Journal of Natural Environment

Online ISSN: 2423-7817

University of Tehran Press

Homepage: https://jne.ut.ac.ir/

Assessing ecological footprint and biological capacity, a tool to achieve sustainable development of Khorasan Razavi province

Azadeh Karimi[1]✉ | Mohammad Taghi Dastorani[2]

1. Corresponding Author, Department of Environment, Faculty of Natural resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad. E-mail: az-karimi@um.ac.ir
2. Department of Rangeland and Watershed management, Faculty of Natural resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad Iran. E-mail: dastorani@um.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 30 April 2024

Received in revised form 16 June 2024

Accepted 21 June 2024

Published online 31 August 2024

Keywords:

Biological capacity,
Carbon footprint,
Carrying capacity,
Ecological footprint,
Khorasan Razavi,
Sustainable development.

ABSTRACT

Achieving a sustainable approach to human development, which includes avoiding the destruction of habitats and avoiding the extinction of species, requires a better understanding of the options facing humans for development. The purpose of this research is to evaluate the ecological footprint and biological capacity of Razavi Khorasan province. In this study, the carbon footprint, the ecological footprint of agricultural, horticultural, protein, and aquatic products were integrated to calculate the provincial ecological footprint and the amount of biological capacity in different cities were calculated to analyze the biological capacity at the level of this province. The findings show that the ecological footprint of the entire province is 18,020 thousand global hectares. The total biological capacity of different cities also indicates that the biological capacity of the entire province is 14,362,89 thousand hectares. These cases indicate that Khorasan Razavi province needs an area of about 1.25 times its size to reduce the ecological footprint of the population living in it. A more detailed investigation on the relationship between the two parameters of the total ecological footprint and the total biological capacity shows the important points of the current condition of the use of natural resources and the impact of people living in different cities. The results of this research can provide effective knowledge and tools for policy makers and decision makers of planning and land management, which are necessary for managing the existing ecosystems and environmental assets of the Khorasan Razavi province, as well as the pressure on those ecosystems as a result of human activities.

Cite this article: Karimi, A., & Dastorani, M. (2024). Assessing ecological footprint and biological capacity, a tool to achieve sustainable development of Khorasan Razavi province. *Journal of Natural Environment*, 77 (2), 285-298. DOI: http//doi.org/10.22059/jne.2024.374650.2658

© The Author(s).
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: http//doi.org/10.22059/jne.2024.374650.2658

محیط زیست طبیعی
شاپای الکترونیکی: ۷۸۱۷-۲۴۲۳
Homepage: https://jne.ut.ac.ir/
انتشارات دانشگاه تهران

ارزیابی رد پای بوم‌شناختی و ظرفیت زیستی، ابزاری برای دستیابی به توسعهٔ پایدار استان خراسان رضوی

آزاده کریمی[1]✉ | محمدتقی دستورانی[2]

۱. نویسنده مسئول، گروه محیط‌زیست، دانشکدهٔ منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. رایانامه: az-karimi@um.ac.ir
۲. گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. رایانامه: dastorani@um.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۱۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۳/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۰۱
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۶/۱۰

کلیدواژه‌ها:
توسعهٔ پایدار،
خراسان رضوی،
رد پای بوم‌شناختی،
رد پای کربن،
ظرفیت برد، ظرفیت زیستی.

چکیده

دستیابی به یک رویکرد پایدار برای توسعهٔ انسانی، که شامل پرهیز از تخریب زیستگاه‌ها و اجتناب از نابودی گونه‌ها است، نیازمند درک و فهم بهتر از گزینه‌های پیش‌روی انسان برای توسعه است. هدف از انجام این تحقیق، ارزیابی رد پای بوم‌شناختی و ظرفیت زیستی استان خراسان رضوی است. در این تحقیق از جمع‌بندی و تلفیق رد پای کربن، رد پای بوم‌شناختی محصولات کشاورزی، باغی، پروتئینی، و آبزیان به محاسبهٔ رد پای بوم‌شناختی و با محاسبهٔ میزان ظرفیت زیستی در شهرستان‌های مختلف به تحلیل ظرفیت زیستی در سطح این استان پرداخته شد. یافته‌ها نشان می‌دهد که رد پای بوم‌شناختی کل استان ۱۸۰۲۰ هزار هکتار جهانی می‌باشد. مجموع ظرفیت زیستی شهرستان‌های مختلف نیز حاکی از آن دارد که ظرفیت زیستی کل استان ۱۴۳۶۲/۸۹ هزار هکتار جهانی است. این موارد بیانگر این نکته است که استان خراسان رضوی برای کاستن رد پای بوم‌شناختی جمعیت ساکن در خود، به مساحتی در حدود ۱/۲۵ برابر خود نیازمند است. بررسی جزئی‌تر در ارتباط بین دو پارامتر رد پای بوم‌شناختی کل و ظرفیت زیستی کل نکات مورد توجهی را از وضعیت نحوهٔ استفاده از منابع طبیعی و میزان تأثیر جامعه ساکن در شهرستان‌های مختلف نمایان می‌کند. نتایج این تحقیق می‌تواند دانش و ابزار مؤثری برای سیاستگذاران و تصمیم‌گیران برنامه‌ریزی و مدیریت سرزمین فراهم آورد که برای مدیریت اکوسیستم‌های موجود در استان و دارایی‌های محیط‌زیستی و همچنین فشار وارد بر آن اکوسیستم‌ها در نتیجه فعالیت‌های انسانی، ضروری هستند.

استناد: کریمی، آزاده؛ و دستورانی، محمدتقی (۱۴۰۳). ارزیابی رد پای بوم‌شناختی و ظرفیت زیستی، ابزاری برای دستیابی به توسعهٔ پایدار استان خراسان رضوی. *محیط زیست طبیعی*، ۷۷ (۲)، ۲۹۸-۲۸۵.

DOI: http//doi.org/10.22059/jne.2024.374650.2658

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

مقدمه

مطالعات نشان می‌دهد که بسیاری از مشکلات محیط‌زیستی جهانی که بشر امروز آنها را تجربه می‌کند از جمله افزایش بی‌رویه جمعیت، گسترش شهرنشینی، اثر گلخانه‌ای و گرمایش جهانی، از بین رفتن تنوع زیستی، بیابان‌زایی، کاهش لایهٔ ازن، باران اسیدی، زباله‌های خطرناک و سایر موارد نظیر آنها، ناشی از بارگزاری بیش از حد تحمل کرهٔ زمین است (Świąder *et al*., 2020). شناسایی این چالش‌ها منجر به نگرانی‌های فزاینده‌ای بین رهبران جهان، سیاستگذاران و متخصصان گردیده است به‌نحوی که به‌دنبال راهکار های مؤثر و روش‌های عملی برای تبدیل کرهٔ خاکی به مکانی پایدار برای زندگی هستند. رسیدن به این هدف مستلزم درک عمیق حد بردباری زمین است که در آن کرهٔ خاکی قادر به پشتیبانی حیات ساکنان فعلی و آینده خود باشد. امروزه در بحث توسعهٔ پایدار، دانستن محدودیت‌های موجود برای توسعه در چارچوب ظرفیت قابل تحمل اکوسیستم‌های طبیعی ضروری است تا زمین بتواند در برابر تغییرات ناشی از فعالیت‌های انسانی مقاومت کند.

یکی از مفاهیم اساسی و سودمند در تعیین حدود مجاز تغییرات محیط‌زیستی که اکوسیستم‌ها را از حالت پایداری خارج ننماید، مفهوم ظرفیت برد (Carrying Capacity) است که با بکارگیری فنون و مفاهیم آن و رعایت آستانهٔ محاسبه شده برای هر اکوسیستم در طبیعت، می‌توان ضمن تداوم فعالیت‌های انسانی، پایداری عناصر اصلی اکوسیستم طبیعی را نیز تضمین نمود. ظرفیت برد حد بیشینهٔ بهره‌برداری از منابع تجدیدپذیر برای یک کاربری معین بدون بروز پس‌رفت یا تخریب غیرقابل بازگشت در یک مکان معین و در یک مقیاس زمانی غیرقابل برگشت در یک نسل است (Badhian *et al*., 2014). اصطلاح ظرفیت برد را همچنین می‌توان به سادگی به صورت زیر تعریف کرد: حداکثر جمعیتی که توسط یک اکوسیستم در طول مدت زمان پشتیبانی شود (Wu and Hu, 2020). همچنین ظرفیت برد می‌تواند به‌معنی"حداکثر فشار یا باری که یک سیستم به‌راحتی می‌تواند قبل از فروپاشی در برابر آن مقاومت کند" اطلاق شود. اگر این مقدار از مرز عبور کند، طبیعت با تحمیل فشار به‌صورت مقاومت در برابر افزایش بی‌رویهٔ جمعیت انسانی و فعالیت‌های آنها واکنش نشان می‌دهد. این فشارها می‌تواند به‌صورت اثرات تخریبی مانند سیل، خشکسالی، قحطی، رانش زمین و غیره نشان داده شوند (Taiwo and Feyisara, 2017). این مفهوم به‌عنوان یک ابزار قدرتمند برای برنامه‌ریزی و مدیریت منطقه‌ای و محیط‌زیستی به‌شمار می‌رود (Świąder *et al*., 2020). نظریهٔ ظرفیت برد به‌طور گسترده در برنامه‌ریزی و مدیریت محیط‌زیست استفاده شده است و نقش مهمی در مدیریت منابع محیط‌زیستی در مقیاس منطقه‌ای برای برنامه‌ریزی های مکانی داشته است (Feng *et al*., 2018). به‌عنوان مثال، Kov´acs و همکاران (۲۰۲۲) به بررسی پایداری محیط‌زیستی کلانشهر بوداپست در مجارستان برای توسعهٔ شهری براساس مفاهیم رد پای بوم‌شناختی و ظرفیت زیستی در دورهٔ زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۸ پرداختند و یافته‌های آنها نشان‌دهندهٔ افزایش سرانهٔ رد پای بوم‌شناختی این شهر و عدم تعادل آن با ظرفیت زیستی در دسترس در محدودهٔ این شهر بود. براساس نتایج ارزیابی ظرفیت برد منابع آب منطقه‌ای، Wang و همکاران (۲۰۱۳) و Yang و همکاران (۲۰۱۵) اظهار داشتند که رشد جمعیت سریع می‌تواند بحران‌های منابع آب را تشدید و در نتیجه رشد اقتصادی منطقه را محدود کند.

Galli و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای به ارزیابی رد پای بوم‌شناختی شش شهر کشور پرتغال با شرایط اقتصادی–اجتماعی و جمعیتی متفاوت در یک دورهٔ زمانی ۵ ساله (۲۰۱۶–۲۰۱۱) پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که رد پای بوم‌شناختی تمام شهرها بیشتر از ظرفیت زیستی آنها و همچنین ظرفیت زیستی متوسط کشوری بود که نشان‌دهندهٔ کسری زیستی آنها و مصرف بیش از حد منابع در دسترس بود. Guo و همکاران (۲۰۲۲) در تحقیقی به بررسی تغییرات سرانهٔ رد پای بوم‌شناختی و ظرفیت زیستی در استان کوینگای چین در دورهٔ زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۷ پرداختند. نتایج آنها نشان داد که سرانهٔ رد پای بوم‌شناختی به‌طور متوسط سالانه ۲/۳۸٪ افزایش یافته و ظرفیت زیستی هم افزایش محدود ۱۰ درصدی داشته است.

بحث ظرفیت برد و کاربرد آن در برنامه‌ریزی توسعهٔ کالبدی در ایران سابقه‌ای نزدیک به دو دهه دارد و در چندین مطالعه و طرح پژوهشی به مفهوم ظرفیت برد اشاره شده است. Miri Ghaleno و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی و مقایسهٔ ظرفیت زیستی و رد پای بوم‌شناختی شهرستان مشهد در سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۹۰ پرداختند که نتایج آنها نشان‌دهندهٔ کسری بوم‌شناختی ۲/۲ و ۲/۵ هکتار جهانی در این شهر در سال‌های مذکور بوده است. در پژوهش دیگری، Taghizadeh و Roshanas (۲۰۱۷) به ارزیابی پایداری محیط‌زیستی شهرستان گرگان با روش رد پای بوم‌شناختی براساس شاخص‌هایی همچون غذا، مواد زائد، حمل و نقل، و گرمایش

گازهای طبیعی پرداختند. نتایج نشان داد که رد پای بوم‌شناختی شهرستان گرگان ۱/۲۴ هکتار جهانی بوده است. Abediو Soltani Khamsa (۲۰۲۰) به برآورد میزان رد پای بوم‌شناختی در بخش انرژی و آب مصرفی در بخش خانوار شهر تهران پرداختند و نشان دادند که کسری بوم‌شناختی این بخش بیش از ۴ میلیون هکتار به‌دلیل مصرف بی‌رویهٔ انرژی و آب است. Rahnama و Hosseini (۲۰۲۱) روش رد پای بوم‌شناختی را به‌منظور ارزیابی وضعیت پایداری در شهرستان اهواز مورد استفاده قرار دادند که نتایج آنها حاکی از آن بود که سرانهٔ رد پای بوم‌شناختی این شهرستان ۱/۴ و سرانهٔ ظرفیت زیستی را ۰/۴۰۶ آن است.

مطالعات گذشته عمدتاً در مقیاس شهری صورت گرفته است درحالی‌که پژوهش حاضر در مقیاس منطقه‌ای و استانی برای مجموعه‌ای از شهرستان‌ها (۲۹ شهرستان) است. این نکته نه تنها امکان کاربرد نتایج را در سطح کلان منطقه‌ای در قالب طرح‌های آمایش سرزمین و توسعهٔ پایدار شمال شرق کشور و استان خراسان رضوی تسهیل می‌کند، بلکه در مقیاس کوچکتر شهرستان امکان برهمکنش و مقایسهٔ توازن میان رد پای بوم‌شناختی و ظرفیت زیستی را به‌منظور برنامه‌ریزی برای تعریف بار قابل تحمل اکوسیستمی فراهم می‌کند. در پژوهش حاضر برخلاف مطالعات گذشته، سعی شد تا حد امکان از شاخص‌های بیشتری برای برآورد میزان ردپای بوم‌شناختی (شاخص رد پای بوم‌شناختی محصولات پروتئینی آبزیان در کنار سایر شاخص‌ها) استفاده شود.

هدف پژوهش حاضر: ۱) ارزیابی رد پای بوم‌شناختی استان خراسان رضوی با بررسی شاخص‌های رد پای کربن، میزان ترسیب کربن، رد پای محصولات (کشاورزی، باغی، پروتئینی و آبزیان) در شهرستان‌های مختلف استان، ۲) بررسی میزان ظرفیت زیستی شهرستان‌های مختلف استان براساس کاربری‌های اراضی و ۳) ارزیابی برهمکنش بین رد پای بوم‌شناختی و ظرفیت زیستی به‌منظور تحلیل میزان پایداری بوم‌شناختی و بار قابل تحمل اکوسیستمی در بخش‌های مختلف استان است. یافته‌های این تحقیق می‌تواند اطلاعات لازم را برای مطالعات آمایش سرزمین و طرح‌های مکان‌یابی توسعه در جهت توسعهٔ پایدار استان و رفع عدم تعادل‌های منطقه‌ای و استفاده از همهٔ قابلیت‌های سرزمینی فراهم نماید.

روش‌شناسی پژوهش

منطقهٔ مطالعاتی: استان خراسان رضوی به‌عنوان پهناورترین استان شمال شرق کشور با حدود ۷ درصد از مساحت کشور با وجود دارا بودن ویژگی‌های خاص توپوگرافی و اقلیمی، وجود مناطق کویری از تنوع زیستی قابل توجهی برخوردار است. این استان شامل چهار حوزهٔ آبریز اترک، قره‌قوم، کویر مرکزی و شرق ایران است. جمعیت خراسان رضوی براساس آمار سرشماری عمومی نفوس و مسکن (۱۳۹۵)، برابر ۶۴۳۴۵۰۱ نفر است که دومین استان ایران از نظر جمعیت محسوب می‌شود. شهر مشهد که مرکز خراسان رضوی است، بزرگترین شهر این استان نیز به‌شمار می‌رود که جمعیت آن، ۳۰۰۱۱۸۴ نفر (معادل۴۶/۱ درصد جمعیت استان) می‌باشد (Statistical Center of Iran, 2016). این استان با چالش‌های محیط‌زیستی فراوانی از جمله تخلیهٔ تدریجی منابع آبی دشت‌های استان، تمرکز گرایی جمعیت و فعالیت‌ها، بهره‌وری پایین فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی، به‌همراه مخاطرات طبیعی از جمله خشکسالی و آسیب‌پذیری منابع طبیعی رو به‌رو است (Khorasan Razavi General Department of Environmental Protection, 2018). با این وجود، هنوز برنامه‌ریزی آمایش سرزمین در این استان اجرایی نگردیده است.

به‌منظور ارزیابی رد پای بوم‌شناختی در استان خراسان رضوی، ابتدا به‌صورت جداگانه به ارزیابی رد پای کربن، رد پای بوم‌شناختی محصولات کشاورزی، باغی، پروتئینی، آبزیان و مقایسهٔ آنها و در نهایت جمع‌بندی و تلفیق آنها به‌منظور ارزیابی رد پای بوم‌شناختی کل در شهرستان‌های استان خراسان رضوی پرداخته شد. در مرحلهٔ بعد، با محاسبهٔ میزان ظرفیت زیستی در شهرستان‌های استان، تحلیل و مقایسهٔ آن با رد پای بوم‌شناختی در سطح استان صورت گرفت. در بخش‌های زیر جزئیات بیشتری از نحوهٔ محاسبهٔ هر کدام از موارد فوق ارائه شده است:

محاسبهٔ میزان انتشار و ترسیب کربن: به‌منظور ارزیابی رد پای کربن، ابتدا به توصیف نحوهٔ محاسبهٔ میزان انتشار دی‌اکسید کربن در شهرستان‌های مختلف استان خراسان رضوی پرداخته شد. به این منظور، ابتدا مقدار دی‌اکسید کربن حاصل از مصرف حامل‌های انرژی از جمله مصرف برق و گاز محاسبه گردید. مقادیر عددی میزان مصرف برق و گاز شهری و روستایی در شهرستان‌های مختلف از طریق آمار نامه‌های مختلف استان خراسان رضوی در سال ۱۳۹۷ استخراج گردید و سپس میزان دی‌اکسید

کربن منتشر شده به‌ازای میزان مصرف برق و گاز شهری و روستایی محاسبه شد.

محاسبهٔ رد پای بوم‌شناختی: برای محاسبهٔ ردپای بوم‌شناختی در مورد کربن و انواع محصولات از رابطهٔ زیر استفاده شد (Global Footprint Network, 2021).

$$EF = P / Y_n * YF * EQF$$

EF: رد پای بوم‌شناختی، P: میزان محصول به‌دست آمده یا پسماند به‌جا مانده (بر حسب تن)، Y_n: متوسط بازدهٔ استانی برای تولید یا جذب پسماند (تن بر هکتار)، YF: ضریب بازدهٔ ملی برای تولید یا جذب پسماند (که به‌علت موجود نبودن این ضریب برای ایران از ضریب جهانی و برابر یک استفاده شده است) و EQF: ضریب معادل برای کربن و نوع کاربری اراضی عمده‌ای که در تولید محصول بکار رفته است.

محاسبهٔ رد پای کربن: برای محاسبهٔ متوسط بازدهٔ استانی (Y_n در فرمول فوق)، میزان ترسیب کربن در کل استان بر مساحت زمین‌هایی که پتانسیل جذب کربن دارند، تقسیم شد و عدد ۳/۵۰ تن در هکتار به‌دست آمد. ضریب معادل کربن نیز ۱/۲۸ است. بنابراین رد پای کربن برای هر شهرستان براساس رابطهٔ زیر محاسبه شد:

Y_n =39,057,118.9 tone C sequestration / 11,144,867.67 hec Khorasan Razavi = 3.50 ton/hec

EQF= 1.28, EF= Co2 Emission / Y_n * 1.28

رد پای محصولات کشاورزی و باغی: برای محاسبهٔ رد پای محصولات کشاورزی، ابتدا میزان کل تولید محصولات کشاورزی در کل استان در سال ۱۳۹۷ مورد محاسبه قرار گرفت که برابر با ۵،۱۵۸،۱۶۳ تن بوده است. همچنین میزان مساحت اراضی کشاورزی استان نیز برابر با ۵۳۴،۵۱۵ هکتار بوده است. بر این اساس، متوسط بازدهٔ استانی این محصولات ۹/۶۵ تن در هکتار بوده است. برای محاسبهٔ رد پای محصولات باغی، ابتدا میزان کل تولید محصولات باغی در کل استان محاسبه گردید که این میزان در سال ۱۳۹۷ در استان خراسان رضوی برابر با ۹۵۸،۳۵۳ تن بوده است. میزان مساحت اراضی زیر کشت این نوع محصولات نیز برابر با ۳۴۰،۹۱۲ هکتار بوده است که بازدهٔ متوسط استان از جهت محصولات باغی ۲/۸۱ تن در هکتار برآورد می‌گردد. رد پای این محصولات به روش‌های زیر محاسبه گردید.

رد پای محصولات کشاورزی مقدار تولید مصولات کشاورزی = ۵،۱۵۸،۱۶۳ تن =P

Y_n= 5,158,163 tone / 534515 hec Agriculture land = 9.65 ton/hec EQF = 2.5, EF = P/ Y_n* EQF

رد پای محصولات باغی مقدار تولید محصولات باغی در استان = ۹۵۸،۳۵۳ تن =P

Y_n= 958,353 tone / 340,912 hec = 2.81 ton/hec

EQF= 2.5, EF = P/ Y_n * EQF

رد پای محصولات پروتئینی: ابتدا بازدهٔ تولید محصولات پروتئینی در کل استان محاسبه شد. در سال ۱۳۹۷ میزان تولیدات محصولات پروتئینی در استان خراسان رضوی برابر با ۱،۴۲۳،۳۹۰ تن و میزان مساحت مراتع نیز برابر با ۶،۶۰۳،۹۳۴/۵۸ هکتار بوده است. بر این اساس، بازدهٔ تولید این نوع محصولات ۰/۲۲ تن در هکتار است.

رد پای محصولات پروتئینی مقدار تولید فرآورده‌های پروتئینی در استان = ۱،۴۲۳،۳۹۰ تن =P

Y_n= 1,423,390 tone / 6,603,934.58 Hec = 0.22 ton/hec

EQF= 0.46, EF = P / Y_n * EQF

برای محاسبهٔ رد پای محصولات پروتئینی مربوط به آبزیان، ابتدا بازدهٔ تولید این محصولات در کل استان محاسبه شد. در سال ۱۳۹۷ میزان تولیدات این محصولات پروتئینی در استان خراسان رضوی برابر با ۱۰،۱۵۰ تن در سطحی معادل ۳،۲۶۶/۳۸ هکتار بوده است بنابراین بازدهٔ متوسط استانی مربوط به آن ۳/۱۱ تن در هکتار است. با توجه به رابطهٔ زیر رد پای بوم‌شناختی تولید آبزیان محاسبه گردید.

رد پای محصولات پروتئینی (آبزیان) مقدار تولید آبزیان در استان =۱۰،۱۵۰ تن =P

Y_n= 10,150 tone / 3,266.38 hec = 3.11 ton/hec

EQF= 0.37, EF = P/ Y_n * EQF

محاسبهٔ ظرفیت زیستی: ظرفیت زیستی به پتانسیل زیستی یک منطقه برای تأمین منابع تجدیدپذیر و جذب پسماندهای تولید شده آن منطقه اشاره دارد. به‌عبارت دیگر، ظرفیت زیستی مفید بر حسب هکتار جهانی برای هر شخص بیان می‌شود. بنابراین به جمعیت انسانی بستگی دارد. هکتار جهانی واحد تعدیل شده‌ای است که میانگین بهره‌وری زیستی تمام سرزمین‌های با قابلیت تولید

روی زمین در یک سال مشخص را نشان می‌دهد. رابطهٔ زیر برای محاسبهٔ ظرفیت زیستی شهرستان‌های مختلف استان خراسان رضوی استفاده شده است (Global Footprint Network, 2021) (شکل ۴ الف).

$$BC= A * YF * EQF$$

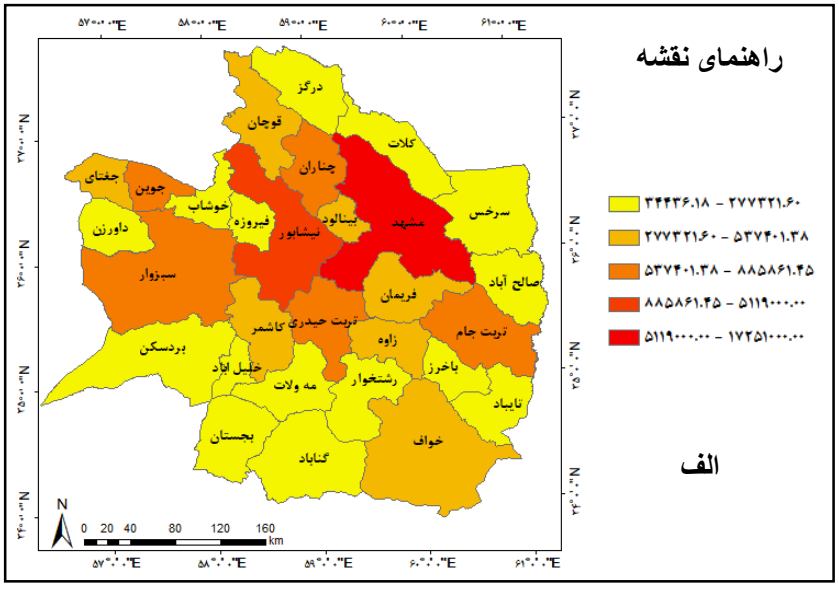
BC: ظرفیت زیستی، A: مساحت کاربری مورد نظر، YF: ضریب بازدهٔ ملی است که به‌علت موجود نبودن این ضریب برای ایران از ضریب جهانی و برابر یک استفاده شده است و EQF: ضریب معادل کاربری‌های مختلف در شهرستان‌های استان. ضریب معادل اراضی کشت شده و ساخته شده ۲/۵، جنگلی ۱/۲۸، مرتعی ۰/۴۶، و مزارع پرورش ماهی ۰/۳۷ است.

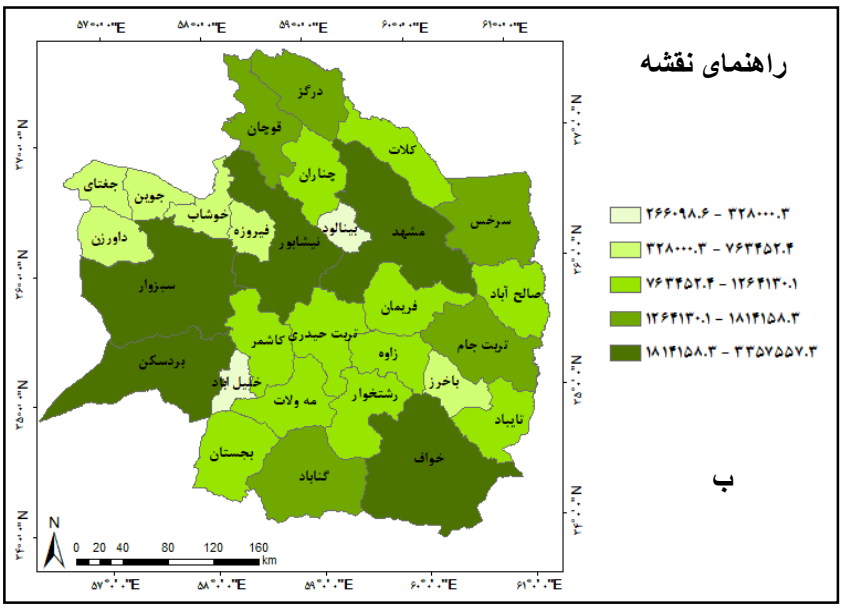
یافته‌های پژوهش

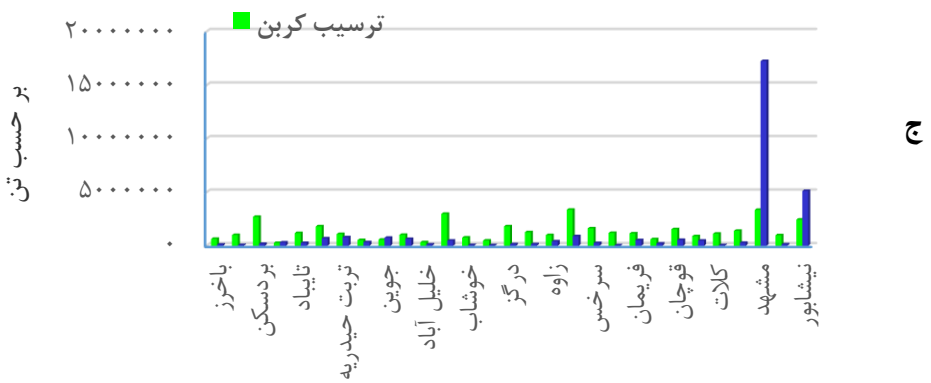
نتایج نشان داد بیشترین میزان انتشار دی‌اکسید کربن در مرحلهٔ اول مربوط به شهرستان‌های مرکزی استان به‌ویژه مشهد به‌عنوان مرکز استان و شهرستان نیشابور در محدودهٔ ۵ تا ۱۷ میلیون تن می‌باشد که نشان‌دهندهٔ مصرف بالای حامل‌های انرژی در این شهرستان‌ها نسبت به مناطق دیگر است. بعد از این مناطق، شهرستان‌های واقع در غرب و شرق استان، به‌ویژه شهرستان سبزوار با انتشار حدود ۹۰۰ هزار تن و شهرستان تربت جام با انتشار حدود ۸۰۰ هزار تن دی‌اکسید کربن بالاترین میزان انتشار را دارند. کمترین میزان انتشار دی‌اکسید کربن نیز در شهرستان کلات با حدود ۴۳ هزار تن مشاهده شد. به‌منظور محاسبهٔ متوسط مقدار ترسیب کربن در شهرستان‌های مختلف استان، مقدار متوسط ترسیب کربن برای هر یک از کاربری‌های کلان براساس منابع موجود در مساحت کاربری‌های هر شهرستان ضرب گردید و از مجموع ترسیب کربن صورت گرفته توسط کابری‌های مختلف، میزان متوسط ترسیب کربن در هر شهرستان محاسبه گردید. ترسیب کربن در شهرستان‌های مرکزی، غربی و جنوبی استان بالاترین مقدار را نسبت به مناطق دیگر استان دارند. شهرستان مشهد به‌عنوان مرکز استان و شهرستان سبزوار با حدود ۳،۳۰۰،۰۰۰ تن و سپس شهرستان خواف با حدود ۳،۰۰۰،۰۰۰ تن و شهرستان بردسکن با حدود ۲،۶۰۰،۰۰۰ تن بیشترین میزان ترسیب کربن را در مقایسه با شهرستان‌های دیگر استان دارند. میزان بالای ترسیب کربن در شهرستان‌های مشهد و سبزوار به‌دلیل مساحت بالای جنگل‌ها، کشتزارها و باغات است که نقش مهمی در جذب دی‌اکسید کربن ایفا می‌نمایند. حدود ۲۶ هزار کیلومتر مربع جنگل و ۴۲۰ هزار کیلومتر مربع کشتزار و باغ در شهرستان مشهد قرار دارد و این مقادیر برای شهرستان سبزوار در حدود ۱۳۷ هزار کیلومتر مربع جنگل و ۲۲۰ هزار کیلومتر مربع کشتزار و باغ است. کمترین مقدار ترسیب کربن هم متعلق به شهرستان بینالود به میزان حدود ۲۷۰ هزار تن است. در اغلب شهرستان‌ها به‌جز مشهد، نیشابور و جوین، میزان ترسیب کربن از انتشار آن بیشتر است، به‌طوری که بیشترین اختلاف بین میزان ترسیب و انتشار دی‌اکسید کربن متعلق به شهرستان صالح‌آباد و کلات بود که میزان ترسیب کربن در آنها حدود ۳۴ و ۲۵ برابر انتشار آن است. در شهرستان‌های مشهد و نیشابور مشاهده می‌شود که میزان انتشار دی‌اکسید کربن حدود ۵ و ۲ برابر ترسیب کربن بوده است (شکل ۱ ج). بیشترین رد پای کربن را شهرستان مشهد با حدود ۶ میلیون و ۳۰۰ هزار هکتار جهانی و شهرستان نیشابور با حدود ۱ میلیون و ۸۰۰ هزار هکتار جهانی و کمترین آن را شهرستان صالح‌آباد و کلات به‌ترتیب با حدود ۱۲ هزار و ۶۰۰ و ۱۵ هزار و ۹۰۰ هکتار جهانی دارا هستند (شکل ۳ الف).

مجموع رد پای کربن کل استان خراسان رضوی برابر با ۱۱،۴۱۴،۳۰۲/۲۴ است. این نکته بیانگر این است که استان خراسان رضوی برای کاستن اثرات گلخانه‌ای ناشی از انتشار دی‌اکسید کربن به این میزان هکتار جهانی زمین با پتانسیل جذب نیاز دارد. این در حالی است که کل مساحت زمین در دسترس در استان که پتانسیل جذب کربن را دارا باشد، ۱۱،۱۴۴،۸۶۷/۶۷ هکتار است. در نتیجه استان خراسان رضوی برای حذف رد پای کربن تولید شده به‌واسطهٔ مصارف و فعالیت‌های انسانی به‌حدود ۱/۰۲ برابر زمین فعلی یعنی به مساحت تقریبی موجود در استان با قابلیت جذب کربن نیازمند است.

شهرستان مشهد بالاترین رد پا را از لحاظ محصولات کشاورزی و شهرستان نیشابور بالاترین رد پا را از نظر محصولات پروتئینی دارند. شهرستان‌های چناران و تربت جام نیز از لحاظ رد پای مربوط به محصولات کشاورزی و پروتئینی در رده‌های بعدی قرار دارند. کمترین میزان رد پای محصولات نیز مربوط شهرستان‌های بینالود برای محصولات کشاورزی و صالح‌آباد برای محصولات پروتئینی است (شکل ۲).

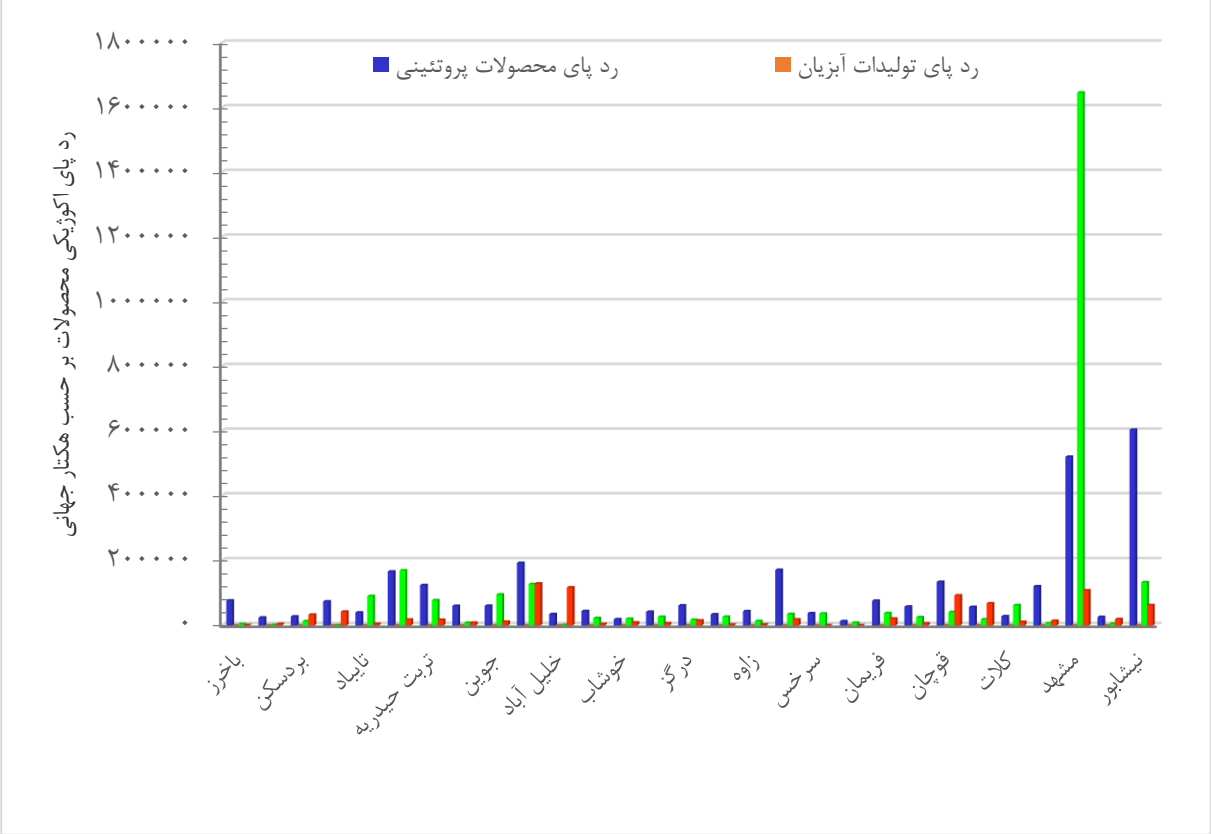






ج

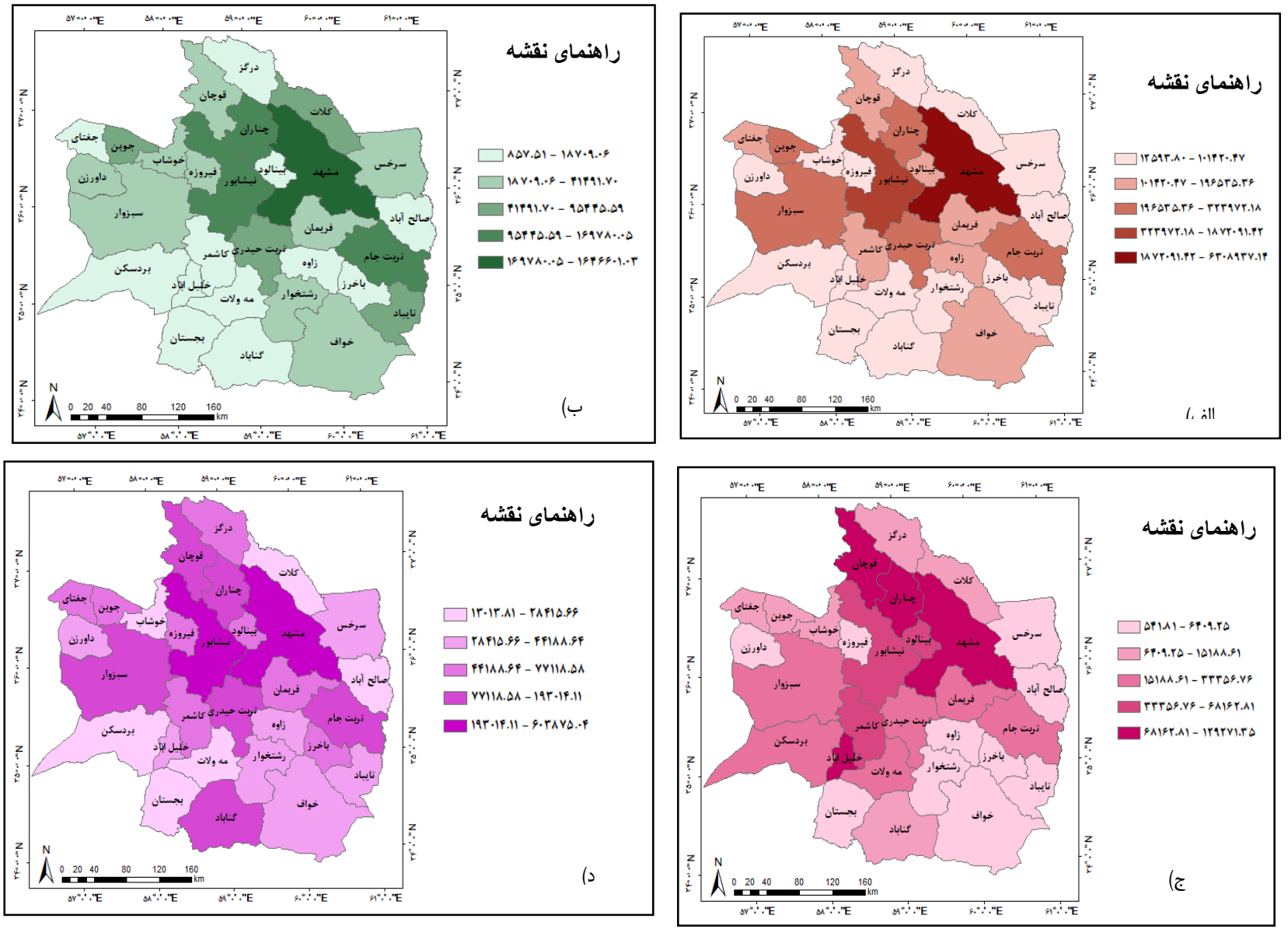
شکل ۱- الف): نقشهٔ انتشار دی‌اکسید کربن به تفکیک شهرستان‌های مختلف، ب): نقشهٔ ترسیب کربن به تفکیک شهرستان‌های مختلف، و ج): میزان انتشار دی‌اکسید کربن و ترسیب کربن بر حسب شهرستان‌های مختلف



شکل ۲- میزان رد پای محصولات کشاورزی، باغی و پروتئینی به تفکیک شهرستان‌ها (هکتار جهانی)

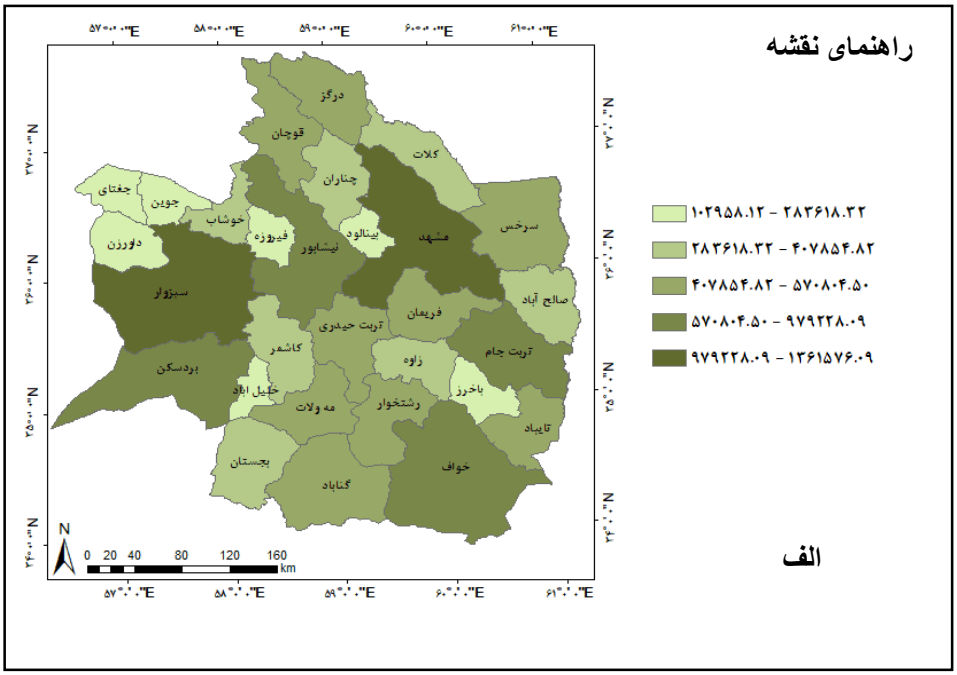
شهرستان مشهد بیشترین میزان تولید محصولات کشاورزی را در سطح استان در سال ۱۳۹۷ با میزان ۶،۳۵۵،۸۸۰ تن داشته است و با این میزان تولید، بالاترین رد پای این گونه محصولات را در سطح استان به‌خود اختصاص داده است. شهرستان نیشابور نیز با بالاترین میزان تولید محصولات پروتئیتی در استان در سال ۱۳۹۷ (۲۸۸،۸۱۰ تن) بالاترین میزان رد پا را در ارتباط با این محصولات به‌خود اختصاص داده است (شکل ۲). شهرستان بینالود با ۳،۳۱۰ تن تولید محصولات کشاورزی آبی و دیم کمترین میزان تولید را در سال ۱۳۹۷ در بین شهرستان‌های استان داشته است که منجر دارا بودن کمترین رد پای این محصولات برای این شهرستان شده است. شهرستان صالح‌آباد نیز کمترین میزان تولید محصولات پروتئینی (۶،۲۲۴ تن) را در سال ۱۳۹۷ دارا بوده است بنابراین رد پای این محصولات در این شهرستان در مقایسه با شهرستان‌های دیگر کمتر بود (شکل ۲).

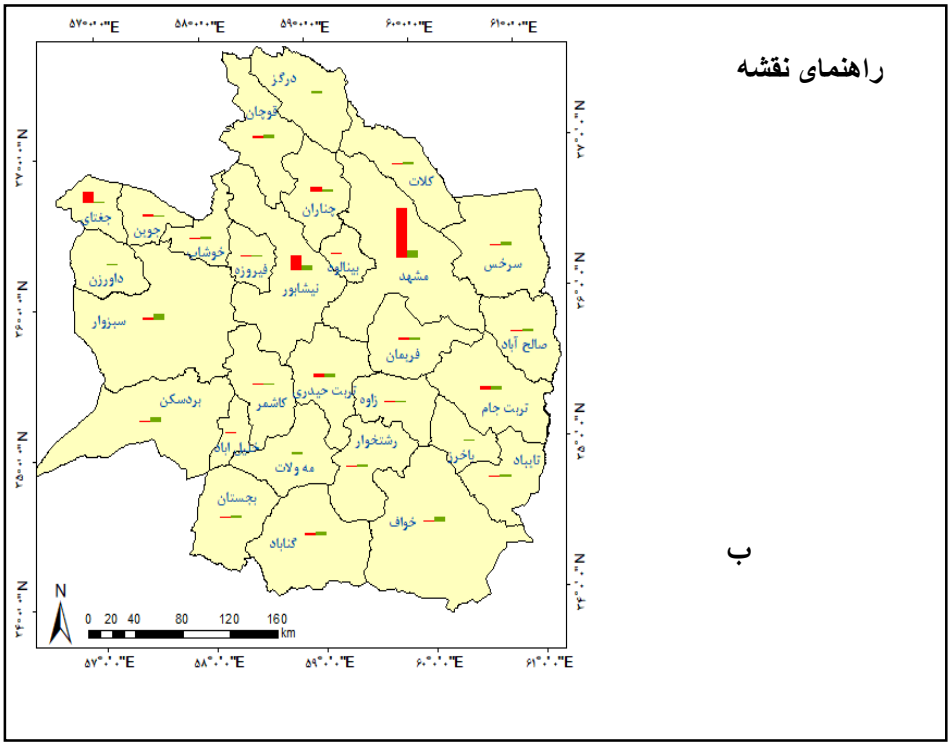
نکتهٔ قابل توجه دیگر تفاوت بازدهی تولید انواع محصولات در استان است که در محاسبهٔ میزان رد پای مربوط به انواع محصولات نقش کلیدی دارد. با توجه به رابطه‌هایی که برای محاسبهٔ رد پای انواع محصولات در بخش‌های قبل ذکر شد، مشخص گردید که بازدهی متوسط مربوط به تولید محصولات پروتئینی ۰/۲۲، محصولات باغی ۲/۸۱، آبزیان ۳/۱۱ و محصولات کشاورزی ۹/۴۵ در سطح استان است. به‌دلیل پایین بودن بازدهی مربوط به محصولات پروتئینی نسبت به سایر محصولات به‌ویژه محصولات کشاورزی در برخی شهرستان‌ها به‌عنوان مثال، شهرستان نیشابور، ملاحظه می‌شود که با وجود میزان تولید کمتر محصولات پروتئینی (۲۸۸،۸۱۰ تن) نسبت به میزان تولید محصولات کشاورزی (۵۱۴،۵۴۰ تن)، رد پای بوم‌شناختی محصولات پروتئینی (۶۰۳،۸۷۵/۴۵) در این شهرستان به‌مراتب از رد پای مربوط به محصولات کشاورزی (۱۳۳،۳۰۰/۵) بالاتر است. به‌عبارت دیگر، شهرستان نیشابور با تولید محصولات پروتئینی شهرستان نیشابور با میزانی برابر با کمی بیش از نصف میزان تولید محصولات کشاورزی، در حدود ۴/۵ برابر این محصولات رد پای بوم‌شناختی ایجاد کرده است (شکل ۳ ب، ج و د). در مورد شهرستان مشهد نیز به‌عنوان مثال مشاهده می‌شود که میزان تولید محصولات کشاورزی حدود ۲۵ برابر میزان تولید محصولات پروتئینی است ولی میزان رد پای بوم‌شناختی مربوط به آن تنها ۳ برابر رد پای بوم‌شناختی محصولات پروتئینی بوده و این مسئله به بازدهی پایین محصولات پروتئینی در استان و استفادهٔ نامناسب از مراتع در این استان اشاره دارد.

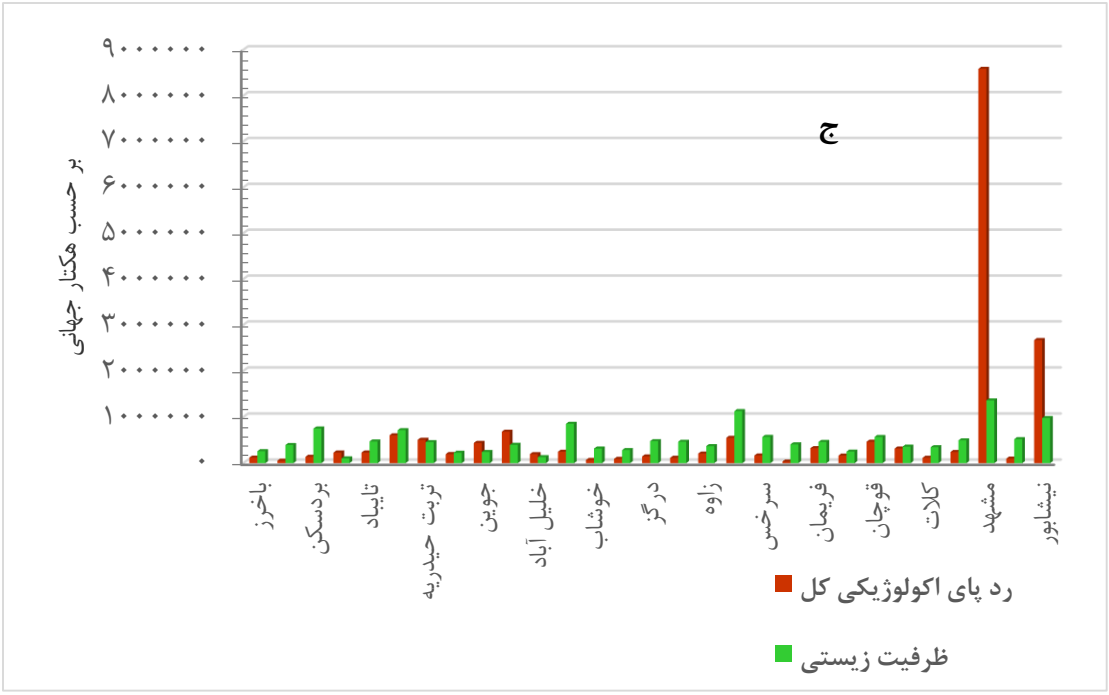


شکل ۳- الف) نقشهٔ رد پای کربن، ب) نقشهٔ رد پای بوم‌شناختی محصولات کشاورزی، ج) نقشهٔ رد پای بوم‌شناختی محصولات باغی و د) و محصولات پروتئینی به تفکیک شهرستان‌ها

مقایسه و تحلیل برهمکنش ظرفیت زیستی و رد پای بوم‌شناختی در شهرستان‌های مختلف استان: رد پای بوم‌شناختی کل از مجموع رد پای کربن، محصولات پروتئینی و آبزیان، کشاورزی و باغی و سرانهٔ مربوط به آن در شهرستان‌های مختلف استان محاسبه گردید. میزان تفاوت رد پای کل و ظرفیت زیستی، اکوسیستم‌های شهرستان‌ها را برای جذب پسماندها و آلودگی‌های تولید شده به‌خوبی نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که تفاوت میزان رد پای بوم‌شناختی کل در شهرستان مشهد بیشترین مقدار است و سپس شهرستان‌های نیشابور و چناران در رتبه‌های بعدی قرار دارند (شکل ۴ ب و ۴ ج).







شکل ٤- الف) نقشهٔ ظرفیت زیستی شهرستان‌های استان بر حسب هکتار جهانی، ب) نقشهٔ مقایسهٔ رد پای کل و ظرفیت زیستی کل در استان، و ج) میزان تفاوت رد پای کل و ظرفیت زیستی شهرستان‌های استان

بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه، رد پای بوم‌شناختی کل و ظرفیت زیستی استان خراسان رضوی به تفکیک شهرستان‌های مختلف مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفتند. به‌منظور ارزیابی رد پای بوم‌شناختی کل در استان، میزان رد پای کربن، رد پای مربوط به محصولات کشاورزی و پروتئینی تولید شده در شهرستان‌های مختلف استان محاسبه و مورد جمع‌بندی قرار گرفتند. نتایج این مطالعه نشان داد که میزان رد پای بوم‌شناختی کل از ظرفیت زیستی بیشتر است که نشان‌دهندهٔ عدم تعادل بوم‌شناختی استان بوده و استان خراسان رضوی برای کاستن رد پای بوم‌شناختی جمعیت ساکن در خود، به مساحتی در حدود ۱/۲۵ برابر خود نیازمند است. یافته‌ها همچنین نشان داد که میزان سرانهٔ رد پای بوم‌شناختی در استان خراسان رضوی ۲/۷۸ و سرانهٔ ظرفیت زیستی آن ۲/۲۲ بوده است. مقایسهٔ این نتایج با مقادیر متوسط کل ایران (Global Footprint Network, 2023) نشان می‌دهد که میزان سرانهٔ رد پای بوم‌شناختی استان از متوسط رد پای بوم‌شناختی ایران (۳/۲) کمتر و میزانهٔ سرانهٔ زیستی استان از مقدار متوسط سرانهٔ زیستی مربوط به ایران (۰/۸) بیشتر است.

با بررسی میزان رد پای بوم‌شناختی کل در شهرستان‌های استان مشخص می‌گردد که شهرستان‌های واقع در بخش مرکزی استان از قبیل مشهد و نیشابور بالاترین میزان رد پای بوم‌شناختی کل را به‌خود اختصاص داده‌اند. از لحاظ میزان سرانهٔ رد پای بوم‌شناختی، شهرستان جوین و نیشابور بالاترین میزان سرانهٔ رد پا را دارا هستند (۸/۰۶ و ۵/۹۱) و این بدین‌معنی است که میزان کربن تولید شده به‌واسطهٔ تولیدات این شهرستان به‌ازای هر فرد از جمعیت ساکن در آنها بیشتر از سایر شهرستان‌های استان است. بخش عظیمی از میزان رد پای بوم‌شناختی کل در شهرستان جوین مربوط به بازدهٔ کم تولید محصولات کشاورزی است و در نیشابور اختصاص به رد پای بوم‌شناختی مربوط به تولید محصولات پروتئینی دارد. آمار مربوط به تولید محصولات دامی و پروتئینی نشان می‌دهد که این شهرستان با بالاترین میزان تولید محصولات پروتئینی به‌عنوان قطب تولید این محصولات در سال ۱۳۹۷ به‌شمار می‌رود.

نتایج محاسبهٔ ظرفیت زیستی نشان می‌دهد که ظرفیت زیستی شهرستان‌های واقع در مرکز، شرق و غرب استان، به‌ویژه شهرستان‌های مشهد، نیشابور، سبزوار و خواف دارای بالاترین ظرفیت زیستی هستند. این در حالی است که شهرستان‌های واقع در مرکز استان به‌ویژه شهرستان مشهد با بالاترین میزان ظرفیت زیستی دارای پایین‌ترین میزان سرانهٔ ظرفیت زیستی (۰/۴)، یعنی

سهم زمین متعلق به هر فرد ساکن در آن برای تأمین نیازهای اساسی او، است که این مسئله به‌دلیل جمعیت بالای ساکن در مشهد به‌عنوان مرکز استان قابل توجیه است. اما در مورد شهرستان‌های مرکزی دیگری که سرانهٔ ظرفیت زیستی کمی دارند (کمتر از ۱/۴۷) مانند بینالود، تربت حیدریه و کاشمر می‌توان به‌دلایلی از قبیل کم بودن ظرفیت زیستی آنها و دارا بودن مساحت کم کشتزار، باغ و جنگل به‌عنوان زمین‌های تأمین کنندهٔ نیازهای اساسی جامعهٔ ساکن اشاره کرد.

در تحقیق Miri Ghaleno و همکاران (۲۰۱۷) سرانهٔ رد پای بوم‌شناختی شهرستان مشهد در سال۱۳۹۰، ۲/۶۷ و سرانهٔ ظرفیت زیستی ۰/۵ گزارش شد. این مقادیر در مقایسه با نتایج تحقیق حاضر در مورد این شهر که به‌ترتیب ۲/۵۴ و ۰/۴ است تا حدود زیادی همخوانی دارد. در مورد مقایسهٔ نتایج با سایر پژوهش‌ها که در مورد کلانشهرها یا مراکز استان‌ها در ایران صورت گرفته می‌توان به‌عنوان به پژوهش Sasanpour و همکاران (۲۰۱۶) اشاره کرد که با بررسی توسعهٔ پایدار شهرستان اصفهان براساس رویکرد رد پای بوم‌شناختی نشان دادند که این شهرستان دارای سرانهٔ ظرفیت زیستی ۰/۴۳ و رد پای بوم‌شناختی ۲/۴۰ هکتار جهانی است. این مقادیر در مقایسه با رد پای بوم‌شناختی (۲/۵۴) و ظرفیت زیستی (۰/۴۰) کلانشهر مشهد در تحقیق حاضر تا حدود زیادی همخوانی دارد. رد پای بوم‌شناختی شهرستان گرگان در تحقیق Taghizadeh و Roshanas (۲۰۱۸) ۱/۲۴ هکتار جهانی بوده که در مقایسه با شهرستان مشهد در تحقیق حاضر کمتر است. مقایسهٔ نتایج شهرستان مشهد با نتایج Rahnama و Hosseini (۲۰۲۱) که سرانهٔ رد پای بوم‌شناختی شهرستان اهواز را ۱/۴ و سرانهٔ ظرفیت زیستی را ۰/۴۰۶ گزارش کردند، نشان می‌دهد که با وجود برابری تقریبی ظرفیت زیستی این دو مرکز استان، رد پای بوم‌شناختی مشهد تقریباً ۱/۸ برابر شهر اهواز است که می‌تواند به دلیل تمرکز جمعیت انسانی بیشتر و فعالیت‌های صنعتی وابسته به آن در این شهر باشد.

با توجه به بالاتر بودن میزان رد پای بوم‌شناختی نسبت به ظرفیت زیستی در استان خراسان رضوی، در صورت ادامهٔ روند کنونی مصرف، محیط طبیعی دیگر قادر به تأمین نیازهای جمعیت نبوده و منطقهٔ پشتیبان بزرگتری برای رفع این نیازها لازم خواهد داشت. براساس نتایج این تحقیق، به‌طور کلی می‌توان بیان کرد که به‌منظور به تعادل رساندن میزان رد پای بوم‌شناختی و ظرفیت زیستی در سطح استان راهکارهای مختلفی می‌تواند پیش روی مسئولین و برنامه‌ریزان استانی باشد. بخش اول راهکارها مربوط به کاهش میزان رد پای بوم‌شناختی به‌ویژه در شهرستان‌های دارای بالاترین میزان رد پای بوم‌شناختی به‌ازای تولید محصولات است. این مطالعه نشان می‌دهد که بازدهی پایین تولید محصولات پروتئینی یکی از عمده‌ترین دلایل بالا بودن میزان رد پای بوم‌شناختی کل شهرستان‌هایی از قبیل نیشابور و مشهد است. به‌همین دلیل، راهکارهایی از قبیل افزایش میزان بهره‌وری از طریق کاهش میزان زائدات، کاهش یا تعدیل تقاضا مناسب خواهد بود. همچنین با برنامه‌ریزی و بسترسازی لازم، انتقال بخشی از این تولیدات می‌تواند از شهرستان‌های همجوار که میزان رد پای بوم‌شناختی کمتری نسبت به ظرفیت زیستی خود دارند، انجام گیرد. این روش می‌تواند از فشار بر اکوسیستم‌های شهرستان‌های کم بازده برای جذب پسماند و آلودگی تولید شده از محصولات پروتئینی با بازدهی پایین بکاهد. برخی راهکارها از قبیل کاهش تراکم دام در مراتع، محدود کردن فصل چرای دام در مراتع، استفاه از علوفهٔ خشک و خوراک دام در فصولی که کمیت و کیفیت علوفه مراتع مطلوب نیست، می‌توانند تا حدی فشار رد پای بوم‌شناختی را کاهش دهند. راهکار دیگر کشت گیاهان علوفه‌ای (شبدر و یونجه) جهت خوراک مورد نیاز دام است که توسط دامداران و کشاورزان صورت گیرد تا از فشار بوم‌شناختی بر مراتع طبیعی کاسته شود. حمایت‌های مالی و تشویقی دولت‌ها از دامداران جهت تأمین خوراک دام ارزان‌قیمت می‌تواند راهکار دیگری برای کاهش فشار دام بر مراتع استان باشد. برنامه‌ریزی برای حمایت از تولیدات داخلی دامداران استان از طریق اعطای وام‌های کم سود جهت تجمیع دام‌ها در محیط‌های کوچک و صنعتی و تغییر رویکرد از دامداری در مراتع به دامپروری در دامداری‌های صنعتی با خوراک آماده و ارزان‌قیمت می‌واند میزان بهره‌وری را در سرزمین افزایش دهد. در بخش کشاورزی استان نیز با همکاری دو جانبه بین دولت‌ها و کشاورزان می‌تواند منجر به استفادهٔ بهینه از خاک و زمین کشاورزی، منابع آب و آبیاری، کاهش مصرف کود و سموم و تغییر الگوی کشت محصولات کشاورزی مناسب با مناطق خشک گردد و در نتیجه از فشار رد پای بوم‌شناختی بکاهد. توسعهٔ تکنولوژی و استفاده از روش‌های نوین کاشت، داشت و برداشت در کشاورزی همچنین استفاده از تکنولوژی‌های فرآوری محصولات دامی و کشاورزی می‌توانند میزان هدردهی محصولات را کاهش دهند و در نتیجه با افزایش بهره‌وری، کارایی تولید را افزایش دهند و سبب کاهش فشار بوم‌شناختی گردند.

در بخش ظرفیت زیستی استان نیز توجه به حفاظت و احیای منابع طبیعی و محیط‌زیست در سطح استان باید مورد توجه قرار گیرد. حفاظت و احیای آب و خاک، مراتع، درختزارها، جنگ‌ها، اکوسیستم‌های آبی و رودخانه‌ای به‌عنوان منابع تولید در کشاورزی و دامداری باید بیش از پیش مورد توجه قرار گیرند. سازمان‌های محیط‌زیست، منابع طبیعی، آبخیزداری و منابع آب، وزارت کشاورزی، وزارت نیرو و سایر ارگان‌های وابسته باید در حفظ و احیای سرزمین به‌صورت علمی و عملی اقدام نمایند تا سبب بهبود شرایط زیستی سرزمینی در استان گردند.

نتایج پژوهش حاضر می‌تواند اطلاعات مفیدی را برای طرح‌های آمایش سرزمین و مکان‌یابی انواع توسعه در استان خراسان رضوی فراهم آورد. بدین‌صورت که با ارزیابی و مقایسهٔ توان بوم‌شناختی استان با نتایج میزان ظرفیت زیستی و رد پای بوم‌شناختی در بخش‌های مختلف استان، امکان شناسایی مکان‌های مناسب برای بارگذاری جمعیت و فعالیت‌ها در استان فراهم می‌گردد. مطالعات آمایش سرزمین استان خراسان رضوی نشان می‌دهد که برخی از نواحی آمایشی استان و شهرستان‌های زیر مجموعهٔ آنها در شمال و شمال غرب استان به‌ویژه شهرستان‌های مشهد، بینالود و نیشابور که براساس یافته‌های تحقیق حاضر دارای رد پای بوم‌شناختی بالا و ظرفیت زیستی پایین می‌باشند به‌عنوان محورها و خوشه‌های صنعتی برای سرمایه‌گذاری و افزایش زیر ساخت‌ها معرفی شده‌اند (Rahnama and Aghajani, 2011). بنابراین پیشنهاد می‌شود قبل از اجرای برنامه‌های عملیاتی این توسعه‌ها، ظرفیت‌ها و محدودیت‌های بوم‌شناختی و اقتصادی–اجتماعی این مناطق برای برپایی توسعه براساس ظرفیت برد و توان بوم‌شناختی مورد بررسی قرار گیرد. همچنین نتایج مطالعهٔ حاضر، هم‌راستا با راهبردهای توسعه‌ای مطالعات آمایش سرزمین استان در محور شمال شرق به‌ویژه در شهرستان سرخس، در محور غرب در شهرستان های سبزوار و بردسکن، و در محور جنوب در شهرستان‌های گناباد و بجستان به‌دلیل همترازی و تعادل بیشتر بین میزان رد پای بوم‌شناختی و ظرفیت زیستی در این مناطق است.

سپاسگزاری

این تحقیق با استفاده از اعتبارات پژوهشی ادارهٔ کل حفاظت محیط‌زیست استان خراسان رضوی و در قالب طرح پژوهشی با شمارهٔ قرارداد ۴۲۶۳۴ و کد طرح ۱۰۱۸۵۸ انجام شده است.

References

Abedi, Z., Soltani Khamsa, P., 2018. Estimation of ecological footprint index of energy (electricity and natural gas) and water consumption of the household sector in 22 districts of Tehran. Environmental Science and Technology Quarterly 21(11), 117-128. (In Persian)

Badhian, Z., Makhdoom, M., Zubairi, M., Marvi Mohajer, M., 2014. Estimation of ecological range capacity of forest ecosystems (case study: Khairudkanar forest). Environmental Research 6(11), 72-96. (In Persian)

Feng, S.Y., Chen, S.J., Huo, Z.L., Li, W.C., 2006. Review on the present situation and future prospect of water resources carrying capacity in China. East China Institute of Technology 29(4), 301-306.

Galli, A., Kitzes, J., Wermer, P., Wackernagel, M., Niccolucci, V., Tiezzi, E., 2007. An exploration of the mathematics behind the Ecological Footprint. Eco-dynamics 2(4), 250-257.

Galli, A., Iha, K., Pires, S.M., Mancini, M.S., Alves, A., Zokai, G., Lin, D., Murthy, A., Wackernagel, M., Wackernagel, M., 2020. Assessing the ecological footprint and biocapacity of Portuguese cities: Critical results for environmental awareness and local management. Cities 96, 102442.

Global Footprint Network, 2021. Global Footprint Network (GFN): National Footprint Accounts, Ecological Footprint. Available from. http://data.footprintnetwork.org (Accessed 10th April 2024).

Global Footprint Network, 2023. Global Footprint Data. Available from https://www.footprintnetwork.org/ (Accessed 10 April 2024).

Guo, J., Ren, J., Huang, X., He, G., Shi, Y., Zhou, H., 2020. The dynamic evolution of the ecological footprint and ecological capacity of Qinghai Province. Sustainability 12(7), 3065.

Khorasan Razavi General Department of Environmental Protection, 2018. Compilation of comprehensive and sustainable development document of Khorasan Razavi province with experimental approach (first phase). (In Persian)

Kovács, Z., Farkas, J.Z., Szigeti, C., Harangozó, G., 2022. Assessing the sustainability of urbanization

at the sub-national level: The Ecological Footprint and Biocapacity accounts of the Budapest Metropolitan Region, Hungary. Sustainable Cities and Society, 84, 104022.
Miri Ghaleno, M., Ilderami, A. Nouri, H. Mirsengari, M.M., 2017. Investigating the biological capacity and ecological footprint of Mashhad city. Environmental Research 9(18), 77-88. (In Persian)
Monfreda, C., Wackernagel, M., Deumling, D., 2004. Establishing national natural capital accounts based on detailed ecological footprint and biocapacity assessments. Land Use Policy 21, 231-246.
Nazari, M. Kalantari, M., 2023. Investigating the effective factors on Sari's urban ecological footprint. Geography and Environmental Planning 34(2), 17-26. (In Persian)
Rahnama, M.R., Aghajani, H., 2011. Studies on land use planning in Khorasan Razavi province. Mashhad University Press, 191 p. (In Persian)
Rahnama, M. R., Hosseini, S.M., 2021. Evaluation of the sustainability situation in Ahvaz metropolis using the ecological footprint method. Environmental Science and Technology Quarterly 23(7), 267-280. (In Persian)
Sasanpour, F., Shamaizadeh, A., Assar, S., 2016. Investigating the sustainable development of Isfahan city using the ecological footprint method. Earth Science Research (31)8, 18-29. (In Persian)
Statistical Center of Iran, 2015. Statistical yearbook, report on the analysis of the results of the general population and housing census, Available from www.amar.mpo-khr.ir. (In Persian)
Świąder, M., Lin, D., Szewrański, S., Kazak, J.K., Iha, K., Van Hoof, J., Belčáková, I., Altiok, S., 2020. The application of ecological footprint and biocapacity for environmental carrying capacity assessment: A new approach for European cities. Environmental Science & Policy, 105, 56-74.
Taghizadeh Diva, S.A., Roshanas, S., 2018. Application of ecological footprint method in environmental sustainability assessment. Case study: Gorgan city. Space Geographic Survey 33(9), 157-170. (In Persian)
Taiwo, F. J., Feyisara, O. O., 2017. Understanding the concept of carrying capacity and its relevance to urban and regional planning. Journal of Environmental Studies 3(1), 5-1.
Wang, S., Yang, F.L., Xu, L., Du, J., 2013. Multi-scale analysis of the water resources carrying capacity of the Liaohe Basin based on ecological footprints. Journal of Cleaner Production 53, 158-166.
Wu, X., Hu, F., 2020. Analysis of ecological carrying capacity using a fuzzy comprehensive evaluation method. Ecological Indicators 113, 106243.
Yang, Z., Song, J., Cheng, D., Xia, J., Li, Q., Ahamad, M.I., 2019. Comprehensive evaluation and scenario simulation for the water resources carrying capacity in Xi'an city, China. Journal of Environmental Management 230, 221-233.
Zargham, N., Zahedi-Amiri, Q., 2014. Carbon sequestration in Earth's ecosystems. Tehran University Publications. 500 p. (In Persian)