



The Dynamic Effects of Economic Growth, Fossil Fuels, Renewable Energy, and Urbanization on the Load Capacity Factor in Iran

Fatemeh Waisi¹, Somaye fatehi^{2*}, Seyed Jamaledin Mohseni Zonouzi³

1. M.A., Department of Economics, Faculty of Humanities and Social Sciences, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.

Email: waisifatemeh7@gmail.com

2. Ph.D. Candidate, Department of Economics, Faculty of Economics and Management, Urmia University, Urmia, Iran.

Corresponding Author. Email: somaye.fatehi0427@gmail.com

3. Associate Professor, Department of Economics, Faculty of Economics and Management, Urmia University, Urmia, Iran.

Email: sj.mzonouzi@urmia.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 28-02-2025

Accepted: 28-07-2025

Keywords:

Economic Growth,
Fossil Fuels,
Renewable Energy,
Urbanization, Load
Capacity Factor.

Abstract

Sustainable growth and the reduction of environmental pressures have emerged as paramount priorities on the global agenda, creating the need for more comprehensive approaches to assessing environmental quality. Consequently, to alleviate environmental challenges and realize the objectives of sustainable development, a broad and holistic environmental assessment is imperative. This study investigates the dynamic impacts of economic growth, fossil fuels, renewable energy, and urbanization on the sustainable Load Capacity Factor (LCF) in Iran. The analysis utilizes Fully Modified Ordinary Least Squares (FMOLS) and Dynamic Ordinary Least Squares (DOLS) methodologies over the period of 1995–2022.

Based on the estimates obtained from cointegration tests, renewable energy consumption enhances the load capacity within the Iranian economy, whereas economic growth leads to the reduction of the load capacity. Furthermore, fossil fuel consumption, urbanization, and natural resource rents negatively impact the load capacity. Specifically, a one percent increase in economic growth reduces carrying capacity by 0.38%, while a one-unit increase in urbanization, fossil fuel consumption, and resource rents decreases carrying capacity by 0.40, 0.12, and 0.09 units, respectively. Conversely, a one-unit increase in renewable energy consumption adds 0.15 units to the carrying capacity.

Cite this article: Waisi, F., Fathi, S., Mohseni Zonouzi, S. J. (2025). The Dynamic Effects of Economic Growth, Fossil Fuels, Renewable Energy, and Urbanization on the Load Capacity Factor in Iran. *Journal of Defense Economics & Sustainable Development*, 10 (38), 59-83.

[20.1001.1.30607531.1404.10.38.3.3](https://doi.org/10.1001.1.30607531.1404.10.38.3.3)



© The Author(s) 2025. Published by Defense Economics Scientific Association of Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license)



اقتصاد دفاع و توسعه پایدار

شاپا الکترونیکی: ۳۹۸۱-۰۶۸۰

شاپا چاپی: ۳۰۶۱-۷۵۳۱



اثرات پویایی رشد اقتصادی، سوخت های فسیلی، انرژی های تجدیدپذیر و شهرنشینی بر شاخص ظرفیت بار در ایران

فاطمه ویسی^۱، سمیه فاتحی^{۲*}، سید جمال الدین محسنی زنوزی^۳

۱. کارشناسی ارشد، گروه اقتصاد، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.

رایانامه: waisifateme7@gmail.com

۲. دانشجوی دکترا، گروه اقتصاد، دانشکده اقتصاد و مدیریت، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران، نویسنده مسئول.

رایانامه: somaye.fatehi0427@gmail.com

۳. دانشیار، گروه اقتصاد، دانشکده اقتصاد و مدیریت، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

رایانامه: sj.mzonouzi@urmia.ac.ir

چکیده

رشد پایدار و کاهش فشارهای زیست محیطی به عنوان اولویت های اصلی در دستور کار جهانی قرار دارند و نیاز به رویکردهای جامع تر برای ارزیابی کیفیت زیست محیطی احساس می شود. از این رو برای کاهش چالش های زیست محیطی و تحقق اهداف توسعه پایدار، یک ارزیابی زیست محیطی گسترده و جامع مورد نیاز است. در این پژوهش به بررسی تاثیر پویایی رشد اقتصادی، سوخت های فسیلی، انرژی های تجدیدپذیر و شهرنشینی بر شاخص ظرفیت بار پایدار با استفاده از روش حداقل مربعات اصلاح شده و حداقل مربعات معمولی پویا طی بازه زمانی ۱۴۰۱-۱۳۷۴ برای کشور ایران پرداخته شده است.

بر اساس برآوردهای به دست آمده از آزمون های هم انباشتگی، مصرف انرژی های تجدیدپذیر باعث افزایش ظرفیت بار در اقتصاد ایران می شود در حالی که رشد اقتصادی باعث کاهش ظرفیت بار می شود. همچنین سوخت های فسیلی، شهرنشینی، اجاره منابع اثر منفی بر ظرفیت بار دارند. بر این اساس هر یک درصد افزایش در رشد اقتصادی ۰/۳۸- و هر واحد افزایش در شهرنشینی، سوخت های فسیلی، اجاره منابع به ترتیب ۰/۴۰-، ۰/۱۲-، ۰/۰۹- ظرفیت بار را کاهش می دهند، همچنین یک واحد افزایش مصرف انرژی های تجدیدپذیر ۰/۱۵ واحد به ظرفیت بار اضافه می کند.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله علمی

تاریخچه مقاله:

تاریخ ارسال: ۱۴۰۳/۱۲/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۰۶

واژگان کلیدی:

رشد اقتصادی، سوخت های فسیلی، انرژی های تجدیدپذیر، شهرنشینی، شاخص ظرفیت بار.

استناد به مقاله: ویسی، فاطمه؛ فاتحی، سمیه و محسنی، سید جمال الدین. (۱۴۰۴). اثرات پویایی رشد اقتصادی، سوخت های فسیلی، انرژی های تجدیدپذیر و شهرنشینی بر شاخص ظرفیت بار در ایران. فصلنامه اقتصاد دفاع و توسعه پایدار، ۱۰(۳۸)، ۵۹-۸۳.

DOI: [10.30607/531.1404.10.38.3.3](https://doi.org/10.30607/531.1404.10.38.3.3)



ناشر: انجمن علمی اقتصاد دفاع ایران

© نویسندگان

۱. مقدمه

امروزه کشورها با مشکلاتی در رابطه با توازن بین اهداف اقتصادی و زیست محیطی مواجه هستند. از یک سو، بشر برای دستیابی به نیازهای فزاینده خود در خصوص بهبود شرایط اقتصادی، ناگزیر نیازمند حمایت و پایداری محیط زیست است. از سوی دیگر، استثمار غیرمسئولانه و میل بی حد و حصر بشر به مصرف باعث می شود که محیط زیست آسیب ببیند و توسعه اقتصادی را تهدید نماید (جواهری و همکاران، ۱۴۰۳). رشد پایدار و کاهش فشارهای زیست محیطی به عنوان اولویت های اصلی در دستور کار جهانی قرار دارند و نیاز به رویکردهای جامع تر برای ارزیابی کیفیت زیست محیطی احساس می شود. به ویژه در شرایط کنونی که تغییرات اقلیمی و آلودگی به مسائل جدی تبدیل شده اند، استفاده از معیارهای سنتی مانند انتشار کربن و ردپای اکولوژیکی کافی نیست. ضریب ظرفیت بار^۱ به عنوان یک ابزار مفید، می تواند با ترکیب ظرفیت زیستی و ردپای اکولوژیکی، تصویری جامع تر از وضعیت محیط زیست ارائه دهد. این معیار کمک می کند تا درک گردد که آیا یک منطقه خاص قادر به حمایت از جمعیت انسانی و فعالیت های اقتصادی بدون تخریب محیط زیست است یا خیر (آووسی^۲، ۲۰۲۴). شاخص ظرفیت بار به عنوان نسبت ظرفیت زیستی^۳ به اثر اکولوژیکی^۴ تعریف می شود و برخلاف دو شاخص قبلی علاوه بر طرف تقاضا، طرف عرضه منابع را در نظر می گیرد.

ظرفیت بار به توانایی یک منطقه یا کشور در حمایت از جمعیت بر اساس منابع موجود و سبک زندگی فعلی اشاره دارد. این شاخص به حداکثر مقدار فشار یا تأثیری اشاره دارد که یک اکوسیستم می تواند بدون آسیب به خود و کاهش کیفیت خدمات زیستی اش تحمل کند. این شامل عواملی مانند تنوع زیستی، کیفیت آب و خاک و پایداری اکوسیستم ها است؛ بنابراین با استفاده از این شاخص، می توان فشارهای انسانی بر منابع مختلف مانند هوا، آب و خاک را تحلیل نمود و توانایی اکوسیستم ها در مقابله با این فشارها را سنجید (کارتال و همکاران^۵، ۲۰۲۳ و پاتا و ایسیک^۶، ۲۰۲۱). بر اساس اطلاعات ارائه شده از سایت جهانی ردپای بوم شناختی^۷، جهان در سال ۲۰۲۱ دارای ۲۵ میلیارد هکتار جهانی ردپای بوم شناختی بوده و ایران با سهم ۲۶۶ میلیون هکتار جهانی، یکی از کشورهایی است که بیشترین ردپای بوم شناختی^۸ را دارا می باشد. همچنین، سهم ایران از این ردپا در سال ۲۰۱۸ معادل ۲۱/۱٪ بوده است. نکته قابل توجه دیگر، روند نزولی شاخص ظرفیت بار است که نشان دهنده کاهش ظرفیت زیستی نسبت به ردپای بوم شناختی است. این شاخص از ۰/۴۵ هکتار جهانی در سال ۱۹۹۵ به ۰/۲۳ هکتار جهانی در سال های ۲۰۲۲ کاهش یافته است (قربانی و همکاران، ۱۴۰۲).

¹ Load capacity factor

² Awosusi (2024)

³ Biological capacity

⁴ Ecological footprint

⁵ Kartal et al (2023).

⁶ Pata & Isik (2021).

⁷ Footprintnetwork (2022)

^۸ شاخصی که میزان تأثیر انسان بر محیط زیست را نشان می دهد.

امروزه، یکی از چالش های اصلی عصر حاضر استفاده از انرژی های تجدیدناپذیر، مانند سوخت های فسیلی (نفت، گاز طبیعی و زغال سنگ)، به رشد اقتصادی کمک می کند، اما درعین حال عواقب زیست محیطی جدی به همراه دارد. از لحاظ تاریخی، کشورهای صنعتی بخش قابل توجهی از انتشار جهانی را به دلیل اتکای بیش از حد به سوخت های فسیلی انجام داده اند که منجر به کاهش پایداری اکولوژیکی می شود. از این رو، تسریع در انتقال انرژی برای حل این مشکلات بسیار مهم است. جهان توافق کرده است که توسعه انرژی پاک به عنوان ورودی برای توسعه امری اضطراری است (رادمهر^۱ و همکاران، ۲۰۲۲). بنابراین، استفاده از انرژی سبز می تواند بر پایداری مناسب محیط زیست مؤثر باشد. به عنوان مثال، انرژی آبی، خورشیدی، بادی، زیست توده، زمین گرمایی و غیره در مقایسه با سوخت های فسیلی پاک هستند. از این رو، گسترش تولید و مصرف انرژی سبز می تواند سهم سوخت های فسیلی آلاینده را کاهش دهد (افشان و همکاران^۲، ۲۰۲۲).

از طرفی رشد اقتصادی به عنوان یکی از اهداف اصلی بسیاری از سیاست های اقتصادی، به رغم مزایای آن، خسارت های جبران ناپذیری به محیط زیست وارد می کند. استفاده بی رویه از منابع طبیعی و تولید زباله های صنعتی و خانگی، منجر به ایجاد تناقضی جدی بین اهداف رشد اقتصادی و حفاظت از محیط زیست شده است. به عبارت دیگر، فعالیت های اقتصادی برای دستیابی به سطوح بالای تولید و رفاه، نیازمند مقادیر زیادی انرژی و مواد اولیه هستند که در نهایت منجر به تخریب محیط زیست می شود. به همین دلیل، آثار مخرب زیست محیطی ناشی از فعالیت های اقتصادی به یکی از چالش های مهم و بحث برانگیز تبدیل شده است. تشدید نگرانی های زیست محیطی ضرورت حفاظت از رفاه محیط زیست جهانی را بیشتر نمایان می کند. با این حال، شواهد تجربی درباره اثر بخشی سیاست های زیست محیطی در کاهش زوال زیست محیطی همچنان مبهم است (میرزایی و همکاران، ۱۳۹۵؛ نونژاد و روزی طلب، ۱۳۹۷).

از طرف دیگر با پیشرفت سریع صنعتی شدن و شهرنشینی، مشکلاتی از قبیل کمبود منابع، آلودگی محیط زیست و روابط تند و زنده بین انسان و زمین در مناطق مختلف پدید آمده است. به خصوص در مناطق شهری، تنش بین منابع محدود و تقاضای توسعه نامحدود به طور فزاینده ای برجسته می شود (لی^۳ و همکاران، ۲۰۲۲). شهرنشینی باعث افزایش تولیدات صنعتی، توسعه زیرساخت ها، تقاضا برای منابع طبیعی و تخریب محیط زیست می شود. شهرنشینی نه تنها بهره وری کشاورزی را با گسترش مناطق شهری کاهش می دهد، بلکه به جنگل زدایی، تولید زباله و تخریب محیط زیست کمک می کند (احمد^۴ و همکاران، ۲۰۲۰).

با توجه به مطالب ذکر شده ناپایداری محیط زیست یکی از چالش های اساسی عصر حاضر به شمار می آید و اثرات آن می تواند فراتر از نگرانی های زیست محیطی باشد. استفاده از شاخص های ناقص مانند انتشار گازهای گلخانه ای، به تنهایی نمی تواند تصویر کاملی از وضعیت محیط زیست ارائه دهد، چرا که عوامل متعددی در پایداری محیط زیست نقش دارند. برای فهم بهتر این پدیده و اثرات آن بر جامعه، نیاز به توسعه شاخص های جامع تری می باشد که به طور هم زمان ابعاد اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی را بررسی کنند. به عنوان

¹ Radmehr et al(2022).

² Afshan et al(2022).

³ Li et al(2022).

⁴ Ahmad et al(2020).

مثال، می‌توان به شاخص‌هایی همچون تنوع زیستی، کیفیت آب‌و‌خاک و حتی تأثیرات اجتماعی و فرهنگی پرداخته شود. بر اساس مبانی نظری جدید شاخصی تحت عنوان ظرفیت بار محیط‌زیست محاسبه و ارائه شده است که از جامعیت مناسبی برخوردار است. در ایران از این شاخص برای ارزیابی پایداری محیط‌زیست بسیار کم استفاده شده است، بنابراین این مطالعه با استفاده از داده‌های سری‌های زمانی و رویکرد حداقل مربعات معمولی کاملاً اصلاح شده براساس در دسترس بودن کامل متغیرهای مورد بررسی طی بازه ۱۴۰۱-۱۳۷۴ اثرات پویایی رشد اقتصادی، سوخت‌های فسیلی، انرژی‌های تجدیدپذیر و شهرنشینی را بر شاخص ظرفیت بار در ایران مورد بررسی قرار داده است.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

۲-۲. مبانی نظری پژوهش

۲-۱-۱. مفهوم شاخص ظرفیت بار

در ادبیات اقتصاد محیط زیست، توجه به ابعاد مختلف مسائل زیست محیطی و استفاده از شاخص‌های متنوع برای تحلیل این مسائل، امری ضروری است. به ویژه، شاخص‌هایی مانند کربن دی‌اکسید و دی‌اکسید گوگرد تنها بخشی از تصویر کلی آلودگی و تأثیرات زیست محیطی را به نمایش می‌گذارند. از آنجا که مسائل زیست محیطی به طور مستقیم بر پایداری بلندمدت کشورها تأثیر می‌گذارند، نیاز به یک رویکرد جامع و چندبعدی در تحلیل پایداری اکولوژیکی احساس می‌شود. ردپای اکولوژیکی که توسط ریس^۱ در سال ۱۹۹۲ معرفی شد، به‌عنوان یک ابزار مفید برای اندازه‌گیری اثرات انسانی بر محیط‌زیست شناخته می‌شود. این شاخص، تقاضای انسان برای منابع طبیعی و تأثیرات آن بر تخریب محیط زیست را برحسب هکتارهای جهانی محاسبه می‌کند. با این حال، یکی از محدودیت‌های اصلی ردپای اکولوژیکی این است که تنها به سمت تقاضا توجه دارد و واکنش اکوسیستم یا ظرفیت عرضه منابع طبیعی را در نظر نمی‌گیرد. لذا ردپای اکولوژیکی^۲ و انتشار کربن دی‌اکسید تنها شاخص‌های تخریب محیط زیست در سمت تقاضا هستند. تجزیه و تحلیل محیط باید توانایی طبیعت برای برآوردن نیازهای انسان را نیز در نظر بگیرد. منابع طبیعی را می‌توان با ظرفیت زیستی اندازه‌گیری کرد که برحسب زمین حاصلخیز، موجودات دریایی یا فضای بیولوژیکی لازم، اندازه‌گیری می‌شود و ظرفیت زیستی هم عرضه زمین‌تولیدی بیولوژیکی است و هم یک ردپای اکولوژیکی که به زمینی مولد بیولوژیکی نیاز دارد. برای تجزیه و تحلیل دقیق پایداری اکولوژیکی، ردپای اکولوژیکی و ظرفیت زیستی باید به طور همزمان در نظر گرفته شود (وانگ^۳ و همکاران، ۲۰۲۴). بنابراین، سیچو و همکاران در سال ۲۰۱۰ با تقسیم ظرفیت زیستی بر ردپای بوم‌شناختی ضرورت ظرفیت بار را دوجندان کرد. به‌عبارت دیگر این شاخص تمام کاستی‌های شاخص‌های پیشین را برطرف نمود. به‌عبارت دیگر ظرفیت بار مقایسه ظرفیت زیستی و ردپای

¹ Rees(1992).

² Ecologyfootprint

³ Wang et al(2024)

اکولوژیکی یک آستانه اکولوژیکی را نشان می‌دهد. ظرفیت بار نشان دهنده قدرت یک منطقه یا کشور برای حمایت از جمعیت با توجه به سبک زندگی فعلی است (مظفری و ویسی، ۱۴۰۳).

منحنی ظرفیت بار در ردپای اکولوژیکی معیار مهمی برای پایداری یک اکوسیستم است. این منحنی ابزاری است که برای مقایسه ردپای اکولوژیکی فعلی با حداکثر سطح پایدار استفاده می‌شود و ظرفیت اکوسیستم برای حمایت از فعالیت‌های انسانی را محدود می‌کند و با در نظر گرفتن جنبه های عرضه و تقاضای طبیعت، ضریب ظرفیت بار پایداری اکولوژیکی را نشان می‌دهد. زمانی که عرضه طبیعت از تقاضا بیشتر باشد، اگر مقدار ضریب ظرفیت بار برابر یا بیشتر از یک باشد، محیط زیست پایدار است (وانگ و همکاران، ۲۰۲۴). برای تعیین ظرفیت بار محیط زیستی، نیاز به دسترسی به داده‌های زیست‌شناختی، محیطی و اجتماعی است. این داده‌ها کمک می‌کنند تا تأثیرات مختلف عوامل فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی بر محیط زیست و تنوع زیستی را اندازه‌گیری و تحلیل نموده و برنامه‌های مناسب برای حفظ و بهبود محیط زیست را طراحی نمود (ژوو و همکاران، ۲۰۲۲).

۲-۲-۲. تأثیر سوخت‌های فسیلی و انرژی‌های تجدیدپذیر بر شاخص ضریب ظرفیت بار

امروزه انرژی به یک عنصر کلیدی برای رفاه اقتصادی و اجتماعی و همچنین در سال‌های اخیر به یک وسیله‌ای برای دستیابی به توسعه پایدار^۲ جوامع تبدیل شده است (کوسمان^۳، ۲۰۰۸). انرژی از یک سو، نقش مؤثری در رشد اقتصادی کشورها ایفا می‌کند و به‌عنوان یک نیروی محرکه در اکثر فعالیت‌های تولیدی و خدماتی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. از سوی دیگر، مصرف انرژی به دلیل انتشار کربن و گازهای گلخانه‌ای منجر به آلودگی هوا می‌شود (معین‌والدینی، ۱۴۰۳). تقاضای فزاینده برای سوخت‌های فسیلی، پایداری و تخریب محیط‌زیست را به حداکثر رسانده است. اکثر کشورهای درحال توسعه از کمبودهای زیست محیطی رنج می‌برند و بحران‌های ظرفیت زیستی وخامت محیط زیست را در این منطقه افزایش داده است (مظفری و ویسی، ۱۴۰۳). از طرف دیگر بروز شکاف ردپای بوم‌شناختی به دلیل استفاده بیش از حد از سوخت‌های فسیلی، تأثیرات منفی قابل توجهی بر تعادل محیط زیست دارد. این افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی به انتشار گاز دی‌اکسید کربن و دیگر گازهای گلخانه‌ای منجر شده که در نتیجه آن تغییرات اقلیمی و کاهش ظرفیت زیست محیطی مشاهده می‌شود. استفاده از انرژی‌های سنتی مانند چوب و دیگر سوخت‌های فسیلی نیز به افزایش انتشار گاز دی‌اکسید کربن کمک می‌کند (ویسی و همکاران، ۱۴۰۱). مطابق با آمار، بیش از ۶۰ درصد از ردپای اکولوژیکی ناشی از انتشار گاز دی‌اکسید کربن به مصرف سوخت‌های فسیلی مربوط می‌شود. همچنین، براساس داده‌های شبکه ردپای بوم‌شناختی ۲۰۲۴ در سال، از سال ۱۹۷۰ تا کنون، بشر ۱/۷۵ برابر سریع‌تر از ظرفیت اکوسیستم سیاره زمین از منابع طبیعی استفاده کرده است (شبکه ردپای بوم‌شناختی، ۲۰۲۱؛ ویسی و همکاران، ۱۴۰۱). بنابراین، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به‌عنوان یک راهکار کلیدی برای دستیابی به

¹ Zhou et al(2023).

^۲ این مفهوم بر تعادل بین توسعه اقتصادی، حفاظت از محیط زیست و عدالت اجتماعی تأکید دارد.

³ Cosman (2008).

توسعه پایدار و حفظ تعادل اکولوژیکی محیطزیست شناخته می‌شود (دانشوری و همکاران، ۱۳۹۷). انرژی‌های تجدیدپذیر می‌توانند از منابع مختلفی تأمین شوند. وکرنال و مونفردا (۲۰۰۶) عنوان می‌دارند که ترکیبی از صفحات فتوولتاییک، توربین‌های بادی و سوخت اتانولی بر پایه زیست‌توده، توانایی تولید متوسط ۹۵ گیگا ژول بر هکتار در سال را دارا است که این میزان از انرژی، در مقایسه با انرژی که یک زمین باکیفیت متوسط می‌تواند تولید کند، بالاتر است و کمترین اثر زیست‌محیطی را به دنبال دارد (اصفهانی و همکاران، ۱۴۰۱).

۲-۳. تأثیر رشد اقتصادی بر شاخص ظرفیت بار

رابطه بین رشد اقتصادی و محیطزیست از دهه ۱۹۷۰ به‌طور جدی مورد بررسی قرار گرفته است. در این دوره، مطالعاتی مانند "محدودیت‌های رشد" به چالش‌های ناشی از رشد اقتصادی بی‌رویه و تأثیرات آن بر محیطزیست پرداخته‌اند. اقتصاددانان محیطزیست به این نتیجه رسیدند که علاوه بر نیروی کار و سرمایه، منابع طبیعی نیز باید به‌عنوان یک عامل کلیدی در تابع تولید در نظر گرفته شوند (سولو^۱، ۱۹۹۶). انرژی یکی از عواملی است که در نظریه‌های جدید رشد اقتصادی، وارد الگوی رشد شده، ولی اهمیت آن، در الگوهای مختلف، یکسان نیست. دیدگاه‌های متفاوتی در مورد میزان و نحوه تأثیرگذاری انرژی بر تولید و رشد اقتصادی مطرح شده است که می‌توان آنها را در دو دیدگاه کلی، شامل دیدگاه اقتصاددانان اکولوژیکی یا بوم‌شناختی و دیدگاه اقتصاددانان نئوکلاسیک بیان نمود. اقتصاددانان اکولوژیکی بر این باورند که انرژی به‌عنوان یک نهاده اصلی در تابع تولید مطرح است و نقش حیاتی در رشد اقتصادی ایفا می‌کند. بر اساس این دیدگاه، دسترسی به انرژی بیشتر می‌تواند به افزایش تولید و در نتیجه رشد اقتصادی منجر شود. این دیدگاه تأکید دارد که تمامی عوامل تولید، از جمله نیروی کار و سرمایه، تحت تأثیر دسترسی به انرژی قرار دارند. با این حال، این افزایش مصرف انرژی ممکن است منجر به آثار منفی بر محیطزیست شود، به‌ویژه زمانی که این مصرف با ناکارآمدی همراه باشد. آلاینده‌های زیست‌محیطی ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی یکی از پیامدهای مهم این وضعیت است. در مقابل، اقتصاددانان نئوکلاسیک بیشتر بر روی کارایی و بهینه‌سازی منابع تأکید دارند. آنها معتقدند که رشد اقتصادی می‌تواند از طریق بهبود فناوری و افزایش بهره‌وری حاصل شود، بدون اینکه لزوماً وابسته به افزایش مصرف انرژی باشد. این دیدگاه بر این باور است که با استفاده از فناوری‌های نوین و بهبود فرایندها، می‌توان به رشد اقتصادی دست‌یافت بدون اینکه فشار زیادی بر منابع طبیعی و محیطزیست وارد شود. منحنی زیست‌محیطی کوزنتس (EKC)^۲ یکی دیگر از نظریه‌های کلیدی در تحلیل رابطه بین رشد اقتصادی و کیفیت محیطزیست است. منحنی کوزنتس (یک نظریه اقتصادی است که رابطه بین درآمد سرانه یک کشور و نابرابری درآمدی را بررسی می‌کند) نشان می‌دهد که در مراحل اولیه توسعه اقتصادی، کیفیت محیطزیست به دلیل افزایش تولید و مصرف کاهش می‌یابد. با ادامه توسعه اقتصادی، در یک نقطه خاص (نقطه عطف)، کیفیت محیطزیست شروع به بهبود می‌کند. نظریه دیگری که برای رابطه بین رشد اقتصادی و کیفیت محیطزیست

¹ solo (1996).

². Kuznets curve

استفاده می‌شود، فرضیه منحنی ظرفیت بار است. فرضیه منحنی ظرفیت بار^۱ (LCC) به عنوان یک نظریه قابل توجه و مهم در ارتباط با رشد اقتصادی و کیفیت محیطی مطرح شده است. رابطه بین ضریب ظرفیت بار و رشد اقتصادی به خوبی بیانگر پیچیدگی های این تعامل است. رابطه U شکل بین رشد اقتصادی و ضریب ظرفیت بار نشان می‌دهد که در مراحل اولیه توسعه، افزایش فعالیت های اقتصادی می‌تواند منجر به کاهش کیفیت محیطی شود. این امر به دلیل افزایش تقاضا برای منابع طبیعی و تولید آلاینده ها است. اما با پیشرفت در فناوری و تغییرات ساختاری، این روند معکوس می‌شود و کیفیت محیطی بهبود می‌یابد. در مراحل ابتدایی رشد اقتصادی، صرفه جویی در مقیاس ممکن است به کاهش ضریب ظرفیت بار منجر شود. به این معنا که افزایش تولید ممکن است به مصرف بیش از حد منابع و افزایش آلاینده ها منجر شود. این وضعیت می‌تواند باعث فشار بر اکوسیستم ها و کاهش کیفیت محیطی گردد. در مراحل بعدی، با پیشرفت های تکنولوژیکی و تغییرات ساختاری، ظرفیت زیستی افزایش می‌یابد. فناوری های نوین و مدیریت پایدار منابع می‌توانند منجر به کاهش ردپای اکولوژیکی شوند. این تغییرات بهبود کیفیت محیطی و افزایش ضریب ظرفیت بار را تسهیل می‌کنند (وانگ و همکاران، ۲۰۲۴).

۲-۲-۴. تاثیر شهرنشینی بر شاخص ظرفیت بار

شهرنشینی یکی از مهم ترین پدیده های عصر کنونی است و به دلیل آثار اقتصادی و اجتماعی مهمی که بر جامعه می‌گذارد، در دهه های اخیر بیشتر مورد توجه سیاست گذاران و پژوهشگران قرار گرفته است (طراز کار و همکاران، ۱۳۹۷). شهرنشینی تأثیرات قابل توجهی بر ردپای اکولوژیکی و شاخص ظرفیت بار دارد و این اثرات در چندین حوزه مهم ظاهر می‌شوند. در مناطق شهری، مصرف منابع طبیعی به طرز قابل توجهی افزایش می‌یابد، زیرا جمعیت شهری نیاز به کالاها و خدمات بیشتری دارد. این نیازها معمولاً به تولیدات صنعتی وابسته اند که خود به منابع طبیعی فشار وارد می‌کنند. تحول از اقتصاد کشاورزی به اقتصاد صنعتی که با شهرنشینی همراه است، می‌تواند به رشد اقتصادی و افزایش درآمد منجر شود، اما این فرایند همچنین می‌تواند به تغییرات زیست محیطی منفی نیز منجر شود. به عنوان مثال، آلودگی هوا، کاهش کیفیت آب، و از بین رفتن اکوسیستم ها از عوارض جانبی این تحولات هستند (جواهری و همکاران، ۱۴۰۲).

یکی دیگر از این عوامل مهاجرت جمعیت از روستاها به شهرها، تأثیرات عمیقی بر محیط زیست و منابع طبیعی دارد. با افزایش جمعیت در شهرها، نیاز به منابع طبیعی مانند آب، زمین و انرژی نیز بیشتر می‌شود. این امر می‌تواند منجر به بهره برداری ناپایدار از منابع شود. به عنوان مثال، برداشت بیش از حد آب های زیرزمینی برای تأمین نیازهای شهری و کشاورزی باعث کاهش سطح آب های زیرزمینی شده است. این وضعیت نه تنها دسترسی به آب سالم و کافی را کاهش می‌دهد، بلکه بر اکوسیستم های محلی نیز تأثیر منفی می‌گذارد و در نتیجه ردپای اکولوژیکی را تشدید می‌کند. گسترش زیرساخت های شهری و توسعه فضاهای ساخته شده نقش مهمی در تغییرات محیط زیستی دارد. این فرایند معمولاً شامل ساخت ساختمان ها، جاده ها و سایر زیرساخت ها است که نیازمند تبدیل زمین های طبیعی به مناطق شهری و صنعتی است. این تغییرات می‌تواند منجر به

¹. Load capacity factor

از بین رفتن زیستگاه‌های طبیعی و تکه‌تکه شدن آن‌ها شود که اثرات منفی زیادی بر تنوع زیستی دارد. تکه‌تکه شدن زیستگاه‌ها باعث کاهش مساحت مناطق قابل سکونت برای گونه‌های مختلف می‌شود و ارتباط بین زیستگاه‌ها را محدود می‌کند، در نتیجه جمعیت‌های حیوانات و گیاهان کاهش یافته یا منقرض می‌شوند. همچنین، این تغییرات ممکن است باعث افزایش آلودگی، کاهش منابع آب و تخریب اکوسیستم‌های حساس شوند که همه این عوامل بر سلامت کلی محیط‌زیست تأثیر منفی دارند. علاوه بر این، تراکم جمعیت در شهرها باعث افزایش نیاز به حمل‌ونقل داخلی، گرمایش و سرمایش ساختمان‌ها می‌شود. این عوامل مصرف انرژی را بالا برده و انتشار گازهای گلخانه‌ای را تشدید می‌کنند که نقش مهمی در تغییرات اقلیمی دارند. علاوه بر این مناطق شهری مقادیر زیادی زباله تولید می‌کنند که شامل زباله‌های جامد، فاضلاب و مواد دیگر است. این زباله‌ها نیازمند فرایندهای دفع و تصفیه‌ای هستند که انرژی و منابع قابل توجهی را مصرف می‌کنند. علاوه بر این، مدیریت نادرست این زباله‌ها می‌تواند منجر به آلودگی محیط‌زیست، کاهش کیفیت آب‌وهوا، و افزایش ردپای اکولوژیکی شود (علوی^۱ و همکاران، ۲۰۲۴). در مقابل نظریه بوم‌شناختی به طور خاص به این نکته اشاره دارد که اگرچه شهرنشینی ممکن است به تخریب محیط‌زیست منجر شود، اما همچنین می‌تواند بستری برای توسعه نهادهای سیاست‌ها و فناوری‌های زیست‌محیطی فراهم کند که به حفظ و بهبود کیفیت محیط‌زیست کمک می‌کنند. تمرکز جمعیت در مناطق شهری می‌تواند به بهینه‌سازی استفاده از منابع طبیعی و کاهش مصرف انرژی منجر شود. به عنوان مثال، زیرساخت‌های حمل‌ونقل عمومی در شهرها می‌تواند باعث کاهش ترافیک و آلودگی هوا شود. همچنین، در شهرهای بزرگ، فرصت‌های بیشتری برای به اشتراک‌گذاری منابع و خدمات وجود دارد که می‌تواند به کاهش اثرات زیست‌محیطی منجر شود. تمرکز جمعیت در مناطق شهری می‌تواند به بهینه‌سازی استفاده از منابع طبیعی و کاهش مصرف انرژی منجر شود. به عنوان مثال، زیرساخت‌های حمل‌ونقل عمومی در شهرها می‌تواند باعث کاهش ترافیک و آلودگی هوا شود. همچنین، در شهرهای بزرگ، فرصت‌های بیشتری برای به اشتراک‌گذاری منابع و خدمات وجود دارد که می‌تواند به کاهش اثرات زیست‌محیطی منجر شود (جواهری و همکاران، ۱۴۰۲).

۲-۲. پیشینه پژوهش

۲-۲-۱. مطالعات خارجی

ناثانیل^۲ و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی رابطه بین رشد اقتصادی، مصرف انرژی، تجارت بین‌المللی و ردپای اکولوژیکی در ۱۱ کشور در حال توسعه پرداختند و نشان دادند که مقررات زیست‌محیطی در کاهش ردپای اکولوژیکی، بی‌تأثیر بوده است.

سهو^۳ و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی رابطه بین انرژی‌های تجدیدپذیر، تجدید ناپذیر، منابع طبیعی، سرمایه انسانی و جهانی شدن بر روی ردپای اکولوژیکی از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۶ با استفاده از رویکرد حداقل مربعات

¹ Alvi et al(2024).

² Nathaniel et al(2021)

³ Soho et al (2021).

پویا پرداختند. یافته‌ها نشان داد که انرژی‌های تجدید ناپذیر، رشد اقتصادی، منابع طبیعی و شهرنشینی باعث ایجاد ردپای اکولوژیکی در کشورهای درحال توسعه و کاهش کیفیت محیط‌زیست شده است. باین‌حال انرژی‌های تجدید پذیر باعث کاهش ردپای اکولوژیکی یا افزایش کیفیت محیط‌زیست شده است.

خو^۱ و همکاران (۲۰۲۲) به بررسی تأثیر جهانی‌شدن مالی، انرژی‌های تجدیدپذیر و شهرنشینی بر شاخص ظرفیت بار در برزیل با استفاده از روش اتورگرسیو^۲ با وقفه‌های توزیعی طی بازه زمانی ۱۹۷۰-۲۰۱۷ پرداختند. نتایج روش نشان داد که رشد اقتصادی، انرژی‌های تجدیدناپذیر و تجدیدپذیر ضریب ظرفیت بار را کاهش می‌دهد، درحالی‌که شهرنشینی هیچ تأثیری بر ضریب ظرفیت بار در برزیل ندارد. باین‌حال، جهانی‌شدن مالی تأثیر مثبتی بر ضریب ظرفیت بار در برزیل دارد. در نهایت، این مطالعه از آزمون علیت طیفی برای ارزیابی تعامل علیت بین عامل‌های مشاهده شده استفاده می‌کند. سیاست‌گذاران باید با تدوین سیاست‌هایی که گشایش اقتصاد به روی سرمایه‌گذاران خارجی را تشویق می‌کند، از این فرصت استفاده کنند.

ریحان^۳ و همکاران (۲۰۲۳) به بررسی اثرات پویایی جهانی‌شدن مالی، رشد اقتصادی، سوخت های فسیلی و انرژی‌های تجدیدپذیر و شهرنشینی بر شاخص ظرفیت بار در مکزیک با استفاده از روش اتورگرسیو^۴ با وقفه‌های توزیعی طی بازه زمانی ۱۹۷۱-۲۰۱۸ پرداختند. یافته‌ها نشان می‌دهد که رشد اقتصادی، استفاده از سوخت‌های فسیلی و شهرنشینی باعث کاهش ضریب ظرفیت بار مکزیک شده و در نتیجه کیفیت محیطی را کاهش می‌دهد. در مقابل، پذیرش منابع انرژی تجدیدپذیر و تأثیر جهانی‌شدن مالی تأثیرات مثبتی بر ضریب ظرفیت بار در بلندمدت و کوتاه مدت نشان می‌دهد. به عنوان یک اولویت، سیاست‌گذاران مکزیک باید انتقال به منابع انرژی تجدیدپذیر را تسریع بخشند، توسعه شهری پایدار را تشویق کنند، و برنامه اقتصادی آگاهانه تری را از نظر زیست محیطی تقویت کنند. علاوه بر این، ترویج فناوری‌های سبزتر می‌تواند ظرفیت بار را افزایش داده و تخریب محیط زیست را کاهش دهد. در نهایت، مکزیک می‌تواند با تشویق سرمایه‌گذاری های فرامرزی، امکان تجارت جهانی در خدمات مالی و ایجاد یکپارچگی بیشتر سرمایه و بازارهای مالی، محیطی مساعد برای گسترش سرمایه‌گذاری های پایدار ایجاد کند.

کهو^۵ و همکاران (۲۰۲۳) به بررسی تأثیر شهرنشینی بر ردپای محیط‌زیست در سواحل عاج با استفاده از روش اتورگرسیو با وقفه‌های توزیعی طی بازه زمانی ۱۹۷۰-۲۰۲۱ پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد شهرنشینی باعث افزایش ردپای محیط‌زیست می‌شود

وانگ^۶ و همکاران (۲۰۲۴) به بررسی تأثیر رشد اقتصادی، انرژی هسته‌ای، انرژی‌های تجدیدپذیر بر شاخص ظرفیت بار و منحنی کوزنتس در کشورهای بریکس با استفاده از روش آزمون بوت استرپ و دریسکول^۷ کرایبی طی بازه زمانی ۱۹۹۰-۲۰۱۸ پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد که انرژی‌های تجدیدپذیر و هسته‌ای

¹ Xu et al(2022).

²Autoregressive method with distributed lags

³ Raihan et al(2023)

⁴Autoregressive method with distributed lags

⁵ Keho et al(2023)

⁶ Wang et al(2024).

⁷LM- Bootstrap & Driscoll-Kraay

سبب افزایش کیفیت محیط‌زیست و درنهایت افزایش شاخص ظرفیت بار و کاهش منحنی کوزنتس می‌شود. درحالی‌که توسعه مالی و رشد اقتصادی سبب کاهش شاخص ظرفیت بار و افزایش CO₂ می‌شود. همچنین مجذور رشد اقتصادی تأثیر مثبت بر شاخص ظرفیت بار و منفی بر منحنی کوزنتس دارد. به عبارت دیگر فرضیه منحنی کوزنتس تأیید می‌شود؛ بنابراین برای دستیابی به توسعه پایدار در کشورهای بریکس^۱ نیازمند توجه ویژه‌ای به کارایی انرژی و استفاده از فناوری‌های سبز بوده و همچنین لازم است سیاست‌ها طوری طراحی شوند که ضمن حمایت از رشد اقتصادی، کیفیت محیط‌زیست نیز حفظ شود.

گولر^۲ و همکاران (۲۰۲۵) تأثیر رشد اقتصادی و سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی بر شاخص ردپای اکولوژیکی و شاخص ظرفیت بار و اهداف توسعه پایدار کشور چین با استفاده از روش حداقل مربعات کاملاً اصلاح شده^۳ و تحلیل‌های هم‌جمعی اتورگرسیون^۴ با وقفه‌های توزیعی بوت استرب طی بازه زمانی ۱۹۷۰-۲۰۲۲ پرداختند. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که درحالی‌که تولید ناخالص داخلی و سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی اغلب تخریب محیط‌زیست را تشدید می‌کنند، شهرنشینی و کشاورزی، جنگل‌داری و ماهیگیری بارزش افزوده پایداری را در برخی مناطق بهبود می‌بخشد. این مطالعه فرضیه پناهگاه آلودگی را برای اکثر مدل‌ها تأیید می‌کند و نشان می‌دهد که چارچوب‌های قانونی و نظارتی چین ممکن است به اندازه کافی اثرات نامطلوب زیست‌محیطی سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی را کاهش دهد. فرضیه منحنی کوزنتس زیست‌محیطی پشتیبانی نمی‌شود، زیرا رشد تولید ناخالص داخلی به‌طور کلی ردپای اکولوژیکی را افزایش می‌دهد. با این حال، باز بودن تجارت و شهرنشینی تأثیرات مثبتی بر پایداری محیطی نشان می‌دهد.

۲-۲-۲. مطالعات داخلی

طرازکار و همکاران (۱۳۹۶) اثر رشد اقتصادی بر پایداری محیط‌زیست در ایران و همچنین روابط کوتاه‌مدت و بلندمدت ردپای بوم‌شناختی و تولید ناخالص داخلی سرانه، مصرف سرانه انرژی، تراکم جمعیت و آزادسازی تجاری را مورد تحلیل قرار دادند. نتایج، حاکی از آن بود که رابطه رشد اقتصادی ردپای بوم‌شناختی به‌صورت U وارون بوده است. آزادسازی تجاری در بلندمدت، تأثیر مثبتی بر ردپای بوم‌شناختی دارد، درحالی‌که در کوتاه‌مدت، تأثیر این متغیر معنی‌دار نیست.

پارسا و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی تأثیر عوامل اقتصادی بر تخریب محیط‌زیست و ردپای بوم‌شناختی با استفاده از رویکرد پانل حداقل مربعات سه‌مرحله‌ای در کشورهای منتخب درحال توسعه و توسعه‌یافته طی دوره زمانی ۱۹۹۵ الی ۲۰۱۵ پرداختند و نتایج پژوهش نشان داد که مصرف انرژی و رشد اقتصادی باعث افزایش ردپای بوم‌شناختی شده و باز بودن تجارت تأثیر منفی بر ردپای بوم‌شناختی داشته است.

^۱ گروهی از کشورهای درحال توسعه شامل (برزیل، روسیه، هند، چین، آفریقای جنوبی)

^۲ Güler et al(2025)

^۳ Fully modified least squares method

^۴ Bootstrap ARDL

طراز کار و همکاران (۱۳۹۹) به تحلیل اثر رشد اقتصادی، مصرف انرژی، ظرفیت زیستی و آزادسازی تجاری بر ردپای اکولوژیکی در کشورهای خاورمیانه پرداختند و نتیجه گرفتند که یک رابطه مثبت، میان ردپای اکولوژیکی و ظرفیت زیستی و یک رابطه منفی، میان آزادسازی تجاری و ردپای اکولوژیکی وجود دارد و افزایش مصرف انرژی نیز به افزایش ردپای اکولوژیکی منجر می شود. از طرفی، یک رابطه N شکل میان ردپای اکولوژیکی و رشد اقتصادی وجود دارد که نشان می دهد، افزایش رشد اقتصادی در این منطقه، به تخریب بیشتر محیط زیست منجر خواهد شد.

پارسا شریف و همکاران (۱۴۰۰) به بررسی رابطه بین ردپای اکولوژیکی سرانه و متغیرهای تولید ناخالص داخلی سرانه، مصرف انرژی، درجه بازبودن تجاری و توسعه مالی برای منتخبی از کشورهای آسیا و اروپا پرداختند و نتیجه گرفتند که متغیرهای مصرف انرژی، توسعه مالی و تولید ناخالص داخلی سرانه، اثر مثبت و متغیرهای تجارت باز و توان دوم تولید ناخالص داخلی سرانه، اثر منفی بر ردپای اکولوژیکی داشته اند. این نتیجه، مؤید منحنی محیط زیستی کوزنتس می باشد.

مطالعات تجربی نشان می دهد که وضعیت محیط زیست به عنوان یک چالش جهانی نیازمند بررسی های جامع و چندبعدی است. در اقتصاد ایران، تکیه صرف بر شاخص های ناقص مانند انتشار گازهای گلخانه ای و ردپای بوم شناختی نمی تواند تصویر کامل و دقیقی از وضعیت محیط زیست ارائه دهد؛ بنابراین، توسعه شاخص های جامع تر که ابعاد مختلف پایداری را هم زمان در نظر بگیرند، امری ضروری است. شاخص هایی مانند تنوع زیستی، کیفیت آب و خاک، و تأثیرات اجتماعی و فرهنگی می توانند در این راستا مؤثر باشند. مفهوم "ظرفیت بار محیط زیست" به عنوان یک شاخص جامع، می تواند به تحلیل پایداری محیط زیست کمک کند و ابزاری مناسب برای ارزیابی تأثیرات مختلف بر محیط زیست باشد. با این حال، بررسی های انجام شده در مطالعات ایران نشان می دهد که ادبیات موضوع در این زمینه هنوز محدود است. در مطالعات داخلی ایران، تاکنون پژوهشی که به طور خاص تأثیر عوامل اقتصادی مانند رشد اقتصادی، سوخت های فسیلی، انرژی های تجدیدپذیر و شهرنشینی بر شاخص ظرفیت بار محیط زیست بپردازد، انجام نشده است. بیشتر مطالعات موجود مانند مطالعات اصفهانی و همکاران (۱۴۰۱)، طراز کار و همکاران (۱۳۹۹)، پارسا شریف و همکاران (۱۴۰۰) و ابراهیم زاده و همکاران (۱۳۹۹) بر شاخص هایی مانند کربن در اکسید و ردپای اکولوژیکی تمرکز کرده اند. این مطالعه برای اولین بار در ایران، تأثیر رشد اقتصادی، مصرف سوخت های فسیلی، توسعه انرژی های تجدیدپذیر و روند شهرنشینی را بر شاخص ظرفیت بار محیط زیست بررسی می کند. این رویکرد نوآورانه می تواند دیدگاه جدیدی در ارزیابی پایداری زیست محیطی کشور فراهم آورد و راهکارهای مؤثرتری برای مدیریت منابع طبیعی ارائه دهد.

¹Load capacity factor

۳. روش‌شناسی پژوهش

در این مطالعه به منظور بررسی اثرات پویایی رشد اقتصادی، سوخت‌های فسیلی، انرژی‌های تجدیدپذیر و شهرنشینی بر شاخص ظرفیت بار در ایران، با توجه به ادبیات تحقیق و پیروی از مطالعه خو و همکاران (۲۰۲۲) و ریحان و همکاران (۲۰۲۳) الگوی زیر در نظر گرفته شده است.

$$LLCF_t = \beta_0 + \beta_2 Lgdp + \beta_3 REC + \beta_4 NREC + \beta_5 URB_t + \beta_6 NAR_i + e \quad (۱)$$

که در آن، L در ابتدای متغیر به معنی لگاریتم طبیعی است. در این مدل اندیس i و t به ترتیب نشان‌دهنده استان و دوره زمانی است. شرح تفصیلی متغیرها در جدول (۱) آمده است:

جدول شماره (۱) شرح متغیرها، نحوه محاسبه و منبع جمع‌آوری داده‌ها

نماد	متغیر	شاخص اندازه‌گیری	واحد داده‌ها	مرجع جمع‌آوری داده
LCF	ظرفیت بار	نسبت ظرفیت زیستی بر ردپای بوم‌شناختی	هکتار جهانی	شبکه جهانی ردپای بوم‌شناختی
GDP	رشد اقتصادی	تولید ناخالص داخلی سرانه به قیمت ثابت ۲۰۱۵	میلیارد ریال	بانک جهانی
RE	مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر	برحسب درصدی از کل مصرف نهایی انرژی	درصد	بانک جهانی
NREC	سوخت‌های فسیلی	میزان مصرف انرژی‌های فسیلی برحسب کیلوگرم معادل نفت خام	بشکه نفت خام	آژانس انرژی
URB	شهرنشینی	نسبت جمعیت شهری به کل جمعیت	درصد	بانک جهانی
NAR	اجاره منابع طبیعی	نرخ اجاره منابع طبیعی بر حسب درصدی از GDP	درصد	بانک جهانی
ε_{it}	جزء خطا	—	—	—

منبع: یافته‌های پژوهش

شاخص ظرفیت بار (LCF): یکی از ابزارهای مهم در ارزیابی پایداری اکولوژیکی و تأثیرات انسانی بر محیط‌زیست است. این شاخص کمک می‌کند تا توانایی یک منطقه یا کشور را در حمایت از جمعیت و تأمین نیازهای آن بر اساس منابع موجود و الگوهای مصرف فعلی بررسی نمود. شاخص ظرفیت بار از نسبت ظرفیت زیستی که به توانایی طبیعت در تولید منابع اشاره دارد، به اثر اکولوژیکی که شامل مصرف منابع و تولید زباله است، به دست می‌آید. این نسبت به طور خاص می‌گوید که آیا یک اکوسیستم می‌تواند فشارهای ناشی از فعالیت‌های انسانی را تحمل کند یا خیر. عوامل مختلفی مانند تنوع زیستی، کیفیت آب‌و‌خاک، و پایداری اکوسیستم‌ها در این شاخص تأثیرگذار هستند. به عبارتی، هر یک از این عوامل به طور مستقیم بر توانایی

اکوسیستم در تأمین نیازهای انسانی تأثیر می‌گذارد. با استفاده از شاخص ظرفیت بار، می‌توان فشارهای انسانی بر روی منابع طبیعی مانند هوا، آب و خاک را مورد بررسی قرار داد. در مورد کشور ایران، روند شاخص ظرفیت بار به‌طور کلی نشان‌دهنده یک سیر نزولی است که این موضوع می‌تواند به نگرانی‌ها درباره پایداری اکولوژیکی و منابع طبیعی کشور اشاره کند. داده‌های مربوط به این شاخص معمولاً از شبکه جهانی ردپای بوم‌شناختی استخراج می‌شوند و می‌توانند به‌عنوان مبنایی برای سیاست‌گذاری‌های محیط‌زیستی و مدیریت منابع طبیعی استفاده شوند.

سوخت های فسیلی (NREC): نشانگر مصرف سوخت‌های فسیلی است. مصرف انرژی، به ویژه در قالب سوخت‌های فسیلی مانند زغال‌سنگ، نفت و گاز، به طور مستقیم با تخریب محیط‌زیست مرتبط است. بر اساس استدلال مطرح شده، هر چه مصرف انرژی بیشتر شود، میزان آلودگی و آسیب‌های زیست‌محیطی نیز افزایش می‌یابد. در این مطالعه، فرض بر این است که مصرف‌کنندگان عمدتاً از سوخت‌های زغال‌سنگ، نفت و گاز به صورت مداوم و در حجم زیاد استفاده می‌کنند که این امر منجر به افزایش انتشار آلاینده‌ها و تخریب محیط‌زیست می‌شود. داده‌های مورد استفاده در تحلیل‌ها از منابع مختلفی مانند دفتر برنامه‌ریزی اقتصادی کلان، وزارت نیرو و سایر منابع مربوط به استخراج و مصرف انرژی جمع‌آوری شده است (جواهری و همکاران، ۱۴۰۲).

انرژی های تجدیدپذیر یا سبز (REC): انرژی‌های تجدیدپذیر یا سبز به منابع انرژی اطلاق می‌شود که از منابع طبیعی و قابل تجدید به‌دست می‌آیند و معمولاً به حفظ محیط‌زیست کمک می‌کنند. این نوع انرژی‌ها به دلیل عدم تولید گازهای گلخانه‌ای و آلودگی کمتر، به عنوان گزینه‌های پایدار برای تأمین نیازهای انرژی در نظر گرفته می‌شوند. مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر است و عبارت از مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر قابل احتراق، زباله زیست‌توده جامد و فضولات حیوانی، گاز و گاز مایع حاصل از زیست توده و زباله‌های صنعتی و شهری، انرژی‌های خورشیدی و... و برحسب درصدی از کل مصرف نهایی انرژی اندازه‌گیری می‌شود. داده‌های مربوط به مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر معمولاً از منابع معتبر مانند بانک جهانی استخراج می‌شود. طبق گزارشات، درصد مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر از کل مصرف نهایی انرژی در کشورهای مختلف متغیر است و نشان‌دهنده روند رو به رشد توجه به این نوع انرژی‌ها در سطح جهانی است (بانک جهانی، ۲۰۱۷).

شهرنشینی (URB): به فرآیند افزایش تعداد افراد ساکن در شهرها و کاهش جمعیت روستاها اشاره دارد. این پدیده به‌عنوان یکی از مهم‌ترین روندهای اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی در دنیای معاصر شناخته می‌شود و تأثیرات عمیقی بر ساختار جوامع، اقتصاد، محیط‌زیست و فرهنگ دارد. در این مطالعه برای اندازه‌گیری متغیر شهرنشینی از نرخ رشد شهرنشینی در ایران استفاده شده است. داده‌های این متغیر از پایگاه‌داده بانک جهانی استخراج شده است (علی مرادی افشار و همکاران، ۱۴۰۲).

رشد اقتصادی (GDP): از مهم‌ترین متغیرهای اقتصادی است و یکی از معیارهای مهم برای سنجش وضعیت اقتصاد کلان یک کشور به شمار می‌رود. علاوه بر این، از تولید ناخالص داخلی برای مقایسه وضعیت اقتصادی کشورها نیز استفاده می‌شود و به مجموع ارزش کل کالاها و خدمات نهایی تولید شده در یک سرزمین

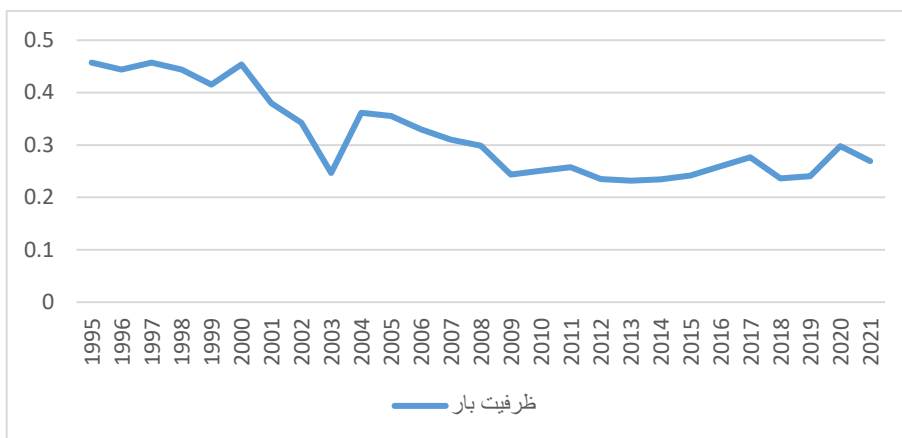
در بازه زمانی مشخصی (که عمدتاً یک سال است) گفته می‌شود. داده‌های این متغیر از پایگاه‌داده بانک جهانی و بر حسب تولید ناخالص داخلی سرانه به قیمت ثابت ۲۰۱۵ استخراج شده است.

منابع طبیعی (NAR): متغیر منابع طبیعی در ایران شامل مجموعه‌ای از منابع و ذخایر طبیعی است که کشور به عنوان یک کشور غنی از نظر منابع طبیعی از آن برخوردار است. این متغیرها شامل مواردی همچون منابع آب، منابع معدنی، منابع انرژی، منابع کشاورزی و منابع جنگلی می‌باشد و واگذاری حقوق استفاده و بهره‌برداری از منابع طبیعی به اشخاص یا شرکت‌ها به مدت معین و با شرایط مشخص می‌باشد. مدیریت صحیح و پایدار این منابع برای توسعه اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی کشور بسیار حیاتی است. چالش‌هایی مانند تغییرات اقلیمی، آلودگی و بهره‌برداری ناپایدار نیز باید مورد توجه قرار گیرند داده‌های این متغیر از پایگاه داده بانک جهانی و بر حسب تولید ناخالص داخلی استخراج شده است.

۴. تجزیه و تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

برای بررسی بیشتر روند متغیر وابسته در نمودار (۱) روند متغیر ظرفیت بار محیط زیست ایران نشان داده شده است. باتوجه به نمودار روند متغیر وابسته (ضریب ظرفیت بار) به وضوح نشان می‌دهد که سیر نزولی آن نگران‌کننده است. در مورد ایران، ضریب ظرفیت بار محیط زیست تحت تأثیر عوامل متعددی قرار دارد. تنوع زیستگاه‌ها، منابع طبیعی و اقلیم‌های مختلف می‌تواند به تفاوت‌های قابل توجهی در این ضریب منجر شود. با این حال، روند کلی کاهش جنگل‌ها، آلودگی هوا و تخریب خاک نشان‌دهنده این است که ظرفیت بار محیط زیست ایران به شدت در معرض خطر قرار دارد. این مسائل نه تنها بر کیفیت زندگی انسان‌ها تأثیر می‌گذارد بلکه بر اکوسیستم‌ها و تنوع زیستی نیز اثرات منفی خواهد داشت. بنابراین، برای حفظ و بهبود ظرفیت بار محیط زیست ایران، نیاز به اقدامات جدی و مؤثر وجود دارد. این اقدامات می‌تواند شامل برنامه‌ریزی‌های پایدار برای مدیریت منابع طبیعی، حفاظت از جنگل‌ها و تنوع زیستی، کاهش آلودگی و ترویج کشاورزی پایدار باشد. همچنین افزایش آگاهی عمومی و مشارکت جامعه در حفاظت از محیط زیست نیز از اهمیت بالایی برخوردار است.

1. Load capacity factor



نمودار شماره (۱) روند شاخص ظرفیت بار

منبع: یافته های پژوهش

در ادبیات اقتصادسنجی معمولاً قبل از تخمین مدل می‌بایست از مانایی متغیرهای اطمینان کامل حاصل نمود و به عبارت دیگر مانایی اعتبار نتایج را بالا برد. مهم‌ترین آزمون برای سنجش مانایی آزمون دیکی فولر تعمیم‌یافته است که در این پژوهش از آن استفاده شده است که نتایج آن در جدول (۲) آمده است. آزمون مانایی متغیرهای مدل به وسیله آزمون‌های متداول دیکی - فولر تعمیم‌یافته انجام می‌شود. بر اساس نتایج جدول (۲) همه متغیرها به غیر از سوخت‌های فسیلی مانا نبوده و با یک بار تفاضل‌گیری مانا شده است.

جدول شماره (۲) نتایج آزمون دیکی فولر تعمیم‌یافته

درجه مانایی	تفاضل اول		در سطح		متغیرهای تحقیق
	احتمال	آماره	احتمال	آماره	
I(1)	۰/۰۰	-۶/۰۹	۰/۲۸	-۲/۰۰	LCF
I(1)	۰/۰۰	-۴/۷۵	۰/۴۰	-۱/۷۰	LGDP
I(1)	۰/۰۰	-۶/۳۳	۰/۹۲	-۰/۲۱	NREC
I(1)	۰/۰۰	-۴/۸۱	۰/۱۴	-۲/۴۲	REC
I(1)	۰/۰۰	-۴/۷۴	۰/۴۴	-۱/۶۴	URB
I(0)	۰/۰۰	-۵/۴۸	۰/۰۳	-۳/۱۱	NAR

منبع: یافته‌های پژوهش

در بخش بعد با تعیین وقفه بهینه وجود رابطه بلندمدت بین متغیرهای تحقیق با استفاده از آزمون هم انباشتگی بررسی می‌شود. بعد از اطمینان از وجود رابطه بلندمدت بین متغیرهای تحقیق مدل مورد نظر با استفاده از روش حداقل مربعات اصلاح شده برآورد و تحلیل می‌شود. در جدول (۳) نتایج تعیین تعداد وقفه بهینه با استفاده از سه معیار آکائیک، شوارتز بیزین و حنان کوئین مشخص شده است. بر اساس معیارهای آکائیک، حنان کوئین

و شوارتز بینزین وقفه بهینه، یک است. در این پژوهش باتوجه به این که حجم داده‌ها کمتر از ۱۰۰ بود. برای تعیین طول وقفه بهینه معیار شوارتز بینزین ملاک است؛ بنابراین باتوجه به معیار شوارتز بینزین وقفه ۱، به عنوان وقفه بهینه انتخاب می‌شود.

جدول شماره (۳) آزمون تعیین تعداد وقفه‌ی بهینه

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
۰	۸۲/۶۶	-	۰/۱۱	-۵/۸۹	-۵/۶	-۵/۸
۱	۹۹/۱	*۱۵/۴۳	۰۵/۳۶	-۱۱/۳	*۹/۲	-۱۰/۷۲
۲	۲۳۶/۳	۴۷/۳۱	e*۳/۷۴	*-۱۲/۱	-۸/۰۴	*-۱۱/۰

منبع: یافته‌های پژوهش

برای بررسی وجود رابطه بلندمدت بین متغیرهای پژوهش از دو آزمون انگل - گرنجر تعمیم یافته و دوربین - واتسون رگرسیون هم جمعی استفاده شده است. در هر دو روش ابتدا مدل برآورد می‌شود. در روش انگل - گرنجر بعد از برآورد معادلات، خطای آن محاسبه می‌شود. سپس به روش دیکی - فولر تعمیم یافته پایایی خطا آزمون می‌شود. در روش دوربین - واتسون رگرسیون هم جمعی نیز بعد از برآورد معادلات، آماره دوربین - واتسون محاسبه شده در مدل‌ها با کمیت‌های بحرانی ارائه شده توسط سارگان و بارگوا مقایسه می‌شود (نوفرستی، ۱۳۹۱).

بر اساس آزمون انگل گرنجر در جدول شمار (۴) جملات خطا در سطح احتمال یک درصد از مقدار بحرانی کوچک تر است. همچنین مقدار محاسبه شده آماره دوربین - واتسون از مقادیر بحرانی سارگان و بارگوا در سطح احتمال یک درصد (۰/۵۱) بزرگ تر است. براین اساس متغیرها هم انباشته هستند و حداقل یک رابطه تعادلی بلندمدت بین متغیر وابسته و متغیرهای توضیحی وجود دارد.

جدول شماره (۴) نتایج آزمون هم انباشتگی انگل گرنجر و دوربین-واتسون

آزمون‌های هم انباشتگی			
نوع آزمون	نوع آماره	نتایج	مقدار
انگل گرنجر تعمیم یافته	دیکی فولر تعمیم یافته	-۵/۱	-۳/۷
دوربین-واتسون رگرسیون هم جمعی	دوربین واتسون	۲/۰۵	۰/۵۱

منبع: یافته‌های پژوهش

در مرحله بعد مدل مورد نظر تخمین زده شده و ضرایب بلندمدت متغیرهای الگو به دست آمده است. برای این منظور از روش حداقل مربعات اصلاح شده (FMOLS) استفاده شده است. همچنین برای تأیید بیشتر نتایج، از روش حداقل مربعات پویا (DOLS) اضافه شده است. نتایج حاصل از این برآوردها در جدول (۵) گزارش شده است.

جدول شماره (۵) نتایج برآورد مدل با استفاده از آزمون های هم انباشتگی

DOLS			FMOLS			مدل
احتمال	آماره t	ضریب	احتمال	آماره t	ضریب	متغیر
۰/۰۱	-۳/۱	-۰/۱۵	۰/۰۰	-۸/۱	-۰/۳۸	Log(GDP)
۰/۰۰	-۵/۲	-۰/۰۴	۰/۰۰	-۴/۴	-۰/۱۲	NREC
۰/۰۰	-۲/۴	۰/۰۸	۰/۰۰	۶/۱۱	۰/۱۵	REC
۰/۰۱	-۱/۹	-۰/۱۹	۰/۰۰	-۴/۵	-۰/۴۰	URB
۰/۰۵	۱/۷	-۰/۰۳	۰/۰۰	-۳/۲	-۰/۰۹	NAR

منبع: یافته های پژوهش

برآوردهای به دست آمده از روش های حداقل مربعات اصلاح شده و حداقل مربعات پویا نشان می دهند که افزایش سوخت های فسیلی، شهرنشینی، رشد اقتصادی، اجاره منابع اثر منفی و مصرف انرژی های تجدیدپذیر اثر مثبت بر ظرفیت بار دارند. بر اساس نتایج جدول (۵)، باتوجه به آماره محاسبه شده در آزمون حداقل مربعات اصلاح شده و سطح احتمال برآوردی که کمتر از ۵ درصد است، می توان اظهار داشت که ضریب تولید ناخالص داخلی بر شاخص ظرفیت بار منفی و معنی دار ارزیابی شده است؛ به طوری که در دوره مورد بررسی این تحقیق در ایران با افزایش ۱ درصد تولید ناخالص داخلی، شاخص ظرفیت بار ۰/۳۸ درصد کاهش یافته است. به طور مشابه نتایج آزمون حداقل مربعات پویا نیز ارتباط منفی بین ضریب تولید ناخالص داخلی بر شاخص ظرفیت بار را تأیید می کند. درواقع، افزایش تولید ناخالص داخلی نشان دهنده رشد اقتصادی و افزایش تولیدات ملی است که ممکن است به مصرف بیشتر منابع طبیعی منجر شود، نتایج تاییدی بر پژوهش (وانگ و همکاران، ۲۰۲۴) است. برای افزایش تولید، نیاز به منابع طبیعی (نظیر آب، انرژی و مواد خام) بیشتر می شود که این امر می تواند فشار بیشتری به اکوسیستم ها وارد کند. با افزایش تولید ناخالص داخلی، استخراج و مصرف منابع طبیعی می تواند باعث تخریب محیط زیست و کاهش ظرفیت بار زمین شود. رشد تولید ممکن است با افزایش تولید گازهای گلخانه ای همراه باشد که خود عامل مهمی در تغییرات اقلیمی است، هم سو با مطالعه (ویسی و همکاران، ۱۴۰۱).

کشش شاخص ظرفیت بار نسبت به مصرف سوخت های فسیلی در ایران و طی دوره مورد بررسی تحقیق برابر ۰/۱۲ - است؛ به طوری که با افزایش یک واحدی سوخت های فسیلی، ۰/۱۲ واحد از شاخص ظرفیت بار کاسته شده است. به طور مشابه ضریب به دست آمده از آزمون حداقل مربعات پویا مجدداً این نتیجه را تأیید می کند و نشان می دهد که با افزایش یک واحدی سوخت های فسیلی، ۰/۰۴ واحد از شاخص ظرفیت بار کاسته شده است. این ضرایب نیز از لحاظ آماری معنی دار هستند؛ زیرا سطح احتمال متناظر با آماره محاسبه شده از ۵ درصد کوچک تر است. پس فرضیه صفر آزمون معنی داری که مبنی بر عدم معنی داری پارامتر برآوردی است رد می شود؛ بنابراین، می توان نتیجه گرفت که در فاصله اطمینان ۹۵ درصد سوخت های فسیلی تأثیر منفی بر شاخص ظرفیت بار ایران دارد؛ بنابراین سوخت های فسیلی معمولاً با انتشار گازهای گلخانه ای و آلاینده ها همراه هستند که می توانند به تغییرات اقلیمی و کاهش کیفیت محیط زیست منجر شوند، نتایج تأییدی بر مطالعه (معین والدینی، ۱۴۰۳) است. این تغییرات می توانند ظرفیت بار زمین را تحت تأثیر قرار دهند.

متغیر شهرنشینی شدن در سطح احتمال ۵ درصد تأثیر منفی و معناداری بر شاخص ظرفیت بار دارد؛ لذا با فرض ثابت بودن سایر متغیرها، در صورت افزایش ۱ واحدی شهرنشینی شدن، شاخص ظرفیت بار ۰/۴۰ واحد کاهش می‌یابد. شهرنشینی نیاز به منابع طبیعی مانند آب، زمین و انرژی را افزایش می‌دهد. این فشار می‌تواند منجر به کاهش کیفیت منابع طبیعی و تخریب زیستگاه‌ها شود. برای ساخت‌وسازهای شهری، بسیاری از مناطق طبیعی تخریب می‌شوند که این امر باعث کاهش تنوع زیستی و نابودی زیستگاه‌های حیوانات و گیاهان می‌شود و در نهایت کاهش شاخص ظرفیت بار می‌شود، این نتایج تأکیدی بر مطالعه (علوی و همکاران، ۲۰۲۴؛ لی و همکاران، ۲۰۲۲) می‌باشد.

کاهش شاخص ظرفیت بار نسبت به انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران و طی دوره مورد بررسی تحقیق برابر ۰/۱۵ واحد است. این ضریب برآوردی باتوجه به آماره محاسبه شده و سطح احتمال متناظر با آن، از لحاظ آماری معنی‌دار است؛ به‌طوری که با افزایش یک واحدی انرژی‌های تجدیدپذیر ۰/۱۵ واحد به شاخص ظرفیت بار افزوده شده است. استفاده از انرژی‌های سبز مانند انرژی خورشیدی، بادی و آبی به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلودگی‌های محیطی کمک می‌کند. این امر به حفظ کیفیت هوا و آب و در نتیجه بهبود سلامت اکوسیستم‌ها و انسان‌ها منجر می‌شود. انرژی‌های تجدیدپذیر به حفظ منابع طبیعی کمک می‌کنند. به‌عنوان مثال، انرژی خورشیدی و بادی نیاز به سوخت‌های فسیلی را کاهش می‌دهند که باعث جلوگیری از استخراج بی‌رویه و تخریب منابع طبیعی می‌شود. بنابراین، استفاده از انرژی سبز می‌تواند بر پایداری مناسب محیط‌زیست مؤثر باشد، نتایج تأکیدی بر سایر مطالعات صورت گرفته (افشان و همکاران، ۲۰۲۲) می‌باشد.

متغیر منابع طبیعی در سطح احتمال ۵ درصد تأثیر منفی و معناداری بر شاخص ظرفیت بار دارد؛ لذا با فرض ثابت بودن سایر متغیرها، در صورت افزایش ۱ واحد منابع طبیعی، شاخص ظرفیت بار ۰/۰۹ درصد کاهش می‌یابد. با افزایش مصرف منابع طبیعی و تولید زباله‌ها، ردپای اکولوژیکی و ظرفیت بار کشورها افزایش می‌یابد. به‌عنوان مثال، استخراج بی‌رویه معادن، قطع درختان جنگل‌ها و بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی به شدت افزایش یافته و این اقدامات تأثیرات منفی بر اکوسیستم‌ها و جوامع محلی داشته است. همچنین، تغییرات اقلیمی ناشی از استفاده بیش از حد از سوخت‌های فسیلی به بروز پدیده‌هایی نظیر سیلاب‌ها، خشکسالی‌ها و تغییرات دما انجامیده که زندگی انسان‌ها و حیات وحش را تحت تأثیر قرار داده است.

در مدل حداقل مربعات اصلاح شده برای بررسی وجود رابطه بلندمدت از نتایج آزمون‌های هانسن و پارک استفاده شد. فرضیه صفر در این آزمون‌ها هم انباشته بودن متغیرها را آزمون می‌کند. طبق نتایج جدول (۶) آماره ضریب لاگرانژ آزمون هانسن معادل ۰/۲۸ است که از نظر آماری معنادار نیست. یعنی طبق نتایج فرضیه صفر مبنی بر هم انباشتگی و وجود رابطه بلندمدت میان متغیرهای مدل پذیرفته می‌شود. در آزمون پارک آماره کای دو معادل و معنادار نیست؛ بنابراین نتایج حاکی از عدم رد فرضیه صفر هم انباشتگی است و رابطه بلندمدت بین متغیرهای تحقیق را تأیید می‌کند و نرمال بودن جمله خطا در مدل تحقیق با استفاده از آماره آزمون جاکر – برا بررسی شد. طبق نتایج جدول (۶) آماره جاکر برا معادل ۰/۳۶ است که فرضیه صفر مبنی بر نرمال بودن رد نمی‌شود و نشان می‌دهد که باقی‌مانده‌ها دارای توزیع نرمال است.

جدول شماره (۶) نتایج آزمون های هم انباشتگی و نرمالیتی

آزمون ها	نوع آزمون	مقدار آماره	احتمال
آزمون هم انباشتگی عدم پایداری هانسن	آماره LC	۰/۲۸	۰/۲ >
آزمون نرمال بودن جمله خطاها	آماره JB	۰/۳۶	۰/۸۳
آزمون هم انباشتگی - پارک	آماره χ^2	۰/۰۵	۰/۹۷

منبع: یافته های پژوهش

برای بررسی وجود خود همبستگی از آزمون همبستگی نگار Q^1 ، استفاده شد. نتایج آماره توابع خود همبستگی^۲ (AC) و ضرایب خود همبستگی^۳ (PAC) در جدول (۷) نشان می دهد که مدل تحقیق فاقد ایرادات خود همبستگی یا تصریح غلط مدل است و مدل به طور مناسب تصریح شده است. برای تشخیص وجود اثرات خود همبستگی واریانس همسانی شرطی تعمیم یافته در جدول (۷) نشان می دهد که وجود اثرات واریانس ناهمسانی در مدل مورد بررسی مشاهده نمی شود و الگوی آرچ و گارچ در پسماندها یافت نخواهد شد.

جدول شماره (۷) نتایج آزمون های خود همبستگی و واریانس ناهمسانی

	آزمون خود همبستگی				آزمون واریانس ناهمسانی			
	Prob*	Q-Stat	PAC	AC	Prob*	Q-Stat	PAC	AC
۱	۰/۵۵	۰/۳۴	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۲۲	۱/۴۹	۰/۲۲	۰/۲۲
۲	۰/۳۴	۲/۱۲	-۰/۲۵	-۰/۲۳	۰/۴۲	۱/۷۰	۰/۰۳	۰/۰۸
۳	۰/۳۷	۳/۰۷	-۰/۱۲	-۰/۱۷	۰/۶۱	۱/۷۷	۰/۰۲	۰/۰۴
۴	۰/۵۰	۳/۳۳	-۰/۱۲	-۰/۰۰	۰/۶۹	۲/۲۴	۰/۱۰	۰/۱۱
۵	۰/۲۶	۵/۴۳	-۰/۳۲	-۰/۲۴	۰/۸۰	۲/۲۷	-۰/۰۸	-۰/۰۳
۶	۰/۴۶	۵/۷۱	-۰/۱۵	-۰/۰۸	۰/۸۹	۲/۲۹	-۰/۰۱	-۰/۰۲
۷	۰/۴۳	۶/۹۰	-۰/۰۰	۰/۱۷	۰/۵۴	۵/۹۶	-۰/۳۱	-۰/۳۰
۸	۰/۱۹	۱۱/۱	۰/۱۷	۰/۳۱	۰/۱۴	۱۲/۲	-۰/۳۱	-۰/۳۸
۹	۰/۱۳	۱۳/۵	۰/۲۴	۰/۲۳	۰/۱۱	۱۴/۱	-۰/۰۸	-۰/۲۱
۱۰	۰/۱۶	۱۴/۱	-۰/۰۳	-۰/۱۰	۰/۱۵	۱۴/۴	-۰/۰۰	-۰/۰۸
۱۱	۰/۱۵	۱۵/۷	-۰/۰۱	-۰/۱۸	۰/۱۸	۱۴/۹	-۰/۰۲	-۰/۰۹
۱۲	۰/۱۹	۱۵/۹	۰/۰۷	-۰/۰۶	۰/۲۳	۱۵/۱	۰/۰۳	-۰/۰۶

منبع: یافته های پژوهش

¹ correlogram q statistic² Autocorrelation³ Partial Correlation

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش برای بررسی تأثیر پویایی رشد اقتصادی، سوخت‌های فسیلی، انرژی‌های تجدیدپذیر و شهرنشینی بر شاخص ظرفیت بار جهت دستیابی به توسعه پایدار در کشور ایران طی بازه زمانی ۱۴۰۱-۱۳۷۴ پرداخته شده است. نتایج و پیشنهادها پژوهش به‌صورت کلی به شرح زیر می‌باشد.

۵-۱. نتیجه‌گیری

تولید ناخالص داخلی (GDP) به‌عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌های اقتصادی، تأثیرات قابل‌توجهی بر پایداری اکولوژیکی و شاخص ظرفیت بار محیط‌زیست دارد. نتایج بیان شده نشان می‌دهد که رابطه بین تولید ناخالص داخلی و شاخص ظرفیت بار محیط‌زیست منفی و معنی‌دار است. رشد GDP معمولاً به افزایش تولید و مصرف کالاها و خدمات منجر می‌شود. این افزایش تقاضا می‌تواند منجر به استخراج و مصرف بیشتر منابع طبیعی شود که فشار بیشتری بر محیط‌زیست وارد می‌کند. فعالیت‌های صنعتی و حمل‌ونقل که در نتیجه رشد اقتصادی افزایش می‌یابند، معمولاً به تولید آلودگی‌های مختلف (آلودگی هوا، آب‌وخاک) منجر می‌شوند. این آلودگی‌ها می‌توانند ظرفیت بار محیط‌زیست را کاهش دهند. برای تأمین نیازهای اقتصادی، توسعه زیرساخت‌ها و زمین‌های کشاورزی ممکن است به تخریب زیستگاه‌های طبیعی منجر شود. این تخریب زیستگاه‌ها می‌تواند تنوع زیستی را کاهش دهد و ظرفیت اکوسیستم‌ها را تحت تأثیر قرار دهد. رشد اقتصادی معمولاً با افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای همراه است که خود به تغییرات اقلیمی منجر می‌شود. این تغییرات می‌توانند به کاهش ظرفیت بار محیط‌زیست و ایجاد شرایط غیرقابل‌پیش‌بینی برای اکوسیستم‌ها منجر شوند. به‌طور کلی، نتایج نشان می‌دهد که افزایش تولید ناخالص داخلی، در غیاب سیاست‌های پایدار و مدیریت منابع طبیعی مؤثر، می‌تواند به کاهش ظرفیت بار محیط‌زیست منجر شود. برای مقابله با این چالش، نیاز به رویکردهایی است که توازن بین رشد اقتصادی و حفاظت از محیط‌زیست را حفظ کنند. این شامل سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز، بهبود کارایی منابع، و اجرای سیاست‌های پایدار است که می‌تواند به حفظ ظرفیت بار محیط‌زیست کمک کند. نتایج این پژوهش با مطالعات داخلی و خارجی (وانگ و همکاران، ۲۰۲۴؛ میرزایی و همکاران، ۱۳۹۵؛ نونژاد و روزی‌طلب، ۱۳۹۷) هم‌راستا می‌باشد.

نتایج نشان می‌دهد که متغیر انرژی‌های تجدیدپذیر تأثیر مثبت و معنی‌داری بر شاخص ظرفیت بار دارد. استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر مانند خورشیدی، بادی و آبی می‌تواند به کاهش آلودگی محیط‌زیست کمک کند و فشار کمتری بر اکوسیستم‌ها وارد کند. انرژی‌های سبز به استفاده پایدار از منابع طبیعی کمک می‌کنند و به حفظ تنوع زیستی و اکوسیستم‌های سالم یاری می‌رسانند. با کاهش استفاده از سوخت‌های فسیلی، فشار بر منابع طبیعی و زیستگاه‌ها کاهش می‌یابد که می‌تواند به بهبود ظرفیت بار اکوسیستم‌ها منجر شود. سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر می‌تواند فرصت‌های شغلی جدید ایجاد کرده و به توسعه اقتصادی پایدار کمک کند که در نهایت به تقویت ظرفیت بار می‌انجامد. ترویج انرژی‌های سبز می‌تواند به افزایش آگاهی عمومی درباره اهمیت حفاظت از محیط‌زیست و مدیریت پایدار منابع طبیعی منجر شود. در نتیجه، انرژی‌های سبز نه تنها به

کاهش تأثیرات منفی بر محیط زیست کمک می کنند، بلکه می توانند ظرفیت بار اکوسیستم ها را نیز تقویت کنند. نتایج این پژوهش با مطالعات (افشان و همکاران^۱، ۲۰۲۲: رادمهر^۲ و همکاران، ۲۰۲۲) هم راستا می باشد. بر اساس نتایج پژوهش سوخت های فسیلی تأثیر منفی بر شاخص ظرفیت بار دارد. نتایج این پژوهش با مطالعات داخلی و خارجی (معین والدینی، ۱۴۰۳: مظفری و ویسی، ۱۴۰۳: دانشوری و همکاران، ۱۳۹۷: اصفهانی و همکاران، ۱۴۰۱: وکرنگل^۳ و مونفردا، ۲۰۰۶) هم راستا می باشد. برای کاهش اثرات منفی مصرف انرژی بر محیط زیست، دولت ایران نیاز به اجرای یک سیاست انرژی جامع تر و سازگار با محیط زیست نسبت به سیاست فعلی دارد.

نتایج تحقیق نشان می دهد که شهرنشینی تأثیرات منفی و قابل توجهی بر ظرفیت بار شهرها دارد. با افزایش جمعیت در مناطق شهری، نیاز به خدمات عمومی، مسکن، حمل و نقل و زیرساخت های دیگر به شدت افزایش می یابد. این فشار بر ظرفیت بار شهرها می تواند منجر به مشکلات متعددی شود. رشد سریع شهرنشینی معمولاً با ناتوانی زیرساخت های موجود در پاسخگویی به نیازهای جدید همراه است. جاده ها، سیستم های آب و فاضلاب، برق و حمل و نقل عمومی ممکن است نتوانند حجم بالای تقاضا را مدیریت کنند که این امر می تواند کیفیت خدمات را کاهش دهد و مشکلات ترافیکی را تشدید کند. علاوه بر این، افزایش جمعیت و فعالیت های صنعتی در مناطق شهری معمولاً با افزایش آلودگی هوا، آب و خاک همراه است. این آلودگی ها نه تنها سلامت ساکنان را تهدید می کند؛ بلکه ظرفیت بار محیط زیست را نیز تحت فشار قرار می دهد. علاوه بر این، افزایش جمعیت و فعالیت های صنعتی در مناطق شهری معمولاً با افزایش آلودگی هوا، آب و خاک همراه است. این آلودگی ها نه تنها سلامت ساکنان را تهدید می کند؛ بلکه ظرفیت بار محیط زیست را نیز تحت فشار قرار می دهد؛ بنابراین با کار بر روی برنامه ریزی پایدار و مدیریت منابع، ایجاد زیرساخت های مناسب برای حمل و نقل عمومی و فضای سبز می توان به کاهش اثرات منفی آن بر شاخص ظرفیت بار زیست محیطی کمک کند. نتایج این پژوهش با مطالعات داخلی و خارجی (لی و همکاران، ۲۰۲۲: احمد و همکاران، ۲۰۲۰: طراز کار و همکاران، ۱۳۹۷: جواهری و همکاران، ۱۴۰۲) هم راستا می باشد.

منابع طبیعی می توانند تأثیرات منفی بر شاخص ظرفیت بار و پایداری اکولوژیکی داشته باشند، به ویژه در شرایطی که بهره برداری از آن ها به طور ناپایدار انجام شود. استخراج بیش از حد منابع طبیعی مانند آب، خاک، و جنگل ها می تواند به تخریب اکوسیستم ها و کاهش ظرفیت بار زمین منجر شود. فعالیت های صنعتی و کشاورزی می توانند باعث آلودگی منابع آب و خاک شوند که این امر به کاهش کیفیت زیست محیطی و تنوع زیستی آسیب می زند. برای حفظ ظرفیت بار و پایداری اکولوژیکی، مدیریت پایدار منابع طبیعی و اتخاذ راهکارهای مؤثر بسیار ضروری است. استفاده از روش های کشاورزی و جنگلداری پایدار که به حفظ خاک و آب کمک کند و از تخریب زیستگاه ها جلوگیری کند. حفاظت و احیای زیستگاه ها و تنوع زیستی به منظور افزایش تاب آوری اکوسیستم ها در برابر تغییرات محیطی، اجرای مقررات سخت گیرانه برای کنترل آلودگی

¹ Afshan et al(2022).

² Radmehr et al(2022).

³ wackernagel& Monfreda(2006).

آب‌وهوا و تشویق به استفاده از فناوری‌های پاک. ارتقای سطح آگاهی عمومی درباره اهمیت حفاظت از منابع طبیعی و تشویق به رفتارهای پایدار، ترویج استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر مانند خورشیدی، بادی و هیدروالکتریک به جای سوخت‌های فسیلی، می‌توان سبب پایداری اکولوژیکی شد. نتایج این پژوهش با مطالعات حاتمی و همکاران، ۱۴۰: و معینی الدینی و همکاران، ۱۴۰۳: رزاق و همکاران، ۲۰۲۲) هم‌راستا می‌باشد.

۵-۲. پیشنهادها

بر اساس نتایج مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر باعث افزایش ظرفیت بار در اقتصاد ایران می‌شود در حالی که رشد اقتصادی باعث کاهش ظرفیت بار می‌شود. بنابراین، بهبود نرخ انرژی‌های تجدیدپذیر، پایداری اکولوژیکی را افزایش می‌دهد در حالی که پیشرفت اقتصادی کیفیت اکولوژیک را کاهش می‌دهد. بنابراین، ارتقای آموزش محیط زیست توسط دولت برای افزایش آگاهی در مورد پایداری منابع ضروری است. همچنین، باید قوانینی را که آلودگی و مصرف منابع را کنترل می‌کنند، اجرا و تقویت کنند. این امر به حفظ پایداری بلندمدت کمک می‌کند و در عین حال آلودگی را نیز مهار می‌کند. به عنوان مثال، اجرای مجازات برای تخلفات یکی از بهترین راه‌های حفاظت از منابع جنگلی است. علاوه بر این، انتقال به منابع پایدار مانند باد، آب و خورشید می‌تواند منجر به اثرات زیست محیطی کمتر، افزایش ظرفیت زیستی و بازسازی منابع شود. همچنین، سیاست‌های منابع اقتصاد باید به سمت جذب سرمایه‌گذاران خارجی باشد که فناوری‌های موجود را تقویت می‌کنند یا فناوری‌های پیشرفته و صرفه جویی در انرژی را معرفی می‌کنند، نه برعکس. از آنجایی که رشد اقتصادی باعث افزایش آلودگی می‌شود دولت باید اقتصاد دایره‌ای را تشویق کند تا ضایعات و آلودگی را کاهش دهند، از جمله آن، ادغام هزینه‌ها و مزایای زیست محیطی در حسابداری اقتصادی برای ترویج حسابداری تولید ناخالص داخلی سبز مانند، سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های سبز، اتخاذ فناوری‌ها و شیوه‌های کارآمد با منابع برای جدا کردن رشد از مصرف منابع؛ همچنین دولت می‌تواند برای سرمایه‌گذاری‌های سازگار با محیط زیست و شیوه‌های پایدار پاداش ارائه داد. از طرفی افزایش آگاهی عمومی در مورد پیامدهای توسعه اقتصادی بر محیط زیست نیز کارگشا می‌باشد.

منابع و مأخذ

منابع فارسی

- اصفهانی، اعظم؛ قبادی، سارا و آذربایجانی، کریم. (۱۴۰۱). تحلیل رابطه بین رشد اقتصادی، مصرف انرژی و ردپای اکولوژیکی در منتخبی از کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه. *پژوهشهای اقتصادی (رشد و توسعه پایدار)*، ۲۲ (۴)، ۲۰۳-۲۳۲.
- پارسا، شیما؛ زارع مهرجردی، محمدرضا؛ ضیاء آبادی، مریم و محرابی بشارآبادی، حسین. (۱۴۰۰). بررسی تاثیر عوامل اقتصادی تخریب محیط زیست با استفاده از رویکرد پنل انتخاب کشورهای در حال توسعه و توسعه یافته. *علوم و فنون محیطی*، ۳۳ (۹)، ۱۹۱-۲۰۴.
- جواهری، بختیار؛ عزیزی، وحید و شاه ویسی، حمیرا. (۱۴۰۳). آزادی سیاسی، توسعه انسانی و پایداری محیط زیست. *مجله اقتصاد با ثبات*، ۵ (۱)، ۱۱۶-۱۴۹.
- حاتمی، حدیث؛ سایه میری، علی و ابراهیمی، صلاح. (۱۴۰۰). تأثیر منابع طبیعی، سرمایه انسانی و سرمایه گذاری مستقیم خارجی بر ردپای اکولوژیکی در ایران. *نشریه محیط زیست طبیعی*، ۳ (۷۴)، ۴۶۲-۴۷۴.
- دانشوری، سمیه؛ سلاطین، پروانه و خلیل زاده، محمد. (۱۳۹۷). تاثیر انرژی های تجدیدپذیر بر اقتصاد سبز. *فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست*، ۲۱ (۱۲)، ۱۶۵-۱۷۶.
- طرازکار، محمد حسن؛ قربانیان، عفت و بخشوده، محمد. (۱۳۹۷). اثر رشد اقتصادی بر پایداری محیط زیست در ایران: کاربرد شاخص ردپای بوم شناختی. *فصلنامه اقتصاد محیط زیست و منابع طبیعی*، ۲ (۳)، ۵۱-۷۰.
- طرازکار، محمد حسن؛ کارگر ده بیدی، نوید و بخشوده، محمد. (۱۳۹۷). اثر توسعه اقتصادی و شهرنشینی بر انتشار آلودگی در ایران. *فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات اقتصاد کشاورزی*، ۱۰ (۳۸)، ۱۵۵-۱۷۴.
- عابدی، زهرا و سلطانی خمسه، پریسا. (۱۳۹۶). کاهش ردپای کربن ابزاری مؤثر جهت مقابله با اثرات غیرمعمول اقلیم (با بررسی صنعت و کشاورزی)، چهارمین کنفرانس بین المللی برنامه ریزی و مدیریت.
- قربانی، زانکو؛ مظفری، زانا و قادری، سامان (۱۴۰۲). تاثیر سیاست های پولی و مالی بر شاخص ردپای بوم شناختی ایران. *فصلنامه مطالعات اقتصادی کاربردی ایران*، ۱۳ (۵۰)، ۱۰۵-۱۳۶.
- حسن، طرازکار و لطافت، نیکتا. (۱۳۹۹). عامل های تعیین کننده ردپای بوم شناختی در منا: کاربرد روش تجزیه و تحلیل کرانه های نامحدود. *فصلنامه علوم محیطی*، ۱۹ (۱)، ۱۰۳-۱۳۴.
- محمدی، تیمور و نبی زاده، علی. (۱۳۹۱). بررسی رابطه بین نرخ واقعی ارز و واردات کالاهای سرمایه واسطه ای و مصرفی در ایران. *مجله تحقیقات اقتصادی*، ۱۳ (۵۱)، ۱۱۳-۱۴۹.

- مظفری، زانا و ویسی، فاطمه. (۱۴۰۲). نقش مصرف انرژی سبز و سرمایه انسانی در ظرفیت بار زیست محیطی ایران. *سیاست اقتصادی*، ۱۷(۳۳)، ۲۹-۵۶.
- میرزایی، عباس؛ حامد، دهقان پور؛ بخشوده، محمد و جمشیدی، سیامک. (۱۳۹۵). عوامل موثر بر تخریب زیست محیطی کشورهای منا، دو فصلنامه اقتصاد محیط زیست و منابع طبیعی. ۱۱(۱)، ۹۵-۱۱۰.
- نوژاد، مسعود و روزی طلب، آناهیتا. (۱۳۹۶). اثر رشد اقتصادی و مصرف انرژی بر آلودگی محیط زیست: مطالعه‌ی موردی ایران، دو فصلنامه اقتصاد و منابع طبیعی، ۲(۳)، ۹۹-۱۲۴.
- نوفرستی، محمد (۱۳۹۱). ریشه واحد و همجمعی در اقتصاد سنجی. چاپ ۴، تهران: مؤسسه خدمات فرهنگی رسا.

منابع لاتین

- Awosusi, A., Adebayo, T., Krikkaleli, D., & Roojub, H. (2024). Evaluating the determinants of load capacity factor in Japan: The impact of economic complexity and trade globalization. *Natural Resources*, 48(3), 743–762.
- Ahmed, Z., Zafar, M. W., & Ali, S. (2020). Linking urbanization, human capital, and the ecological footprint in G7 countries: An empirical analysis. *Sustainable Cities and Society*, 55, 102064.
- Alvi, S., Ahmad, J., Bibi, F., & Sarwar, N. (2024). Impact of urbanization and human development on ecological footprints in OECD and non-OECD countries. *Heliyon*, 10(19), Article e38058.
- Güler, L., Naimoglu, M., Şimşek, O., Adalı, Z., & Özbek, S. (2025). Analyzing the impact of economic growth and FDI on sustainable development goals in China: Insights from ecological footprints and load capacity factors. *Environmental Economics and Management*, 13.
- Hasan, S., Wang, P., Khan, I., & Zhu, B. (2023). The impact of economic complexity, technology advancement, and nuclear energy consumption on the ecological footprint of the USA: Towards circular economy initiatives. *Gondwana Research*, 113, 237–2460.
- Kartal, M. T., Pata, U. K., Destek, M. A., & Caglar, A. E. (2023). Environmental effect of clean energy research and development investments: Evidence from Japan using load capacity factor. *Journal of Cleaner Production*, 416, 137972.
- Keho, Y. (2023). Impact of urbanization on the ecological footprint: Evidence from Cote d'Ivoire. *Modern Economy*, 14(12).
- Pata, U., & Isk, C. (2021). Determinants of the load capacity factor in China: A novel dynamic ARDL approach for ecological footprint accounting. *Resources Policy*, 74, 102313.

- Nathaniel, S. P., Murshed, M., & Bassim, M. (2021). The nexus between economic growth, energy use, international trade, and ecological footprints: The role of environmental regulations in N11 countries. *Energy, Ecology and Environment*, 6(6), 496–512.
- Radmehr, R., Shayanmehr, S., Ernest Baba Ali, J., Jasiński, M., Jasińska, E., & Ofori, E. K. (2022). Exploring the nexus of renewable energy, ecological footprint, and economic growth through globalization and human capital in G7 economies. *Sustainability*, 14(19), 12227.
- Razzaq, A., Tahseen, A., Li, J., Irfan, M., & Suksatan, W. (2021). Investigating the asymmetric linkages between infrastructure development, green innovation, and consumption-based material footprint: Novel empirical estimations from highly resource-consuming economies. *Resources Policy*, 79, 103068.
- Railhan, A., Rashid, M., Voumik, L. C., Akter, S., & Esquivias, M. A. (2023). The dynamic impacts of economic growth, financial globalization, fossil fuel, renewable energy, and urbanization on load capacity factor in Mexico. *Sustainability*, 15(18), 13462.
- Shang, Y., Razzaq, A., Chupradit, S., An, N. B., & Abdul-Samad, Z. (2022). The role of renewable energy consumption and health expenditures in improving load capacity factor in ASEAN countries: Exploring a new paradigm using advanced panel models. *Renewable Energy*, 191, 715–722.
- Sahoo, M., & Sethi, N. (2021). The intermittent effects of renewable energy on ecological footprint: Evidence from developing countries. *Environmental Science and Pollution Research International*, 28(40), 56401–56417.
- Wang, S., Zafar, M., Dinara, G. V., & Yurtkuran, S. (2024). Economic growth, nuclear energy, renewable energy, and environmental quality: Investigating the environmental Kuznets curve and load capacity curve hypothesis. *Gondwana Research*, 129, 490–504.