌های کرمانشاه و سنندج بسیار بالاتر و بزرگ‌تر و نسبت به محاسبات بوم‌شناختی در سال ۱۳۹۰ ساسان پور نه‌تنها کمتر بلکه نزدیک به دو برابر آن رشد کرده است .با توجه به این مقایسه صورت گرفته در مورد پژوهش‌های که قبال انجام‌گرفته نشان می‌دهد که کلان‌شهر تهران به‌طور قابل‌توجهی بیش از ظرفیت زیستی جهانی مصرف می‌کند و برای تأمین نیازهای خود، به زمینی بسیار بیشتر از مساحت فعلی‌اش یعنی بیش از ۴۰۰ برابر مساحت کنونی نیاز دارد. میزان جای پای بوم‌شناختی تهران که ۳.۵۴ هکتار بیشتر از سهم جهانی‌اش است. نتایج و بررسی‌های این تحقیق نشان می‌دهد که جاپای بوم‌شناختی کلان‌شهر تهران معادل ۶/۱۲ هکتار به ازاء هر نفر از ساکنین این شهر در سال ۱۴۰۰ و برآورد آینده‌پژوهی برای شهر تهران در افق ۱۴۲۰ می‌باشد، با توجه به ظرفیت زیستی این شهر که معادل هکتار به ازای هر فرد است ۰/۰۱۴۱ شهر تهران برای مواجهه با مشکل ناپایداری در کلان‌شهر تهران و کاهش جاپای بوم‌شناختی، لازم است که به‌طور جامع و چندجانبه اقداماتی صورت گیرد.

مبانی نظری

پایداری، به معنی تداوم در امری همچون فعالیت و ایجاد "موازنه پویا" میان عوامل مؤثر فراوان نظیر عوامل طبیعی، اجتماعی، اقتصادی، موردنیاز نوع بشر می‌باشد (مرصوصی و همکاران،۱۳۹۰). پایداری و توسعه پایدار دو مفهومی هستند که توجهاتی در سطح ملی و بین‌المللی به دلیل چالش‌های توسعه، حفظ محیط‌زیست، انرژی، تغییرات آب و هوایی، رفاه انسانی و دیگر مسائل مرتبط با محیط‌زیست را به خود جذب کرده است. بااین‌حال در سال‌های اخیر تغییر رویکردی در برنامه‌های مقابله با این مشکلات رخداده است. در واقع توسعه پایدار به‌عنوان یک استراتژی رشد در محیط ساخته‌شده است (ساسان پور:۱۳۹۵). توسعه پایدار به یک الگوی فراگیر برای رشد زمینه‌های اقتصادی، عدالت اجتماعی و حفاظت زیست‌محیطی تبدیل‌شده است. در سه دهه گذشته مطالعات مختلفی در مورد توسعه پایدار انجام‌شده است (Olawumi & Chan, 2018; Zemigala, 2019) در ۲۰ سال اخیر مدیریت شهری یکی از چالش‌های اصلی توسعه پایدار بوده است (Bibri & Krogstie, 2017; Bouzguenda et al, 2019) شهر اکولوژیکی شهری پایدار که می‌تواند به

ساکنین یک زندگی معنادار بدهد بدون اینکه پایگاه اکولوژیکی که بر روی آن اتکا دارد را تخریب کند این دید باید در بازسازی بافت‌های موجود شهری توسعه‌های جدید در اطراف شهرها و شهرهای جدید به کار گرفته شود (محمد بهزاد پور، سحر بهزادیان،۷۵:۱۳۹۴). بین سال‌های ۱۸۹۰ تا ۱۹۲۵ پاتریک گدس بیش از همه در مورد مفاهیم اکولوژی شهری به تحقیق و نظریه‌پردازی پرداخته است. اکولوژی شهری پیش‌شرطی است که شهرها بتوانند محیط متناسب برای زندگی شهروندان خود عرضه نمایند و پیشرفت‌های تکنولوژی فقط همراه با اکولوژی می‌تواند در خدمت شهر قرار گیرد (محمد بهزاد پور، سحر بهزادیان،۷۳:۱۳۹۴). اکولوژی شهری مطالعه اکوسیستم‌های که شامل انسان‌های است که در شهرها زندگی می‌کنند و مناظر شهری که درحال‌توسعه هستند. به دلیل ماهیت بین‌رشته‌ای و تمرکز منحصربه‌فرد آن بر انسان و سیستم‌های طبیعی، اصطلاح "اکولوژی شهری " به‌طور متفاوتی برای توصیف مطالعه انسان در شهرها، طبیعت در شهرها، و روابط متقابل بین انسان و طبیعت استفاده‌شده است (Marzluff,2008). جاپای بوم‌شناختی روش و رویکردی است که میزان مداخله در طبیعت را نشان می‌دهد. این روش به ارزیابی و میزان تأثیر انسان بر محیط می‌پردازد و تعیین می‌کند که میزان بار و فشار وارده بر طبیعت چقدر است. این رهیافت از دو دهه پیش توسط ویلیام ریز، زیست‌شناس و برنامه‌ریز منطقه‌ای ابداع‌شده است که در آن میزان نیاز سالانه یک کشور، یک شهر، یک محله و یا یک خانواده به مقدار زمین و دریای مولد از نظر بوم‌شناختی که با فن‌آوری‌های موجود، تمامی نیازها آن‌ها را به‌طور همیشگی تأمین کند محاسبه می‌نماید (واکرناگل و ریز،۲۶:۱۹۹۶–۲۵). جاپای بوم‌شناختی یکی از شاخص‌های محیط‌زیستی است که می‌توان با استفاده از آن، ارزیابی به نسبت جامعی از تخریب نهفته محیط‌زیست نشان داد .علاوه بر این، شاخص جاپای بوم‌شناختی بیانگر پایداری و کارایی اکولوژیکی نیز هست (Nijkamp et al.,2004; Wiedmann et al.,2006). در واقع جاپای بوم‌شناختی میزان آب و زمین حاصلخیز برای تأمین نیاز و دفع ضایعات انسان‌ها را نشان می‌دهد. (Razi Teimouri et al.,2014). جای پای بوم‌شناختی ابزاری است برای سنجش که به ما کمک می‌کند، تشخیص دهیم نیاز به مصرف منابع و جذب فضولات یک جامعیت مشخص و یا برنامه اقتصادی معین با احتساب زمین حاصلخیز و مناسب تا چه اندازه است (ماتیس واکرناگل, ویلیام ریس:۱۹۹۶). میزان جاپای بوم‌شناختی نشان‌دهنده مقدار مصرف (تقاضای مردم برای کالاهای طبیعی و خدمات) است و معادل مقدار زمین یا آب موردنیاز برای تأمین نیازهای مصرفی جامعه و جذب پسماندهای تولیدی آن‌ها می‌باشد. به‌عبارت‌دیگر، جاپای بوم‌شناختی نمایانگر آثاری است که هر جامعه بر طبیعت به‌واسطه سبک و شیوه زندگی خود به‌جا می‌گذارد.(Anielski & Wilson, 2005:37) . رویکرد تحلیل جای پا بر این استوار است که برای مصرف هر نوع محصول یا انرژی، مقدار مشخصی از اقلیم در یک یا چند ناحیه اطراف برای فراهم کردن منابع مصرفی و حذف ضایعات آن لازم است. بر این اساس برای تأمین تمام اراضی موردنیاز برای جبران مدل مصرف ویژه. کاربری‌های مختلف باید در نظر گرفته شود. برآورد جاپای بوم‌شناختی یک جمعیت معین. فرآیندی چندمرحله‌ای است که به شرح فرایند مصرف منبع. هدر رفت و جذب منابع تولیدی مربوط می‌شود (Wackernagle & Rees,2007:65-67). پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰ شهرها میزبان ۶۵ درصد از ۹ میلیارد نفر مورد انتظار باشد (FAOSTAT, 2017).

روش پژوهش

روش این پژوهش از نظر نوع توصیفی– تحلیلی و از نظر هدف کاربردی است. برای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از روش‌های محاسباتی جاپای بوم‌شناختی استفاده می‌شود و سپس از نرم‌افزار GIS برای نمایش نتایج استفاده می‌شود.

مرحله اول: در مرحله نخست، با بهره‌گیری از منابع اسنادی، کتابخانه‌ای و وب‌سایت‌های اینترنتی، و به روش توصیفی، همچنین با مراجعه به سازمان‌های مربوطه، اطلاعات موردنیاز گردآوری و استخراج خواهد شد.

مرحله دوم: در این مرحله، با بهره‌گیری از روش ترکیبی «جاپای بوم‌شناختی»، که شامل تلفیق دو رویکرد استقرایی و قیاسی است، به ارزیابی جاپای بوم‌شناختی کلان‌شهر تهران خواهیم پرداخت. انجام این روش لازمه تحلیل داده‌ها و بررسی توان بوم‌شناختی کلان‌شهر تهران در منطقه‌ای به مساحت ۱۳۳۶ کیلومترمربع است. یکی از مهم‌ترین مراحل تحقیق، جمع‌آوری داده‌های لازم برای اندازه‌گیری جاپای بوم‌شناختی است. این داده‌ها عمدتاً از جداول آماری کشور مرکز آمار ایران سال ۱۴۰۰ که شامل اطلاعاتی درباره مصرف انرژی، غذا و سایر منابع است، تأمین می‌شود. محاسبات طبق روش کلی واکرناگل و ریز (۱۹۹۶) حاوی موارد زیر است:

۱- برآورد و اندازه‌گیری سالانه مصرف مواد اصلی با استفاده از آمار و اطلاعات مصرفی منطقه‌ای و تقسیم کل مصرف بر تعداد جمعیت انجام می‌شود..

۲- برآورد و سنجش زمین اختصاصی موردنیاز برای تولید هر نمونه مصرفی برای هر شخص از روش تقسیم میانگین مصرف سالانه هر نمونه بر میانگین سالانه تولید یا عملکرد زمین.

۳- محاسبه میانگین کل جاپای بوم‌شناختی هر نفر با جمع‌آوری تمام مناطق اکوسیستم اختصاص‌یافته به هر فرد.

۴- انتخاب جاپای بوم‌شناختی (EFp) برای جمعیت سرزمین موردنظر (N) با احتساب حاصل‌ضرب میانگین جاپای بوم‌شناختی هر شخص در مقدار جمعیت. رابطه ۱) $EF_{p=N\times EF}$ $\mathrm{aai}=\frac{\mathrm{ci}}{\mathrm{pi}}$

بااین‌حال، بسیاری از کالاهای مصرفی مانند مبلمان، لباس و لوازم‌خانگی شامل سرمایه‌های قابل‌توجهی هستند و امکان برآورد جداگانه و منطقی آن‌ها بسیار دشوار است. بنابراین، ما کل جاپای بوم‌شناختی را با استفاده از روش محاسبه جای پای فرد عادی (EF)، یعنی سرانه جاپای بوم‌شناختی افراد از روش رابطه ۲، با ارزیابی تمامی کالاهای که در طول سال در سبد خرید دارد و اقلام مصرفی و خدمات محاسبه می‌گردد. رابطه ۲) $ef = \sum aai \ \mathrm{i}= 1\ tom$

سرانجام جاپای بوم‌شناختی یک جمعیت موردپژوهش FE_{p} را با کمک رابطه ۳ در ضرب کردن جاپای بوم‌شناختی فرد متوسط در تمام جمعیت هدف (N) محاسبه می‌کنیم: رابطه ۳) $\mathrm{EF_p} = N(ef)$

فرمول بالا برای محاسبه جاپای بوم‌شناختی کل در یک جمعیت استفاده می‌شود. با ضرب جاپای بوم‌شناختی سرانه (ef)در تعداد جمعیت(N) ، می‌توانید جاپای بوم‌شناختی کل برای آن جمعیت را به دست آورید. برای درک میزان فشار مصرفی و تأثیرات محیطی، باید جاپای بوم‌شناختی سرانه محاسبه شود. این عدد نشان می‌دهد که هر فرد یا واحد مصرف چه مقدار از ظرفیت زیستی زمین را اشغال می‌کند. سپس با ضرب جاپای بوم‌شناختی سرانه در تعداد جمعیت، جاپای بوم‌شناختی کل به دست می‌آید.. (واکرناگل و ریز، ۲۰۰۷).

مرحله بعدی، سنجش سرانه گستره زمین تصرف‌شده برای تولید هر یک از مجموعه یا زیرمجموعه‌های مصرفی است که با تقسیم متوسط مصرف سالانه آن کالا به میانگین مساحت زمین موردنظر به دست می‌آید. نوع کاربری و سیستم زمین برای برآورد جاپای بوم‌شناختی در جدول ۱ نشان داده‌شده است (ساسان پور، ۱۳۹۰)

جدول ۱. مجموعه‌های انواع کاربری‌های زمین در بخش مصرفی. (واکرناگل و ریز، ۲۰۰۷)

مجموعه کاربری‌ها مصرفی	زیرمجموعه‌ها
مصرف انرژی مستقیم (غیر از بخش حمل نقل)	سوخت مایع، نفت، گازوئیل (به‌جز مصرف در حمل‌ونقل) برق، گاز،، سوخت جامد (مانند زغال‌سنگ)، و سایر انواع سوخت‌ها
حمل‌ونقل و جابجایی	مسافرت با ماشین، موتورسیکلت و قایق‌های رودخانه‌ای (همگی به‌عنوان تمرین)، مسافرت هوایی (شامل سفرهای تفریحی و سفرهای تجاری)، مسافرت با قطار (شهری و بین‌شهری)، مسافرت با اتوبوس‌های دیزلی و سایر وسایل حمل‌ونقل افراد
کالاها و خدمات، و مدیریت ضایعات	جای پای کالاها و خدمات (شامل کالاها و مواد مختلف)، اعتبار بازیافت انرژی، و اعتبار بازیافت انرژی از طریق بازیافت
کالاها و خدمات، و مدیریت پسماندها	منابع تصفیه پساب، منابع تصفیه آب آشامیدنی، منابع کنترل آلودگی هوا، و منابع حذف آلودگی‌های زمینی
غذا	غذای حیوانی، غذای گیاهی
مسکن	ساخت سرپناه (شلتر (Shelter) یا سرپناه به سازهای موقتی یا دائمی برای اسکان افراد در شرایط اضطراری یا نیازهای خاص اشاره دارد)، اعتبار ساخت سرپناه برای بازیافت، زمین‌های شهری (زمین‌های مورداستفاده در حوزه‌های ساخت)

مرحله بعدی، برآورد سرانه مقدار زمین تصرف‌شده برای تولید هر یک از مجموعه‌ها یا زیرمجموعه‌های مصرفی است که با تقسیم متوسط مصرف سالانه آن محصول به میانگین مقدار زمین هدف به دست می‌آید (ساسان پور، ۱۳۹۰). نوع کاربری و سیستم زمین برای برآورد جاپای بوم‌شناختی در جدول ۲ نشان داده‌شده است.

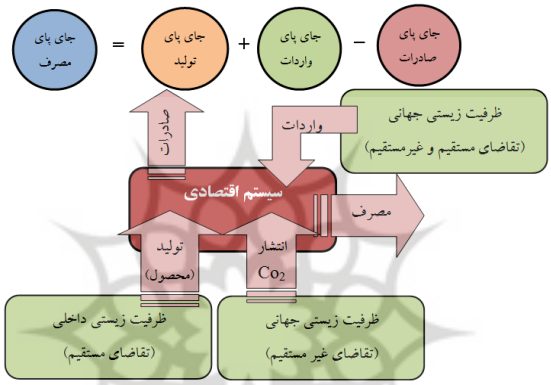
جدول ۲. نوع زمین، کاربری، و ساختار آن برای سنجش جاپای بوم‌شناختی. (واکرناگل و ریز، ۲۰۰۷)

نوع زمین	کاربری	ساختارها
زمین قابل‌مصرف انرژی	زمین تصرف‌شده از طریق کاربرد انرژی فسیلی	زمین انرژی دی‌اکسید کربن
زمین‌های توسعه‌یافته	ساخت‌وساز مسکونی، صنعتی، و زیرساختی	استفاده برای سکونت و فعالیت‌های صنعتی
زمین مصرف موجود	باغ‌ها	محیط ساخته‌شده قابل‌برگشت
	زمین‌های زراعی	استفاده برای کشت و تولید غذا
	مراتع, جنگل‌ها	استفاده برای چرا و پرورش دام، حفظ تنوع زیستی و جذب دی‌اکسید کربن
زمین‌های محدود	جنگل‌های دست‌نخورده	اکوسیستم‌های بارور طبیعی
	مناطق غیر بارور	بیابان‌ها, یخ‌پهنه‌ها

جاپای بوم‌شناختی در ساختار اولیه خود از طریق رابطه ۴ محاسبه می‌شود(Ecological Footprint (EF: F≡ $\frac{D\ ANNUAL}{Y\ ANNUAL}$

در این فرمول: F(D ANNUAL) مقدار مصرف (تقاضا) سالانه برای منابع یا خدمات بوم‌شناختی که توسط یک منطقه یا جمعیت موردنیاز است. Y(ANNUAL) ظرفیت تولید سالانه (یا عرضه) محیط‌زیستی برای تأمین این منابع یا خدمات. واحد اندازه‌گیری جاپای بوم‌شناختی «هکتار جهانی» یا Global Hectares (gha) است. یک هکتار جهانی نمایانگر یک هکتار از زمین یا آب با میانگین بهره‌وری زیستی در سطح جهانی است. هکتار جهانی با استفاده از دو عامل کلیدی ارزیابی می‌شود: بهره‌وری زیستی بر اساس نوع زمین یا اکوسیستم و ضریب برابری. این فرمول نشان می‌دهد که جاپای بوم‌شناختی با مقایسه میزان مصرف با ظرفیت بازتولید محیط‌زیستی اندازه‌گیری می‌شود. بنابراین، جاپای بوم‌شناختی به شکل رابطه ۵ خواهد بود: $EF= \frac{P}{Y\ N} \times YF \times EQF$

EF جاپای بوم‌شناختی (Ecological Footprint) که با واحد هکتار جهانی (gha) اندازه‌گیری می‌شود :P .تقاضای زیستی (Biocapacity demand)، یعنی مقدار منابعی که توسط یک جمعیت یا منطقه مصرف می‌شود :Y .بازده یا بهره‌وری زیستی (Biological Productivity) است که نشان‌دهنده توان بازتولید منابع توسط محیط است :**N** .تعداد جمعیت یا اندازه منطقه. ین فرمول به‌طورکلی نشان می‌دهد که جاپای بوم‌شناختی یک جمعیت یا منطقه با تقسیم تقاضای زیستی بر بهره‌وری زیستی محاسبه می‌شود. :YF عامل بهره‌وری (Yield Factor)، که تفاوت بهره‌وری زیستی یک نوع خاص از زمین در یک کشور یا منطقه را نسبت به میانگین جهانی اندازه‌گیری می‌کند :EQF .ضریب برابری (Equivalence Factor)، که برای استانداردسازی تفاوت‌های بین انواع مختلف اکوسیستم‌ها (مثل جنگل‌ها، مرتع‌ها، یا زمین‌های کشاورزی) استفاده می‌شود تا بهره‌وری زیستی آن‌ها را به مقیاس جهانی تبدیل کند. این فرمول نشان می‌دهد که چگونه بهره‌وری زیستی خاص منطقه و نوع اکوسیستم برای محاسبه هکتار جهانی استاندارد می‌شود. شکل زیر ورود و خروج منابع را در یک مجموعه (منطقه) را نمایش می‌دهد.



شکل ۱. روند تولید و صادرات و واردات منابع درون یک مجموعه

بعد از ارزیابی جاپای بوم‌شناختی، ظرفیت زیستی برای تعیین پایداری یا ناپایداری محاسبه‌شده و با جاپای بوم‌شناختی مقایسه می‌شود ظرفیت زیستی یک منطقه برای هر نوع پهنه زمین مطابق رابطه ۶ محاسبه می‌شود.$BC= A \times YF \times EQF$

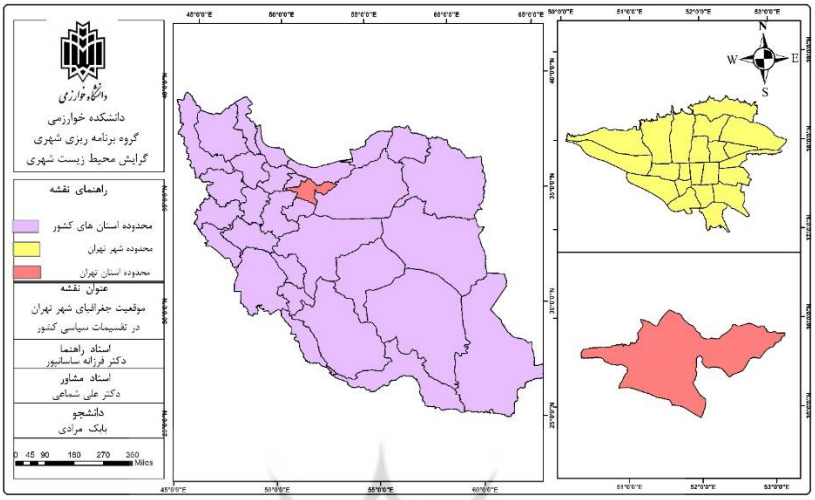
BC : ظرفیت زیستیA نواحی موجود برای مصرف یک نوع زمین معین YF و EQF :به ترتیب ضریب بازده و ضریب تعادل برای انواع پهنه‌های زمین (سردارآبادی، ۱۳۹۳).

مرحله سوم: همچنین برای تحلیل و نمایش داده‌ها از نرم‌افزار GIS استفاده خواهد شد.

محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، کلان‌شهر تهران است. پرجمعیت‌ترین شهر و پایتخت ایران و همچنین مرکز استان و شهرستان تهران محسوب می‌شود. طبق برآوردهای جمعیتی سال ۱۴۰۰، جمعیت تهران ۱۲۲۱۹۱۳۵ نفر و شامل ۳,۲۵۳,۶۲۳ خانوار بوده است کلان‌شهر تهران با مساحتی بیش از ۷۰۰ کیلومترمربع، در محدوده عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵۷ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۴ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۴۷ دقیقه شرقی قرارگرفته است. و از شمال به سلسله جبال البرز، از شرق به لواسانات، از غرب به کرج و از جنوب به ورامین محدود می‌شود (سالنامه آماری شهر تهران، ۱۴۰۰: ۴۶). کلان‌شهر تهران با اختلاف ارتفاعی حدود ۸۰۰ متر از شمال به جنوب،

در دامنه‌های جنوبی البرز مرکزی گسترده شده است. این کلان‌شهر به‌عنوان مرکز تصمیم‌گیری کشور و محل تجمع بیشترین امکانات در زمینه‌های اقتصادی، صنعتی، خدماتی، آموزشی، تحقیقاتی، اداری و سیاسی شناخته می‌شود. اقلیم کلان‌شهر تهران در مناطق جنوبی گرم و خشک است، درحالی‌که در نواحی نزدیک به کوهستان، سرد و نیمه‌خشک می‌باشد. در مناطق مرتفع‌تر، اقلیم سرد و با زمستان‌های طولانی همراه است. (سالنامه آماری تهران،۱۲:۱۳۹۷).



شکل ۱. نقشه تقسیمات سیاسی ایران و موقعیت جغرافیایی استان تهران و کلان‌شهر تهران

یافته‌ها

اقلام مصرف

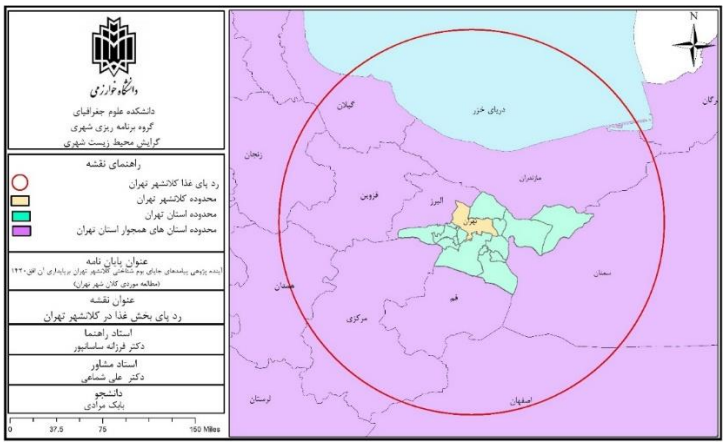
برای گردآوری اطلاعات در مورد مصرف، از طبقه‌بندی متداول در آمارهای رسمی استفاده می‌شود. به همین منظور، مصرف به پنج دسته مجزا تقسیم می‌گردد: ۱) غذا، ۲) حمل‌ونقل، ۳) کالا و خدمات، ۴) تجاری، و ۵) صنعتی،۶) مسکن. تولید و مصرف کالاها و خدمات به حاصلخیزی بوم‌شناختی خاصی وابسته است که می‌توان آن را به مساحت زمین موردنیاز تبدیل کرد. جمع کل زمین‌های لازم برای تولید تمام اقلام مصرفی و دفع ضایعات، به جاپای بوم‌شناختی جمعیت موردنظر مرتبط است. (Wackernagel, 2003:1). در مرحله نخست محاسبه، با استفاده از اطلاعات و داده‌ها و آمارهای موجود در سطوح ملی، منطقه‌ای و محلی، میانگین مصرف سالیانه اقلام موردنظر در حوزه‌های مختلف مصرفی بر اساس مجموع مصرف و جمعیت برآورد می‌شود. (ساسان پور،۳۰۴:۱۳۹۰). برای محاسبه و ارزیابی زمین انرژی، داده‌های مرتبط به مصرف انرژی (برق، گاز و انواع سوخت‌ها) از داده‌های گرفته‌شده از سوی شرکت پخش فرآوردهای نفتی شهر تهران (۱۴۰۰) و همچنین سالنامه آماری استان تهران (۱۴۰۰) و استخراج و داده‌ها را با استفاده از ضرایب تبدیل انرژی به یک مقیاس مشترک، یعنی گیگاژول، تبدیل می‌کنند. برای محاسبه زمین انرژی، این اندازه‌ها باید به هکتار تبدیل شود. بر همین دلیل با توجه به نظر واکرناگل، برای جذب دی‌اکسید کربن (CO_2) متأثر از مصرف ۱۰۰ گیگاژول سوخت فسیلی، به یک هکتار زمین حاصلخیز، نظیر جنگل لازم است. در گروه کالا و خدمات مصرفی، از آمار و اطلاعات هزینه و درآمد خانوار استفاده‌شده است. به همین جهت می‌توان متوسط هزینه خانوار را در هر گروه محاسبه و با استفاده از روش واکرناگل، مقدار انرژی هر یک از بخش‌های کالا و خدمات را محاسبه کرد. به‌منظور تبدیل هزینه کالا و خدمات به زمین، نخست هزینه‌ها را با در نظر گرفتن ضرایب مربوطه به واحد معادل بشکه نفت خام تبدیل می‌شوند و بعدازآن به واحد گیگاژول محاسبه می‌گردند. بر اساس نظر واکرناگل، هر ۱۰۰ گیگاژول معادل یک هکتار زمین استفاده

می‌شود. در جهت احتساب انرژی مصرفی هر شخص، بعد خانوار (۳/۳ نفر) در تهران اعمال‌شده است. برای محاسبه جاپای بوم‌شناختی مواد غذایی در زمین‌های کشاورزی، غذا به دو دسته گیاهی و حیوانی تقسیم‌شده است. با توجه به اطلاعات و داده‌های جهاد کشاورزی استان تهران و با در نظر گرفتن عملکرد هر یک از این محصولات، مقدار زمین موردنیاز برای هر فرد در این بخش محاسبه می‌گردد. به‌منظور برآورد میزان مصرف غذایی در شهر تهران، داده‌های مربوط به مصرف مواد غذایی از بخش هزینه و درآمد سالنامه آماری استان تهران استخراج‌شده و میزان مصرف سالانه هر یک از محصولات خوراکی محاسبه گردیده است. در ادامه برای تخمین زمین‌های لازم جهت تولید این میزان، از تناسب سطوح زیر کشت و مقدار تولید محصولات کشاورزی شهرستان بر اساس سیمای کشاورزی شهرستان تهران در سال زراعی ۱۴۰۰–۱۴۰۱ استفاده‌شده است. با توجه به نظر واکرناگل، برای محاسبه زمین کشاورزی در بخش کالا و خدمات باید از میزان مصرف پنبه و معادل زمین آن استفاده کرد، بر پایه این تئوری، مصرف زمین کشاورزی این بخش مربوط به پنبه می‌باشد. طبق آمار فائو (۲۰۱۴)، سرانه مصرف پنبه در کشور ۴/۹ کیلوگرم در سال بوده است. در بخش مراتع کلان‌شهر تهران، ابتدا میزان علوفه قابل‌دسترس برای تغذیه دام محاسبه می‌شود. علوفه موردنیاز گوسفند و بز به این بخش اختصاص داده‌شده است. با احتمال به این موضوع که اکثر محصولات چوبی به بخش کالا و خدمات تعلق دارد، تمامی اراضی جنگلی به این بخش تعلق می‌گیرد. و برای دیگر بخش‌های مصرفی مانند غذا، مسکن و حمل‌ونقل در نظر گرفته نمی‌شود. سرانه مصرف چوب در کشور ایران و کلان‌شهر تهران برابر با ۰/۳ مترمکعب است. با توجه به اینکه عملکرد جنگل‌های کل کشور ۱/۱ مترمکعب در سال است و جمعیت کلان‌شهر تهران ۱۲۲۱۹۱۳۵ نفر می‌باشد، می‌توان به ارزیابی دقیق‌تری از نیاز به منابع چوبی پرداخت. ازآنجاکه منطقه پشتیبانی کلان‌شهر تهران ایران، است و میزان جاپای بوم‌شناختی ایران در گزارش سیاره زنده محاسبه‌شده است از آمار این گزارش برای بخش زمین دریا استفاده می‌کنیم که این میزان برابر با ۰.۸ هکتار برای هر فرد می‌باشد. در بخش مساحت مربوط به چهار بخش مصرفی: حمل‌ونقل (معابر، پارکینگ و انبارداری)، مسکن و کالا و خدمات (دیگر کاربری‌های شهری) جهت محاسبه در بخش زمین ساخته‌شده در سطح شهر تهران مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. تمامی محاسبات شرح داده‌شده با توجه به جمعیت ۱۲۲۱۹۱۳۵ نفری (سالنامه آماری استان تهران، ۱۴۰۰: ۱۱۰). کلان‌شهر تهران در سال ۱۴۰۰ صورت گرفته است.

جدول ۳. جاپای بوم‌شناختی کلان‌شهر تهران (هکتار)

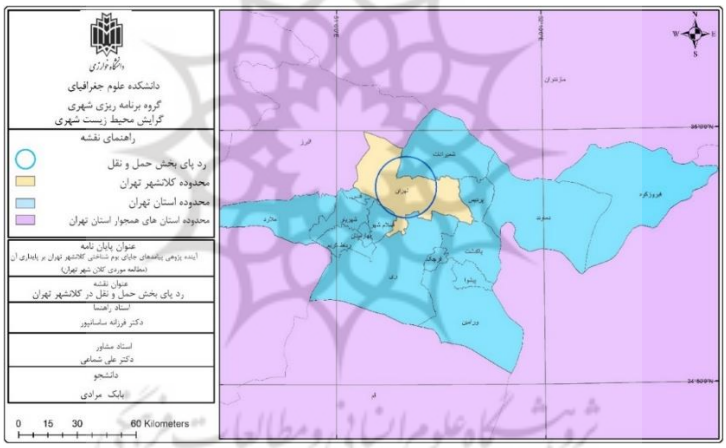
نوع زمین جاپای	انرژی	کشاورزی	مرتع	جنگل	دریا	ساخته‌شده	جمع	کل زمین موردنیاز
غذا	۰/۰۲۲	۱/۴۳	۰/۰۰۵۵	۰	۰/۸	۰/۰۰۰۲۷	۲/۲۶	۲۷۵۸۷۹۹۶/۴
حمل‌ونقل	۰/۱۳	۰	۰	۰	۰	۰/۰۰۱۲	۰/۱۳۱۲	۱۶۰۳۱۵۰/۵۱
کالا و خدمات	۲/۶۰	۰/۰۰۱۶۷۱	۰/۱۲۷	۰/۲۷	۰	۰/۰۰۱۳	۳	۳۶۷۷۹۳۵۲
تجاری	۰/۰۸۳	۰	۰	۰	۰	۰/۰۰۰۲۸	۰/۰۸۳	۱۰۱۷۶۰۹/۵۶
صنعتی	۰/۲۳	۰	۰	۰	۰	۰/۰۰۰۳۱	۰/۲۳	۲۸۱۴۱۸۸/۹۸
مسکن	۰/۴۱	۰	۰	۰	۰	۰/۰۰۱۶	۰/۴۱۲	۵۰۲۹۳۹۵/۹۷
جمع	۳/۴۷	۱/۴۳۱	۰/۱۳۳	۰/۲۷	۰/۸	۰/۰۰۴۹	۶/۱۲	۷۴۸۳۱۶۹۳/۴

در اینجا مساحت‌های اختصاص داده‌شده به جاپای بوم‌شناختی هر یک از این بخش‌های مصرفی را بر روی نقشه‌های GIS نمایش داده می‌شود. همان‌طور که در شکل شماره ۳ نشان داده‌شده است، جاپای بوم‌شناختی غذای مصرفی شهر تهران شامل کل استان تهران و استان‌های هم‌جوار مانند البرز، مازندران، قم، قزوین، مرکزی و بخش‌های از استان‌های زنجان، همدان، اصفهان، گیلان، سمنان و دریای خزر را نیز شامل می‌شود.



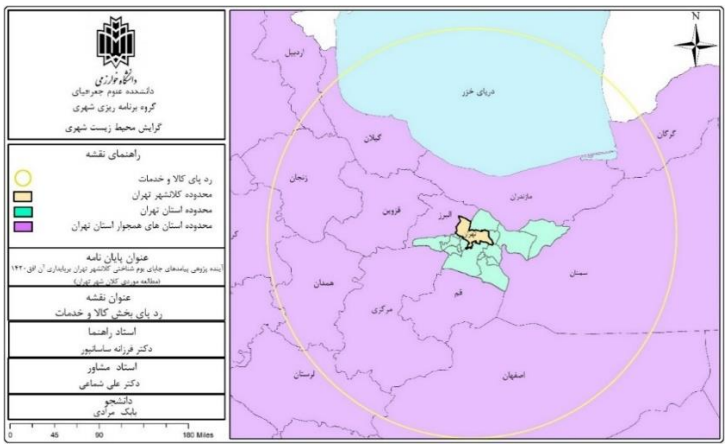
شکل ۳. نقشه جایای بوم‌شناختی بخش غذای مصرفی در کلان‌شهر تهران

مساحت اختصاص داده‌شده به جایای بوم‌شناختی بخش حمل‌ونقل در شکل شماره ۴ نشان داده‌شده است. بر اساس اطلاعات این نقشه، جایای بوم‌شناختی ساکنان کلان‌شهر تهران در بخش حمل‌ونقل فقط در محدوده شهرستان تهران و شهر شمیرانات از توابع استان تهران قرار دارد.



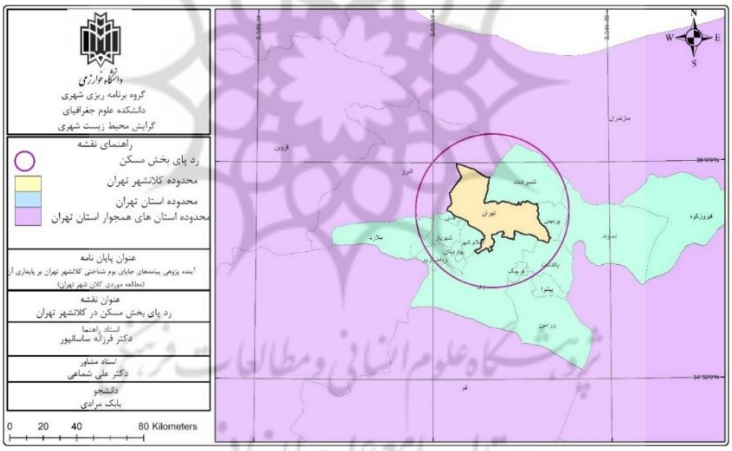
شکل ٤. نقشه جایای بوم‌شناختی بخش حمل‌ونقل در کلان‌شهر تهران

در شکل شماره ۵ مساحتی به جایای بوم‌شناختی بخش کالا و خدمات ساکنان کلان‌شهر تهران نشان داده‌شده است. این بخش به مساحت بیشتری نسبت به بخش‌های دیگر اختصاص‌یافته است. علاوه بر استان تهران، استان‌های دیگری مانند مازندران، البرز، قم، مرکزی، قزوین، گیلان، زنجان، همدان و بخش‌های از استان‌های لرستان، اصفهان، سمنان، گرگان، اردبیل و کردستان و دریای خزر نیز در این بخش شامل می‌شوند.



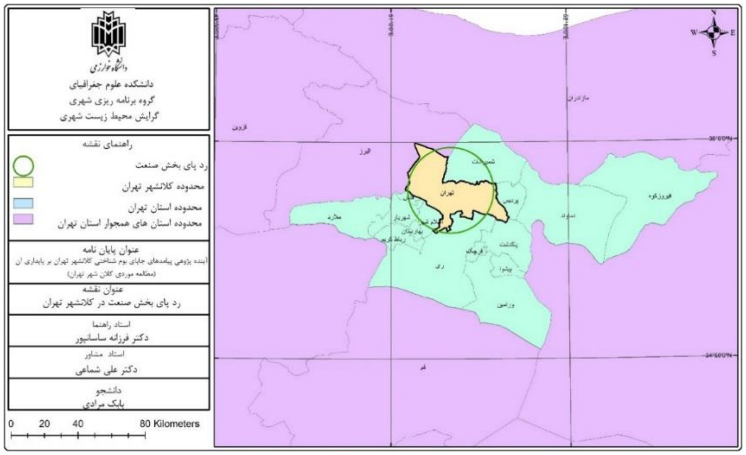
شکل ۵. نقشه جاپای بوم‌شناختی بخش کالا و خدمات در کلان‌شهر تهران

در شکل شماره ۶ مساحتی که به جاپای بوم‌شناختی بخش مسکن ساکنان کلان‌شهر تهران اختصاص داده‌شده است، نمایش داده‌شده است. بر اساس اطلاعات این نقشه، جاپای بوم‌شناختی ساکنان کلان‌شهر تهران در بخش مسکن، به‌جز محدوده این شهرستان، در شهرستان‌های دیگری از استان تهران مانند شمیرانات، پردیس، قدس، اسلام‌شهر، شهریار، بهارستان، قرچک، پاکدشت، و بخش‌های از شهرستان‌های ری، ملارد، ورامین، پیشوا، رباط‌کریم دماوند و بخش‌های از استان البرز و مازندران واقع‌شده است.



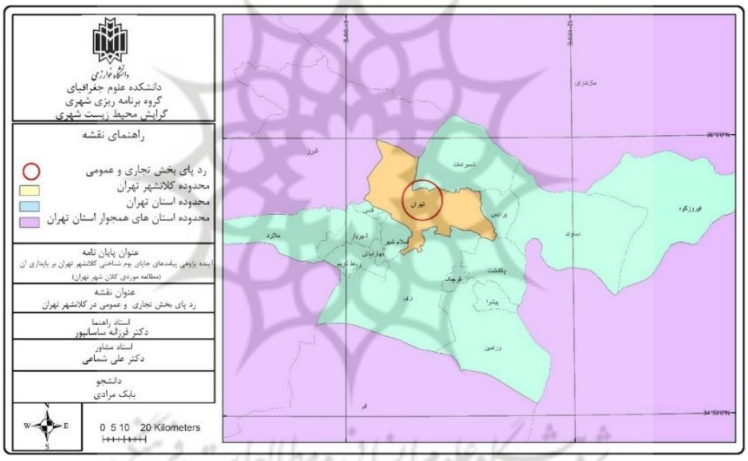
شکل ٦. نقشه جاپای بوم‌شناختی بخش مسکن در کلان‌شهر تهران

مساحت اختصاص داده‌شده به جاپای بوم‌شناختی بخش صنعت در شکل شماره ۷ نشان داده‌شده است. بر اساس اطلاعات این نقشه، جاپای بوم‌شناختی ساکنان کلان‌شهر تهران در بخش صنعت فقط در محدوده شهرستان تهران و شهرهای دیگر استان تهران مانند شمیرانات, ری, قدس, اسلامشهر, شمیرانات، بهارستان، شهریار قرار دارد.



شکل ۷. نقشه جاپای بوم‌شناختی بخش صنعت در کلان‌شهر تهران

مساحت اختصاص داده‌شده به جاپای بوم‌شناختی بخش تجاری و بخش عمومی در شکل شماره ۸ نشان داده‌شده است. بر اساس اطلاعات این نقشه، جاپای بوم‌شناختی ساکنان کلان‌شهر تهران در بخش تجاری و عمومی فقط در محدوده شهرستان تهران قرار دارد.



شکل ۸. نقشه جاپای بوم‌شناختی بخش تجاری و عمومی در کلان‌شهر تهران

پرتال جامع علوم انسانی

محاسبه کسری موازنه

هرگاه EF (جاپای بوم‌شناختی) بوم‌شناختی منطقه بیش از ظرفیت تحمل آن باشد، کمبود بوم‌شناختی ایجاد می‌شود و در صورت کاهش آن، بوم‌شناختی افزایش خواهد یافت. برای محاسبه کسری موازنه بوم‌شناختی، تفاوت بین ظرفیت زیستی و جاپای بوم‌شناختی منطقه محاسبه می‌شود. (رابطه شماره ۷). $EC = BC - EF$

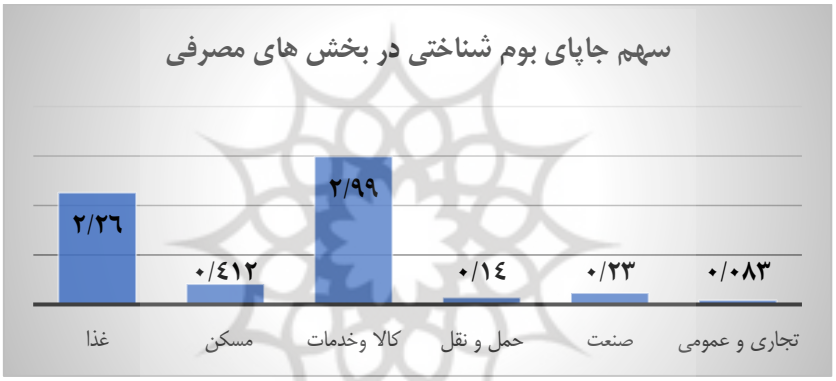
در محاسبات جاپای بوم‌شناختی و ظرفیت زیستی کلان‌شهر تهران، از فاکتورهای معادل و عملکرد (جداول ۴) استفاده‌شده است.

با توجه به نتایج محاسبات جاپای بوم‌شناختی و ظرفیت زیستی کلان‌شهر تهران، این شهرستان دارای کسری بوم‌شناختی به میزان ۷۴۶۳۲۸۹۰.۷ هکتار بوده است. جدول شماره ۴ مقدار این کسری بوم‌شناختی را برای هریک از پهنه‌های زمین نشان می‌دهد.

جدول ٤. کسری موازنه بوم‌شناختی کلان‌شهر تهران (هکتار)

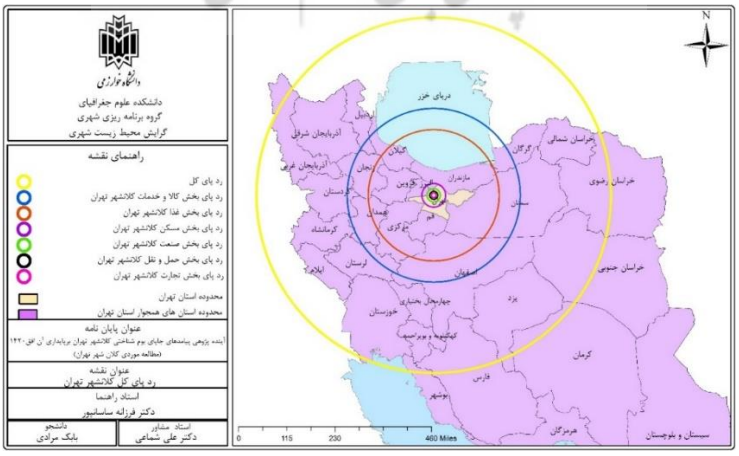
نوع زمین / مقدار	انرژی	کشاورزی	مرتع	جنگل	دریا	ساخته‌شده	جمع
سرانه ظرفیت زیستی	۰	۰/۰۰۰۸۸	۰/۰۰۶۹	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۰۰۰۱۴	۰/۰۰۴۸	۰/۰۱۴۱۸۱۴
سرانه جای پا	۳/۴۶۵	۱/۴۴	۰/۱۳۲	۰/۲۷	۰/۸	۰/۰۰۵۰	۶/۱۰۴
ظرفیت زیستی کل	۰	۱۰۷۲۸	۸۴۰۹۷	۱۹۳۹۵	۱۲۷	۵۸۳۰۶/۷۸	۱۷۲۶۵۳/۷۸
جاپای کل	۴۲۳۳۹۳۰۲/۸	۱۷۵۹۵۵۵۴/۴	۱۶۱۲۹۲۵/۸۲	۳۲۹۹۱۶۶/۵	۹۷۷۵۳۰۸	۶۱۰۹۵/۶۷۵	۷۴۶۸۳۳۵۳/۱۲
کسری موازنه بوم‌شناختی کل	-۴۲۴۶۱۴۹۴/۱	-۱۷۵۸۴۸۲۶/۴	-۱۵۲۸۸۲۸/۸	-۳۲۷۹۷۷۱	-۹۷۷۵۱۸۱	-۲۷۸۸/۸۹۵	-۷۴۶۳۲۸۹۰/۷

با توجه به نتایج محاسبه شاخص جاپای بوم‌شناختی کلان‌شهر تهران در بخش‌های مصرفی غذا، حمل‌ونقل، کالا و خدمات و مسکن، می‌توان اظهار کرد که بخش کالا و خدمات و بخش غذا دارای بالاترین شاخص جاپای بوم‌شناختی هستند. (شکل شماره ۹).



شکل ۹. سهم جاپای بوم‌شناختی در بخش‌های مصرفی

جاپای بوم‌شناختی برای هریک از سکنه کلان‌شهر تهران ۶/۱۲ هکتار می‌باشد. با توجه به جمعیت ۱۲۲۱۹۱۳۵ نفری این شهرستان، برای برطرف کردن نیاز کل افراد به زمینی معادل ۷۴۵۸۷۲۰۰/۷ هکتار نیاز است (نقشه شماره ۱۰). همچنین ظرفیت زیستی این شهرستان طبق جدول شماره ۴ معادل ۱۷۲۶۵۳/۷۸ هکتار برآورد شده است.



شکل ۱۰. نقشه جاپای بوم‌شناختی کل ساکنین کلان‌شهر تهران

مقایسه جاپای بوم‌شناختی کلان‌شهر تهران با جاپای بوم‌شناختی ایران و جهان

میزان جاپای بوم‌شناختی هر فرد ایرانی بر اساس برآورد گزارش سیاره زنده در سال ۲۰۲۲ برابر با ۳/۲۰ هکتار برای هر نفر می‌باشد. در مقایسه با جاپای بوم‌شناختی جهان (جدول شماره 5) جاپای بوم‌شناختی هر ایرانی نسبت به جاپای بوم‌شناختی هر فرد در سطح دنیا ۰/۶۷ هکتار بزرگ‌تر است. یعنی هر فرد ایرانی با این روش و سبک کنونی مصرف خود، ۰/۵ هکتار بیشتر از سهم واقعی خود استفاده می‌کند. بنابراین هر ایرانی به میزان ۰/۶۷ هکتار به محیط پشتیبان و توان بوم‌شناختی‌اش فشار وارد می‌کند. در این میان هر فرد ساکن در شهرستان تهران دارای جاپای بوم‌شناختی ۶/۱۲ هکتار می‌باشد که این مقدار نسبت به جاپای بوم‌شناختی جهان ۳/۵۴ بیشتر می‌باشد. با توجه به ظرفیت زیستی این شهرستان باید گفت کلان‌شهر تهران در مقیاس ملی و محلی و جهانی ناپایدار بوده و بیشتر از ظرفیت زیستی‌اش مصرف می‌نماید.

جدول ۵. مقایسه جاپای کلان‌شهر تهران با ایران و جهان در سال ۲۰۲۲ هکتار)

جاپای بوم‌شناختی هر فرد در دنیا	جاپای بوم‌شناختی هر فرد ایرانی	جاپای بوم‌شناختی هر فرد در کلان‌شهر تهران	بزرگی جاپای ایران به جهان	بزرگی جاپای کلان‌شهر تهران به ایران	بزرگی جاپای کلان‌شهر تهران به جهان
۲/۵۸	۳/۲۵	۶/۱۲	۰/۶۷	۲/۸۷	۳/۵۴

منبع: گزارش سیاره زنده: ۲۰۲۲

بحث

با توجه به محاسبات انجام‌شده شهر تهران برای تأمین نیازهای زیستی و پایداری خود به مساحتی بسیار بزرگ‌تر از مساحت فعلی خود وابسته است. با ادامه الگوی مصرف فعلی، شهر تهران به فضایی حدود 432 برابر مساحت فعلی خود برای تأمین غذا، انرژی و زمین موردنیاز برای جذب دی‌اکسید کربن نیاز دارد. این نتایج نشان می‌دهد که ظرفیت بیولوژیکی و جاپای بوم‌شناختی این شهر با مصرف فعلی منابع پایدار همخوانی ندارد. بخش کالا و خدمات در تهران دارای بالاترین شاخص جاپای بوم‌شناختی در بین سایر بخش‌های مصرف‌کننده است و تقریباً ۵۰ درصد از کل جاپای زیست‌محیطی شهر تهران متعلق به این بخش است. میزان سرانه جاپای بوم‌شناختی در بخش کالا و خدمات برای هر ساکن این شهرستان حدود ۲/۹۹ هکتار برآورد شده است که نشان‌دهنده نیاز این شهرستان به زمینی به مساحت حدود ۳۶۵۳۴۸۵۹ هکتار برای ارائه کالا و خدمات به ساکنین است. کلان‌شهر تهران به‌عنوان پایتخت ایران که در مرکز ایران واقع‌شده و یکی از مراکز ثقل و نقاط مهم صنعتی کشور می‌باشد. این کلان‌شهر نیز با مشکلاتی نظیر افزایش بیش‌ازحد جمعیت روبه‌رو است که این امر فشار فزاینده‌ای را بر منابع مانند آب، زمین و انرژی موجود وارد نموده است و باعث تخریب شدید محیط‌زیست آن شده. این شرایط کاهش تولید محلی، افزایش شکاف طبقاتی، کاهش توانایی اداره زندگی، افزایش حجم ضایعات شهری، افزایش انرژی مصرفی و ساختار اجتماعی نامتعادل را در این کلان‌شهر سبب شده و زمینه ناپایداری آن را فراهم کرده است. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که جاپای بوم‌شناختی کلان‌شهر تهران معادل ۶/۱۲ هکتار به ازای هر نفر از ساکنین این شهرستان می‌باشد، این در حالی است که میزان جاپای بوم‌شناختی هر فرد در دنیا در سال 2022 برابر ۲/۸۵ هکتار می‌باشد. همچنین سرانه ظرفیت زیستی محاسبه‌شده در کلان‌شهر تهران ۰/۰۱۴۱ هکتار و در حالی است که سرانه ظرفیت زیستی هر ایرانی در سال ۲۰۲۲ بر اساس گزارش سیاره زنده برابر است با ۰/۷۵ هکتار برای هر نفر بوده. مقایسه نتایج این پژوهش با یافته‌های پژوهش‌های مشابه گذشته، بیان‌کننده مطالب قابل‌توجهی است. بر اساس پژوهش ساسان پور جاپای بوم‌شناختی کلان‌شهر تهران در سال ۱۳۹۰ معادل ۳/۷۹ هکتار برای هر نفر بوده است. در تحقیق دیگری در سال ۱۳۹۲ که توسط مهدی قرخلو با عنوان ارزیابی پایداری توسعه شهری با روش جای پای اکولوژیکی شهر کرمانشاه انجام گرفت. نتایج این پژوهش نشان‌دهنده جاپای اکولوژیکی ۱/۸۲ هکتار

برای هر نفر بوده است. همچنین بر اساس مطالعات شایسته و همکاران ارزیابی ظرفیت برد و امنیت اکولوژیکی شهر سنندج به روش جاپای بوم‌شناختی پرداختند که دارای جاپای معادل ۱/۴۳ هکتار برای نفر از ساکنین این شهرستان می‌باشد. در این مقایسه میزان جا پای بوم‌شناختی شهر تهران نسبت به شهرستان‌های کرمانشاه و سنندج بسیار بالاتر و بزرگ‌تر و نسبت به محاسبات بوم‌شناختی در سال ۱۳۹۰ ساسان پور نه‌تنها کمتر بلکه نزدیک به دو برابر آن رشد کرده با توجه به این مقایسه صورت گرفته در مورد پژوهش‌های که قبلاً انجام‌گرفته نشان می‌دهد که کلان‌شهر تهران به‌طور قابل‌توجهی بیش از ظرفیت زیستی جهانی مصرف می‌کند و برای تأمین نیازهای خود، به زمینی بسیار بیشتر از مساحت فعلی‌اش یعنی بیش از ۴۰۰ برابر مساحت کنونی نیاز دارد. میزان جای پای بوم‌شناختی تهران که ۳/۵۴ هکتار بیشتر از سهم جهانی‌اش است، نشان می‌دهد که مصرف منابع و تولید پسماندهای این شهر به‌مراتب فراتر از ظرفیت محیطی آن است. در نتیجه، تهران با بحران‌های زیست‌محیطی و ناپایداری شدید مواجه خواهد شد، مگر اینکه تغییرات اساسی در الگوی مصرف و مدیریت منابع صورت گیرد. ازاین‌رو می‌توان آن را از ابزارهای مؤثر و کارآمد در برنامه‌ریزی دانست.. نتایج و بررسی‌های این تحقیق نشان می‌دهد که جاپای بوم‌شناختی کلان‌شهر تهران معادل ۶/۱۲ هکتار به ازاء هر نفر از ساکنین این شهر در سال ۱۴۰۰ می‌باشد، با توجه به ظرفیت زیستی این شهر که معادل هکتار به ازای هر فرد است ۰/۰۱۴۱ شهر تهران برای مواجهه با مشکل ناپایداری در کلان‌شهر تهران و کاهش جاپای بوم‌شناختی، لازم است که به‌طور جامع و چندجانبه اقداماتی صورت گیرد.

نتیجه‌گیری

و با توجه به محدودیت‌های که در این تحقیق که شامل کمبود داده‌های دقیق و به‌روز، عدم شفافیت در آمار رسمی، فقدان استانداردهای یکسان، عدم همکاری نهادهای مختلف (شهرداری تهران، جهاد کشاورزی و ...)، محدودیت‌های مالی و فنی، چالش‌های اجتماعی و فرهنگی مانند عدم آگهی عمومی و الگوهای مصرف، محدودیت‌های جغرافیایی و اقلیمی مانند، تأثیرات تغییرات اقلیمی، گستردگی و تنوع شهر کلان‌شهر تهران از نظر کاربری زمین، تراکم جمعیت و نوع مصرف منابع تنوع بالایی دارد که یکپارچه‌سازی داده‌های مربوط به آن را دشوار می‌کند. موارد مطرح‌شده را می‌توان به‌عنوان محدودیت و مشکلات این تحقیق نام برد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده جدول شماره ۳ محاسبه جاپای بوم‌شناختی کلان‌شهر تهران در بخش کالا و خدمات, غذای مصرفی، حمل نقل، مسکن و بخش‌های تجاری و صنعت به زمینی معادل ۷۴۸۳۱۶۹۳/۴ هکتار نیاز است. بر مبنای مطالعات و محاسبات صورت گرفته در محدوده مورد مطالعه، جاپای بوم‌شناختی ۶/۱۲ هکتار محاسبه‌شده برای هر نفر در تهران نشان می‌دهد که مصرف منابع طبیعی و تولید آلاینده‌ها در این شهر بسیار بالاست. نشان‌دهنده فشار بیش‌ازحد بر منابع است. برای کاهش و جبران این میزان جاپای بوم‌شناختی، راهکارهای مختلفی در سطوح فردی، شهری و سیاست‌گذاری وجود دارد که پیشنهادهای زیر ارائه‌شده است:

راهکارهای فردی

- ✓ کاهش مصرف انرژی: استفاده از لامپ‌های کم‌مصرف، بهینه‌سازی وسایل گرمایشی و سرمایشی، و خاموش کردن وسایل برقی غیرضروری.
- ✓ استفاده از حمل‌ونقل عمومی: کاهش استفاده از خودروهای شخصی و استفاده از مترو، اتوبوس و دوچرخه.
- ✓ کاهش مصرف آب: استفاده از تجهیزات کاهنده مصرف آب و جلوگیری از هدر رفت.
- ✓ مدیریت پسماند و بازیافت: تفکیک زباله‌ها، کاهش مصرف پلاستیک و استفاده از محصولات قابل بازیافت.
- ✓ تغییر الگوی مصرف غذا: کاهش مصرف گوشت قرمز، استفاده بیشتر از مواد غذایی گیاهی و کاهش ضایعات غذایی.

راهکارهای شهری و زیرساختی

✓ افزایش فضای سبز شهری: کاشت درختان، توسعه پارک‌ها و ایجاد بام‌های سبز برای کاهش آلودگی هوا و جذب CO_2.

✓ توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر: افزایش استفاده از پنل‌های خورشیدی و انرژی باد در ساختمان‌های اداری و مسکونی.

✓ بهبود حمل‌ونقل عمومی: توسعه خطوط مترو، ایجاد خطوط ویژه دوچرخه و بهبود کیفیت ناوگان حمل‌ونقل عمومی.

✓ مدیریت صحیح پسماند: راه‌اندازی سیستم‌های بازیافت پیشرفته و تشویق شهروندان به تفکیک زباله.

راهکارهای سیاست‌گذاری و مدیریتی

✓ وضع قوانین زیست‌محیطی سخت‌گیرانه: کنترل میزان انتشار آلاینده‌های صنعتی و جریمه کردن صنایع آلاینده.

✓ تشویق به کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی: ارائه یارانه به خودروهای برقی و انرژی‌های تجدیدپذیر.

✓ آموزش و فرهنگ‌سازی: برگزاری دوره‌های آموزشی در مدارس و دانشگاه‌ها برای افزایش آگاهی عمومی.

✓ مشوق‌های مالی برای ساختمان‌های سبز: کاهش مالیات برای ساختمان‌های مجهز به سیستم‌های پایدار انرژی.

اگر این راهکارها به‌صورت ترکیبی اجرا شوند، می‌توان میزان جاپای بوم‌شناختی تهران را کاهش داد و محیط‌زیست پایدارتری ایجاد کرد. برای اینکه یافته‌های این تحقیق در عمل مفید واقع شوند، باید آن‌ها را به اقدامات عملی و سیاست‌های قابل‌اجرا در سطح فردی، شهری و حکومتی تبدیل کرد. در ادامه چند راهکار برای عملی سازی این یافته‌ها آورده شده است:

آگاهی‌بخشی و تغییر سبک زندگی شهروندان

• کمپین‌های آموزشی و فرهنگی: برگزاری برنامه‌های آگاهی‌بخشی در مدارس، دانشگاه‌ها، شبکه‌های اجتماعی و رسانه‌های جمعی برای کاهش مصرف منابع.

• مشوق‌های مالی و تخفیف‌ها: ارائه تخفیف برای شهروندانی که از انرژی‌های تجدیدپذیر استفاده می‌کنند یا میزان زباله خود را کاهش می‌دهند.

• اپلیکیشن‌های محاسبه جاپای بوم‌شناختی: توسعه ابزارهای دیجیتالی برای کمک به مردم در مدیریت مصرف انرژی، آب و پسماند.

اقدامات شهری و زیرساختی

• توسعه فضای سبز: کاشت درختان بیشتر، ایجاد باغ‌های شهری، توسعه بام‌های سبز در ساختمان‌ها و افزایش پارک‌ها.

• حمایت از حمل‌ونقل پایدار: گسترش مسیرهای دوچرخه‌سواری، بهبود کیفیت حمل‌ونقل عمومی، و محدودیت تردد خودروهای آلاینده.

• ساختمان‌های سبز: تشویق ساخت‌وسازهای پایدار با الزام به استفاده از سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر و مصالح کم‌مصرف.

• مدیریت بهتر پسماند: الزام به تفکیک زباله در مبدأ، گسترش ایستگاه‌های بازیافت و توسعه فناوری‌های بازیافت پیشرفته.

سیاست‌های کلان و اقتصادی

• اصلاح قوانین زیست‌محیطی: وضع قوانین سختگیرانه‌تر برای صنایع آلاینده و تشویق کسب‌وکارهای پایدار.

• یارانه برای انرژی‌های پاک: ارائه تسهیلات مالی و کاهش مالیات برای استفاده از پنل‌های خورشیدی و خودروهای برقی.

• همکاری بین‌المللی: بهره‌گیری از تجربیات شهرهای موفق در کاهش جاپای بوم‌شناختی مانند کپنهاگ، آمستردام و توکیو.

• بهینه‌سازی صنایع: تشویق صنایع به استفاده از فناوری‌های کم‌مصرف و کاهش آلایندگی.

پایش و ارزیابی مداوم

• ایجاد شاخص‌های عملکردی :پایش مداوم میزان جاپای بوم‌شناختی در تهران و انتشار گزارش‌های عمومی.

• تحلیل داده‌ها و تصمیم‌گیری هوشمند :استفاده از هوش مصنوعی و داده‌های کلان برای شناسایی الگوهای مصرف و ارائه راهکارهای بهینه.

• تشویق شهرهای پایدار :معرفی و حمایت از مناطق و محله‌هایی که در کاهش اثرات زیست‌محیطی موفق بوده‌اند.

راهکارهای پیشنهادی برای کنترل افزایش جمعیت در تهران

• تمرکز بر توسعه شهرهای کوچک و متوسط: ایجاد فرصت‌های شغلی و امکانات رفاهی در شهرهای اطراف تهران برای کاهش مهاجرت به پایتخت.

• سیاست‌های تشویقی برای اسکان در مناطق دیگر: ارائه تسهیلات مسکن و وام‌های کم‌بهره برای تشویق مهاجرت معکوس از تهران.

• افزایش آگاهی و برنامه‌ریزی جمعیتی :فرهنگ‌سازی در مورد اثرات رشد جمعیت بر کیفیت زندگی و محیط‌زیست.

با اجرای ترکیبی این راهکارها، می‌توان میزان جاپای بوم‌شناختی تهران را کاهش داد و به سمت شهری پایدارتر حرکت کرد. همکاری میان شهروندان، شهرداری، دولت و بخش خصوصی برای عملی شدن این ایده‌ها ضروری است. اجرای این راهکارها نیازمند همکاری دولت، مردم و کسب‌وکارهاست. با برنامه‌ریزی دقیق، تهران می‌تواند به شهری پایدارتر تبدیل شود و جاپای بوم‌شناختی خود را کاهش دهد. اولین قدم، ایجاد بسترهای قانونی و آموزشی برای تشویق تغییرات مثبت است. شهرداری می‌تواند پروژه‌های آزمایشی مانند محله‌های سبز، حمل‌ونقل پایدار و تفکیک زباله را در مناطق مختلف تهران اجرا کند و نتایج آن را برای گسترش در سطح شهر ارزیابی نماید.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

حامی مالی

این اثر حامی مالی ندارد.

سهم نویسندگان در پژوهش

نویسندگان در تمامی بخش‌ها و مراحل پژوهش سهم برابر داشتند.

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافعی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

تقدیر و تشکر

نویسندگان از همه‌کسانی که در انجام این پژوهش به ما یاری رساندند، به‌ویژه کسانی که کار ارزیابی کیفیت مقاله را انجام داند، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع

پارسا شریف، حدیثه؛ امیر نژاد، حمید و تسلیمی، مهسا. (۱۴۰۰). بررسی عوامل مؤثر بر ردپای اکولوژیکی کشورهای منتخب آسیا و اروپا. *فصلنامه تحقیقات اقتصاد کشاورزی*، ۱۳ (۲)، ۱۵۵–۱۷۲. https://dorl.net/dor/20.1001.1.20086407.1400.13.2.8.9

تقی‌زاده دیوا، سیدعلی و روشناس، ساسان. (۱۳۹۸). کاربرد روش جای پای اکولوژیک در ارزیابی پایداری زیست‌محیطی (مطالعه موردی: شهرستان گرگان). *مجله آمایش جغرافیایی فضا*، ۹(۳۳)، ۱۵۷–۱۷۰. https://doi.org/10.30488/gps.2019.100862

جمعه پور، محمود؛ اتحاد، سیده شبناز و نوریان، فرشاد. (۱۳۹۷). بومی‌سازی الگوی شهر اکولوژیک بر اساس آینده‌پژوهی سناریو مبنا (نمونه موردی: شهر بجنورد). *فصلنامه برنامه‌ریزی توسعه شهری و منطقه‌ای*، ۳(۷)، ۱–۳۰. https://doi.org/10.22054/urdp.2020.42574.1130

حاتمی، افشار؛ ساسان پور، فرزانه؛ فرزانه، زیپارو، آلبرتو و سلیمانی، محمد. (۱۴۰۰). شهر هوشمند پایدار: مفاهیم، ابعاد و شاخص‌ها. *فصلنامه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۲۱ (۶۰)، ۳۱۵–۳۳۹.. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.22287736.1400.21.60.12.8

ساسان پور، فرزانه؛ شماعی، علی و عصار، سحر. (۱۳۹۶). بررسی توسعه پایدار شهرستان اصفهان با استفاده از روش ردپای بوم‌شناختی. *پژوهش‌های دانش زمین* ۸(۱)، ۱۸–۳۱.

ساسان پور، فرزانه و حکیمی، مدیا. (۱۴۰۲). تأثیر بنیان‌های بوم‌شناختی بر زیست پذیری مناطق شهری (موردپژوهش: منطقه ۱ تهران). *فصلنامه پژوهش‌های بوم‌شناسی شهری*، ۱۴ (۱)، ۱–۲۰. https://doi.org/10.30473/grup.2023.34731.1952

کوزه‌گر کالجی، لطفعلی؛ مسلمی، آرمان؛ مرادی، محمد؛ رفیعی مهر، حسین و امینی زاده، عباس. (۱۳۹۷). جای پای اکولوژیک، سنجشی برای پایداری شهرها (مورد پژوهی: شهر تبریز). *فصلنامه علوم محیطی*، ۱۶ (۳)، ۲۵–۴۴.

مرکز آمار ایران (سال ۱۴۰۰). سالنامه آماری استان تهران (سال ۱۴۰۰). داده‌ها و اطلاعات آماری. مرکز آمار ایران.

نصرتی، حمیدرضا؛ کاویانی راد، مراد و ساسان پور، فرزانه. (۱۳۹۹). واکاوی مفهوم امنیت آب از منظر جغرافیای سیاسی و ژئوپلیتیک. *فصلنامه بین‌المللی ژئوپلیتیک*، ۱۵ (۱)، ۲۳–۵۹. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.17354331.1398.15.53.2.3

نظری، مریم و کلانتری، محسن. (۱۴۰۲). بررسی عوامل مؤثر بر ردپای اکولوژیکی شهری ساری. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۳۴ (۲)، ۱۷–۲۶. https://doi.org/10.22108/gep.2022.133118.1506

واکرناگل، ماتیس و ریس، ویلیام .(۱۴۰۱). *جاپای بوم‌شناختی ما (آینده زمین)*. ترجمه فرزانه ساسان پور. تهران: انتشارات نگارستان اندیشه.

References

Borucke, M., Moore, D., Cranston, G., Gracey, K., Iha, K., Larson, J., Lazarus, E., Morales, J., Wackernagel, M., & Galli, A. (2012). Accounting for demand and supply of the Biosphere's regenerative capacity: The National Footprint Accounts' underlying methodology and framework. *Ecological Indicators*, 24, 518–533. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.08.005

Danish, R., & Khan, S. U. D. (2020). Determinants of the ecological footprint: Role of renewable energy, natural resources, and urbanization. *Sustainable Cities and Society*, 54, 101996. https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101996

Destek, M. A., & Sarkodie, S. A. (2019). Investigation of environmental Kuznets curve for ecological footprint: The Role of energy and financial development. *Science of the Total Environment*, 650 (Pt 2), 2483 – 2489. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.017

Galli, A., Iha, K., Moreno Pires, S., Mancini, M., Abrunhosa Alves, A., Zokai, G., Lin, D., Murthy, A., & Wackernagel, M. (2019). Assessing the Ecological Footprint and biocapacity of Portuguese cities: Critical results for environmental awareness and local management. *Cities*, 96, 102442. https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.102442

Hatami, A., Sasanpour, F., Ziparo, A., & Soleymani, M. (2021). Smart sustainable city: Concept, aspects and indices. *Journal of Geographical Space*, 21(60), 315–339. http://dx.doi.org/10.52547/jgs.21.60.315 [In Persian]

Hersperger, A. M., Grădinaru, S. R., & Pierri Daunt, A. B., (2021). Landscape ecological concepts in planning:Review of recent developments. *Landscape Ecology*, 36, 2329–2345. https://doi.org/10.1007/s10980-021-01193-y

Jomehpour, M., Ettehad, S. S., & Nourian, F. (2019). Ecological city of Bojnourd based on scenario - based future studies. *Urban and Regional Development Planning Quarterly*, 3(7), 1 – 30. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.24765864.1397.3.7.1.5 [In Persian]

Kozegarkaleji, L., Moslemi, A., Moradi, M., Rafie Mehr, H., & Amini Zadeh, A. (2018). Ecological footprint, a road to the sustainability of cities (case study: Tabriz city). *Environmental Sciences*, 16(3), 25–44. [In Persian]

Mancini, M., Galli, A., Niccolucci, V., Lin, D., Bastianoni, S., Wackernagel, M., & Marchettini, N. (2015). Ecological Footprint: Refining the carbon footprint calculation. *Ecological Indicators*, 61, 390 – 403. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.09.040

Monfreda, C., Wackernagel, M., & Deumling, D. (2004). Establishing national natural capital accounts based on Detailed ecological footprint and biological capacity assessments. *Land Use Policy,* 21, 231 – 246. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2003.10.009

Nazari, M., & Kalantari, M. (2023). Investigating the factors affecting the ecological footprint of Sari city. *Geography and Environmental Planning*, 34(2), 17–26. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20085362.1402.34.2.4.1 [In Persian]

Nosrati, H., Kaviani Rad, M., & Sasanpour, F. (2020). A Foucauldian analysis of "Water security" concept in terms of Political geography and geopolitics. *Geopolitics Quarterly*, 15 (1), 23 – 59. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.17354331.1398.15.53.2.3 [In Persian]

Parsasharif, H., Amirnejad, H., & Taslimi, M. (2021). Investigating and determining the factors affecting the ecological footprint of selected Asian and European countries. *Agricultural Economics Research*, 13 (2), 155 – 172. https://dorl.net/dor/20.1001.1.20086407.1400.13.2.8.9 [In Persian]

Rees, W., & Wackernagel, M. (2008). Urban ecological footprints: Why cities cannot be sustainable— and why they are a key to sustainability. In Marzluff, J. M., et al. (Eds.), Urban Ecology (pp. 537–555). Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-0-387-73412-5_35

Sasanpour, F., & Hakimi, M. (2023). The impact of ecological foundations on livability of urban areas: Case study of District 1 of Tehran. *Journal of Urban Ecology Researches*, 14(1), 1–20. https://doi.org/10.30473/grup.2023.34731.1952 [In Persian]

Sasanpour, F., Mohamd, M., & Mehrejani, S. (2011). Evaluation on the sustainability of metropolitan environment for good urban management by ecological footprint model. *Journal of Sustainable Development*, 4(3), 243–250. https://doi.org/10.5539/jsd.v4n3p243

Sasanpour, F. (2017). Livable city: One step towards sustainable development. *Journal of Contemporary Urban Affairs*, 1(3), 13–17. https://doi.org/10.25034/ijcua.2018.3673

Sasanpour, F., Shamai, A., & Assar, S. (2017). Investigation of sustainable development of Isfahan city using ecological footprint method. *Earth Science Research*, 8(1), 18–31. [In Persian]

Statistical Center of Iran. (2021).*Statistical Yearbook of Tehran Province*. Tehran: Statistical Center of Iran. [In Persian]

Taghizadeh Diva, S. A., & Rooshenas, S. (2019). Application of ecological footprint method in environmental Sustainability assessment: Case study of Gorgan County. *Geographical Planning of Space,* 9 (33), 157–170. https://doi.org/10.30488/gps.2019.100862 [In Persian]

Tavallaei, S., & Sasanpour, F. (2009). Some aspects of Tehran's ecological footprint. *Journal of Sustainable Development*, 2(3), 187–195. https://doi.org/10.5539/jsd.v2n3p187

Wackernagel, M., White, D. S., & Moran, D. (2004). Using ecological footprint accounts: From analysis to applications. *International Journal of Environment and Sustainable Development*, 3(3–4), 293–315. https://doi.org/10.1504/IJESD.2004.005077

Wackernagel, M., & Kitzes, J. (2008). *Ecological footprint*. In Encyclopedia of Ecology (pp. 1324–1333). https://doi.org/10.1016/B978-008045405-4.00620-0

Wackernagel, M., & Rees, W. (2022). *Our ecological footprint: Reducing human impact on the Earth*. (F. Sasanpour, Trans.). Tehran: Negarestan Andisheh. (Original work published 1996) [In Persian]

Yu, H., Liu, X., Kong, B., Li, R., & Wang, G. (2019). Landscape ecology development supported by geospatial technologies: A review. *Ecological Informatics*, 51, 206–220. https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2019.03.006

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی