University of Sistan and Baluchestan

Geography and Development

Print ISSN: 1735 - 0735 Online ISSN: 2676-7791

Homepage: https://gdij.usb.ac.ir

Measuring and Comparing the Ecological Footprint and Biological Capacity of Mazandaran Province Townships

Sedigheh Lotfi[1]✉, Tohid Alizadeh[2]

1. Professor of Geography and Urban Planning, Faculty of Humanites and Social Sciences,Mazandaran University, Mazandaran, Iran
✉ E-mail: s.lotfi@umz.ac.ir
2. Ph. D Candidate of Geography and Urban Planning, Faculty of Humanites and Social Sciences, Mazandaran University, Mazandaran,Iran
E-mail: tohid.alizadeh70@gmail.com

How to Cite: Lotfi, S; Alizadeh, T. (2024). Measuring and Comparing the Ecological Footprint and Biological Capacity of Mazandaran Province Townships. *Geography and Development,* 22 (76), 1-32.

DOI: http://dx.doi.org/10.22111/GDIJ.2024.46616.3571

Received:
10 September 2023
Received in revised form:
16 March 2024
Accepted:
29 April 2024
Published online:
24 August 2024

ABSTRACT

Environmental problems caused by human activities have been raised as a serious challenge for global sustainable development in recent decades. One of the key concepts in this field is the ecological footprint, which refers to the consumption of natural resources by human society and compared to the concept of biological capacity, which indicates the ability of the earth to meet human needs and absorb waste; it evaluates the ecological deficiency of the region. The present study analyzed the biological products in order to calculate the load and pressure on nature as a result of human exploitation and the capacity of the biosphere to provide the land needed for carbon absorption, energy consumption, transportation and etc. In this research, the ecological footprint method with the global hectare (gha) measurement unit has been used to analyze the data, and the ecological deficit has been estimated for the townships Mazandaran province. The results showed that the per capita ecological deficit of the entire province in year of 2021 was -0.49 global hectares for each person, which indicated the imbalance between economic activities and environmental protection, as well as excessive consumption of natural resources. Ramsar was the most unsustainable township with the highest per capita ecological deficit (1.03 hectares), and Golugah was the most sustainable region in the province with the highest per capita ecological reserve (2.5 global hectares). The research can create a platform for decision makers and officials to take appropriate measures and make informed decisions to preserve the environment and sustainable development of the province.

Keywords:
Ecological footprint,
Biocapacity,
Ecological deficit,
Mazandaran province.

 Publisher: University of Sistan and Baluchestan

1. Introduction

Today, the environmental problems caused by the urbanization process have become one of the serious challenges for the experts in this field. In 1990s, the concept of "ecological footprint" was defined by William Rees and Matthias Wackernagel as a means of tracking human needs in the regenerative capacity of the biosphere and human dependence on ecosystems. This concept can be used as an effective tool to describe human pressures on the environment and natural resources. In addition to the ecological footprint, another concept called "biological capacity" should be considered and identified to identify the ecological deficit of an area. Biocapacity reflects the biological production of the area and represents the maximum level of resource supply, which is opposite to the ecological footprint. If the consumption of resources by humans is more than the biological capacity of nature, we will suffer from an ecological deficiency, which can lead to the destruction and reduction of natural resources, the reduction of biodiversity and other environmental problems. In Mazandaran province, which is one of the regions rich in biological diversity and natural resources in Iran, it is very important to examine the ecological footprint and biological capacity. This study provides information to regional officials and can help in formulating effective and sustainable environmental and natural resources policies and programs. Also, by comparing the ecological footprint and biological capacity between townships, it is possible to identify the differences and patterns of resource utilization and introduce ideal solutions for preserving natural resources and sustainable development.

2. Methods and Material

The methodology of the research is based on descriptive and analytical approaches. The required data and information were obtained by documents and databases such as national censuses and relevant statistical indicators such as the reports of the Global Footprint Network (GFN) and also by referring to relevant organizations and departments to receive updated information. Based on this, the current research has analyzed data sources such as energy consumption, transportation, consumption waste, built-up land and biological products to calculate the ecological footprint and biological capacity. In this research, the ecological footprint method with the global hectare (gha) measurement unit was used to analyze the data. The ecological deficit of a region is the difference between the biological capacity and the ecological footprint, which indicates the production activities of the region and the consumption activities in the ecological system, and checks that these activities are within the biological capacity of the region. For this purpose, the data analyzed using Excel. In order to measure the area of built-up lands, the combination of satellite images has been used in the Google Earth Engine platform and ArcGIS 10.8 software.

3. Results and Discussion

Taking into account the population of 3,375,900 people, the ecological footprint and the biological capacity was 6.40 and 0.94 global hectares per person respectively. The ecological deficit of Mazandaran province per person was equal to 5.46 hectares in 2021, this situation impacted the sustainable development of the region by imposing critical environment pressure. Therefore, these trends should be controlled and modified to be able to meet the needs of the population, and otherwise each of the townships in the province will need larger supporting areas to meet their consumption needs. Among the townships, AbbasAbad, Ramsar and MahmudAbad have the largest ecological footprint per capita while their living capacity per person is not considerable. Golugah, having the highest biological capacity, has the lowest ecological deficiency per capita, followed by Mian-Dorud and Savadkoh townships. Ramsar and AbbasAbad have also experienced the greatest ecological deficit per person due to having the largest per capita ecological footprint in the province and placed in a more unsustainable condition.

4. Conclusion

In recent years, the ecological footprint as a key indicator has been highly considered in assessing sustainability and measuring human impact on environment. The results showed that Mazandaran province, which has abundant natural resources and biodiversity, has faced with ecological challenges caused by rapid population growth and excessive urban development. Ecological deficiency in the province indicated an imbalance between economic activities and environmental effects and excessive use of natural resources, which can lead to habitat destruction, biodiversity reduction, and climate change. According to the results, the role of the government and related institutions in reducing the ecological footprint is highly crucial through the ecological recycling of natural resources, development of agriculture and industry in compliance with the principles of environmental protection, promotion of social awareness and education in the field of environment issues. This research can create a platform for decision makers and officials to take appropriate measures and decisions to preserve the environment and sustainable development of the province.

Keywords: Eecological footprint, Biological capacity, Ecological deficiency, Mazandaran province.

5. References

Ahmad, M., Ahmed, Z., Yang, X., Hussain, N., & Sinha, A (2021). Financial development and environmental degradation: Do human capital and institutional quality make a difference? Gondwana Research.
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1342937X21002677

Akrour, S., & Grimes, S (2022). Is the ecological footprint enough science for Algerian fisheries management? Sustainability, 14(3), 1418.
https://www.mdpi.com/2071-1050/14/3/1418

Alizadeh, H., Lotfi, V. and Vesey, P (2018). Evaluating the environmental effects of educational uses using the ecological footprint model, a case study of Kurdistan University. Journal of Urban Studies, Volume 8, Issue 32, s 77-88 (In Persian)
https://urbstudies.uok.ac.ir/article_61218.html?lang=fa

Alizadeh, T (2014). Explaining the role and function of complementarity in planning multicenter urban areas, study case: Amol-Babol-Qaimshahr-Sari urban area, supervisors: Kazemian, G. and Nadai Toosi, S., Master Thesis, Shahid Beheshti University, Tehran. (In Persian)
https://centlibrary.sbu.ac.ir/site/catalogue/390145

Daliri, H., & mehregan, N. (2016). Measuring Sustainable Development in the Provinces of Iran by Using the Ecological Footprint. Journal of economics and regional development, Volume 23, Issue 11, 1-47.
https://erd.um.ac.ir/article_25896.html?lang=en

Du, Y. W., Wang, Y. C., & Li, W. S (2022). Energy ecological footprint method considering uncertainty and its application in evaluating marine ranching resources and environmental carrying capacity. Journal of Cleaner Production, No 130363.
https://www.researchgate.net/publication/357587610

Farhadi, P., Ilderami, A. and Mirsengari, M (2017). Evaluation of ecological footprint and living capacity of urban ecosystem (case study: Hamadan city). Environmental Science and Technology Quarterly, Volume 23, Issue 1, 241-251. (In Persian)
https://journals.srbiau.ac.ir/article_18050.html

Ismailzadeh, H., Brari, M., Rahmati, A. and Kalantari, M (2016). Ecological footprint index in measuring the sustainability of urban development (Study example: Sari city), Journal of Environment, Volume 1, Issue 57, 33-46.
https://www.envjournal.ir/article_49801.html?lang=fa

Galli, A., Kitzes, J., Wermer, P., Wackernagel, M., Niccolucci, V., & Tiezzi, E (2007). An exploration of the mathematics behind the ecological footprint (249-256). Wit Press: Billerica, MA, USA.
https://www.witpress.com/elibrary/eco-volumes/2/4/2631

Global Footprint Network (2023) *Global Footprint Network*. Available at:
https://www.footprintnetwork.org/ (Accessed: 5 Aug 2023).

Habibi, K., Rahimi Kakechob, A. and Abdi, M.H (2012). Evaluation of ecological footprint of urban transportation means, a new approach for sustainable transportation planning, case example: Urmia city; Scientific-Research Quarterly of the Geographical Survey of Space, Volume 2, Issue 5, 11-99. (In Persian)
https://gps.gu.ac.ir/article_5340.html?lang=fa

Jumapour, M., Hataminejad, H. and Shahnavaz, S (2012). Investigating the state of sustainable development of Rasht city using the ecological footprint method. Human Geography Research, Volume 45, Issue 3, 191-208. (In Persian)
https://jhgr.ut.ac.ir/article_35252.html?lang=fa

Kitzes, J., Peller, A., Goldfinger, S., & Wackernagel, M (2007). Current methods for calculating national ecological footprint accounts. Science for environment & sustainable society, 4(1), 1-9.
https://elearning.humnet.unipi.it/pluginfile.php/101791/mod_resource/content/0/Footprint%20Method%202006.pdf

Kozegar Kaleji, L., Muslimi, A., Moradi, M., Rafiei Mehr, H. and Aminizadeh, A (2018). Ecological footprint, a way towards the sustainability of cities studied in Tabriz city. Journal of Environmental Science, Volume 16, Issue 3, 25-44 (InPersian).
https://envs.sbu.ac.ir/article_97967.html?lang=fa

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, Vol 131, No.108117.
https://ouci.dntb.gov.ua/en/works/4gnmPQm7/

Lotfi, S., and Shahabi Shahmiri, M (2022). Comparative investigation of the potential of complementary relations between multicentric and monocentric urban areas, case study: Rasht urban complex and central Mazandaran urban area. Journal of Man-made Environment Studies, Volume 1, Issue 1, 31-54. (In Persian)
https://shahr.journals.umz.ac.ir/article_3520.html?lang=fa

Management and Planning Organization of Mazandaran Province (2023). The performance report of the executive bodies in 2021 based on an in-person visit to the Management and Planning Organization of Mazandaran Province.
https://www.amar.org.ir/en/

Mazandaran Statistical Yearbook (2018). Statistical Yearbook of Mazandaran, Vice President of Statistics and Information, Management and Planning Organization of Mazandaran Province, Country Planning and Budget Organization. (In Persian)
https://www.amar.org.ir/en/

Mazandaran Statistical Yearbook (2019). Statistical Yearbook of Mazandaran, Vice President of Statistics and Information, Management and Planning Organization of Mazandaran Province, Country Planning and Budget Organization. (In Persian)
https://www.amar.org.ir/en/

Mazandaran Statistical Yearbook (2021). Statistical Yearbook of Mazandaran, Vice President of Statistics and Information, Management and Planning Organization of Mazandaran Province, Country Planning and Budget Organization. (In Persian)
https://www.amar.org.ir/en/

McDonald, G. W., & Patterson, M. G (2004). Ecological footprints and interdependencies of New Zealand regions. Ecological Economics, 50(1-2), 49-67.
doi:10.1016/j.ecolecon.2004.02.008

Meijers, E (2006). The notion of complementarity in urban networks: definition, value, measurement and development, Paper presented at the 10th United Nations Economic Commission for Europe Conference on Urban and Regional Research, Bratislava.
https://www.researchgate.net/publication/242673823

Nazari, M. and Kalantari, M (2022). Investigating the effective factors on Sari's urban ecological footprint. Journal of Geography and Environmental Planning, Volume 34, Issue 2, 17-26. (In Persian).
https://gep.ui.ac.ir/article_27073.html?lang=fa

Rashid, A., Irum, A., Malik, I. A., Ashraf, A., Rongqiong, L., Liu, G., ... & Yousaf, B (2017). Ecological footprint of Rawalpindi; Pakistan's first footprint analysis from urbanization perspective. Journal of Cleaner Production, 170, 362-368.
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095965261732187X

Razi, D (2015). Assessment and analysis of Ecological foot print (Case study: Townships of Mazandaran Provence). Urban Structure and Function Studies, Volume 3, Issue 10, 103-125.
https://shahr.journals.umz.ac.ir/article_1230.html?lang=en

Rees, W.E (1992). Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out. Environ. Urban., 4(2), 121-130.
https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/095624789200400212

Rees, W.E., Wackernagel, M (1994). Ecological footprints and appropriated carrying capacity: measuring the natural capital requirements of the human economy. In: A.M Jansso., M. Hammer, C. Folke, R. Costanza, (Eds.), Investing in Natural Capital: The Ecological Economics Approach to Sustainability. Island Press, Washington DC, 362-390.
https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/095624789200400212

Samadpour, P. and Faradi, Sh (2008). Determining the ecological footprint in high-density and high-rise urban areas (A case study of Elahie neighborhood of Tehran). Environment, Volume 34, Issue 45, 63-72. (In Persian)
https://jes.ut.ac.ir/article_19331.html?lang=fa

Sun, Y., Yang, B., Wang, Y., Zheng, Z., Wang, J., Yue, Y., & Mu, W (2022). Carbon footprint analysis of straw collection, transportation, and storage system for power generation in China based on energy evaluation. Environmental Science and Pollution Research, 29(44), 66922-66934.
https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35508857/

Wackernagel, M (1994) Ecological Footprint and Appropriated Carrying Capacity: a tool for planning toward sustainability. The University of British Columbia.
https://open.library.ubc.ca/soa/cIRcle/collections/ubctheses/831/items/1.0088048

Wackernagel, M, Onisto, L.,Bello, P., Linares, A.C., Falfán, I.S.L., Garcıa, J.M., Guerrero, A.I.S.Guerrero, M.G.S (1999). National natural capital accounting with the ecological footprint concept. Ecol. Econ., 29 (3), 375-390.
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921800998900635

Wackernagel, M., Rees, W (1996). Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth, New Society Publishers, Gabriola Island, Canada.
https://escholarship.org/content/qt7730w81q/qt7730w81q.pdf?t=q9ns62

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://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301420721004992

Yang, Y., & Cai, Z (2020). Ecological security assessment of the Guanzhong Plain urban agglomeration based on an adapted ecological footprint model. Journal of Cleaner Production, 260, 120973.
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620310209

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, Vol 63, No 101428.
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301420719302132

Ziaei, M., Qadri, A. and Ahmadi, S (2016). Determination of carrying capacity and ecological footprint in nature tourism destinations (Case study: Zarivar Lake). Geography and Regional Urban Planning, Volume 7, Issue 25, 39-56. (In Persian).
https://gaij.usb.ac.ir/article_3476_417944cf40e08a189624fa31d9eef507.pdf

جغرافیا و توسعه

شاپا چاپی: ۰۷۳۵-۱۷۳۵ شاپا الکترونیکی: ۷۷۹۱-۲۶۷۶

https://gdij.usb.ac.ir

سنجش و مقایسهٔ ردپای بوم‌شناختی و ظرفیت زیستی شهرستان‌های استان مازندران

دکتر صدیقه لطفی[۱*]، توحید علیزاده[۲]

مقالهٔ پژوهشی

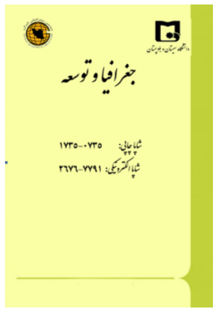
جغرافیا و توسعه، شمارهٔ ۷۶، پاییز ۱۴۰۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۱۹

تاریخ بازنگری داوری: ۱۴۰۲/۱۲/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۱۰

صفحات: ۳۲-۱



واژه‌های کلیدی:
ردپای بوم‌شناختی، ظرفیت‌زیستی، کمبود بوم‌شناختی، استان مازندران.

چکیده

در دهه‌های اخیر مشکلات محیط زیستی ناشی از فعالیت‌های انسانی، به‌عنوان یک چالش جدی برای توسعهٔ پایدار جهانی مطرح شده‌اند. یکی از مفاهیم کلیدی در این زمینه، ردپای بوم‌شناختی است که به‌میزان مصرف منابع طبیعی توسط جامعهٔ انسانی اشاره دارد و در مقایسه با مفهوم ظرفیت زیستی که نشان‌دهندهٔ توانایی زمین برای تأمین نیازهای انسانی و جذب پسماندها است، کمبود بوم‌شناختی منطقه را مورد ارزیابی قرار می‌دهد. پژوهش حاضر، به تحلیل تولیدات بیولوژیکی به‌منظور محاسبهٔ میزان بار و فشار وارده بر طبیعت در اثر بهره‌برداری انسان و میزان ظرفیت زیست‌کره جهت ارائهٔ زمین مورد نیاز برای جذب کربن، مصارف انرژی، حمل‌ونقل و... پرداخته است. در این پژوهش برای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از روش ردپای اکولوژیک با واحد اندازه‌گیری هکتار جهانی (gha) استفاده شده و کمبود بوم‌شناختی شهرستان‌های استان مازندران برآورد شده است. نتایج نشان می‌دهد سرانهٔ کمبود بوم‌شناختی کل استان در سال ۱۴۰۰، برای هر مازندرانی ۰/۴۹- درصد هکتار جهانی است. این مهَم بیانگر عدم تعادل میان فعالیت‌های اقتصادی و حفظ محیط زیست و همچنین مصرف بیش‌ازحدّ منابع طبیعی است. قائم‌شهر با بیشترین سرانهٔ کمبود بوم‌شناختی (۱/۰۳- هکتار جهانی) ناپایدارترین شهرستان و گلوگاه با بیشترین سرانهٔ مازاد بوم‌شناختی (۲/۵۴ هکتار جهانی) پایدارترین شهرستان استان هستند. پژوهش حاضر می‌تواند پایه‌ای برای تصمیم‌گیران و مسئولان جهت اتخاذ تدابیر مناسب و تصمیم‌گیری‌های آگاهانه برای حفظ محیط زیست باشد و توسعهٔ پایدار مناطق را ایجاد کند.

مقدمه

امروزه معضلات محیطزیستی ناشی از روند شهرنشینی، به یکی از چالش‌های جدی برای متخصصان این حوزه تبدیل شده‌است *(علیزاده و همکاران، ۱۳۹۷: ۷۸)*. در اواسط دههٔ ۱۹۸۰، ردپای بوم‌شناختی[۳] انسان بر روی زمین که بیانگر میزان استفادهٔ افراد از منابع مصرفی است، از ظرفیت کرهٔ زمین بیشتر شده‌است. ویلیام‌ریز[۴] و ماتیاس واکرناگل[۵] مفهوم «ردپای بوم‌شناختی» *(Rees, 1992; Rees and Wackernagel, 1994; Wackernagel and Rees, 1996)* را نخستین‌بار در دههٔ ۱۹۹۰ مطرح‌کرده و در کتاب «ردپای بوم‌شناختی ما: کاهش تأثیر انسان بر زمین» آن‌را توسعه داده‌اند *(ضیایی و همکاران، ۱۳۹۶: ۴۰)*.

این مفهوم، در دههٔ ۱۹۹۰ به‌عنوان ابزاری برای ردیابی نیازهای انسان در ظرفیت احیاکنندهٔ زیست‌کره و وابستگی انسان به اکوسیستم تعریف شد *(Rashid et al, 2017: 2)*. مفهوم ردپای بوم‌شناختی با تأکید بر محدودیت بهره‌برداری از منابع و سرمایه، به‌عنوان چارچوبی برای ارزیابی اثرات و برنامه‌ریزی پایدار بسط پیدا کرده

۱. استاد گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران (نویسنده مسئول) s.lotfi@umz.ac.ir

۲. دانشجوی دکتری گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران tohid.alizadeh70@gmail.com

3. Ecological footprint (EF)
4. William Ress
5. Mathias Wackernagel

است(*Ahmad et al, 2021: 14*). ردپای بوم‌شناختی مقدار زمین حاصلخیز بیولوژیک و آب مورد نیاز برای تولید انواع منابع مصرفی یک فرد را با جمعیت یا فعالیت و برای جذب زباله‌های تولیدی آن‌را با توجه به فنّاوری غالب و مدیریت منابع اندازه‌گیری می‌کنند (*Kitzes et al, 2007: 1*). درواقع، این مفهوم میزان بار و فشار وارده بر طبیعت را در اثر بهره‌برداری انسان می‌سنجد؛ ازاین‌رو، یکی از ابزارهای مؤثر، مهم و کارآمد در برنامه‌ریزی است (*Du et al, 2022: 79*). به‌عبارت‌دیگر، ردپای بوم‌شناختی می‌تواند به‌عنوان یک ابزار مؤثر برای توصیف فشارهای انسانی بر محیط‌زیست و منابع طبیعی مورد استفاده قرارگیرد (*Mir et al, 2022: 1*). با محاسبۀ ردپای بوم‌شناختی، می‌توان نقاط قوت و ضعف فعالیت‌های انسانی در حفظ محیط‌زیست را شناسایی کرده و برنامه‌ها و سیاست‌های بهینه‌تری برای حفظ منابع طبیعی و پیشبرد اهداف پایداری ارائه داد.

البته ارزیابی پایداری یک منطقه یا محدودۀ مطالعاتی، صرفاً با محاسبۀ ردپای بوم‌شناختی و بدون مقایسه از طریق شدت «کمبود بوم‌شناختی[۱]» یا «مازاد بوم‌شناختی[۲]» میسّر نمی‌شود. برای شناسایی کمبود یا مازاد بوم‌شناختی علاوه بر ردپای بوم‌شناختی، مفهوم دیگری به نام «ظرفیت زیستی[۳]» نیز باید مورد توجه و شناسایی قرارگیرد. ظرفیت زیستی منعکس‌کنندۀ تولید بیولوژیکی منطقه و نشان‌دهندۀ حداکثر سطح عرضۀ منابع است و در مقابل ردپای بوم‌شناختی قرار دارد (*Li et al, 2021: 20*). برآورد ظرفیت زیستی براساس مجموع اراضی مولد زیستی شامل: اراضی زراعی، مراتع، جنگل، ماهیگیری و اراضی ساخته‌شده انجام می‌شود. درواقع، ردپای بوم‌شناختی و ظرفیت زیستی نشان‌دهندۀ تقاضا و عرضه از اکوسیستم منطقه هستند. یکی از عناصر اساسی توسعۀ پایدار، این‌است که انسان‌ها در چهارچوب ظرفیت زیستی طبیعت زندگی کنند (*جمعه‌پور و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۹۱*). به این معنا که باید فعالیت‌ها و مصارف منابع طبیعی به‌گونه‌ای باشد که قابلیت‌های طبیعی منطقه را حفظ کرده و نسل‌های آینده را از تأثیرات نامطلوب بوم‌شناختی محافظت کند. در این راستا، مفهوم ظرفیت زیستی نقش مهمی در تعیین حدود پایداری منابع طبیعی و اکوسیستم‌ها ایفا می‌کند. اگر میزان مصرف منابع توسط انسان‌ها بیشتر از ظرفیت زیستی طبیعت باشد، به کمبود بوم‌شناختی دچار می‌شویم که می‌تواند منجر به تخریب و کاهش منابع طبیعی، کاهش تنوع زیستی و مشکلات محیط‌زیستی دیگر شود.

روند شهرنشینی شتابان در سطح کشور، تغییر الگوی مصرف جامعه، هجوم گستردۀ مهاجران از شهرها و روستاهای اطراف، پیامدهایی همچون: توسعۀ فیزیکی شهرها، تخریب و از بین رفتن منابع بوم‌شناختی و در نتیجه عدم تعادل و ناسازگاری میان انسان و طبیعت و به هم خوردن روابط اکوسیستم را به‌همراه خواهد داشت (*فرهادی و همکاران، ۱۳۹۷: ۲۴۳*). این در حالی است که استان مازندران به‌دلیل شرایط مساعد آب‌وهوایی و همچنین برخورداری از تنوع زیستی و مواهب طبیعی، علاوه بر مهاجرت‌های روستا به شهر و به تبع آن رشد و گسترش بی‌رویۀ شهرها در سال‌های اخیر، با ورود گستردۀ گردشگران و مهاجران غیربومی نیز مواجه بوده است که این امر، چالش‌های محیط‌زیستی متنوعی ازجمله: بهره‌برداری غیراصولی و بیش‌ازحد از منابع طبیعی و توسعۀ بی‌رویۀ سکونتگاه‌های انسانی را به‌همراه داشته‌است؛ ازاین‌رو، به‌منظور ایجاد توازن میان توسعۀ انسانی و حفظ محیط‌زیست، بررسی ردپای بوم‌شناختی و ظرفیت زیستی در استان مازندران اهمیت بالایی دارد و می‌تواند به مسئولین و تصمیم‌گیران منطقه، با ارائۀ اطلاعات دقیق و کاربردی، در تدوین سیاست‌ها و برنامه‌های محیط‌زیستی و حرکت به‌سوی توسعۀ پایدار کمک

1. Ecological deficit
2. Ecological deserve
3. Biocapacity

کند. همچنین، با مقایسهٔ ردپای بوم‌شناختی و ظرفیت زیستی بین شهرستان‌ها می‌توان الگوها و تفاوت‌ها را در مصرف منابع و مدیریت محیط‌زیست شناسایی و بهترین روش‌ها و راهکارها را برای ارتقای پایداری منابع معرّفی کرد؛ ازاین‌رو مقالهٔ حاضر، به‌منظور ارزیابی و مقایسهٔ ردپای بوم‌شناختی و ظرفیت زیستی بین شهرستان‌های استان مازندران انجام شده‌است. با توجه به افزایش سطح مصرف در سال‌های اخیر، مسألهٔ اصلی پژوهش حاضر این است کـه: ۱- ردپای بوم‌شناختی استان مازندران نسبت به ظرفیت زیستی آن در چه سطحی قرار دارد؟ ۲- ردپای بوم‌شناختی و ظرفیت زیستی هر یک از شهرستان‌های استان مازندران چگونه است؟ ۳- کدام‌یک از شهرستان‌ها به لحاظ کمبود یا مازاد بوم‌شناختی در شرایط بحرانی و کدام‌یک در شرایط مطلوب قرار دارند؟

در این راستا، محاسبهٔ ردپای بوم‌شناختی، ظرفیت زیستی و کمبود یا مازاد بوم‌شناختی جهت تجزیه‌وتحلیل وضعیت بوم‌شناختی استان مازندران و مقایسهٔ بین شهرستان‌های استان مازندران، از اهداف اساسی این مقاله به‌شمار می‌روند. محدودهٔ موردمطالعه در این مقاله شامل شهرستان‌های استان مازندران بر اساس آخرین تقسیمات سیاسی است.

پیشینه و ادبیات موضوع

مفهوم «ردپای بوم‌شناختی» در ابتدا توسط ریس (۱۹۹۲) معرفی شد. وی استدلال کرد که اقتصاد مدرن روابط خود را با بوم‌شناسی[۱] قطع کرده‌است و درنتیجه نگرانی‌های محیطی ضروری را نادیده می‌گیرد. به اعتقاد او، تمدن بشری به منابع طبیعی زمین بستگی دارد؛ بنابراین مقدار زمین لازم برای حفظ یک منطقه یا جمعیت خاص را به‌عنوان ردپای بوم‌شناختی تعریف می‌کند. اندکی بعد، واکرناگل (۱۹۹۴) این مفهوم را بیشتر پرورش داده و ابزاری برای محاسبهٔ ردپای بوم‌شناختی ایجاد می‌کند. به گفتهٔ وی، ردپای بوم‌شناختی یک جامعه یا فرد خاص، به‌دلیل جهانی‌شدن، فراتر از مرزهای محلی گسترش می‌یابد و حتّی خارج از مرزهای فیزیکی یا سیاسی را در بر می‌گیرد. این دامنهٔ گسترده برای ارزیابی ردپای بوم‌شناختی، ارزیابی پایداری یک فرد یا جامعه و راهبردهای بالقوه برای کاهش ردپا را ممکن می‌سازد. فرض اساسی روش محاسباتی واکرناگل این‌است که مصرف عمده و فعالیت‌های انسانی، نیازمند زمین یا آب مولد زیستی است *(Braun, 2021: 3)*.

در سال‌های اخیر مفهوم «ردپای بوم‌شناختی»، در مطالعات محیط‌زیستی به‌عنوان یک معیار مهم برای دستیابی به توسعهٔ پایدار جایگاه ویژه‌ای یافته‌است. از میان منابع خارجی مرتبط در سال‌های اخیر می‌توان به‌مواردی همچون وو و بای[۲] (۲۰۲۲)، اشاره کرد که مدل ردپای بوم‌شناختی را برای برآورد پایداری بوم‌شناختی در فرآیند شهرنشینی شهرهای مبتنی بر منابع چین، در مقیاس‌های مختلف مورد مطالعه قرار داده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که شهرهای مبتنی بر منابع، در هر دو مقیاس ملی و منطقه‌ای در وضعیت کمیابی منابع محیط‌زیستی قرار دارند. توسعهٔ شهری در این منطقه از ظرفیت بیولوژیکی محلی در طول فرآیند شهرنشینی از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۶ فراتر رفته‌است. یانگ و کای[۳] (۲۰۲۰)، امنیت محیط‌زیستی تجمّع شهری دشت گوانژونگ[۴] را براساس یک مدل ردپای بوم‌شناختی اقتباس‌شده، مورد مطالعه قرار داده‌اند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که بیشترین مقدار ردپای بوم‌شناختی به منابع آب اختصاص دارد؛ به‌همین ترتیب، براساس ردپای بوم‌شناختی، این منطقه به ۴/۷۶ برابر مساحت فعلی نیاز دارد تا

1. Ecology
2. Wu & Bai
3. Yang & Cai
4. Guanzhong

مصرف منابع خود را تأمین کند؛ بنابراین راهبردهایی مانند: بهبود سیستم مدیریت منابع آب، کنترل آلودگی هوا و تقویت پهنه‌بندی کاربری اراضی را پیشنهاد می‌دهند (*Mir et al, 2022: 2*).

رشید و همکاران[1] (۲۰۱۷)، ردپای بوم‌شناختی دو ناحیهٔ شهری راولپندی[2] یعنی شهر بحریه[3] و کلنی گلریز[4] را در پاکستان از منظر شهرنشینی مورد مطالعه قرار داده‌اند. نتایج حاصل از تجزیه‌وتحلیل اطلاعات به‌دست‌آمده از پرسش‌نامه نشان می‌دهد، ردپای بوم‌شناختی شهر بحریه ۸/۶ هکتار جهانی و کلنی گلریز ۶/۹ هکتار جهانی است که دارای ردپای بوم‌شناختی بالاتر از مقادیر استاندارد ملی هستند. مک‌دونالد و پترسون[5] (۲۰۰۴) ردپای بوم‌شناختی و وابستگی‌های متقابل ۱۶ منطقه در نیوزیلند را با استفاده از جدول داده‌ستانده، مورد مقایسه قرار داده‌اند. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که بیشترین ردپای بوم‌شناختی مربوط به آکلند[6] (نخستین شهر نیوزیلند) با ۲/۳۲ میلیون هکتار (۲۰ درصد از ردپای نیوزلند) است.

در ایران نیز مطالعات متنوعی پیرامون موضوع ردپای بوم‌شناختی ارائه شده است. فرهادی و همکاران (۱۴۰۰)، به ارزیابی ردپای بوم‌شناختی و ظرفیت زیستی اکوسیستم شهری در چهار منطقهٔ شهری همدان پرداختند. نتایج نشان داده که بخش مصرف شامل: مسکن، حمل‌ونقل، خدمات، کالا و غذا کمتر از ظرفیت زیستی شهر بوده است. کوزه‌گر کالجی و همکاران (۱۳۹۷)، با استفاده از روش‌های توصیفی- تحلیلی و کمّی به مطالعهٔ ردپای بوم‌شناختی به‌منظور سنجش پایداری شهرها برای ده منطقهٔ شهر تبریز پرداخته‌اند. ردپای بوم‌شناختی شهر تبریز، براساس داده‌های غذا، میزان دی‌اکسید کربن ناشی از حمل‌ونقل، گرمایش به‌دست‌آمده از گازهای طبیعی، آب، برق و مقدار زباله محاسبه شده است و درمجموع سرانهٔ ردپای بوم‌شناختی شهر ۳/۳ هکتار برای هر نفر گزارش شده است. جمعه‌پور و همکاران (۱۳۹۲)، با استفاده از روش توصیفی- تحلیلی به‌بررسی ردپای بوم‌شناختی و ظرفیت زیستی شهرستان رشت پرداخته‌اند. آن‌ها برای محاسبهٔ ردپای بوم‌شناختی، بخش‌های مصرفی را به چهار بخش اصلی شامل: حمل‌ونقل، مسکن، غذا و کالا، و خدمات تقسیم کردند. نتایج نشان می‌دهد که شهرستان رشت با ناپایداری بوم‌شناختی روبه‌رو است.

از میان مقالات و پژوهش‌هایی که به موضوع ردپای بوم‌شناختی در استان مازندران پرداخته‌اند نیز می‌توان به نظری و کلانتری (۱۴۰۱)، اشاره کرد که برای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها و سنجش پایداری مناطق شهری، با بهره‌گیری از روش توصیفی- تحلیلی و با استناد به داده‌های کتابخانه‌ای شاخص ردپای بوم‌شناختی و ظرفیت زیستی اکوسیستم شهری، منطقه شهری ساری را مورد بررسی قرار داده‌اند. ردپای بوم‌شناختی در بخش مصرف (شامل: ردپای بوم‌شناختی، مسکن، خدمات و حمل‌ونقل) در چهار منطقهٔ مختلف شهر ساری محاسبه شده است. نتایج نشان می‌دهد که مصرف ردپای بوم‌شناختی در منطقهٔ شهری ساری برابر ۰/۹۴ و ظرفیت زیستی این منطقه برابر ۰/۵۹ هکتار جهانی برای هر فرد است که کمبود بوم‌شناختی را نشان‌می‌دهد. دلیری و مهرگان (۱۳۹۵)، به‌منظور سنجش پایداری توسعه در استان‌های ایران، به محاسبهٔ ردپای بوم‌شناختی در بخش‌های مصرفی حمل‌ونقل، مسکن، غذا، کالا و خدمات و زیربخش‌های زمین کشاورزی، مرتع، جنگل و انرژی پرداخته‌اند. نتایج حاصل از تجمیع

1. Rashid et al
2. Rawalpindi
3. Bahria Town
4. Gulraiz Colony
5. McDonald & Patterson
6. Auckland

تمام بخش‌های ردپای بوم‌شناختی نشان‌می‌دهد که از میان ۳۱ استان کشور، استان مازندران با ردپای ۲/۱۰۶ هکتاری، رتبۀ ۱۶ را در اختیار داشته‌است. رضی (۱۳۹۴) نیز در مقاله‌ای با موضوع سنجش و تحلیل ردپای بوم‌شناختی به محاسبۀ ردپای بوم‌شناختی شهرستان‌های استان مازندران در مقایسه با مساحت هر شهرستان پرداخته‌است. نتایج نشان می‌دهد از میان ۱۹ شهرستان براساس مرز تقسیمات سیاسی سال ۱۳۹۰، ردپای بوم‌شناختی همۀ شهرستان‌های استان بجز دو شهرستان سوادکوه و نور بیش از وسعت آن‌ها است.

علی‌رغم تحقیقات فراوان و متنوع خارجی و داخلی پیرامون موضوع ردپای بوم‌شناختی، تاکنون در منابع بررسی‌شده، مقایسۀ همۀ شهرستان‌های یک استان در ارتباط با کمبود بوم‌شناختی حاصل از تفاضل ردپای بوم‌شناختی و ظرفیت زیستی، انجام نشده است. در پژوهش حاضر، مرز شهرستان‌ها، مطابق با آخرین تقسیمات سیاسی کشور تعیین شده است. همچنین به لحاظ نظری، علاوه بر محاسبۀ ردپای بوم‌شناختی برای همۀ شهرستان‌های استان مازندران، ظرفیت زیستی هر شهرستان نیز براساس انواع کاربری‌ها مورد محاسبه قرار گرفته است. برمبنای کمبود بوم‌شناختی به‌دست‌آمده، همۀ ۲۲ شهرستان استان مازندران با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفته‌اند.

مواد و روش‌ها

- معرّفی محدودۀ موردمطالعه

استان مازندران با وسعت ۲۳۷۵۶ کیلومترمربع به تفکیکِ همۀ ۲۲ شهرستان واقع در آن براساس آخرین تقسیمات سیاسی، به‌عنوان محدودۀ مورد مطالعه در پژوهش حاضر انتخاب شده است. این استان در نیمۀ شمالی کشور، بین ۳۵ درجه و ۴۶ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۵۸ دقیقه عرض شمالی از خط استوا و ۵۰ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۱۰ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد. حدّ شمالی آن دریای خزر، حدّ جنوبی آن استان‌های تهران و سمنان، حدّ غربی آن استان گیلان و حدّ شرقی آن استان گلستان است. ازنظر ناهمواری‌ها، استان مازندران به دو قسمت جلگه‌ای در شمال و کوهستانی در جنوب تقسیم شده و شیب ناهمواری‌های آن از غرب به شرق به‌موازات دریای خزر است (*سالنامه آماری مازندران، ۱۴۰۰*). بیشتر جمعیت استان در قسمت جلگه‌ای ساکن هستند. براساس آخرین سرشماری عمومی نفوس و مسکن در آبان ۱۳۹۵، جمعیت استان مازندران ۳۲۸۳۵۸۲ نفر با تعداد خانوار ۱۰۸۴۷۹۸ بوده است. همچنین مرکز آمار ایران، جمعیت کشور را برای سال ۱۴۰۰، به تفکیک شهرستان‌ها مورد برآورد قرار داده است که براساس مجموعِ جمعیتِ شهرستان‌های استان، جمعیت استان مازندران در سال ۱۴۰۰ به ۳۳۷۵۷۰۰ نفر رسیده است. شهرستان‌های بابل، ساری و آمل به‌ترتیب پرجمعیت‌ترین شهرستان‌ها به‌شمار می‌روند و شهرستان «سیمرغ» کم‌جمعیت‌ترین شهرستان استان است. قائم‌شهر پرتراکم‌ترین شهرستان با ۸/۲۷ نفر در هکتار و سوادکوه کم‌تراکم‌ترین شهرستان استان با ۰/۲۸ نفر در هکتار است. جدول شماره ۱، برای هر یک از شهرستان‌های استان مازندران، جمعیت سال ۱۳۹۵ و جمعیت برآورد شدۀ سال ۱۴۰۰، مساحت و تراکم جمعیتی براساس آخرین تقسیمات سیاسی (شکل شماره ۱) را نشان می‌دهد.

جدول ۱: جمعیت، مساحت و تراکم جمعیتی به تفکیک شهرستان‌های استان مازندران در سال ۱۴۰۰

عنوان	واحد اندازه‌گیری	استان	آمل	بابل	بابلسر	بهشهر	تنکابن	جویبار	چالوس	رامسر	ساری	سوادکوه	سوادکوه شمالی	سیمرغ	عباس‌آباد	فریدونکنار	قائم‌شهر	کلاردشت	گلوگاه	محمودآباد	میان‌دورود	نکا	نور	نوشهر
جمعیت ۱۳۹۵	نفر	۳۲۸۳۵۸۲	۴۰۱۶۳۹	۵۳۱۹۳۰	۱۳۵۱۹۱	۱۶۸۷۶۹	۱۶۶۱۳۲	۷۷۵۷۶	۱۱۶۵۴۲	۷۴۱۷۹	۵۰۴۲۹۸	۴۳۹۱۳	۲۴۸۳۴	۱۹۳۷۶	۵۲۸۳۲	۶۰۰۳۱	۳۰۹۱۹۹	۲۳۶۴۸	۴۰۰۷۸	۹۸۴۰۷	۵۵۰۵۳	۱۱۹۵۱۱	۱۲۱۵۳۱	۱۳۸۹۱۳
جمعیت ۱۴۰۰	نفر	۳۳۷۵۷۰۰	۴۱۷۲۰۰	۵۴۶۸۰۰	۱۴۱۴۰۰	۱۷۰۹۰۰	۱۷۱۲۰۰	۷۶۸۰۰	۱۲۱۰۰۰	۷۶۹۰۰	۵۲۴۲۰۰	۴۵۲۰۰	۲۵۴۰۰	۱۹۸۰۰	۵۴۳۰۰	۶۱۹۰۰	۳۰۸۲۰۰	۲۵۶۰۰	۳۹۴۰۰	۹۸۳۰۰	۵۵۹۰۰	۱۲۳۲۰۰	۱۲۸۲۰۰	۱۴۳۹۰۰
مساحت	هکتار	۱۱۷۷۱۰ .	۳۲۰۸۹۰	۱۵۱۵۵۰	۲۵۶۴۰	۱۴۷۲۶۰	۱۷۸۲۵۰	۲۸۹۸۰	۱۱۱۰۴۰	۷۳۱۲۰	۳۲۲۳۴۰	۱۶۱۹۵۰	۵۰۴۹۰	۹۳۶۰	۳۰۲۰۰	۱۰۶۵۰	۳۷۲۶۰	۴۵۶۷۰	۳۹۸۲۰	۲۶۵۳۰	۴۴۶۶۰	۱۲۸۹۱۰	۲۶۶۲۹۰	۱۶۶۲۴۰
تراکم جمعیتی	نفر در هکتار	۱٫۴۲	۱٫۳۰	۳٫۶۱	۵٫۵۱	۱٫۱۶	۰٫۹۶	۲٫۶۵	۱٫۰۹	۱٫۰۵	۱٫۶۳	۰٫۲۸	۰٫۵۰	۲٫۱۲	۱٫۸۰	۵٫۸۱	۸٫۲۷	۰٫۵۶	۰٫۹۹	۳٫۷۱	۱٫۲۵	۰٫۹۶	۰٫۴۸	۰٫۸۷

مأخذ: سالنامه آماری استان، ۱۴۰۰؛ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان مازندران، ۱۴۰۲

شکل ۱: موقعیت شهرستان‌های استان مازندران بر اساس تقسیمات سیاسی کشور

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۲

روش تحقیق

پژوهش حاضر، ازنظر هدف کاربردی و ازنظر شیوهٔ انجام توصیفی ـ تحلیلی است. گردآوری اطلاعات موردنیاز به‌صورت اسنادی- کتابخانه‌ای ازطریق بهره‌گیری از بانک‌های اطلاعاتی داخلی مانند: سالنامه‌ها، سرشماری‌ها و شاخص‌های آماری مرتبط و خارجی نظیر گزارش‌های شبکهٔ ردپای جهانی[1] و همچنین به‌صورت پیمایش میدانی از طریق مراجعه به سازمان‌ها و ادارات مربوطه جهت دریافت اطلاعات به‌روز برای محدودهٔ مورد مطالعه انجام شده

1. Global Footprint Network (GFN)

است. بر این اساس، پژوهش حاضر منابع داده‌ای مانند مصارف انرژی، حمل‌ونقل، پسماند و ضایعات مصرف، اراضی ساخته‌شده و تولیدات بیولوژیکی را برای محاسبهٔ ردپای بوم‌شناختی و ظرفیت زیستی، مورد تجزیه‌وتحلیل قرار داده است. داده‌های مورد نیاز با مراجعهٔ حضوری به سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان و همچنین سالنامهٔ آماری سال ۱۴۰۰ استان مازندران تهیه شده است. در بخش حمل‌ونقل نیز به‌روزترین داده‌ها به تفکیک شهرستان‌ها تا سال ۱۳۹۷ منتشر و از سالنامهٔ آماری مربوطه استخراج شده است؛ همچنین مساحت اراضی ساخته‌شدهٔ استان مازندران به تفکیک شهرستان‌ها ازطریق تلفیق فنون سنجش‌ازدور و سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی (GIS) به‌دست آمده است. جدول شمارهٔ ۲، منابع داده‌های به‌کار گرفته‌شده جهت محاسبهٔ کمبود بوم‌شناختی در محدودهٔ مورد مطالعه را نشان‌می‌دهد.

جدول ۲: منابع داده‌های به‌کار گرفته‌شده در محدودهٔ مورد مطالعه

تعادل محیط‌زیستی	عرصه‌های داده	داده‌های موردنیاز	سال مورد بررسی	مراجع تهیهٔ داده
ردپای بوم‌شناختی	مصارف انرژی	مصرف آب	۱۴۰۰	(سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان مازندران، ۱۴۰۲)
		مصرف برق	۱۴۰۰	(سالنامهٔ آماری مازندران، ۱۴۰۰)
		مصرف گاز طبیعی	۱۴۰۰	(سالنامهٔ آماری مازندران، ۱۴۰۰)
	حمل‌ونقل	مصرف بنزین	۱۳۹۷*	(سالنامهٔ آماری مازندران، ۱۳۹۷)
		مصرف گازوئیل		
	اراضی ساخته‌شده	کل اراضی با پوشش ساختمانی و بتنی	۱۳۹۹**	فنون سنجش‌ازدور و GIS
	پسماند و ضایعات مصرف	پسماند شهری	۱۴۰۰	(سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان مازندران، ۱۴۰۲)
ظرفیت زیستی	تولیدات بیولوژیکی	جنگل‌ها و مراتع	۱۴۰۰	(سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان مازندران، ۱۴۰۲)
		اراضی باغی و زراعی		
		شیلات و ماهیگیری		
		اراضی ساخته شده	۱۳۹۹**	فنون سنجش‌ازدور و GIS

** داده‌های حجم مصرف بنزین و گازوئیل تا سال ۱۳۹۷ موجود است و از آن‌پس، داده‌های مذکور توسط مراجع ذی‌ربط ارائه نشده است.*

*** کل سطوح ساخته شدهٔ استان مازندران با استفاده از تصاویر لایه‌های سکونت‌گاهی انسانی جهانی[1] در پلتفرم گوگل ارث انجین[2] به‌دست آمده است. است. با توجه به این‌که این تصاویر با فاصله ۵ سال محاسبه و ارائه شده، از تصویر سال ۲۰۲۰ م. (۱۳۹۹ ه. ش.) استفاده شده است.*

شبکهٔ ردپای جهانی که متشکل از یک گروه تخصصی شامل: دانشمندان، اساتید، دولت‌ها، شرکت‌ها و سازمان‌های غیردولتی است توصیه می‌کند که هکتارهای جهانی،[3] برای اندازه‌گیری ردپای بوم‌شناختی و ظرفیت زیستی، مورد استفاده قرار گیرد. هر هکتار جهانی نسبت یکسانی از کل تولید زیستی جهان را مشخص می‌کند و به‌عنوان یک هکتار با میانگین جهانی تولید برای همه نوع زمین تعریف می‌شود. تولید بوم‌شناختی هکتارهای جهانی با تقسیم کل تولید بوم‌شناختی جهان بر مساحت کل زیستی موجود محاسبه می‌شود. این‌کار منجر به تولید میانگین در هر هکتار می‌گردد و با یک هکتار جهانی برابر است. به‌این‌ترتیب هر هکتار جهانی می‌تواند به‌عنوان یک هکتار میانگین برای انوع مختلف زمین درنظر گرفته‌شود. هکتارهای جهانی به‌ویژه برای رتبه‌بندی محصولات مختلف براساس

1. The Global Human Settlement Layer (GHSL)
2. Google Earth Engine (GEE)
3. Global hectares (gha)

تقاضای بوم‌شناختی کلی و مقایسهٔ تقاضاهای بوم‌شناختی مرتبط با محصولاتی از انواع مختلف زمین مانند گندم و چوب بسیار مناسب است *(Galli et al, 2007:251)*. برآورد ردپای بوم‌شناختی برای یک جمعیت مشترک، فرآیندی چندمرحله‌ای است. بر اساس روش کلی که توسط واکرناگل و ریز ابداع شده است، محاسبهٔ شاخص ردپای بوم‌شناختی شامل مراحل زیر می‌شود *(Wackernagel & Rees, 1996: 65)*:

- تخمین سرانهٔ مصرف سالانهٔ مواد مصرفی اصلی براساس مجموع داده‌های مناطق و تقسیم میزان مصرف کل به تعداد افراد جمعیت.
- تخمین زمین اختصاص داده‌شده به هر نفر برای تولید هر مورد مصرفی از طریق تقسیم متوسط مصرف سالانهٔ هر مورد بر متوسط سالانهٔ تولید یا بازده زمین.
- محاسبهٔ میانگین ردپای بوم‌شناختی هر نفر از طریق جمع‌کردن تمام مناطق اختصاص داده‌شده به هر بخش که در یک سال توسط یک فرد مصرف شده است.
- محاسبهٔ ردپای بوم‌شناختی برای جمعیّت منطقهٔ موردنظر که با ضرب متوسط ردپای هر نفر در اندازهٔ جمعیت به‌دست می‌آید.

در این پژوهش، برای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از روش ردپای اکولوژیک که خود مدلی کمّی است، استفاده شده است. به این منظور، داده‌های به‌دست‌آمده برای همهٔ عرصه‌ها و همهٔ شهرستان‌ها در نرم‌افزار اکسل[1] وارد شده و مورد تجزیه‌وتحلیل قرارگرفته است. به‌منظور محاسبهٔ ردپای بوم‌شناختی براساس میزان مصرف منابع طبیعی توسط انسان‌ها و تأثیرات پسماندهای تولیدشده توسط آن‌ها با واحد اندازه‌گیری هکتار جهانی، منابع دادهٔ ذکرشده به تفکیک داده‌های هر شهرستان با استفاده از رابطهٔ شماره ۱، مورد ارزیابی قرارگرفته است.

رابطهٔ ۱: $EF_{Total} = EF_a + EF_b + \ldots + EF_n$ $\qquad$ $EF = \frac{P}{Y_N} \times YF \times EQF$

که P: میزان محصول به‌دست آمده یا پسماند به‌جامانده؛ Y_N: متوسط بازده ملّی برای تولید محصول؛ YF: فاکتور عملکرد[2] و EQF: فاکتور معادل[3] هستند. فاکتور عملکرد و فاکتور معادل برای تبدیل هکتارهای واقعی موجود در کشور به هکتار جهانی استفاده می‌شوند *(Galli et al, 2007:253)*. با جمع ردپای همهٔ عرصه‌های مصرف، ردپای بوم‌شناختی کل (EF_{Total}) محاسبه می‌شود.

ظرفیت زیستی نیز نشان‌دهندهٔ توانایی زمین برای تأمین نیازهای انسانی و جذب پسماندها است. به‌منظور محاسبهٔ ظرفیت زیستی تولیدات بیولوژیکی برای هریک از منابع دادهٔ یادشده به تفکیک شهرستان، از رابطهٔ شماره ۲ استفاده شده است.

رابطهٔ ۲: $BC = A \times YF \times EQF$

1. Microsoft Excel
2. Yield Factor
3. Equivalence Factor

که A: نشان‌دهندهٔ سطح تخمینی تولید زیستی است که برای تولید هر محصول در دسترس است.؛ YF: فاکتور عملکرد برای کشور و EQF: فاکتور معادل برای کشور هستند. با جمع ظرفیت زیستی همهٔ عرصه‌های تولید زیستی، ظرفیت زیستی کل هر شهرستان محاسبه می‌شود.

کمبود اکولوژیکی یک منطقه، تفاوت بین ظرفیت زیستی و ردپای بوم‌شناختی و نشان‌دهندهٔ فعالیت‌های تولیدی و مصرفی منطقه در سیستم بوم‌شناختی است و بررسی می‌کند که این فعالیت‌ها، در حدّ ظرفیت زیستی منطقه باشد *(فرهادی و همکاران، ۱۳۹۷: ۲۴۷)*.

رابطهٔ ۳:
$$ED = BC - EF$$

فاکتور عملکرد و فاکتور معادل نیز براساس آخرین محاسبات شبکه ردپای جهانی برای کشور جمهوری اسلامی ایران در سال ۲۰۲۲ در جدول شماره ۳ ارائه شده است.

جدول ۳: فاکتور عملکرد (YF) و فاکتور معادل (EQF) برای کشور جمهوری اسلامی ایران در سال ۲۰۲۲

نوع کاربری	EQF	نوع کاربری	YF
زمین زراعی	۲,۵	زمین زراعی	۰,۶۹
زمین جنگلی	۱,۲۶	مرتع	۰,۴۱
مرتع	۰,۴۵	زمین‌های ماهیگیری دریایی	۲,۶۸
زمین‌های ماهیگیری دریایی	۰,۳۶	زمین‌های ماهیگیری داخلی	۱,۰۰
زمین ساخته‌شده	۲,۵	زمین جنگلی	۰,۳۵
زمین‌های ماهیگیری داخلی	۰,۳۶	زمین ساخته شده	۰,۶۹
کربن	۱,۲۶		

مأخذ: *Global Footprint Network, 2023*

همچنین لازم به ذکر است، به‌منظور محاسبهٔ مساحت اراضی ساخته شده، از تصویر لایه‌های اسکان بشر جهانی بهره گرفته شده است که با استفاده از داده‌های مختلف، نواحی ساخته‌شده[1] را از سال ۱۹۷۵ م. در فواصل ۵ ساله با رزولوشن ۱۰۰ متر در پلتفرم گوگل‌ارث‌انجین ارائه داده‌است. در مقالهٔ حاضر، از تصویر سال ۲۰۲۰ م. (۱۳۹۹ ه.ش.) استفاده شده‌است. تجزیه‌وتحلیل این داده‌ها به‌منظور محاسبهٔ مساحت اراضی ساخته‌شده به‌تفکیک شهرستان‌ها در نرم‌افزار ArcGIS10.8 انجام شده است. به‌منظور بهبود نتایج و تدقیق بیشتر، با استفاده از پایگاه داده‌های مکانی (GIS) برنامهٔ آمایش استان مازندران، داده‌های شهرها و روستاها نیز با تصاویر ماهواره‌ای و از طریق همپوشانی تلفیق شده و درنهایت مساحت‌ها به‌منظور محاسبهٔ ردپای اکولوژیک در نرم‌افزار اکسل وارد شدند.

یافته‌های تحلیل

یافته‌های تحلیل را می‌توان در سه بخش: ردپای بوم‌شناختی، ظرفیت زیستی و کمبود بوم‌شناختی دسته‌بندی نمود:

1. Built areas

- ردپای بوم‌شناختی

نتایج و یافته‌های تحلیل ردپای بوم‌شناختی مصارف انرژی، حمل‌ونقل، پسماند، اراضی ساخته‌شده و درنهایت کل ردپای بوم‌شناختی استان مازندران به تفکیک شهرستان‌ها به‌ترتیب زیر قابل ارائه است:

- آب

با توجه به میزان مصرف آب در سال ۱۴۰۰ (۲۴۸،۴۷۸/۸۰۸ هزار مترمکعب) و این‌که برای هر ۰/۰۸ هکتار زمین یک میلیون لیتر آب مورد نیاز است *(صمدپور و فریادی، ۱۳۸۷: ۶۶ ؛ نظری و کلانتری، ۱۴۰۱: ۲۱)*، مطابق رابطهٔ شمارهٔ ۴، ردپای بوم‌شناختی مصرف آب کل استان ۲۵،۰۴۷ هکتار جهانی و به ازای هر نفر در سال ۱۴۰۰ برابر با ۰/۰۰۷۴ هکتار محاسبه شده است. بیشترین سرانهٔ ردپای بوم‌شناختی مصرف آب به شهرستان عباس‌آباد با ۰/۰۱۰۳ هکتار جهانی و کمترین آن به شهرستان بابل با ۰/۰۰۶۲ هکتار جهانی اختصاص دارد (جدول شماره ۴). ردپای بوم‌شناختی با استفاده از رابطهٔ شماره ۴ محاسبه شده است.

رابطهٔ ۴:

$$A_{water}\ (\text{litre}) \times 0.08\ (\text{hectare}) \div 1000000 = HA_{water}$$

$$EF_{water} = HA_{water} \times EQF$$

HA_{water}: هکتار سالانه مصرف آب، A_{water}: کل مصرف آب، EQF: فاکتور معادل (برای آب برابر با فاکتور معادل زمین‌های جنگلی است). EF_{water}: ردپای بوم‌شناختی آب هستند.

جدول ۴: ردپای بوم‌شناختی آب

عنوان	اندازه‌گیر	استان	آمل	بابل	بابلسر	بهشهر	تنکابن	جویبار	چالوس	رامسر	ساری	سوادکوه	سوادکوه شمالی	سیمرغ	عباس‌آباد	فریدونکنار	قائم‌شهر	کلاردشت	گلوگاه	محمودآباد	میان‌دورود	نکا	نور	نوشهر
مصرف آب	هزار مترمکعب	۲۴۸۴۷۸,۸	۳۳۳۹۰	۳۳۶۳۳.۷	۱۲۳۲۱.۲	۱۲۴۵۴	۱۲۳۴۴.۸	۵۷۳۲.۳	۹۱۴۹	۷۷۲۲.۶	۳۷۴۱۷.۲	۳۰۹۱.۵	۱۹۰۸.۴	۱۴۲۱.۴	۵۵۴۸.۴	۵۱۲۳.۳	۲۱۱۵۵.۵	۲۲۸۳	۲۷۴۴.۷	۹۴۰۶.۳	۳۴۷۱.۷	۸۳۴۰.۶	۱۰۷۴۷.۱	۹۰۷۳.۲
EF کل	gha	۲۵۰۴۶,۷	۳۳۶۵,۷	۳۳۹۰,۳	۱۲۴۲,۰	۱۲۵۵,۴	۱۲۴۴,۴	۵۷۷,۸	۹۲۲,۲	۷۷۸,۴	۳۷۷۱,۷	۳۱۱,۶	۱۹۲,۴	۱۴۳,۳	۵۵۹,۳	۵۱۶,۳	۲۱۳۳,۵	۲۳۰,۱	۲۷۶,۷	۹۴۸,۲	۳۵۰,۰	۸۴۰,۷	۱۰۸۳,۳	۹۱۴,۶
سرانه EF	gha	۰,۰۰۷۴	۰,۰۰۸۱	۰,۰۰۶۲	۰,۰۰۸۸	۰,۰۰۷۳	۰,۰۰۷۳	۰,۰۰۷۵	۰,۰۰۷۶	۰,۰۱۰۱	۰,۰۰۷۲	۰,۰۰۶۹	۰,۰۰۷۶	۰,۰۰۷۲	۰,۰۱۰۳	۰,۰۰۸۳	۰,۰۰۶۹	۰,۰۰۹۰	۰,۰۰۷۰	۰,۰۰۹۶	۰,۰۰۶۳	۰,۰۰۶۸	۰,۰۰۸۵	۰,۰۰۶۴

مأخذ: تحلیل نگارندگان بر اساس داده‌های سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان مازندران، ۱۴۰۲

- برق

براساس اطلاعات دریافت شده از سالنامهٔ آماری استان مازندران (۱۴۰۰)، کل مصرف برق استان در سال ۱۴۰۰ برابر با ۹،۳۳۳،۰۵۲،۱۴۸ کیلووات ساعت بوده است. گیاهـان، حـدود ۳۱,۴ درصد بازدهی تولید زغال‌سنگ را دارند و زغال‌سنگ حاوی ۸۵ درصد کربن است *(Mir et al,2022: 3)*. با توجه به جذب حدود ۱/۸ تن کربن در هر هکتار *(حبیبی و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۰۹)* و فاکتور معادل، مطابق رابطهٔ شماره ۵، میزان ردپای بوم‌شناختی مصرف برق کل استان ۳،۱۸۳،۳۴۳ هکتار جهانی و سرانهٔ آن برای هر ساکن حدود ۰/۹۴ هکتار جهانی است. بیشترین و کمترین سرانهٔ ردپای بوم‌شناختی مصرف برق به‌ترتیب به شهرستان‌های سوادکوه شمالی و ساری اختصاص دارد (جدول شماره ۵).

رابطهٔ ۵:

$$1\ (kwh) = 1 \times (1000w) \times (3600s) = 3.6 \times 10^6\ (ws) = 3.6 \times 10^6 j$$

$$A_{electricity}\ (kwh) \times 3.6 \times 10^6\ (j) = X_1\ (kj) \qquad X_1\ (kj) \times 1\ (germ) \div 20\ (kj) = X_2\ (germ)$$

$$X_2\ germ \div 0.314 = X_3\ (germ) \qquad X_3\ germ \times 0.85 = X_4\ (tone\ carbon)$$

$$X_4\ (tone\ carbon) \div 1.8 = HA_{electricity} (hectare) \qquad HA_{electricity} \times EQF = EF_{electricity}\ (gha)$$

$A_{electricity}$: کل مصرف برق، $HA_{electricity}$: هکتار سالانه مصرف برق و EQF: فاکتور معادل (برای برق برابر با فاکتور معادل زمین‌های جنگلی است).

جدول ۵ : ردپای بوم‌شناختی برق

عنوان	اندازه‌گیر	استان	آمل	بابل	بابلسر	بهشهر	تنکابن	جویبار	چالوس	رامسر	ساری	سوادکوه	سوادکوه شمالی	سیمرغ	عباس‌آباد	فریدونکنار	قائم‌شهر	کلاردشت	گلوگاه	محمودآباد	میاندورود	نکا	نور	نوشهر
میزان کل مصرف برق	میلیون کیلووات ساعت	۹۳۳۳,۱	۱۳۰۰,۱	۱۲۸۲,۴	۴۳۳,۰	۴۳۰,۶	۴۳۲,۱	۲۴۷,۵	۳۳۲,۳	۲۱۵,۸	۱۲۲۷,۰	۱۴۹,۹	۱۲۱,۱	۶۴,۹	۲۳۳,۶	۱۵۲,۹	۷۷۲,۰	۶۳,۴	۱۰۸,۰	۳۹۷,۰	۲۰۸,۱	۳۰۱,۶	۴۲۲,۵	۴۳۷,۲
EF کل	gha	۳۱۸۳۳۴۳,۶	۴۴۳۴۲۶,۴	۴۳۷۳۹۷,۸	۱۴۷۶۹۳,۳	۱۴۶۸۵۹,۳	۱۴۷۳۹۶,۰	۸۴۴۱۸,۷	۱۱۳۳۴۹,۵	۷۳۵۹۱,۳	۴۱۸۴۹۶,۳	۵۱۱۳۹,۲	۴۱۲۹۴,۶	۲۲۱۴۸,۹	۷۹۶۷۷,۱	۵۲۱۵۵,۳	۲۶۳۳۲۰,۷	۲۱۶۲۱,۱	۳۶۸۴۲,۴	۱۳۵۳۹۷,۵	۷۰۹۷۹,۳	۱۰۲۸۷۹,۸	۱۴۴۱۲۱,۸	۱۴۹۱۳۸,۲
EF سرانه	gha	۰,۹۴	۱,۰۶	۰,۸۰	۱,۰۴	۰,۸۶	۰,۸۶	۱,۱۰	۰,۹۴	۰,۹۶	۰,۸۰	۱,۱۳	۱,۶۳	۱,۱۲	۱,۴۷	۰,۸۴	۰,۸۵	۰,۸۴	۰,۹۴	۱,۳۸	۱,۲۷	۰,۸۴	۱,۱۲	۱,۰۴

مأخذ: تحلیل نگارندگان بر اساس داده‌های سالنامه آماری مازندران، ۱۴۰۰

- گاز

کل مصرف گاز استان مازندران در سال ۱۴۰۰ برابر با ۸۰۲۹,۹ میلیون مترمکعب بوده است *(سالنامه آماری مازندران، ۱۴۰۰)* که سرانهٔ آن برای هر نفر ۲۳۷۸,۷ محاسبه شده. از آن‌جا که مقدار متان موجود در هر فوت مکعب ۳۲ درصد است و ۷۵ درصد از متان کربن می‌باشد، مقدار کربن موجود در هر فوت مکعب برابر با ۲۴ درصد است.

نظر به این‌که هر یک‌متر مکعب برابر با ۳۵/۳۱۴ فوت مکعب است، با ضرب میزان مصرف گاز (مترمکعب) در ۰/۲۴ و ۳۵/۳۱۴ و تقسیم حاصل آن بر ۱/۸ (براساس قانون یک هکتار زمین به‌ازای ۱/۸ تن کربن)، مقدار هکتار مصرف سالانهٔ گاز محاسبه شده است. با ضرب ارقام به‌دست آمده در فاکتور معادل که برای گاز برابر با فاکتور معادل زمین جنگلی است، ردپای بوم‌شناختی گاز محاسبه شده‌است *(اسماعیل‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵: ۴۲؛ کوزه‌گر کالجی و همکاران، ۱۳۹۷: ۳۶ ؛ نظری و کلانتری، ۱۴۰۱: ۲۲)*. سرانهٔ ردپای بوم‌شناختی مصرف گاز استان ۰/۰۱۴ هکتار جهانی و کل ردپای بوم‌شناختی مصرف گاز استان ۴۷،۶۳۹ هکتار جهانی است. شهرستان نکا به‌دلیل وجود نیروگاه بیشترین ردپای مصرف گاز استان را در اختیار دارد (جدول شماره ۶).

جدول ۶: ردپای بوم‌شناختی گاز

عنوان	واحد اندازه‌گیری	استان	آمل	بابل	بابلسر	بهشهر	تنکابن	جویبار	چالوس	رامسر	ساری	سوادکوه	سوادکوه شمالی	سیمرغ	عباس‌آباد	فریدونکنار	قائم‌شهر	کلاردشت	گلوگاه	محمودآباد	میان‌دورود	نکا	نور	نوشهر
مصوف گاز	مترمکعب	۸۰۱۱۲۹۰۰۰۰	۷۱۲۴۰۰۰۰۰	۷۹۸۱۰۰۰۰۰	۲۹۹۶۰۰۰۰۰	۳۲۴۳۰۰۰۰۰	۳۸۴۰۰۰۰۰۰	۱۵۶۵۰۰۰۰۰	۱۹۶۵۰۰۰۰۰	۱۳۵۸۰۰۰۰۰	۹۲۴۰۰۰۰۰۰	۶۷۳۰۰۰۰۰	۷۶۳۰۰۰۰۰	۳۱۷۰۰۰۰۰	۱۸۸۷۰۰۰۰۰	۹۷۱۰۰۰۰۰	۴۹۰۷۰۰۰۰۰	۸۳۳۰۰۰۰۰	۱۱۵۲۰۰۰۰۰	۲۴۲۷۰۰۰۰۰	۱۳۹۶۰۰۰۰۰	۱۶۱۱۹۰۰۰۰۰	۳۰۳۱۰۰۰۰۰	۶۴۲۳۰۰۰۰۰
سرانه مصرف گاز	مترمکعب	۲۳۷۸.۷	۱۷۰۷.۶	۱۴۵۹.۶	۲۱۱۸.۸	۱۸۹۷.۶	۲۲۴۳	۲۰۳۷.۸	۱۶۲۴	۱۷۶۵.۹	۱۷۶۲.۷	۱۴۸۸.۹	۳۰۰۰	۱۶۰۱	۳۴۷۵.۱	۱۵۶۸.۷	۱۵۹۲.۱	۳۲۱۴.۸	۲۹۲۳.۹	۲۴۶۹	۲۴۹۷.۳	۱۳۱۶۵	۲۳۶۴.۳	۴۴۶۳.۵
سرانه EF	gha	۰.۰۱۴	۰.۰۱	۰.۰۰۹	۰.۰۱۳	۰.۰۱۱	۰.۰۱۳	۰.۰۱۲	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۰۹	۰.۰۱۸	۰.۰۰۹	۰.۰۲۱	۰.۰۰۹	۰.۰۰۹	۰.۰۱۹	۰.۰۱۷	۰.۰۱۵	۰.۰۱۵	۰.۰۷۸	۰.۰۱۴	۰.۰۲۶
کل EF	gha	۴۷۶۳۹	۴۲۲۶.۵	۴۷۳۴.۹	۱۷۷۷.۵	۱۹۲۴	۲۲۷۸.۲	۹۲۸.۵	۱۱۶۵.۸	۸۰۵.۷	۵۴۸۱.۹	۳۹۹.۳	۴۵۲.۱	۱۸۸.۱	۱۱۱۹.۵	۵۷۶.۱	۲۹۱۱.۲	۴۸۸.۳	۶۸۳.۵	۱۴۳۹.۹	۸۲۸.۲	۹۶۲۲.۳	۱۷۹۸.۲	۳۸۱۰.۶

مأخذ: تحلیل نگارندگان بر اساس داده‌های سالنامه آماری مازندران، ۱۴۰۰

- بنزین و گازوئیل

در محاسبات ردپای بوم‌شناختی حمل‌ونقل، بنزین و گازوئیل سوخت اصلی وسایل نقلیه محسوب می‌شوند. آمار مصرف سالانهٔ سوخت از سوی شرکت ملی پخش و فرآورده‌های نفتی ایران برای استان مازندران تا سال ۱۳۹۷ به تفکیک هر شهرستان ارائه شده و کلّ مصرف بنزین برای استان مازندران ۱،۱۹۵،۳۲۸ متر مکعب و کل مصرف گازوئیل ۶۱۱،۶۱۱ متر مکعب گزارش شده‌است (سالنامهٔ آماری مازندران، ۱۳۹۷). مطابق رابطهٔ ۷، میزان سرانهٔ ردپای بوم‌شناختی بنزین و گازوئیل استان به‌ترتیب ۰/۱۶ و ۰/۰۹ هکتار جهانی محاسبه شده و شهرستان سوادکوه بیشترین سرانهٔ ردپای بوم‌شناختی مصرف بنزین (۰/۲۷) و گازوئیل (۰/۶۳) را به خود اختصاص داده است. کمترین

سرانهٔ ردپای بوم‌شناختی بنزین به شهرستان تنکابن و گازوئیل به شهرستان عباس‌آباد اختصاص دارد (جدول شماره ۷ و ۸).

رابطهٔ ۷ :

$$A_{Gasoline/Diesel}(\text{litre}) \div 3.7853 = N_{Gallon}$$
$$N_{Gallon} \times BTU/Gallon_{Gasoline/Diesel} = BTU_{Gasoline/Diesel}$$
$$BTU_{Gasoline/Diesel} \times Carbon/BTU_{Gasoline/Diesel}\,(\text{tons carbon/billion BTU}) = Carbon\,(\text{tons carbon})$$
$$Carbon \div 1.8 = HA_{\ Gasoline/Diesel}(\text{hectare})$$
$$HA_{\ Gasoline/Diesel} \times EQF = EF_{Gasoline/Diesel}\,(\text{gha})$$

$A_{Gasoline/Diesel}$: مصرف کل سوخت، N_{Gallon} : تعداد گالن مصرفی، $BTU/Gallon_{Gasoline/Diesel}$: میزان BTU تولید شده به‌ازای هر گالن، $BTU_{Gasoline/Diesel}$: میزان BTU محاسبه شده، $Carbon/BTU_{Gasoline/Diesel}$: میزان کربن آزاد شده در هر میلیارد BTU، Carbon: میزان کربن محاسبه شده، $HA_{Gasoline/Diesel}$: هکتار سالانهٔ مصرف سوخت (با احتساب یک هکتار زمین به ازای ۱/۸ تن کربن)، EQF: فاکتور معادل (که برای سوخت برابر با فاکتور معادل زمین جنگلی است) و $EF_{Gasoline/Diesel}$: ردپای بوم‌شناختی سوخت. مقدار BTU تولیدشده برای بنزین بدون سرب در هر گالن ۱۲۵۰۰۰ BTU است که معادل ۱۹/۳۵ تن کربن آزادشده در هر میلیارد BTU است. به‌همین ترتیب، سوخت دیزل ۱۳۸۷۰۰ BTU در هر گالن است که برابر با ۱۹/۹۵ تن کربن آزادشده در هر میلیارد BTU است *(کوزه‌گر کالجی و همکاران، ۱۳۹۷: ۳۵؛ نظری و کلانتری، ۱۴۰۱: ۲۲ ; Mir et al, 2022: 6)*.

جدول ۷: ردپای بوم‌شناختی بنزین

عنوان	مصرف بنزین	کربن	EF کل	سرانه EF
واحد اندازه‌گیری	مترمکعب ۱۳۹۷	تن کربن	۵۳۴۶۵۸,۱	۰,۱۶
استان	۱۱۹۵۳۲۸,۹	۷۶۳۷۹۷,۲۶	۱۰۱۳۵۱,۸	۰,۲۴
آمل	۲۲۶۵۹۱	۱۴۴۷۸۸,۲۵	۹۲۹۱۹,۵	۰,۱۷
بابل	۲۰۷۷۳۹	۱۳۲۷۴۲,۱۱	۴۲۱۹۹,۵	۰,۳۰
بابلسر	۹۴۳۴۵	۶۰۲۸۵,۰۴	۲۶۲۰۶,۷	۰,۱۵
بهشهر	۵۸۵۹۰	۳۷۴۳۸,۱۳	۴۳,۷	۰,۰۰۰۳
تنکابن	۹۷,۶	۶۲,۳۶	۱۷۲۲۰,۶	۰,۲۲
جویبار	۳۸۵۰۰	۲۴۶۰۰,۹۲	۳۷,۰	۰,۰۰۰۳
چالوس	۸۲,۷	۵۲,۸۴	۳۱,۲	۰,۰۰۰۴
رامسر	۶۹,۸	۴۴,۶۰	۱۰۵۹۶۵,۶	۰,۲۰
ساری	۲۳۶۹۰۶	۱۵۱۳۷۹,۳۹	۱۴۱۷۰,۶	۰,۳۱
سوادکوه	۳۱۶۸۱	۲۰۲۴۳,۶۸	۳۲۲۱,۸	۰,۱۳
سوادکوه شمالی	۷۲۰۳	۴۶۰۲,۶۱	۵۳۶۷,۵	۰,۲۷
سیمرغ	۱۲۰۰۰	۷۶۶۷,۸۲	۲۴,۴	۰,۰۰۰۴
عباس‌آباد	۵۴,۵	۳۴,۸۲	۷۷۴۷,۵	۰,۱۳
فریدونکنار	۱۷۳۲۱	۱۱۰۶۷,۸۶	۷۴۷۵۶,۴	۰,۲۴
قائم‌شهر	۱۶۷۱۳۲	۱۰۶۷۹۴,۸۴	۷,۱	۰,۰۰۰۳
کلاردشت	۱۵,۸	۱۰,۱۰	۹۷۳۳,۹	۰,۲۵
گلوگاه	۲۱۷۶۲	۱۳۹۰۵,۵۹	۳۸,۹	۰,۰۰۰۴
محمودآباد	۸۷	۵۵,۵۹	۱۵۵۷۷,۳	۰,۲۸
میان‌دورود	۳۴۸۲۶	۲۲۲۵۳,۲۹	۱۷۹۵۳,۳	۰,۱۵
نکا	۴۰۱۳۸	۲۵۶۴۷,۵۸	۴۰,۷	۰,۰۰۰۳
نور	۹۰,۹	۵۸,۰۸	۴۳,۲	۰,۰۰۰۳
نوشهر	۹۶,۶	۶۱,۷۳	۵۳۴۶۵۸,۱	۰,۱۶

مأخذ: تحلیل نگارندگان بر اساس داده‌های سالنامه آماری مازندران، ۱۳۹۷ (GIS)

جدول ۸: ردپای بوم‌شناختی گازوئیل

عنوان	واحد اندازه‌گیری	استان	آمل	بابل	بابلسر	بهشهر	تنکابن	جویبار	چالوس	رامسر	ساری	سوادکوه	سوادکوه شمالی	سیمرغ	عباس‌آباد	فریدونکنار	قائم‌شهر	کلاردشت	گلوگاه	محمودآباد	میان‌دورود	نکا	نور	نوشهر
مصرف گازوئیل	مترمکعب ۱۳۹۷	۶۱۱۶۱۱,۴	۱۲۱۵۳۴	۷۸۰۶۸	۲۰۳۳۲	۷۸۰۴۰	۲۰,۸	۱۴۰۰۰	۳۸,۲	۱۸,۵	۷۴۵۸۰	۵۵۹۶۲	۱۱۰۶۱	۳۵۰۰	۱,۵	۵۵۹۴	۵۹۳۱۱	۲,۵	۱۷۶۲۶	۳۹,۳	۳۱۸۲۹	۴۰۰۰۸	۳۵,۳	۲۰,۳
کربن	تن کربن	۴۴۷۰۸۹,۶۶	۸۸۸۴۱,۷۰	۵۷۰۶۷,۹۳	۱۴۸۵۵,۴۴	۵۷۰۴۷,۴۶	۱۵,۲۰	۱۰۲۳۴,۰۴	۲۷,۹۲	۱۳,۵۲	۵۴۵۱۸,۱۹	۴۰۹۰۸,۳۸	۸۰۸۵,۶۲	۲۵۵۸,۵۱	۱,۱۰	۴۰۸۹,۲۳	۴۳۳۵۶,۵۱	۱,۸۳	۱۲۸۸۴,۶۶	۲۸,۷۳	۲۳۲۶۷,۰۹	۲۹۲۴۵,۹۶	۲۵,۸۰	۱۴,۸۴
EF کل	gha	۳۱۲۹۶۲,۸	۶۲۱۸۹,۲	۳۹۹۴۷,۶	۱۰۳۹۸,۸	۳۹۹۳۳,۲	۱۰,۶	۷۱۶۳,۸	۱۹,۵	۹,۵	۳۸۱۶۲,۷	۲۸۶۳۵,۹	۵۶۵۹,۹	۱۷۹۱,۰	۰,۸	۲۸۶۲,۵	۳۰۳۴۹,۶	۱,۳	۹۰۱۹,۳	۲۰,۱	۱۶۲۸۷,۰	۲۰۴۷۲,۲	۱۸,۱	۱۰,۴
سرانه EF	gha	۰,۰۹	۰,۱۵	۰,۰۷	۰,۰۷	۰,۲۳	۰,۰۰۰۰۶	۰,۰۹	۰,۰۰۰۱۶	۰,۰۰۰۱۲	۰,۰۷	۰,۶۳	۰,۲۲	۰,۰۹	۰,۰۰۰۰۱	۰,۰۵	۰,۱۰	۰,۰۰۰۰۵	۰,۲۳	۰,۰۰۰۲۰	۰,۲۹	۰,۱۷	۰,۰۰۰۱۴	۰,۰۰۰۰۷

مأخذ: تحلیل نگارندگان بر اساس داده‌های سالنامه آماری مازندران، ۱۳۹۷

- اراضی ساخته‌شده

نتایج نشان می‌دهد کلّ اراضی ساخته‌شده در استان مازندران ۳۳۴،۴۱۹ هکتار است. ردپای بوم‌شناختی زمین ساخته‌شده براساس ضرب کل اراضی ساخته‌شده در فاکتور معادل آن محاسبه شده‌است *(نظری و کلانتری، ۱۴۰۱: ۲۱ به نقل از Danish et al, 2020: 34)*. با توجه به فاکتور معادل ۲/۵ برای اراضی ساخته‌شده، ردپای بوم‌شناختی کل استان ۸۳۶،۰۵۰ هکتار جهانی و سرانهٔ آن ۰/۱۴ هکتار جهانی محاسبه شده است. براساس رقم سرانهٔ ردپای بوم‌شناختی شهرستان‌ها، کلاردشت با ۰/۳۰ هکتار جهانی بیشترین و قائم‌شهر با ۰/۱۰ هکتار جهانی کمترین سرانهٔ ردپای بوم‌شناختی را به خود اختصاص داده‌اند (جدول شماره ۹).

جدول ۹: ردپای بوم‌شناختی اراضی ساخته شده

عنوان	واحد اندازه‌گیری	استان	آمل	بابل	بابلسر	بهشهر	تنکابن	جویبار	چالوس	رامسر	ساری	سوادکوه	سوادکوه شمالی	سیمرغ	عباس‌آباد	فریدونکنار	قائم‌شهر	کلاردشت	گلوگاه	محمودآباد	میان‌دورود	نکا	نور	نوشهر
اراضی ساخته شده	هکتار	۱۹۵۰۹۸	۱۹۱۰۱.۶	۲۵۳۱۸.۸	۸۹۱۸.۲	۹۵۸۱.۴	۱۱۴۱۲.۵	۷۳۶۴.۴	۷۰۹۴.۱	۴۶۰۷.۱	۲۲۴۲۱.۱	۲۵۱۵.۴	۲۵۹۳.۵	۲۱۷۶.۷	۶۳۷۳.۱	۲۷۳۱.۲	۱۲۸۸۸.۳	۳۱۰۶.۵	۳۱۶۳.۱	۷۸۵۶.۳	۴۹۹۱.۴	۷۴۴۳.۴	۱۱۱۴۰.۵	۱۲۲۹۸.۷
EF کل	gha	۴۸۷۷۴۴	۴۷۷۵۴	۶۳۲۹۶.۹	۲۲۲۹۵.۵	۲۳۹۵۳.۵	۲۸۵۳۱.۳	۱۸۴۱۱.۱	۱۷۷۳۵.۳	۱۱۵۱۷.۸	۵۶۰۵۲.۸	۶۲۸۸.۶	۶۴۸۳.۸	۵۴۴۱.۹	۱۵۹۳۲.۷	۶۸۲۸.۱	۳۲۲۲۰.۹	۷۷۶۶.۲	۷۹۰۷.۹	۱۹۶۴۰.۹	۱۲۴۷۸.۵	۱۸۶۰۸.۴	۲۷۸۵۱.۳	۳۰۷۴۶.۹
سرانه EF	gha	۰.۱۴	۰.۱۱	۰.۱۲	۰.۱۶	۰.۱۴	۰.۱۷	۰.۲۴	۰.۱۵	۰.۱۵	۰.۱۱	۰.۱۴	۰.۲۶	۰.۲۷	۰.۲۹	۰.۱۱	۰.۱	۰.۳	۰.۲	۰.۲	۰.۲۲	۰.۱۵	۰.۲۲	۰.۲۱

مأخذ: تحلیل نگارندگان با استفاده از فنون سنجش از دور و GIS

- پسماند شهری

نتایج نشان می‌دهد، کل پسماند شهری تولیدشدهٔ استان در سال ۱۴۰۰ برابر با ۱،۱۴۹،۷۵۰ تن است *(سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان مازندران، ۱۴۰۲)*. زباله‌های شهری در هنگام دفن به حدود ۲۵ درصد از حجم اولیه خود کاهش می‌یابند و در هر متر مکعب، با۴۵۰ کیلوگرم به حجم ۰/۲ متر مکعب تبدیل خواهند شد. همچنین برای دفن هر لایه از زباله به عمق حدود ۲متر نیاز است *(کوزه‌گر کالجی و همکاران، ۱۳۹۷: ۳۴)*؛ ازاین‌رو مطابق رابطهٔ شماره ۸، حجم زباله در هنگام دفن ۶۳۸،۷۵۰ متر مکعب و کل مساحت زمین مورد نیاز برای دفن زبالهٔ استان با احتساب فاکتور عملکرد برابر با ۴۰/۲۴ هکتار جهانی است. ساری با ۵/۷۵ هکتار جهانی بیشترین و سیمرغ و گلوگاه با ۰/۵۱ هکتار جهانی کمترین ردپای بوم‌شناختی پسماند شهری را به خود اختصاص داده‌اند (جدول شماره ۱۰).

رابطهٔ ۸:

$$A_{waste}\,(tons/year) \times 365 \times 1000 = Akg_{waste}\,(kg/year)$$

$$Akg_{waste} \div 450 = Am3_{waste}\,(m^3/year) \qquad Am3_{waste} \times 0.25 \div 2 = Am2\,(m^2)$$

$$Am2 \div 10000 = HA_{waste}\,(hectare) \qquad HA_{waste} \times EQF = EF_{waste}\,(gha)$$

A_{waste} : مقدار کلّ پسماند شهری، HA_{waste} : هکتار سالانه مورد نیاز دفع پسماند شهری، EQF: فاکتور معادل (که برای سوخت برابر با فاکتور معادل کربن یا زمین جنگلی است) و EF_{waste}ردپای بوم‌شناختی پسماند شهری است.

جدول ۱۰: ردپای بوم‌شناختی پسماند شهری

عنوان	واحد اندازه‌گیری	استان	آمل	بابل	بابلسر	بهشهر	تنکابن	جویبار	چالوس	رامسر	ساری	سوادکوه	سوادکوه شمالی	سیمرغ	عباس‌آباد	فریدونکنار	قائم‌شهر	کلاردشت	گلوگاه	محمودآباد	میان‌دورود	نکا	نور	نوشهر
پسماند شهری	تن به‌روز	۳۱۵۰	۴۰۰	۳۰۰	۱۶۰	۱۱۰	۱۲۰	۵۵	۲۵۰	۹۰	۴۵۰	۷۰	۵۰	۴۰	۹۰	۶۰	۳۰۰	۸۰	۴۰	۸۰	۵۵	۹۰	۱۱۰	۱۵۰
	کیلوگرم سالانه	۱۱۴۹۷۵۰۰۰۰	۱۴۶۰۰۰۰۰۰	۱۰۹۵۰۰۰۰۰	۵۸۴۰۰۰۰۰	۴۰۱۵۰۰۰۰	۴۳۸۰۰۰۰۰	۲۰۰۷۵۰۰۰	۹۱۲۵۰۰۰۰	۳۲۸۵۰۰۰۰	۱۶۴۲۵۰۰۰۰	۲۵۵۵۰۰۰۰	۱۸۲۵۰۰۰۰	۱۴۶۰۰۰۰۰	۳۲۸۵۰۰۰۰	۲۱۹۰۰۰۰۰	۱۰۹۵۰۰۰۰۰	۲۹۲۰۰۰۰۰	۱۴۶۰۰۰۰۰	۲۹۲۰۰۰۰۰	۲۰۰۷۵۰۰۰	۳۲۸۵۰۰۰۰	۴۰۱۵۰۰۰۰	۵۴۷۵۰۰۰۰
	مترمکعب سالانه	۲۵۵۵۰۰۰	۳۲۴۴۴۴٫۴	۲۴۳۳۳۳٫۳	۱۲۹۷۷۷٫۷	۸۹۲۲۲٫۲	۹۷۳۳۳٫۳	۴۴۶۱۱٫۱	۲۰۲۷۷۷٫۷	۷۳۰۰۰	۳۶۵۰۰۰	۵۶۷۷۷٫۷	۴۰۵۵۵٫۵	۳۲۴۴۴٫۴	۷۳۰۰۰	۴۸۶۶۶٫۶	۲۴۳۳۳۳٫۳	۶۴۸۸۸٫۸	۳۲۴۴۴۴	۶۴۸۸۸٫۸	۴۴۶۱۱٫۱	۷۳۰۰۰	۸۹۲۲۲٫۲	۱۲۱۶۶۶٫۶
EF کل	gha	۴۰٫۲۴	۵٫۱۱	۳٫۸۳	۲٫۰۴	۱٫۴۱	۱٫۵۳	۰٫۷۰	۳٫۱۹	۱٫۱۵	۵٫۷۵	۰٫۸۹	۰٫۶۴	۰٫۵۱	۱٫۱۵	۰٫۷۷	۳٫۸۳	۱٫۰۲	۰٫۵۱	۱٫۰۲	۰٫۷۰	۱٫۱۵	۱٫۴۱	۱٫۹۲
EF سرانه	gha	۰٫۰۰۰۰۱	۰٫۰۰۰۰۱	۰٫۰۰۰۰۱	۰٫۰۰۰۰۱	۰٫۰۰۰۰۱	۰٫۰۰۰۰۱	۰٫۰۰۰۰۱	۰٫۰۰۰۰۳	۰٫۰۰۰۰۱	۰٫۰۰۰۰۱	۰٫۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۳	۰٫۰۰۰۰۳	۰٫۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۱	۰٫۰۰۰۰۱	۰٫۰۰۰۰۴	۰٫۰۰۰۰۱	۰٫۰۰۰۰۱	۰٫۰۰۰۰۱	۰٫۰۰۰۰۱	۰٫۰۰۰۰۱	۰٫۰۰۰۰۱

مأخذ: تحلیل نگارندگان بر اساس داده‌های سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان مازندران (۱۴۰۲)

- کل ردپای بوم‌شناختی

سرانۀ ردپای بوم‌شناختی کل استان برای هر مازندرانی ۱/۳۶ هکتار جهانی است. سوادکوه شمالی با ۲/۲۶ هکتار جهانی بیشترین و تنکابن با ۱/۰۵ هکتار جهانی کمترین سرانۀ ردپای بوم‌شناختی را در میان شهرستان‌های استان به خود اختصاص داده‌اند (جدول شماره ۱۱).

جدول ۱۱: کل ردپای بوم‌شناختی شهرستان‌های استان مازندران

عنوان	واحد اندازه‌گیری	استان	آمل	بابل	بابلسر	بهشهر	تنکابن	جویبار	چالوس	رامسر	ساری	سوادکوه	سوادکوه شمالی	سیمرغ	عباس‌آباد	فریدونکنار	قائم‌شهر	کلاردشت	گلوگاه	محمودآباد	میان‌دورود	نکا	نور	نوشهر
کل EF	gha	۴۵۹۱۴۳۴.۹	۶۶۲۳۱۸.۷	۶۴۱۶۹۰.۸	۲۲۵۶۰۷.۶	۲۴۰۱۳۳.۵	۱۷۹۵۰۵.۷	۱۲۸۷۲۱.۳	۱۳۳۳۳۲.۵	۸۶۷۳۵	۶۲۷۹۳۶.۷	۱۰۰۹۴۶	۵۷۳۰۵.۲	۳۵۰۸۱	۹۷۳۱۴.۹	۷۰۶۸۶.۵	۴۰۵۶۹۵	۳۰۱۱۵.۱	۶۴۴۶۴.۱	۱۵۷۴۸۶.۵	۱۱۶۵۰.۱	۱۷۰۳۷۷.۹	۱۷۴۹۱۴.۸	۱۸۴۶۶۵.۸
سرانه EF	gha	۱.۳۶	۱.۵۹	۱.۱۷	۱.۶	۱.۴۱	۱.۰۵	۱.۶۸	۱.۱	۱.۱۳	۱.۲	۲.۳۳	۲.۲۶	۱.۷۷	۱.۷۹	۱.۱۴	۱.۳۲	۱.۱۸	۱.۶۴	۱.۶	۲.۰۸	۱.۳۸	۱.۳۶	۱.۲۸

مأخذ: تحلیل نگارندگان، ۱۴۰۲

- ظرفیت زیستی

نتایج و یافته‌های ظرفیت زیستی استان مازندران به تفکیک شهرستان‌ها، مطابق رابطۀ شماره ۲ با ضرب مساحت هر کدام از کاربری‌ها در فاکتور عملکرد و فاکتور معادل ارائه شده برای هر کاربری در جدول شمارۀ ۳، به‌دست آمده. این نتایج و یافته‌ها که جزئیات آن در جدول شمارۀ ۱۲ ارائه شده است، به‌صورت زیر تشریح می‌گردد:

جنگل

کلّ مساحت جنگل استان در سال ۱۴۰۰ برابر با ۷۹۴،۰۱۴ هکتار *(سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان مازندران،۱۴۰۲)* و ظرفیت زیستی بر اساس فاکتور معادل و فاکتور عملکرد ۳۵۰،۱۶۰ هکتار جهانی محاسبه شده و شهرستان ساری با ۸۰،۲۳۱ هکتار جهانی بیشترین ظرفیت زیستی جنگل را در اختیار دارد.

مراتع

در سال ۱۴۰۰، کلّ مساحت مراتع استان ۳۸۷،۸۷۰ هکتار *(سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان مازندران،۱۴۰۲)* و ظرفیت زیستی آن ۷۱،۵۶۲ هکتار جهانی محاسبه شده و شهرستان آمل با ۲۰،۷۹۹ هکتار جهانی بیشترین مراتع را به خود اختصاص داده‌است.

اراضی کشاورزی

براساس گزارش جهاد کشاورزی در سال ۱۴۰۰، کل مساحت اراضی کشاورزی استان اعم از باغی و زراعی ۵۲۲،۷۵۰ هکتار *(سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان مازندران،۱۴۰۲)* و ظرفیت زیستی ۹۰۱،۷۴۳ هکتار جهانی محاسبه شده است. شهرستان بابل با ۱۳۸،۸۵۶ هکتار جهانی از بیشترین اراضی کشاورزی برخوردار است.

ماهیگیری داخلی

نتایج محاسبهٔ منابع آبی داخلی شهرستان‌های استان با استفاده از داده‌های GIS آمایش استان مازندران، اعم از رودخانه‌ها، آب‌بندان‌ها و ... نشان می‌دهد که کل مساحت ماهیگیری داخلی استان ۱،۵۷۶،۳۷۵ هکتار و ظرفیت‌زیستی ۵۶۷،۴۹۷ هکتار جهانی است و شهرستان ساری از بیشترین منابع ماهیگیری داخلی برخوردار است.

ماهیگیری دریایی

مساحت ماهیگیری دریایی در نرم‌افزار ArcGIS 10.8 برای شهرستان‌های ساحلی استان با درنظر گرفتن مسافت حدود ۱۰ کیلومتر[۱] از ساحل به‌عنوان گسترهٔ ماهیگیری دریایی *(Akrour & Grimes, 2022: 5)* محاسبه شده است. کلّ مساحت ماهیگیری دریایی استان ۷۲۷،۴۵۸ هکتار و ظرفیت زیستی ۶۹۶،۶۱۳ هکتار جهانی است. شهرستان گلوگاه، از بیشترین منابع ماهیگیری دریایی برخوردار است.

اراضی ساخته‌شده

ظرفیت زیستی اراضی ساخته‌شده براساس ضرب مساحت اراضی مذکور در فاکتور معادل و فاکتور عملکرد، ۳۳۶،۵۴۳ هکتار جهانی محاسبه شده است. شهرستان بابل با ۴۳،۶۷۴ هکتار جهانی، بیشترین ظرفیت زیستی اراضی ساخته‌شده را در اختیار دارد.

---

۱. آکرور و گریمز (۲۰۲۲)، مسافت ۶ مایل معادل ۹/۶ کیلومتر از ساحل را به عنوان گستره‌ی ماهیگیری ساحلی ۱۲ مایل را به عنوان گستره‌ی ماهیگیری دور از ساحل در نظر گرفته‌اند. در پژوهش حاضر، فاصله حدود ۱۰ کیلومتر از ساحل به عنوان حدود ظرفیت زیستی ماهیگیری دریایی هر یک از شهرستان ساحلی در نظر گرفته شده است.

جدول ۱۲: ظرفیت زیستی شهرستان‌های استان مازندران

عنوان	جنگل		مراتع		اراضی کشاورزی		ماهیگیری داخلی		ماهیگیری دریایی		اراضی ساخته شده	
	مساحت	ظرفیت زیستی	مساحت	ظرفیت زیستی	مساحت	ظرفیت زیستی	مساحت	ظرفیت زیستی	مساحت	ظرفیت زیستی	مساحت	ظرفیت زیستی
واحد اندازه‌گیری	هکتار	gha	هکتار	gha	هکتار	gha	هکتار	gha	هکتار	gha	هکتار	gha
استان	۷۹۴۰۱۴	۳۵۰۱۶۰.۲	۳۸۷۸۷۰	۷۱۵۶۲	۵۲۲۷۵۰.۱	۹۰۱۷۴۳.۹	۱۵۷۶۳۷۵.	۵۶۷۴۹۵.۱	۷۲۷۴۵۷.۶	۶۹۶۶۱۳.۴	۱۹۵۰۹۷.۷	۳۳۶۵۴۳.۵
آمل	۱۱۲۰۶۷	۴۹۴۲۱.۵	۱۱۲۶۲۵	۲۰۷۷۹.۳	۷۲۳۷۷.۷	۱۲۴۸۵۱.۵	۱۴۰۵۲۴.۱	۵۰۵۸۸.۷	۰	۰	۱۹۱۰۱.۶	۳۲۹۵۰.۳
بابل	۴۷۸۲۱	۲۱۰۸۹.۱	۳۱۳۱۴	۵۷۷۷.۴	۸۰۴۹۶	۱۳۸۸۵۵.۶	۱۱۷۸۳۶.۵	۴۲۴۲۱.۱	۰	۰	۲۵۳۱۸.۸	۴۳۶۷۴.۹
بابلسر		۰		۰	۱۹۱۱۳	۳۲۹۶۹.۹	۲۷۰۸۴.۵	۹۷۵۰.۴	۴۰۹۶۱.۳	۳۹۲۲۴.۵	۸۹۱۸.۲	۱۵۳۸۳.۹
بهشهر	۸۲۷۰۶	۳۶۴۷۳.۳	۲۵۹۱۳	۴۷۸۰.۹	۶۳۱۳۸	۱۰۸۹۱۳.۱	۱۲۰۲۶۵.۴	۴۳۲۹۵.۵	۱۰۸۱۲۲.۴	۱۰۳۵۳۸	۹۵۸۱.۴	۱۶۵۲۷.۹
تنکابن	۰	۰	۰	۰	۲۴۰۸۵	۴۱۵۴۶.۶	۸۸۹۲۴.۳	۳۲۰۱۲.۷	۶۰۰۴۲	۵۷۴۹۶.۲	۱۱۴۱۲.۵	۱۹۶۸۶.۶
جویبار	۰	۰	۰	۰	۲۳۰۳۷	۳۹۷۳۸.۸	۲۹۵۴۵.۴	۱۰۶۳۶.۴	۳۰۷۸۵.۶	۲۹۴۸۰.۳	۷۳۶۴.۴	۱۲۷۰۳.۷
چالوس	۰	۰	۰	۰	۳۰۰۰	۵۱۷۵	۵۸۹۲۲.۷	۲۱۲۱۲.۲	۳۱۷۴۶.۴	۳۰۴۰۰.۴	۷۰۹۴.۱	۱۲۲۳۷.۳
رامسر	۰	۰	۰	۰	۵۴۳۸	۹۳۸۰.۶	۳۶۲۹۴.۶	۱۳۰۶۶.۱	۳۹۳۶۶.۲	۳۷۶۹۷.۱	۴۶۰۷.۱	۷۹۴۷.۳
ساری	۱۸۱۹۳۱	۸۰۲۳۱.۶	۵۰۶۹۵	۹۳۵۳.۲	۷۸۴۰۲	۱۳۵۲۴۳.۵	۲۷۸۱۶۰.۳	۱۰۰۱۳۷.۷	۲۳۴۴۸.۴	۲۲۴۵۴.۲	۲۲۴۲۱.۱	۳۸۶۷۶.۵
سوادکوه	۱۲۶۵۰۸	۵۵۷۹۰	۴۳۰۵۳	۷۹۴۳.۳	۴۱۲۹	۷۱۲۲.۵	۹۵۰۱۹	۳۴۲۰۶.۸	۰	۰	۲۵۱۵.۴	۴۳۳۹.۱
سوادکوه شمالی	۴۷۰۸۲	۲۰۷۶۳.۲	۳۱۰۰	۵۷۲	۴۶۰۳.۴	۷۹۴۰.۹	۴۹۶۲۶.۹	۱۷۸۶۵.۷	۰	۰	۲۵۹۳.۵	۴۴۷۳.۸
سیمرغ	۰	۰	۰	۰	۷۴۷۳	۱۲۸۹۰.۹	۱۴۲۸۹.۳	۵۱۴۴.۲	۰	۰	۲۱۷۶.۷	۳۷۵۴.۹
عباس‌آباد	۰	۰	۰	۰	۴۵۳۷	۷۸۲۶.۳	۳۰۷۴۹	۱۱۰۶۹.۶	۳۶۸۴۷.۳	۳۵۲۸۴.۹	۶۳۷۳.۱	۱۰۹۹۳.۵
فریدونکنار	۰	۰	۰	۰	۱۸۸۰	۳۲۴۳	۱۰۶۴۳.۴	۳۸۳۱.۶	۲۲۶۴۵.۲	۲۱۶۸۵	۲۷۳۱.۲	۴۷۱۱.۴
قائم‌شهر	۸۶۸۱	۳۸۲۸.۳	۱۸۰۴	۳۳۲.۸	۲۸۹۴۹	۴۹۹۳۷	۳۴۰۴۲.۵	۱۲۲۵۵.۳	۰	۰	۱۲۸۸۸.۳	۲۲۲۳۲.۴
کلاردشت	۰	۰	۰	۰	۳۹۱	۶۷۴.۵	۱۳۳۱۳.۲	۴۷۹۲.۸	۰	۰	۳۱۰۶.۵	۵۳۵۸.۷
گلوگاه	۷۲۶۱	۳۲۰۲.۱	۴۰	۷.۴	۱۶۱۸۸	۲۷۹۲۴.۳	۳۸۷۹۹.۸	۱۳۹۶۷.۹	۱۱۹۰۹۴.۹	۱۱۴۰۴۵.۳	۳۱۶۳.۱	۵۴۵۶.۴
محمودآباد	۰	۰	۰	۰	۱۹۱۰۱	۳۲۹۴۹.۲	۲۷۲۲۸.۲	۹۸۰۲.۲	۵۳۶۴۰.۶	۵۱۳۶۶.۲	۷۸۵۶.۳	۱۳۵۵۲.۲
میان‌دورود	۸۷۵۲	۳۸۵۹.۶	۵۰	۹.۲	۳۰۷۶۴	۵۳۰۶۷.۹	۴۱۴۱۵.۲	۱۴۹۰۹.۵	۱۸۱۸۶.۹	۱۷۴۱۵.۸	۴۹۹۱.۴	۸۶۱۰.۲
نکا	۸۸۲۶۵	۳۸۹۲۴.۹	۱۵۷۲۱	۲۹۰۰.۵	۳۶۳۵۴.۵	۶۲۷۱۱.۵	۱۱۷۲۸۰.۶	۴۲۲۲۱	۸۹۰۸.۵	۸۵۳۰.۸	۷۴۴۳.۴	۱۲۸۳۹.۸
نور	۸۲۹۴۰	۳۶۵۷۶.۵	۱۰۳۵۵۵	۱۹۱۰۵.۹	۴۹۵۱.۲	۸۵۴۰.۸	۹۷۷۹۵.۱	۳۵۲۰۶.۲	۴۴۱۳۳.۱	۴۲۲۶۱.۹	۱۱۱۴۰.۵	۱۹۲۱۷.۴
نوشهر	۰	۰	۰	۰	۶۳۱۶	۱۰۸۹۵.۱	۱۰۸۶۱۵.۱	۳۹۱۰۱.۴	۸۹۵۲۸.۸	۸۵۷۳۲.۸	۱۲۲۹۸.۷	۲۱۲۱۵.۳

مأخذ: تحلیل نگارندگان بر اساس داده‌های سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان مازندران(۱۴۰۲) وفنون سنجش از دور و GIS

- کل ظرفیت زیستی

ظرفیت زیستی کلّ استان ۲،۹۲۴،۱۱۸ هکتار جهانی و سرانهٔ آن برای هر نفر ۰/۸۷ هکتار جهانی است. گلوگاه با سرانهٔ ۴/۱۸ هکتار جهانی بیشترین و قائم‌شهر با سرانهٔ ۰/۲۹ هکتار جهانی کمترین سرانهٔ ظرفیت زیستی را به خود اختصاص داده‌اند (جدول شماره ۱۳).

جدول ۱۳: کل ظرفیت زیستی شهرستان‌های استان مازندران

عنوان	کل ظرفیت	کل سرانه ظرفیت
واحد اندازه‌گیری	gha	gha
استان	۲۹۲۴۱۱۸	۰.۸۷
آمل	۲۷۸۵۹۱.۳	۰.۶۷
بابل	۲۵۱۸۱۸.۱	۰.۴۶
بابلسر	۹۷۳۲۸.۷	۰.۶۹
بهشهر	۳۱۳۵۲۸.۸	۱.۸۳
تنکابن	۱۵۰۷۴۲.۲	۰.۸۸
جویبار	۹۲۵۵۹.۲	۱.۲۱
چالوس	۶۹۰۲۴.۹	۰.۵۷
رامسر	۶۸۰۹۰.۹	۰.۸۹
ساری	۳۸۶۰۹۶.۶	۰.۷۴
سوادکوه	۱۰۹۴۰۱.۸	۲.۴۲
سوادکوه شمالی	۵۱۶۱۵.۵	۲.۰۳
سیمرغ	۲۱۷۹۰	۱.۱
عباس‌آباد	۶۵۱۷۴.۴	۱.۲
فریدونکنار	۳۳۴۷۱	۰.۵۴
قائم‌شهر	۸۸۵۸۵.۹	۰.۲۹
کلاردشت	۱۰۸۲۵.۹	۰.۴۲
گلوگاه	۱۶۴۶۰۳.۴	۴.۱۸
محمودآباد	۱۰۷۶۶۹.۸	۱.۱
میان‌دورود	۹۷۸۷۲.۲	۱.۷۵
نکا	۱۶۸۱۲۸.۵	۱.۳۶
نور	۱۶۰۹۰۸.۷	۱.۲۶
نوشهر	۱۵۶۹۴۴.۶	۱.۰۹

مأخذ: تحلیل نگارندگان، ۱۴۰۲

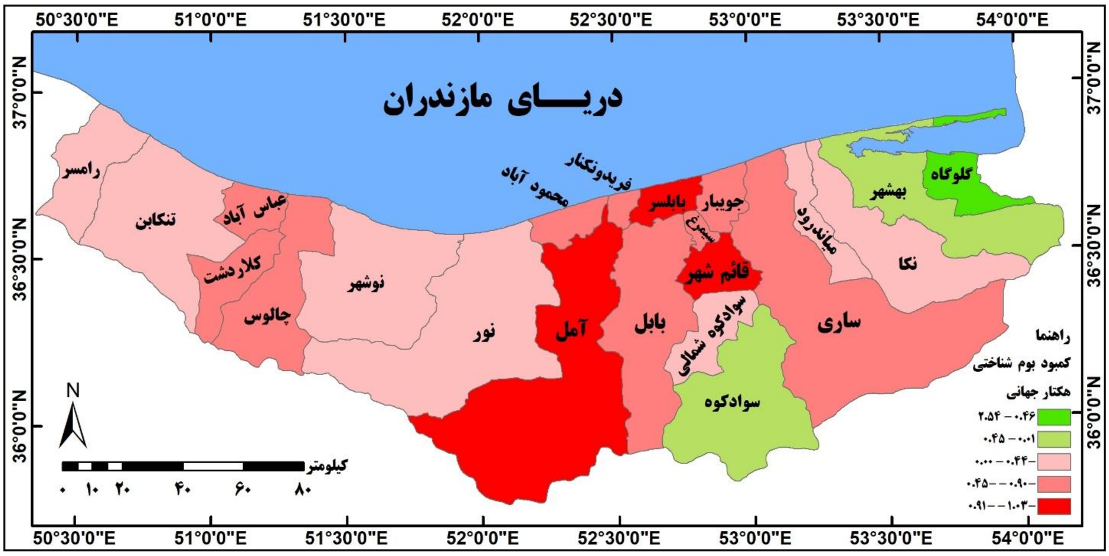
- کمبود یا مازاد بوم‌شناختی

تفاضل ظرفیت زیستی و ردپای بوم‌شناختی، میزان کمبود یا مازاد بوم‌شناختی را نشان می‌دهد. نتایج حاکی از آن است که همهٔ شهرستان‌های استان مازندران بجز گلوگاه، بهشهر و سوادکوه با کمبود بوم‌شناختی روبرو هستند. سرانهٔ کمبود یا مازاد بوم‌شناختی کل استان برای هر مازندرانی ۰/۴۹ هکتار جهانی است که بیانگر کمبود بوم‌شناختی و وضعیت ناپایداری استان مازندران است. قائم‌شهر با بیشترین سرانهٔ کمبود بوم‌شناختی (۱/۰۳ هکتار جهانی) ناپایدارترین شهرستان و گلوگاه با بیشترین مازاد بوم‌شناختی (۲/۵۴ هکتار جهانی)، (که دلیل اصلی آن نیز برخورداری از مساحت بیشتر دریایی است)، پایدارترین شهرستان استان هستند (جدول شماره ۱۴ و شکل شماره ۲).

جدول ۱۴ : کمبود/مازاد بوم‌شناختی شهرستان‌های استان مازندران

عنوان	کل کمبود/مازاد	سرانه کمبود/مازاد
واحد اندازه‌گیری	gha	gha
استان	-۱۶۶۷۳۱۷	-۰.۴۹
آمل	-۲۸۳۷۲۷.۴	-۰.۹۲
بابل	-۳۸۹۸۷۲.۷	-۰.۷۱
بابلسر	-۱۲۸۲۷۸.۸	-۰.۹۱
بهشهر	۷۳۳۹۵.۳	۰.۴۳
تنکابن	-۲۸۷۶۳.۵	-۰.۱۷
جویبار	-۳۶۱۶۲.۱	-۰.۴۷
چالوس	-۶۴۲۰۷.۶	-۰.۵۳
رامسر	-۱۸۶۴۴.۱	-۰.۲۴
ساری	-۲۴۱۸۴۰.۱	-۰.۴۶
سوادکوه	۸۴۵۵.۸	۰.۱۹
سوادکوه شمالی	-۵۶۸۹.۷	-۰.۲۲
سیمرغ	-۱۳۲۹۱.۱	-۰.۶۷
عباس‌آباد	-۳۲۱۴۰.۴	-۰.۵۹
فریدونکنار	-۳۷۲۱۵.۵	-۰.۶
قائم‌شهر	-۳۱۷۱۰۹.۲	-۱.۰۳
کلاردشت	-۱۹۲۸۹.۲	-۰.۷۵
گلوگاه	۱۰۰۱۳۹.۴	۲.۵۴
محمودآباد	-۴۹۸۱۶.۶	-۰.۵۱
میان‌دورود	-۱۸۶۲۸.۷	-۰.۳۳
نکا	-۲۳۴۹.۴	-۰.۰۲
نور	-۱۴۰۰.۶	-۰.۱۱
نوشهر	-۲۷۷۲۱.۱	-۰.۱۹

مأخذ: تحلیل نگارندگان، ۱۴۰۲



شکل ۲: کمبود بوم‌شناختی شهرستان‌های استان مازندران (واحد: هکتار جهانی)

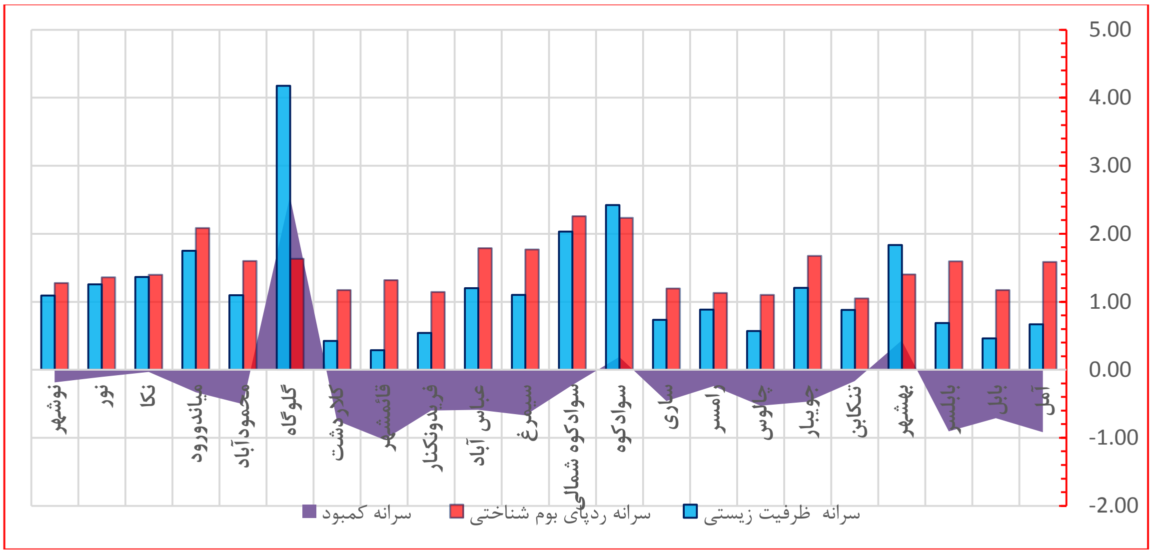
تهیه و ترسیم: تحلیل نگارندگان، ۱۴۰۲

بحث

با احتساب جمعیت ۳،۳۷۵،۷۰۰ نفر، ردپای بوم‌شناختی ۱/۳۶ و ظرفیت زیستی ۰/۸۷ هکتار جهانی به‌ازای هر نفر، کمبود بوم‌شناختی استان مازندران به‌ازای هر نفر در سال ۱۴۰۰ برابر با ۰/۴۹ هکتار است که فشار وارده به محیط‌زیست و ناپایداری را نشان می‌دهد و به‌عنوان یک چالش جدی برای توسعهٔ پایدار مطرح می‌شود؛ ازاین‌رو در صورتی‌که این روندهای مصرفی در استان کنترل و اصلاح نگردد، محیط طبیعی توان تأمین نیازهای جمعیت را نداشته و شهرستان‌های استان نیاز به مناطق پشتیبان بزرگ‌تری برای تأمین نیازهای مصرفی خود دارند. این در حالی‌است که کشور ایران نیز به‌نوبهٔ خود با کمبود بوم‌شناختی به‌مراتب بالاتری مواجه است. سرانهٔ ردپای بوم‌شناختی ایران مطابق آخرین محاسبات انجام‌شدهٔ شبکهٔ ردپای جهانی برای سال ۲۰۱۹ با جمعیت ۸۶ میلیون نفر، برابر با ۳/۲ هکتار جهانی به‌ازای هر نفر بوده که با احتساب ظرفیت زیستی ۰/۸ هکتار جهانی به‌ازای هر نفر با کمبود ۲/۴ هکتاری مواجه است (*Global Footprint Network, 2023*).

از میان شهرستان‌های استان، سوادکوه شمالی، سوادکوه و میاندرود، بیشترین سرانهٔ ردپای بوم‌شناختی را به خود اختصاص‌داده‌اند. عباس‌آباد و سیمرغ نیز در رده‌های چهارم و پنجم پرمصرف‌ترین شهرستان‌ها به‌ازای هر نفر قراردارند. از سویی دیگر، شهرستان‌های گلوگاه، سوادکوه، سوادکوه شمالی، بهشهر و میان‌دورود به‌ترتیب از بیشترین سرانهٔ ظرفیت زیستی برخوردار هستند. این امر برای شهرستان‌های سوادکوه و سوادکوه شمالی به‌دلیل تراکم کمتر جمعیتی و برای سه شهرستان دیگر، به‌دلیل برخورداری از ظرفیت ماهیگیری دریایی با توجه به جمعیت نسبتاً کم آن‌ها بوده است. شهرستان گلوگاه با برخورداری از بیشترین ظرفیت زیستی، بیشترین مازاد بوم‌شناختی را داراست و پس از آن شهرستان‌های بهشهر و سوادکوه در رده‌های بعدی قرار دارند. شهرستان قائم‌شهر به‌دلیل برخورداری کمتر از ظرفیت زیستی، بیشترین کمبود را به‌ازای هر نفر تجربه کرده است و در وضعیت ناپایدارتری قرار دارد. آمل و بابلسر نیز در رده‌های بعدی کمبود بوم‌شناختی قرار دارند (شکل شماره ۳).

البته؛ سهم قابل توجهی از افزایش مصرف در استان مازندران در ارتباط با مصارف انرژی، حمل‌ونقل، پسماند و حتی اراضی ساخته‌شده به مسافران و گردشگرانی اختصاص دارد که از نقاط مختلف ایران، استان مازندران را به‌واسطهٔ شرایط مساعد آب‌وهوایی و برخورداری از مواهب طبیعی به‌عنوان مقصد گردشگری خود انتخاب می‌کنند. بسیاری از زمین‌های ساخته‌شده، چه در نواحی جلگه‌ای و چه در نواحی کوهستانی، به ویلاها و مساکن دومی اختصاص دارد که به‌صورت فصلی و غیر دائم مورد استفاده قرار می‌گیرند. جمعیت ساکن غیر بومی نیز مطابق ضوابط سرشماری نفوس و مسکن، در جمعیت استان مازندران محاسبه نشده‌اند؛ ازاین‌رو با توجه به این‌که این افراد امکانات و خدمات استان را مصرف می‌کنند اما در جمعیت استان محاسبه نمی‌شوند، سرانهٔ مصرف استان یا شهرستان را به‌ازای هر نفر بالا می‌برند.



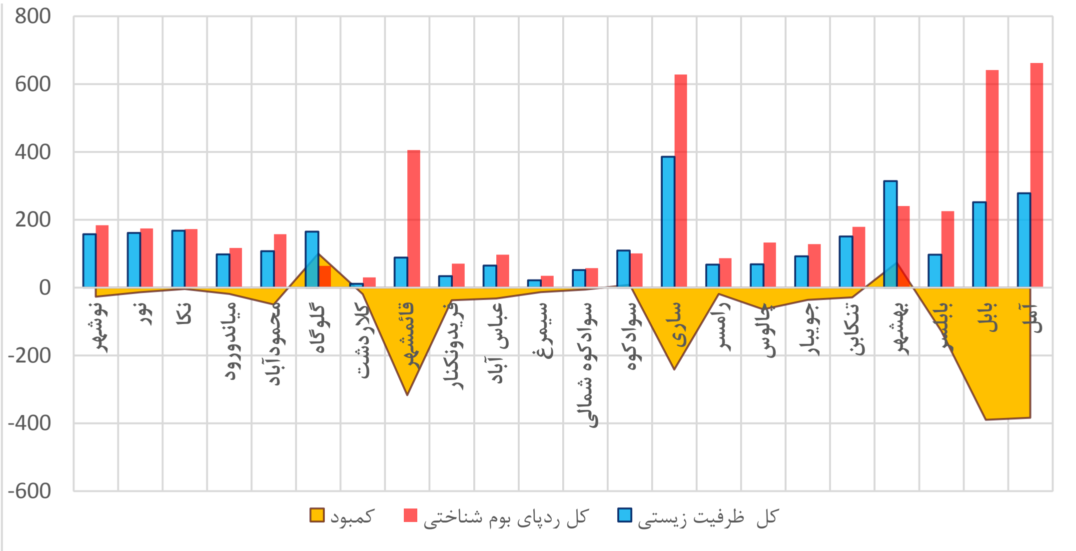
شکل ۳: مقایسهٔ سرانهٔ کمبود بوم‌شناختی شهرستان‌های استان مازندران (واحد: هکتار جهانی)

تهیه و ترسیم: تحلیل نگارندگان، ۱۴۰۲

نتایج پژوهش حاضر نشان‌داده است، کل ردپای بوم‌شناختی در میان شهرستان‌ها، تا حدّ زیادی در ارتباط با جمعیّت هر شهرستان قراردارد. شهرستان‌های ساری، بابل، آمل و قائم‌شهر به‌ترتیب بیشترین ردپای استان و به‌تبع آن بیشترین کمبود بوم‌شناختی را با بیش از چهارصد هزار هکتار جهانی در اختیار دارند (شکل شمارهٔ ۴). چهار شهر نخست استان به لحاظ جمعیتی نیز در همین شهرستان‌ها واقع شده‌اند. یکی از نکات قابل توجه در ارتباط با جمعیت شهرهای استان مازندران، عدم پدیدهٔ نخست‌شهری و شکل‌گیری منطقهٔ شهری چندمرکزی[1] آمل–بابل–قائم‌شهر–ساری است(*علی‌زاده، ۱۳۹۴: ۱۱۶؛ لطفی و شهابی شهمیری، ۱۴۰۱: ۳۱*). شهرها در منطقهٔ شهری چندمرکزی، گرچه به‌طور کالبدی از هم جدا هستند، ولی ازنظر کارکردی به یکدیگر وابسته‌اند و در عین حال با نقشی که ازنظر کارکردی در منطقه ایفا می‌کنند، با یکدیگر به رقابت می‌پردازند. یکی از انگاره‌های اصلی مفهوم منطقهٔ شهری چندمرکزی این است که در آن تنها یک شهر، فراهم‌آورندهٔ مجموعه‌ای کامل از فعالیت‌های اقتصادی، خدمات شهری و محیط سکونت و کار نیست، بلکه مجموعه شهرهای موجود در آن منطقه نقش‌های یکدیگر را کامل می‌کنند (*Meijers, 2006: 3 به نقل از علی‌زاده، ۱۳۹۴*)؛ ازاین‌رو، با تقویت و توسعهٔ مکمل‌گرایی[2] شهرهای استان مازندران با توجه به فواصل نسبتاً نزدیک

1. **Polycentric urban region**
2. **Complementarity**

این شهرها به یکدیگر، بار و فشار محیطزیستی آن‌ها به‌جای متمرکز شدن بر شهر مرکزی، در سطح شهرهایی که نقش مکملی ایفا می‌کنند، توزیع می‌شود.



شکل ۴: مقایسهٔ کل کمبود بوم‌شناختی شهرستان‌های استان مازندران (واحد: هزار هکتار جهانی)

تهیه و ترسیم: تحلیل نگارندگان، ۱۴۰۲

نتیجه

در سال‌های اخیر، ردپای اکولوژیکی به‌عنوان یک شاخص کلیدی در ارزیابی پایداری، تحلیل و اندازه‌گیری تأثیر انسان بر محیط زیست، به‌شدت مورد توجّه قرارگرفته است. بر این اساس، پژوهش حاضر منابع مصرفی ردپای بوم‌شناختی شامل: مصارف انرژی، حمل‌ونقل، پسماند و اراضی ساخته‌شده را در استان مازندران و شهرستان‌های آن محاسبه کرده است. باتوجه به نتایج، کاهش مصرف در میان جوامع می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌ای در جبران کمبودهای بوم‌شناختی داشته باشد. از سویی دیگر، حفظ و ارتقای بهره‌وری منابع بیولوژیکی باید در اولویت قرار گیرد. همچنین، کنترل تراکم جمعیتی و رشد اقتصادی از طریق توزیع متوازن و عادلانهٔ خدمات و منابع در سطح استان، امری حیاتی است.

نتایج نشان می‌دهد، استان مازندران که از منابع طبیعی و تنوّع زیستی فراوانی برخوردار است، با چالش‌های بوم‌شناختی ناشی از رشد جمعیتی سریع و توسعهٔ شهری بی‌رویه روبرو شده است. کمبود اکولوژیکی در مرکز استان و بیشتر شهرستان‌ها، نشان‌دهندهٔ عدم تعادل میان فعالیت‌های اقتصادی و تأثیرات زیست‌محیطی و استفادهٔ بیش از حدّ از منابع طبیعی است که می‌تواند تخریب زیست‌گاه‌ها، کاهش تنوع زیستی و تغییرات اقلیمی را به‌همراه داشته باشد. با توجه به نتایج مطالعات و تحقیقات انجام‌شده، می‌توان به اهمیّت نقش دولت و نهادهای مرتبط در کاهش ردپای اکولوژیکی و مدیریت بهینهٔ منابع اشاره کرد. بازیافت بوم‌شناختی منابع طبیعی و توسعهٔ کشاورزی و صنعت با رعایت اصول حفظ محیط زیست، از وظایف اساسی در جهت کاهش کمبود اکولوژیکی و بهبود شرایط محیطزیستی است. همچنین، ارتقای آگاهی اجتماعی و آموزش در زمینهٔ مسائل محیطی می‌تواند نقش مهمی در ایجاد تغییرات

مثبت داشته باشد. پژوهش حاضر می‌تواند پایه‌ای برای تصمیم‌گیران و مسئولان جهت اتخاذ تدابیر مناسب و تصمیم‌گیری‌های آگاهانه برای حفظ محیط زیست و توسعهٔ پایدار مناطق ایجاد کند.

نتایج پژوهش حاضر با یافته‌های تحقیق دلیری و مهرگان (۱۳۹۵) که در ارتباط با استان مازندران فقط ردپای بوم‌شناختی کل استان را محاسبه کرده و حاصل آن ۲/۱۱ هکتار جهانی بوده است، به میزان ۰/۷۵ هکتار جهانی اختلاف دارد (۱/۳۶ هکتار جهانی در پژوهش حاضر) که همسویی نسبی را نشان می‌دهد. در پژوهشی دیگر، نظری و کلانتری (۱۴۰۱)، کمبود بوم‌شناختی شهر ساری را ۰/۳۴ هکتار جهانی محاسبه کرده‌اند و نتایج پژوهش حاضر با محاسبهٔ کمبود ۰/۴۶ هکتار جهانی برای شهرستان ساری، به لحاظ ناپایداری و کمبود بوم‌شناختی با آن همسو بوده است. همچنین، نتایج پژوهش حاضر با یافته‌های پژوهش رضی (۱۳۹۴)، به لحاظ محاسبهٔ تعادل بوم‌شناختی همهٔ شهرستان‌های استان مازندران قابل مقایسه است. از لحاظ محاسبهٔ ردپای بوم‌شناختی نیز نتایج با آن همسو بوده اما تفاوت غالب دو پژوهش علاوه بر تغییرات جمعیتی و سطوح کاربری‌ها، در محاسبهٔ ظرفیت زیستی و تعادل بوم‌شناختی است. پژوهش مذکور، تعادل بوم‌شناختی را با تفاضل ردپای بوم‌شناختی از مساحت مکانی (هکتار) محاسبه کرده و تعادل همهٔ شهرستان‌ها بجز دو شهرستان سوادکوه و نور را منفی نتیجه داده است، درحالی‌که در پژوهش حاضر، ظرفیت زیستی انواع کاربری‌های واقع در مرز سیاسی شهرستان به‌همراه سطح ماهیگیری دریایی با واحد هکتار جهانی محاسبه شده، ازاین‌رو مازاد بوم‌شناختی شهرستان سوادکوه به‌دلیل دخالت سطح دریایی، در هر دو پژوهش همسو بوده است. همچنین پژوهش حاضر نشان‌داد که شهرستان‌های گلوگاه و بهشهر نیز با برخورداری از ظرفیّت زیستی دریایی دارای مازاد بوم‌شناختی هستند.

منابع

اسماعیل‌زاده، حسن؛ معصومه براری؛ علیرضا رحمتی (۱۳۹۵). شاخص ردپای اکولوژیک در سنجش پایداری توسعه شهری (نمونه مورد مطالعه: شهر ساری)، فصلنامه علمی ترویجی محیطزیست. دوره ۱. شماره ۵۷. صفحات ۴۶-۳۳.
https://www.envjournal.ir/article_49801.html

جمعه پور، محمود؛ حسین حاتمی نژاد؛ سارا شهانواز (۱۳۹۲). بررسی وضعیت توسعه پایدار شهرستان رشت با استفاده از روش جای پای اکولوژیک، پژوهش‌های جغرافیای انسانی. دوره ۴۵. شماره ۳. صفحات ۲۰۸-۱۹۱.
https://jhgr.ut.ac.ir/article_35252.html

حبیبی، کیومرث؛ آرمان رحیمی کاکه جوب؛ محمد حامد عبدی (۱۳۹۲). ارزیابی جاپای بومشناختی وسایل حمل‌ونقل شهری، رویکردی نوین به‌منظور برنامه‌ریزی حمل‌ونقل پایدار، نمونه موردی: شهر ارومیه، فصلنامه علمی- پژوهشی آمایش جغرافیایی فضا. دوره ۲. شماره ۵. صفحات ۹۹-۱۱.
https://gps.gu.ac.ir/article_5340.html

دلیری، حسن؛ نادر مهرگان (۱۳۹۵). سنجش پایداری توسعه در استان‌های ایران بر اساس شاخص جای پای اکولوژیک. اقتصاد و توسعه منطقه‌ای. دوره ۲۳. شماره ۱۱. صفحات ۴۷-۱.
https://erd.um.ac.ir/article/view/57958/article_25896.html?lang=fa

رضی، داود (۱۳۹۴). سنجش و تحلیل رد پای بوم‌شناختی (مطالعه موردی: شهرستان‌های استان مازندران)، مطالعات ساختار و کارکرد شهری. دوره ۳. شماره ۱۰. صفحات ۱۲۵-۱۰۳.
https://shahr.journals.umz.ac.ir/article_1230.html

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان مازندران (۱۴۰۲). گزارش عملکرد دستگاه‌های اجرایی سال ۱۴۰۰ بر اساس مراجعه حضوری به سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان مازندران.
https://mazandaran.mporg.ir

سالنامه آماری مازندران (۱۳۹۷). سالنامه آماری استان مازندران، معاونت آمار و اطلاعات، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان مازندران. سازمان برنامه و بودجه کشور. ایران.
https://mazandaran.mporg.ir/Portal/View/Page.aspx?PageId=fe9be606-e0c1-4d1f-9e9b-6eba993803e8

سالنامه آماری مازندران (۱۳۹۸). سالنامه آماری استان مازندران، معاونت آمار و اطلاعات، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان مازندران. سازمان برنامه و بودجه کشور. ایران.
https://mazandaran.mporg.ir/Portal/View/Page.aspx?PageId=fe9be606-e0c1-4d1f-9e9b-6eba993803e8

سالنامه آماری مازندران (۱۴۰۰). سالنامه آماری استان مازندران، معاونت آمار و اطلاعات، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان مازندران. سازمان برنامه و بودجه کشور. ایران.
https://mazandaran.mporg.ir/Portal/View/Page.aspx?PageId=fe9be606-e0c1-4d1f-9e9b-6eba993803e8

صمدپور، پریماه؛ شهرزاد فریادی (۱۳۸۷). تعیین ردپای اکولوژیکی در نواحی شهری پرتراکم و بلندمرتبه (نمونۀ مورد مطالعه: محلۀ الهیه تهران)، محیط‌شناسی. دوره ۳۴. شماره ۴۵. صفحات ۷۲-۶۳.
https://jes.ut.ac.ir/article_19331.html

ضیایی، محمود؛ اسماعیل قادری؛ ساسان احمدی (۱۳۹۶). تعیین ظرفیتِ تحمل و ردپای اکولوژیکی در مقصدهای طبیعت‌گردی (مورد شناسی: دریاچۀ زریوار)، جغرافیا و آمایش شهری منطقه‌ای. دوره ۷. شماره ۲۵. صفحات ۵۶-۳۹.
https://gaij.usb.ac.ir/article_3476_417944cf40e08a189624fa31d9eef507.pdf

علی‌زاده، توحید (۱۳۹۴). تبیین نقش و کارکرد مکمل‌گرایی در برنامه‌ریزی مناطق شهری چندمرکزی، مورد مطالعاتی: منطقه شهری آمل- بابل- قائم‌شهر- ساری، اساتید راهنما: کاظمیان، غ. و ندایی طوسی، س. پایان‌نامه مقطع کارشناسی ارشد. دانشگاه شهید بهشتی. تهران.
https://centlibrary.sbu.ac.ir/site/catalogue/390145

علیزاده، هوشمند؛ وریا لطفی؛ صلاح الدین ویسی (۱۳۹۷). ارزیابی اثرات محیط‌زیستی کاربری های آموزشی با استفاده از مدل ردپای اکولوژیکی، مطالعه موردی دانشگاه کردستان، فصلنامه مطالعات شهری. دوره ۸. شماره ۳۲. صفحات ۸۸- ۷۷.
https://urbstudies.uok.ac.ir/article_61218.html

فرهادی، پریسا؛ علیرضا ایلدرمی؛میرمهرداد میرسنجری (۱۳۹۷). ارزیابی ردپای بوم‌شناختی و ظرفیت‌زیستی اکوسیستم شهری (مطالعه موردی: شهر همدان)، فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط‌زیست. دوره ۲۳. شماره ۱. صفحات ۲۵۱-۲۴۱.
https://www.sid.ir/paper/387664/fa

کوزه‌گر کالجی، لطفعلی؛ آرمان مسلمی؛ محمد مرادی؛ حسین رفیعی مهر؛ عباس امینی‌زاده (۱۳۹۷). جای پای اکولوژیک، راهی به‌سوی پایداری شهرها، مورد پژوهی: شهر تبریز، فصلنامه علوم محیطی. دوره ۱۶. شماره ۳. صفحات ۴۴-۲۵.
https://envs.sbu.ac.ir/article_97967.html

لطفی، صدیقه؛ مجتبی‌شهابی‌شهمیری (۱۴۰۱). بررسی تطبیقی پتانسیل روابط مکمل بین منطقۀ شهری چندمرکزی و تک‌مرکزی، موردپژوهی: مجموعۀ شهری رشت و منطقۀ شهری مازندران مرکزی، مطالعات محیط انسان ساخت. دوره ۱. شماره ۱. صفحات ۵۴-۳۱.
https://hmes.samt.ac.ir/article_251390.html

نظری، مریم؛ محسن کلانتری (۱۴۰۱). بررسی عوامل مؤثر بر ردپای اکولوژیکی شهری ساری، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دوره ۳۴. شماره ۲ . صفحات ۲۶-۱۷.

References

Ahmad, M., Ahmed, Z., Yang, X., Hussain, N., & Sinha, A (2021). Financial development and environmental degradation: Do human capital and institutional quality make a difference? Gondwana Research.
https://doi.org/10.1016/j.gr.2021.09.012

Akrour, S., & Grimes, S (2022). Is the ecological footprint enough science for Algerian fisheries management?, Sustainability, 14(3), 1418.
https://doi.org/10.3390/su14031418

Braun, S (2021). Urban Ecological Footprint of the City of Vaasa with Open Access Data. https://www.theseus.fi/handle/10024/505398

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, No 130363.
https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130363

Galli, A., Kitzes, J., Wermer, P., Wackernagel, M., Niccolucci, V., & Tiezzi, E (2007). An exploration of the mathematics behind the ecological footprint (249-256). Wit Press: Billerica, MA, USA.
https://www.witpress.com/Secure/elibrary/papers/9781845646547/9781845646547023FU1.pdf

Global Footprint Network (2023). Global Footprint Network (Accessed: 5 Aug 2023)
https://www.footprintnetwork.org

Kitzes, J., Peller, A., Goldfinger, S., & Wackernagel, M (2007). Current methods for calculating national ecological footprint accounts. Science for environment & sustainable society, 4(1), 1-9.
https://shiga-u.repo.nii.ac.jp/?action=repository_uri&item_id=10991&file_id=19&file_no=1

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, Vol 131, No 108117.
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X21007822

McDonald, G. W., & Patterson, M. G (2004). Ecological footprints and interdependencies of New Zealand regions. Ecological Economics, 50(1-2), 49-67
.https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800904001545

Meijers, E (2006). The notion of complementarity in urban networks: definition, value, measurement and development, Paper presented at the 10th United Nations Economic Commission for Europe Conference on Urban and Regional Research, Bratislava.
https://www.unece.org/fileadmin/DAM/hlm/prgm/urbanenvperf/conference/tenth_bratislava/documents/topic2.08.meijers.pdf

Mir, A., Sobhani, P., & Sayahnia, R (2022). Assessment of the ecological footprint associated with consumption resources and urbanization development in Sistan and Baluchestan province, Iran. Results in Engineering, 16, 100673.
https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100673

Rashid, A., Irum, A., Malik, I. A., Ashraf, A., Rongqiong, L., Liu, G., ... & Yousaf, B (2017). Ecological footprint of Rawalpindi; Pakistan's first footprint analysis from urbanization perspective. Journal of Cleaner Production, 170, 362-368.
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965261732187X

Rees, W.E (1992). Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out. Environ. Urban., 4(2), 121-130.
https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/095624789200400212

Rees, W.E (1992). Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out. Environ. Urban., 4(2), 121-130.
https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/095624789200400212

Rees, W.E., Wackernagel, M (1994). Ecological footprints and appropriated carrying capacity: measuring the natural capital requirements of the human economy. In: A.M Jansso., M. Hammer, C. Folke, R. Costanza, (Eds.), Investing in Natural Capital: The Ecological Economics Approach to Sustainability. Island Press, Washington DC, 362-390.
https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=mEgJKckv-awC&oi=fnd&pg=PA151&ots=x1dtGuWu7I&sig=jj9w1fpqi-HFNQx8PQUokBuDALI#v=onepage&q&f=false

Wackernagel, M (1994). Ecological Footprint and Appropriated Carrying Capacity: a tool for planning toward sustainability. The University of British Columbia.
https://open.library.ubc.ca/media/download/pdf/831/1.0088048/1

Wackernagel, M., Rees, W.E (1996). Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth. New Society Publishers, Gabriola Island, BC.
http://w.tboake.com/2013/EF_Reading_Assignment_1of2.pdf

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://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301420721004992

Yang, Y., & Cai, Z (2020). Ecological security assessment of the Guanzhong Plain urban agglomeration based on an adapted ecological footprint model. Journal of Cleaner Production, 260, 120973.
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620310209