Incidents and Disasters Resilience

Homepage: https://disaster.ndri.ac.ir/

Spatial mapping of ecological deficit and imbalance in Tehran province

Sahar Nedae Tousi[1]✉, **Mohammad Hadi Jabbarnezhad**[2], and **Shaghayegh Rajabkordi**[3]

1. Corresponding Author, Associate Professor, Department of Urban and Regional Planning and Design, Faculty of Architecture and Urban Planning, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Email: Khaksar.a@modares.ac.ir
2. M.Sc. Student, Department of Urban and Regional Planning and Design, Faculty of Architecture and Urban Planning, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Email: Jabbarnezhad.rpe@gmail.com
3. M.Sc. Student, Department of Urban and Regional Planning and Design, Faculty of Architecture and Urban Planning, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Email: Shaghayeghrk86@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 3 March 2025
Received in revised form 21 April 2025
Accepted 10 June 2025
Available online 29 June 2025

Keywords:
Ecological Balance,
Ecological Footprint,
Biocapacity,
Ecological Deficit,
GIS,
Tehran Province.

ABSTRACT

Objective: Rapid population growth, concentration of human activities, and unsustainable patterns of resource consumption have disrupted the balance between the ecological carrying capacity of land and the footprint of human activities. In this context, metropolitan regions, as major centers of pressure on natural resources, are increasingly confronted with ecological deficits. This study aims to assess and spatially map the status of ecological balance or imbalance in Tehran Province. To this end, by employing ecological footprint and biocapacity indicators and using Geographic Information Systems (GIS), the ecological balance or deficit at the county level in Tehran Province is examined.

Method: The research is based on the classical calculation framework proposed by Wackernagel and Rees. It analyzes annual consumption data of energy carriers, transportation fuel use, and per capita food consumption to estimate ecological footprint and biocapacity.

Results: The findings indicate that Tehran Province, as a whole, is experiencing a severe ecological deficit, and none of its counties exhibit a positive ecological balance. Excessive population concentration beyond carrying capacity, high levels of energy consumption, reduction of biologically productive lands, and increasing dependence on supporting regions are among the main factors intensifying this condition. Spatial analysis of ecological footprint and balance reveals a highly uneven distribution pattern, with the most intense deficits observed in the central core of the province, while northern and northeastern mountainous counties show relatively lower values. Energy and transportation components account for the largest share of the ecological deficit.

Conclusions: This spatial pattern represents a structural gap between consumption patterns and the biocapacity of the land, giving rise to a set of intertwined environmental, spatial, and social crises at the regional scale. Water resource depletion and land subsidence, air pollution, declining quality of life, and reduced urban livability can be regarded as cumulative consequences of this ecological deficit. These outcomes are fundamentally rooted in the high intensity of energy, food, and transportation consumption and their spatial concentration in the central core of the province. The results of this study can serve as a basis for environmental policymaking, spatial planning, and the formulation of sustainable development strategies at regional and metropolitan scales.

Cite this article: Nedae Tousi, S., Jabbarnezhad, M.H., & Rajabkordi, Sh. (2025). Spatial mapping of ecological deficit and imbalance in Tehran province. ***Incidents and Disasters Resilience***, *2*(1), 3-22. https://doi.org/10.22034/1.2.3

© Author(s) retain the copyright.
DOI: https://doi.org/10.22034/1.2.3
Publisher: Natural Disasters Research Institute (NDRI).

[Downloaded from www.disaster.ndri.ac.ir on 2026-11-18]
[DOI: https://doi.org/10.22034/1.2.3]

تاب‌آوری در برابر حوادث و سوانح

Homepage: https://disaster.ndri.ac.ir

نگاشت فضایی وضعیت کسری و ناترازی اکولوژیک استان تهران

سحر ندایی طوسی[1]✉، محمدهادی جبارنژاد[2]، و شقایق رجب‌کردی[3]

۱. نویسنده مسئول، دانشیار، گروه برنامه‌ریزی و طراحی شهری و منطقه‌ای، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: s.n.tousi@gmail.com

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه برنامه‌ریزی و طراحی شهری و منطقه‌ای، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: Jabbarnezhad.rpe@gmail.com

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه برنامه‌ریزی و طراحی شهری و منطقه‌ای، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: Shaghayeghrk86@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی.

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۱۳
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۲/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۲۰
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۴/۰۸

کلیدواژه‌ها:
موازنه اکولوژیک،
ردپای اکولوژیکی،
ظرفیت زیستی،
کسری اکولوژیکی،
GIS،
استان تهران.

چکیده

هدف: رشد شتابان جمعیت، تمرکز فعالیت‌های انسانی و الگوهای ناپایدار مصرف منابع، موجب برهم خوردن توازن میان ظرفیت برد اکولوژیکی سرزمین و ردپای فعالیت‌های انسانی شده است. در این میان، کلان‌شهرها به‌مثابه کانون‌های اصلی فشار بر منابع طبیعی، با کسری فزاینده اکولوژیکی روبه‌رو هستند. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی و نگاشت فضایی وضعیت موازنه یا تراز اکولوژیک استان تهران انجام شده است. در این رابطه می‌کوشد با بهره‌گیری از شاخص‌های ردپای اکولوژیکی و ظرفیت زیستی و استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، وضعیت تراز یا کسری اکولوژیکی در سطح شهرستان‌های استان تهران را موردبررسی قرار دهد.

روش پژوهش: مبتنی بر محاسبات کلاسیک واکرناگل و ریس است و داده‌های مصرف سالانه حامل‌های انرژی، سوخت بخش حمل‌ونقل و مصرف سرانه مواد غذایی را تحلیل می‌کند.

یافته‌ها: نتایج نشان می‌دهد که استان تهران به‌طور کلی با کسری اکولوژیک شدید مواجه است و هیچ یک از شهرستان‌ها از تراز اکولوژیک مثبت برخوردار نیستند. تمرکز جمعیت بیش از ظرفیت، مصرف بالای انرژی، کاهش زمین‌های مولد زیستی و وابستگی به مناطق پشتیبان از مهم‌ترین عوامل تشدیدکننده این وضعیت هستند. بررسی فضایی ردپا و تراز اکولوژیک نشان می‌دهد که الگوی پراکندگی ناهمگون است و بیشترین شدت کسری در هسته مرکزی استان مشاهده می‌شود، در حالی که شهرستان‌های کوهستانی شمال و شمال‌شرق با مقادیر پایین‌تری مواجه هستند. مؤلفه‌های انرژی و حمل‌ونقل بیشترین سهم را در ایجاد کسری اکولوژیک دارند.

نتیجه‌گیری: این الگوی فضایی به‌مثابه شکاف ساختاری میان الگوی مصرف و ظرفیت زیستی سرزمین، منشأ مجموعه‌ای از بحران‌های محیط‌زیستی، فضایی و اجتماعی است که در مقیاس منطقه‌ای به‌صورت هم‌زمان و درهم‌تنیده بروز یافته‌اند. بحران منابع آب و فرونشست زمین، آلودگی هوا، افت کیفیت زندگی و کاهش زیست‌پذیری شهری را باید پیامدهای انباشتی این کسری دانست؛ پیامدهایی که ریشه آن‌ها در شدت بالای مصرف انرژی، غذا و حمل‌ونقل و تمرکز فضایی آن‌ها در هسته مرکزی استان قرار دارد. نتایج پژوهش می‌تواند به‌مثابه مبنایی برای سیاست‌گذاری محیط‌زیستی، برنامه‌ریزی فضایی و تدوین راهبردهای توسعه پایدار در مقیاس منطقه‌ای و کلان‌شهری مورد استفاده قرار گیرد.

استناد: ندایی طوسی، سحر؛ جبارنژاد، محمدهادی؛ رجب‌کردی، شقایق. (۱۴۰۴). نگاشت فضایی وضعیت کسری و ناترازی اکولوژیک استان تهران. *تاب‌آوری در برابر حوادث و سوانح*، ۲ (۱)، ۳-۲۲. https://doi.org/10.22034/1.2.3

CC BY NC

ناشر: پژوهشکده سوانح طبیعی.

© نویسندگان.

[Downloaded from www.disaster.ndri.ac.ir on 2026-11-18]

[DOI: https://doi.org/10.22034/1.2.3]

مقدمه

در دهه‌های اخیر، مصرف فزاینده منابع طبیعی توسط انسان، که در قالب شاخص ردپای اکولوژیک[1] سنجیده می‌شود، به‌طور قابل‌توجهی از ظرفیت زیستی[2] سیاره زمین فراتر رفته و به شکل‌گیری کسری اکولوژیک[3] انجامیده است. این نابرابری بیشتر حاصل بهره‌برداری بی‌رویه از منابع، تخریب زیستگاه‌ها و تشدید تغییرات اقلیمی بوده و پیامدهایی همچون کاهش تنوع زیستی، تخریب زمین‌های حاصلخیز، بحران منابع آب و تهدید امنیت غذایی را به همراه دارد. گزارش سیاره زنده نیز با تأکید بر نقش رشد جمعیت انسانی، بهره‌برداری بیش‌ازحد و تخریب زیستگاه‌ها، از افزایش فشار بر اکوسیستم‌های طبیعی و تداوم روند کاهشی ظرفیت زیستی جهانی خبر می‌دهد؛ روندی که ضرورت بازنگری در الگوهای مصرف و حرکت به‌سوی بهره‌برداری پایدار از منابع طبیعی را بیش‌ازپیش برجسته می‌سازد (LIVING PLANET REPORT, 2024).

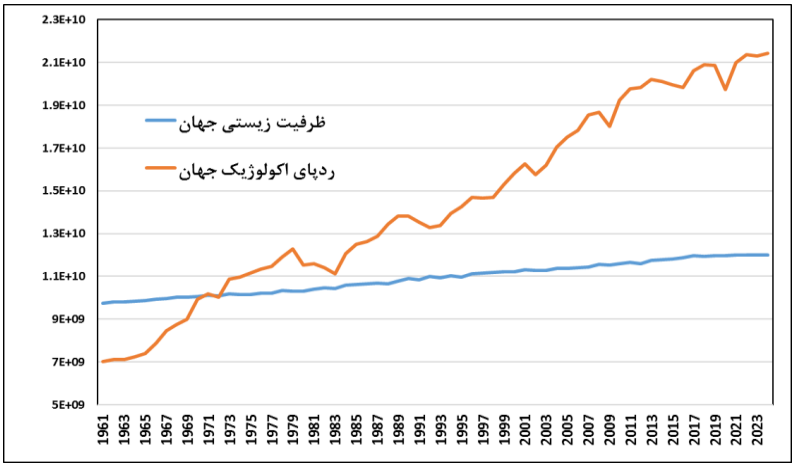
بر اساس جدیدترین حساب‌های ردپای اکولوژیک و ظرفیت زیستی منتشرشده توسط شبکه ردپای جهانی (GFN)[4]، ظرفیت زیستی کل جهان در سال ۲۰۲۴ حدود ۱۲/۲ میلیارد هکتار جهانی برآورد می‌شود که با در نظر گرفتن جمعیت حدود ۸/۱ میلیارد نفر، معادل متوسط ۱/۵ هکتار جهانی به ازای هر نفر است. در مقابل، میانگین جهانی ردپای اکولوژیکی در همین سال به حدود ۲/۶ هکتار جهانی برای هر نفر رسیده که به‌طور قابل‌توجهی از ظرفیت زیستی موجود فراتر است. این ناترازی نشان می‌دهد که نرخ مصرف منابع طبیعی توسط بشر حدود ۱/۷ برابر سریع‌تر از توان بازتولید سالانه زمین است. هرچند در سال‌های ابتدایی دهه ۲۰۲۰ و هم‌زمان با همه‌گیری کووید-۱۹، به دلیل کاهش موقت فعالیت‌های اقتصادی، افت نسبی در ردپای اکولوژیکی جهانی مشاهده شد، اما با بازگشت فعالیت‌های اقتصادی، روند افزایشی مصرف منابع مجدداً شدت گرفته و کسری اکولوژیکی جهانی تشدید شده است (Global Footprint Network, 2024). بر اساس پیش‌بینی‌های شبکه ردپای اکولوژیک، تداوم الگوی مصرف کنونی می‌تواند تا سال ۲۰۵۰ نیاز بشر به منابعی فراتر از ظرفیت دو سیاره زمین را رقم بزند (Douglas Sousa Leite & Lausanne Fontgalland, 2024).» همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، روند مصرف جهانی منابع از دهه‌های اخیر به‌طور مداوم از ظرفیت زیستی فراتر رفته و شکاف بین این دو شاخص به‌طور نگران‌کننده‌ای افزایش یافته است. این نمودار تصویری گویا از کسری محیط زیستی جهانی ارائه می‌دهد.

بر اساس آمار منتشرشده توسط شبکه جهانی ردپای اکولوژیکی (Global Footprint Network, 2024)، وضعیت تراز اکولوژیکی ایران در سال ۲۰۲۴ بیانگر کسری شدید محیط‌زیستی است. در این سال، ردپای اکولوژیکی سرانه ایران حدود ۳/۵ هکتار جهانی برآورد شده، درحالی‌که ظرفیت زیستی سرانه کشور تنها حدود ۰/۷ هکتار جهانی است. این امر نشان می‌دهد که ایران حدود ۵ برابر ظرفیت زیستی خود منابع طبیعی مصرف می‌کند و با کسری اکولوژیکی در حدود ۴۰۰ درصد مواجه است. همچنین باتوجه‌به سهم غالب مؤلفه کربن در ساختار ردپای اکولوژیکی، ردپای کربنی کشور نیز چندین برابر ظرفیت زیستی موجود برآورد می‌شود که بیانگر فشار شدید بر منابع طبیعی و ناپایداری جدی محیط‌زیستی در مقیاس ملی است. شکل ۲ مربوط به ایران به‌خوبی گویای شدت و افزایش شکاف میان ردپای اکولوژیکی و ظرفیت زیستی در سطح ملی است؛ شکافی که پیامدهای آن نه‌تنها در سطح کشور، بلکه در مقیاس‌های منطقه‌ای و محلی نیز بروز یافته است. شکل ۳ نیز که به قیاس روند موازنه اکولوژیک ایران و جهان می‌پردازد، نشان می‌دهد که کسری اکولوژیک ایران (تفاضل ردپای اکولوژیک از ظرفیت زیستی) از دهه ۱۳۵۰ به‌طور پیوسته افزایش یافته و فاصله آن با میانگین جهانی به‌ویژه پس از دهه ۱۳۷۰ به‌شدت بیشتر شده است. درحالی‌که جهان روندی ملایم‌تر و نسبتاً کنترل‌شده‌تر دارد، ایران با افزایش سریع مصرف منابع نسبت به ظرفیت زیستی روبه‌رو است که بیانگر فشار فزاینده بر محیط‌زیست و ناپایداری بلندمدت است. به نظر می‌رسد پس از دهه ۱۳۷۰ شمسی تشدید کسری

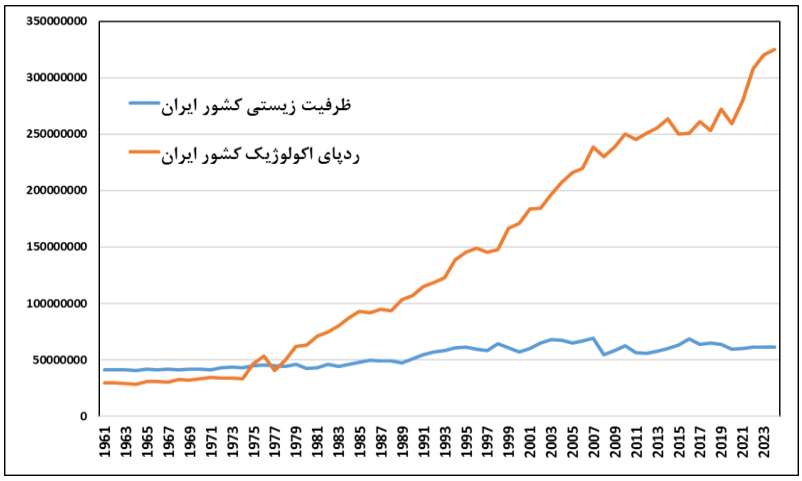
1. Ecological Footprint (EF)
2. Ecological capacity (EC)
3. Ecological Deficit (ED)
4. Global Footprint Network

[Downloaded from www.disaster.ndri.ac.ir on 2026-11-18]
[DOI: https://doi.org/10.22034/1.2.3]

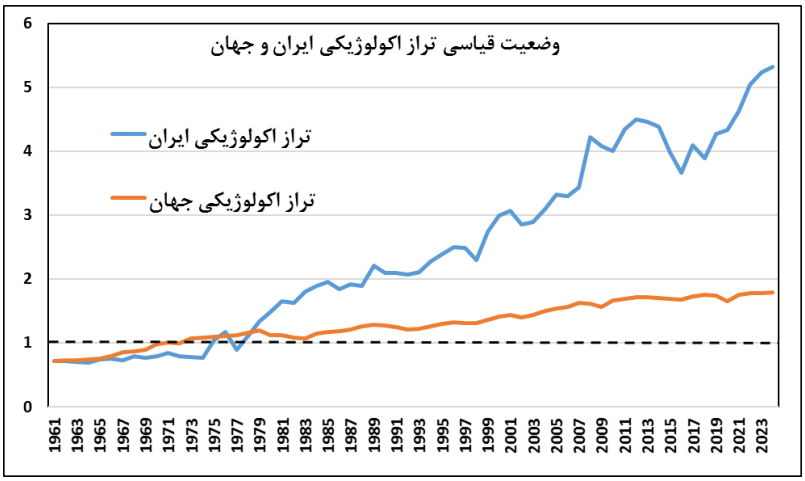
موازنه اکولوژیک ایران حاصل ترکیب رشد سریع جمعیت و شهرگرایی، افزایش مصرف انرژی یارانه‌ای، و فشار فزاینده بر منابع آب و خاک باشد. در همین دوره، الگوی رشد اقتصادی بیشتر منابع‌محور و کم‌توجه به ظرفیت‌های زیستی پیش رفته و باعث شده ردپای اکولوژیک بسیار سریع‌تر از توان ترمیم طبیعت افزایش یابد.



شکل ۱. قیاس ظرفیت زیستی و ردپای اکولوژیکی جهانی در بازه زمانی ۱۹۶۱ تا ۲۰۲۲



شکل ۲. قیاس ظرفیت زیستی و ردپای اکولوژیکی ایران در بازه زمانی ۱۹۶۱ تا ۲۰۲۲



شکل ۳. قیاس وضعیت تراز اکولوژیکی ایران و جهان

[Downloaded from www.disaster.ndri.ac.ir on 2026-11-18]

[DOI: https://doi.org/10.22034/1.2.3]

باتوجه‌به بررسی ناپایداری اکولوژیک در مقیاس‌های جهانی و ملی، پرداختن به ابعاد منطقه‌ای این پدیده به‌مثابه سطحی تعیین‌کننده در تحلیل‌های محیط‌زیستی اهمیت می‌یابد. در این میان، استان تهران به‌مثابه یکی از ناپایدارترین استان‌های کشور از منظر تراز اکولوژیک شناخته می‌شود. نتایج مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهد که به دلیل تراکم بالای جمعیت، کمبود زمین‌های پربار و محدودیت شدید ظرفیت زیستی سرانه، استان تهران در کنار برخی استان‌های مرکزی کشور دارای بالاترین میزان کسری اکولوژیکی است. این شرایط موجب وابستگی شدید استان به مناطق پشتیبان برای تأمین نیازهای زیستی شده و تهران را بر اساس شاخص ردپای اکولوژیکی در زمره ناپایدارترین فضاهای سرزمینی ایران قرار می‌دهد (Daliri & Mehregan, 2016).

در این شرایط، بهره‌گیری از ابزارهای تحلیلی و نگاشت فضایی وضعیت موازنه اکولوژیک[5] به ضرورتی اساسی برای تصمیم‌گیری مبتنی بر شواهد تبدیل شده است. ترکیب شاخص‌هایی نظیر ردپای اکولوژیک، ظرفیت زیستی و کسری اکولوژیک در بستر سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS)، امکان شناسایی مناطق بحرانی و تحلیل مکان‌محور فشارهای محیط‌زیستی را فراهم می‌سازد. از منظر روش‌شناسی تراز اکولوژیک به‌عنوان حاصل تفاضل میان ردپای اکولوژیک و ظرفیت زیستی تعریف می‌شود که محاسبه آن در چهارچوب حساب‌های ملی ردپای اکولوژیک و بر اساس روش‌شناسی استاندارد شبکه ردپای اکولوژیک انجام می‌گیرد (Ewi ng et., 2010). در همین راستا، پژوهش حاضر با بهره‌گیری از تحلیل فضایی در محیط GIS، به بررسی وضعیت موازنه اکولوژیک استان تهران پرداخته و نواحی دارای بیشترین کسری اکولوژیک را به‌منظور پشتیبانی از سیاست‌گذاری محیط‌زیستی و برنامه‌ریزی فضایی شناسایی می‌کند.

پیشینه پژوهش

به‌منظور دستیابی به توسعه اقتصادی و رفاه اجتماعی پایدار، منابع طبیعی به‌مثابه یکی از ارکان بنیادین توسعه مطرح به شمار می‌روند. میزان بهره‌برداری انسان از این منابع به ظرفیت اکولوژیکی کره زمین وابسته است (Defries et al., 2004). در این میان، مفهوم موازنه اکولوژیکی به‌مثابه شاخصی برای سنجش تعادل میان تقاضای انسانی و توان اکوسیستم در پاسخ‌گویی به این تقاضا، اهمیت بسزایی دارد. این موازنه با مفاهیمی چون ظرفیت تحمل اکولوژیکی[6]، ظرفیت زیستی و ردپای اکولوژیکی سنجیده می‌شود.

ظرفیت زیستی یا ظرفیت تحمل اکولوژیکی (Pourebrahim et al., 2023) –به‌مثابه معیاری برای سنجش میزان تأثیر فعالیت‌های انسانی بر محیط‌زیست– توان بالقوه اکوسیستم‌ها برای بازتولید منابع زیستی و جذب ضایعات را شامل می‌شود. این ظرفیت از عوامل فراوانی همچون زمین‌های کشاورزی، جنگل‌ها، مراتع، منابع دریایی و توان جذب دی‌اکسید کربن تشکیل می‌شود (Modarress et al., 2020). در مقابل مفهوم ردپای اکولوژیکی، به‌مثابه فضایی که انسان برای تأمین نیازهای زیستی، مصرف انرژی، حمل‌ونقل، تولید کالا و دفع پسماند خود نیاز دارد (Rees, 2017)؛ نخستین بار توسط واکرناگل و ریس در دهه ۱۹۹۰ معرفی شد و از آن زمان تاکنون به یکی از ابزارهای معتبر جهانی در سنجش فشارهای محیط زیستی تبدیل شده است. این شاخص در واحد «هکتار جهانی» (gha) بیان می‌شود که امکان مقایسه استاندارد بین تقاضای انسانی و ظرفیت تولیدی طبیعت را فراهم می‌سازد (Douglas Sousa Leite & Lausanne Fontgalland, 2024).

کسری اکولوژیکی زمانی رخ می‌دهد که ردپای اکولوژیکی از ظرفیت زیستی فراتر رود. این شکاف اکولوژیکی بیانگر برداشت بیش از توان بازسازی طبیعت بوده و پیامدهایی چون کاهش منابع زیستی، تشدید گرمایش جهانی، افزایش انباشت زباله و تضعیف ساختارهای اکولوژیکی را به دنبال دارد (Mancini et al., 2018). در شرایطی که ظرفیت زیستی از ردپای اکولوژیکی بیشتر باشد، وضعیت پایداری نسبی برقرار است. از منظر کارکردهای اکوسیستمی، تداوم وضعیت کسری اکولوژیکی صرفاً یک عدم تعادل میان عرضه و تقاضای منابع طبیعی نیست، بلکه با تضعیف سلامت و تاب‌آوری اکوسیستم‌ها، ظرفیت آن‌ها در تنظیم

5. Ecological Balance
6. Environmental Carrying Capacity (ECC)

[Downloaded from www.disaster.ndri.ac.ir on 2026-11-18]
[DOI: https://doi.org/10.22034/1.2.3]

فرایندهای هیدرولوژیک، کنترل فرسایش خاک و جذب شوک‌های اقلیمی را کاهش می‌دهد. درنتیجه، احتمال وقوع و شدت سوانح طبیعی نظیر سیلاب، خشکسالی و رانش زمین افزایش می‌یابد. به‌عبارت‌دیگر، کسری اکولوژیک ازطریق اختلال در ظرفیت‌های خودترمیمی و تنظیمی اکوسیستم‌ها، هم احتمال بروز برخی سوانح طبیعی را تشدید می‌کند و هم آسیب‌پذیری جوامع انسانی در برابر مخاطرات محیطی را افزایش می‌دهد. این روابط، ضرورت توجه به رویکردهای مبتنی بر حفاظت و بازسازی اکوسیستم‌ها را در مدیریت ریسک سوانح برجسته می‌سازد (Best & Darby, 2020; Malhi et al., 2020; Saco et al., 2021).

مطالعات فراوانی در حوزه موازنه اکولوژیک انجام شده است. برخی از این موارد در جدول ۱ مرور شده‌اند تا جایگاه پژوهش حاضر در میان پژوهش‌های پیشین مشخص شود. مرور پیشینه نشان می‌دهد اغلب مطالعات پیشین در مقیاس ملی یا شهری و بیشتر با رویکرد غیرمکان‌محور انجام شده‌اند. در این میان، مطالعه‌ای که با بهره‌گیری هم‌زمان از شاخص ردپای اکولوژیک، ظرفیت زیستی و تحلیل فضایی، وضعیت تراز اکولوژیک استان تهران را بررسی کند، کمتر وجود دارد. پژوهش حاضر در پاسخ به این خلأ انجام شده است.

جدول ۱. مرور پیشینه پژوهش در موضوع موازنه اکولوژیک

ردیف	نویسنده	مقیاس مطالعه	متغیرهای کلیدی	یافته‌ها
۱	Rugani et al., 2014	ملی – لوکزامبورگ	EF مصرف‌محور + IO	غالب بودن اثر مصرف و واردات؛ تشدید کسری اکولوژیکی
۲	Liu & Lei, 2018	شهری – پکن	EF + SVM	نقش جمعیت، مصرف انرژی و رشد اقتصادی در افزایش EF
۳	Fatemi et al., 2018	ملی – ایران	EF و ظرفیت زیستی	روند افزایشی EF؛ روند کاهشی ظرفیت زیستی
۴	Lin et al., 2018	ملی – جهانی	EF و ظرفیت زیستی	کسری اکولوژیک جهانی؛ غلبه EF بر ظرفیت زیستی؛ انرژی و غذا
۵	Wang et al., 2019	محلی – چین	EF سه‌بعدی (EF-3D)	فشار فعالیت انسانی و گردشگری بر سرمایه طبیعی
۶	Modarress et al., 2020	ملی – امارات	EF + رگرسیون	توسعه نفت‌محور؛ افزایش جمعیت مهاجر؛ کسری بالا
۷	Lee et al., 2021	بین‌المللی (۱۳۸ کشور)	EF، ارزش‌افزوده صنعتی، مهاجرت	نقش EF، رشد جمعیت و صنعتی شدن در تخریب منابع طبیعی؛ اثر تعدیلی رشد اقتصادی
۸	Sobhani et al., 2022	محلی – جاجرود، ایران	EF، تحلیل تغییرات کاربری زمین	کاهش چراگاه‌ها؛ افزایش زمین‌های ساخته‌شده؛ افت ظرفیت زیستی
۹	Genta et al., 2022	شهری – تورین، ایتالیا	EF مصرف، LCA	فشار بالای الگوهای مصرف شهری بر محیط‌زیست و سلامت انسان
۱۰	Douglas Sousa Leite & Lausanne Fontgalland, 2024	ملی – برزیل	تحلیل اسنادی (WWF)	نابرابری فضایی مصرف؛ ناپایداری اکولوژیکی
۱۱	Pençe et al., 2024	ملی – ترکیه	داده‌های پنل + EF	مدیریت کاربری زمین؛ کاهش بالقوه کسری اکولوژیکی
۱۲	Daliri & Mehregan, 2016	استانی – ایران	EF مصرف‌محور	کسری اکولوژیکی در تمامی استان‌های کشور
۱۳	Sharifzadegan et al., 2016	استانی – ایران	EF و ظرفیت زیستی	بررسی و تحلیل کسری اکولوژیک در مجموعه شهری قزوین
۱۴	Haji Hashemi et al., 2021	بین‌قاره‌ای با تمرکز بر ایران	EF و ظرفیت زیستی	جایگاه نامطلوب ایران در تراز اکولوژیکی
۱۵	Esfahani et al., 2022	بین‌المللی	Sys-GMM + EF	اثر رشد اقتصادی و مصرف انرژی بر EF

روش‌شناسی پژوهش

ردپای اکولوژیک یکی از شاخص‌های پرکاربرد در مطالعات پایداری محیط‌زیست است که به‌منظور سنجش میزان فشار فعالیت‌های انسانی بر منابع طبیعی و اکوسیستم‌ها به کار می‌رود. این شاخص، میزان سطح زیست‌مولد موردنیاز برای تأمین منابع

[Downloaded from www.disaster.ndri.ac.ir on 2026-11-18]
[DOI: https://doi.org/10.22034/1.2.3]

مصرفی انسان و جذب پسماندهای تولیدی، به‌ویژه دی‌اکسیدکربن، را در قالب واحد استاندارد «هکتار جهانی» بیان می‌کند (Rees & Wackernagel, 2023; Rees & Wackernagei, 1996). در گفتمان علمی، محاسبه ردپای اکولوژیک ازطریق رویکردها و چهارچوب‌های روش‌شناختی متنوعی انجام می‌شود که هر یک دارای مفروضات، داده‌های ورودی و سطح تحلیل متفاوتی هستند (Kitzes et al., 2009). نخستین و رایج‌ترین رویکرد، روش کلاسیک ردپای اکولوژیک است که توسط واکرناگل و ریس معرفی شد و مبنای محاسبات شبکه جهانی ردپای اکولوژیک قرار گرفته است. در این روش، داده‌های مربوط به مصرف منابع (ازجمله انرژی، مواد غذایی، چوب و زمین‌های ساخته‌شده) و تولید پسماند به سطوح زیست‌مولد معادل تبدیل می‌شوند. این رویکرد به دلیل استانداردسازی ضرایب معادل‌سازی و امکان مقایسه بین مناطق مختلف، بیشترین کاربرد را در مطالعات ملی، منطقه‌ای و مقالات مقایسه‌ای دارد (Global Footprint Network, 2024). بااین‌حال، وابستگی شدید این روش به داده‌های آماری تجمیع‌شده و فقدان تحلیل فضایی دقیق، ازجمله محدودیت‌های آن به شمار می‌رود (Fiala, 2008; Van Den Bergh & Verbruggen, n.d).

رویکرد دوم، روش مبتنی بر ردپای کربن است که به‌مثابه نسخه‌ای توسعه‌یافته و متمرکز بر مؤلفه انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای شناخته می‌شود. در این روش، میزان انتشار دی‌اکسیدکربن ناشی از فعالیت‌های انسانی (نظیر حمل‌ونقل، مصرف سوخت‌های فسیلی و مصرف انرژی در بخش ساختمان و صنعت) محاسبه شده و سپس به سطح جنگل موردنیاز برای جذب این میزان کربن تبدیل می‌شود (Peters, 2010; Wiedmann & Minx, 2007). مطالعات فراوانی نشان داده‌اند که در مناطق شهری و کلان‌شهری، ردپای کربن سهم غالبی از ردپای اکولوژیک کل را به خود اختصاص می‌دهد (Galli et al., 2012). ازاین‌رو، این رویکرد به‌ویژه در پژوهش‌های مرتبط با تغییر اقلیم، شهرهای بزرگ و سیاست‌گذاری انرژی کاربرد گسترده‌ای دارد؛ هرچند سایر ابعاد زیستی ردپای اکولوژیک را به‌طور محدود پوشش می‌دهد (Peters et al., 2011).

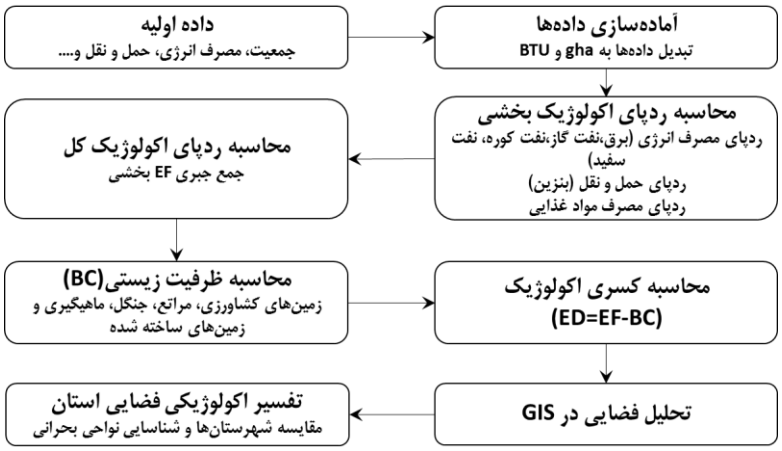
سومین چهارچوب روش‌شناختی، روش مبتنی بر جداول داده–ستانده[۷] است که ریشه در اقتصاد محیط‌زیست دارد. این روش با استفاده از جداول داده–ستانده، ردپای اکولوژیک مستقیم و غیرمستقیم ناشی از تولید و مصرف کالاها و خدمات را در کل زنجیره تأمین شناسایی می‌کند (Lenzen et al., 2013; Wiedmann et al., 2006). مزیت اصلی این رویکرد، توانایی آن در آشکارسازی آثار پنهان مصرف و تجارت بین‌منطقه‌ای است. بااین‌حال، پیچیدگی محاسبات، نیاز به داده‌های اقتصادی دقیق و محدودیت دسترسی به جداول به‌روز در مقیاس‌های زیرملی، موجب شده است که کاربرد آن در مطالعات استانی و شهری، به‌ویژه در کشورهای درحال‌توسعه، محدودتر باشد (Minx et al., 2009). به‌طورکلی، انتخاب روش مناسب برای محاسبه ردپای اکولوژیک به هدف پژوهش، مقیاس مکانی، دسترس‌پذیری داده‌ها و نوع تحلیل موردنظر بستگی دارد (Kitzes et al., 2009).

در این پژوهش، محاسبه بر اساس روش کلاسیک ردپای اکولوژیک و داده‌های موردنیاز بر اساس چهارچوب روش واکرناگل شامل: داده‌های جمعیتی، داده‌های مصرف انرژی (میزان مصرف سالانه حامل‌های انرژی مانند برق، گاز طبیعی، فراورده‌های نفتی و ...)، داده‌های مصرف مواد غذایی (میزان مصرف سرانه مواد غذایی و عملکرد زیستی زمین‌های کشاورزی و مراتع) و داده‌های حمل‌ونقل (میزان مصرف سوخت در بخش حمل‌ونقل) است. دلیل انتخاب روش کلاسیک واکرناگل در این پژوهش، سازگاری بالای آن با مقیاس منطقه‌ای، دسترس‌پذیری داده‌های آماری موردنیاز، شفافیت محاسبات و قابلیت مقایسه نتایج با سایر مطالعات مشابه است. برخلاف روش‌های مبتنی بر جداول داده–ستانده یا مدل‌های پیش‌بینی، روش کلاسیک نیازمند داده‌های پیچیده اقتصادی نیست و هم‌زمان، امکان تحلیل هم‌زمان ردپای اکولوژیک و ظرفیت زیستی را فراهم می‌سازد. ازاین‌رو، این روش به‌طور گسترده در مطالعات شهری و منطقه‌ای، به‌ویژه در کشورهای درحال‌توسعه، مورداستفاده قرار گرفته است. فرایند و روش پیشبرد پژوهش در زیر نمایش داده شده است.

7. Input–Output Based Ecological Footprint

[Downloaded from www.disaster.ndri.ac.ir on 2026-11-18]

[DOI: https://doi.org/10.22034/1.2.3]



شکل ٤. فرایند و روش پیشبرد پژوهش

نحوه محاسبه ظرفیت زیستی؛ محاسبه ظرفیت زیستی یک کشور با مجموع زمین‌های زیست‌تولیدی موجود آغاز می‌شود. زیست‌تولیدی به زمین و آب‌هایی گفته می‌شود که در آن‌ها فتوسنتز (فرایند تولید غذا توسط گیاهان) و تجمع بیوماس (مقدار مواد زنده) به‌طور قابل‌توجهی انجام می‌شود، و مناطق با بهره‌وری پایین مانند بیابان‌ها در نظر گرفته نمی‌شوند. این به این معنی نیست که مناطقی مانند صحرای بزرگ آفریقا، قطب جنوب یا قله‌های کوه‌های آلپ از حیات پشتیبانی نمی‌کنند، بلکه تولید در این مناطق به اندازه‌ای پراکنده است که انسان‌ها نمی‌توانند از آن بهره‌برداری کنند. ظرفیت زیستی سنجه‌ای است از میزان زمین‌های قابل‌استفاده که بر اساس بهره‌وری آن‌ها ارزیابی می‌شود. این ظرفیت نشان می‌دهد که چقدر زمین می‌تواند محصولات کشاورزی، دام (برای چرا)، چوب (جنگل‌ها) و ماهی تولید کند، همچنین مقدار دی‌اکسید کربن را که جنگل‌ها جذب می‌کنند، در نظر می‌گیرد. همچنین به میزان ظرفیت زیستی که توسط زیرساخت‌ها (مانند ساختمان‌ها و جاده‌ها) اشغال شده است نیز توجه می‌شود. به‌طورکلی، این شاخص نشان‌دهنده توانایی زمین و آب‌های موجود در فراهم کردن خدمات اکولوژیکی است (Ewing et al., 1992).

ظرفیت زیستی یک کشور برای هر نوع استفاده از زمین به‌طور زیر محاسبه $BC = A \cdot YF \cdot EQF$ می‌شود:

در فرمول بالا، BC ظرفیت زیستی، A مساحت موجود برای نوع خاصی از استفاده از زمین، و YF[8] و EQF[9] به ترتیب ضریب بهره‌وری و ضریب معادل برای نوع استفاده از زمین در کشور موردنظر هستند. برای گردآوری داده‌ها و اطلاعات موردنیاز محاسبه ظرفیت زیستی، مساحت زمین‌های جنگلی، ماهیگیری، مراتع و کشاورزی از سازمان جهاد کشاورزی استان تهران، دریافت شد؛ برای محاسبه زمین‌های ساخت‌وسازشده از داده‌های سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان تهران بهره‌گیری شد.

ضریب معادل (EQF) ضریبی است که واحد محلی خاص را به واحد جهانی تبدیل می‌کند، یعنی هکتار جهانی (Gha) (Santoso et al., 2017). ضرایب معادل بازده نسبی هکتارهای متوسط جهانی از انواع مختلف استفاده از زمین را منعکس می‌کند. ضرایب معادل برای همه کشورها یکسان هستند و هر ساله تغییرات اندکی دارند (Global Footprint Network, 2023). این ضریب‌ها توسط شبکه ردپای جهانی (GFN) برای پنج دسته مختلف زمین تعیین شده‌اند، که شامل زمین‌های کشاورزی (۲/۴۹)، زمین‌های جنگلی (۱/۲۶)، زمین‌های کشاورزی (۰/۴۶)، زمین‌های ماهیگیری (۰/۳۷) و زمین‌های ساخته‌شده (۲/۴۹) می‌شود. این ضریب‌ها از سطح پایداری نوع زمین و وابستگی جمعیت به آن نوع زمین محاسبه می‌شوند و ضریب بهره‌وری (YF)، نشان‌دهنده بهره‌وری نسبی هکتارهای ملی و هکتار متوسط جهانی برای هر نوع استفاده از زمین است. هر کشور، در هر سال، برای هر نوع زمین یک ضریب بهره‌وری دارد. این ضریب‌ها در محاسبات ظرفیت زیستی زمانی که ظرفیت

8. Yield Factor
9. Equivalence Factor

[Downloaded from www.disaster.ndri.ac.ir on 2026-11-18]
[DOI: https://doi.org/10.22034/1.2.3]

زیستی به هکتارهای جهانی گزارش می‌شود، استفاده می‌شوند (Global Footprint Network, 2023). در جدول ۲، اعداد مرتبط با این ضرایب که در محاسبه ظرفیت زیستی، استفاده شده، آورده شده است.

جدول ۲. ضرایب بازدهی (YF) و ضرایب معادل‌سازی (EQF) برای انواع زمین؛ منبع : Global Footprint Network, 2023

نوع زمین	YF	EQF
ساخت‌وساز	۰/۷۱۲۴۰۳	۲/۴۹۷۰۹
جنگلی	۰/۳۴۸۱۳۲	۱/۲۶۷۳۹۹
ماهیگیری	۲/۶۷۷۴۶	۰/۳۷۰۸۵
مراتع	۰/۴۰۵۴۹۳	۰/۴۶۱۰۲۷
کشاورزی	۰/۸۰۲۰۲۸	۲/۴۹۷۰۹

در گام نهایی پژوهش، به‌منظور تحلیل الگوی فضایی فشارهای اکولوژیک، از روش نگاشت فضایی استفاده می‌شود. بدین منظور، نتایج محاسبه ردپای اکولوژیک و ظرفیت زیستی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) به لایه‌های مکانی تبدیل شده و توزیع فضایی ردپای اکولوژیک در سطح منطقه موردمطالعه تحلیل می‌شود. این رویکرد امکان شناسایی نواحی با کسری اکولوژیک بالا و تصویرسازی وضعیت موازنه اکولوژیکی در سطح شهرستان‌ها را فراهم می‌کند و الگوها، نقاط حساس و مناطق آسیب‌پذیر را مشخص می‌سازد. این روش با تلفیق شاخص‌های محیط‌زیستی مختلف در قالبی جغرافیایی و قابل‌فهم، برنامه‌ریزی مبتنی بر داده را تسهیل می‌کند.

نحوه محاسبه ردپای اکولوژیک؛ هنگامی که تقاضای مصرف بیشتر از ظرفیت زیستی منابع تجدیدپذیر باشد، منابع طبیعی کاهش یافته و این مسئله منجر به ناپایداری می‌شود. مبنای مفهومی برای برآورد ردپای اکولوژیک حامل‌های انرژی بر این پایه استوار است که کربن آلی موجود در سوخت‌های فسیلی پس از سوختن به‌صورت ترکیبات معدنی (اکسید و دی‌اکسید کربن) آزاد و وارد اتمسفر می‌شود و تنها فرایندی که می‌تواند کربن معدنی را مجدداً به کربن آلی تبدیل کند، به‌واسطه گیاهان (به‌ویژه جنگل‌ها) و عمل فتوسنتز است. بر این اساس اگر کربن تولیدشده براثر مصرف سوخت‌های فسیلی در حدی باشد که بتواند توسط جنگل‌ها ترسیب و مجدداً به کربن آلی تبدیل شود می‌توان نتیجه گرفت که ردپای اکولوژیک مصرف سوخت با ظرفیت زیستی آن برابر و تراز اکولوژیک بین این دو برقرار است. برای سنجش این مقادیر ضرایبی نیاز است که بتوان در مرحله نخست کربن تولیدشده ناشی از مصرف حامل‌های انرژی را محاسبه کرد و در مرحله دوم میزان زمین لازم برای ترسیب این میزان کربن را برآورد کرد. باتوجه‌به اطلاعات موجود و ضرایب قابل‌تبدیل، واحد حرارتی BTU[۱۰] این قابلیت را دارا است. این واحد و به شرح جدول ۳، قابلیت تبدیل حامل‌های انرژی را به یکدیگر دارد.

جدول ۳. ضرایب معادل‌سازی حامل‌های انرژی بر حسب واحد حرارتی BTU؛ منبع:
http://www.businessdictionary.com/definition/British

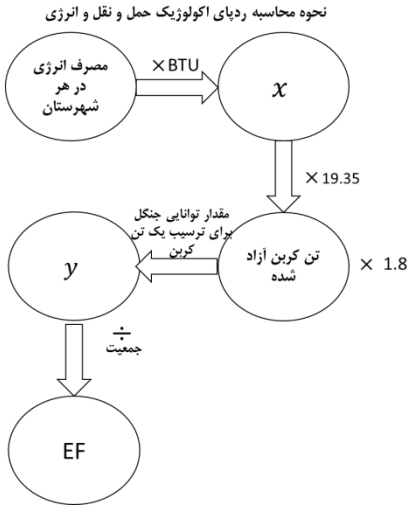
نوع حامل	واحد				BTU
	مترمکعب	لیتر	کیلوگرم	کیلووات ساعت	
الکتریسیته				*	۳۴۱۱
گاز مایع			*		۴۹۹۷۰
بنزین		*			۲۰۵۰۰
نفت سفید		*			۳۴۳۵۰
نفت گاز		*			۳۵۴۸۰
نفت کوره		*			۲۷۰۰۰
هیزم	*				۱۸۰۰۰
گاز طبیعی	*				۳۷۲۵۲

۱۰. واحد حرارتی بریتانیا است و هر واحد آن معادل ۱۰۵۵ ژول است. BTU یک واحد متریک نیست و بیشتر در آمریکا، کانادا و حوزه کارائیب مورداستفاده است تا در بریتانیا و سایر نقاط دنیا که واحد کالری رایج است.

[Downloaded from www.disaster.ndri.ac.ir on 2026-11-18]
[DOI: https://doi.org/10.22034/1.2.3]

بر اساس محاسبات و به تقریب، هر 10^9 (یک بیلیون) BTU انرژی (تولیدشده توسط هر یک از حامل‌های انرژی) معرف انتشار ۱۹/۳۵ تن کربن در اتمسفر است و طبق استانداردهای محیط زیستی ۱/۸ هکتار جنگل توانایی ترسیب یک تن کربن را در طول سال دارد. با این پیش‌فرض‌ها، نخست کربن حاصل از سوختن این حامل‌های انرژی محاسبه خواهد شد و سپس میزان هکتار جنگل لازم برای ترسیب کربن تولیدشده نیز برآورد می‌شود. درنهایت با تقسیم میزان جنگل موردنیاز برای ترسیب کربن بر جمعیت، ردپای اکولوژیک قابل‌محاسبه خواهد بود.

برای محاسبه ردپای اکولوژیک حوزه حمل‌ونقل، مصرف بنزین به‌عنوان سوخت اصلی خودروها مبنای محاسبات قرار دارد. بخش حمل‌ونقل همواره یکی از بزرگ‌ترین مصرف‌کننده انرژی و عامل اصلی آلودگی هواست. میزان مصرف این حامل انرژی به تفکیک شهرستان‌های استان از سالنامه آماری ۱۳۹۷ استان اقتباس شده است. برای تعیین ردپای اکولوژیک در حوزه انرژی نیز از اطلاعات سالنامه آماری ۱۳۹۷ استان استفاده شده است. به‌این‌ترتیب که میزان مصرف حامل‌های انرژی به تفکیک شهرستان از سالنامه استخراج شد و سپس با تبدیل واحدهای انرژی به BTU و همانند فرایندی که برای به دست آوردن ردپای حوزه حمل‌ونقل عمل شد، ردپای اکولوژیک هر یک از حامل‌ها به تفکیک محاسبه شد.



شکل ۵. نحوه محاسبه ردپای اکولوژیک حمل‌ونقل و انرژی

به دلیل نبود آمار دقیقی از میزان مصرف مواد غذایی در استان، برای به دست آوردن میزان مصرف مواد غذایی از میانگین سرانه مصرف کشوری استفاده شد. جدول ۴، میانگین سرانه مصرف مواد غذایی را نشان می‌دهد. بر این اساس هر فرد در کشور در طول سال به‌طور میانگین ۴۱۱ کیلوگرم مواد غذایی مصرف می‌کند.

جدول ٤ .میانگین سرانه سالیانه مصرف مواد غذایی در کشور؛ منبع: معاونت غذا و داروی وزارت بهداشت، ۲۰۱٦

ماده غذایی	میانگین مصرف سالیانه	ماده غذایی	میانگین مصرف سالیانه
نان	۱۶۰	تخم‌مرغ	۸
برنج	۴۰	روغن	۱۷
گوشت قرمز، مرغ و ماهی	۳۶	فراورده‌های لبنی	۹۰
قند و شکر	۳۰	میوه و سبزی	۳۰
جمع		۴۱۱	

برای محاسبه ردپای اکولوژیک مصرف مواد غذایی محاسباتی به ترتیب زیر انجام شد:

- نخست از حاصل‌ضرب جمعیت هر شهرستان در ۴۱۱ کیلوگرم میانگین مصرف، مقدار غذای مصرفی هر شهرستان برآورد شد.
- با استفاده از اطلاعات دریافتی از سازمان جهاد کشاورزی استان در سال۱۴۰۲ میزان تولیدات فراورده‌های کشاورزی، باغی و دامی هر شهرستان استخراج شد.

[Downloaded from www.disaster.ndri.ac.ir on 2026-11-18]
[DOI: https://doi.org/10.22034/1.2.3]

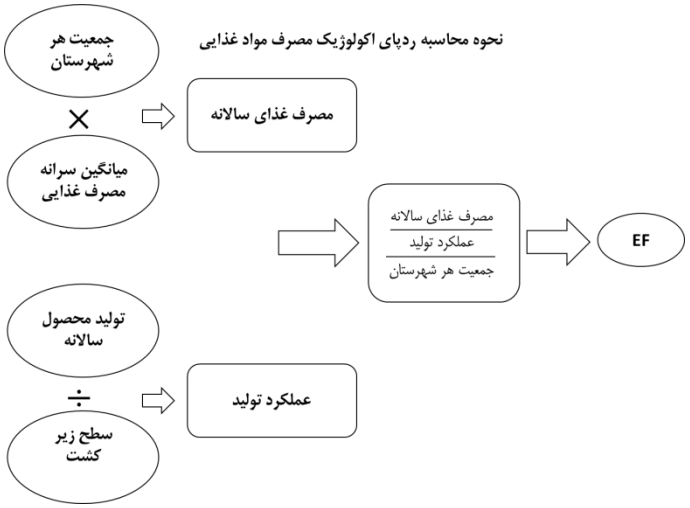
– ازآنجایی‌که تولیدات کشاورزی و دامی محصول زمین‌های کشاورزی و باغی و مراتع هستند، سطوح این کاربری‌ها در هر شهرستان با استفاده از اطلاعات دریافتی از سازمان جهاد کشاورزی استان در سال ۱۴۰۲ محاسبه شد.

– با تقسیم میزان تولیدات محصولات کشاورزی بر مجموع زمین‌های کشاورزی و مرتعی هر شهرستان، عملکرد در واحد سطح محاسبه شد.

– با تقسیم مقدار مصرف غذای سالیانه هر شهرستان بر عملکرد در واحد سطح میزان زمین لازم برای تولید غذای سالیانه محاسبه شد.

– درنهایت با تقسیم مقدار زمین لازم برای تولید مواد غذایی هر شهرستان بر جمعیت همان شهرستان ردپای اکولوژیک مصرف مواد غذایی محاسبه شد.

مجموع مقادیر ردپای اکولوژیک برای حمل‌ونقل، انرژی و مصرف مواد غذایی درواقع تصویری از ردپای اکولوژیک کل استان به دست می‌دهد. البته به این مقادیر می‌توان ردپای اکولوژیک آب و پسماند را نیز اضافه کرد که به دلیل فقدان اطلاعات کافی در این زمینه امکان برآورد آن‌ها میسر نبود.



شکل ٦. شیوه محاسبه ردپای اکولوژیک مصرف مواد غذایی

یافته‌های پژوهش

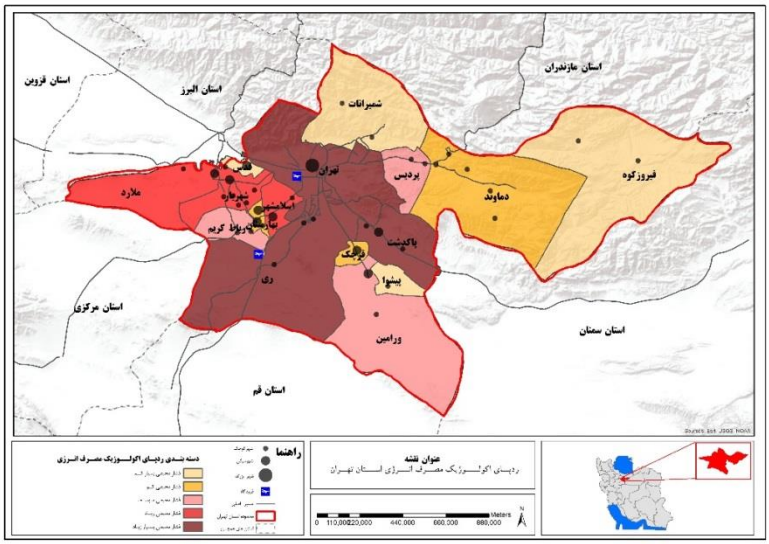
در این بخش، نتایج حاصل از محاسبه شاخص‌های ردپای اکولوژیک، ظرفیت زیستی و کسری اکولوژیک در سطح شهرستان‌های استان تهران ارائه می‌شود. یافته‌ها بر اساس داده‌های مصرف و تولید و در چهارچوب بازه زمانی موردمطالعه استخراج شده و به‌منظور تسهیل درک الگوهای مکانی، به‌صورت ترکیبی از جداول آماری و نقشه‌های پهنه‌بندی فضایی نمایش داده شده‌اند. تمرکز اصلی این بخش بر توصیف الگوی توزیع فضایی فشارهای اکولوژیک و تفاوت میان شهرستان‌ها است، بدون ورود به تفسیرهای سببی و سیاستی که در بخش بحث و نتیجه‌گیری به آن پرداخته خواهد شد.

در میان مؤلفه‌های مختلف ردپای اکولوژیک، بخش انرژی به‌مثابه یکی از اصلی‌ترین منابع فشار بر ظرفیت زیستی استان تهران شناخته می‌شود. وابستگی گسترده فعالیت‌های شهری، صنعتی و خانگی به مصرف انرژی، موجب شده است که الگوی مصرف انرژی نقش تعیین‌کننده‌ای در شکل‌گیری ناترازی اکولوژیکی شهرستان‌ها ایفا کند. به‌منظور بررسی این الگو، در ادامه توزیع فضایی ردپای اکولوژیک مصرف انرژی در استان تهران به‌صورت نقشه پهنه‌بندی ارائه و تحلیل می‌شود.

شکل ۷، توزیع فضایی ردپای اکولوژیک مصرف انرژی را در سطح شهرستان‌های استان تهران و در قالب پنج طبقه از بسیار کم تا بسیار زیاد نشان می‌دهد. بر این اساس، مصرف انرژی به‌صورت فضایی متمرکز و ناهمگون توزیع شده است. شهرستان‌های مرکزی و غربی ازجمله تهران، ری و اسلامشهر در رده‌های با ردپای زیاد و بسیار زیاد قرار دارند که با تمرکز

[Downloaded from www.disaster.ndri.ac.ir on 2026-11-18]
[DOI: https://doi.org/10.22034/1.2.3]

جمعیت و فعالیت‌های شهری همخوانی دارد. در مقابل، شهرستان‌های کوهستانی مانند شمیرانات، دماوند و فیروزکوه بیشتر در طبقات کم تا بسیار کم دیده می‌شوند. نواحی جنوبی نظیر ورامین و پاکدشت نیز در رده‌های میانی قرار گرفته‌اند. درمجموع، الگوی فضایی به‌دست‌آمده کاهش تدریجی ردپای انرژی از هسته شهری به سمت پیرامون استان را نشان می‌دهد. دلیل اصلی این الگو، تمرکز جمعیت، فعالیت‌های صنعتی و خدماتی، مصرف بالای انرژی و حمل‌ونقل، و فشار شدید بر منابع آب و زمین در پهنه‌های مرکزی است؛ در مقابل، شهرستان‌های پیرامونی به دلیل تراکم کمتر و نقش محدودتر در اقتصاد کلان، ردپای اکولوژیک پایین‌تری دارند.

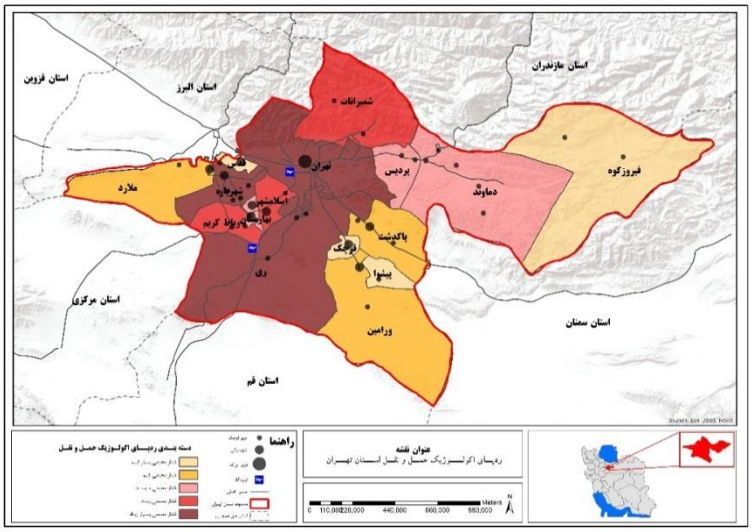


شکل ٦. ردپای اکولوژیک شهرستان‌های استان تهران در حوزه انرژی

بخش حمل‌ونقل یکی دیگر از مؤلفه‌های مهم ردپای اکولوژیک در مناطق شهری به شمار می‌رود، زیرا الگوی جابه‌جایی روزانه جمعیت و تمرکز زیرساخت‌های ترافیکی می‌تواند فشار قابل‌توجهی بر منابع انرژی و محیط‌زیست وارد کند. در ادامه، توزیع فضایی ردپای اکولوژیک حمل‌ونقل در سطح شهرستان‌های استان تهران بررسی می‌شود. شکل ۸، توزیع فضایی ردپای اکولوژیک حمل‌ونقل را در استان تهران و در قالب پنج طبقه از بسیار کم تا بسیار زیاد نشان می‌دهد. شهرستان‌های مرکزی و پیرامونی نزدیک به شهر تهران در رده‌های ردپای زیاد و بسیار زیاد قرار دارند که با تمرکز شبکه‌های معابر و شدت بالای تردد روزانه همخوانی دارد. شهرستان‌هایی مانند شمیرانات نیز با وجود جمعیت کمتر، در طبقات بالاتر دیده می‌شوند که می‌تواند به نقش آن‌ها در ترددهای برون‌شهری مرتبط باشد. در مقابل، شهرستان‌های دورتر و کم‌تراکم‌تر نظیر فیروزکوه و ملارد بیشتر در رده‌های ردپای کم تا بسیار کم قرار گرفته‌اند. به‌طورکلی، الگوی فضایی نشان می‌دهد ردپای حمل‌ونقل از هسته شهری به سمت پیرامون استان کاهش می‌یابد.

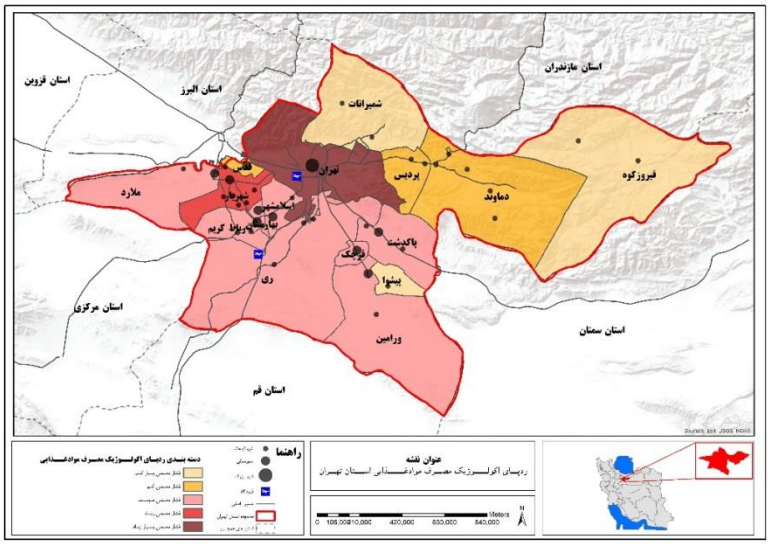
[Downloaded from www.disaster.ndri.ac.ir on 2026-11-18]

[DOI: https://doi.org/10.22034/1.2.3]



شکل ۷. ردپای اکولوژیک شهرستان‌های استان تهران در حوزه حمل‌ونقل

بخش تولید غذا از دیگر مؤلفه‌های مهم ردپای اکولوژیک است که به‌واسطه ارتباط مستقیم با منابع زمین، آب‌وخاک، نقش تعیین‌کننده‌ای در تعادل زیستی مناطق دارد. شکل ۹، توزیع فضایی ردپای اکولوژیک تولید غذا را در استان تهران و در قالب پنج طبقه از بسیار کم تا بسیار زیاد نشان می‌دهد. شهرستان‌های مرکزی و تا حدودی غربی استان تهران در رده‌های ردپای زیاد و بسیار زیاد قرار دارند که بیانگر وابستگی بالا به تولیدات غذایی برون‌منطقه‌ای و محدودیت زمین‌های کشاورزی است. در مقابل، شهرستان‌های جنوب شرقی مانند ورامین، پاکدشت و پیشوا بیشتر در طبقات متوسط دیده می‌شوند که بازتاب‌دهنده نقش آن‌ها به‌مثابه پهنه‌های اصلی تولید کشاورزی استان است. شهرستان‌های کوهستانی نظیر دماوند و فیروزکوه نیز در رده‌های کم تا بسیار کم قرار گرفته‌اند که با جمعیت کمتر و غلبه فعالیت‌های باغداری همخوانی دارد. درمجموع، نقشه نشان می‌دهد ردپای تولید غذا تابعی از نسبت میان ظرفیت تولید محلی و میزان تقاضای جمعیتی است.



شکل ۹. ردپای اکولوژیک شهرستان‌های استان تهران در حوزه مصرف مواد غذایی

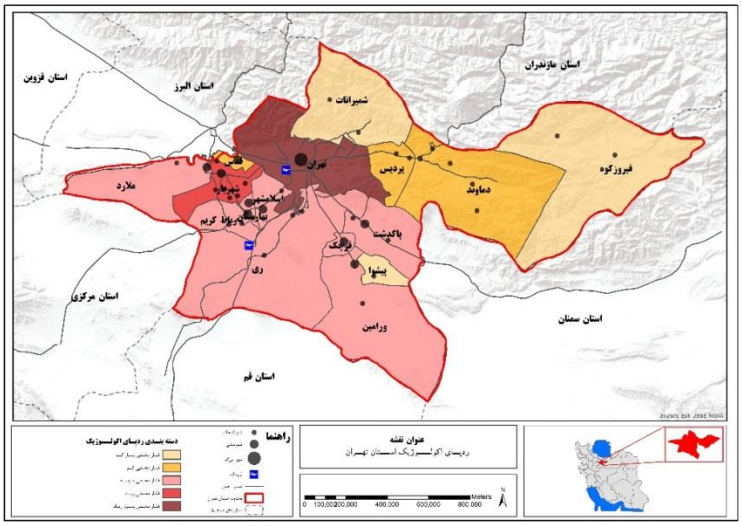
به‌منظور ارائه تصویری کلی از وضعیت فشار اکولوژیک، جدول ۵ مقادیر ردپای اکولوژیک کل شهرستان‌های استان تهران را به تفکیک مؤلفه‌های اصلی شامل مصرف انرژی، حمل‌ونقل و تولید غذا نشان می‌دهد.

[Downloaded from www.disaster.ndri.ac.ir on 2026-11-18]
[DOI: https://doi.org/10.22034/1.2.3]

جدول ۵. ردپای اکولوژیک کل استان تهران به تفکیک شهرستان‌ها

شهرستان	ردپای اکولوژیک حمل‌ونقل	ردپای اکولوژیک مصرف انرژی				ردپای اکولوژیک تولید غذا	EF کل
		نفت سفید	نفت گاز	نفت کوره	برق		
اسلامشهر	۰/۲۹۴	۰/۰۰۲	۰/۱۷۸	۰/۰۰۰۷	۰/۲۸۵	۹/۸	۱۰/۵۷۵
بهارستان	۰/۱۴۷	۰/۰۰۰	۰/۰۸۰	۰/۰۰۰۱	۰/۱۴۸	۸/۰	۸/۳۶۷
پاکدشت	۰/۲۰۸	۰/۰۰۷	۰/۳۵۰	۰/۰۰۲۰	۰/۳۷۹	۱۱/۶	۱۲/۵۴۴
پردیس	۰/۴۱۷	۰/۰۰۹	۰/۳۵۹	۰/۰۰۰۳	۰/۳۰۴	۶/۱	۷/۲۳۰
پیشوا	۰/۲۲۴	۰/۰۰۱	۰/۳۲۸	۰/۰۰۰۰	۰/۳۲۳	۴/۳	۵/۱۸۹
تهران	۰/۲۶۹	۰/۰۰۰	۰/۱۹۳	۰/۰۰۱۹	۰/۲۸۲	۱۴/۳	۱۵/۰۴۵
دماوند	۰/۷۱۶	۰/۰۳۱	۰/۶۱۵	۰/۰۰۱۰	۰/۳۶۰	۱۶/۱	۱۷/۸۰۵
رباط‌کریم	۰/۳۲۸	۰/۰۰۲	۰/۲۴۶	۰/۰۰۵۸	۰/۲۷۸	۱۶/۱	۱۶/۹۴۵
ری	۱/۲۹۲	۰/۰۱۶	۱/۱۷۹	۰/۰۰۲۶	۰/۹۲۲	۱۱/۱	۱۴/۴۶۲
شمیرانات	۵/۲۴۷	۰/۰۵۸	۰/۳۹۳	۰/۰۰۰۰	۰/۴۸۹	۱۸/۹	۲۵/۱۲۱
شهریار	۰/۳۵۲	۰/۰۰۱	۰/۰۵۴	۰/۰۰۰۸	۰/۲۴۶	۱۲/۶	۱۳/۲۲۳
فیروزکوه	۰/۶۳۱	۰/۱۱۹	۰/۷۴۵	۰/۰۰۰۰	۰/۹۸۴	۲۶/۹	۲۹/۳۷۹
قدس	۰/۰۸۸	۰/۰۰۰	۰/۰۹۱	۰/۰۰۰۰	۰/۱۵۴	۵/۵	۵/۸۰۷
قرچک	۰/۰۹۸	۰/۰۰۱	۰/۰۵۳	۰/۰۰۰۹	۰/۳۲۷	۱۴/۹	۱۵/۳۸۸
ملارد	۰/۱۵۹	۰/۰۰۵	۰/۴۲۵	۰/۰۰۰۹	۰/۲۳۱	۱۰/۲	۱۱/۰۴۱
ورامین	۰/۱۹۴	۰/۰۰۱	۰/۲۳۱	۰/۰۰۱۸	۰/۲۸۳	۱۲/۴	۱۳/۱۳۱
استان	۰/۳۰۹	۰/۰۰۲	۰/۲۲۲	۰/۰۰۱۷	۰/۲۹۴	۱۰/۹	۱۱/۷۵۲

به‌منظور تبیین بهتر تفاوت‌های فضایی میان شهرستان‌ها، توزیع مکانی ردپای اکولوژیک کل در قالب شکل ۱۰ ارائه شده است.



شکل ۱۰. مجموع ردپای اکولوژیک بخش‌های انرژی، حمل‌ونقل و غذا در شهرستان‌های استان تهران

ظرفیت زیستی شهرستان‌های استان تهران (بیانگر توان سرزمین در تأمین منابع زیستی و جذب فشارهای انسانی) با استفاده از داده‌های مساحت، جمعیت و انواع کاربری زمین در جدول ۶ ارائه شده است.

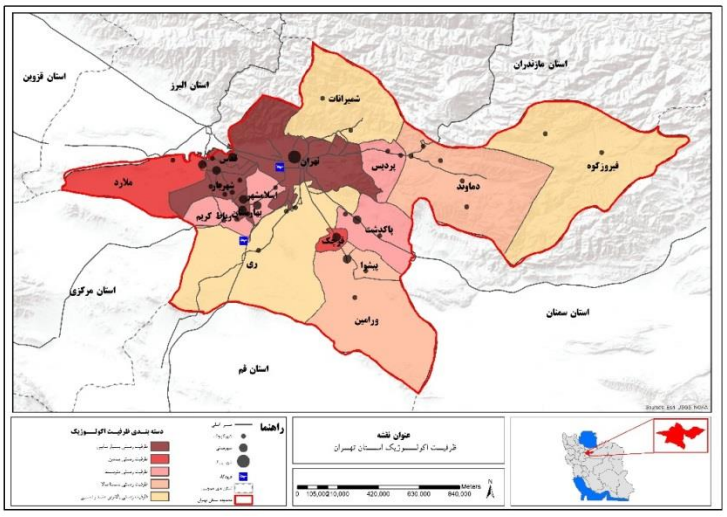
جدول ٦ . ظرفیت زیستی شهرستان‌های استان تهران

شهرستان	مساحت (هکتار)	جمعیت ۱۳۹۵	مساحت انواع زمین‌ها – هکتار					ظرفیت زیستی کل	سرانه ظرفیت زیستی
			ساخت‌وساز	جنگلی	ماهیگیری	مراتع	کشاورزی		
اسلامشهر	۲۰۵۰۰	۵۴۸۶۲۱	۶۱۲۹/۵	۰	۹/۹	۰	۱۱۲۶۵	۳۳۴۷۴/۶۴	۰/۰۶
بهارستان	۵۵۰۰	۵۳۶۳۲۹	۲۸۳۲/۰	۶۷	۰/۲	۰	۱۷۸۸	۸۶۴۸/۵۱	۰/۰۲
پاکدشت	۵۶۸۰۰	۳۵۰۹۶۷	۶۷۴۷/۸	۵۲۷	۱/۸	۲۱۶۱۰	۱۳۷۷۶	۴۳۸۶۷/۸۲	۰/۱۲
پردیس	۲۹۹۰۰	۱۶۹۰۶۰	۴۳۵۶/۴	۳۴۸۰	۰/۷	۷۸۰۰	۰	۱۰۷۴۴/۱۱	۰/۰۶

[Downloaded from www.disaster.ndri.ac.ir on 2026-11-18]
[DOI: https://doi.org/10.22034/1.2.3]

شهرستان	مساحت (هکتار)	جمعیت ۱۳۹۵	مساحت انواع زمین‌ها – هکتار					ظرفیت زیستی کل	سرانه ظرفیت زیستی
			ساخت‌وساز	جنگلی	ماهیگیری	مراتع	کشاورزی		
پیشوا	۲۰۲۰۰	۸۶۶۰۱	۲۲۶۴/۴	۲۵۰	۴/۷	۰	۱۴۴۵۱	۳۳۰۸۴/۷۷	۰/۳۸
تهران	۱۳۳۶۰۰	۸۷۳۷۵۰۷	۵۱۴۴۹/۴	۶۳۹۹	۱۳۰/۸	۶۶۲۹۲	۵۱۴۴	۱۱۷۱۷۹/۲۲	۰/۰۱
دماوند	۱۹۳۲۰۰	۱۲۵۴۸۰	۴۵۵۹/۵	۷۲۰۶	۵۱/۴	۱۴۷۸۶۸	۱۸۵۹	۴۲۷۰۷/۵۵	۰/۳۴
رباط‌کریم	۲۸۳۰۰	۲۹۱۵۱۶	۶۱۲۷/۰	۲۵۷	۲/۱	۰	۳۷۶۹	۱۸۵۶۳/۲۴	۰/۰۶
ری	۲۳۲۴۰۰	۳۴۹۷۰۱	۱۷۴۵۳/۲	۵۹۰۳	۲۷۴/۱	۱۵۲۹۵۶	۴۵۲۳۳	۱۵۳۱۰۸/۷۱	۰/۴۴
شمیرانات	۱۲۶۰۰۰	۴۷۲۷۹	۷۲۴۵/۰	۷۴۸۲	۳۸۳۰	۱۰۷۶۸۹	۰	۴۰۱۲۴/۲۶	۰/۸۵
شهریار	۳۹۲۰۰	۷۴۴۲۱۰	۷۹۱۰/۶	۱۲۵	۰/۹	۱۱۲۵۰	۴۷۷۶	۲۵۷۹۶/۶۰	۰/۰۳
فیروزکوه	۲۳۸۵۰۰	۳۳۵۵۸	۱۲۸۷/۹	۸۷۰۵	۱۷۷/۹	۲۰۲۴۷۹	۴۷۳۶	۵۳۶۴۵/۵۷	۱/۶۰
قدس	۶۷۰۰	۳۱۶۶۳۷	۳۳۰۶/۵	۰	۰/۵	۰	۱۰۶۷	۸۰۱۹/۳۸	۰/۰۳
قرچک	۹۰۰۰	۲۶۹۱۳۸	۱۴۹۵/۸	۰	۰/۲	۰	۴۳۲۹	۱۱۳۳۰/۹۸	۰/۰۴
ملارد	۸۸۶۰۰	۳۷۷۲۹۱	۴۵۰۹/۷	۲۵۴	۰/۸	۰	۵۳۸۴	۱۸۹۱۸/۱۳	۰/۰۵
ورامین	۱۵۵۷۰۰	۲۸۳۷۴۱	۴۹۵۱/۳	۱۳۴۹	۱۵/۸	۹۴۶۰۰	۳۹۱۹۳	۱۰۵۵۹۶/۹۳	۰/۳۷

نقشه ظرفیت زیستی استان تهران نشان می‌دهد که توان اکولوژیک سرزمین به‌صورت ناهمگون در فضا توزیع شده است. شهرستان‌های کوهستانی شمال و شمال شرق استان نظیر شمیرانات، دماوند و فیروزکوه در رده‌های ظرفیت متوسط تا بالا قرار دارند که با وجود پوشش‌های طبیعی، مراتع و منابع آب همخوانی دارد. در مقابل، شهرستان‌های مرکزی و غربی مانند تهران، اسلامشهر و بهارستان بیشتر در طبقات ظرفیت پایین و بسیار پایین دیده می‌شوند. سایر شهرستان‌های پیرامونی نیز در سطوح میانی قرار گرفته‌اند که نشان‌دهنده ظرفیت محدود اما هنوز فعال اکولوژیکی آن‌ها است.



شکل ۱۱. ظرفیت اکولوژیک کل در استان تهران به تفکیک شهرستان‌ها

کسری اکولوژیک بیانگر تفاوت میان میزان ردپای اکولوژیک و ظرفیت زیستی سرزمین است و شاخصی کلیدی برای سنجش ناترازی میان مصرف و توان اکولوژیکی محسوب می‌شود. در این بخش، وضعیت کسری اکولوژیک شهرستان‌های استان تهران به‌صورت کمی و فضایی بررسی شده است. جدول ۷، مقادیر کسری اکولوژیک شهرستان‌های استان تهران را نشان می‌دهد.

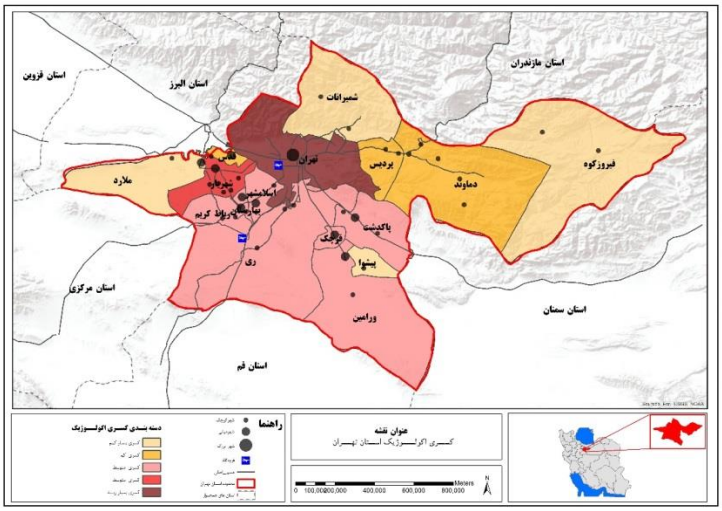
جدول ۷. کسری اکولوژیک شهرستان‌های استان تهران

شهرستان	ردپای اکولوژیک حمل‌ونقل	ردپای اکولوژیک مصرف انرژی				ردپای اکولوژیک تولید غذا	EF	BC	کسری اکولوژیک
		نفت سفید	نفت گاز	نفت کوره	برق				
اسلامشهر	۰/۲۹۴	۰/۰۰۲	۰/۱۷۸	۰/۰۰۰۷	۰/۲۸۵	۹/۸	۱۰/۵۷	۰/۰۶	−۱۰/۵۱
بهارستان	۰/۱۴۷	۰/۰۰۰	۰/۰۸۰	۰/۰۰۰۱	۰/۱۴۸	۸/۰	۸/۳۷	۰/۰۲	−۸/۳۵

[Downloaded from www.disaster.ndri.ac.ir on 2026-11-18]
[DOI: https://doi.org/10.22034/1.2.3]

شهرستان	ردپای اکولوژیک حمل‌ونقل	ردپای اکولوژیک مصرف انرژی				ردپای اکولوژیک تولید غذا	EF	BC	کسری اکولوژیک
		نفت سفید	نفت گاز	نفت کوره	برق				
پاکدشت	۰/۲۰۸	۰/۰۰۷	۰/۳۵۰	۰/۰۰۲۰	۰/۳۷۹	۱۱/۶	۱۲/۵۷	۰/۱۲	−۱۲/۴۲
پردیس	۰/۴۱۷	۰/۰۰۹	۰/۳۵۹	۰/۰۰۰۳	۰/۳۰۴	۶/۱	۷/۲۳	۰/۰۶	−۷/۱۷
پیشوا	۰/۲۲۴	۰/۰۰۱	۰/۸۲۳	۰/۰۰۰۰	۰/۳۲۳	۴/۳	۵/۱۹	۰/۳۸	−۴/۸۱
تهران	۰/۲۶۹	۰/۰۰۰۰	۰/۱۹۳	۰/۰۰۱۹	۰/۲۸۲	۱۴/۳	۱۵/۰۴	۰/۰۱	−۱۵/۰۳
دماوند	۰/۷۱۶	۰/۰۳۱	۰/۶۱۵	۰/۰۰۱۰	۰/۳۶۰	۱۶/۱	۱۷/۸۱	۰/۳۴	−۱۷/۴۷
رباط‌کریم	۰/۳۲۸	۰/۰۰۲	۰/۲۴۶	۰/۰۰۵۸	۰/۲۷۸	۱۶/۱	۱۶/۹۴	۰/۰۶	−۱۶/۸۸
ری	۱/۲۹۲	۰/۰۱۶	۱/۱۷۹	۰/۰۰۲۶	۰/۹۲۲	۱۱/۱	۱۴/۴۶	۰/۴۴	−۱۴/۰۲
شمیرانات	۵/۲۴۷	۰/۰۵۸	۰/۳۹۳	۰/۰۰۰۰	۰/۴۸۹	۱۸/۹	۲۵/۱۲	۰/۸۵	−۲۴/۲۷
شهریار	۰/۳۵۲	۰/۰۰۱	۰/۰۵۴	۰/۰۰۰۸	۰/۲۴۶	۱۲/۶	۱۳/۲۲	۰/۰۳	−۱۳/۱۹
فیروزکوه	۰/۶۳۱	۰/۱۱۹	۰/۷۴۵	۰/۰۰۰۰	۰/۹۸۴	۲۶/۹	۲۹/۳۸	۱/۶	−۲۷/۷۸
قدس	۰/۰۸۸	۰/۰۰۰	۰/۰۹۱	۰/۰۰۰۰	۰/۱۵۴	۵/۵	۵/۸۱	۰/۰۳	−۵/۷۸
قرچک	۰/۰۹۸	۰/۰۰۱	۰/۰۵۳	۰/۰۰۰۹	۰/۳۲۷	۱۴/۹	۱۵/۳۹	۰/۰۴	−۱۵/۳۵
ملارد	۰/۱۵۹	۰/۰۰۵	۰/۴۲۵	۰/۰۰۰۹	۰/۲۳۱	۱۰/۲	۱۱/۰۴	۰/۰۵	−۱۰/۹۹
ورامین	۰/۱۹۴	۰/۰۰۱	۰/۲۳۱	۰/۰۰۱۸	۰/۲۸۳	۱۲/۴	۱۳/۱۳	۰/۳۷	−۱۲/۷۶
استان	۰/۳۰۹	۰/۰۰۲	۰/۲۲۲	۰/۰۰۱۷	۰/۲۹۴	۱۰/۹	۱۱/۷۵	۴/۴۶	−۷/۲۹

به‌منظور تبیین بهتر الگوی مکانی کسری اکولوژیک و مقایسه فضایی شهرستان‌ها، نتایج جدول به‌صورت نقشه پهنه‌بندی ارائه شده است (شکل ۱۲).



شکل ۱۲. کسری اکولوژیک استان تهران به تفکیک شهرستان‌ها

نقشه کسری اکولوژیک استان تهران نشان می‌دهد که ناترازی میان ردپای اکولوژیک و ظرفیت زیستی به‌صورت فضایی ناهمگون در سطح شهرستان‌ها توزیع شده است. پهنه‌های با کسری بسیار زیاد و زیاد بیشتر در هسته مرکزی استان، شامل شهر تهران و شهرستان‌های پیرامونی آن، متمرکز شده‌اند که بیانگر فشار بالای مصرف نسبت به توان اکولوژیک سرزمین است. در مقابل، بخش‌هایی از جنوب و جنوب شرق استان در رده‌های کسری متوسط قرار دارند که نشان‌دهنده شدت کمتر ناترازی است. شهرستان‌های کوهستانی شمال و شمال شرق مانند شمیرانات، دماوند و فیروزکوه بیشتر در طبقات کسری کم تا بسیار کم دیده می‌شوند که با محدودیت فعالیت انسانی و ظرفیت طبیعی بالاتر همخوانی دارد. درمجموع، این نقشه تمرکز کسری اکولوژیک در هسته شهری استان و کاهش تدریجی آن به سمت نواحی پیرامونی را نشان می‌دهد.

نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل ردپای اکولوژیک، ظرفیت زیستی و کسری اکولوژیک، چهارچوب تحلیلی لازم برای بحث و

[Downloaded from www.disaster.ndri.ac.ir on 2026-11-18]
[DOI: https://doi.org/10.22034/1.2.3]

نتیجه‌گیری نهایی را فراهم می‌کند.

محدودیت‌های پژوهش

باتوجه‌به فقدان آمار دقیق استانی در خصوص مصرف مواد غذایی، این پژوهش ناچار به اتکا بر میانگین سرانه مصرف کشوری شد که ممکن است تنوع الگوهای محلی مصرف و تفاوت‌های منطقه‌ای را به‌طور کامل بازتاب ندهد. همچنین به دلیل محدودیت دسترسی به داده‌های رسمی در سطح شهرستان، برای برخی متغیرها از آخرین داده‌های معتبر در دسترس استفاده شده است که باتوجه‌به ماهیت قیاسی و فضایی تحلیل، تأثیری بر نتایج نسبی پژوهش ندارد.

لازم به ذکر است برآورد ردپای اکولوژیک بر سه مؤلفه اصلی (حمل‌ونقل، انرژی و مواد غذایی) متمرکز شده است. درحالی‌که افزودن ردپای آب و پسماند، باتوجه‌به محدودیت داده‌های موجود، در این مرحله محقق نشد. این موارد، دامنه محاسبات را به‌طور موقت محدود ساخته و زمینه‌ای برای گسترش پژوهش‌های آتی با داده‌های جامع‌تر را فراهم می‌آورد.

نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف سنجش و تحلیل وضعیت پایداری اکولوژیکی استان تهران، به محاسبه و پهنه‌بندی سه شاخص کلیدی ردپای اکولوژیک، ظرفیت زیستی و موازنه اکولوژیک در سطح شهرستان‌ها پرداخت. نتایج نشان داد که الگوی توزیع فشارهای اکولوژیک در استان تهران به‌شدت ناهمگون و متأثر از تمرکز فضایی جمعیت، فعالیت‌های اقتصادی و ساختار کالبدی–عملکردی فضا است. به‌طورکلی، هسته مرکزی استان و شهرستان‌های پیرامونی شهر تهران بیشترین میزان ردپای اکولوژیک را به خود اختصاص داده‌اند، درحالی‌که شهرستان‌های کوهستانی و کم‌تراکم‌تر در شمال و شمال شرق استان از فشار اکولوژیکی کمتری برخوردارند.

در میان مؤلفه‌های ردپای اکولوژیک، مصرف انرژی و حمل‌ونقل نقش غالبی در شکل‌گیری ناترازی اکولوژیکی شهرستان‌ها ایفا می‌کنند. وابستگی شدید فعالیت‌های شهری و صنعتی به انرژی‌های فسیلی، شدت بالای جابه‌جایی روزانه و تمرکز شبکه‌های حمل‌ونقل، موجب افزایش چشمگیر ردپای اکولوژیک در شهرستان‌های مرکزی شده است. در مقابل، بخش تولید غذا بیشتر تابع ظرفیت‌های محلی زمین و الگوی استقرار فعالیت‌های کشاورزی بوده و در شهرستان‌های جنوب شرقی استان نقش تعدیل‌کننده‌تری در فشار اکولوژیکی داشته است.

تحلیل ظرفیت زیستی نشان داد که توان اکولوژیک سرزمین نیز به‌صورت نامتوازن توزیع شده است؛ به‌گونه‌ای که شهرستان‌های برخوردار از پوشش‌های طبیعی، مراتع و زمین‌های گسترده (مانند فیروزکوه، شمیرانات و دماوند) از ظرفیت زیستی بالاتری برخوردارند، درحالی‌که شهرستان‌های متراکم شهری با محدودیت شدید منابع طبیعی، کمترین ظرفیت زیستی را دارند. مقایسه این ظرفیت با میزان ردپای اکولوژیک حاکی از آن است که تمامی شهرستان‌های استان با کسری اکولوژیک مواجه‌اند، اما شدت این کسری در شهرستان‌های مرکزی به‌مراتب بیشتر از نواحی پیرامونی است.

درمجموع، نتایج پژوهش بیانگر وجود شکاف عمیق میان الگوی مصرف و توان اکولوژیکی سرزمین در استان تهران است؛ شکافی که به‌صورت فضایی در قالب تمرکز کسری اکولوژیک در هسته شهری و کاهش تدریجی آن به سمت پیرامون نمود پیدا می‌کند. این یافته‌ها بر ضرورت توجه به بعد فضایی پایداری، بازنگری در الگوهای مصرف انرژی و حمل‌ونقل، و تقویت ظرفیت‌های اکولوژیکی در برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای تأکید دارد و می‌تواند به‌عنوان مبنایی تحلیلی برای تدوین سیاست‌ها و راهبردهای توسعه پایدار در مقیاس استانی و شهری مورداستفاده قرار گیرد.

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که کسری اکولوژیک در استان تهران، به‌مثابه شکاف ساختاری میان الگوی مصرف و ظرفیت زیستی سرزمین، منشأ مجموعه‌ای از بحران‌های محیط‌زیستی، فضایی و اجتماعی است که در مقیاس منطقه‌ای به‌صورت هم‌زمان و درهم‌تنیده بروز یافته‌اند. بحران منابع آب و فرونشست زمین، آلودگی هوا، افت کیفیت زندگی و کاهش زیست‌پذیری شهری را باید پیامدهای انباشتی این کسری دانست؛ پیامدهایی که ریشه آن‌ها در شدت بالای مصرف انرژی، غذا و حمل‌ونقل و

[Downloaded from www.disaster.ndri.ac.ir on 2026-11-18]

[DOI: https://doi.org/10.22034/1.2.3]

تمرکز فضایی آن‌ها در هسته مرکزی استان قرار دارد.

تمرکز بالای جمعیت و فعالیت‌های شهری در شهرستان‌های مرکزی، همراه با ردپای اکولوژیک بالای مصرف انرژی و حمل‌ونقل، به تشدید انتشار آلاینده‌های هوا، افزایش بار ترافیکی، مصرف بالای سوخت‌های فسیلی و درنتیجه افت کیفیت محیط زندگی انجامیده است. این وضعیت نه‌تنها سلامت عمومی و زیست‌پذیری شهری را تضعیف کرده، بلکه با افزایش تقاضای غیرمستقیم برای منابع آب، زمین و انرژی، فشار اکولوژیکی را به شهرستان‌های پیرامونی منتقل کرده است. بدین ترتیب، آلودگی هوا و افت کیفیت زندگی در هسته شهری و بحران آب و فرونشست در پهنه‌های پیرامونی، دو جلوه فضایی از یک ناترازی اکولوژیک واحد هستند.

در حوزه غذا، وابستگی بالای مراکز جمعیتی به تولیدات برون‌هسته‌ای، موجب شده است که شهرستان‌های کشاورزی استان نقش جبران‌کننده مصرف شهری را ایفا کنند. این نقش، در بستر کسری اکولوژیک، به بهره‌برداری فزاینده از منابع طبیعی، کاهش تاب‌آوری اکوسیستم‌ها، افت کیفیت خاک و درنهایت ناپایداری نظام تولید غذا انجامیده است. پیامدهای این روند، فراتر از بخش کشاورزی، به تضعیف امنیت غذایی، افزایش آسیب‌پذیری معیشتی و کاهش کیفیت زیست در سکونتگاه‌های روستایی و شهری پیرامونی نیز تسری یافته است.

از منظر برنامه‌ریزی فضایی پایدار منطقه‌ای، نتایج پژوهش نشان می‌دهد که کسری اکولوژیک به بازتولید الگوهای نابرابر فضایی منجر شده است؛ به‌گونه‌ای که شهرستان‌های مرکزی از مزیت‌های تمرکز خدمات و فعالیت‌ها بهره‌مند شده‌اند، درحالی‌که پیامدهای محیط‌زیستی و اکولوژیکی آن در پهنه‌های پیرامونی انباشته شده است. این الگو، علاوه بر تشدید ناپایداری اکولوژیکی، به کاهش عدالت فضایی، افت زیست‌پذیری و افزایش شکاف‌های اجتماعی–فضایی در سطح استان انجامیده است.

در این میان، نوآوری اصلی پژوهش حاضر را می‌توان در رویکرد تلفیقی و فضامحور آن نسبت به تحلیل پایداری اکولوژیک استان تهران دانست. ترکیب هم‌زمان شاخص‌های ردپای اکولوژیک، ظرفیت زیستی و کسری اکولوژیک و پهنه‌بندی آن‌ها در سطح شهرستان‌ها، امکان شناسایی الگوهای مکانی ناترازی اکولوژیک و تبیین نقش عملکردی هر شهرستان در تولید یا تعدیل فشارهای محیطی را فراهم ساخته است. این رویکرد، زمینه گذار از تحلیل‌های صرفاً توصیفی به تصمیم‌سازی فضایی مبتنی بر شواهد را در چهارچوب برنامه‌ریزی منطقه‌ای فراهم می‌کند.

بر این اساس، مواجهه با کسری اکولوژیک استان تهران مستلزم اتخاذ سیاست‌های اجرایی مشخص و مکان‌محور است. در شهرستان‌های مرکزی و پیرامونی کلان‌شهر تهران نظیر تهران، ری، اسلام‌شهر و شهریار، که بالاترین سطوح فشار اکولوژیک ناشی از مصرف انرژی و حمل‌ونقل را تجربه می‌کنند، اولویت سیاستی باید بر مهار تمرکز فعالیت‌های پرمصرف انرژی، تحدید الگوی توسعه خودرومحور و ارتقای بهره‌وری انرژی در بافت‌های متراکم شهری متمرکز شود. در مقابل، شهرستان‌هایی مانند دماوند و فیروزکوه که از ظرفیت زیستی بالاتر و فشار اکولوژیکی کمتری برخوردارند، باید به‌عنوان پهنه‌های پشتیبان اکولوژیک استان تلقی شده و توسعه در آن‌ها به فعالیت‌های کم‌اثر و سازگار با توان سرزمین، همانند کشاورزی پایدار و گردشگری مسئولانه، هدایت شود. همچنین در شهرستان‌هایی مانند ورامین و پاکدشت، اعمال سیاست‌های پیشگیرانه برای حفاظت از زمین‌های کشاورزی، مدیریت مصرف منابع آب و کنترل استقرار فعالیت‌های جدید پرمصرف، می‌تواند از تبدیل این مناطق به کانون‌های جدید کسری اکولوژیک پیشگیری کند.

درنهایت، این پژوهش نشان می‌دهد که بحران‌های کنونی استان تهران، نه پدیده‌هایی منفرد، بلکه پیامدهای ساختاری کسری اکولوژیک ناشی از الگوی مصرف غذا، انرژی و حمل‌ونقل هستند. تلفیق شاخص‌های ردپای اکولوژیک و ظرفیت زیستی در نظام تصمیم‌سازی فضایی و گذار از رویکردهای واکنشی به برنامه‌ریزی پیش‌نگر، می‌تواند زمینه‌ساز بازتعریف الگوی توسعه فضایی استان تهران در جهت ارتقای زیست‌پذیری، عدالت فضایی و پایداری بلندمدت سرزمین باشد.

[Downloaded from www.disaster.ndri.ac.ir on 2026-11-18]

[DOI: https://doi.org/10.22034/1.2.3]

References

Best, J., & Darby, S. E. (2020). The Pace of Human-Induced Change in Large Rivers: Stresses, Resilience, and Vulnerability to Extreme Events. In One Earth (Vol. 2, Issue 6, pp. 510–514). Cell Press. https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.05.021

BusinessDictionary. (n.d.). British. Retrieved Month Day, Year, from http://www.businessdictionary.com/definition/British

Daliri, H., & Mehregan, N. (2016). Measuring Sustainable Development in the Provinces of Iran by Using the Ecological Footprint. Journal of economics and regional development, 23(11), 1-47. doi: 10.22067/erd.v23i11.53742 (In Persian)

Defries, R. S., Foley, J. A., & Asner, G. P. (2004). Land-Use Choices: Balancing Human Needs and Ecosystem Function. In Ecology and the Environment (Vol. 2, Issue 5).

Douglas Sousa Leite, M., & Lausanne Fontgalland, I. (2024a). Ecological Footprint Deficit in Brazil: An analysis of reports from The World Wide Fund For Nature. REVISTA INTERDISCIPLINAR E DO MEIO AMBIENTE (RIMA), 6(1), e228. https://doi.org/10.52664/rima.v6.n1.2024.e228

Esfahani, A., Ghobadi, S, & Azarbayejani, K. (2022). An Analysis of the Relationship between Economic Growth, Energy Consumption, and Ecological Footprint in Some Selected Developed and Developing Countries. Economic Research and Perspectives, 22(4), 203-232 (In Persian).

Ewing, B., Moore, D., Goldnger, S., Oursler, A., Reed, A., & Wackernagel, M. (2010). ecological footprint atlas 2010.

Ewing, B., Reed, A., Galli, A., Kitzes, J., & Wackernagel, M. (1992). Calculation Methodology for the National Footprint Accounts, 2010 Edition.

Fatemi, M., Rezaei-Moghaddam, K., Wackernagel, M., & Shennan, C. (2018). Sustainability of environmental management in Iran: An ecological footprint analysis. 37(2), 53–68. https://doi.org/10.22099/IAR.2018.4958

Fiala, N. (2008). Measuring sustainability: Why the ecological footprint is bad economics and bad environmental science. In Ecological Economics (Vol. 67, Issue 4, pp. 519–525). Elsevier. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.07.023

Galli, A., Kitzes, J., Niccolucci, V., Wackernagel, M., Wada, Y., & Marchettini, N. (2012). Assessing the global environmental consequences of economic growth through the Ecological Footprint: A focus on China and India. Ecological Indicators, 17, 99–107. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.04.022

Genta, C., Sanyé-Mengual, E., Sala, S., & Lombardi, P. (2022). The Consumption Footprint as possible indicator for environmental impact evaluation at city level. The case study of Turin (Italy). Sustainable Cities and Society, 79. https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103679

Global Footprint Network. (2023). National Footprint and Biocapacity Accounts (online database). Global Footprint Network. Available at: https://www.footprintnetwork.org

Global Footprint Network. (2024). Earth Overshoot Day 2024. Global Footprint Network. Available at: https://www.footprintnetwork.org

Haji Hashemi, L., Salehi, E., & Rahmati, A. (2021). Study of Bio- Capacity and Ecological Footprint of Five Continents and Position of Iran. Environment and Development, 12(23), 133-144 (In Persian)

https://www.fda.gov.ir

Kitzes, J., Galli, A., Bagliani, M., Barrett, J., Dige, G., Ede, S., Erb, K., Giljum, S., Haberl, H., Hails, C., Jolia-Ferrier, L., Jungwirth, S., Lenzen, M., Lewis, K., Loh, J., Marchettini, N., Messinger, H., Milne, K., Moles, R., … Wiedmann, T. (2009). A research agenda for improving national Ecological Footprint accounts. Ecological Economics, 68(7), 1991–2007. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.06.022

Lee, T. C., Anser, M. K., Nassani, A. A., Haffar, M., Zaman, K., & Abro, M. M. Q. (2021). Managing natural resources through sustainable environmental actions: A cross-sectional study of 138 countries. Sustainability (Switzerland), 13(22). https://doi.org/10.3390/su132212475

[Downloaded from www.disaster.ndri.ac.ir on 2026-11-18]

[DOI: https://doi.org/10.22034/1.2.3]

Lenzen, M., Moran, D., Kanemoto, K., & Geschke, A. (2013). BUILDING EORA: A GLOBAL MULTI-REGION INPUT-OUTPUT DATABASE AT HIGH COUNTRY AND SECTOR RESOLUTION. Economic Systems Research, 25(1), 20–49. https://doi.org/10.1080/09535314.2013.769938

Lin, D., Hanscom, L., Murthy, A., Galli, A., Evans, M., Neill, E., Mancini, M. S., Martindill, J., Medouar, F. Z., Huang, S., & Wackernagel, M. (2018). Ecological footprint accounting for countries: Updates and results of the national footprint accounts, 2012-2018. Resources, 7(3). https://doi.org/10.3390/resources7030058

Liu, L., & Lei, Y. (2018). An accurate ecological footprint analysis and prediction for Beijing based on SVM model. Ecological Informatics, 44, 33–42. https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2018.01.003

LIVING PLANET REPORT 2024. (2024).

Malhi, Y., Franklin, J., Seddon, N., Solan, M., Turner, M. G., Field, C. B., & Knowlton, N. (2020). Climate change and ecosystems: Threats, opportunities and solutions. In Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences (Vol. 375, Issue 1794). Royal Society Publishing. https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0104

Mancini, M. S., Galli, A., Coscieme, L., Niccolucci, V., Lin, D., Pulselli, F. M., Bastianoni, S., & Marchettini, N. (2018). Exploring ecosystem services assessment through Ecological Footprint accounting. In Ecosystem Services (Vol. 30, pp. 228–235). Elsevier B.V. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.01.010

Minx, J. C., Wiedmann, T., Wood, R., Peters, G. P., Lenzen, M., Owen, A., Scott, K., Barrett, J., Hubacek, K., Baiocchi, G., Paul, A., Dawkins, E., Briggs, J., Guan, D., Suh, S., & Ackerman, F. (2009). Input-output analysis and carbon footprinting: An overview of applications. Economic Systems Research, 21(3), 187–216. https://doi.org/10.1080/09535310903541298

Modarress, B., Ansari, A., & Ansari, A. (2020). Sustainable development and ecological deficit in the United Arab Emirates. Sustainability (Switzerland), 12(15). https://doi.org/10.3390/su12156180

Pençe, İ., Çeşmeli, M. Ş., Kumaş, K., Akyüz, A., Tuncer, A. D., & Güngör, A. (2024). Study of biocapacity areas to reduce ecological footprint deficits: A case study of Turkey. Science of the Total Environment, 932. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173018

Peters, G. P. (2010). Carbon footprints and embodied carbon at multiple scales. In Current Opinion in Environmental Sustainability (Vol. 2, Issue 4, pp. 245–250). https://doi.org/10.1016/j.cosust.2010.05.004

Peters, G. P., Minx, J. C., Weber, C. L., & Edenhofer, O. (2011). Growth in emission transfers via international trade from 1990 to 2008. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 108(21), 8903–8908. https://doi.org/10.1073/pnas.1006388108

Pourebrahim, S., Hadipour, M., Emlaei, Z., Heidari, H., Goh, C. T., & Lee, K. E. (2023). Analysis of Environmental Carrying Capacity Based on the Ecological Footprint for the Sustainable Development of Alborz, Iran. Sustainability (Switzerland), 15(10). https://doi.org/10.3390/su15107935

Rees, W. E. (2017). Ecological Footprints and Appropriated Carrying Capacity: What Urban Economics Leaves Out. Urbanisation, 2(1), 66–77. https://doi.org/10.1177/2455747117699722

Rees, W. E., & Wackernagel, M. (2023). Ecological Footprint Accounting: Thirty Years and Still Gathering Steam. Environment, 65(5), 5–18. https://doi.org/10.1080/00139157.2023.2225405

Rees, W., & Wackernagei, M. (1996). URBAN ECOLOGICAL FOOTPRINTS: WHY CITIES CANNOT BE SUSTAINABLE AND WHY THEY ARE A KEY TO SUSTAINABILITY Introduction: Transforming Human Ecology.

Rugani, B., Roviani, D., Hild, P., Schmitt, B., & Benetto, E. (2014). Ecological deficit and use of natural capital in Luxembourg from 1995 to 2009. Science of the Total Environment, 468–469, 292–301. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.07.122

Saco, P. M., McDonough, K. R., Rodriguez, J. F., Rivera-Zayas, J., & Sandi, S. G. (2021). The role of soils in the regulation of hazards and extreme events. In Philosophical Transactions of the Royal

[Downloaded from www.disaster.ndri.ac.ir on 2026-11-18]

[DOI: https://doi.org/10.22034/1.2.3]

Society B: Biological Sciences (Vol. 376, Issue 1834). Royal Society Publishing. https://doi.org/10.1098/rstb.2020.0178

Sharifzadegan, M. H., Nedae Tousi, S., Inanloo, L., & Nikbin, A. (2016). Assessing the Spatial Development Plan's Outcome on Regions' Sustainability Status Using Ecological Footprint Method, case study: Qazvin Urban Region Plan. Journal of Environmental Studies, 42(2), 259-280. doi: 10.22059/jes.2016.58733 (In Persian)

Sobhani, P., Esmaeilzadeh, H., Sadeghi, S. M. M., Wolf, I. D., Esmaeilzadeh, Y., & Deljouei, A. (2022). Assessing Spatial and Temporal Changes of Natural Capital in a Typical Semi-Arid Protected Area Based on an Ecological Footprint Model. Sustainability (Switzerland), 14(17). https://doi.org/10.3390/su141710956

Van Den Bergh, J. C. J. M., & Verbruggen, H. (n.d.). SPATIAL SUSTAINABILITY, TRADE AND INDICATORS: AN EVALUATION OF THE "ECOLOGICAL FOOTPRINT."

Wang, Y., Huang, J., & Fang, S. (2019). Sustainability assessment of natural capital based on the 3d ecological footprint model: A case study of the Shennongjia National Park Pilot. Sustainability (Switzerland), 11(4). https://doi.org/10.3390/su11040956

Wiedmann, T., & Minx, J. (2007). A Definition of "Carbon Footprint." www.censa.org.uk

Wiedmann, T., Minx, J., Barrett, J., & Wackernagel, M. (2006). Allocating ecological footprints to final consumption categories with input-output analysis. Ecological Economics, 56(1), 28–48. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.05.012.

DOI: https://doi.org/10.22034/1.2.3

[Downloaded from www.disaster.ndri.ac.ir on 2026-11-18]

[DOI: https://doi.org/10.22034/1.2.3]