



<https://gеп.uis.ac.ir/?lang=en>
Geography and Environmental Planning
E-ISSN: 2252- 0910
Document Type: Research Paper
Vol. 34, Issue 2, No.90, Summer 2023, pp. 1-3
Received: 10/04/2022 Accepted: 09/11/2022

Investigating the Factors Affecting the Ecological Footprint of Sari City

Maryam Nazari¹, Mohsen Kalantari²^{*}

1- Master of Geography and Urban Planning, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
maryamnazari7529@gmail.com

2- Associate Professor of Geography and Urban Planning, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
mo_kalantari@sbu.ac.ir

Abstract

Cities manifesting the world's most consuming ecosystem are responsible for a large part of the world's environmental problems. Knowledge of the ecological conditions prevailing in any regions is essential for achieving development. Ecological Footprint Index (EFI) is of great interest for assessing urban communities as a way to measure the levels of sustainability. In this research, the ecological footprint method, which is a quantitative model, was used to analyze the data and measure the sustainability of urban areas. To this goal, an attempt was made to study the EFI and biological capacity of the urban ecosystem of Sari City by using a descriptive-analytical method and relying on library resources. Ecological footprint in the consumption sector, including housing, services, and transportation, was calculated in 4 areas of Sari City. According to the results of data analysis, the ecological footprint of consumption in the mentioned city was equal to 0.94 global hectares and its biological capacity was 0.59 global hectares per person. Comparison of the biological capacity and ecological footprint of this city showed that it had an ecological deficit and was thus ecologically unstable. Among the footprints calculated in the consumption sector, transportation with the ecological footprint of 46.46969 ha had the most ecological footprint. Also, analyses of the ecological footprints in the 4 regions of Sari City showed that Region 1 had a more footprint than other regions, indicating that it followed a higher consumption pattern, but in general, all areas of Sari City were in an ecologically unstable situation according to the research results.

Keywords: ecological footprint, sustainable development, urbanization capacity, Sari

Introduction:

*Corresponding Author

Nazari, M., & Kalantari, M. (2023). Assessing the level of sustainability of urban development with the ecological footprint approach studied: Sari city. *Geography and Environmental Planning*, 34 (2), 1- 3.

2252-0910 © University of Isfahan



This is an open access article under the CC BY-NC 4.0 License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>)



10.22108/GEP.2022.133118.1506



20.1001.1.20085362.1402.34.2.4.1

Rapid population growth and consequent expansions of cities, as well as the urbanization process exceeding management and development of urban services, have led to an increasing use of natural resources and energy. The amount of ecological footprint of a society depends on the following factors: population size, average standard of living, average productivity of land ecosystem, efficiency of harvesting, processing, water resources, and use of other resources. By measuring and controlling each of these variables, the effects of resource utilization can be determined, the degree of sustainability of the urban system in relation to the natural ecosystem can be studied, and finally, appropriate policies and strategies can be applied to reduce the effects of ecological footprint and increase urban sustainability. It is important to note that analysis of ecological footprint varies according to the type of community, country, and the amount of technology used in that community. In other words, ecological footprint varies based on the level of development and land use in each country. Generally, the study of ecological footprint shows that the developed countries have a greater impact on natural areas.

Methodology:

Various social, economic, cultural, political, and environmental aspects, etc. have affected human life. One of the aspects of rapid urban development is increasing urban population and thus increasing use of the ecological resources of cities. The mismatch between the exploitation level of resources and ecological potential of a city has caused urban instability, which needs to be determined by measuring the ecological potential of exploitation so as to increase urban sustainability. In recent decades, there has been a large increase in the population of Sari City, which has caused its ecological instability due to the excessive use of land and ecological resources. Therefore, it is necessary to determine its ecological potential and level of utilization of resources. The present study tried to measure the ecological footprint, consumption, housing, and transportation in Sari City and determine its ecological status and sustainability. Thus, in addition to recognizing the current situation, the future of this city can be predicted and its problems can be solved in terms of each of the mentioned ecological indicators, as well as providing the necessary measures to prevent its possible natural hazards.

Discussion:

Ecological footprint is a computational tool for measuring population demand on nature. It is mainly used to assess ecological potential, ultimate ecological capacity, and sustainable development. The ecological footprint of a country or region involves the areas of bio-production (land and sea) that will be needed to consolidate current consumptions by using the dominant technology. The Ecological Footprint Index (EFI) includes several special functions in the areas of bio-production, such as land, agriculture, and forestry, both for wood production and carbon sequestration in geospatial pastures and water areas. The key concept for calculating ecological footprint and bioavailability by this index is using the same unit of hectare globally; thus, it is easy to evaluate and compare the studied areas with other areas globally. The ecological footprint method is a prelude to planning and one of the important and essential tools, which helps to achieve sustainability. The results of this research indicated that the ecological footprint of housing in Sari City was 1 hectare worldwide. Of 13980,29 hectares, 2071,55, 3840,81, 1602,64, and 620,66 hectares showed the global ecological footprints of the housing sector in the 1st, 2nd, 3rd, and 4th regions of Sari City, respectively. Among the 4 districts of the city, District 2 had the highest footprint in the housing sector with an ecological footprint of 3840,81 hectares; in other words, the citizens living in this district needed more lands to meet the needs of their housing sector. The ecological footprint of transportation is estimated with regard to urban areas. It is calculated by the sum of the ecological footprints of the Earth and the energy consumptions, including gasoline, diesel, CNG.

Conclusion:

Due to the nature of this research, library and field methods were used based on quantitative and qualitative data and information. At first, the ecological footprint indicators were developed for Sari City based on library methods. Then, the field information required for each indicator were collected and analyzed. Finally, the status of each indicator and the general situation of the city were determined in terms of ecological footprint and degree of sustainability. The ecological footprint in the city of Sari was 46969,24 hectares worldwide, of which 13955,3, 10736,77, 10563,51, and 11713,66 hectares were the global footprints of Zones 1, 2, 3 and 4, respectively. Ecological sustainability offers solutions that initially require revision in relation to agriculture, housing, energy, urban design, transportation, economy, family, consumer resources, forestry, deserts, and the core values of our lives. The study of the bodies and functions of cities, urban planning and designing, ecological design, ecological village, ecological city, and other forms of environmental designs are essential for achieving and promoting urban sustainability. According to the results obtained from the roles of the various parameters in the stability of Sari City, the most important issue for promoting this city was achieving sustainable development by preventing the pattern of consumerism and replacing it with productivity, as well as taking advantage of the opportunities with regard to the strengths and weaknesses.

بررسی عوامل مؤثر بر ردپای اکولوژیکی شهری ساری

مریم نظری، کارشناسی ارشد، جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری گرایش آمایش شهری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
maryamnazari7529@gmail.com
محسن کلاتری* , دانشیار گروه جغرافیای انسانی و آمایش دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
mo_kalantari@sbu.ac.ir

چکیده

شهرها به‌عنوان پرمصرف‌ترین اکوسیستم جهان مسئول بخش عظیمی از مشکلات محیط‌زیستی جهان هستند. اطلاع از شرایط اکولوژیکی حاکم بر منطقه برای دستیابی به توسعه امری ضروری است. شاخص ردپای اکولوژیکی در زمینه ارزیابی جوامع شهری به‌عنوان روشی برای اندازه‌گیری سطوح پایداری مورد توجه بسیاری است. در این پژوهش برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و سنجش پایداری مناطق شهری از روش ردپای اکولوژیک استفاده شده که خود مدلی کمی است؛ همچنین سعی شده است تا با استفاده از روش توصیفی-تحلیلی و با تکیه بر منابع کتابخانه‌ای شاخص ردپای اکولوژیکی و ظرفیت زیستی اکوسیستم شهری، شهر ساری بررسی شود. ردپای اکولوژیک در بخش مصرف (شامل رد پای اکولوژیک، مسکن، خدمات و حمل‌ونقل) در چهار منطقه شهر ساری محاسبه شده که با توجه به نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل اطلاعات به دست آمده رد پای اکولوژیک مصرف در شهر ساری برابر ۰/۹۴ و ظرفیت زیستی این شهر برابر ۰/۵۹ هکتار جهانی به‌ازای هر فرد است که در نتیجه با مقایسه ظرفیت زیستی و ردپای اکولوژیک شهر ساری کمبود اکولوژیک داشته و به لحاظ اکولوژیک ناپایدار است. بین ردپاهای محاسبه شده در بخش مصرف، حمل‌ونقل با ردپای اکولوژیک ۴۶۹۶۹/۲۴ هکتار جهانی بیشترین ردپای اکولوژیک را به خود اختصاص داده است و همچنین با تحلیل ردپای اکولوژیک در مناطق چهارگانه شهر ساری مشخص شد که منطقه یک نسبت به سایر مناطق این شهر از الگوی مصرف بیشتری پیروی می‌کند؛ اما به‌طور کلی با توجه به نتایج حاصل از پژوهش تمامی مناطق شهر ساری از نظر اکولوژیکی در وضعیت ناپایداری قرار دارند.

واژه‌های کلیدی: ردپای اکولوژیک، توسعه پایدار، ظرفیت برد شهرنشینی، ساری

*نویسنده مسئول

نظری، مریم و کلاتری، محسن. (۱۴۰۱). ارزیابی سطح پایداری توسعه شهری با رویکرد ردپای اکولوژیک مورد مطالعه: شهر ساری. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۳۴ (۲)، ۱۷-۳۶.

مقدمه

شهرها عالی‌ترین و در عین حال پیچیده‌ترین نمود شکل‌گیری و پیشرفت سکونتگاه‌های انسانی هستند و طی چندین سده اخیر تغییرات زیادی را داشته‌اند (Yu et al, 2019, p. 17)؛ اما با وجود این، شهرها با بیشترین حد استفاده از منابع، عامل اصلی ناپایداری در جهان محسوب می‌شوند. انسان از زمان پیدایش تا به حال نقش عملکردی کوچکی را در اکوسیستم طبیعی عهده‌دار بوده است؛ اما در عین حال با فعالیت‌های خود بزرگ‌ترین مصرف‌کننده منابع طبیعی و تولیدکننده آلودگی و زائدات در اکوسیستم طبیعی است (Ulucak & Khan, 2020, p. 34). رشد سریع جمعیت و به تبع آن گسترش شهرها و همچنین پیشی گرفتن روند شهرنشینی از مدیریت و توسعه خدمات شهری موجب افزایش روزافزون بهره‌برداری از منابع طبیعی و انرژی شده است (Li et al., 2021, p. 43) در همین راستا، اصولی که امروزه مدیریت و در برنامه‌ریزی شهرها در نظر گرفته می‌شود، اغلب در زمینه تأمین نیازهای مختلف برای شهرها به‌خصوص کلان‌شهرها و ساکنان آنهاست و حلقه نادیده گرفته‌شده در این سیستم برنامه‌ریزی آستانه، ظرفیت و توان زیست‌محیطی برای تأمین نیازهاست (Lin et al., 2018, p. 14). پایداری و توسعه پایدار مفهومی چندبعدی است که علاوه بر محیط طبیعی و انسانی، محیط شهری را نیز در برمی‌گیرد. رد پای اکولوژیک از طریق شاخص‌ها و اصول خود شهر را برای پیشبرد اهداف توسعه پایدار حمایت می‌کند (Destek & Sarkodia, 2019, p. 18). مفهوم پایداری شهری ریشه در یک اصل اکولوژیکی دارد. براساس این اصل اگر در هر محیط به‌اندازه توان طبیعی محیط زیست بهره‌برداری یا بهره‌وری انجام شود، اصل سرمایه به‌طور پایدار باقی می‌ماند و استفاده ما از محیط به‌اندازه آن توان تولیدی همیشه پایدار است (Ahmed et al., 2020, p. 19). مفهوم رد پای اکولوژیک با تأکید بر محدودیت منابع و سرمایه برای بهره‌برداری به‌عنوان چارچوبی برای ارزیابی اثرات و برنامه‌ریزی پایدار بسط پیدا کرده است (Ahmad et al., 2022, p. 14). درواقع مفهوم رد پای اکولوژیک میزان بار و فشار وارد بر طبیعت را در اثر بهره‌برداری انسان می‌سنجد؛ از این رو، یکی از ابزارهای مؤثر، مهم و کارآمد در برنامه‌ریزی است (Du et al., 2022, p. 79). میزان رد پای اکولوژیک جامعه به چهار عامل اندازه جمعیت، متوسط استاندارد زندگی مادی، متوسط بهره‌وری اکوسیستم‌های زمین، آب و بازده برداشت، پردازش و استفاده از منابع بستگی دارد (Ulucak & Khan, 2020, p. 44) که از طریق سنجش و کنترل هر یک از متغیرهای نامبرده میزان اثرات بهره‌برداری از منابع را مشخص و در نتیجه میزان پایداری سیستم شهری را در رابطه با اکوسیستم طبیعی مطالعه و در نهایت سیاست‌ها و راهکارهایی را در برای کاهش اثرات رد پای اکولوژیک و افزایش پایداری شهری اعمال می‌کند (Ahmed & Wang, 2019, p. 25) البته توجه به این نکته ضروری است که تحلیل رد پای اکولوژیکی برحسب جوامع، کشورها و میزان فناوری به کار گرفته‌شده در آن جوامع متفاوت است (Casoli et al., 2020, p. 33). به عبارتی دیگر، رد پای اکولوژیکی، برحسب میزان توسعه و پیشرفت و برخورداری از اراضی در هر کشور تفاوت دارد. به‌طور کلی بررسی رد پای اکولوژیکی نشان‌دهنده آن است که کشورهای پیشرفته تأثیر بیشتری بر عرصه‌های طبیعی گذاشته‌اند (Zafar et al., 2019, p. 85). تمام فعالیت‌های انسانی ردپای اکولوژیک دارد؛ بنابراین جای پای اکولوژیک در زمینه فعالیت‌هایی همانند ساخت‌وساز، حمل‌ونقل، مصرف مواد غذایی و انرژی محاسبه می‌شود. جای پای، بازگوکننده آثاری است که هر کدام

از (EF) اکولوژیک جوامع بر اثر سبک و شیوه زندگی خود بر طبیعت برجای می‌گذارند. به بیان دیگر، میزان جای پای اکولوژیک نشان‌دهنده مقدار مصرف (تقاضای مردم برای کالاهای طبیعی و خدمات است) و برابر مقدار زمین یا آبی است که نیازهای مصرفی جامعه را تأمین کرده یا آنکه پسماند تولیدی آنها را جذب می‌کنند. به این معنا که جای پای اکولوژیک، نشان‌دهنده آثاری است که هرکدام از جوامع در اثر سبک و شیوه زندگی خود، بر طبیعت به‌جای می‌گذارند (Yang et al., 2021, p. 11).

خاکپور و همکاران (۱۳۹۳) در مقاله‌ای با عنوان «کاربرد روش جای پای اکولوژیکی در ارزیابی پایداری توسعه شهری نمونه موردی: شهر ساری» توان اکولوژیکی شهر ساری را با استفاده از مدل ردپای اکولوژیکی بررسی کردند. محققان در این پژوهش از شاخص‌های الکتربسیته، گرمایش، گاز طبیعی، مصرف آب، حمل و نقل، دفع زباله و غذا استفاده کردند که برحسب هکتار زمین محاسبه شد. **عابدی و سلطانی‌خمسه (۱۳۹۵)** در پژوهشی با عنوان «از ردپای اکولوژیک تا شهر پایدار» ضمن بررسی اقتصاد شهری و معضلات آن، مدیریت و توسعه شهری را در چارچوب دستورالعمل‌های توسعه پایدار بررسی می‌کند و نقش ردپای اکولوژیک را در نیل به توسعه ارزیابی می‌کند. این پژوهش با ارائه شاخص‌های کاربردی تأثیر به‌کارگیری مدل ردپای اکولوژیک را بر رشد و توسعه اقتصادی شهر لازم می‌داند و برنامه‌ریزی را برای توسعه اقتصادی پایدار از نظر اکولوژیکی مستلزم تجدیدنظر در بسیاری از فرضیاتی می‌داند که مدل‌های رایج برنامه‌ریزی و توسعه بر پای آنها قرار گرفته است. **صابری‌فر (۱۳۸۶)** در پژوهشی تحت عنوان «موضوع توسعه شهری پایدار» توسعه پایدار را این‌گونه معرفی می‌کند که بیش از همه بر معیارهای کیفی و انسانی، آسایش عمومی، عدالت اجتماعی و غنایی فرهنگی تأکید دارد. **تقوایی و صفراآبادی (۱۳۹۲)** در پژوهشی با عنوان موضوع «توسعه پایدار شهری و برخی عوامل مؤثر برای مردم‌مطالعه شهر (کرمانشاه)» که هدف اصلی توسعه پایدار تأمین نیازهای اصلی، عملکرد سطح زندگی، مدیریت بهتر اکوسیستم‌ها و آینده ایمن گفته شده است. **صالحی (۱۳۸۵)** در مقاله‌ای با عنوان «موضوع نقش ضوابط و مقررات شهرسازی در تحقق شهر خوب و توسعه پایدار شهری» معتقد است که مجموعه تصمیمات مردم ساکن هر شهر شکل آن شهر را می‌سازد؛ ولی شهر باید کنترل شود؛ چون گفته می‌شود، زندگی در شهرها با هرج‌ومرج‌ها و مشکلاتی همراه است.

توسعه سریع شهری، در چند دهه اخیر از ابعاد مختلف اجتماعی، اقتصادی، فرهنگی، سیاسی، محیطی و ... زندگی بشر را تحت تأثیر قرار داده است (Huang et al., 2022, p. 82). یکی از جنبه‌های توسعه سریع شهری، افزایش جمعیت شهری و در نتیجه آن افزایش استفاده از منابع اکولوژیکی شهرهاست که نبود تناسب میان سطح بهره‌برداری و توان اکولوژیکی شهر باعث ناپایداری شهری شده که نیاز است، با سنجش توان اکولوژیک توان بهره‌برداری مشخص شود و پایداری شهری افزایش یابد (Wu et al., 2022, p. 98). شهر ساری نیز طی چند دهه اخیر رشد جمعیت شهری زیادی را داشته است که در پی استفاده بی‌رویه از زمین و منابع اکولوژیک موجب ناپایداری اکولوژیکی این شهر شده که لازم است، توان اکولوژیک و سطح بهره‌برداری از منابع معین شود (Liu et al., 2018, p. 23).

پژوهش حاضر سعی دارد، شاخص‌های رد پای اکولوژیک، مصرف، مسکن، حمل و نقل و خدمات رد پای اکولوژیکی را در شهر ساری بسنجد و وضعیت اکولوژیکی و پایداری این شهر را مشخص کند که علاوه بر شناخت وضع موجود، آینده این شهر را از نظر هر یک از این شاخص‌های اکولوژیکی پیش‌بینی کند و راهکارهای لازم را برای

جلوگیری از مخاطرات احتمالی طبیعی ارائه دهد.

روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاصل از نوع توصیفی-تحلیلی است و داده‌های موردنیاز از سازمان‌های راه و شهرسازی، استانداری، طرح جامع و شهرداری شهر ساری در بازه زمانی سال ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۰ اخذ شد. ابتدا شاخص‌های رد پای اکولوژیک در شهر ساری مشخص و در مرحله بعد با تکیه بر روش‌های کتابخانه‌ای اطلاعات موردنیاز هر یک از شاخص‌ها جمع‌آوری و تحلیل شدند. در نهایت وضعیت هر یک از شاخص‌ها و وضعیت کلی شهر ساری از لحاظ شاخص‌های رد پای اکولوژیک و میزان پایداری مشخص شد. در این پژوهش، شاخص‌های رد پای اکولوژیک، مصرف، مسکن، حمل و نقل و خدمات در مناطق شهر ساری و ظرفیت زیستی شهر ساری به نسبت میزان شاخص‌های ردپای اکولوژیک محاسبه می‌شود و در نهایت شهر ساری از نظر ردپای اکولوژیک تجزیه و تحلیل قرار می‌شود.

شاخص‌های سنجش ردپای اکولوژیک

با توجه به اینکه در این پژوهش شاخص‌های رد پای اکولوژیک، مصرف، مسکن، حمل و نقل و خدمات در مناطق شهر ساری ارزیابی می‌شود، در ارتباط با این شاخص‌ها باید گفت که از مهم‌ترین ابزارها به‌منظور سنجش پایداری مکان‌ها یا سبک زندگی، بررسی رد پای اکولوژیک است که این شاخص‌ها از سوی ویلیام ریز، استاد دانشگاه بریتیش کلمبیا، اجرا شده است. باید گفت که این مدل، معیاری مناسب را به‌منظور ارزیابی آثار زندگی مدرن فراهم کرده است که برای شهرها، مناطق، کشورها و افراد تحلیل شود. از آنجایی که شاخص رد پای اکولوژیک چارچوبی استاندارد را فراهم کرده است، در بسیاری از کشورها در سطوح ملی و محلی استفاده می‌شود؛ همچنین باید گفت که این روش، ابزار مناسبی برای تدوین برنامه‌های مدت‌دار است و به پایداری زندگی کمک می‌کند. در نهایت علاوه بر اینکه راهبردهای آینده را به‌منظور جلوگیری از نابرابری‌ها و تخریب‌ها عنوان می‌کند، تصمیم‌گیری‌های نهادی را در مسیر درست راهنمایی می‌کند (قرخلو و دیگران، ۱۳۹۲). دانشمندان زیادی به ردپای اکولوژیک توجه کرده‌اند؛ از جمله از زیست‌شناس قرن بیستم ای.ا. ویلسون^۱ نام برده می‌شود که ردپای اکولوژیک را ابتکاری برجسته دانسته که قادر است، بین اطلاعات علمی پیچیده به‌راحتی ارتباط برقرار کند. ردپای اکولوژیک در جهان به منظورهای مختلفی به کار رفته است؛ از جمله مهندسان شهر پتلوما و کارولو ردپای اکولوژیک را از شاخص‌های اصلی در انتخاب گزینه‌های ارزیابی عملکرد فاضلاب به کار برده‌اند. صندوق حیات وحش جهان ردپای اکولوژیک را شاخصی برای بررسی مقدار اثرات فعالیت‌های انسانی بر حیات وحش، مجلس ملی ولز آن را شاخصی آینده‌نگر برای ارزیابی پیشرفت و چندین بانک سوئیس آن را به‌عنوان بخشی از تحلیل‌های خود درباره میزان اعتبار مالی کشورها به کار برده‌اند (عبادی قاجاری، ۱۳۹۵). به‌منظور بررسی دقیق‌تر شاخص‌های ردپای اکولوژیک در ادامه هر کدام از آنها شرح داده می‌شود.

محاسبه ردپای اکولوژیکی مسکن

مطابق جدول ۱ برای محاسبه رد پای مسکن در اکوسیستم شهر ساری، ردپا در بخش‌های زیر در مناطق مختلف شهر محاسبه شده است:

(الف) محاسبه مساحت اشغال‌شده از سوی اماکن مسکونی (رد پای زمین ساخته‌شده)

(ب) میزان گاز طبیعی مصرف‌شده به‌عنوان انرژی گرمایشی (رد پای انرژی)

(ج) میزان الکتریسیته مصرف‌شده در بخش مسکونی (رد پای انرژی)

(د) میزان مصرف آب مصرف‌شده

جدول (۱) محاسبات موردنیاز برای محاسبه رد پای اکولوژیکی بخش مسکن (Ulucak & Khan, 2020, p. 34).

Table 1. Calculations required to calculate the ecological footprint of the housing sector

توضیحات	فرمول محاسبه	شاخص
<p>EF (gha)، رد پای زمین ساخته‌شده انواع بخش‌های مصرفی.</p> <p>A_B (ha)، مساحت زمین ساخته‌شده در بخش‌های مختلف مصرفی.</p> <p>Q_B ($\frac{gha}{ha}$)، فاکتور معادل زمین ساخته‌شده که برابر با زمین زراعی است.</p>	$EF = \sum_{i=1}^4 A_B \times Q_B$	ردپای زمین ساخته‌شده
<p>برای محاسبه تعداد مول‌ها در فوت مکعب باید از قانون گازها استفاده کرد. این گونه که تعداد مول‌ها در فوت مکعب مساوی با تقسیم حاصل ضرب فشار (اتمسفِر) و حجم (فوت مکعب) بر حاصل ضرب ضریب ثابت R در درجه حرارت (کلوین) است.</p> <p>EF، ردپای گاز</p> <p>EQF، فاکتور معادل (برای گاز برابر با فاکتور معادل زمین‌های جنگلی است)</p>	$N = \frac{P \times V}{R \times T}$ <p>هکتار سالانه $EF = EQF \times$</p>	ردپای گاز طبیعی
<p>EF، رد پای برق</p> <p>EQF، فاکتور معادل (برای برق برابر با فاکتور معادل زمین‌های جنگلی است)</p>	<p>هکتار سالانه $EF = EQF \times$</p>	ردپای الکتریسیته
<p>EF، رد پای آب</p> <p>EQF، فاکتور معادل (برای آب برابر با فاکتور معادل زمین‌های جنگلی است)</p>	<p>هکتار سالانه مصرف آب</p> <p>$= (0/08 \text{ ha})$</p> <p>\times (میزان آب مصرفی بر حسب میلیون لیتر)</p> <p>هکتار سالانه $EF = EQF \times$</p>	ردپای بخش آب

درنهایت رد پای بخش مسکن، از حاصل جمع رد پاهای محاسبه‌شده در بخش‌های زمین‌های ساخته‌شده، گاز، برق و آب به دست می‌آید.

$$EF_h = EF_1 + EF_2 + EF_3 + EF_4 \quad (1)$$

رد پای اکولوژیکی بخش حمل‌ونقل

رد پای این بخش از رد پای زمین‌های اختصاص‌یافته در بخش حمل‌ونقل و میزان انرژی مصرفی در این بخش

حاصل خواهد شد. رد پای زمین‌های ساخته‌شده در بخش حمل‌ونقل (خیابان، پارکینگ، معابر و ...) در هر کدام از مناطق شهری شهر با توجه به داده‌های موجود در شهرداری و با توجه به رابطه محاسبه رد پای اکولوژیک زمین ساخته‌شده به دست خواهد آمد.

مصرف گازوئیل، بنزین و گاز (CNG) به‌عنوان سوخت‌های اصلی خودروها مبنای محاسبات است. بخش حمل‌ونقل همواره یکی از بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان انرژی و عامل اصلی آلودگی‌ها در شهرهای امروزی است. مقدار مصرف سوخت خودروها از دو روش مستقیم و غیرمستقیم به دست می‌آید. در روش غیرمستقیم، مواقعی که آمار رسمی از مصرف سوخت وجود نداشته باشد، با استفاده از تعداد سفرها (مورد) و نیز تعداد مسافران جابه‌جاشده (نفر) در طول شبانه‌روز یا ماهانه و سالانه با انواع وسایل مختلف شخصی و عمومی، مانند، اتوبوس، مینی‌بوس، سواری‌ها و همچنین موتور سیکلت و عامل ضرایب جابه‌جایی برای هر یک از وسایل ذکرشده قابل حصول است. در روش مستقیم با استفاده از آمارهای رسمی شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی ایران (شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی ایران، ۱۳۹۵)، میزان سوخت انواع خودروها به دست می‌آید.

بنزین بدون سرب کمابیش برابر ۱۲۵۰۰۰ BTU در هر گالون است که برابر با نرخ ۱۹/۳۵ تن کربن آزادشده در هر بیلیون BTU است. سوخت گازوئیل نیز در هر گالون کمابیش ۱۳۸۷۰۰ BTU تولید که در نهایت ۱۹/۹۵ تن کربن در هر بیلیون BTU آزاد می‌کند.

از آنجا که هر گالون سوخت برابر با ۳/۷۸۵۳ لیتر است، ابتدا میزان سوخت مصرفی (لیتر)، به گالون تبدیل و بعد انرژی گرمایی در هر گالون محاسبه و سپس میزان کربن تولیدشده در اثر مصرف و احتراق هر یک از سوخت‌های مصرفی برآورد می‌شود. با توجه به این اصل که سالانه برای جذب ۱/۸ تن کربن یک هکتار زمین نیاز است، در نهایت میزان زمین موردنیاز برای تأمین سرانه مصرف انواع سوخت‌ها (هکتار سالانه) محاسبه خواهد شد. سپس به این ترتیب، عمل می‌شود. در این فرمول EF رد پای سوخت و EQF (فاکتور معادل برای سوخت برابر با فاکتور معادل زمین‌های جنگلی است).

$$EF = EQF \times \text{هکتار سالانه} \quad (2)$$

رد پای بخش خدمات

رد پای بخش خدمات از رد پای زمین ساخته‌شده (در کاربری‌هایی مانند: پارک‌ها، مجتمع‌های فرهنگی، فضای سبز شهری و ...) و رد پای زمین انرژی در کاربری‌های بالا به دست خواهد آمد که از طریق رابطه رد پای اکولوژیک زمین انرژی محاسبه می‌شود (Tan & Lu, 2016, p. 22). رد پای زمین ساخته‌شده در بخش خدمات از طریق رد پای زمین ساخته‌شده به دست می‌آید که در هر کدام از مناطق شهر ساری از مساحت اختصاص یافته‌شده به کاربری‌های بخش خدمات برآورد می‌شود.

ظرفیت زیستی

ظرفیت زیستی منعکس‌کننده کل تولید بیولوژیکی منطقه و نشان‌دهنده حداکثر سطح عرضه منابع است که در

مقابل رد پا قرار دارد (Li et al., 2021, p. 20). در برآورد ظرفیت زیستی، از زمین زراعی، جنگل، مرتع، ماهیگیری و زمین ساخته شده شهر ساری استفاده خواهد شد (Alvarado et al., 2021, p. 31). برای به دست آوردن ظرفیت زیستی، براساس مساحت زمین های مولد زیستی شهر ساری با توجه به داده های جمع آوری شده از جهاد کشاورزی و ضرب در فاکتور معادل و عملکرد برای هر نوع پهنه طبق رابطه محاسبه خواهد شد. در این رابطه، [تعداد زمین های مولد زیستی، Y_j فاکتور عملکرد هر یک از زمین های مولد زیستی، $Q_j(\frac{gha}{ha})$ فاکتور معادل هریک از زمین های مولد زیستی، $A_j(ha)$ مساحت زمین مولد زیستی و $BC(gha)$ ظرفیت زیستی انواع زمین های مولد زیستی هستند.

$$BC = \sum_{j=1}^4 A_j \times Q_j \times Y_j \quad (3)$$

محاسبه ردپای اکولوژیک در بخش مسکن

همان گونه که در بخش روش تحقیق گفته شد، برای محاسبه رد پای اکولوژیک مسکن ابتدا رد پای زمین ساخته شده محاسبه می شود. به این منظور در جدول (۲) کاربری های شهر ساری به تفکیک مناطق چهارگانه آورده شده است.

جدول (۲) مساحت کاربری های شهر ساری (مأخذ: اداره کل راه و شهرسازی استان مازندران، ۱۳۹۵).

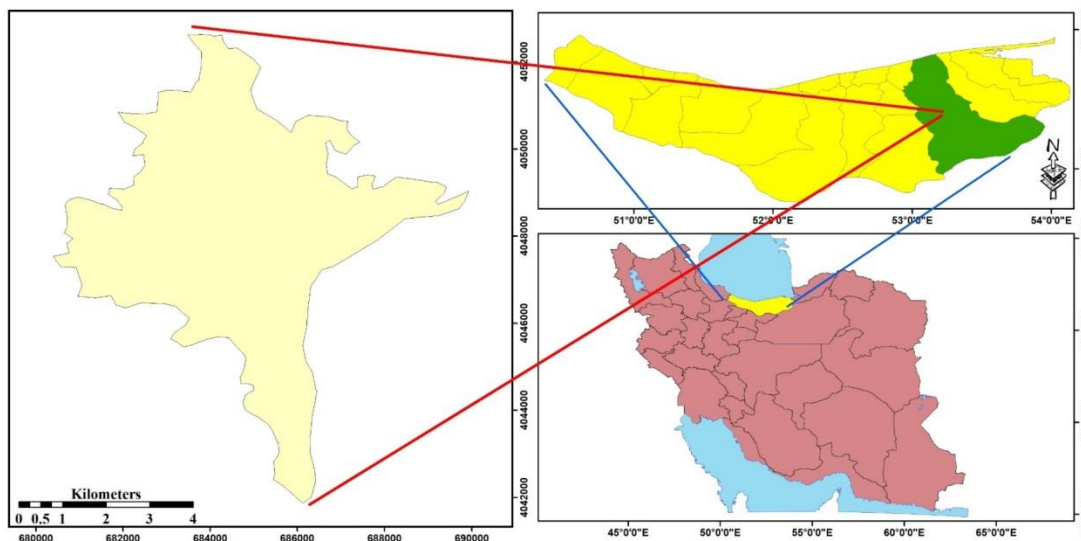
Table (2) Land use area of Sari city.

نوع کاربری	مساحت کل (مترمربع)	مساحت منطقه ۱	مساحت منطقه ۲	مساحت منطقه ۳	مساحت منطقه ۴
مسکونی	۳۲۴۴۰۹۴۴	۸۲۵۳۱۹۹	۱۵۳۰۲۰۵۰	۶۴۱۲۹۱۱	۲۴۷۲۷۸۴
تجاری	۱۲۴۰۶۲۳	۱۲۳۹۴۸	۴۸۶۳۳۷	۵۲۹۷۵۷	۱۰۰۵۸۱
آموزشی (مدارس)	۸۷۷۷۵۰	۱۹۷۳۵۸	۳۷۲۰۱۴	۱۵۶۸۴۱	۱۵۱۵۳۷
آموزشی (فنی و حرفه ای)	۳۸۵۵۲	۲۲۵۳۵	۸۱۰۳	۷۹۱۴	۰
آموزش عالی	۵۳۵۶۹۹	۶۵۳۱۲	۴۷۰۳۳۰	۵۷	۰
مذهبی	۱۶۴۲۹۳	۳۲۷۹۱	۷۵۹۶۳	۲۴۴۳۵	۳۱۱۰۴
فرهنگی	۲۲۹۵۶۸	۴۶۶۰۷	۴۹۴۸۵	۷۳۸۵۵	۵۹۶۲۱
درمانی	۹۳۰۷۶۵	۱۰۰۵۷۰	۴۴۸۸۵۷	۱۵۷۸۹۱	۲۲۹۴۴۴۷
بهداشتی	۴۵۶۹۰	۰	۴۴۰۵۴	۴۲۱	۱۲۱۵
ورزشی	۸۳۰۰۹۰	۸۲۶۷۱	۹۹۵۲۱	۵۵۴۴۷۰	۹۳۴۲۸
اداری	۵۱۲۵۵۷	۲۱۰۴۵۸	۱۹۰۵۹۴	۶۴۰۴۵	۴۷۴۶۰
نظامی	۱۳۵۳۶۲	۴۹۵۳	۱۱۰۷۴۰	۱۴۴۴۸	۵۲۲۰
پارک	۳۰۲۸۱۱۲	۸۱۲۸۳۵	۵۲۳۶۲۲	۸۶۴۲۳۷	۸۲۷۴۱۸
تأسیسات شهری	۳۰۶۷۹۶	۵۰۵۱۶	۵۵۵۹۴	۹۸۱۹۷	۱۰۲۴۸۹
هتل	۴۶۲۲۹	۲۵۲۵۴	۹۹۹۸	۸۷۷۰	۲۲۰۷۰
نمایشگاه	۱۷۵۵۶	۱۸۷۸	۰	۱۵۶۷۸	۰
صنایع کارگاهی	۱۳۰۶۷۵۶	۴۴۰۵۴	۳۹۳۲۹	۱۲۱۹۹۱۲	۳۴۶۱
راهنمایی و رانندگی	۱۹۹۲۰۳	۲۷۳۸۹	۶۴۶۵۶	۵۷۸۶۰	۴۹۲۹۸
پارکینگ	۳۱۲۱۰۵	۴۶۸۲۲	۹۵۸۱۷	۱۳۶۶۲۳	۳۲۸۴۳
معابر	۱۱۱۲۳۹۴۴۶	۲۸۷۴۴۹۷	۲۱۰۴۰۶۲	۲۹۵۴۴۳۹	۳۱۹۰۹۴۷

۰	۱۱۲۰۷۵	۰	۲۳۹۴۳۸	۳۵۱۵۱۳	پایانه مسافربری
۱۳۱۰۵۷۴	۱۵۶۰۹۸۶	۱۰۰۱۲۰۹	۵۷۲۶۶۷	۴۴۴۵۴۳۶	باغ و زمین کشاورزی
۲۰۷۰	۰	۰	۴۴۰۵۴	۴۴۲۶۱	حرم
۰	۴۴۰۵۴	۰	۵۶۴۶۹۲	۶۰۸۷۴۶	گورستان
۸۷۵۷۶۶۲	۱۵۰۶۳۸۷۶	۱۸۵۶۸۷۷۲	۱۴۳۹۸۶۷۷	۵۹۷۷۲۵۵۲	جمع

منطقه مورد مطالعه

شهر ساری، مرکز استان مازندران و شهرستان ساری است. از لحاظ موقعیت جغرافیایی این شهر در طول شرقی ۵۳ درجه و ۳ دقیقه و عرض شمالی ۳۶ درجه و ۳۴ دقیقه واقع شده و ارتفاع متوسط آن از سطح دریای آزاد حدود ۴۰ متر است (اداره کل راه و شهرسازی استان مازندران، ۱۳۹۵، ص. ۹۳) (شکل ۱). ساری به عنوان مرکز استان مازندران سابقه تاریخی جالب توجهی دارد و در تمامی دوره‌های تاریخی به جز در معدود دوره‌هایی که آمل و گاه بابل مرکز ناحیه بوده‌اند، اغلب مرکزیت اداری-سیاسی ناحیه و منطقه را بر عهده داشته است (Bautista-Puig et al., 2021, p. 12). براساس نتایج سرشماری عمومی نفوس و مسکن در سال ۱۳۹۵، این شهر با جمعیتی حدود ۲۶۰ هزار نفر میان مرکز استان در رتبه بیست و سوم کشوری جای گرفته است. شهر ساری به دلیل نزدیکی به تهران و قرار گرفتن در مسیر ارتباطی خراسان رضوی، موقعیت ویژه‌ای دارد. نزدیک‌ترین شهرهای اطراف ساری شهرهای قائم‌شهر در غرب، نکا در شرق، جویبار در شمال و کیاسر در جنوب هستند. از لحاظ موقعیت طبیعی، این شهر در جنوب دریای مازندران و در منطقه جلگه‌ای و به نسبت مسطح شهرستان ساری قرار گرفته است و تنها قسمت‌های جنوبی و جنوب غربی آن به کوه‌ها و تپه ماهورهای کم‌ارتفاع منتهی می‌شود.



شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه.

Figure (1) Geographical location of the study area.

یافته‌های پژوهش

برای برآورد رد پای زمین ساخته‌شده در بخش مسکن، مساحت کاربری مسکن در هر منطقه از شهر در نظر گرفته

می‌شود. حساب کاربری مسکونی در منطقه یک ۲۴۷۲۷۸۴ مترمربع، در منطقه دو ۱۵۳۰۲۰۵۰ مترمربع، منطقه سه ۶۴۱۲۹۱۱ مترمربع و در منطقه چهار ۸۲۵۳۱۹۹ مترمربع است. برای برآورد رد پای اکولوژیکی زمین ساخته‌شده برحسب هکتار جهانی فاکتور معادل برای زمین ساخته‌شده استفاده می‌شود که معادل زمین زراعی است. رد پای زمین ساخته‌شده در هر منطقه از شهر به‌صورت زیر برآورد می‌شود:

$$EF_1 = A \times EQF \quad (۴)$$

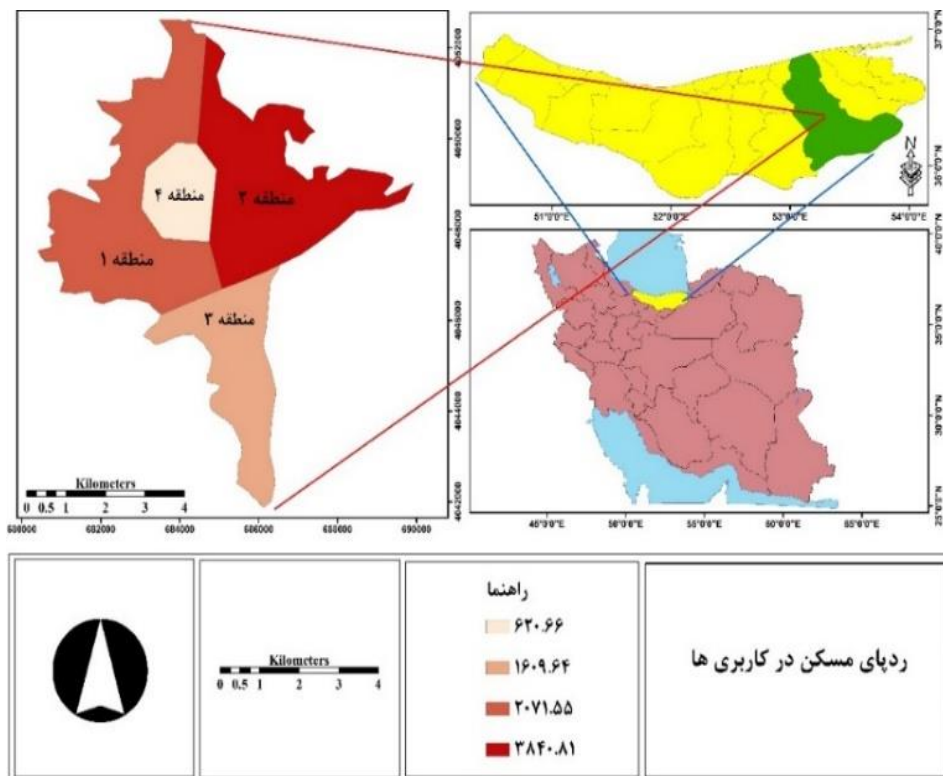
$$EF_1 \text{ زمین ساخته شده منطقه ۱} = (825/319 \text{ (ha)} \times 2/51 \text{ (gh/ha)}) = 2071/55 \text{ gha}$$

$$EF_2 \text{ زمین ساخته شده منطقه ۲} = (1530/205 \text{ (ha)} \times 2/51 \text{ (gh/ha)}) = 3840/81 \text{ gha}$$

$$EF_3 \text{ زمین ساخته شده منطقه ۳} = (641/291 \text{ (ha)} \times 2/51 \text{ (gh/ha)}) = 1609/64 \text{ gha}$$

$$EF_4 \text{ زمین ساخته شده منطقه ۴} = (247/278 \text{ (ha)} \times 2/51 \text{ (gh/ha)}) = 620/66 \text{ gha}$$

که با توجه به محاسبات انجام‌شده رد پای اکولوژیکی زمین ساخته‌شده در بخش مسکن شهر ساری برابر با ۸۱۴۲/۶۸ هکتار جهانی است که در شکل (۲) مقادیر به تفکیک هر یک از مناطق چهارگانه شهر ساری نمایش داده شده است.



شکل (۲) نقشه ردپای مسکن در مناطق چهارگانه شهر ساری.

Figure (2) Housing footprint map in the four areas of Sari city.

ردپای بخش حمل‌ونقل

ردپای حمل‌ونقل شامل دو بخش رد پای زمین‌های مورد استفاده در بخش حمل‌ونقل و رد پای انرژی مصرفی در این

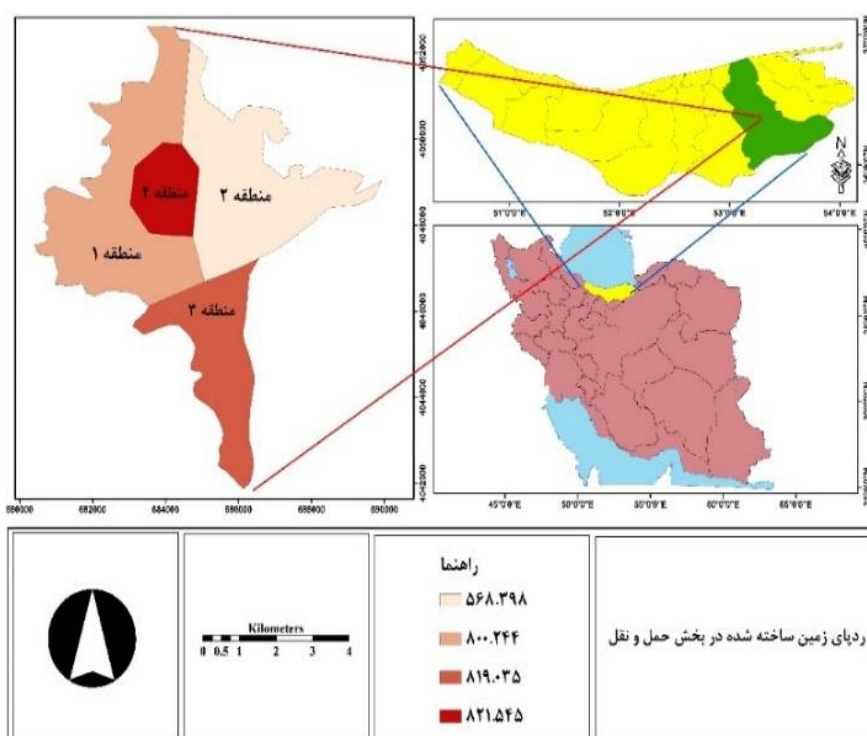
بخش است. رد پای زمین‌های ساخته‌شده در بخش حمل‌ونقل در هرکدام از مناطق شهری و با توجه به رابطه محاسبه رد پای بوم‌شناختی زمین ساخته‌شده به دست آمد (شکل ۳). مساحت اختصاص‌یافته به معابر، پارکینگ، راهنمایی و رانندگی و حمل‌ونقل (پایانه مسافری) در شهر ساری ۱۱۹۸۶۵۶۶ مترمربع است (اداره کل راه و شهرسازی استان مازندران، ۱۳۹۵). براساس رابطه رد پای زمین ساخته‌شده، رد پای زمین حمل‌ونقل در مناطق مختلف شهر به‌ترتیب زیر است.

$$EF_1 \text{ منطقه ۱} = (318/8146 \text{ ha} \times 2/51 \text{ gh/ha}) = 800/244 \text{ gha}$$

$$EF_2 \text{ منطقه ۲} = (226/4535 \text{ ha} \times 2/51 \text{ gh/ha}) = 568/398 \text{ gha}$$

$$EF_3 \text{ منطقه ۳} = (326/0997 \text{ ha} \times 2/51 \text{ gh/ha}) = 819/035 \text{ gha}$$

$$EF_4 \text{ منطقه ۴} = (327/3088 \text{ ha} \times 2/51 \text{ gh/ha}) = 821/545 \text{ gha}$$



شکل (۳) رد پای زمین ساخته‌شده در بخش حمل‌ونقل به تفکیک مناطق چهارگانه شهر ساری.

Figure (3) Land footprint made in the transportation sector by four areas of Sari city.

رد پای انرژی مصرفی در بخش حمل‌ونقل

رد پای بوم‌شناختی انرژی در بخش حمل‌ونقل براساس داده‌های میزان مصرف سوخت شرکت ملی فرآورده‌های نفتی مازندران در جدول (۳) آورده شده است. برآورد می‌شود که مقادیر رد پای اکولوژیک برای هر یک از انواع سوخت‌ها محاسبه خواهد شد.

جدول (۳) میزان مصرف فرآورده‌های نفتی (شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی ایران، ۱۳۹۵).

Table 3. Consumption of petroleum products.

نوع سوخت	میزان مصرف (Lif)
بنزین	۳۷۶۳۳۴۲۰۰
نفت سفید	۱۹۳۶۰۰۰
نفت گاز	۵۵۳۵۰۰
نفت کوره	۵۰۳۸۳۵۴۱

الف) بنزین

براساس گزارش شرکت نفت استان ساری، میزان مصرف بنزین در بخش حمل‌ونقل برابر با مقدار ۳۶۴۵۸۵۰۰ لیتر است. برای محاسبه میزان زمین موردنیاز برای تأمین سرانه مصرف بنزین به صورت زیر عمل می‌شود.

$$69/33 \div 3/7853 = 18/31$$

$$18/31 \text{ gallons} \times 125000 \text{ BTU/gallon} = 2288750 \text{ BTU}$$

$$0/002289 \text{ Billion BTU} \times 19/35 \text{ tonnes Carbon/Bilion BTU} = 0/044 \text{ tonnes Carbon}$$

سالانه برای جذب ۱/۸ تن کربن یک هکتار زمین موردنیاز است؛ بنابراین:

$$0/044 \div 1/8 = 0/024 \text{ hectar}$$

رد پای اکولوژیکی مصرف بنزین در بخش حمل‌ونقل در شهر ساری ۱۵۸۹۹/۹۹ هکتار جهانی است که از این میزان ۴۷۲۳/۹۴ هکتار جهانی رد پای شهروندان منطقه یک، ۳۶۳۴/۴۵ هکتار جهانی رد پای مصرف بنزین شهروندان منطقه دو، ۳۵۷۶/۴۸ هکتار جهانی رد پای شهروندان منطقه سه و ۳۹۶۵/۱۲ هکتار جهانی رد پای شهروندان منطقه چهار در این بخش است.

ب) گازوئیل

مصرف گازوئیل در بخش حمل‌ونقل برابر با ۵۵۳۵۳۳۰۰ لیتر بوده است و برای محاسبه زمین موردنیاز برای جذب CO₂ ناشی از مصرف گازوئیل در این بخش به صورت زیر عمل می‌شود.

$$105/27 \div 3/7853 = 27/81$$

$$27/81 \text{ gallons} \times 138700 \text{ BUT/GALLONS} = 3857247 \text{ BTU}$$

$$0/003857247 \text{ Billion BTU} \times 19/95 \text{ tonnes Carbon/Billion BTU} = 0/079$$

$$0/079 \div 1/8 = 0/042 \text{ hector}$$

رد پای اکولوژیکی گازوئیل در بخش حمل‌ونقل ۲۷۸۲۵/۰۱ هکتار جهانی است که این میزان ۸۲۶۶/۸۹ هکتار جهانی در منطقه یک، ۶۳۶۰/۲۹ هکتار جهانی رد پای مصرفی گازوئیل در منطقه دو، ۶۲۵۶/۸۴ هکتار جهانی رد پای منطقه سه و ۶۹۳۸/۹۷ هکتار جهانی رد پای منطقه چهار است.

ج) گاز

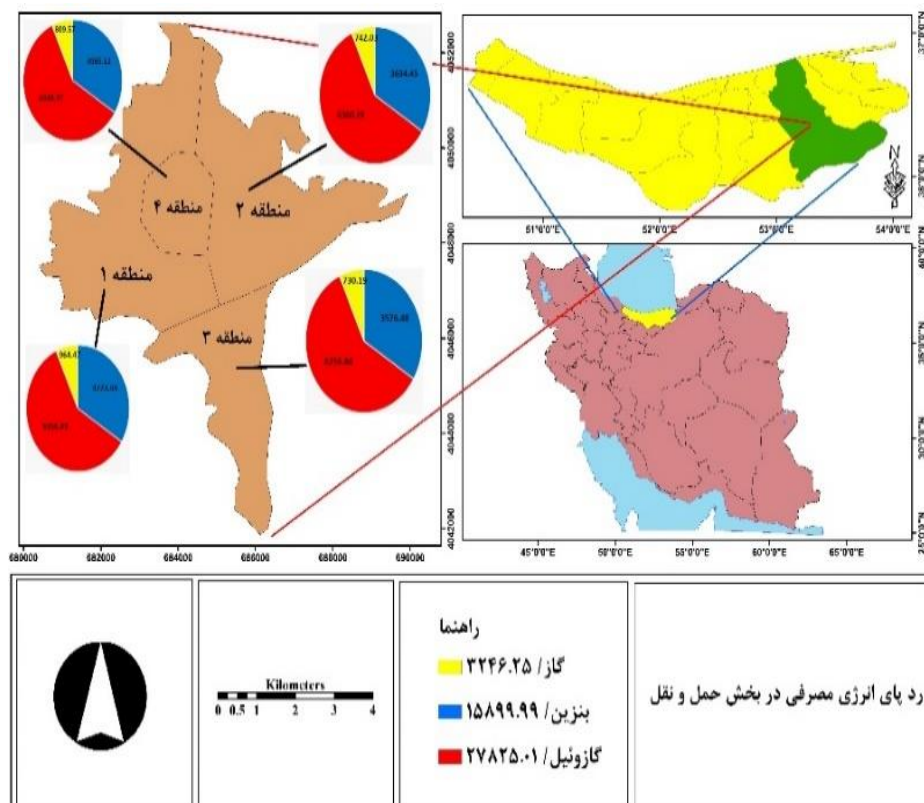
براساس گزارش شرکت ملی گاز مازندران مصرف گاز ساری ۵۵۶۳۳۰۸۴۸ متر مکعب و رد پای اکولوژیکی در بخش حمل‌ونقل به شکل زیر است.

$$1058/07 \times 35/314 = 37364/95 \text{ Cubic Foot Consmtion natural}$$

$$37364/95 \times 0/24 = 8967/58 \text{ grams carbon}$$

$$0/0089 \text{ ton} \div 1/8 \text{ hectar} = 0/0049 \text{ Cubic Foot Consmtion natural}$$

رد پای اکولوژیک مصرف گاز در بخش حمل‌ونقل ۳۲۴۶/۲۵ هکتار جهانی است که از این میزان رد پای منطقه یک ۹۶۴/۴۷ هکتار جهانی، منطقه دو ۷۴۲/۰۳ هکتار جهانی، منطقه سه ۷۳۰/۱۹ هکتار جهانی و منطقه چهار ۸۰۹/۵۷ هکتار جهانی را به خود اختصاص داده‌اند (شکل ۴).



شکل (۴) نقشه رد پای انرژی مصرفی در بخش حمل‌ونقل به تفکیک مناطق چهارگانه شهر ساری.

Figure (4) Footprint map of energy consumption in the transportation sector by four areas of Sari.

رد پای اکولوژیک کل حمل‌ونقل در شهر ساری برابر ۴۶۹۶۹/۲۴ هکتار جهانی است که از مجموع رد پای زمین ساخته و انرژی در این بخش حاصل که مقدار محاسبه شده آن در فرمول زیر آورده شده است:

$$EF_{\text{حمل و نقل}} = (3009/18 + 15899/99 + 3246/25) = 44969/24 \text{ gha}$$

رد پای خدمات

رد پای اکولوژیک خدمات، از مجموع رد پای زمین ساخته و انرژی مصرفی در این بخش برآورد می‌شود. هرکدام از چهار منطقه شهرداری از مساحت اختصاص یافته به کاربری‌های بخش خدمات برآورد شده و انرژی مصرفی در بخش خدمات به شرح زیر است (جدول ۴).

جدول (۴) مساحت و انرژی مصرفی بخش خدمات در سطح شهر ساری (مأخذ: اداره کل راه و شهرسازی استان مازندران، ۱۳۹۵).

Table (4). Area and energy consumption of the service sector in Sari.

منطقه	مساحت اختصاص یافته به کاربری خدمات	گاز مصرفی (m3)	برق مصرفی (wh)
منطقه ۱	۲۱۸۷۱۵۱	۲۲۶۷۳۲۵۶۱۷۴	۱۵۹۱۶۲۹۹۱
منطقه ۲	۲۵۵۸۳۹۷		
منطقه ۳	۲۰۷۹۳۱۳		
منطقه ۴	۱۵۹۷۱۷۳		

زمین ساخته شده

رد پای زمین ساخته شده در بخش خدمات از طریق رابطه رد پای زمین ساخته شده به دست می آید، رد پای زمین ساخته شده در بخش خدمات در هر منطقه از شهر ساری عبارت است از:

$$EF_{1 \text{ منطقه}} = (218/7175 \text{ ha} \times 2/51 \text{ gh/ha}) = 548/974 \text{ gha}$$

$$EF_{2 \text{ منطقه}} = (255/8397 \text{ ha} \times 2/51 \text{ gh/ha}) = 642/157 \text{ gha}$$

$$EF_{3 \text{ منطقه}} = (207/9313 \text{ ha} \times 2/51 \text{ gh/ha}) = 521/907 \text{ gha}$$

$$EF_{4 \text{ منطقه}} = (159/7173 \text{ ha} \times 2/51 \text{ gh/ha}) = 400/89 \text{ gha}$$

مجموع زمین ساخته شده در بخش خدمات شهر ساری برابر ۲۱۱۳/۸۹ هکتار جهانی است.

گاز

میزان مصرف گاز در بخش خدمات ۲۲۶۷۳۲۵۶۱۷۴ متر مکعب است. رد پای گاز مصرفی در بخش خدمات در سطح شهر ساری به صورت زیر برآورد شد:

$$165/3 \times 35/314 = 5837/47 \text{ Cubic Foot Consmtion gas}$$

$$5837/47 \times 0/24 = 1400/99 \text{ grams carbon}$$

$$0/0014 \text{ ton} \div 1/8 \text{ hectar} = 0/0007 \text{ hectar}$$

زمین مورد نیاز برای جذب کربن ناشی از مصرف گاز در بخش خدمات در منطقه یک ۱۳۷/۸۷، منطقه دو ۱۰۶، منطقه سه ۱۰۴/۳، منطقه چهار ۱۱۵/۶۴ و برای کل شهر ساری ۴۶۳/۷۳ هکتار جهانی است.

برق

میزان مصرف برق در بخش خدمات برابر ۱۵۹۱۶۲۲۹۹۱ وات ساعت و رد پای برق مصرفی در بخش خدمات برابر با ۵/۳۵ هکتار جهانی است و به صورت زیر برآورد می شود.

$$159162991 \text{ wh} \times 3600 \text{ s} = (5/7 \times 10^{11}) \div 1000 = 5/7 \times 10^9 \text{ kj}$$

$$(5/7 \times 10^9) \text{ kj} \times (1 \text{ gram}/20 \text{ kj}) = 28500000 \text{ grams}$$

$$28500000 \div 0/314 = 90764331/21 \text{ gram coal}$$

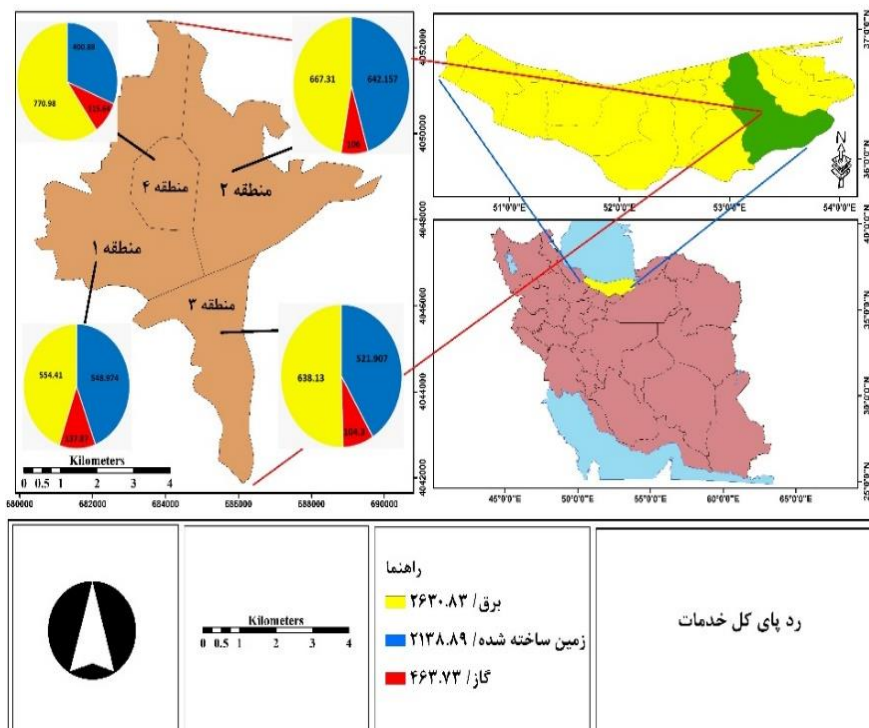
$$90764331/21 \times 0/85 = 77149681/52 \text{ gram carbon}$$

$$77149681/52 \times 10^{-6} = 77/14 \text{ ton carbon}$$

$$77/14 \div 1/8 = 42/58ha$$

$$42/58 \div 525794 = 8/1 \times 10^{-5} ha$$

از این میزان ۱۵/۷۴ هکتار جهانی مربوط به رد پای منطقه یک، ۱۲/۳۴ هکتار جهانی منطقه دو، ۱۲ هکتار رد پای منطقه سه و ۱۳/۲۱ هکتار جهانی رد پای منطقه چهار است. در نتیجه رد پای بخش خدمات در منطقه یک شهر ۵۵۴/۴۱، منطقه دو ۶۶۷/۳۱، منطقه سه ۶۳۸/۱۳، منطقه چهار ۷۷۰/۹۸ (شکل ۵) و مجموع رد پای اکولوژیک این بخش در شهر ساری برابر با مقدار ۲۶۳۰/۸۳ هکتار جهانی است.



شکل (۵) نقشه ردپای کل خدمات به تفکیک مناطق چهارگانه شهر ساری.

Figure (5) Trace map of all services by four areas of Sari.

ظرفیت زیستی

برای ارزیابی ظرفیت زیستی شهر، از مساحت زمین‌های تولیدکننده شهر ساری طبق رابطه (۵) استفاده که با فاکتور معادل و عملکرد متناسب با زمین مولد مقایسه می‌شود (جدول‌های ۵ تا ۸). مقدار ظرفیت زیستی با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود که به ترتیب $BC =$ ظرفیت زیستی، $A =$ مساحت منطقه مولد مدنظر برحسب هکتار، $YF =$ فاکتور عملکرد زمین مولد و $EQF =$ فاکتور معادل زمین مولد است.

$$BC = A \times YF \times EQF \quad (5)$$

جدول (۵) مساحت زمین‌های مولد شهر ساری در سال زراعی (مأخذ: اداره کل راه و شهرسازی استان مازندران، ۱۳۹۵).

Table 5. Area of productive lands of Sari city in the crop year.

نوع زمین	زمین‌های جنگلی	زمین‌های مرتعی	زمین‌های کشاورزی	زمین‌های ماهیگیری	مناطق ساخته شده
مساحت (ha)	۴۷۹	۱۲۸۸۴۰	۹۰۸۰۱	۴۴	۶۴۲۱

جدول (۶) ظرفیت زیستی زمین‌های مولد زیستی ساری.

Table (6) Biological capacity of Sari biodegradable fields.

نوع زمین	جنگل	مرتعی	کشاورزی	زمین ماهیگیری	مناطق ساخته شده	جمع کل
ظرفیت زیستی (gha)	۰/۴۴۲	۵۹۲/۶۶	۲۹۴۰۰۴/۵۵	۰/۶۵	۲۰۷۹۰/۵۵	۳۱۵۳۸۸/۸۳

جدول (۷) فاکتور معادل انواع زمین.

Table (7) Equivalent factor of land types.

نوع زمین	فاکتور معادل (هکتار جهانی)
کشاورزی	۲/۵۱
زمین جنگلی	۱/۲۶
مرتع	۰/۴۶
زمین دریایی	۰/۳۷
مناطق ساخته شده	۲/۵۱

جدول (۸) فاکتور عملکرد زمین‌های مولد.

Table (8) Factor of performance of productive fields.

نوع زمین	فاکتور عملکرد
زمین جنگلی	۰/۰۰۰۷
مرتع	۰/۰۱
زمین کشاورزی	۱/۲۹
زمین ماهیگیری	۰/۰۴
مناطق ساخته شده	۱/۲۹

بررسی کمبود اکولوژیکی

برای بررسی وضعیت اکولوژیکی اکوسیستم شهری ساری، کسری اکولوژیکی بررسی و از دو پارامتر رد پای اکولوژیکی و ظرفیت زیستی استفاده می‌شود که تفاوت این دو نشان‌دهنده کمبود یا مازاد اکولوژیکی شهر است. با توجه به رد پای بوم‌شناختی برآورد شده در دو بخش مصرف و تولید و ظرفیت زیستی محاسبه شده به ترتیب زیر است.

در بخش اول، کمبود اکولوژیکی در بخش مصرف بررسی می‌شود:

$$Ed = BC - EF$$

$$Ed = (315388/83 - 69552/18) = 245836/65 \text{ gha}$$

عدد حاصل شده نشان‌دهنده این است که رد پای اکولوژیک شهر ساری از ظرفیت زیستی اکوسیستم کمتر است،

در بخش مصرف مازاد اکولوژیکی وجود دارد و سرانه مازاد اکولوژیکی برای هر شهروند ساکن ساری برابر ۰/۹۴ هکتار جهانی است. در بررسی کمبود اکولوژیکی در بخش تولید، با توجه به رد پای اکولوژیکی این بخش و ظرفیت زیستی در منطقه، کسری اکولوژیکی ایجاد شده است که به صورت زیر برآورد می‌شود:

$$Ed = (315388/83 - 498527) = -183138/17 \text{ gha}$$

که این نشان‌دهنده کسری اکولوژیکی در این بخش است. مصرف در این بخش بیشتر از توان اکولوژیکی تولید و سرانه کسری اکولوژیکی در منطقه ۰/۳۴ هکتار جهانی است (جدول‌های ۹ و ۱۰).

جدول (۹) سرانه رد پای اکولوژیکی مصرف در بخش تولید-کمبود اکولوژیکی در ساری.

Table (9) Per capita ecological footprint of consumption in the production-ecological deficit sector in Sari.

پارامتر	رد پای اکولوژیک (EFC)	ظرفیت زیستی (BC)	کمبود اکولوژیکی (Ed)
سرانه (gha)	۰/۹۴	۰/۵۹	۰/۳۴

جدول (۱۰) سرانه رد پای مصرف-ظرفیت زیستی-کمبود اکولوژیکی در کشور ایران (سازمان جغرافیایی تهران).

Table (10) Per capita consumption footprint-biological capacity-ecological deficit in Iran.

پارامتر	رد پای اکولوژیک (EFC)	ظرفیت زیستی (BC)	کمبود اکولوژیکی (Ed)
سرانه (gha)	۲/۷	۰/۸	۱/۹

سرانه رد پای اکولوژیکی مصرف شهروندان ساری ۰/۹۴ هکتار جهانی به دست آمد. در مقایسه با رد پای اکولوژیکی ایران که برابر ۲/۷ هکتار جهانی است (قرخلو و همکاران، ۱۳۹۲)، این میزان کم‌تر است. از طرفی، سرانه ظرفیت زیستی برآوردشده برای شهر ساری ۰/۵۹ هکتار جهانی و سرانه ظرفیت زیستی ایران ۰/۸ هکتار جهانی است. به‌طور کلی این گونه نتیجه گرفته می‌شود که شهر ساری در بخش مصرف دارای مازاد اکولوژیکی است که نشان‌دهنده تقاضای کمتر از عرضه در این بخش است. میانگین مصرف داده‌ها برای مشخص کردن رد پای اکولوژیک در مناطق چهارگانه شهر ساری نشان از آن داشت که منطقه یک نسبت به سایر مناطق از الگوی مصرف بیشتری پیروی می‌کند؛ اما آنچه مسلم است؛ تفاوت‌نداشتن معنی‌دار بین مناطق شهری است.

نتیجه‌گیری

امروزه با روند روبه‌رشد شهرنشینی در نقاط مختلف جهان، موضوع تأمین منابع موردنیاز ساکنان شهرها، تبدیل به مسئله‌ای مهم در دنیا و دغدغه‌ای برای مدیران و برنامه‌ریزان شهری شده است. در این پژوهش تلاش شد تا با در نظر گرفتن پارامترها و شاخص‌هایی که در ارتباط با منابع موردنیاز (عرضه) و تقاضای مصرفی شهروندان ساری است، میزان مصرف منابع و انرژی در این شهر بررسی و در نهایت میزان تقاضا در هرکدام از بخش‌های مصرفی با ظرفیت زیستی اکوسیستم شهری مقایسه و ارزیابی شود. در انتها برای بررسی وضعیت پایداری توسعه فیزیکی شهر نیز الگوی توسعه و گسترش فیزیکی شهر از نظر نسبت سرانه ناخالص جمعیت و مساحت ارزیابی شد.

واکرناگل و ریس (۱۹۹۶) برای اولین بار معیار ردپای اکولوژیکی را مطرح کردند. ردپای اکولوژیکی، نمونه‌ای از ابزار حسابداری بوده که برای برآورد و اندازه‌گیری میزان مصرف منابع و جذب آلاینده‌ها برای جمعیت یا اقتصاد استفاده شده است. این مفهوم، که تبدیل به موضوع مقایسه پایداری میان کشورها شده است، پیامدهای جوامع، کشورها، مناطق و افراد را بر محیط‌زیست با تبدیل به اراضی موردنیاز برای تولید نیازهای اساسی و جذب آلاینده‌ها مقایسه می‌کند. به معنای دیگر، ردپای اکولوژیکی روش زندگی انسان‌ها را به پیامدهای محیط‌زیست مربوط می‌کند که این محاسبات به میزان اطلاعات و دقت آنها، شاخص تبدیل، مساحت اراضی کشاورزی، سطح اراضی جنگلی و سایر منابع طبیعی بستگی دارد؛ همچنین ردپای اکولوژیکی به مصرف و تولید ضایعات بستگی دارد. با توجه به نیازهای اساسی بشر در کنار نیاز به تغذیه، مسئله سرپناه نیازی ضروری بوده است. موردتوجه قراردادن بخش مسکن یکی از مقوله‌های حیاتی اقتصادی-اجتماعی در جامعه است. با بیشترشدن جمعیت، میزان ساخت‌وساز مسکن هم رو به افزایش است. وجود پتانسیل‌های گردشگری در شهرستان ساری سبب ساخت‌وساز بیشتر مسکن و ویلا شده است. در برآورد رد پای اکولوژیکی بخش مسکن، از مجموع رد پاهای اکولوژیکی زمین ساخته‌شده و انرژی شامل گاز و برق و رد پای اکولوژیکی آب استفاده‌شده است. رد پای اکولوژیکی بخش مسکن در هرکدام از مناطق شهر به‌طور جداگانه برآورد شده است. رد پای اکولوژیکی مسکن شهر ساری برابر ۱۳۹۸۰/۲۹ هکتار جهانی است که از این میزان ۲۰۷۱/۵۵ هکتار جهانی رد پای اکولوژیکی بخش مسکن در منطقه یک، ۳۸۴۰/۸۱ منطقه دو، ۱۶۰۹/۶۴ منطقه سه و مقدار ۶۲۰/۶۶ منطقه چهار شهر ساری است. بین چهار منطقه شهر، منطقه دو با رد پای اکولوژیکی ۳۸۴۰/۸۱ هکتار جهانی بیشترین رد پای بخش مسکن را دارد. به بیان دیگر، شهروندانی که در منطقه دو زندگی می‌کنند، به زمین بیشتری برای رفع نیازهای بخش مسکن خود نیاز دارند. رد پای اکولوژیکی حمل‌ونقل به تفکیک مناطق شهری، شهر ساری برآورد شده است. آن از مجموع رد پاهای اکولوژیکی زمین ساخته‌شده و انرژی مصرفی (شامل بنزین، گازوئیل و CNG) محاسبه شده است. رد پای اکولوژیکی در شهر ساری ۴۶۹۶۹/۲۴ هکتار جهانی است. ۱۳۹۵۵/۳ هکتار جهانی رد پای منطقه یک، ۱۰۷۳۶/۷۷ رد پای منطقه دو، ۱۰۵۶۳/۵۱ رد پای منطقه سه و ۱۱۷۱۳/۶۶ رد پای اکولوژیکی منطقه چهار است. پایداری اکولوژیکی راه‌حلی‌هایی ارائه می‌دهد که در ابتدا نیازمند تجدیدنظر در ارتباط با کشاورزی، مسکن، انرژی، طراحی شهری، حمل‌ونقل، اقتصاد، خانواده، منابع مصرفی، جنگلداری، بیابان‌ها و ارزش‌های اصلی زندگی مان باشد. **حبیبی و رحیمی کاکه‌جوب (۱۳۹۴)** در مطالعه‌ای که در محله قطارچیان سنندج انجام دادند، چنین نتیجه گرفتند که میان متغیرهای اجتماعی - اقتصادی، سطح درآمد بیشترین تأثیر را بر جای پای بوم‌شناختی غذا، حمل‌ونقل و مسکن دارد و سطح سواد نیز بیشترین تأثیر را بر جای پای کالاهای مصرفی می‌گذارد. در پژوهشی دیگر، **قرخلو و همکاران (۱۳۹۲)** با عنوان ارزیابی پایداری توسعه شهری با روش جای پای اکولوژیکی شهر کرمانشاه صورت گرفت. یافته‌های این پژوهش نشان‌دهنده آن است که جای پای اکولوژیکی شهر کرمانشاه در گروه‌های مصرفی مواد غذایی، حمل‌ونقل، گرمایش گازهای طبیعی، آب، برق و زمین موردنیاز برای دفع مواد زائد ۱/۸۲ هکتار بوده است. در راستای نیل به پایداری شهری مطالعه کالبد و عملکرد شهرها، برنامه‌ریزی و طراحی شهری، طراحی اکولوژیکی، دهکده اکولوژیکی، شهر اکولوژیکی و سایر اشکال طراحی محیطی امری ضروری است که

باید برای ارتقای پایداری شهری از آنها استفاده شود. با توجه به نتایج حاصل شده از نقش پارامترهای مختلف در وضعیت پایداری شهر ساری، مهم‌ترین پیشنهاد در ارتقای شهر ساری بهره‌گیری از توسعه پایدار، جلوگیری از الگوی مصرف‌گرایی و جایگزین کردن آن با تولیدگرایی به شمار می‌رود؛ بنابراین با بهره‌گیری از نقاط قوت و ضعف از فرصت‌ها استفاده می‌شود. همان‌گونه که مفهوم ردپای اکولوژیک استفاده می‌شود، فعالیت‌هایی برای بهبود متولوزی‌های موجود در محاسبه ردپای اکولوژیک هم انجام گرفته است؛ اما این روش علاوه بر مزیت‌های بسیار با معایب و محدودیت‌هایی نیز همراه است. از محدودیت‌های شاخص ردپای اکولوژیک به چهار مورد مهم اشاره می‌شود که شامل نادیده گرفتن تغییر سطوح فناوری، نادیده گرفتن منابع زیرزمینی، کمبود اطلاعات در سطح منطقه‌ای و ملی و تأکید بر احتمالات منطقه‌ای و توجه کمتر به مسائل کیفی است. در پایان پیشنهادهای زیر برای کاهش رد پای اکولوژیک در شهر ساری ارائه شده است:

- تدوین و اجرای ضوابط و مقررات توسعه فضاهای سبز و باز به میزان چندین برابر سطوح ساختمانی تولیدشده در فرایند متراکم‌سازی محلات شهری.
 - ممانعت از افزایش ساخت‌وسازها در اراضی سبز و باز شهرها و انتقال توسعه به اراضی فاقد توان‌های توسعه فضای سبز از سوی ارگان‌های مربوطه اعم از شهرداری.
 - توجه به پتانسیل‌های بوم‌شناختی شهر ساری به‌ویژه جنگل، باغ‌ها و رودخانه‌ها.
 - اصلاح الگوی مصرف و اجرای مدیریت سبز در کلیه مراکز دولتی و غیردولتی.
- آموزش و اطلاع‌رسانی درباره آثار محیط زیستی ناشی از زیادبودن میزان مصرف، با استفاده از مفهوم زمین و روش EF.

منابع

- اداره کل راه و شهرسازی استان مازندران (۱۳۹۵). طرح جامع ساری. <https://B2n.ir/h10556>
- تقوایی، مسعود، و صفراآبادی، اعظم (۱۳۹۲). توسعه پایدار شهری و برخی مطالعه عوامل بر آن (مورد: شهر کرمانشاه). *مطالعات جامعه‌شناختی شهری (مطالعات شهری)*، ۳(۶)، ۲۲-۱.
- <https://sid.ir/paper/210326/fa>
- حبیبی، کیومرث، و رحیمی کاکه‌جوب، آرمان (۱۳۹۴). کاربست شاخص جای پای بوم‌شناختی در سنجش پایداری محلات شهری از منظر عوامل اجتماعی-اقتصادی مطالعه موردی محله قطارچیان شهر سنندج. *مجله آمایش جغرافیایی فضا*، ۵(۱۶)، ۳۹-۵۴.
- https://gps.gu.ac.ir/article_10916.html
- خاکپور، براتعلی، رهنما، محمدرضا، و دماوندی، هادی (۱۳۹۳). کاربرد روش ردپای اکولوژیکی در ارزیابی پایداری توسعه شهری (مطالعه موردی: شهر ساری). *اولین کنفرانس ملی جغرافیا، گردشگری، منابع طبیعی و توسعه پایدار*، تهران. <https://civilica.com/doc/357517>
- شرکت ملی پالایش و پخش فرآورده‌های نفتی ایران (۱۴۰۲). *آمارنامه‌های رسمی سال ۱۳۹۵*. <https://B2n.ir/a72736>
- صابری‌فر، رستم (۱۳۸۶). توسعه پایدار شهری. *پیک نور - علوم انسانی*، ۵(۲)، ۱۰۸-۱۱۵. <https://www.sid.ir/paper/128462/fa>
- صالحی، اسماعیل (۱۳۸۵). نقش ضوابط و مقررات شهرسازی در اجرای شهر خوب و توسعه پایدار شهری. *محیط شناسی*، ۳۲(۴۰)، ۶۲-۵۱. https://jes.ut.ac.ir/article_18035.html
- عابدی، زهرا، و سلطانی خمسه، پریسا (۱۳۹۵). *از ردپای اکولوژیکی تا شهر پایدار*. همایش بین‌المللی اقتصاد شهری، تهران. <https://civilica.com/doc/510540>
- عبادی قاجاری، سلیمه (۱۳۹۵). *برنامه‌ریزی توسعه فضایی منطقه‌ای پایدار مبتنی بر ارزیابی ردپای اکولوژیکی گونه‌های مسکن، نمونه مطالعاتی: شهرستان*

ساری [پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی]. گنج.

<https://ganj.irandoc.ac.ir/#/articles/ae3b88fbb2ca840db8a9eef01995c106>

قرخلو، مهدی، حاتمی نژاد، حسین، باغوند، اکبر، و یلوه، مصطفی (۱۳۹۲). ارزیابی پایداری توسعه شهری با روش جای پای اکولوژیکی نمونه موردی:

شهر کرمانشاه. *مجله پژوهش‌های جغرافیای انسانی*، ۴۵(۲)، ۱۰۵-۱۲۰. <https://doi.org/10.22059/jhgr.2013.30426>

مرکز آمار ایران (۱۴۰۲). سرشماری عمومی نفوس و مسکن ۱۳۹۵. <https://amar.org.ir/statistical-information>

References

- Abedi, Z., & Soltani Khamseh, P. (2016). The ecological footprint to sustainable city. International Conference on Urban Economics, Tehran. <https://civilica.com/doc/510540> [In Persian].
- Ahmad, M., Ahmed, Z., Yang, X., Hussain, N., & Sinha, A. (2022). Financial development and environmental degradation: do human capital and institutional quality make a difference?. *Gondwana Research*, 105, 299-310. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2021.09.012>
- Ahmed, Z., & Wang, Z. (2019). Investigating the impact of human capital on the ecological footprint in India: an empirical analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 26782-26796. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-019-05911-7>
- Ahmed, Z., Asghar, M. M., Malik, M. N., & Nawaz, K. (2020). Moving towards a sustainable environment: the dynamic linkage between natural resources, human capital, urbanization, economic growth, and ecological footprint in China. *Resources Policy*, 67, 101677. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101677>
- Alvarado, R., Ortiz, C., Jiménez, N., Ochoa-Jiménez, D., & Tillaguango, B. (2021). Ecological footprint, air quality and research and development: the role of agriculture and international trade. *Journal of Cleaner Production*, 288, 125589. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125589>
- Bautista-Puig, N., Aleixo, A. M., Leal, S., Azeiteiro, U., & Costas, R. (2021). Unveiling the research landscape of sustainable development goals and their inclusion in higher education institutions and research centers: major trends in 2000–2017. *Frontiers in Sustainability*, 2, 620743. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2002.04895>
- Casoli, E., Piazzini, L., Nicoletti, L., Jona-Lasinio, G., Cecchi, E., Mancini, G., ... & Ardizzone, G. (2020). Ecology, distribution and demography of erect bryozoans in Mediterranean coralligenous reefs. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 235, 106573. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.106573>
- 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, 2483-2489. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.017>
- Du, Y. W., Wang, Y. C., & Li, W. S. (2022). Emergy ecological footprint method considering uncertainty and its application in evaluating marine ranching resources and environmental carrying capacity. *Journal of Cleaner Production*, 336, 130363. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130363>
- Ebadi Ghajari, S. (2016). *Sustainable regional spatial development planning based on ecological footprint assessment of housing types, case study: Sari city* [Masters Thesis, Shahid Beheshti University]. Ganj. <https://ganj.irandoc.ac.ir/#/articles/ae3b88fbb2ca840db8a9eef01995c106> [In Persian].
- General Administration of Roads and Urban Development of Mazandaran Province. (2015). *Sari master plan*. <https://B2n.ir/h10556> [In Persian].
- Gharakhlou, M., Hataminezhad, H., Baghvand, A., & Yalve, M. (2013). Urban Sustainable Development Assessment with Regard to Footprint Ecological Method (Case Study: Kermanshah City). *Human Geography Research*, 45(2), 105-120. <https://doi.org/10.22059/jhgr.2013.30426> [In Persian].
- Habibi, K., & Rahimi, A. (2015). Application of Ecological Footprint Indicator for Evaluating the

- Sustainability of Urban Neighborhoods from the Perspe. *Geographical Planning of Space*, 5(16), 37-52. https://gps.gu.ac.ir/article_10916.html?lang=en [In Persian].
- Huang, Y., Haseeb, M., Usman, M., & Ozturk, I. (2022). Dynamic association between ICT, renewable energy, economic complexity and ecological footprint: is there any difference between E-7 (developing) and G-7 (developed) countries?. *Technology in Society*, 68, 101853. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101853>
- Iranian Statistics Center (2023). *General population and housing census 2015*. <https://amar.org.ir/statistical-information>
- Iran's National Oil Products Refining and Distribution Company (2023). *Official statistics of 2015*. <https://B2n.ir/a72736>
- Khakpour, B., Rahnama, M., & Damavandi, Hadi. (2014). *Application of ecological footprint method in assessing the sustainability of urban development (Case study: Sari city)*. The First National Conference on Geography, Tourism, Natural Resources and Sustainable Development, Tehran. <https://civilica.com/doc/357517> [In Persian].
- Li, P., Zhang, R., & Xu, L. (2021). Three-dimensional ecological footprint based on ecosystem service value and their drivers: A case study of Urumqi. *Ecological indicators*, 131, 108117. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108117>
- Lin, D., Hanscom, L., Murthy, A., Galli, A., Evans, M., Neill, E., ... & Wackernagel, M. (2018). Ecological footprint accounting for countries: updates and results of the National Footprint Accounts, 2012–2018. *Resources*, 7(3), 58. <https://doi.org/10.3390/resources7030058>
- Liu, W., Yan, Y., Wang, D., & Ma, W. (2018). Integrate carbon dynamics models for assessing the impact of land use intervention on carbon sequestration ecosystem service. *Ecological indicators*, 91, 268-277. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.03.087>
- Saberifar, R., (2007). Sustainable Urban Development. *Peak Noor - Humanities*, 5(2) 108-115. <https://www.sid.ir/paper/128462/en> [In Persian].
- Salehi, E. (2007). The Role of Urban Planning Rules and Regulations in Realizing a Good City and Sustainable Urban Development Case Study: Tehran. *Journal of Environmental Studies*, 32(40), 51-62. https://jes.ut.ac.ir/article_18035.html?lang=en [In Persian].
- Taghvaei, M., & Safarabadi, A. (2013). Urban sustainable development and selected variables affecting it (Case of study: The city of Kermanshah). *Journal of Urban Sociological Studies (Urban Studies)*, 3(6), 1-22. <https://www.sid.ir/paper/210326/en> [In Persian].
- Tan, F., & Lu, Z. (2016). Assessing regional sustainable development through an integration of nonlinear principal component analysis and Gram Schmidt orthogonalization. *Ecological Indicators*, 63, 71-81. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.11.018>
- Ulucak, R. U., & Khan, S. (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>
- Wu, J., & Bai, Z. (2022). Spatial and temporal changes of the ecological footprint of China's resource-based cities in the process of urbanization. *Resources Policy*, 75, 102491. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102491>
- Yang, X., Li, N., Mu, H., Zhang, M., Pang, J., & Ahmad, M. (2021). Study on the long-term and short-term effects of globalization and population aging on ecological footprint in OECD countries. *Ecological Complexity*, 47, 100946. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2021.100946>
- Yu, H., Liu, X., Kong, B., Li, R., & Wang, G. (2019). Landscape ecology development supported by geospatial technologies: A review. *Ecological Informatics*, 51, 185-192. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2019.03.006>
- Zafar, M. W., Zaidi, S. A. H., Khan, N. R., Mirza, F. M., Hou, F., & Kirmani, S. A. A. (2019). The impact of natural resources, human capital, and foreign direct investment on the ecological footprint: the case of the United States. *Resources Policy*, 63, 101428. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.101428>