نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۳ شماره ۲ / تابستان ۱۴۰۲/ صفحات ۲۰۵-۱۹۳

Technical Efficiency Analysis Using Ecological Footprint and Biological Capacity

Morteza Molaei

Received: 27 April 2022 Accepted: 09 August 2022
1-Assoc. Prof., Dept. of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Iran.
*Corresponding Author Email: m.molaei@urmia.ac.ir

Abstract

Background and Objectives: The increase in population and consequently, the increase in demand for food and, consequently, the increase in demand for natural resources, has led to their improper exploitation and has had devastating effects on natural resources. Ecological footprint is used as an indicator to assess the use of natural resources or natural capital; The higher the amount, the greater the utilization of resources to meet human needs and the disposal of waste produced by them. The purpose of this study is to estimate the technical efficiency of Iran economy using ecological footprint.

Material & Methods: For this purpose, data related to inputs (ecological footprint and population) and output (GDP) for the period 1961-2017 were collected and analyzed using data envelopment analysis.

Results: The results show that there is an ecological deficit in the years before 1980 and an ecological surplus in the years after 1980. The average technical efficiency in the period of ecological deficit and surplus and for the whole period were 0.97, 0.65 and 0.75, respectively. There is also a statistically significant difference between technical efficiency in the period of ecological deficit and surplus.

Conclusion: It is recommended that appropriate policies be adopted and implemented to reduce the ecological footprint and increase the biological capacity so that the ratio of the ecological footprint to the biocapacity decreases over time and the economy becomes sustainable. It is also suggested that either the population be reduced or that the knowledge and awareness of population about the consumption and use of natural capital be increased, in order to reduce the consumption of natural capital. On the other hand, it is suggested that the use of renewable sources replace non-renewable sources and that renewable sources be used efficiently.

Keywords: Biocapacity, Data Envelopment Analysis, Ecological Footprint, Economy, Iran

CC BY NC

DOI: 10.22034/saps.2022.51311.2865

تحلیل کارایی فنی با استفاده از ردپای اکولوژیکی و ظرفیت زیستی

مرتضی مولائی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۲/۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۵/۱۸
۱-دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه
*مسئول مکاتبه: Email:.molaei@urmia.ac.ir

چکیده

اهداف: ردپای اکولوژیکی به‌عنوان شاخصی برای ارزیابی میزان استفاده از منابع یا سرمایه‌های طبیعی است؛ که هر چه مقدار آن بیشتر باشد نشان‌دهنده بهره‌برداری بیشتر از منابع برای رفع نیازهای بشر و دفع ضایعات تولید شده توسط آنهاست. هدف از این مطالعه، برآورد کارایی فنی اقتصاد ایران با استفاده از ردپای اکولوژیکی می‌باشد.

مواد و روش‌ها: برای این منظور، داده‌های مربوط به نهاده‌ها (ردپای اکولوژیکی و جمعیت) و ستاده (تولید ناخالص داخلی) برای دوره‌ی ۲۰۱۷-۱۹۶۱ جمع‌آوری و تحلیل آنها با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها انجام شد.

یافته‌ها: نتایج نشان می‌دهد که در سال‌های قبل از ۱۹۸۰ کمبود اکولوژیکی و در سال‌های بعد از آن مازاد اکولوژیکی وجود دارد. میانگین کارایی فنی در دوره‌ی کمبود و مازاد اکولوژیکی و برای کل دوره به‌ترتیب ۰/۹۷، ۰/۶۵ و ۰/۷۵ به‌دست آمد. بین کارایی فنی در دوره کمبود و مازاد اکولوژیکی نیز اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری وجود دارد.

نتیجه‌گیری: توصیه می‌شود سیاست‌های مناسبی برای کاهش ردپای اکولوژیکی و افزایش ظرفیت زیستی اتخاذ و اجرا شود تا نسبت ردپای اکولوژیکی به ظرفیت زیستی به مرور زمان کاهش یافته و پایداری در اقتصاد به‌وجود آید. همچنین پیشنهاد می‌شود یا جمعیت کاهش یابد یا اینکه دانش و آگاهی افراد در ارتباط با مصرف و استفاده از سرمایه‌های طبیعی بالا رود، تا میزان مصرف سرمایه‌های طبیعی و ردپای اکولوژیکی کاهش یابد. همچنین پیشنهاد می‌شود استفاده از منابع تجدیدپذیر جایگزین منابع تجدیدناپذیر شده و از منابع تجدیدپذیر به شکل بهینه استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: ایران، اقتصاد، تحلیل پوششی داده‌ها، ردپای اکولوژیکی، ظرفیت زیستی

مقدمه

برای اولین بار، از شروع عصر کشاورزی و امکان اسکان ثابت بشر در دوازده هزار سال قبل، فعالیت‌های اقتصادی در مقیاس جمعی قادر به جایگزینی نظام‌ها و فرآیندهای بیوفیزیکی جهانی به گونه‌ای شده است که هم پایداری اکولوژیکی جهانی و هم امنیت ژئوپولتیکی را به مخاطره انداخته است (مارتی و پوئرتاس ۲۰۲۰). اسناد تجربی نشان می‌دهند که اقتصاد جهانی در حال تسلط بر اکوسفر است (ریس و واکرناگل ۱۹۹۴). موج فزاینده رشد جمعیت به همراه مصرف رو به تزاید افراد موجب شده تا تقاضا در عرصه سیاره خاکی بیش از عرضه طبیعی آن باشد. صنعتی شدن جوامع و افزایش مهاجرت به شهرها نیز باعث افزایش روند تصرف منابع طبیعی و استفاده روزافزون از آنها شده است. در چند دهه اخیر این رشد که با شیب صعودی حرکت می‌کرد، به میزانی رسیده که حتی از ظرفیت اکولوژیکی کره زمین نیز بیشتر

شده است. به‌طور کلی، افزایش تقاضا برای منابع طبیعی (سرمایه‌های طبیعی) باعث فشار آمدن بر طبیعت و تخریب آن شده و نرخ این تخریب بیشتر از نرخ بازتولید منابع شده است (فو و همکاران ۲۰۱۵). برای بررسی ارتباط بین الگوی مصرف و شیوه زندگی و سرمایه‌های طبیعی مصرف شده، شاخص ردپای اکولوژیکی ایجاد شده است (ریس ۱۹۹۲). ردپای اکولوژیکی مساحت زمین و آب مورد نیاز برای تامین مایحتاج و دفع ضایعات افراد، جمعیت یا یک فعالیت خاص با استفاده از تکنولوژی و مدیریت منابع موجود است (شبکه جهانی ردپا ۲۰۱۸). ردپای اکولوژیکی یک شاخص جامع برای اندازه‌گیری میزان استفاده از منابع طبیعی با استفاده از طبقه‌بندی کاربری‌های اراضی به ۶ طبقه است؛ که کل مایحتاج انسان‌ها از آنها تامین می‌شود. این طبقات شامل مساحت زمین‌های کشاورزی (زمین‌هایی که محصولات مورد نیاز انسان‌ها در آن تولید می‌شوند)، مساحت زمین‌های مرتعی (زمین مورد نیاز برای پرورش دام که برای تغذیه انسان‌ها پرورش داده می‌شوند)، مساحت زمین‌های جنگلی (زمین مورد نیاز برای تولید چوب و کاغذ)، مساحت زمین دریا (مساحت دریایی مورد نیاز برای پرورش شیلات، تولید ماهی و غذاهای دریایی)، مساحت زمین ساخته شده (زمین مورد نیاز برای ساخت‌وساز ساختمان‌ها و زیرساخت‌های سکونتگاهی) و مساحت زمین انرژی (مساحت زمین جنگلی برای جذب دی‌اکسیدکربن ناشی از مصرف سوخت) است (فو و همکاران ۲۰۱۵). رودلف و فیگه (۲۰۱۷) ردپای اکولوژیکی را به‌صورت شاخصی برای اندازه‌گیری تقاضای اکولوژیکی معرفی کرده‌اند.

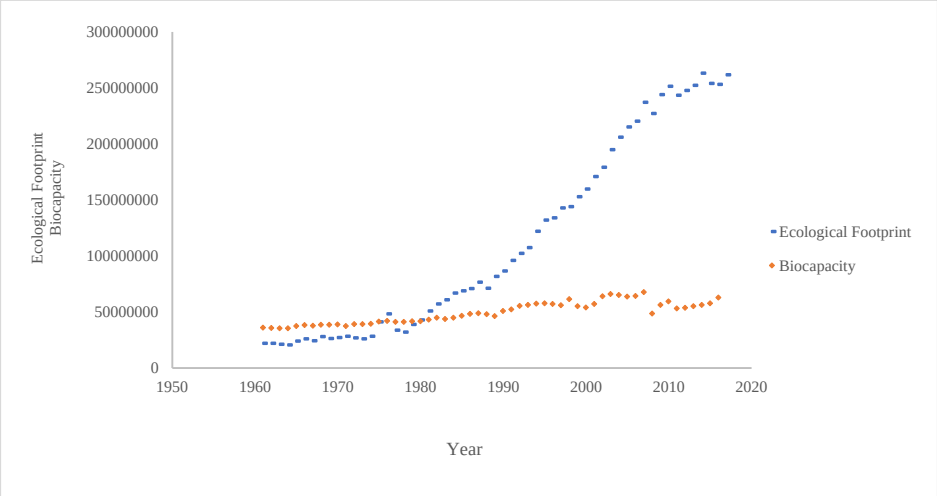
یکی از بزرگترین کاربردهای محاسبه ردپای اکولوژیکی به‌دست آوردن حساب‌های ملی ردپا (NFA)[1] است؛ که در آن شاخص ردپای اکولوژیکی و ظرفیت زیستی[2] برای کل جهان و تمامی کشورها گزارش می‌شود. ظرفیت زیستی توانایی سیاره زمین برای عرضه منابع طبیعی و جذب ضایعات تولید شده توسط بشر را نشان می‌دهد. بنابراین، ردپای اکولوژیکی، بیانگر تقاضای منابع اکولوژیکی و ظرفیت زیستی، بیانگر عرضه منابع اکولوژیکی است. شبکه جهانی ردپا از سال ۲۰۰۳، حساب‌های NFA را تولید و روش‌های محاسبه ردپای اکولوژیک را توسعه و بهبود می‌بخشد.

رابطه بین EF و BC یک منطقه مشخص می‌تواند به عنوان یک نقطه مرجع برای تعیین حداقل شرایط لازم برای پایداری مورد استفاده قرار گیرد (لین و همکاران ۲۰۱۲). بر این اساس می‌توان نقشه جدیدی از جهان ترسیم کرد که در آن کشورها با توجه به نسبت EF/BC به‌عنوان طلبکاران[3] اکولوژیکی یا بدهکاران[4] اکولوژیکی طبقه‌بندی می‌شوند. نسبت بیش از یک نشان می‌دهد که EF از BC بیشتر و کشور بدهکار اکولوژیکی است؛ در حالی که نسبت کمتر از یک به این معنی است که EF کمتر از BC است و کشور یک طلبکار اکولوژیکی است. کمبود اکولوژیکی[5] وضعیتی است که EF از BC پیشی می‌گیرد، زیرا تقاضای کشور برای منابع طبیعی (EF) با عرضه داخلی (BC) تامین نمی‌شود. مازاد اکولوژیکی برعکس کمبود اکولوژیکی بوده و در این حالت BC از EF بیشتر است.

آمار جدول ۱ نشان می‌دهد که تا سال ۱۹۷۹ ردپای اکولوژیکی کمتر از ظرفیت زیستی بوده است (بجز در سال ۱۹۷۵ که برابر و در سال ۱۹۷۶ بیشتر بوده است). در دوره ۱۹۷۹-۱۹۶۱، EF، BC و EF/BC به‌طور متوسط سالانه به‌ترتیب ۴، ۱ و ۳ درصد رشد داشته‌اند؛ در حالی‌که در دوره‌ی ۲۰۱۷-۱۹۸۰ رشد آنها به‌ترتیب برابر با ۱۴، ۱ و ۹ درصد بوده است. اما رشد متغیرهای فوق برای کل دوره مورد مطالعه (۲۰۱۷-۱۹۶۱) بیشتر بوده و به‌ترتیب برابر با ۱۹، ۱ و ۱۱ درصد است. نکته قابل توجه اینجاست که رشد ظرفیت زیستی در هر سه دوره فوق یک درصد ولی نرخ رشد ردپای اکولوژیکی صعودی است. روند تغییرات متغیرهای فوق در شکل‌های ۱ و ۲ نیز نشان داده شده است. این امر نشان‌دهنده بالا بودن نرخ رشد تقاضای اکولوژیکی

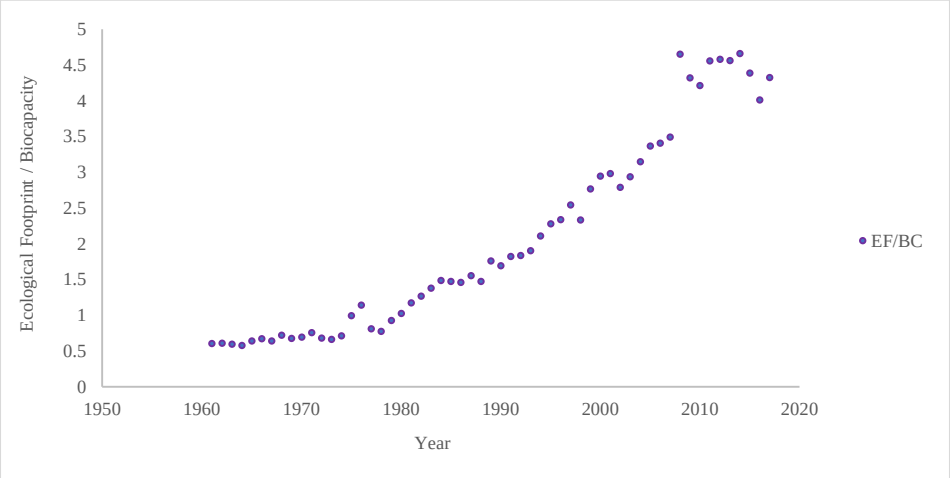
[1] National Footprint Account
[2] Biocapacity
[3] Creditor
[4] Debtor
[5] Ecological Deficit

(تقاضا برای منابع یا سرمایه‌های طبیعی) بیشتر از نرخ رشد عرضه آنها است. بدیهی است در چنین شرایطی، چنانچه نرخ تجدید منابع طبیعی کمتر از نرخ تقاضای آنها باشد، شاهد کاهش موجودی منابع خواهیم بود، که این امر حیات بشر را با مشکلات عدیده‌ای مواجه می‌کند.



شکل ۱- مقایسه ردپای اکولوژیکی و ظرفیت زیستی

ماخذ: footprintnetwork.org



شکل ۲- روند تغییرات نسبت ردپای اکولوژیکی به ظرفیت زیستی (EF/BC)

ماخذ: footprintnetwork.org

سوالی که در اینجا مطرح می‌شود این است که آیا اقتصاد با استفاده از منابع یا سرمایه‌های طبیعی مصرف شده، توانسته است حداکثر مقدار محصول را برای رفع نیازهای جمعیت تولید نماید. به‌عبارت دیگر، آیا اقتصاد توانسته است با حداکثر کارایی فعالیت کند یا خیر. کارایی فنی به نسبت مقدار محصول تولید شده با استفاده از مقدار مشخصی از نهاده‌ها به حداکثر مقدار محصول قابل تولید اشاره دارد (فارل ۱۹۵۷). این تعریف از کارایی فنی، ستاده‌گرا است؛ یعنی مقدار محصول با استفاده از نهاده‌ها حداکثر می‌شود. اما از دید اکولوژیکی تولید محصولات برای رفع نیازهای بشر بایستی با حداقل ردپای اکولوژیکی صورت پذیرد. بنابراین، کارایی فنی نهاده‌گرا مطرح می‌شود که در آن نسبت «حداقل نهاده یا منابع طبیعی ممکن» برای تولید مقدار مشخصی از محصول به «مقدار نهاده یا منابع طبیعی استفاده شده»

برآورد می‌شود. به بیان بهتر، حداقل ردپای اکولوژیکی مورد نیاز برای تولید کل مایحتاج کشور برآورد می‌شود.

مطالعات مختلفی در ارتباط با ردپای اکولوژیکی انجام گرفته است. برخی از مطالعات چارچوب نظری محاسبه ردپای اکولوژیکی را ارائه داده‌اند (ریس ۱۹۹۲؛ ریس و واکرناگل ۱۹۹۴). تعدادی از مطالعات هم به محاسبه ردپای اکولوژیکی پرداخته‌اند (۲۰۱۷ قراخلو و همکاران ۲۰۱۳؛ دلیری و مهرگان ۲۰۱۵؛ آقایاری و همکاران ۲۰۱۷). تعداد کمی از مطالعات به بررسی ایستایی شاخص ردپای اکولوژیکی با استفاده از آزمون ریشه واحد پرداخته‌اند (اولوجاک و لین ۲۰۱۷؛ سولارین و بلو ۲۰۱۸؛ اوزجان و همکاران ۲۰۱۹؛ بیلانجی و همکاران ۲۰۱۹).

مطالعات دیگری نیز به بررسی ارتباط بین ردپای اکولوژیکی و تولید ناخالص داخلی پرداخته‌اند (جرگنسون و بورنز ۲۰۰۷؛ هرویکس و دارنه ۲۰۱۴؛ مولائی و ثانی ۲۰۱۵؛ چارفدین و مرابت ۲۰۱۷؛ مرابت و آلسامارا ۲۰۱۷؛ فاخر و همکاران ۲۰۱۸؛ مولائی و همکاران ۲۰۲۰؛ پارساشریف و همکاران ۲۰۲۱). تعداد دیگری از مطالعات کارایی زیست‌محیطی فعالیت‌های مختلف را برآورد نموده‌اند (رینهارد و همکاران ۲۰۰۰؛ مولائی و بشارت ۲۰۱۵؛ مولائی و ثانی ۲۰۱۶). نتایج مرور مطالعات گذشته نشان می‌دهد که یک مطالعه در ارتباط با برآورد کارایی با استفاده از ردپای اکوژیکی انجام شده است (مارتی و پوئرتاس ۲۰۲۰). مارتی و پوئرتاس (۲۰۲۰) ردپای اکولوژیکی را به‌عنوان شاخصی برای تمام منابع یا سرمایه‌های طبیعی که با استفاده از آنها نیازهای بشر تولید و ضایعات آنها دفع می‌شوند، همچنین جمعیت را به‌عنوان شاخصی برای اندازه اقتصاد در نظر گرفتند، که با استفاده از آنها تولید ناخالص داخلی حاصل می‌شود، در نظر گرفتند. بنابراین، نهاده‌های در نظر گرفته شده در این مطالعه، ردپای اکولوژیکی و جمعیت بوده و ستاده، تولید ناخالص داخلی است. آنها در این مطالعه کارایی فنی ۴۵ کشور آفریقایی را محاسبه و باهم مقایسه کردند. در مطالعه حاضر نیز با استفاده از مطالعه مارتی و پوئرتاس (۲۰۲۰) کارایی اقتصاد ایران برآورد و مقدار آن در دوره‌های کمبود و مازاد اکولوژیکی مقایسه شده است.

روش تحقیق

در این تحقیق، کارایی فنی ستاده‌گرا و نهاده‌گرای اقتصاد ایران برای دوره ۱۹۶۱-۲۰۱۷ برآورد و برای سال‌هایی که ردپای اکولوژیکی بیشتر از ظرفیت زیستی بوده با سال‌هایی که ردپای اکولوژیکی کمتر از ظرفیت زیستی بوده، باهم مقایسه شده است. برای این منظور تولید ناخالص داخلی ایران به‌عنوان ستاده و ردپای اکولوژیکی و جمعیت به‌عنوان نهاده‌ها در نظر گرفته شده‌اند. تولید ناخالص داخلی به‌عنوان کل تولید اقتصاد (۷) و ردپای اکولوژیکی نشان‌دهنده تمامی انواع نهاده‌های طبیعی است. ردپای اکولوژیکی شاخصی برای پایداری بیوفیزیکی بوده و بیانگر تمامی اثراتی است که اقتصاد بر محیط‌زیست وارد می‌کند (مارتی و پوئرتاس ۲۰۲۰). جمعیت متغیر دیگری است که نشان‌دهنده اندازه اقتصاد بوده (مارتی و پوئرتاس ۲۰۲۰) و به‌عنوان نهاده در این مطالعه استفاده شده است. داده‌های ردپای اکولوژیکی و ظرفیت زیستی از درگاه اینترنتی «شبکه جهانی ردپا[۱]» و داده‌های تولید ناخالص داخلی و جمعیت از درگاه اینترنتی شاخص‌های توسعه جهانی[۲] دریافت شد.

در این مطالعه، برای برآورد کارایی فنی، روش تحلیل پوششی داده‌ها[۳] به کار گرفته شده است. این روش یک تکنیک غیرپارامتری بوده و برای مقایسه کارایی فنی اقتصادهای همگن به کار می‌رود. با استفاده از این روش، می‌توان مشخص نمود که اقتصاد در چه سال‌هایی نسبت به بقیه سال‌ها از لحاظ فنی کاراتر عمل نموده است. همچنین، امکان برآورد کارایی فنی چند-نهاده و چند-ستاده در این روش وجود دارد. در روش DEA، در سال‌هایی که در آنها اقتصاد حداکثر کارایی فنی را داشته است، در کنار هم یک مرز یا یک مجموعه مرجع را تشکیل می‌دهند و فاصله از آن مرز، میزان کارایی اقتصاد در بقیه سال‌ها را نشان می‌دهد (مارتی و پوئرتاس ۲۰۲۰).

[۱] Global Footprint Network
[۲] World Development Indicators
[۳] Data Envelopment Analysis

با استفاده از این روش، کارایی فنی به دو صورت بازدهی ثابت نسبت به مقیاس (CRS)[۱] و بازدهی متغیر نسبت به مقیاس (VRS)[۲] برآورد می‌شود. مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی برای برآورد آنها در روابط ۱ تا ۴ آورده شده است (شورتال و بارنز ۲۰۱۳):

(رابطه ۱)	$\begin{aligned} &\text{Max} \quad \phi \\ &s.t. \\ &-\phi y_n + Y\lambda \geq 0 \\ &x_n - X\lambda \geq 0 \\ &\lambda \geq 0 \end{aligned}$	مدل بازده ثابت نسبت به مقیاس	مدل‌های کارایی فنی ستاده‌گرا
(رابطه ۲)	$\begin{aligned} &\text{Max} \quad \phi \\ &s.t. \\ &-\phi y_n + Y\lambda \geq 0 \\ &x_n - X\lambda \geq 0 \\ &\sum_{n=1}^{N}\lambda_n = 1 \\ &\lambda \geq 0 \end{aligned}$	مدل بازده متغیر نسبت به مقیاس	
(رابطه ۳)	$\begin{aligned} &Min \quad \theta \\ &s.t. \\ &-y_i + Y\lambda \geq 0 \\ &\theta x_i - X\lambda \geq 0 \\ &\lambda \geq 0 \end{aligned}$	مدل بازده ثابت نسبت به مقیاس	مدل‌های کارایی فنی نهاده‌گرا
(رابطه ۴)	$\begin{aligned} &Min \quad \theta \\ &s.t. \\ &-y_i + Y\lambda \geq 0 \\ &\theta x_i - X\lambda \geq 0 \\ &\sum_{i=1}^{N}\lambda_i = 1 \\ &\lambda \geq 0 \end{aligned}$	مدل بازده متغیر نسبت به مقیاس	

λ یک بردار N×1 از اعداد ثابت است، که وزن‌های مجموعه مرجع را نشان می‌دهد و ϕ و θ به‌ترتیب کارایی فنی ستاده‌گرا و نهاده‌گرای تولید گندم، X و Y به ترتیب ماتریس مقدار نهاده‌ها و ستاده‌ها را نشان می‌دهد. x_i بردار مقدار نهاده‌ها و y_i بردار مقدار ستاده‌ها برای تولیدکننده iام است. با حل الگوی برنامه‌ریزی ریاضی فوق مقدار کارایی فنی برای هر سال بدست می‌آید. مدل بازده ثابت نسبت به مقیاس زمانی مناسب است که کشور در وضعیت بهینه خود عمل کرده باشد. به عبارتی نیازی به بهبود اندازه اقتصاد برای بهبود کارایی نباشد. اما این فرض ممکن است نقض شود و به عبارت دیگر، اقتصاد با ناکارایی مقیاس همراه باشد. در چنین شرایطی مدل بازده متغیر نسبت به مقیاس با اضافه کردن محدودیت $\sum_{n=1}^{N}\lambda_n = 1$ به مدل بازده ثابت نسبت به مقیاس برآورد می‌شود (رینهارد و همکاران ۲۰۰۰). اگر بین مقادیر کارایی فنی با استفاده از دو روش CRS و VRS اختلاف وجود داشته باشد، نشان دهنده‌ی این است که اقتصاد با ناکارایی مقیاس مواجه است و مقدار کارایی مقیاس (SE)[۳] از نسبت کارایی فنی تحت فرض CRS نسبت به کارایی فنی تحت فرض VRS بدست می‌آید (رینهارد و همکاران ۲۰۰۰).

[۱] Constant return to scale
[۲] Variable return to scale
[۳] Scale Efficiency

$$SE = \frac{TE_{CRS}}{TE_{VRS}} \qquad \text{(رابطه ۵)}$$

که در رابطه ۵، SE نشان دهنده کارایی مقیاس، TE_{CRS} کارایی فنی در حالت بازده ثابت نسبت به مقیاس، TE_{VRS} کارایی فنی در حالت بازده متغیر به مقیاس است.

برای مقایسه کارایی فنی در سال‌های مختلف، ابتدا آزمون نرمال بودن مقادیر کارایی فنی با استفاده از آزمون جارک-برا[۱] انجام و سپس با توجه به نرمال نبودن مقادیر کارایی فنی برآورد شده از آزمون ویلکاکسن-من-ویتنی[۲] و کروسکال-والیس[۳] استفاده

توزیع نرمال دارای چولگی برابر صفر و کشیدگی برابر سه است. با استفاده از آزمون جارک-برا تست می‌شود که آیا به‌طور همزمان اختلاف چولگی با صفر و اختلاف کشیدگی با سه از لحاظ آماری معنی‌دار است یا خیر. مقدار چولگی و کشیدگی با استفاده از روابط زیر محاسبه می‌شود (گرین ۲۰۱۲):

$$S = \frac{[E(X-\mu)^3]^2}{[E(X-\mu)^2]^3}$$
$$K = \frac{E(X-\mu)^4}{[E(X-\mu)^2]^2} \qquad \text{(رابطه ۶)}$$

در رابطه ۶، S و K به‌ترتیب مقدار چولگی و کشیدگی را نشان می‌دهند.آماره جارک-برا به صورت زیر تعریف می‌شود(گرین ۲۰۱۲):

$$\mathrm{JB} = T\left[\frac{S^2}{6} + \frac{(K-3)^2}{24}\right] \sim \chi^2_{(2)} \qquad \text{(رابطه ۷)}$$

در رابطه ۷، JB مقدار آماره جارک-برا و T تعداد مشاهدات است. اگر آماره JB محاسبه شده از مقدار χ^2 جدول بزرگتر باشد، فرض H_0 مبنی بر نرمال بودن توزیع مقادیر کارایی برآورد شده رد و فرضیه H_1 مبنی بر نرمال نبودن آن پذیرفته می‌شود.

آزمون ویلکاکسن-من-ویتنی برای آزمون دو نمونه مستقل، زمانی که توزیع داده‌ها نرمال نباشد، به‌کار می‌رود. فرضیه H_0 در این آزمون بیانگر این است که آن دو نمونه مستقل یکسان هستند و فرضیه H_1 مخالف آن را بیان می‌کند. آماره آزمون نیز از توزیع نرمال تبعیت می‌کند (ویلکاکسن ۱۹۴۵). در این تحقیق، نمونه اول نشان‌دهنده مقادیر کارایی برآورد شده در دوره کمبود اکولوژیکی (۱۹۶۱-۱۹۷۹) و نمونه دوم مربوط به دوره مازاد اکولوژیکی (۱۹۸۰-۲۰۱۷) است. در نتیجه فرضیه H_0 مبنی بر برابر بودن مقادیر کارایی در دوره‌های کمبود و مازاد اکوژیکی خواهد بود. آزمون کروسکال-والیس برای آزمون اینکه آیا نمونه‌های مختلف از یک جامعه آماری به‌دست آمده‌اند، به‌کار می‌رود. آزمون ویلکاکسن-من-ویتنی برای مقایسه دو نمونه کاربرد دارد، در حالی‌که آزمون کروسکال-والیس توسعه‌یافته‌ی آزمون ویلکاکسن-من-ویتنی برای مقایسه چند نمونه است و آماره آن از توزیع چی-دو تبعیت می‌کند (کروسکال و والیس ۱۹۵۲).

نتایج

در این مطالعه، کارایی فنی اقتصاد ایران برای دوره ۱۹۶۱-۲۰۱۷ (حداکثر تعداد داده موجود) با تمرکز بر ردپای اکولوژیکی برآورد شده است. قبل از پرداختن به نتایج برآورد کارایی فنی، آماره‌های توصیفی متغیرهای استفاده شده، مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در جدول ۱ آمده است. متغیرهای اصلی تحقیق برای برآورد کارایی فنی، تولید ناخالص داخلی (میلیارد دلار به قیمت‌های ثابت سال ۲۰۱۰)، ردپای اکولوژیکی (میلیارد هکتار جهانی) و جمعیت (میلیون نفر) است. کل دوره مورد مطالعه برحسب وجود کمبود اکولوژیکی (کوچکتر از یک بودن EF/BC) و مازاد اکولوژیکی (بزرگتر از یک بودن EF/BC) به دو دوره تقسیم شده است؛ و آمار توصیفی برای آن دوره‌ها و همچنین برای کل دوره (۱۹۶۱-۲۰۱۷) محاسبه شده است. در دوره ۱۹۶۱-۱۹۷۹ میانگین ردپای اکولوژیکی برابر با ۰/۰۳ و میانگین ظرفیت زیستی ۰/۰۴ میلیارد هکتار جهانی بوده است؛ همچنین در این دوره میانگین نسبت EF/BC کوچکتر از یک بوده و برابر با ۰/۷۳ است؛ بنابراین در این دوره کمبود اکولوژیکی وجود دارد. از طرف دیگر، در دوره ۱۹۸۰-۲۰۱۷ میانگین نسبت EF/BC برابر با ۲/۷۷ بوده و خیلی بزرگتر از یک است و در نتیجه مازاد اکولوژیکی

[۱] Jarque-Berra
[۲] Willcoxon-Mann-Whitney test
[۳] Kruskal-Wallis

وجود دارد. در این دوره‌ها میانگین سالانه ردپای اکولوژیکی و ظرفیت زیستی به‌ترتیب برابر با ۰/۱۶ و ۰/۰۶ میلیارد هکتار جهانی است. در دوره کمبود و مازاد اکولوژیکی، میانگین نرخ رشد سالانه ردپای اکولوژیکی به‌ترتیب برابر با ۴ و ۱۴ درصد بوده است و میانگین نرخ رشد سالانه ردپای اکولوژیکی برای کل دوره برابر با ۱۹ درصد است. همچنین، در دوره کمبود و مازاد اکولوژیکی و کل دوره، میانگین نرخ رشد سالانه ظرفیت زیستی برابر با یک درصد بوده و تغییری نکرده است. این روند تغییرات باعث شده است که نسبت EF/BC برای دوره‌های فوق برابر با ۳، ۹ و ۱۱ درصد به‌دست آید. در سه دوره فوق، میانگین تولید ناخالص داخلی به‌ترتیب ۱۹۹/۸۷، ۳۳۴/۷۱ و ۲۸۹/۷۶ میلیارد دلار به قیمت‌های ثابت سال ۲۰۱۰ و نرخ رشد این متغیر برای سه دوره به‌ترتیب ۱۴، ۵ و ۱۱ درصد بوده است. میانگین جمعیت نیز برای آن دوره‌ها به‌ترتیب ۲۸/۹۶، ۶۲/۷۲ و ۵۱/۴۸ میلیون نفر و نرخ رشد سالانه آن به‌ترتیب ۴، ۳ و ۵ درصد است. ملاحظه می‌شود که با افزایش ردپای اکولوژیکی و جمعیت، تولید ناخالص داخلی نیز افزایش یافته است. اما با افزایش میانگین نرخ رشد سالانه ردپای اکولوژیکی، میانگین نرخ رشد تولید ناخالص داخلی کاهش یافته است؛ که نشان‌دهنده استفاده ناکارا از منابع اکولوژیکی (منابع طبیعی) است. میانگین نرخ رشد سالانه ردپای اکولوژیکی و میانگین نرخ رشد جمعیت در دوره کمبود اکولوژیکی (۱۹۶۱-۱۹۷۹) به‌ترتیب برابر با ۴ و ۴ درصد و میانگین نرخ رشد سالانه تولید ناخالص داخلی در این دوره ۱۴ درصد است. به بیان بهتر، افزایش سالانه ۴ درصد در ردپای اکولوژیکی و جمعیت در دوره کمبود اکولوژیکی منجر به افزایش ۱۴ درصد در تولید ناخالص داخلی شده است. از طرف دیگر، در دوره مازاد اکولوژیکی (۱۹۸۰-۲۰۱۷) میانگین رشد جمعیت ۳ درصد و میانگین رشد ردپای اکولوژیکی ۱۴ درصد بوده است؛ که افزایش استفاده از این عوامل یا منابع تولید باعث افزایش ۵ درصد در تولید ناخالص داخلی شده است. این داده‌ها و اطلاعات نشان می‌دهد که در دوره کمبود اکولوژیکی از تقاضای منابع اکولوژیکی از عرضه آنها کمتر است، از منابع اکولوژیکی و جمعیت به‌صورت پایدار استفاده شده ولی در دوره مازاد اکولوژیکی (تقاضای منابع اکولوژیکی بیشتر از عرضه منابع است)، به شکل ناپایداری از منابع اکولوژیکی و جمعیت بهره‌گیری شده است. همچنین، در کل دوره مورد مطالعه (۱۹۶۱-۲۰۱۷) نرخ رشد جمعیت و نرخ رشد ردپای اکولوژیکی (عوامل تولید) به‌ترتیب ۵ و ۱۹ درصد و نرخ رشد تولید ناخاص داخلی ۱۱ درصد بوده است.

جدول ۱- آمار توصیفی متغیرها

متغیر	واحد	کمبود اکولوژیکی (۱۹۶۱-۱۹۷۹)	مازاد اکولوژیکی (۱۹۸۰-۲۰۱۷)	کل دوره (۱۹۶۱-۲۰۱۷)
میانگین تولید ناخالص داخلی	میلیارد دلار	۱۹۹/۸۷	۳۳۴/۷۱	۲۸۹/۷۶
میانگین ردپای اکولوژیکی	میلیارد هکتار جهانی	۰/۰۳	۰/۱۶	۰/۱۱
میانگین ظرفیت زیستی	میلیارد هکتار جهانی	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۵
میانگین جمعیت	میلیون نفر	۲۸/۹۶	۶۲/۷۴	۵۱/۴۸
میانگین نسبت ردپای اکولوژیکی به ظرفیت زیستی	بدون واحد	۰/۷۳	۲/۷۷	۲/۰۹
میانگین نرخ رشد سالانه تولید ناخالص داخلی	درصد	۱۴	۵	۱۱
میانگین نرخ رشد سالانه ردپای اکولوژیکی	درصد	۴	۱۴	۱۹
میانگین نرخ رشد سالانه ظرفیت زیستی	درصد	۱	۱	۱
میانگین نرخ رشد سالانه نسبت ردپای اکولوژیکی به ظرفیت زیستی	درصد	۳	۹	۱۱
میانگین نرخ رشد سالانه جمعیت	درصد	۴	۳	۵

در جدول ۲ نتایج برآورد کارایی فنی ستاده‌گرا، نهاده‌گرا و کارایی مقیاس آمده است. با توجه به تفاوت موجود بین کارایی تحت فروض CRS و VRS ملاحظه می‌شود که ناکارایی مقیاس وجود دارد. میانگین کارایی مقیاس در برآورد کارایی ستاده‌گرا و نهاده‌گرا به‌ترتیب ۰/۷۳ و ۰/۷۸ است که نشان‌دهنده عدم استفاده کارا از مقیاس اقتصاد است. در چنین شرایط نتایج کارایی فنی تحت فرض CRS قابل استفاده نبوده و نتایج کارایی فنی تحت فرض VRS قابل اعتماد است. میانگین کارایی فنی ستاده‌گرا تحت فرض VRS برابر با ۰/۷۹ است؛ بنابراین، با استفاده از منابع و جمعیت موجود می‌توان GDP را به اندازه ۲۱ درصد افزایش داد. اما همانطور که قبلا نیز ذکر شد، هدف از این مطالعه حداقل استفاده از منابع موجود برای دستیابی با سطح مشخص و مشاهده شده‌ی GDP است. به‌عبارت دیگر، هدف از این مطالعه حداقل کردن ردپای اکولوژیکی برای دست‌یابی به سطح موجود GDP است. با برآورد کارایی فنی نهاده‌گرا می‌توان به این هدف دست یافت. میانگین این کارایی برابر با ۰/۷۵ است که نشان می‌دهد می‌توان ردپای اکولوژیکی را برای رسیدن به GDP موجود به اندازه ۲۵ درصد کاهش داد. به بیان دیگر، می‌توان تقاضای اکولوژیکی یا تقاضای منابع طبیعی (سرمایه‌های طبیعی) را ۲۵ درصد کاهش داد و به GDP موجود دست پیدا کرد.

جدول ۲- نتایج برآورد کارایی فنی نهاده‌گرا، ستاده‌گرا و کارایی مقیاس

متغیر		دوره کمبود اکولوژیکی (۱۹۷۹-۱۹۶۱)	دوره مازاد اکولوژیکی (۲۰۱۷-۱۹۸۰)	کل دوره (۲۰۱۷-۱۹۶۱)
میانگین کارایی فنی ستاده‌گرا	CRS	۰/۶۹	۰/۵۱	۰/۵۷
	VRS	۰/۹۲	۰/۷۲	۰/۷۹
	SE	۰/۷۵	۰/۷۱	۰/۷۳
میانگین کارایی فنی نهاده‌گرا	CRS	۰/۶۹	۰/۵۱	۰/۵۷
	VRS	۰/۹۷	۰/۶۵	۰/۷۵
	SE	۰/۷۲	۰/۸۰	۰/۷۸

براساس نتایج ارائه شده در جدول ۲، هم زمانی که کمبود و هم مازاد اکولوژیکی وجود داشته است، از مقیاس اقتصاد به نحو بهینه‌ای استفاده نشده و ناکارایی مقیاس وجود دارد. میانگین کارایی فنی ستاده‌گرا و نهاده‌گرا در دوره‌های کمبود اکولوژیکی بیشتر از زمانی است که مازاد اکولوژیکی وجود دارد. میانگین کارایی فنی ستاده‌گرا به‌ترتیب ۰/۹۲ و ۰/۷۲ و میانگین کارایی فنی نهاده‌گرا به‌ترتیب ۰/۹۷ و ۰/۶۵ است. به‌عبارت دیگر، زمانی که کمبود اکولوژیکی وجود داشته است، کارایی فنی اقتصاد بیشتر بوده است. در دوره‌ای که کمبود اکولوژیکی وجود داشته است، فقط با کاهش ۳ درصد از ردپای اکولوژیکی می‌توان مقدار مشاهده شده GDP را تولید کرد؛ در حالی در دوره‌ای که مازاد اکولوژیکی وجود دارد، به‌اندازه ۳۵ درصد استفاده ناکارا از منابع طبیعی صورت می‌گیرد، که بایستی برای دست‌یابی به حداکثر کارایی کاهش داده شود.

در جدول ۳ تعداد سال‌هایی که حداکثر کارایی فنی نهاده‌گرا تحت VRS وجود داشته است، در دوره‌های کمبود و مازاد اکولوژیکی و همچنین کل دوره آمده است. در دوره کمبود اکولوژیکی که ۱۹ سال را شامل می‌شود (۱۹۷۹-۱۹۶۱)، کارایی فنی نهاده‌گرا تحت فرض VRS برای ۶ سال (سال‌های ۱۹۶۱، ۱۹۶۴، ۱۹۷۳، ۱۹۷۴، ۱۹۷۶ و ۱۹۷۷) برابر با یک بوده است. به‌عبارت دیگر، در ۳۱/۵۸ درصد سال‌ها حداکثر کارایی به‌دست آمده است. در حالی‌که در دوره وجود مازاد اکولوژیکی (۳۸ سال از

۱۹۸۰ تا ۲۰۱۷) فقط در سال ۲۰۱۷ حداکثر کارایی حاصل شده است؛ که برابر با ۲/۶۳ درصد از تعداد سال‌ها است.

جدول ۳- توزیع کارایی فنی نهاده‌گرا تحت فرض بازدهی متغیر نسبت به مقیاس

	دوره کمبود اکولوژیکی (۱۹۷۹-۱۹۶۱)	دوره مازاد اکولوژیکی (۲۰۱۷-۱۹۸۰)	کل دوره (۲۰۱۷-۱۹۶۱)
تعداد سال‌ها با حداکثر کارایی	۶ (٪ ۳۱/۵۸)	۱ (٪ ۲/۶۳)	۷ (٪ ۱۲/۲۸)
تعداد سال‌های ناکارا	۱۳ (٪ ۶۸/۴۲)	۳۷ (٪ ۹۷/۳۹)	۵۰ (٪ ۸/۷۲)
حداقل کارایی	۰/۸	۰/۴۹	۰/۴۹
حداکثر کارایی	۱	۱	۱
تعداد کل سال‌ها	۱۹	۳۸	۵۷

یکی دیگر از اهداف این تحقیق، مقایسه کارایی فنی در دوره‌های کمبود و مازاد اکولوژیکی است. برای این منظور، ابتدا آزمون نرمال بودن مقادیر کارایی برآورد شده با استفاده از آزمون جارک-برا (فرضیه صفر نرمال بودن مقادیر کارایی فنی است) صورت پذیرفت؛ مقدار آماره این آزمون از توزیع چی-دو تبعیت می‌کند که مقدار آن ۶۷/۹۶ و سطح معنی‌داری آن صفر به‌دست آمد. بنابراین، مقادیر کارایی فنی از توزیع نرمال تبعیت نمی‌کنند. در نتیجه برای مقایسه کارایی از آزمون غیرپارامتری ویلکاکسن-من-ویتنی و کروسکال-والیس استفاده شد. فرضیه صفر در این آزمون‌ها برابر بودن مقادیر کارایی فنی نهاده‌گرا در دوره‌های کمبود و مازاد اکولوژیکی است. این آزمون‌ها به‌ترتیب از توزیع نرمال استاندارد و توزیع چی-دو تبعیت می‌کنند؛ که مقدار آنها به‌ترتیب ۵/۶۱ و ۳۱/۴۵ و سطح معنی‌داری آنها صفر به‌دست آمد. بنابراین، مقادیر کارایی فنی نهاده‌گرا در دوره‌های کمبود و مازاد اکولوژیکی باهم برابر نبوده و اختلاف معنی‌داری باهم دارند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

هدف از این مطالعه برآورد کارایی فنی اقتصاد ایران با استفاده از ردپای اکولوژیکی است؛ که داده‌های موردنیاز برای دوره‌ی ۲۰۱۷-۱۹۶۱ جمع‌آوری و با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها انجام شد. متغیرهای جمعیت و ردپای اکولوژیکی به‌عنوان نهاده و متغیر تولید ناخالص داخلی به‌عنوان ستاده در این مطالعه در نظر گرفته شدند. با توجه به استفاده بی‌رویه از منابع طبیعی و در نتیجه تخریب آنها، کارایی فنی نهاده‌گرا، که در آن ردپای اکولوژیکی برای دست‌یابی به تولید ناخالص داخلی مشاهده شده حداقل می‌شود، برای تحلیل‌های نهایی مورد استفاده قرار گرفت. روند تغییرات ردپای اکولوژیکی و ظرفیت زیستی برای دوره‌ی مورد مطالعه نشان می‌دهد که در سال‌های قبل از ۱۹۸۰ مازاد اکولوژیکی (کمتر بودن ردپای اکولوژیکی از ظرفیت زیستی) و در سال‌های بعد از آن کمبود اکولوژیکی (کمتر بودن ردپای اکولوژیکی از ظرفیت زیستی) وجود دارد. بنابراین، برآورد کارایی فنی برای دوره‌های کمبود و مازاد اکولوژیکی و همچنین برای کل دوره صورت پذیرفت. نتایج نشان می‌دهد که میانگین کارایی فنی در دوره مازاد و کمبود اکولوژیکی به‌ترتیب ۰/۹۷ و ۰/۶۵ است؛ و میانگین آن برای کل دوره ۰/۷۵ می‌باشد. در نتیجه، در دوره‌ی مازاد اکولوژیکی می‌توان با کاهش ۳ درصد از ردپای اکولوژیکی همان مقدار GDP فعلی را تولید نمود؛ در حالی که در دوره‌ی کمبود اکولوژیکی می‌توان از ردپای اکولوژیکی به اندازه‌ی ۳۵ درصد کاهش داده و به GDP دست یافت. در کل دوره نیز به‌طور متوسط می‌توان با کاهش ۲۵ درصد از ردپای اکولوژیکی GDP فعلی را به‌دست آورد. یکی دیگر از اهداف تحقیق، مقایسه کارایی فنی در دوره‌های مازاد و کمبود اکولوژیکی است که با استفاده از آزمون‌های ویلکاکسن-من-ویتنی و کروسکال-والیس انجام شد. نتایج این آزمون‌ها بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار از لحاظ آماری بین مقادیر کارایی فنی در دوره‌های فوق است. براساس شاخص‌های توسعه جهانی در سال ۲۰۲۰

جمعیت ایران در حدود ۸۴ میلیون نفر بوده و درآمد سرانه آن در حدود ۲۷۵۶ دلار می‌باشد؛ و از طرف دیگر، ردپای اکولوژیکی خیلی بیشتر از ظرفیت زیستی بوده و همچنین شکاف بین آنها در حال افزایش است. در صورت عدم استفاده کارا از منابع طبیعی و ادامه روند فعلی افزایش استفاده از منابع طبیعی، کشور در وضعیت خطرناکی قرار خواهد گرفت. به‌عبارت دیگر، نیاز است که تامین نیازهای جامعه با حداقل استفاده از منابع طبیعی صورت گیرد. توصیه می‌شود سیاست‌های مناسبی برای کاهش ردپای اکولوژیکی و افزایش ظرفیت زیستی اتخاذ و اجرا شود، تا نسبت EF/BC به مرور زمان کاهش یافته و پایداری در اقتصاد به‌وجود آید. همچنین پیشنهاد می‌شود یا جمعیت کاهش یابد یا اینکه دانش و آگاهی افراد در ارتباط با مصرف و استفاده از سرمایه‌های طبیعی بالا رود، تا میزان مصرف سرمایه‌های طبیعی و ردپای اکولوژیکی کاهش یابد. از طرف دیگر، پیشنهاد می‌شود استفاده از منابع تجدیدپذیر جایگزین منابع تجدیدناپذیر شده و از منابع تجدیدپذیر به شکل بهینه استفاده شود.

سپاسگزاری

از معاونت پژوهشی دانشگاه ارومیه برای تامین هزینه‌های چاپ مقاله سپاسگزاری می‌شود.

منابع مورد استفاده

Aghyari Hir T, Honarvar H and Alizadeh Aghdam M.B. 2017. Mediating Role of Consumerism on the Relationship between Materialism and Ecological Footprint (The case of Urmia Citizens). Quarterly Journal of Environmental Education and Sustainable Development, 6(1): 1-136. (In Persian).

Charfeddine L and Mrabet Z. 2017. The Impact of Economic Development and Social Political Factors on Ecological Footprint: A Panel Data Analysis for 15 MENA Countries. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 76: 138–154.

Daliri H and Mehrgan N. 2015. Measuring Sustainable Development in the Khorasan Provinces of Iran. Journal of Economics and Regional Development, 22(9): 1-30. (In Persian).

Dashti G, Mohammadpour Z and Ghahremanzadeh M. 2020. Evaluating the Relationship between Economic and Environmental Efficiency in Iranian Agriculture Sector. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 30(4), 199-211. (In Persian).

Fakher H, Abedi Z and Shaygani B. 2018. Investigating the Relationship between Trade and Financial Openness with Ecological Footprint. Economic Modeling, 11(40): 49-67. (In Persian).

Farrell M.J. 1957. The Measurement of Productive Efficiency. Journal of Royal Statistics Society, 120 (A): 253–281.

Fu W, Turner JC, Zhao J and Du G. 2015. Ecological Footprint (EF): An Expanded Role in Calculating Resource Productivity (RP) Using China and The G20 Member Countries as Examples. Ecological Indicators, 48: 464–471.

Gharakhluo M, Hataminezhad H, Baghvand A and Yalve M. 2013. Urban Sustainable Development Assessment with Regard to Footprint Ecological Method (Case Study: Kermanshah City). Human Geography Research, 45(2): 105-120. (In Persian).

Global Footprint Network (Ed.). 2018. National Footprint Accounts. 2018th ed. Global Footprint Network, Oakland, CA, USA.

Greene, W. H. 2002. Econometric Analysis, Fifth edition, Prentice Hall.

Hervieux MS and Darné O. 2014. Production and Consumption-Based Approaches for The Environmental Kuznets Curve in Latin America Using Ecological Footprint. Document de Travail Working Paper, Lemana, EA 4272: www.univ-nantes.fr/iemniae/recherche.

Jorgenson AK and Burns TJ. 2007. The Political-Economic Causes of Change in The Ecological Footprints of Nations, 1991–2001: A Quantitative Investigation. Social Science Research, 36: 834–853.

Kruskal WH and Wallis WA. 1952. Use of Ranks in One-criterion Variance Analysis. Journal of the American Statistical Association, 47: 583–621.

Lin D, Hanscom L, Murthy A, Galli A, Evans M, Neill E, Mancini MS, Martindill J, Medouar FZ, Huang S and Wackernagel M. 2018. Ecological Footprint Accounting for Countries: Updates and Results of The National Footprint Accounts, 2012–2018. Resources, 7 (58): 1-22.

Marti L, Puertas R. 2020. Analysis of the Efficiency of African Countries Through Their Ecological Footprint and Biocapacity. Science of the Total Environment, 722: 137504.

Molaei M, Besharat E and Mohammadi M. 2020. Factors Affecting the Consumption of Ecological Resources in Iran Using Economic Approach. Journal of Environmental Science and Technology, 22(8): 377-388. (In Persian).

Molaei M, Sani F. 2015. Estimating Environmental Efficiency of the Agricultural Sector. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 25(2): 91-101. (In Persian)

Molaei M and Basharat E. 2015. Investigating Relationship between Gross Domestic Product and Ecological Footprint as an Environmental Degradation Index. Journal of Economic Research (Tahghighat- E-Eghtesadi), 50(4): 1017-1033. (In Persian).

Molaei M and Sani F. 2016. Estimation of Technical and Environmental Efficiency of Dairy Farms in Sarab County (Data Envelopment Analysis Approach). Journal of Animal Science Research, 25(4): 141-155. (In Persian).

Mrabet Z and Alsamara M. 2017. Testing the Kuznets Curve Hypothesis for Qatar: A Comparison Between Carbon Dioxide and Ecological Footprint. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 70: 1366-1375.

Ozcan B, Ulucak R and Dogan E. 2019. Analyzing Long Lasting Effects of Environmental Policies: Evidence from Low-Middle-and High-Income Economies. Sustainable Cities and Society, 44: 130–143.

Parsasharif H, Amirnejad H and Taslimi M. 2021. Investigating and Determining the Factors Affecting the Ecological Footprint of Selected Asian and European Countries. Agricultural Economics Research, 13(2): 155-172. (In Persian).

Rees W.E. 1992. Ecological Footprint and Appropriated Carrying Capacity: What Urban Economics Leave Out. Environment and Urbanization, 4 (2): 121–130.

Rees WE and Wackernagel M. 1994. Ecological Footprint and Appropriated Carrying Capacity: Measuring the Natural Capital Requirements of The Human Economy. Investing in Natural Capital: The Ecological Economics Approach to Sustainability, Eds. Jansson, A.M., Hammer, M., Folke, C., Costanza R. (1994) Island Press Washington DC. pp. 362–390.

Reinhard R, Lovell CAK and Thijssen G.J. 2000. Environmental Efficiency with Multiple Environmentally Detrimental Variables, Estimated with SFA and DEA. European Journal of Operational Research, 121: 287-303.

Rudolph A and Figge L. 2017. Determinants of Ecological Footprints: What Is the Role of Globalization?. Ecological Indicators, 81: 348–361.

Shortall OK and Barnes A.P. 2013. Greenhouse Gas Emissions and the Technical Efficiency of Farmers. Journal of Ecological Indicators, 29: 478-488.

Solarin SA and Bello M.O. 2018. Persistence of Policy Shocks to An Environmental Degradation Index: The Case of Ecological Footprint In 128 Developed and Developing Countries. Ecological Indicators, 89: 35–44.

Ulucak R and Lin D. 2017. Persistence of Policy Shocks to Ecological Footprint of the USA. Ecological Indicators, 80: 337–343.

Wilcoxon F. 1945. Individual Comparisons by Ranking Methods. Biometrics, 1: 80–83.

Yilanci V, Gorus MS and Aydin M. 2019. Are Shocks to Ecological Footprint in OECD Countries Permanent or Temporary? Journal of Cleaner Production, 212: 270–301.