-- Iranian Journal of Economic Research---------
Volume 28, Issue 97, Winter 2024, 117-151
ijer.atu.ac.ir
DOI: https://doi.org/10.22054/ijer.2024.77184.1244

ATU PRESS

Ecological Footprint Calculation for Land-Use Prediction: A Dynamic Input–Output Approach

Simin Azizmohammadi — Ph.D. Student, Faculty of Social Sciences and Economics, Alzahra University, Tehran, Iran

Fatemeh Bazzazan * — Professor, Faculty of Social Sciences and Economics, Alzahra University, Tehran, Iran

Abstract

Human demand for natural resources is surpassing the Earth's biocapacity and regenerative capacity, leading to environmental degradation. Accurate research is essential to investigate and predict these changes more precisely. The ecological footprint serves as a suitable index for tracking human demand, resource recovery capacity, and waste absorption in the environment. The concept aims to offer a land-based measure that estimates the impact of consumption on the environment in the land area required to fulfill consumption. The dynamic input–output approach represents a novel method for measuring the ecological footprint, predicting land use based on economic growth rates. Pioneering the dynamic ecological footprint calculation using real-world data, the current study calculated Iran's ecological footprint by relying on 1395/2016 input-output tables from the Central Bank in three sectors: agriculture, industry, and services. The per-capita ecological footprint for Iran was determined to be 0.42 hectares with an 8% planned economic growth rate. If the ecological footprint continues to grow at the same rate, it is estimated that Iran's land biocapacity will be depleted by the year 1412/2033. Considering a growth rate of 6.4% (excluding oil) in the year 1395/2016, this scenario is anticipated to occur by the year 1417/2038.

* Corresponding Author: fbazzazan@alzahra.ac.ir
How to Cite: Azizmohamadi, S., & Bazzazan, F. (2024). Ecological Footprint Calculation for Land-Use Prediction: A Dynamic Input–Output Approach. *Iranian Journal of Economic Research*, *28*(97), 117-151.

eISSN:2476-6445 ISSN: 1726-0728 Accepted: 13/2/2024 Revised: 10/2/2024 Received: 12/12/2023 Original Research

1. Introduction

Land use has undergone significant changes due to urbanization and the expansion of economic activities, surpassing the Earth's capacity for regeneration and absorption and resulting in environmental degradation. Exacerbated by population growth, the issue has caused more serious concerns among policymakers and researchers regarding the future of the environment. It is thus necessary to measure human demand and regenerative capacity of natural resources. In this respect, the ecological footprint is considered a useful measure, defined as an environmental index that quantifies natural resource consumption based on land use, and reflects the impact of human demand on nature. The comparison between human consumption and biocapacity aids in assessing the level of sustainability. Existing literature refers to two methods of ecological footprint calculation. Employing a macro perspective, the first method relies on the evident consumption of resources (land or water) involved in producing domestic goods and services—including imported goods but excluding exported goods. Many scholars have used the input–output model to calculate the ecological footprint for resource management at the sectoral level. The versatility of the model has led to its widespread application in recent years, as it can adapt to variations in monetary and physical units at the same time. It proves particularly useful in analyzing a wider range of environmental issues, such as life cycle assessment and ecological footprint calculation. While the ecological footprint is a vital tool for studying sustainable development, its traditional version primarily focuses on static calculations derived from past footprints. Some critics contend that ecological footprint analysis lacks a dynamic approach to the future, but offers more of a snapshot in time. Dobos and Tóth-Bozó (2023) employed a dynamic input–output model to develop a method for ecological footprint calculation. Within this dynamic model, the ecological footprint becomes predictable through the utilization of the capital coefficient matrix (investment matrix) in conjunction with the direct input coefficient matrix. The present study pioneered the dynamic ecological footprint calculation by utilizing real-world data and the dynamic input–output table of the year 1395/2016.

2. Materials and Methods

The study employed a dynamic input–output model that maintains equilibrium between supply and demand over specific time periods. Investment was taken into account through capital-output coefficients within an intra-sectoral capital coefficient matrix which shows capital exchanges between demand sectors and capital suppliers, proving

valuable in predicting crucial economic variables and growth patterns. It also serves as an efficient tool for economic planning. The model proposed by Dobos and Tóth-Bozó (2023) is a function of vectors representing final consumption, exports, and imports of final goods. They had actually used the dynamic model developed by Leontief (1970) to calculate land demand for each period of national production. The present study showed how the index changes by taking into account the investment flow and the equilibrium path of consumption and production growth. The total ecological footprint is predicted in relation to the potential economic growth rate; Iran's Sixth Five-Year Economic, Cultural and Social Development Plan (1396–1400); and the growth rate excluding oil in 1395/2016. To accomplish this, three sectors (agriculture, industry, and services) were formed within a closed dynamic input–output model, referred to as forward-looking. The data was gathered from the 1395/2016 input–output table from the Central Bank database, capital stock, inventory data (agriculture and industry) from the Statistical Center of Iran. The lands were studied in three sectors: agriculture, industry, and services.

3. Results and Discussion

In the dynamic input-output model, the potential growth rate is determined by the maximum eigenvalue of the matrix composed of the direct input coefficient matrix and the capital coefficient matrix. The potential growth rate was found to be 41%. Moreover, the planned growth rate of 8% in Iran's Sixth Five-Year Economic, Cultural and Social Development Plan (1396–1400) was also considered. According the Statistical Center of Iran, the gross domestic product experienced an overall growth of 11.1% in 1395/2016. Excluding oil, this growth rate stands at 6.4%. The per-capita Iranian ecological footprint was measured at 0.42 hectares with an 8% planned economic growth rate. If the ecological footprint continues to grow at the same rate, it is estimated that Iran's land biocapacity will be depleted by the year 1412/2033. Considering a growth rate of 6.4% (excluding oil) in the year 1395/2016, this scenario is anticipated to occur by the year 1417/2038.

4. Conclusion

According to the research results, changes in the growth rate alter the time horizon for land use. The growth rate is influenced by various factors. Consequently, advocating for short-term planning becomes crucial to either manage its effects in the long run or mitigate its adverse consequences—in case of its deviation from sustainable development

goals. This model does not incorporate assumptions about technological progress in the economy. Future research could enhance the economic model by integrating technological progress, allowing for the evolution of model matrices over time. In the contemporary economy, Research and Development (R&D) plays a vital role in developing new technologies to promote environmental preservation. Furthermore, providing ample data can enable the creation of inverse Leontief matrices with larger dimensions, facilitating more practical outcomes, such as dynamic analysis of land-use changes within specific timeframes. The current research exclusively sought to introduce the index alongside its predictability. However, the absence of sufficient data might have resulted in estimates based on unrealistic data, impacting the accuracy and validity of the results. Nonetheless, these findings can aid in large-scale policymaking.

Keywords: Ecological Footprint, Dynamic Input–Output, Balanced Growth Path, Land Use

JEL Classification: Q57, D57, O40, Q15.

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۹/۲۱ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۱/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۲۴ ISSN:۱۷۲۶-۰۷۲۸ eISSN:۲۴۷۶-۶۴۴۵

-- پژوهش‌های اقتصادی ایران ---------

دوره ۲۸، شماره ۹۷، زمستان ۱۴۰۲، ۱۱۷-۱۵۱

ijer.atu.ac.ir

DOI: https://doi.org/10.22054/ijer.2024.77184.1244

سنجش ردپای بوم‌شناختی به منظور پیش‌بینی کاربری زمین در رویکرد داده-ستانده پویا

سیمین عزیزمحمدی دانشجوی دکتری رشته توسعه اقتصادی، گروه اقتصاد، دانشکده علوم اجتماعی و اقتصادی، دانشگاه الزهرا، تهران، ایران

فاطمه بزازان* استاد، گروه اقتصاد، دانشکده علوم اجتماعی و اقتصادی، دانشگاه الزهرا، تهران، ایران

چکیده

پیشی گرفتن تقاضای انسان از ظرفیت زیستی زمین باعث تخریب روزافزون محیط زیست شده و همین امر ضرورت انجام پژوهش دقیق درباره این تغییرات و پیش‌بینی آن را دوچندان می‌کند. ردپای بوم‌شناختی شاخص مناسبی برای پی‌گیری تقاضای انسان، ظرفیت احیای منابع و جذب زباله در محیط‌زیست است. مفهوم آن به دنبال ارائه معیاری زمین‌محور است که اثر مصرف گذشته را محاسبه کند تا تمام فشار بر محیط زیست را در ناحیه زمین لازم برای تأمین مصرف نشان دهد. در نسخه جدید روش‌های محاسبه این شاخص تلاش شده با استفاده از جدول داده- ستانده پویا، کاربری زمین با توجه به نرخ رشد اقتصادی بالقوه و نرخ رشد اقتصادی واقعی پیش‌بینی شود. به این منظور در این پژوهش برای نخستین بار ردپای بوم‌شناختی برای پیش‌بینی کاربردی زمین در رویکرد داده- ستانده پویا براساس داده‌های سال ۱۳۹۵، با استخراج جدول داده-ستانده پویا از جدول سال ۱۳۹۵ بانک مرکزی و با توجه به داده‌های موجودی سرمایه و اطلاعات زمین در سه بخش کشاورزی، صنعت و خدمات انجام گرفت. براساس نتایج، طبق نرخ رشد برنامه‌ریزی شده در برنامه ششم توسعه، سهم هر فرد ساکن ایران از زمین‌های داخلی بالغ بر ۰/۴۲هکتار است. اگر ردپای بوم‌شناختی با همین نرخ رشد کند تا ۱۷/۵ سال بعد، یعنی حدود سال ۱۴۱۲ با اتمام ظرفیت زیستی زمین مواجه می‌شود. این سال با در نظر گرفتن رشد اقتصادی بدون احتساب نفت ۶/۴ درصد در سال ۱۳۹۵ به سال ۱۴۱۷ می‌رسد.

کلمات کلیدی: ردپای بوم‌شناختی، داده- ستانده پویا، مسیر رشد متوازن، کاربری زمین.

طبقه‌بندی JEL: Q57، D57، O40، Q15.

* نویسنده مسئول: fbazzazan@alzahra.ac.ir

۱. مقدمه

شواهد نشان می‌دهد تقاضای انسان برای خدمات اکوسیستم در حال پیشی گرفتن از ظرفیت احیا و جذب کره زمین است. تغییر کاربری زمین ناشی از شهرنشینی و گسترش فعالیت اقتصادی، باعث تخریب محیط‌زیست می‌شود. شدت آن در پاسخ به رشد جمعیت و پیامد آن بر محیط‌زیست، ضرورت انجام پژوهش دقیق درباره این تغییر را دوچندان می‌کند (Ruben, et al., 2020). پس به معیاری برای پی‌گیری تقاضای انسان و ظرفیت احیای منابع نیاز است. یکی از این معیارها ردپای بوم‌شناختی[1] است (Borucke, et al., 2013)

ردپای بوم‌شناختی یک شاخص زیست‌محیطی برای سنجش مصرف منابع طبیعی و انعکاس تأثیر فعالیت انسانی بر محیطی که از آن مصرف می‌کند، است (Wackernagel, et al., 1997). این شاخص مجموعه‌ای از پنج نوع زمین کشاورزی، مرتع، جنگل، ماهیگیری، زمین ساخته شده و زمین CO_2 (مساحت زمین موردنیاز برای کاهش انتشار کربن) است (Van Den Bergh, et al., 2015).

سطح پایداری زمین با مقدار ظرفیت زیستی[2] و ردپای بوم‌شناختی زمین هر منطقه، مقایسه مصرف فعالیت‌های انسانی با ظرفیت زیستی جهت تأمین مصرف، تعیین می‌شود. ردپای بوم‌شناختی و ظرفیت زیستی هر دو با واحد یکسان (هکتار) اندازه‌گیری شده و قابلیت مقایسه دارد (Wackernagel, et al., 2006).

ردپای بوم‌شناختی، ظرفیت زیستی و ذخایر آن بین کشورها بسته به جغرافیا، جمعیت، سیاست‌های زیست‌محیطی و سطح توسعه آنها متفاوت است (Rees, 2023). روش ارزیابی ظرفیت زیستی و ردپای بوم‌شناختی می‌تواند مقایسه معنادارتری میان مصرف نهایی کشورها یا تولید اقتصادی آن‌ها فراهم کند و به تحلیل الگوی بوم‌شناختی موجود در تجارت کمک کند. به عبارتی، اگر ردپای بوم‌شناختی سرانه منطقه‌ای بزرگتر از ظرفیت زیستی سرانه باشد، این منطقه با کسری بوم‌شناختی مواجه است. در این شرایط، برای تأمین کسری دو راه حل دارد: واردات کالایی که زمین مورد نیاز برای تولید آنها از منابع کشورهای دارای مازاد

1. Ecological Footprint (EF)
2. Biocapacity

بوم‌شناختی تأمین شده یا بهره‌برداری بیش از حد از ظرفیت زیستی خود (Monfreda, et al., 2004).

ادبیات موجود نشان می‌دهد دو روش در سنجش ردپای بوم‌شناختی وجود دارد. روش اول با ماهیت کلان و بر مبنای مصرف آشکار منابع (زمین یا آب) به‌کار رفته در تولید کالا و خدمات داخلی به‌علاوه کالای وارداتی منهای کالای صادراتی محاسبه می‌شود. اما به‌کارگیری روش مذکور وضعیت ردپای بوم‌شناختی را در جهت مدیریت منابع در سطح بخش‌های مختلف اقتصاد آشکار نمی‌کند. برای حل این مسئله، طیف وسیعی از پژوهشگران، نظام حسابداری بخشی به شکل جدول داده- ستانده را مبنای محاسبه شاخص قرار داده‌اند.[۱]

کاربرد الگوی داده- ستانده، به دلیل توانایی در تطبیق با تغییر واحدهای پولی و فیزیکی به‌طور همزمان، برای تحلیل مسائل زیست‌محیطی مانند ارزیابی چرخه زندگی و محاسبه ردپای بوم‌شناختی، در سال‌های اخیر تعمیم‌یافته است. این توسعه الگوی داده- ستانده در حوزه محیط زیست با معرفی رویکردهای جدید مانند مدل داده- ستانده پویا ادامه داشته است. دوبوس و فلوریسکا[۲] (۲۰۰۵) آن را برای بررسی ارتباط تولید و منابع تجدیدناپذیر توسعه دادند (Okuyama, 2017). مدل پویای داده- ستانده در کنار ماتریس ضریب نهاده مستقیم، یک ماتریس ضریب سرمایه (ماتریس سرمایه‌گذاری) دارد (Steengea, et al., 2020). این ماتریس، مبادلات سرمایه بین بخش‌های تقاضا و عرضه‌کننده سرمایه را نشان می‌دهد و در پیش‌بینی متغیرهای مهم اقتصادی (مانند سرمایه ثابت مورد نیاز برای دستیابی به سطح مشخصی از محصول) و الگوهای رشد اقتصادی کاربرد دارد. همچنین ابزار کارآمدی برای برنامه‌ریزی اقتصادی محسوب می‌شود (اکبری و امینی، ۱۴۰۲). امکان بهره‌برداری از منابع در بلندمدت، با کاهش عملکرد اکوسیستم محدود می‌شود. با توجه به ادبیات، عوامل زیادی از جمله کاربری زمین بر آن تأثیر دارد. اما روند کند این اثرگذاری در کوتاه‌مدت محسوس نبوده و اغلب نگران‌کننده است. اتخاذ تصمیمات آگاهانه برای آینده‌ای

---

۱. سالانه تحقیقات قابل توجهی در محاسبه ردپای بوم‌شناختی کشورهای مختلف با استفاده از داده- ستانده انجام گرفته است. برای مثال می‌توان به پژوهش‌های بیگوم و همکاران (۲۰۰۹) برای مالزی؛ ماتیلا (۲۰۱۲) فنلاند؛ تسوچیا و همکاران (۲۰۲۱) ژاپن؛ موفت و همکاران (۲۰۰۵) اسکاتلند؛ کراتنا و ویدمن (۲۰۰۸) انگلیس؛ کیسینجر (۲۰۱۳) کانادا، بابو و همکاران (۲۰۱۷) شهرهای مدیترانه و عبود و همکاران (۲۰۲۲) برای آمریکا اشاره کرد.

2. Dobos, I. & Floriska, A.

پایدار مستلزم درک پویایی اکوسیستم و دسترسی به شاخص‌هایی برای بازتاب این پویایی است (Lenzen, et al., 2007).

ردپای بوم‌شناختی از روش‌های مهم برای مطالعه توسعه پایدار بوم‌شناختی است اما نسخه سنتی آن تنها بر محاسبه ایستا توسعه پایدار بوم‌شناختی تمرکز دارد و مانند نسخه پویا قابل پیش‌بینی نیست. روش سنتی محاسبه ردپای بوم‌شناختی تنها می‌تواند ردپای زمان گذشته را محاسبه کند و نمی‌تواند توسعه پایدار بوم‌شناختی آینده را پیش‌بینی کند. برخی از منتقدان استدلال کردند تحلیل ردپای بوم‌شناختی نمی‌تواند یک پنجره پویا در مورد آینده فراهم کند بلکه یک عکس فوری در زمان است (Li, et al., 2017). تحلیل پویایی تغییر کاربری زمین در بلندمدت برای درک و ارزیابی اثر آن بر محیط زیست، به تحقق اهداف توسعه پایدار کمک می‌کند (Ruben, et al., 2020).

تحلیل ردپای بوم‌شناختی برآورد ایستا تولید می‌کند، درحالی‌که هم طبیعت و هم اقتصاد سیستم پویا هستند؛ به‌علاوه، یکی از اهداف مهم این شاخص مستندسازی فراز و فرود و ارتباط آن با متغیرهای اجتماعی- اقتصادی مانند روند توسعه، رونق اقتصادی یا سبک زندگی است (Wackernagel, et al., 2006). بنابراین، عوامل اجتماعی- اقتصادی باید برای پیش‌بینی روندهای توسعه پایداری بوم‌شناختی در بلندمدت استفاده شود. بحث در این زمینه نشان داده، کار بیشتری برای توسعه رویکردهای جدید برای شبیه‌سازی روندهای توسعه ردپای بوم‌شناختی در آینده و ارائه نتایج معتبر و قابل قبول و توصیه‌های صحیح برای سیاستگذاری مورد نیاز است (Li, et al., 2017).

در این پژوهش، برای نخستین بار شاخص ردپای بوم‌شناختی پویا مبتنی بر مدل داده- ستانده پویا با داده واقعی محاسبه می‌شود. پرسش این است که: این شاخص با توجه به جریان سرمایه‌گذاری در اقتصاد کشور و مسیر رشد تعادلی مصرف و تولید، چه روندی خواهد داشت؟ به این منظور ضمن تشکیل جدول داده- ستانده سه‌بخشی، روند ردپای بوم‌شناختی کل با توجه نرخ رشد اقتصادی بالقوه، نرخ رشد برنامه‌ریزی شده در برنامه ششم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی (۱۴۰۰-۱۳۹۶) و نرخ رشد بدون احتساب نفت در سال ۱۳۹۵ در چارچوب الگوی پویا بسته به اصطلاح آینده‌نگر[1] بوده که در آن تولید فعلی شامل

1. Forward-looking

کالاهای سرمایه‌ای برای توسعه تولید سال‌های آینده است، رویکرد حال برای آینده پیش‌بینی می‌شود. بانک مرکزی پایگاه اطلاعاتی جدول داده- ستانده سال ۱۳۹۵ و موجودی سرمایه و مرکز آمار ایران برای موجودی انبار (کشاورزی و صنعت) است. زمین‌ها در سه بخش کشاورزی، صنعت و خدمات مطالعه می‌شود. مبانی نظری و پیشنه پژوهش در بخش ۲ ارائه می گردد. بخش ۳ به روش‌شناسی اشاره دارد. داده‌ها و نتایج مطالب بخش ۴ را تشکیل می‌دهد. در نهایت، بخش آخر نیز به نتیجه‌گیری اختصاص می‌یابد.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

ظهور ردپای بوم‌شناختی به‌عنوان یک شاخص اوایل دهه ۱۹۹۰ بود، زمانی که توسعه پایدار محبوب می‌شد.[۱] محاسبه آن برای دهه‌ها مورد توجه پژوهشگران بوده است. مفهوم این شاخص به دنبال معرفی معیاری زمین‌محور است که اثر مصرف را با توجه به کاربری زمین برای تأمین آن، محاسبه کند (Dobos & Tóth-Bozó, 2023). ردپای بوم‌شناختی جامعه به چهار عامل، جمعیت، استاندارد زندگی مادی، بهره‌وری اکوسیستم و برداشت، پردازش و کاربرد منابع بستگی دارد. صرف‌نظر از اهمیت نسبی این عوامل و چگونگی اثر متقابل آنها، هر جامعه یک ردپای بوم‌شناختی دارد که میزان سرمایه طبیعی را نشان می‌دهد (Rees, 2023).

ادبیات موجود نشان می‌دهد از دو روش در سنجش ردپای بوم‌شناختی استفاده می‌شود. روش اول با ماهیت کلان و بر مبنای مصرف آشکار منابع (زمین یا آب) به‌کار رفته در تولید داخلی به‌علاوه تولید کالای وارداتی منهای منابع به‌کار رفته در صادرات محاسبه می‌شود. اما روش مذکور وضعیت شاخص را در جهت مدیریت منابع در سطح بخش‌های مختلف اقتصاد آشکار نمی‌کند. برای حل این مسئله، پژوهشگران، نظام حسابداری بخشی به شکل جدول داده- ستانده را مبنای محاسبه این شاخص قرار داده‌اند.

---

۱. اصطلاح ردپای بوم‌شناختی با عبارت آستانه تحمل مناسب نخستین بار اوایل دهه ۱۹۹۰ در رساله دکتری ماتیس واکرناگل در دانشکده جامعه و برنامه‌ریزی منطقه‌ای دانشگاه بریتیش کلمبیا مطرح شد، سپس توسط واکرناگل و ریس (۱۹۹۶) در کتاب «ردپای بوم‌شناختی ما: کاهش تأثیر انسان روی زمین» در مجامع علمی رایج شد.

تحلیل ردپای بوم‌شناختی برآوردهای ایستا تولید می‌کند، درحالی‌که هم طبیعت و هم اقتصاد سیستم پویا هستند. به‌علاوه، یکی از اهداف مهم این شاخص مستندسازی فراز و فرودها و ارتباط آن با متغیرهایی مانند روندهای توسعه، رونق اقتصادی یا سبک زندگی است (Wackernagel, et al., 2006). بنابراین، این عوامل باید برای پیش‌بینی روندهای توسعه پایداری بوم‌شناختی در بلندمدت استفاده شود. بحث در این زمینه نشان داده کار بیشتری برای توسعه رویکردهای جدید جهت شبیه‌سازی روند توسعه ردپای بوم‌شناختی در آینده و ارائه نتایج معتبر و قابل قبول و توصیه‌های صحیح برای سیاستگذاری مورد نیاز است (Li, et al., 2017).

بنابراین توجه بسیاری از محققان به مدل قابل پیش‌بینی ردپای بوم‌شناختی، مانند، مدل ترکیب ردپای بوم‌شناختی با پیش‌بینی خاکستری (Guo, et al., 2023)، ردپای بوم‌شناختی مجازی (Wei, et al., 2013)، سیستم پویا (Jin, et al., 2009)، شبکه عصبی مصنوعی (Wang, et al., 2014) و ترکیب ردپای بوم‌شناختی با نرم‌افزار پویای سیستم STELLA[1] (Li, et al., 2017) معطوف شده است.

دهه ۱۹۴۰ شروع شکوفایی نظریه‌های رشد بلندمدت و پویا به حساب می‌آید. در این دوره نظریه رشد[2] هارود- دومار[3] که در آن نسبت سرمایه- محصول نقش اساسی دارد، اهمیت ویژه‌ای داشت. لئونتیف[4] با الهام از این نظریه، الگوی ایستای داده- ستانده، خود را به یک الگوی پویا تبدیل کرد. در الگوی پویا تعادل بین عرضه و تقاضا در دوره‌های منفرد زمانی برقرار بوده و سرمایه‌گذاری از طریق ضرایب سرمایه- محصول بین بخشی در قالب ماتریس ضرایب سرمایه درون‌زا در نظر گرفته می‌شود. پویایی این الگو بیشتر به لحاظ کاربرد آن در امر برنامه‌ریزی اقتصادی است (نوری، ۱۳۹۰). مدل داده- ستانده پویا قبل از ارائه مدل‌های رشد نئوکلاسیک سولو و سوان[5] توسط لئونتیف در سال ۱۹۵۶ برای مدل‌سازی رشد بلندمدت اقتصاد چندصنعتی معرفی شد. برخلاف مدل سولو- سوان که فقط یک مدل

1. System Software based on the System Dynamics Theory(STELLA)
2. Harrod-Domar model of economic growth
3. Harrod, R. & Domar, E.
4. Leontief, W.
5. Solow, R. & Swan, T.

نظری بود، مدل لئونتیف یک نظریه مبتنی بر چارچوب تجربی تحلیل داده- ستانده با تابع تشکیل سرمایه است (Okuyama, 2017).

دوبوس و توث- بوزو[1] (۲۰۲۳) با هدف توسعه روش محاسبه ردپای بوم‌شناختی برای نخستین بار از مدل داده- ستانده پویا استفاده می‌کنند تا ردپای بوم‌شناختی پویا، دنباله‌ای از ردپاها برای دوره‌ها تعیین شود. این مدل آن‌ها به‌صورت تابعی از بردارهای مصرف نهایی، صادرات و واردات کالای نهایی و با استفاده از مدل پویای لئونتیف (۱۹۷۰) برای محاسبه تقاضای زمین برای هر دوره تولید اقتصاد ملی است. این مدل فقط با یک مثال عددی معرفی شده و مطالعه تجربی ندارد. براساس نتایج، اگر ظرفیت زمین کافی نباشد، تولید محدود می‌شود، آن‌گاه نرخ رشد تولید و مصرف پس از رسیدن به سطح مجاز کاهش خواهد یافت.

در مطالعات داخلی، تکنیک داده- ستانده ایستا برای نخستین بار توسط بانویی و همکاران (۱۳۹۲) برای سنجش ردپای بوم‌شناختی استفاده شد که میزان سرانه آن در سال ۱۳۸۰ بالغ بر ۲/۱۸ و در سال ۱۳۸۵ حدود ۲/۱۷ هکتار بود. پس از آن برای سایر منابع از جمله آب و انرژی استفاده شده است.[2] اما درخصوص مدل پویا پژوهشی انجام نگرفته است. در این مقاله برای نخستین بار مطالعه تجربی روش روند ردپای بوم‌شناختی در چارچوب داده- ستانده پویا با داده‌های ایران و با توجه نرخ رشد اقتصادی بالقوه، نرخ رشد اقتصادی و نرخ رشد بدون احتساب نفت سال ۱۳۹۵ پیش‌بینی می‌شود.

۳. روش‌شناسی

با شروع دهه ۱۹۹۰، تکنیک‌های داده- ستانده به عنوان یک راه ممکن برای اتصال حساب تولید به مصرف خانوار فرض شده و از جدول داده- ستانده حساب‌های ملی برای اتصال منطقه زمین به مقوله مصرف استفاده شد. بیکنل و همکاران[3] (۱۹۹۸) و فرنگ[4] (۲۰۰۱)، که

1. Dobos, I. & Tóth-Bozó, B.

۲. برای اطلاعات بیشتر به پژوهش اندایش و همکاران (۱۳۹۵)، کاکایی و همکاران (۱۳۹۸) و نجفی و همکاران (۱۴۰۱) مراجعه کنید.

3. Bicknell, et al.

4. Ferng, J.

از مدل‌های داده- ستانده استفاده کردند، این روش را توسعه دادند (Dobos & Tóth-Bozó, 2023).

همان‌طور در جدول ۱ آمده، برای محاسبه ردپای بوم‌شناختی زمین در چارچوب داده- ستانده لازم است مساحت زمین به‌کار رفته در هر بخش برای تولید را به‌صورت سطری در جدول داده- ستانده وارد کرد. این روش مستلزم محاسبه ضرایب داده-ستانده استاندارد است که در نسبت زمین به ارزش خروجی هر بخش ضرب می‌شود. به عنوان مثال، عناصر ماتریس حاصل (برحسب هکتار به ازای هر دلار تولید)، در بردار تقاضای نهایی ضرب و زمین مورد نیاز برای تأمین سطح معینی مصرف تعیین می‌شود (Bicknell, et al., 1998).

برای کاربرد الگوی داده- ستانده در سنجش ردپای بوم‌شناختی دو فرض وجود دارد: نخست، تمام نهاده واسطه‌ای (تولید داخل و واردات) بر مبنای فرض رقابتی بودن واردات، توسط بخش‌های داخلی تولید می‌شود. با این وضعیت امکان تفکیک سهم ارزش‌افزوده و اشتغال بین تولید داخلی و واردات واسطه‌ای وجود ندارد. دوم، کل واردات یک متغیر برون‌زاست و مقدار آن به اندازه تقاضای واسطه‌ای و نهایی داخلی بستگی ندارد. پس، واردات خنثی بوده و نقشی در ارزش‌افزوده و اشتغال ندارد (Pei, et al., 2012).

با توجه به جایگاه واردات و فرض رقابتی بودن آن در جدول داده- ستانده، سه نوع جدول وجود دارد. در جداول داده- ستانده نوع اول و دوم، واردات واسطه‌ای و واردات نهایی با ارقام متناظر داخلی ادغام شده و با توجه به دو فرض اساسی این نوع جداول، سنجش ردپای بوم‌شناختی زمین با منشأ داخلی و خارجی در تأمین مصرف نهایی جامعه انسانی مشخص امکان‌پذیر نیست. بنابراین، باید جدول نوع سوم را به‌کار برد که در آن واردات به واردات واسطه‌ای و واردات نهایی تفکیک شده و به‌صورت سطری در جدول منظور می‌شود. برای سنجش ردپای بوم‌شناختی زمین، باید جدول داده- ستانده‌ای را به‌کار برد که در آن واردات به واردات واسطه‌ای و نهایی تفکیک شده و به‌صورت سطری در جدول منظور می‌گردد (بانویی، ۱۳۹۱).

با توجه به تفاوت بین مدل داده- ستانده پویا و ایستا، شکل‌گیری سرمایه بخشی در بعد ایستای الگوی داده- ستانده ترکیبی از تقاضای نهایی با همان ویژگی برون‌زا مانند هر ترکیب دیگر تقاضای نهایی(خرید خانوار، دولت و صادرات) است که استفاده از این الگو را برای کوتاه‌مدت با فرض فناوری ثابت توجیه کرده است. در مقابل، در الگوی پویا، سرمایه

درون‌زا مطرح شده و سمت چپ این الگو قرار گرفته، جایی که تراکنش کنونی کالا و خدمات و تراکنش سرمایه‌ای متناظر نه تنها قابل تفکیک و تمایزند بلکه به‌صورت همزمان با شرایط اقتصادی عمل می‌کنند. این تمایز، انعطاف‌پذیری الگوی داده- ستانده پویا را افزایش داده که نه تنها می‌تواند ظرفیت بیش از حد معمول را ایجاد کند بلکه مسیر رشد اقتصادی را در بلندمدت هموار می‌سازد.

جدول ۱ ساختار کلی یک جدول داده- ستانده پویا را نشان می‌دهد که در آن سرمایه مورد نیاز بخش‌ها و واردات تفکیک می‌شود. تراز این جدول برحسب عرضه داخلی و ستانده داخلی است. ماتریس مبادلات واسطه‌ای و تقاضای نهایی در این جدول، ماهیت بومی داشته و به آسانی می‌تواند مبنای سنجش ردپای بوم‌شناختی زمین قرار گیرد.

در جدول ۱، یک اقتصاد سه بخشی فرض شده و هر بخش مقداری زمین، L، در اختیار دارد که به‌صورت سطری در جدول اضافه می‌شود. Z_{ij} تقاضای واسطه‌ای داخلی، کالا و خدماتی به عنوان نهاده واسطه‌ای تولید بین بخش‌ها مبادله شده، X ستانده، V ارزش‌افزوده، C مصرف نهایی داخلی و exp صادرات است. K_{ij}، مقدار تولید بخش i که به عنوان موجودی سرمایه در اختیار بخش j قرار گرفته و از آن نگهداری می‌کند. موجودی سرمایه که همان تشکیل سرمایه خالص بوده که از تقاضای نهایی(DF) تفکیک می‌شود. *IMP*، کل واردات با تفکیک به سه گروه کالای واسطه‌ای، ZM، کالای نهایی، CM، و کالای سرمایه‌ای، KM، است.

براساس جدول ۱، در رابطه (۱)، L مقدار زمین اختصاص یافته به هر بخش و X ستانده هر بخش است. عناصر $[\varphi_j]$ نشان می‌دهد به ازای ارزش یک واحد تولید در بخش jام چه میزان نیاز مستقیم به زمین است:

$$[\varphi_j] = [L_1 \quad \cdots \quad L_3] \begin{bmatrix} \frac{1}{X_1} & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & \frac{1}{X_3} \end{bmatrix} = [\varphi_1 \quad \cdots \quad \varphi_3] \qquad (۱)$$

جدول ۱. ساختار کلی جدول داده- ستانده پویا با تفکیک واردات

ستانده	تقاضای نهایی (DF)				بخش‌ها			j / i
	صادرات	انباشت سرمایه			مصرف نهایی داخلی	۳	۲	۱	
X_1	exp_1	K_{11}	K_{12}	K_{12}	C_1	Z_{12}	Z_{12}	Z_{11}	۱
X_2	exp_2	K_{21}	K_{22}	K_{23}	C_2	Z_{23}	Z_{22}	Z_{21}	۲
X_3	exp_3	K_{31}	K_{32}	K_{33}	C_3	Z_{33}	Z_{32}	Z_{31}	۳
						V_3	V_2	V_2	ارزش افزوده
						X_3	X_2	X_1	ستانده
						L_3	L_2	L_1	زمین
imp_1	0	KM_{12}	KM_{12}	KM_{11}	CM_1	ZM_{12}	ZM_{12}	ZM_{11}	واردات بخش ۱
imp_2	0	KM_{23}	KM_{22}	KM_{21}	CM_2	ZM_{23}	ZM_{22}	ZM_{21}	واردات بخش ۲
imp_3	0	KM_{33}	KM_{32}	KM_{31}	CM_3	ZM_{33}	ZM_{32}	ZM_{31}	واردات بخش ۳
IMP	0	KM_3	KM_2	KM_1	CM	ZM_3	ZM_2	ZM_1	واردات

مأخذ: Dobos & Tóth-Bozó, 2023

برای محاسبه ردپای بوم‌شناختی در داده- ستانده ایستا، ابتدا باید ماتریس ضرایب داده- ستانده مستقیم داخلی که با نماد A بیان شده، به‌صورت رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$A = \begin{bmatrix} \frac{Z_{11}}{X_1} & \cdots & \frac{Z_{13}}{X_3} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{Z_{31}}{X_1} & \cdots & \frac{Z_{33}}{X_3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{13} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{31} & \cdots & a_{33} \end{bmatrix} \qquad (۲)$$

با ضرب ضرایب فزاینده تولید داخلی، نیاز مستقیم و غیرمستقیم زمین یا ماتریس ضرایب فزاینده زمین در داده- ستانده ایستا به‌دست می‌آید. β_{ij} رابطه (۳)، ماتریس ضریب فزاینده زمین هر بخش را نشان می‌دهد. یعنی هر بخش به ازای ارزش یک واحد تولید چه میزان به‌طور مستقیم و غیرمستقیم به زمین نیاز دارد:

$$[\beta_{ij}] = \begin{bmatrix} \varphi_1 & 0 & 0 \\ 0 & \varphi_2 & 0 \\ 0 & 0 & \varphi_3 \end{bmatrix} (I - A)^{-1} = \begin{bmatrix} \beta_{11} & \cdots & \beta_{13} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \beta_{31} & \cdots & \beta_{33} \end{bmatrix} \quad (۳)$$

با پیش‌ضرب ماتریس رابطه (۳) در ماتریس قطری بخش‌های مختلف تقاضای نهایی، ماتریسی به‌دست می‌آید که جمع سطری عناصر آن، مقدار زمین مورد نیاز مستقیم و غیرمستقیم هر بخش را برای تأمین تقاضای نهایی جمعیت را نشان می‌دهد.

در مدل داده- ستانده ایستا، تحلیل با ماتریس ضریب فنی A بوده که جریان مبادله کالا بین بخش‌ها برای تأمین نیازهای تولید فعلی در یک دوره زمانی مشخص است. در واقعیت، کالاهایی مانند ماشین‌آلات و ساختمان به‌عنوان نهاده در فرآیند تولید نقش دارد اما بلافاصله مصرف نمی‌شود. به عبارت دیگر، هر بخش موجودی سرمایه مشخصی دارد که برای تولید نیز لازم است. اگر بتوان مقدار تولید بخش i را که بخش j به‌عنوان موجودی سرمایه نگهداری یا انباشت کرده، K_{ij}، اندازه‌گیری کرد، آن‌گاه با تقسیم K_{ij} بر تولید بخش j، می‌توان ضریب سرمایه در هر دوره را برآورد کرد. همراه با انواع سرمایه‌گذاری ثابت مانند ماشین‌آلات و ساختمان، کالایی که به‌عنوان موجودی سرمایه (نهاده تولید دوره بعد) توسط بخش j برخرد نیز در k_{ij} لحاظ می‌شود. ضریب $b_{ij} = \frac{K_{ij}}{x_j}$، مقدار محصول بخش i (به دلار) که به عنوان موجودی سرمایه برای تولید یک دلار محصول توسط بخش j نگهداری شده، تفسیر می‌شود (Miller & Blair, 2022).

برای مثال، اگر بخش i صنعت ساختمان و j خودروسازی باشد، b_{ij} ارزش دلاری فضای کارخانه به ازای هر دلار خودرو تولیدی را نشان می‌دهد. واضح است برای تولید فعلی، ماشین‌آلات، ساختمان‌ها و ... باید از قبل موجود باشد. در یک اقتصاد در حال رشد، تولید پیش‌بینی‌شده (سال آینده) از تولید فعلی (سال جاری) متفاوت بوده و به احتمال زیاد، مقدار سرمایه لازم تغییر می‌کند. یک فرض ساده (اغلب استفاده شده) این است که حجم تولید جدید بخش i به‌عنوان موجودی سرمایه در بخش j در دوره زمانی $t+1$ (سال آینده) است که در آن اندیس t دوره زمانی (سال) را نشان می‌دهد. مقداری از تولید بخش i که برای تأمین تقاضای اضافی بخش j بوده، به عنوان موجودی سرمایه در تولید سال آینده لازم است. این مقدار $b_{ij}\left(x_j^{t+1} - x_j^t\right)$، حاصل‌ضرب ضریب سرمایه، b_{ij}، و تغییر تولید بخش j بین سال جاری و سال بعد، $\left(x_j^{t+1} - x_j^t\right)$ است(Miller & Blair, 2022). به این ترتیب، مدل پویای داده- ستانده به‌صورت رابطه (۴) می‌شود:

$$x_t = a_{ij}x_t + b_{ij}(x_{t+1} - x_t) + c_t. \quad t = 1.2.\cdots.T \tag{۴}$$

فرم ماتریس، با استفاده از ماتریس $n \times n$ ضرایب سرمایه $B = [b_{ij}]$، می‌شود:

$$X_t = AX_t + B\Delta X_t + C_t. \quad t = 0.1.2.\cdots.T \tag{۵}$$

x_t بردار nبعدی تولید و f_t بردار nبعدی تقاضای مصرف نهایی در دوره t است. B ماتریس $n \times n$ محصول سرمایه‌گذاری شده برای افزایش یک واحد تولید و T طول افق برنامه‌ریزی می‌باشد. $B(x_{t+1} - x_t)$ شامل سرمایه‌گذاری در موجودی انبار، یک نوع تقاضای نهایی است.

مدل داده- ستانده پویا، در دو سیستم متمایز باز و بسته ارائه می‌شود. سیستم باز به فعالیت برون‌زا مانند مصرف خانوار و مخارج دولت، شرکت‌ها (سرمایه‌گذاری) و بقیه جهان (صادرات) در قالب تقاضای نهایی، بستگی دارد. سیستم بسته می‌تواند یک یا چند بخش برون‌زا را درون‌زا کند (Okuyama, 2017).

معادله ساختاری حالت ایستا (طرف تقاضا) دو جز اصلی دارد: بخش اول از ضرب ماتریس ضرایب فنی در مقدار تولید همان بخش به‌دست می‌آمد و بخش دوم نیز شامل عناصر تقاضای نهایی است که سرمایه‌گذاری به‌عنوان یک عنصر تقاضای نهایی(متغیر برون‌زا) در مدل قرار دارد (بزازان و همکاران، ۱۳۸۶).

در حالت پویا سرمایه‌گذاری به‌صورت عنصری جدا از تقاضای نهایی، یک متغیر درون‌زا است. در حالت ایستا این ماتریس از رابطه $(I - A)^{-1}$ به‌دست می‌آید اما در حالت پویا ماتریس ضرایب سرمایه‌ای $(I - A - B)$ نیز در تحلیل وارد می‌شود (اکبری و امینی، ۱۴۰۲).

K_{ij}، تبادل کالای سرمایه‌ای از بخش i به بخش j برای تولید بخش j است. جمع هر سطر ماتریس B، میزان فروش کالای سرمایه‌ای به سایر بخش‌ها و جمع هر ستون، خرید کالاهای سرمایه‌ای از سایر بخش‌های اقتصادی را نشان می‌دهد. ماتریس B از دو ماتریس موجودی سرمایه و موجودی انبار به‌دست می‌آید:

$$B = \begin{bmatrix} K_{11} & \cdots & K_{13} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ K_{31} & \cdots & K_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{1}{X_1} & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & \frac{1}{X_3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{11} & \cdots & b_{13} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{31} & \cdots & b_{33} \end{bmatrix} \tag{۶}$$

یکی دیگر از مفاهیم مهم در داده- ستانده پویا، مفهوم مسیر رشد متعادل است. در مسیر رشد متعادل مصرف و تولید، نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد اگر نرخ رشد پایین‌تر انتخاب شود، ذخیره منابع طولانی‌تر باقی می‌ماند. یعنی با فرض رشد متعادل مصرف و تولید، طول عمر منابع کمیاب برای تأمین نیازهای تولید بسته به نرخ رشد متعادل و مصرف بررسی می‌شود (Dobos & Floriska, 2007).

همان‌طور که معکوس لئونتیف الزامات تقاضای نهایی را تعیین می‌کند، معکوس پویا مسیر الزامات یک مسیر تقاضای نهایی را تعیین می‌کند. حفظ فرض ضمنی ضریب داده- ستانده، یعنی نهاده‌ها مکمل هستند و در دنیایی که ممکن است کالاها فقط براساس زمان تقاضا ($t = 1 \ldots . T$)، متفاوت باشند، منطقی نیست. به جای کار با ماتریس عظیم داده- ستانده با ابعاد $nT \times nT$، تحلیل پویا، ماتریس $n \times n$ بعدی A را با یک ماتریس سرمایه از همان بعد تکمیل می‌کند (Ten Raa, 2017).

برای تعیین نرخ رشد بالقوه، فرض می‌شود تقاضای نهایی در معادله (۴) فقط شامل تقاضای خانوار است. سیستم داده- ستانده پویا با مدل‌سازی خانوار به عنوان یک صنعت با ضریب مصرف بسته می‌شود:

$$x = Ax + B\frac{dx}{dt} \qquad (۷)$$

با فرمول‌بندی بسته[۱] مدل داده- ستانده پویا (رابطه (۷))، تحلیل مسیر رشد بهبود می‌یابد. پیکربندی مدل (۴)، مدل بسته به اصطلاح آینده‌نگر بوده که در آن تولید فعلی شامل کالاهای سرمایه‌ای برای توسعه تولید سال آینده است (Takayama, 1985). بنابراین داریم:

$$x_{t+1} = [I + B_{t+1}^{-1}(I - A_t)]x_t \qquad (۸)$$

آنالوگ متغیر با زمان رابطه (۸) می‌شود:

$$x_{t+1} = Mx_t \qquad (۹)$$

فرض کنید λ یک مقدار ویژه ماتریس M است. جواب معادله (۹) و مسیر رشد متعادل رابطه (۱۰) می‌شود:

---

۱. اگر مدل به موقع با شرایط اولیه حل شود، منجر به برخی نتایج غیرمنطقی (بی‌ثبات) با محصول یا جریان منفی سرمایه در آینده می‌شود. برای اجتناب از آن، مدل باید از مسیر رشد متوازن در مورد مدل بسته که در آن همه صنایع با نرخ یکسان رشد می‌کند، پیروی کند.

$$x_{t+1} = \lambda x_t \quad or \quad x_t = \lambda^t x \tag{۱۰}$$

اگر $\lambda > 1$ و x بردار ویژه مربوط به یک بردار مثبت باشد، اقتصاد رشد متوازن می‌کند و در آن نرخ رشد همه صنایع یکسان هستند. اگر $0 < \lambda < 1$ باشد، اقتصاد منقبض می‌شود. اگر $\lambda < 0$ باشد، مسیر رشد اقتصاد ناپایدار و نوسانی است. طبق قضیه پرون- فروبینیس[1]، معکوس بزرگترین مقدار مشخصه $\alpha \equiv \left(\frac{1}{\lambda}\right)$ نرخ رشد فون نیومن[2] با نرخ رشد بالقوه بوده و بر بردار مشخصه فون نیومن منطبق است(Takayama, 1985).

برای محاسبه ردپای بوم‌شناختی در الگوی داده- ستانده پویا باید دو نرخ رشد را در نظر گرفت: نخست، α_0، نرخ رشد بالقوه که در شرایط استفاده از ظرفیت کامل و بدون وقفه زمانی بین سرمایه‌گذاری و تولید است. دوم، α^*، نرخ رشدی که براساس آن برداشت از منابع طبیعی (در اینجا زمین) نباید فراتر از ظرفیت زیستی آن باشد. نرخ رشد تولید و مصرف با توجه به ظرفیت زمین به α^* محدود است.

برای نرخ رشد انتخابی α باید نابرابری زیر برقرار باشد: $0 \leq \alpha \leq \alpha^* \leq \alpha_0$. پس یک نرخ رشد معین $\alpha \geq 0$ وجود دارد و کل تولید و مصرف نهایی با آن نرخ افزایش می‌یابد. پس راه‌حل رشد متعادل می‌شود:

$$x_t = (1+\alpha)^t x_0 \quad and \quad c_t = (1+\alpha)^t c_0 \tag{۱۱}$$

براساس نرخ رشد α^* در رابطه (۱۲) برداشت از زمین نباید از ظرفیت زیستی آن فراتر رود:

$$\max_i \left(\frac{(L(1-A-\alpha^* B)^{-1} c_0)_i}{(l)_i}\right) = 1 \tag{۱۲}$$

فرض می‌شود ظرفیت زیستی در افق برنامه‌ریزی ثابت و بردار معلوم l است. بنابر نابرابری زمین در رابطه (۱۳) نباید مقدار زمین مصرفی برای تولید داخلی فراتر از ظرفیت زمین رود:

$$Lx_t \leq l \quad t = 1.2.\cdots.T \tag{۱۳}$$

L، ماتریس ضرایب زمین، نشان‌دهنده مقدار مساحت زمین موردنیاز برای تولید یک واحد محصول، x_t بردار تولید، l ظرفیت زیستی زمین و T طول افق برنامه‌ریزی می‌باشد. براساس رابطه (۱۴) در t^* مقدار زمین به‌کار رفته با ظرفیت زیستی مجاز خواهد بود:

1. Perron–Frobenius
2. Von Neumann

$$t^* = \frac{1}{ln(1+\alpha)} \min_i (ln \frac{(l)_i}{(L)_i (1-A-\alpha^* B)^{-1} c_0}) \quad (۱۴)$$

پس از t^*، اقتصاد باید سطح تولید یا نرخ مصرف یا هر دو را تغییر دهد. سطح تولید با نرخ رشد α تا زمان t^* رشد می‌کند و پس از این نقطه ثابت است. اما از آنجاکه اقتصاد باز است، بخشی از مصرف نهایی از طریق واردات تأمین می‌شود. پس رشد آن بعد از t^* نیز ادامه دارد:

$$c_t = (1+\alpha)^t c_0 \qquad t < t^*$$
$$c_t = (1+\alpha)^{t^*} (1-A)(1-A-\alpha B)^{-1} c_0 \qquad t^* \le t \le T$$

پس از جانشینی معادله (۷) به جای معادله (۵)، معادله (۱۵) به‌دست می‌آید:

$$(1-A-\alpha B) x_0 = c_0$$
$$x_0 = (1-A-\alpha B)^{-1} c_0 \quad (۱۵)$$

با جایگزینی معادلات (۱۳) و (۱۵) در نابرابری $Lx_t \le l$ داریم:

$$(1+\alpha)^t L (1-A-\alpha B)^{-1} c_0 \le l \quad (۱۶)$$

برای محاسبه ماتریس ضرایب زمین لازم است ضرایب مستقیم زمین محاسبه شود:

$$[\varphi_j] = [L_1 \quad \cdots \quad L_2] \begin{bmatrix} \frac{1}{X_1} & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & \frac{1}{X_3} \end{bmatrix} \left\{ \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{13} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{31} & \cdots & a_{33} \end{bmatrix} - \alpha \begin{bmatrix} b_{11} & \cdots & b_{13} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{31} & \cdots & b_{33} \end{bmatrix} \right\}^{-1} \quad (۱۷)$$

عناصر φ_j نشان می‌دهد به ازای ارزش یک واحد تولید در بخش jام چه میزان نیاز مستقیم به زمین وجود دارد. سپس با ضرب ضرایب مستقیم زمین در ماتریس ضرایب فزاینده تولید داخل، نیاز مستقیم و غیرمستقیم زمین یا ماتریس فزاینده زمین به‌دست می‌آید. زمین لازم محاسبه شده در سیستم داده- ستانده پویا دو عنصر دارد: زمین مورد نیاز تقاضای نهایی و زمین مورد نیاز انباشت سرمایه.

با پیش‌ضرب ماتریس ضرایب فزاینده زمین در رابطه (۱۷) در ماتریس قطری مصرف نهایی، ردپای بوم‌شناختی مصرف محصولات داخلی به‌دست می‌آید. جمع سطری عناصر آن، مقدار زمین داخلی مورد نیاز مستقیم و غیرمستقیم هر بخش را برای تأمین مصرف نهایی نشان می‌دهد:

$$EF_1 = [\varphi_j] \begin{bmatrix} c_1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & c_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \eta_{11} & \cdots & \eta_{13} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \eta_{31} & \cdots & \eta_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} EF_{11} \\ EF_{12} \\ EF_{13} \end{bmatrix} \quad (۱۸)$$

در یک اقتصاد باز، تجارت جهانی به شکل واردات و صادرات نقش کلیدی در مصرف منابع برای تولید کالاها و خدمات صادراتی و وارداتی ایفا می‌کند. در این مورد، ظرفیت زیستی زمین محدودیت برای رشد اقتصادی یک کشور ایجاد نمی‌کند. زمین لازم می‌تواند از طریق واردات خارج از کشور تأمین شود تا تقاضای نهایی و انباشت سرمایه اقتصاد را برآورده کند. فرض می‌شود تولید، مصرف، صادرات و واردات با نرخ یکسان α رشد می‌کند:

$$x_t = (1+\alpha)^t x_0 .\quad c_t = (1+\alpha)^t c_0.\quad exp_t = (1+\alpha)^t exp_0.$$
$$imp_t = (1+\alpha)^t imp_0$$

سنجش ردپای بوم‌شناختی زمین به‌کار رفته در کالاهای وارداتی سه نوع است؛ نوع اول مقدار زمین به‌کار رفته در تولید کالاها و خدمات نهایی در کشورهای مبدأ که داخل کشور توسط جمعیت آن کشور مصرف می‌شود. نوع دوم مقدار زمین به‌کار رفته در تولید کالاها و خدمات واردات بوده که به‌صورت نهاده تولید بخش‌ها استفاد می‌شود. نوع سوم، مقدار زمینی است که برای تولید کالاهای سرمایه‌ای به‌کار رفته است. واردات به کالای نهایی (c_{imp})، کالای واسطه‌ای (ZM_{ij}) و کالای سرمایه‌ای (KM_{ij}) تقسیم می‌شود.

$$imp_t = \sum ZM_{ij} + CM_i + \sum KM_{ij} = A_{imp}x_t + c_{imp.t} + B_{imp}(x_{t+1} - x_t) \quad (۱۹)$$
$$= \left(A_{imp} + \alpha B_{imp}\right)(I - A - \alpha B)^{-1} C_{imp.0}$$
$$t = 0.1.\cdots.T-1$$

برای تفکیک واردات لازم است سهم واردات از تولید به‌دست آید. برای این منظور، در رابطه (۲۰)، ضریب d، نسبت واردات هر بخش به ستانده همان بخش محاسبه می‌شود که سهم واردات از تولید را نشان می‌دهد. براساس جدول ۱ داریم:

$$X_i = \sum Z_{ij} + C_i + \sum K_{ij} + exp_i - imp_i$$
$$d_i = \frac{imp_i}{X_i} \quad (۲۰)$$

برای محاسبه میزان واردات کالای واسطه‌ای، کالای نهایی و کالای سرمایه‌ای، ضریب d_i مختص هر بخش را به ترتیب در تقاضای واسطه‌ای داخلی، Z_{ij}، مصرف نهایی داخلی، C_i، و کالای سرمایه‌ای داخلی، K_{ij}، همان بخش باید ضرب کرد. این امکان برای محاسبه ضرایب، B_{imp} و A_{imp}، فراهم است. زیرا بنابر فرض رقابتی بودن واردات می‌توان ماتریس

سرمایه بین‌بخشی کالای تولید داخل و وارداتی را معلوم و غیرمنفرد در نظر گرفت. به این ترتیب، برای ماتریس ضرایب کل در ماتریس قطری ضریب d_i هر بخش ضرب شود:

$$A_{imp} = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{13} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{31} & \cdots & a_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & d_3 \end{bmatrix}$$
$$B_{imp} = \begin{bmatrix} b_{11} & \cdots & b_{13} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{31} & \cdots & b_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & d_3 \end{bmatrix} \quad (۲۱)$$
$$C_{imp} = \begin{bmatrix} c_1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & c_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & d_3 \end{bmatrix}$$

با فرض نرخ رشد α، سیستم پویا در یک اقتصاد باز می‌شود:

$$\begin{bmatrix} x_0 \\ imp_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I - A - \alpha B & 0 \\ -A_{imp} - \alpha B_{imp} & I \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} c_0 + exp_0 \\ c_{imp.0} \end{bmatrix} \quad (۲۲)$$
$$= \begin{bmatrix} (I - A - \alpha B)^{-1} & 0 \\ (A_{imp} + \alpha B_{imp})(I - A - \alpha B)^{-1} & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_0 + exp_0 \\ c_{imp.0} \end{bmatrix}$$

ردپای بوم‌شناختی یا زمین داخلی مورد نیاز برای تولید داخلی شامل کالای تولید شده برای مصرف داخلی و صادرات عبارت است از:

$$EF_2 = [\varphi_j] \begin{bmatrix} c_1 + exp_1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & c_3 + exp_3 \end{bmatrix} = \quad (۲۳)$$
$$\begin{bmatrix} \mu_{11} & \cdots & \mu_{13} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mu_{31} & \cdots & \mu_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} EF_{21} \\ EF_{22} \\ EF_{23} \end{bmatrix}$$

بخشی از مصرف داخلی با واردات تأمین می‌شود، پس ردپای بوم‌شناختی یا مجموع زمین مورد نیاز برای مصرف داخلی(تولید داخل و وارداتی) که توسط جمعیت داخل کشور مصرف شده به‌صورت زیر است:

$$EF_3 = [\varphi_j]\{\begin{bmatrix} c_1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & c_3 \end{bmatrix} + (1 - A)^{-1}\{(A_{imp} + \quad (۲۴)$$
$$\alpha B_{imp}) \begin{bmatrix} c_1 + exp_1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & c_3 + exp_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} CM_1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & CM_3 \end{bmatrix}\}\}$$

سمت راست رابطه (۲۴)، عبارت نخست، زمین به‌کار رفته در کالا و خدمات نهایی و مصرفی است که در داخل تولید شده، عبارت دوم، زمین به‌کار رفته در نهاده واسطه‌ای وارداتی است که فرایند تولید آن در داخل تکمیل شده که در نهایت، در داخل مصرف شده

یا صادر شده است و عبارت سوم، زمین به‌کار رفته در تولید کالای نهایی مصرفی است که وارداتی است.

تفاوت بین زمین به‌کار رفته در واردات متشکل از واردات مصرفی و واسطه‌ای و مقدار زمین به‌کار رفته در صادرات، وضعیت تراز تجاری بوم‌شناختی زمین را در سطح بخش‌های مختلف کشور نشان می‌دهد، در صورتی که مقدار زمین به‌کار رفته در کالا و خدمات واردات بیشتر از مقدار زمین به‌کار رفته در کالا و خدمات صادرات باشد، کسری تراز تجاری بوم‌شناختی زمین در سطح بخش آشکار می‌شود. عکس آن، مازاد تراز تجاری بوم‌شناختی زمین را نشان می‌دهد:

$$EF_4 = [\varphi_j]\{\begin{bmatrix} exp_1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & exp_3 \end{bmatrix} - (1-A)^{-1}\{(A_{imp} + \alpha B_{imp})\begin{bmatrix} c_1 + exp_1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & c_3 + exp_3 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} CM_1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & CM_3 \end{bmatrix}\}\} \quad (۲۵)$$

رابطه (۲۶) ردپای بوم‌شناختی کل در سطح بخشی است که جمع سطری آن ردپای کل را نشان می‌دهد:

$$EF_5 = [\varphi_j]\{(I + A_{imp} + \alpha B_{imp})\begin{bmatrix} c_1 + exp_1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & c_3 + exp_3 \end{bmatrix} + [\varphi_j](1 - A)^{-1}\begin{bmatrix} CM_1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & CM_3 \end{bmatrix}\} \quad (۲۶)$$

در نهایت، سرانه ردپای بوم‌شناختی زمین با تقسیم حاصل رابطه (۲۶) بر جمعیت می‌تواند به سرانه آن در سطح بخشی برسد که حاصل‌جمع آن، سرانه ردپای بوم‌شناختی کل را نشان می‌دهد.

مدل برای پیش‌بینی ردپای بوم‌شناختی فروضی دارد. نخست این‌که، تولید و اجزای تقاضای نهایی با نرخ یکسان α رشد کند. پس، فرض می‌شود، ردپای بوم‌شناختی نیز با همان نرخ α رشد می‌کند:

$$EF_t = (1+\alpha)^t EF_0 \quad (۲۷)$$

دوم، ظرفیت زیستی زمین در افق برنامه‌ریزی ثابت است. پس، با توجه به مقدار اولیه ردپای بوم‌شناختی، ظرفیت زیستی زمین و نرخ رشد، می‌توان به مدت زمانی دست یافت که از کل ظرفیت زمین استفاده شود.

٤. داده‌ها و نتایج

برآورد مدل پویا با جدول داده- ستانده[1] و موجودی سرمایه[2] سال **۱۳۹۵** سایت بانک مرکزی است. ماتریس موجودی سرمایه فقط سرمایه ثابت سرمایه‌گذاری شده در فعالیت تولیدی است. گنجاندن سرمایه در گردش به ماتریس موجودی سرمایه ویژگی جامع‌تری می‌بخشد. سرمایه در گردش همان موجودی انبار است که توسط تجارت نگهداری می‌شود. آمار موجودی انبار بخش کشاورزی و صنعت سال **۱۳۹۵** از مرکز آمار ایران است. در صنعت نتایج آمارگیری کارگاه‌های صنعتی ده کارکن و بیشتر برحسب طبقات کارکن استفاده می‌شود که شامل کالای ساخته شده، کالایی که بدون تغییر شکل به فروش می‌رسد، کالاهای در جریان ساخت و مواد خام اولیه است. واحد موجودی انبار بخش کشاورزی نیز به تن است که باید برحسب واحد پولی نوشته شود تا با سایر عناصر و درایه‌های ماتریس ضرایب فنی سازگار باشد (اکبری و امینی، **۱۴۰۲**).

جدول **۲**، ماتریس سرمایه بین بخشی، مجموع مقادیر سرمایه ثابت خالص و موجودی انبار، به‌دست می‌آید:

جدول ۲. ماتریس سرمایه بین‌بخشی کل (هزار میلیارد تومان) در سال ۱۳۹۵

	کشاورزی	صنعت	خدمات
کشاورزی	۷/٦۱	۳۳/٥۷	۰
صنعت	٦۱/۸٥	٦۱٥/۲	۳۳/۸
خدمات	۳٥٦/۷۳	۳٦۱٤/٦	۳٤۲٥/۲

مأخذ: سایت بانک مرکزی و مرکز آمار ایران

۱. جدول داده - ستانده(cbi.ir)

۲. موجودی سرمایه(cbi.ir)

هر درایه به‌دست آمده (b_{ij}) عبارت است از مقدار کالای سرمایه‌ای که توسط بخش i تولید و توسط بخش j برای تولید یک واحد پول از کالای بخش j مصرف می‌شود. به این ترتیب، ماتریس ضرایب سرمایه‌ای با تقسیم این مقادیر به ستانده کل به‌دست می‌آید:

جدول ۳. ماتریس ضرایب سرمایه بین بخشی

	کشاورزی	صنعت	خدمات
کشاورزی	۰/۰۳	۰/۰۳	۰
صنعت	۰/۲٦	۰/۵۸	۰/۰۳
خدمات	۱/۵	۳/٤	۲/۹
جمع	۱/۷۹	٤/۰۱	۲/۹۳

مأخذ: یافته‌های پژوهش

جمع هر ستون این ماتریس جدول ۳ نشان می‌دهد بخش کشاورزی برای یک واحد تولید از بخش صنعت و خدمات ۱/۷۹ واحد کالاهای سرمایه‌ای خریده است. خرید کالاهای سرمایه‌ای بخش صنعت ۴/۰۱ و بخش خدمات ۲/۹۳ واحد است. در تحلیل نتایج می‌توان گفت به‌دلیل فقدان اطلاعات مکمل مربوط به کاربری زمین، جدول داده- ستانده از درجه ادغام بالایی برخوردار و منحصر به سه بخش کشاورزی، صنعت و خدمات است. بخش کشاورزی، به دلیل کاربر بودن آن در ایران، از ضریب سرمایه به نسبت پایینی برخوردار است. بخش صنعت هم که سهم سرمایه آن بیشتر مبتنی بر ماشین‌آلات است ضریب سرمایه بالاتری از کشاورزی دارد. غیر از این دو بخش، سایر بخش‌های اقتصادی در گروه سوم که خدمات است جمع شده‌اند از جمله ساختمان، ارتباطات، حمل‌ونقل و .... از بین این بخش‌های موجود در دسته‌بندی سوم، ساختمان و ارتباطات، سرمایه‌بری بسیار بالایی دارند که در این مطالعه به دلیل ادغام در بخش خدمات به‌طور جداگانه قابل نشان دادن نیستند اما در سایر مطالعاتی که این بخش‌ها به‌طور جداگانه در ماتریس ضریب سرمایه بین‌بخشی آمده ضریب سرمایه آن‌ها حتی دو رقمی به‌دست آمده است مثل مطالعه بزازان (۲۰۰۲) و بزازان (۲۰۱۱)؛ به‌ویژه بخش ارتباطات که سرمایه‌بری فوق‌العاده بالا داشته و به فناوری‌های نو و گرانقیمت نیاز دارد. همین دو بخش تأثیر زیادی بر روی ضریب سرمایه در گروه سوم یا خدمات باید داشته باشند.

اطلاعات زمین برای احداث ساختمان برای کشاورزی، فعالیت صنعتی و خدمت‌رسانی در سطح کشور به‌کار گرفته می‌شود. به این ترتیب، جدول داده- ستانده با توجه به تعداد نوع کاربری زمین و داده موجودی سرمایه در سه بخش تجمیع می‌شود. مجموع زمین در بخش‌های مربوط به فعالیت جنگل‌داری، کشاورزی، دامداری، ماهیگیری و باغداری، در سال ۱۳۹۵ حدود ۲۶/۴ میلیون هکتار است. پس، بخش‌های جنگل‌داری، کشاورزی، دامداری، ماهیگیری و باغداری، در یک گروه تحت عنوان کشاورزی تجمیع می‌شود.

بخش صنعت شامل زمین اختصاص یافته به واحدهای صنعتی در شهرک و نواحی صنعتی[۱]، عملیات شناسایی و پی‌جویی مواد معدنی[۲]، ساخت پالایشگاه نفت[۳]، گاز[۴]، مجتمع پتروشیمی[۵] و نیروگاه تولید برق[۶] تا سال ۱۳۹۵ است که در مجموع ۶۵۴ هزار و ۸۰ هکتار برآورد می‌شود. بخش‌های اقتصادی که در حوزه صنعت فعالیت دارند در یک بخش تحت عنوان صنعت تجمیع می‌شوند.

بخش دیگر بخش خدمات است که بیشتر شامل ساختمان‌های مسکونی و غیرمسکونی توزیع شده در سطح کشور است. با فرض این‌که فعالیت‌هایی مانند بانک و مراکز آموزشی که ماهیت خدمات دارند، کاربری زمین آن در قالب مساحت زمینی است که در محدوده شهرها اشغال کرده‌اند. به دلیل ناکافی بودن اطلاعات، مساحت حریم قانونی شهرها مبنای محاسبه مساحت زمین اشغال شده برای احداث ساختمان قرار می‌گیرد. با این حال، در کنار این فعالیت‌ها نیز بخشی از زمین‌های شهری به مناطق مسکونی اختصاص دارد. برای واقعی‌سازی مساحت زمین اشغال شده توسط فعالیت‌ها، با توجه به توزیع نسبت جمعیت

---

۱. براساس آمارنامه عملکرد سال ۱۳۹۵ سازمان صنایع کوچک و شهرک‌های صنعتی ایران (شرکت تابعه وزارت صمت)، ۱۳۷ هزار و ۸۸۵ هکتار است.

۲. براساس گزارش عملکرد سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۴۹۱۳ معدن فعال در کشور در سال ۱۳۹۵وجود داشت. به‌دلیل نبود داده کافی، مساحت زمین حفاری شده براساس گزارش عملکرد وزارت صمت حدود پنج هزار کیلومتر مربع (۵۰۰ هزار هکتار) برآورد می‌شود.

3.https://niordc.ir/_douranportal/documents/broushour/farayand_sabz_low_08-24_final.pdf

۴. مساحت مجموع زمین‌های به‌کار رفته برای ساخت پالایشگاه‌های گازی برآورد شده از منابع آماری مختلف است.

۵. مجتمع‌های پتروشیمی ایران (mop.ir)

۶. وزارت نیرو | شرکت‌های مدیریت تولید نیروی برق (نیروگاه‌ها)(moe.gov.ir)

شهری و روستایی از کل جمعیت، مساحت این نوع زمین به‌دست می‌آید. حریم شهرها در سال ۱۳۹۵ حدود ۴۴۰ هزار هکتار است. با توجه به ۷۳ درصد جمعیت شهرنشین کشور، ۷۳ درصد مساحت اشغال شده برای ساختمان جهت سکونت و خدمات‌رسانی در شهرها و معادل حریم شهری بوده و بدین ترتیب کل مساحت اشغال شده توسط بخش ساختمان در سطح کشور(شهر و روستا) در سال مذکور ۳۲۰ هزار هکتار است. بخش دیگر زمین‌هایی است که برای احداث جاده‌ها اعم از آزادراه و بزرگراه و همچنین خطوط راه‌آهن، تا سال ۱۳۹۵ اشغال می‌شود. براساس سالنامه آماری کشور سال ۱۳۹۵، حدود ۲۱۵ هزار و ۵۶۰ کیلومتر جاده وجود دارد. با توجه به متوسط حریم جاده که ۳۲ متر است، زمین اشغال شده برای جاده‌ها حدود ۶۹۰ هزار هکتار می‌شود. این رقم برای زمین به‌کار رفته در احداث خطوط ریلی که مجموع طول آن ۱۳ هزار و ۴۸۲ کیلومتر با حریم ۱۷ متر بوده ۲۳ هزارهکتار است. به این ترتیب، مجموع زمین‌ها بیش از یک میلیون هکتار برآورده شده و همه بخش‌های خدماتی اعم از حمل‌ونقل در بخش خدمات تجمیع می‌شوند.

جدول ٤. زمین‌های به‌کار رفته در اقتصاد ایران (سال ۱۳۹۵)

نوع زمین	مساحت(میلیون هکتار)
کشاورزی	۲٦/٥
صنعت	۰/٦٥
خدمات	۱
کل زمین قابل استفاده	۱۳۰/۳
کویرها و بیابان	۳۲/٦
کل زمین خاکی	۱٦۲/۹

مأخذ: سالنامه آماری وزارت کشاورزی، سایت وزارت نیرو، سایت شرکت بازآفرینی شهری ایران، سایت وزارت نفت، گزارش سالانه مرکز آمار و سالنامه آماری وزارت صمت

بزرگترین مقدار ویژه با توجه به مقادیر ماتریس A و B برابر با ۲/۴۲ بوده که براساس آن‌ها نرخ رشد بالقوه برابر با ۴۱ درصد است. نرخ رشد برنامه‌ریزی شده (۸ درصد) در برنامه ششم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی (۱۴۰۰-۱۳۹۶)، یکی از نرخ رشدهای مورد نظر در این پژوهش است که به دلیل همزمانی آن با داده‌های مقاله انتخاب شده است. براساس

نتایج حساب‌های ملی فصلی مرکز آمار ایران بر مبنای سال پایه ۱۳۹۰ نرخ رشد محصول ناخالص داخلی (به قیمت بازار) در سال ۱۳۹۵ بالغ بر ۱۱/۱درصد بوده و بدون احتساب نفت ۶/۴ درصد است.[1] جمعیت ایران در سال ۱۳۹۵، بالغ بر ۷۹ میلیون و ۹۲۶ هزار و ۲۷۰ نفر بود.

جدول ۵ به ترتیب ردپای بوم‌شناختی زمین‌بخشی به تفکیک زمین به‌کار رفته برای تولید کالا و خدمات به منظور مصرف داخلی، صادرات و واردات در سال ۱۳۹۵ براساس نرخ رشد اقتصادی بالقوه، نرخ رشد برنامه‌ریزی شده و نرخ رشد اقتصادی سال ۱۳۹۵ بدون احتساب نفت را نشان می‌دهد.

جدول ۵. ردپای بوم‌شناختی براساس نرخ رشد اقتصادی بالقوه، نرخ رشد برنامه‌ریزی شده و نرخ رشد سال ۱۳۹۵ بدون احتساب نفت (میلیون هکتار)

نرخ رشد اقتصادی		بخش‌ها	EF_1	EF_2	EF_3	EF_4	EF_5
نرخ رشد بالقوه	٪۴۱	کشاورزی	۱۸/۸	۳٤/٤	۱٤/۱	-۰/۳٦	۳٦/۳
		صنعت	۰/۳۳	۰/۱٤	۰/۱۳	-۰/۰٤	۰/۲۵
		خدمات	۰/٦۹	۳/۰٤	۲/۰۱	-۰/۳۷	۳/۰۹
		جمع	۱۹/۸	۳۷/٦	۱۲/۲	-۰/۷۷	۳۹/٦
نرخ رشد برنامه‌ریزی شده	٪۸	کشاورزی	۲۱/۸	۲۸/۱	۲٦/۵	-۰/۷	۳۰/٦
		صنعت	۰/۵	۰/۷۸	۰/۸٦	۰/۱۵	۱/۰۱
		خدمات	۱/٤	۱/۷٤	۳/۳۱	-۰/۱۵	۲/۰۵
		جمع	۲۳/۷	۳۰/٦	۲۹/۷	-۰/۷	۳۳/٦
نرخ رشد سال ۱۳۹۵ بدون احتساب نفت	٪٦/٤	کشاورزی	۲۱/۱	۲۷	۲۳/۷	-۰/۹	۲۹/۷
		صنعت	۰/٤۷	۰/۷۳	۰/٦۸	۰/۱۵	۰/۹٤
		خدمات	۱۲/۳	۱/٤۸	۱/٤٤	-۰/۰۸	۱/۷
		جمع	۲۲/۸	۲۹/۲	۲۵/۸	-۰/۰۲	۳۲/۳

مأخذ: یافته‌های پژوهش

ستون EF_1، بر مبنای رابطه (۱۸)، به ردپای بوم‌شناختی زمین به‌کار رفته در تولید کالا و خدماتی اشاره دارد که داخل کشور توسط هر بخش تولید و مصرف شده و رقم کلی آن

1. https://www.amar.org.ir/Portals/0/News/1396/nras-95.pdf

نیز مجموع زمین به‌کار رفته برای تأمین مصرف داخلی در کل اقتصاد را نشان می‌دهد. ستون EF_2، ارقام حاصل از رابطه (۲۳) را بیان می‌کند که ردپای بوم‌شناختی زمین لازم برای محصولاتی است که یا در داخل کشور مصرف شده یا صادر شده است.

ستون EF_3، براساس رابطه (۲۴) ردپای بوم‌شناختی یا مجموع زمین مورد نیاز برای مصرف داخلی است که توسط جمعیت داخل کشور مصرف می‌شود. ستون EF_4، تراز تجاری بوم‌شناختی زمین را براساس رابطه (۲۵) نشان می‌دهد. ستون EF_5، ردپای بوم‌شناختی بخش براساس رابطه (۲۶) است.

جمع سطری ستون EF_1، ردپای بوم‌شناختی کلی به ترتیب مصرف داخلی، EF_2، تولید داخلی(مصرف و صادرات)، EF_3، مصرف داخلی و وارداتی، EF_4، تراز تجاری و ستون EF_5، ردپای بوم‌شناختی کل اقتصاد را نشان می‌دهد.

بنابر جدول ۵، ردپای بوم‌شناختی کل با توجه به نرخ رشد اقتصادی بالقوه، بالغ بر ۳۹/۶ میلیون هکتار با سرانه آن ۰/۵ هکتار است. با رشد برنامه‌ریزی شده ۸ درصد ردپای بوم‌شناختی تولید ۳۳/۶ میلیون هکتار با سرانه ۰/۴۲ هکتار است. ردپای بوم‌شناختی با نرخ بدون در نظر گرفتن نفت، ۶/۴ درصد، ۳۲/۴ میلیون هکتار با سرانه ۰/۴ هکتار است.

با توجه به محدودیت داده‌ها نمی‌توان ظرفیت زیستی زمین را در سطح بخشی به‌دست آورد اما اگر با توجه به جدول ۴، ظرفیت زیستی زمین، کل زمین قابل استفاده در کشور باشد که سرانه آن حدود ۱/۶ هکتار است. می‌توان به این نتیجه رسید که در حال حاضر به‌کارگیری زمین برای تولید کمتر از ظرفیت زیستی کشور بوده و امیدوارکننده است. با این حال، چالش اصلی درخصوص زمین‌های کشاورزی همچنان باقیست به‌طوری‌که اعداد این بخش فراتر از ظرفیتی بوده که در جدول ۴ آمده است.

با توجه جدول ۴، اگر کل زمین قابل استفاده کشور معادل ظرفیت زیستی زمین کشور در نظر گرفته شود، مقدار آن ۱۳۰ میلیون هکتار است. براساس یافته‌ها، ردپای بوم‌شناختی کل در حالتی که نرخ رشد برنامه‌ریزی شده ۸ درصد بوده، ۳۳/۶ میلیون هکتار است. با توجه به رابطه (۱۴) و (۲۷)، با فرض نرخ رشد ثابت ردپای بوم‌شناختی انتظار می‌رود تا ۱۳ سال بتوان از کل ظرفیت زیستی زمین استفاده کرد. این رقم با در نظر گرفتن رشد ۶/۴ درصد به ۲۲/۵ سال می‌رسد.

۵. نتیجه‌گیری

در این پژوهش تلاش شده، ضمن معرفی شاخص ردپای بوم‌شناختی زمین مبتنی بر الگوی داده- ستانده پویا، مقدار آن با استفاده از جدول داده- ستانده سال ۱۳۹۵ در سطح سه بخش کشاورزی، صنعت و خدمات محاسبه شود. براساس نتایج، در سال ۱۳۹۵ سهم هر فرد ساکن ایران از زمین‌های داخلی با توجه به رشد برنامه‌ریزی شده ۸ درصد بالغ بر ۰/۴۲ هکتار است. اگر ردپای بوم‌شناختی با همین نرخ رشد کند تا ۱۷/۵ سال بعد، یعنی حدود سال ۱۴۱۲ با اتمام ظرفیت زیستی زمین مواجه می‌شود. این رقم با در نظر گرفتن رشد اقتصادی بدون احتساب نفت در همین سال که ۶/۴ درصد بوده به سال ۱۴۱۷ می‌رسد. البته با توجه به اینکه در سال‌های اخیر نرخ رشد اقتصادی کشور کاهش یافته، زمان بهره‌برداری از کل زمین‌های قابل استفاده کشور طولانی‌تر شود.

آنچه مسلم است ایران به عنوان کشوری کم‌آب ممکن است خیلی زودتر از پیش‌بینی‌ها، با از دست دادن زمین‌های حاصل‌خیز خود، درگیر بحران‌های زیست‌محیطی شود. بنابراین، سیاست‌های توسعه کشور نباید روی بخش کشاورزی متمرکز شود، چراکه بسیاری از برنامه‌های توسعه و حتی توزیع جمعیت، با اجرای سیاست‌های نادرست کشت، از مسیر توسعه پایدار خارج شده‌اند. درحالی‌که این سیاست می‌تواند با شناسایی ظرفیت‌های تولید هر منطقه، برنامه‌های توسعه را به سمت فعالیت‌های بخش صنعت و خدمات سوق دهد. البته این امر مستلزم توسعه سرمایه‌گذاری در بخش‌های مربوط به این فعالیت‌ها با توجه به قابلیت‌های هر منطقه دارای زمین قابل استفاده است. این رویکرد در صادرات و واردات کالاها با توجه به تراز تجاری بوم‌شناختی زمین می‌تواند در کانون توجه سیاستگذاران قرار گیرد.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، با تغییر نرخ رشد، افق زمانی برای برداشت از ظرفیت زیستی زمین تغییر می‌کند. این در حالی بوده که خود نرخ رشد نیز می‌تواند تابع عوامل مختلفی باشد. بنابراین، بهتر است برنامه‌ریزی‌ها کوتاه‌مدت باشد تا بتوان آثار آن را در بلندمدت کنترل کرد یا در صورتی که در راستای اهداف توسعه پایدار نبود، پیامد منفی آن به حداقل برسد. برای نمونه، مدل بررسی شده هیچ‌گونه توسعه فناوری در اقتصاد را فرض نمی‌کند. در تحقیقات بیشتر، می‌توان توسعه فناوری را وارد مدل اقتصادی کرد، یعنی

ماتریس‌های مدل را می‌توان در زمان تغییر داد. در اقتصاد مدرن، تحقیق وتوسعه (R&D) فناوری جدیدی را برای حفظ محیط زیست توسعه می‌دهد. همچنین فراهم شدن داده‌های کافی می‌تواند امکان ساختن معکوس ماتریس‌های لئونتیف با ابعاد بزرگتری برای پژوهشگر ایجاد کند که در صورت نتایج کاربردی‌تر مانند تحلیل پویای بررسی تغییرات کاربری زمین در یک بازه زمانی مشخص را ممکن می‌سازد.

این پژوهش فقط برای معرفی شاخص مورد نظر با قابلیت پیش‌بینی آن است اما نبود داده کافی باعث می‌شود برآوردها مبتنی بر داده‌های غیرواقعی باشد که دقت و صحت نتایج را تحت تأثیر قرار می‌دهد. با این‌حال، این نتایج می‌تواند راهنمای سیاستگذاری‌های کلان باشد.

تعارض منافع

تعارض منافع وجود ندارد.

ORCID

Simin Azizmohamadi https://orcid.org/0000-0003-2532-2447
Fatemeh Bazzazan https://orcid.org/0000-0002-2994-3139

منابع

اکبری، نعمت‌الله و امینی، مریم. (۱۴۰۲). برآورد سرمایه‌گذاری موردنیاز جهت تحقق اهداف برنامهٔ ششم توسعه اقتصادی مبتنی‌بر جدول داده- ستانده پویای ملّی. *فصلنامه مطالعات اقتصادی کاربردی ایران*، ۱۲(۴۷)، ۹-۳۶.
https://doi: 10.22084/AES.2023.27447.3558

اندایش، یعقوب، صادقی، کمال، کریمی، زهرا، متفکرآزاد، محمدعلی و اصغرپو، حسین. (۱۳۹۵). سنجش ردپای بوم‌شناختی کربن دهک‌های خانوارهای شهری و روستایی در ایران با رهیافت ماتریس حسابداری اجتماعی(SAM). *پژوهش‌های اقتصادی ایران*. ۲۱(۶۸)، ۱۶۳-۲۰۶. https://doi: 10.22054/IJER.2016.7500

بانویی، علی‌اصغر. (۱۳۹۱). ارزیابی شقوق مختلف منظور کردن واردات و روش‌های تفکیک آن با تأکید بر جدول متقارن سال ۱۳۸۰. *فصلنامه سیاستگذاری اقتصادی*، ۸، ۷۴-۳۱.
https://doi: 20.1001.1.26453967.1391.4.8.2.2

بانویی، علی‌اصغر، مومنی، فرشاد و عزیزمحمدی، سیمین. (۱۳۹۲). سنجش ردپای بوم‌شناختی زمین در بخش‌های مختلف اقتصادی ایران با استفاده از رویکرد جدول داده- ستانده. *تحلیل‌های اقتصادی توسعه ایران*. ۱(۱)، ۳۵-۶۶. https://doi: 10.22051/EDP.2014.59

بزازان، فاطمه، بانویی، علی‌اصغر و کرمی، مهدی. (۱۳۸۶). تأمل بیشتری درخصوص توابع سهم مکانی نوین بین ابعاد اقتصاد فضا و ضرایب داده- ستانده منطقه‌ای: مطالعه موردی استان تهران. *پژوهش‌های اقتصادی ایران*. ۹(۳۱)، ۲۷-۵۳. دسترسی آنلاین در:
https://ensani.ir/file/download/article/20101022151219-p0160700310271-85WA5X.pdf [

کاکایی، جمال، فریدزاد، علی، مومنی، فرشاد و بانویی، علی‌اصغر. (۱۳۹۸). سنجش ردپای بوم‌شناختی انرژی‌های فسیلی در بخش‌های اقتصادی ایران با استفاده از رویکرد داده- ستانده. *پژوهشنامه اقتصادی*، ۱۹(۷۳)، ۱۴۷-۱۷۴.
https://doi: 10.22054/JOER.2019.10766

نجفی، بنفشه، خداداد، فرهاد، سوری، علی و موسوی، یگانه. (۱۴۰۱). شناسایی ردپای آب در تجارت خارجی ایران با رهیافت جدول داده- ستانده ۱۳۹۵. *اقتصاد و تجارت نوین*، ۱۷(۱)، ۱۶۹-۱۹۴. https://doi: 10.30465/JNET.2022.39821.1837

نوری، فریبا. (۱۳۹۰). *ارزیابی سرمایه‌گذاری بخشی در برنامه سوم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده علوم اجتماعی و اقتصادی دانشگاه الزهرا.

References

Akbari, N., & Amini, M. (2023). Estimating the investment required to achieve the goals of the sixth economic development program based on the national dynamic input-output table. *Journal of Applied Economics Studies in Iran, 12*(47): 9-36. https://doi:10.22084/aes.2023.27447.3558 [In Persian]

Andayesh, Y., Sadeghi, S. K., Karimi Takanlou, Z., Motafakker Azad, M. A., & Asgharpour, H. (2016). Measuring the carbon footprint of urban and rural household deciles in Iran: the social accounting matrix (sam) approach. *Iranian Journal of Economic Research*, *21*(68): 163-206. https://doi: 10.22054/ijer.2016.7500 [In Persian]

Baabou, W., Grunewald, N., Ouellet-Plamondon, C., Gressot, M., & Galli, A. (2017). The ecological footprint of mediterranean cities: awareness creation and policy implications. *Environmental Science & Policy*, *69*, 94–104. https://doi: 10.1016/j.envsci.2016.12.013

Banouei, A. A. (2012). Evaluation of the different treatments and methods of separating imports with emphasis on 1381 iot of Iran. *The Journal of Economic Policy*. *4*(8): 31-74. https://doi: 20.1001.1.26453967.1391.4.8.2.2 [In Persian]

Banouei, A.A., Momeni, F. & Azizmohammadi, S. (2013). Measurement of land ecological footprint in different sectors Iranian economy: using input-output approach. *Journal of Iranian Economic Development Analyses*, *1*(1), 35-66. https://doi: 10.22051/EDP.2014.59 [In Persian]

Bazzazan, F. (2002). *A dynamic input-output price model with application to Iran*. PhD thesis, University of Liverpool. https://doi: 10.17638/03176295

Bazzazan F. (2011). *Input-output analysis: static, dynamic extended quantity and price models (with application to Iran)*. LAP LAMBERT Academic Publishing.

Bazzazan, F., Banouei, A. A., & Karami, M. (2007). The modern location quotient function, spatial dimension, and regional input-output coefficients: the case of Tehran province. *Iranian Journal of Economic Research*, *9*(31). 27-53. Available online at: https://ensani.ir/file/download/article/20101022151219-p0160700310271-85WA5X.pdf [In Persian]

Bicknell, K., Ball, R., Cullen, R., & Bigsby, H. (1998). New methodology for the ecological footprint with an application to the Newzealand economy. *Ecological Economics*, *27*, 149-160. https://doi: 10.1016/S0921-8009(97)00136-5

Begum, R. A., Pereira, J. J., Jaafar, A. H., & Al-Amin, A. Q. (2009). An impirical assessment of ecological footprint calculations for Malaysia. *Resources, Conservation & Recycling*, *53*(10), 582–587. https://doi: 10.1016/j.resconrec.2009.04.009

Borucke, M., Moore, D. Cranston, G., Gracey. K., Iha, K. Larson, J., Lazarus, E., Morales, J., Wackernagel, M., & Galli, A. (2013). Accounting for demand & supply of the biosphere's regenerative capacity: the national footprint accounts' underlying methodology & framework. *Ecological Indicators*, *24*, 518–533. https://doi: 10.1016/j.ecolind.2012.08.005

Dobos, I. & Floriska, A. (2005). A dynamic Leontief model with non-renewable resources. *Economic Systems Research*, *17*, 317-326. https://doi: 10.1080/09535310500221856

Dobos, I., & Floriska, A. (2007). The resource conservation effect of recycling in a dynamic Leontief model. *International Journal of Production Economics*, *108*(1–2), 334–340. https://doi:10.1016/j.ijpe.2006.12.038

Dobos, I. & Tóth-Bozó, B. (2023). Ecological footprint calculation as a land demand: based on the dynamic Leontief model. *Periodica Polytechnica Social & Management Sciences*, published online. https://doi: 10.3311/PPso.21257.

Ferng, J. (2001). Using composition of land multiplier to estimate ecological footprints associated with production activity. *Ecological Economics*, *37*, 159-172. https://doi:10.1016/S0921-8009(00)00292-5

Guo, Z., Gao, Z., & Zhang, W. (2023). Accounting & decomposition of energy footprint: evidence from 28 sectors in China. *Sustainability*, *15*, 13148. https://doi: 10.3390/su151713148

Jin, W., Xu, L. & Yang, Z. (2009). Modeling a policy making framework for urban sustainability: incorporating system dynamics into the ecological footprint. *Ecological Economics*, *68*, 2938-2949. https://doi: 10.1016/j.ecolecon.2009.06.010

Kakaie, J., Faridzad, A., Momeni, F., & banouei, A. A. (2019). Measuring ecological footprint of fossil fuels in economic sectors of Iran: an input-output approach. *Economics Research*, *19*(73), 147-174. https://doi: 10.22054/joer.2019.10766 [In Persian]

Kratena, K. & Wiedmann, T. (2008). A monetary measure for ecological footprints of domestic final demand: the UK example. Presented at *International Input-Output Meeting on Managing the Environment*, Seville, Spain, July 9–11.
https://www.iioa.org/conferences/intermediate-2008/pdf/1c3_ Kratena.pdf

Lenzen, M., Wiedmann, T., Foran, B., Dey, C., Widmer-Copper, A., Williams, M., & Ohlemüller, R. (2007). *Forecasting the ecological footprint of nations: a blueprint for a dynamic approach*. ISA Research Report 07-01. University of Sydney Centre for Integrated Sustainability Analysis, Stockholm Environment Institute and University of York. https://isa.org.usyd.edu.au/publications/DEF.pdf

Leontief, W. (1970). Environmental repercussions and the economic structure: an input-output approach. *The Review of Economics and Statistics*, *52*(3), 262–271. https://doi: 10.2307/1926294

Li, Y., Zhan, J., Zhang, F., Zhang, M., & Chen, D. (2017). The study on ecological sustainable development in Chengdu. *Physics and Chemistry of the Earth*, Parts A/B/C. 101, 112-120.
https://doi: 10.1016/j.pce.2017.03.002

Miller, R., & Blair. P. (2022). *Mixed & dynamic models* (chapter 14) from book: input-output analysis foundations & extensions. Publisher: Cambridge University Press. 678–721.
https://doi: 10.1017/9781108676212.015

Moffatt, I., Wiedmann, T., & Barrett, J. (2005). The impact of Scotland's economy on the environment: a note on input-output and ecological footprint analysis. *Quarterly Economic Commentary*, *30*(3), 37–44. https://strathprints.strath.ac.uk/46997/1/FEC_30_3_2005_MoffatIWiedmannTBarrettJ.pdf

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

Najafi, B., Khodadad kasha, F., Souri, A., & Mousavi, Y. (2022). Identification of water footprint in Iran's foreign trade with the approach of the input-output table-2016. *Quarterly Journal of New Economic & Trade*, *17*(1), 169-194. [In Persian]
https://doi:10.30465/JNET.2022.39821.1837

Nouri, F. (2012). *Evaluation of partial investment in the third economic, political and socio-cultural development plan.* Master's thesis. Alzahra University Faculty of Social and Economic Sciences. [In Persian]

Okuyama, Y. (2017). *Dynamic Input-Output Analysis* in handbook of input–output analysis (chapter 13) edited by Thijs Ten Raa. Publisher: Edward Elgar. 464–484. https://doi: 10.4337/9781783476329.00019

Pei, J., Oosterhaven, J., & Dietzenbacher, E. (2012). How much do exports contribute to China's income growth?. *Economic Systems Research*, *24*(3), 275-297. https://doi: 10.1080/09535314.2012.660746

Rees, W. E. (2023). *Ecological Footprint*, *Concept of*. Chapter in 'Encyclopedia of biodiversity' (2nd Ed) book edited by Samuel M. Scheiner. Published by Academic press, San Diego.

Ruben, G. B., Zhang, K., Dong, Z., & Xia, J. (2020). Analysis & projection of land-use/land-cover dynamics through scenario-based simulations using the CA-markov model: a case study in guanting reservoir basin, China. *Sustainability*, *12*(9), 3747. https://doi: https://doi.org/10.3390/su12093747

Steengea, A. E., & Reyes, R. C. (2020). Return of the capital coefficients matrix. *Economic Systems Research*, *32*(4), 439-450. https://doi.org/10.1080/09535314.2020.1731682

Takayama, A. (1985), *Mathematical economics*, 2nd edition, New York: Cambridge University press.

Ten Raa, T. (2017). *Handbook of input–output analysis II*. Edward Elgar Publishing. ISBN: 9781783476312 https://public.ebookcentral.proquest.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=4882081

Tsuchiya, K., Iha, K., Murthy, A., Lin, D., Altiok, S., Rupprecht, C., & McGreevy, S. R. (2021). Decentralization & local food: Japan's regional ecological footprints indicate localized sustainability strategies. *Journal of Cleaner Production*, 292, 126043. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126043

Van Den Bergh, J., & Grazi, F. (2015). Reply to the first systematic response by the global footprint network to criticism: a real debate finally? *Ecological Indicators*, *58*, 458-463. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.05.007

Wackernagel, M., & Rees, W. (1997). Perceptual and structural barriers to investing in natural capital: economics from an ecological footprint perspective. *Ecological economics*, *20*(1), 3–24. https://doi:10.1016/S0921-8009 (96)00077-8

Wackernagel, M., Kitzes, J., Moran, D., Goldfinger, S., & Thomas, M. (2006). The ecological footprint of cities & regions: comparing resource availability with resource demand. *Environment & Urbanization*, *18*(1), 103–112. https://doi.org/10.1177/0956247806063978.

Wang, S., Xu, L., Yang, F., & Wang, H. (2014). Assessment of water ecological carrying capacity under the two policies in tieling city on the basis of the integrated system dynamics model. *The Science of the total environment, 472*, 1070-1081. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2013.11.115

Wei, J., Zeng, W., & Wu, B. (2013). Dynamic analysis of the virtual ecological footprint for sustainable development of the Boao special planning area. *Sustainability Science, 8*, 595–605. https://doi:10.1007/s11625-012-0189-x

استناد به این مقاله: عزیزمحمدی، سیمین و بزازان، فاطمه. (۱۴۰۲). سنجش ردپای بوم‌شناختی به منظور پیش‌بینی کاربری زمین در رویکرد داده-ستانده پویا. *پژوهش‌های اقتصادی ایران*، ۲۸(۹۷)، ۱۱۷-۱۵۱.

Iranian Journal of Economic Research is licensed under a Creative Commons Attribution.NonCommercial 4.0 International License.