

## The role of green energy consumption and human capital in Iran's environmental carrying capacity

Zana Mozaffari\*<sup>1</sup>, Fatemeh Vaysi<sup>2</sup>

Received: 03-11-2023

Accepted: 07-04-2024

### Extended Abstract

**Purpose:** Most studies conducted in Iran have used indicators such as air pollution emissions (CO<sub>2</sub> emissions) and ecological footprint (EF) to assess environmental sustainability. However, these two indicators have limitations and do not show the different dimensions of the environment. They only focus on the consumption and demand for resources and neglect the supply of resources. Recently, a new indicator called 'carrying capacity' has been used in environmental economics studies to assess environmental sustainability. This indicator shows how much load the environment can bear to meet human needs and economic activities. Therefore, in this study, the impact of human capital and green energy on carrying capacity for sustainable development was investigated during the period 1990-2021.

**Methodology:** In previous studies conducted in Iran to investigate the impact of human capital and green energy, indicators such as CO<sub>2</sub> and EF were used. Due to the shortcomings of these indicators, this research makes use of the load capacity index. Unlike the CO<sub>2</sub> index which only examines the emissions caused by fossil fuels, as well as the ecological footprint index which only shows the demand side of resources and ignores the supply side, this index represents the supply side in addition to the demand side. In other words, the load capacity factor, compared to the biological capacity and the ecological footprint, shows an ecological threshold, so it makes a comprehensive research on environmental sustainability assessment possible. So far, the impact of human capital and green energy on the load capacity index has not been checked in Iran.

In this study, the documentary method was used to collect the data. The research was conducted based on the annual data from the period of 1990 to 2021 in the Iranian economy. The EViews software was used to estimate the model. It should be noted

<sup>1</sup>. Corresponding Author. Assistant Professor of Economics, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.  
Email: z.mozaffari@uok.ac.ir

<sup>2</sup>. Master of Economic Sciences, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran. Email:  
waisifatemeh7@gmail.com

that the data on the variables related to the research were extracted from the World Bank and the global footprint Network. The model was estimated by the GMM time series econometric method. This is because the model in this study is dynamic and meets the conditions of the generalized moment. In fact, GMM serves for time series models that are linear and satisfy the conditions of generalized moments and secondary properties. Using this method to estimate models can have many advantages.

**Findings and discussion:** The results show that the estimated model is in good conditions in terms of statistical indicators. The null hypothesis of the Sargan test cannot be rejected; therefore, it can be said that the instrumental variables used in the estimated model are valid. Indeed, the null hypothesis of the Sargan test implies the validity of the instruments. In view of the linearity of the model, all the estimated coefficients indicate elasticity. The coefficient of the carrying capacity of the previous period had a positive and significant impact on the coefficient of carrying capacity of the present period. In other words, with a 1% increase in carrying capacity in period  $t-1$ , the carrying capacity in period  $t$  increases by 0.64%. This result is in line with research theories and is in good agreement with the results of previous studies. With an increase of 1% in human capital, the carrying capacity increases by 0.28%. Considering the  $p$ -value corresponding to the  $T$  statistic of the human capital coefficient, human capital has a positive and significant impact on the environmental carrying capacity in Iran. The consumption of green energy has a positive and significant impact on the carrying capacity. It is such that an increase of 1% in the consumption of green energy increases the carrying capacity by 0.13%. Renewable energies have the least impact on the environment and the ecosystem. Therefore, the use of these energies reduces the ecological footprint. The economic growth variable has a negative and significant impact on the carrying capacity. In other words, with an increase of 1% in economic growth, the carrying capacity decreases by 0.72%. As the economic growth increases, pressure on the environment increases too, leading to a decrease in ecological sustainability. The trade variable has a negative impact on the carrying capacity. So, with an increase of 1% in trade, the carrying capacity decreases by 0.24%. Theoretically, the impact of trade openness on the environment can have positive or negative effects.

**Conclusions and policy implications:** The results of the study showed that the effect of green energy on the carrying capacity coefficient is positive. In general, environmental changes and the reduction of its sustainability due to the increase in greenhouse gas emissions are important factors in the occurrence of climate change, environmental hazards, natural disasters, and serious damage to the environment. The expanded use of renewable energy as a clean energy source can play an important role in reducing environmental pollution and the emission of pollutants. Using green energy can reduce dependence on fossil fuels and lower the greenhouse gas emissions from consumption and production sectors. Green energy is reliable and, if developed correctly, can lead to environmental sustainability and reduce environmental destruction. Based on the results, human capital has a positive and significant impact

on the carrying capacity coefficient. Training of human capital is one of the ways to achieve sustainable development and improve the environment. On the other hand, the use of human capital increases awareness, research, development, and green technologies. Incentives for people, the market, and businesses so as to protect the natural environment and promote green consumption and production affect environmental quality and lead to a sustainable environment. Therefore, by improving human capital through the three components of health, skill and education, it is possible to help improve and sustain the environment. Based on the results of the study, economic growth has a negative impact on carrying capacity, which is consistent with other previous studies.

**Keywords:** Human capital, Green energy consumption, Environmental carrying capacity, GMM

**JEL Classification:** J24, Q41, Q57, C22

# نقش مصرف انرژی‌های سبز و سرمایه انسانی در ظرفیت بار محیط‌زیست ایران

زانا مظفری<sup>۱\*</sup>، فاطمه ویسی<sup>۲</sup>

دریافت: ۱۴۰۲-۰۸-۱۲

پذیرش: ۱۴۰۳-۰۱-۱۹

## چکیده

تخریب محیط‌زیست به عنوان چالشی اساسی توجه اندیشمندان و سیاست‌گذاران را جلب کرده است. در اغلب پژوهش‌های انجام‌شده در ایران از شاخص‌هایی مانند انتشار آلودگی هوا (انتشار CO<sub>2</sub>) و ردپای اکولوژیک (EF) جهت ارزیابی پایداری محیط‌زیست استفاده شده، اما به این علت که این دو شاخص ابعاد مختلف محیط‌زیست را نشان نمی‌دهند و تنها بر مصرف و تقاضای منابع تأکید دارند و از طرف عرضه منابع غافل می‌مانند، در پژوهش‌های اخیر از شاخص جدیدی به نام ظرفیت بار جهت ارزیابی پایداری محیط‌زیست استفاده می‌شود. این شاخص میزان تحمل منابع طبیعی و سیستم‌های اکولوژیکی برای تامین نیازها و فعالیت‌های اقتصادی در یک منطقه خاص را مشخص می‌کنند. بنابراین در این پژوهش به بررسی تأثیر سرمایه انسانی و انرژی‌های سبز بر ظرفیت بار جهت توسعه پایدار با استفاده از روش گشتاورهای تعمیم‌یافته طی دوره زمانی ۱۴۰۰-۱۳۶۹ پرداخته شده است. نتایج پژوهش نشان داد که سرمایه انسانی و انرژی‌های سبز تأثیر مثبت بر ظرفیت بار دارند؛ بنابراین با تقویت انرژی‌های سبز و رفع چالش‌های به‌کارگیری آن و استفاده از آن در فعالیت‌های، ارتقای سرمایه انسانی از طریق آموزش، بهداشت و مهارت و هم‌چنین ایجاد تعرفه بر واردات کالاهایی که بیشترین آسیب را بر محیط‌زیست دارند، می‌توان باعث افزایش ظرفیت بار و پایداری محیط‌زیست شد. همچنین تولید ناخالص داخلی سرانه و درجه آزادی تجاری تأثیر منفی بر ظرفیت بار دارد. تشویق استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و پایدار، افزایش صنعتی سبز و تمرکز بر بهبود راندمان مصرف منابع می‌تواند این آثار را بر ظرفیت بار محیط‌زیست کاهش دهند.

**واژگان کلیدی:** سرمایه انسانی، انرژی‌های سبز، ظرفیت بار محیط‌زیست، روش گشتاورهای تعمیم‌یافته.

طبقه‌بندی JEL: J24, Q41, Q57, C22

<sup>۱</sup>. نویسنده مسئول. استادیار گروه علوم اقتصادی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران z.mozaffari@uok.ac.ir

<sup>۲</sup>. کارشناس ارشد علوم اقتصادی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران waisifateme7@gmail.com

## ۱- مقدمه

تغییرات آب و هوایی، گازهای گلخانه‌ای و افزایش دمای زمین از جمله پیامدهای منفی توسعه اقتصادی هستند (دوغان و پاتا، ۲۰۲۱: ۱). اهمیت توسعه اقتصادی را نمی‌توان انکار کرد با این حال، اگر توسعه ناپایدار باشد، پیامدهای محیط‌زیستی آن می‌تواند ادامه حیات در کره زمین را در معرض خطر قرار دهد. توسعه پایدار مستلزم الگوی توسعه‌ای است که بتواند به‌طور مؤثر خواسته‌های فعلی جمعیت انسانی را بدون از دست دادن قابلیت‌های انتفاع نسل‌های آینده برآورده کند (احمد و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۲۳: ۱). در اغلب پژوهش‌ها و به‌طور خاص پژوهش‌های داخل ایران برای ارزیابی پایداری محیط‌زیست از شاخص انتشار CO<sub>2</sub> و ردپای بوم‌شناختی<sup>۳</sup> استفاده شده‌است. شاخص انتشار CO<sub>2</sub> تأثیر انتشار سوخت‌های فسیلی و شاخص ردپای بوم‌شناختی طرف تقاضا را نشان می‌دهد و از طرف عرضه غافل می‌ماند (سیچه و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۱۰: ۲). کیفیت محیط‌زیست یک شاخص ترکیبی از آلودگی آب، خاک و هوا و ... است. از این رو انتشار گاز دی‌اکسید کربن تنها نشانه‌ای از آلودگی هوا است، بنابراین شاخص دی‌اکسید کربن نشان‌دهنده بخش کوچکی از تخریب محیط‌زیست و بنابراین یک شاخص محدود است (الملالی و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۱۵: ۳۱۶).

ظرفیت بار محیط‌زیست<sup>۶</sup> (ECC) به‌عنوان شاخص مهمی در ارزیابی و مدیریت پایداری محیط‌زیست، نشان‌دهنده قدرت تحمل و تاب‌آوری سامانه‌های زیستی به تغییرات و اثرات منفی محیط‌زیست است. این ضریب بر اساس تأثیرات مخرب انسانی بر محیط‌زیست، از جمله مصرف منابع طبیعی، انتشار آلاینده‌ها و تولید پسماندها، محاسبه می‌شود. شاخص ظرفیت بار به‌عنوان یک ابزار قوی در مدیریت و برنامه‌ریزی منابع محیطی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در حالی که شاخص‌های دیگر مانند رد پای اکولوژی یک برای اندازه‌گیری تأثیر یک فعالیت خاص روی محیط‌زیست مفید است (کارتال و همکاران<sup>۷</sup>، ۲۰۲۳: ۲). ظرفیت بار نشان‌دهنده قدرت یک منطقه یا کشور برای حمایت از جمعیت با توجه به سبک زندگی فعلی است. در صورتی که ظرفیت بار

<sup>1</sup> Dogan & Pata (2022)

<sup>2</sup> Ahmad et al. (2023)

<sup>3</sup> Ecological Footprint

<sup>4</sup> Siche et al. (2008)

<sup>5</sup> Al-Mulali et al. (2015)

<sup>6</sup> Environmental Carrying Capacity

<sup>7</sup> Kartal et al. (2023)

برابر با ۱ و یا به یک نزدیک باشد، نشان‌دهنده پایداری محیط‌زیست است (پاتا و ایسیک<sup>۱</sup>، ۲۰۲۱: ۱). بنابراین اخیراً محققان از شاخص ظرفیت بار برای ارزیابی پایداری محیط‌زیست استفاده می‌نمایند.

استفاده از انرژی‌های سبز مانند، انرژی آبی، خورشیدی، بادی، زیست توده، زمین گرمایی و غیره که در مقایسه با سوخت‌های فسیلی پاک هستند، بر پایداری محیط‌زیست مؤثر است و استفاده از آن‌ها می‌تواند سهم سوخت‌های فسیلی آلاینده را کاهش دهد (افشان و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۲۲: ۱۵۲). از طرف دیگر مبارزه با چالش‌های محیط‌زیستی بدون به کارگیری سرمایه انسانی و افزایش سطح آموزش و آگاهی محیط‌زیستی امکان‌پذیر نیست. در این زمینه سرمایه انسانی به‌عنوان یک عامل مهم تأثیرگذار در تغییرات مرتبط با اقلیم و عاملی اثرگذار بر کیفیت محیط‌زیست شناخته می‌شود. به عبارت دیگر سرمایه انسانی با افزایش سطح آگاهی و آموزش سبب بهبود کیفیت محیط‌زیست و پایداری محیط‌زیست می‌شود. اما در بعضی از پژوهش‌ها نشان داده شده که سرمایه انسانی با افزایش قدرت احتمالی خرید می‌تواند سبب تخریب محیط زیست شود (دوگان و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۲۲: ۲-۱). بهبود سرمایه انسانی می‌تواند منجر به ایجاد درک درستی از مسائل مربوط به آلودگی و امنیت انرژی و ارتقاء کارایی انرژی شود (بانو و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۱۸: ۴). سرمایه انسانی ارتباط تنگاتنگی با تحصیلات، سلامت، تجربه کاری، بهره‌وری، دانش و مهارت افراد دارد. اگرچه مزایای اقتصادی و سلامت سرمایه‌گذاری سرمایه انسانی به‌طور گسترده‌ای شناخته شده‌است، اما مزایای محیط‌زیستی سرمایه انسانی به‌خوبی درک نشده است (یائو و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۲۰: ۱). پذیرش فناوری‌های پاک توسط شرکت‌ها نقش مهمی در بهبود کیفیت محیطی ایفا می‌کند. در این راستا، شرکت‌هایی که کارگران با تحصیلات بهتری را استخدام می‌کنند و دارای سرمایه انسانی باکیفیت هستند، می‌توانند راحت‌تر قوانین محیط‌زیستی جدید و فناوری‌های کاهش‌دهنده آلودگی را انتخاب کنند. علاوه بر این، افراد تحصیل کرده به دلیل درآمد و وضعیت اجتماعی-اقتصادی بهتر، توانایی بیشتری برای نصب منابع انرژی تجدیدپذیر جدید و پرداخت مالیات کربن

<sup>1</sup> Pata & Isik (2022)

<sup>2</sup> Afshan et al. (2022)

<sup>3</sup> Dogan et al. (2022)

<sup>4</sup> Bano (2018)

<sup>5</sup> Yao et al. (2020)

دارند (چانکر جیانگ و موترک<sup>۱</sup>، ۲۰۱۷: ۴۳۵).

پدیده ناپایداری محیط‌زیست اثرات مخربی بر فعالیت‌های مختلف جامعه دارد. از آنجا که تاکنون برای بررسی نقش مصرف انرژی‌های سبز و سرمایه انسانی در پایداری محیط‌زیست از پراکسی‌های ناقص مانند انتشار گازهای گلخانه‌ای استفاده شده است و نمی‌توان دیدگاه جامعی نسبت به این ارتباط ارائه داد. همان‌طور که ذکر شد اخیراً شاخصی تحت‌عنوان ظرفیت بار محیط‌زیست محاسبه و ارائه شده است که از جامعیت مناسبی برخوردار است و این امکان را برای پژوهشگران فراهم کرده تا از این داده‌ها برای شاخص پایداری محیط‌زیست استفاده نمایند. تاکنون در ایران از این شاخص برای ارزیابی پایداری محیط‌زیست استفاده نشده است. از آنجا که پایداری محیط‌زیست یک متغیر پویا بوده و تحت تأثیر مقادیر گذشته خود است بنابراین باید در قالب یک مدل پویا متغیر ظرفیت بار مورد ارزیابی قرار گیرد. روش GMM در سری‌های زمانی این امکان را فراهم ساخته است. این مطالعه با استفاده از روش گشتاورهای تعمیم‌یافته در سری‌های زمانی طی بازه ۱۳۶۹-۱۴۰۰ اثر مصرف انرژی‌های سبز و سرمایه انسانی بر پایداری محیط‌زیست ایران را مورد بررسی قرار داده است. سازمان‌دهی مقاله این‌گونه است: در بخش دوم و سوم مقاله، مبانی نظری و پیشینه موضوع مرور شده است، بخش چهارم دربرگیرنده مدل و روش پژوهش است. در بخش پنجم یافته‌ها ارائه شده است. بخش ششم به جمع‌بندی و توصیه‌های سیاستی اختصاص دارد.

## ۲- ادبیات موضوع

در ادامه ضمن تعریف شاخص‌های مورد استفاده در این مطالعه به بررسی ادبیات موضوع در این حوزه پرداخته شده است.

### ۲-۱- شاخص ظرفیت بار

چالش‌های محیط‌زیستی به‌طور قابل توجهی در سراسر جهان همراه با توسعه در حال افزایش است. ادبیات اخیر در این حوزه با هدف تدوین برنامه‌های توسعه پایدار، برای شناسایی عوامل زوال محیطی از شاخص‌های دی‌اکسید کربن و ردپای بوم‌شناختی استفاده کرده‌اند. اگرچه این شاخص‌ها تاحدی میزان تخریب محیط‌زیست را توضیح می‌دهد اما تنها تأثیرات استفاده از انرژی را ارزیابی می‌کند. شاخص ردپای بوم‌شناختی بر خلاف دی‌اکسید کربن نیازهای انسان برای

<sup>1</sup> Chankrajang & Mutarak (2017)

منابع طبیعی را با در نظر گرفتن شش نوع کاربری زمین نشان می‌دهد (لین و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۸: ۴). در واقع، شاخص ردپای بوم‌شناختی یک شاخص جامع برای نشان دادن سمت تقاضا است، اما طرف عرضه را نادیده می‌گیرد. ظرفیت زیستی ظرفیت سیاره برای تولید منابع مفید و جذب زباله را به تصویر می‌کشد. بنابراین، نادیده گرفتن ظرفیت زیستی (طرف عرضه) ارزیابی جامعی از پایداری محیط‌زیست ارائه نمی‌کند (شانگ و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۲۲: ۷۱۶). ظرفیت بار به حداکثر تعداد افرادی که یک محیط می‌تواند بدون آسیب به خود یا کاهش کیفیت زندگی ساکنان آن، پشتیبانی کند، اشاره دارد. سیچو و همکاران در سال ۲۰۱۰ با تقسیم ظرفیت زیستی بر ردپای بوم‌شناختی به تحلیل بهتری از رابطه بین منابع طبیعی و مصرف انسان پرداختند. این رویکرد به ما کمک می‌کند تا بفهمیم آیا جوامع مختلف می‌توانند به طور پایدار زندگی کنند یا خیر.

به عبارت دیگر این شاخص کاستی‌های شاخص‌های پیشین را برطرف کرد. به عبارت دیگر ظرفیت بار مقایسه ظرفیت زیستی و ردپای اکولوژیکی یک آستانه اکولوژیکی را نشان می‌دهد. ظرفیت بار نشان‌دهنده قدرت یک منطقه یا کشور برای حمایت از جمعیت با توجه به سبک زندگی فعلی است. در صورتی که ظرفیت بار برابر با ۱ و یا به یک نزدیک باشد، نشان‌دهنده پایداری محیط‌زیست است (پاتا و ایسیک، ۲۰۲۱: ۳). از آنجایی که این شاخص طرف عرضه را نشان می‌دهد می‌تواند میزان پایداری محیط‌زیست و منابع عرضه شده و ظرفیت زیستی را ارزیابی کند.

ابعاد ظرفیت بار محیط‌زیستی به طور کلی به سه دسته اصلی تقسیم می‌شوند: عوامل فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی. هر یک از این عوامل نقش مهمی در تعیین میزان تأثیرات انسانی بر محیط‌زیست و تنوع زیستی دارند. ۱. عوامل فیزیکی: این عوامل شامل ویژگی‌های طبیعی مانند منابع آب، نوع خاک، توپوگرافی و شرایط اقلیمی هستند. این عوامل به طور مستقیم بر قابلیت تولید و نگهداری اکوسیستم‌ها تأثیر می‌گذارند. ۲. عوامل شیمیایی: این دسته شامل ترکیبات شیمیایی موجود در محیط، مانند آلودگی هوا و آب، مواد مغذی و سموم است. این عوامل می‌توانند تأثیرات منفی بر کیفیت محیط زیست و سلامت اکوسیستم‌ها داشته باشند. ۳. عوامل بیولوژیکی: این عوامل شامل تنوع زیستی، جمعیت‌های گونه‌های مختلف و تعاملات بین آن‌ها

<sup>1</sup> Lin et al. (2018)

<sup>2</sup> Shang et al. (2022)



هستند. تنوع زیستی بالا معمولاً نشان‌دهنده‌ی یک اکوسیستم سالم و پایدار است که می‌تواند در برابر تغییرات محیطی مقاوم باشد. (ژنو و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۲۳: ۲). استفاده از داده‌های زیست‌شناختی، محیطی و اجتماعی به عنوان ابزارهای کلیدی برای تعیین ظرفیت بار محیط‌زیستی حائز اهمیت است. روش‌های مختلف مانند بررسی آلاینده‌ها، کارایی آبگیران طبیعی (مانند باتلاق‌ها و تالاب) در جذب و تصفیه آلاینده‌ها، تغییرات گونه‌های گیاهی و جانوری به عنوان نشانگری از وضع محیط‌زیست، تحلیل پایداری سیستم اکولوژیک و عوامل اجتماعی و اقتصادی در این راستا به کار می‌رود (فو و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۲۲: ۲).

## ۲-۲- تأثیر انرژی سبز و سرمایه انسانی بر ظرفیت بار

توسعه پایدار یک مسئله مهم برای اندیشمندان، دولت‌ها و سازمان‌های بین‌المللی است. هر ملتی برای توسعه پایداری تلاش می‌کند که انتظارات نسل کنونی را برآورده کند، بدون اینکه پتانسیل نسل‌های آینده برای برآورده کردن نیازهای آنها به خطر بیفتد. برای دستیابی به دستاوردهای توسعه پایدار، کشورها باید با مسائلی از جمله گسترش بیماری‌های مسری، گرم شدن کره زمین، تخلیه گازهای گلخانه‌ای و استفاده از سوخت‌های غیر دوستدار محیط‌زیست مقابله کنند (خان و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۲۳: ۲). امروزه انرژی به یک عنصر کلیدی برای رفاه اقتصادی و اجتماعی و همچنین در سال‌های اخیر به ابزاری برای دستیابی به توسعه پایدار جوامع تبدیل شده است (کوسمان<sup>۴</sup>، ۲۰۰۸: ۱). تقاضای فزاینده برای سوخت‌های فسیلی، تخریب محیط‌زیست را تشدید کرده است. اکثر کشورهای در حال توسعه از کمبودهای محیط‌زیستی رنج می‌برند و بحران‌های ظرفیت زیستی و خامت محیط‌زیست را در این مناطق افزایش می‌دهد (وانگ و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۲۳: ۲). سیاست انرژی نه تنها در کاهش تخریب محیط‌زیست، بلکه در ایجاد مشاغل پایدار که به رشد سبز کمک می‌کند، حائز اهمیت است. پس با اجرای سیاست‌های تولید پاک، این کشورها می‌توانند استراتژی‌هایی را برای دستیابی به توسعه پایدار تنظیم کنند (دستک و سین‌ها<sup>۶</sup>، ۲۰۲۰: ۲-۳). بنابراین به کارگیری انرژی‌های سبز ضروری است. با استفاده از انرژی‌های

<sup>1</sup> Xu et al. (2023)

<sup>2</sup> Fu et al. (2020)

<sup>3</sup> Khan et al(2023).

<sup>4</sup> Cosman(2008)

<sup>5</sup> Wong et al(2023).

<sup>6</sup> Destk & Sinha(2020)

تجدیدپذیر، کشورها می‌توانند به تحقق اهداف توسعه اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی خود کمک کنند. این انرژی‌ها، جایگزین مناسبی برای سوخت‌های فسیلی محسوب و باعث کاهش آلودگی هوا و گازهای گلخانه‌ای می‌شوند. استفاده از این منابع انرژی پایدار، به توسعه پایدار کشورها کمک می‌کند و نقش مهمی در کاهش تأثیرات منفی بر زمین و محیط‌زیست دارد (سلاطین و دانشوری، ۱۳۹۷: ۱۷۰).

نظریه ریژینسکی<sup>۱</sup> تأکید می‌کند که تجمع سرمایه انسانی می‌تواند به رشد صنایع پاک کمک کند و در عین حال کاهش آلودگی را تسهیل کند. به عبارت دیگر با افزایش تجمع سرمایه انسانی، افراد با مهارت‌ها و دانش‌های جدید می‌توانند به توسعه فناوری‌های پاک و پایدار کمک کنند. این نظریه بیان می‌کند که در مراحل اولیه رشد اقتصادی، معمولاً تمرکز بر روی توسعه صنعتی و افزایش تولید است که ممکن است منجر به افزایش آلودگی شود، زیرا صنایع قدیمی‌تر و آلاینده‌تر غالب هستند. اما با گذر زمان و افزایش درآمد سرانه، جوامع به سمت استفاده از خدمات و فناوری‌های پاک‌تر حرکت می‌کنند. این انتقال به بخش خدماتی می‌تواند به افزایش تقاضا برای محصولات و خدمات پایدار منجر شود و در نتیجه کاهش آلودگی را به همراه داشته باشد. از طرف دیگر نیز چالش‌های محیط‌زیستی واقعاً ارتباط تنگاتنگی با آموزش و آگاهی دارند. آموزش و آگاهی محیط‌زیستی می‌تواند به افراد کمک کند تا انتخاب‌های هوشمندانه‌تری در زمینه مصرف و تولید داشته باشند. افرادی که از تأثیرات فعالیت‌های انسانی بر محیط‌زیست آگاه هستند، معمولاً بیشتر تمایل دارند که از محصولات پایدار استفاده کنند و در حمایت از سیاست‌های زیست‌محیطی مشارکت کنند (محمدی و سخی، ۱۳۹۲: ۶۴). ادبیات علمی و پژوهشی در حوزه محیط‌زیست به وضوح نشان می‌دهد که فعالیت‌های انسانی نقش عمده‌ای در تخریب محیط‌زیست و تغییرات اقلیمی ایفا می‌کنند. در کنار توسعه مهارت‌ها و تخصص‌های فنی، توجه به سایر عوامل سرمایه انسانی همچون توسعه مهارت‌های اجتماعی، همکاری با ذینفعان، تشویق به نوآوری عملی، خصوصاً آموزش و آگاهی عمومی، برای کنترل تخریب محیطی بسیار حیاتی است (ژانگ و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۲۱: ۲). کسب دانش مرتبط با رفتار دوست‌دار محیط زیست منجر به اقدامات

Rybzinsky's theory<sup>۱</sup>

<sup>۲</sup> Zhang et al.

طرفدار محیط زیست می‌شود که به کاهش انتشار کربن و همچنین حفاظت از محیط زیست کمک می‌کند. علاوه بر این جنبه‌های آموزشی را نمی‌توان نادیده گرفت زیرا درک تغییرات آب و هوایی، در سطح جهان و پیامدهای نامطلوب مرتبط با آن مهم است، در حالی که توسعه سرمایه انسانی می‌تواند باعث کاهش ردپای بوم‌شناختی، افزایش ظرفیت زیستی و ظرفیت بار شود (احمد و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۹: ۲). به طور کلی آموزش سرمایه انسانی نقش مهمی در پایداری محیط زیست دارد. سرمایه انسانی از سه طریق بر ترکیب اکولوژیکی و افزایش ظرفیت بار اثرگذار است: ۱. تأثیر بر ترکیب اکولوژیکی و ظرفیت بار: آموزش و پرورش افراد می‌تواند به بهبود درک آن‌ها از اکوسیستم‌ها و تعاملات موجود در طبیعت کمک کند. افرادی که آموزش‌های لازم را در زمینه محیط‌زیست دریافت کرده‌اند، معمولاً بهتر می‌توانند اثرات فعالیت‌های انسانی بر محیط‌زیست را شناسایی و مدیریت کنند. این امر به حفظ تنوع زیستی و بهینه‌سازی استفاده از منابع طبیعی کمک می‌کند. ۲. تأثیر بر توسعه اقتصادی و مصرف انرژی: سرمایه انسانی با افزایش مهارت‌ها و دانش افراد، می‌تواند به رشد اقتصادی پایدار منجر شود. این رشد اقتصادی می‌تواند به بهبود فناوری‌های سبز و کاهش مصرف انرژی منجر شود. به عنوان مثال، آموزش در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر و کارایی انرژی می‌تواند به توسعه راهکارهای جدید برای کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی کمک کند. ۳. ایجاد انگیزه برای حفظ محیط‌زیست: آموزش و آگاهی‌بخشی درباره مسائل محیط‌زیستی می‌تواند انگیزه‌ای برای افراد ایجاد کند تا رفتارهای سبز را در زندگی روزمره خود اتخاذ کنند. این شامل کاهش زباله، بازیافت، استفاده از وسایل نقلیه عمومی و انتخاب محصولات پایدار است. همچنین، با ترویج فرهنگ حفاظت از محیط‌زیست، افراد می‌توانند فشار بیشتری بر روی بازارها برای تولید کالاها و خدمات پایدار وارد کنند (احمد و همکاران، ۲۰۲۲).

### ۳- پیشینه پژوهش

در ادامه خلاصه‌ای از پژوهش‌های داخلی و خارجی صورت گرفته در این حوزه تشریح می‌شود.

#### ۳-۱- پژوهش‌های داخلی

<sup>1</sup> Ahmad et al

سلاطین و غفاری صومعه (۱۳۹۵) در مقاله‌ای تحت‌عنوان «تأثیر سرمایه انسانی بر کیفیت محیط‌زیست» با استفاده از روش پانل دیتا و GMM میزان تأثیرگذاری سرمایه انسانی بر انتشار CO<sub>2</sub> به‌عنوان شاخص نشان‌دهنده کیفیت محیط‌زیست در گروه کشورهای منتخب در آمد متوسط را بررسی کردند. نتایج حاصل از برآورد مدل به‌روش اثرات ثابت و گشتاور تعمیم‌یافته در گروه کشورهای منتخب در دوره زمانی ۲۰۱۳-۱۹۹۸ نشان می‌دهد سرمایه انسانی تأثیر منفی و معنی‌داری بر انتشار CO<sub>2</sub> به‌عنوان شاخص نشان‌دهنده کیفیت محیط‌زیست دارد.

دانشور و سلاطین (۱۳۹۷) به بررسی تأثیر انرژی‌های تجدیدپذیر بر اقتصاد سبز با استفاده از روش اثرات ثابت در کشورهای منتخب طی دوره زمانی ۲۰۰۵-۲۰۱۶ پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد که درجه باز بودن تجاری، تأثیر مثبت بر شاخص انتشار دی‌اکسید کربن دارد ولی سرمایه انسانی و فناوری تأثیر منفی بر انتشار دی‌اکسید کربن دارد.

مظفری و متفکر آزاد (۱۳۹۸) با استفاده از روش GMM تأثیر سرمایه اجتماعی و سرمایه انسانی بر انتشار آلودگی‌های استان‌های ایران طی دوره زمانی ۱۳۹۴-۱۳۷۹ مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که سرمایه اجتماعی و سرمایه انسانی تأثیر منفی و معنی‌داری بر انتشار آلودگی‌های استان‌های ایران دارد. سایر نتایج پژوهش نشان داد که رشد اقتصادی، صنعتی‌شدن، شدت انرژی، شهرنشینی، آلودگی دوره قبل تأثیر مثبت و معنی‌داری بر آلودگی‌های استان‌های ایران دارند. اما متغیر مجذور درآمد سرانه تأثیر معنی‌داری بر آلودگی‌ها ندارد.

مظفری (۱۴۰۱) در مقاله‌ای با استفاده از روش GMM تأثیر سرمایه اجتماعی و سرمایه انسانی بر آلودگی آب در استان‌های ایران طی دوره زمانی ۱۳۹۴-۱۳۸۶ مورد بررسی قرار داده است. نتایج تجزیه و تحلیل داده‌های پژوهش نشان داد که ارتقا سرمایه اجتماعی و سرمایه انسانی تأثیر معنی‌داری بر کاهش آلودگی آب در استان‌های کشور دارند. آلودگی آب دوره قبل تأثیر معنی‌داری بر افزایش آلودگی آب در استان‌های ایران دارد.

مظفری و عزتی (۱۴۰۱) در مقاله‌ای با استفاده از روش GMM در سری‌های زمانی، اثر سرمایه انسانی بر آلودگی‌های استان‌های ایران را طی دوره زمانی ۱۳۹۸-۱۳۶۰ مورد ارزیابی قرار داده‌اند. نتایج برآورد مدل نشان داد که بهبود سطح سرمایه انسانی، اثر منفی بر آلودگی‌ها داشته است. با افزایش سرمایه انسانی و بهبود کیفیت نیروی انسانی، می‌توان انتظار داشت که آلودگی‌های هوا و

تخریب محیط‌زیست کاهش یابد.

قادری و عبدالمهی (۱۴۰۲) به بررسی تأثیر منابع طبیعی و سرمایه انسانی بر ردپای اکولوژیکی طی دوره زمانی ۱۹۸۸-۲۰۲۱ با استفاده از روش خودرگرسیون با وقفه‌های توزیعی پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد که سرمایه انسانی، رشد اقتصادی و منابع طبیعی تأثیر مثبت بر ردپای بوم‌شناختی ایران دارد.

## ۲-۳- پژوهش‌های خارجی

دایی و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۲۳) به بررسی تأثیر سرمایه انسانی و انرژی سبز بر ظرفیت بار کشورهای جنوب شرقی آسیا با استفاده روش پانل دیتا طی دوره زمانی ۱۹۸۵-۲۰۱۸ پرداختند. نتایج پژوهش انرژی سبز، سرمایه انسانی باعث کاهش درحالی‌که تراکم جمعیت، جهانی‌شدن سبب افزایش وخامت محیط‌زیست و افزایش ضریب ظرفیت بار می‌شود.

پاتا و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۲۳) به بررسی نقش فناوری‌های پاک، سرمایه انسانی، شهرنشینی و درآمد بر کیفیت محیط‌زیست با ظرفیت بار در ایالت متحده آمریکا با استفاده از روش خودرگرسیون با وقفه‌های توزیعی طی دوره زمانی ۱۹۷۴-۲۰۱۸ پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد که شهرنشینی و فناوری پاک تأثیر منفی بر پایداری محیط‌زیست دارد. در حالی که سرمایه انسانی و درآمد تأثیر مثبت بر کیفیت محیط‌زیست دارد.

چن و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۲۲) به بررسی همبستگی بین سرمایه انسانی، شهرنشینی و ردپای اکولوژیکی با استفاده از داده‌های بین‌کشوری از ۱۱۰ اقتصاد در دوره ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۶ استفاده کردند. یافته‌ها نشان می‌دهد که ابتدا از منظر جهانی، سرمایه انسانی در ابتدا افزایش یافته و سپس

<sup>1</sup> Dai et al. (2023)

<sup>2</sup> Pata et al. (2023)

<sup>3</sup> Chen et al. (2022)

<sup>4</sup> Ponce et al. (2021)

<sup>5</sup> Ahmad et al. (2020)

<sup>6</sup> Bayer & Hack

ردپای اکولوژیکی کاهش می‌یابد. تجزیه و تحلیل بر اساس نمونه‌های فرعی نشان می‌دهد که سرمایه انسانی گروه پردرآمد باعث کاهش ردپای اکولوژیکی می‌شود، در حالی که سرمایه انسانی گروه کم‌درآمد و کشورهای با جمعیت زیاد، رد پای اکولوژیکی را افزایش می‌دهد. دوم، شهرنشینی نقش تعدیل‌کننده خطی در تأثیر سرمایه انسانی بر ردپای اکولوژیکی ایفا می‌کند.

پونسی و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۲۰) به بررسی رابطه بلندمدت بین رشد اقتصادی و توسعه مالی، انرژی‌های تجدیدناپذیر، انرژی‌های تجدیدپذیر و سرمایه انسانی در ۱۶ کشور آمریکای لاتین با استفاده از تکنیک‌های اقتصادسنجی داده‌های تابلویی مبتنی بر همجمعی و علیت طی دوره زمانی ۱۹۸۸-۲۰۱۸ پرداختند. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که بین توسعه مالی، مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر، مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر، سرمایه انسانی و رشد اقتصادی رابطه تعادلی بلندمدت وجود دارد که نتایج نشان می‌دهد که توسعه مالی، مصرف انرژی تجدیدناپذیر، مصرف انرژی و سرمایه انسانی با رشد اقتصادی رابطه مثبت وجود دارد به عبارت دیگر افزایش این متغیرها سبب ایجاد رابطه بلندمدت می‌شود همچنین علیت دو سویه بین متغیرهای توسعه مالی، سرمایه انسانی و رشد اقتصادی وجود دارد و علیت یک طرفه بین از مصرف انرژی تجدیدناپذیر به رشد اقتصادی و از رشد اقتصادی به مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر وجود دارد.

احمد و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۲۰) به بررسی پیوند پویا بین منابع طبیعی، سرمایه انسانی، شهرنشینی، رشد اقتصادی و ردپای اکولوژیکی در چین طی دوره زمانی ۱۹۷۰-۲۰۱۶ این مطالعه از آزمون همجمعی معروف بایر و هک<sup>۳</sup> و تکنیک علیت بوت استرپ برای مطالعه هم‌انباشتگی و ارتباط علی بین متغیرها استفاده کردند. یافته‌های مطالعه رابطه تعادلی بلندمدت بین متغیرها را تأیید می‌کند. نتایج بلندمدت نشان می‌دهد که ارتباط مثبت و معنی‌داری بین متغیرهای اجاره طبیعی، شهرنشینی و رشد اقتصادی با شاخص ردپای اکولوژیکی وجود دارد. درحالی‌که متغیر سرمایه انسانی سبب کاهش شاخص ردپای اکولوژیکی می‌شود و به عبارتی سرمایه انسانی سبب کاهش

تخریب محیط زیست می‌شود. از طرف دیگر علیت یک طرفه را از منابع طبیعی به رد پای اکولوژیکی نشان می‌دهد. شهرنشینی نیز بدون هیچ بازخوردی باعث رد پای اکولوژیکی گرنجر می‌شود.

احمد و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۹) به بررسی تأثیر سرمایه انسانی بر رد پای بوم‌شناختی کشور هند طی دوره زمانی ۱۹۷۱-۲۰۱۴ با استفاده از آزمون علیت گرنجر پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد که سرمایه انسانی سبب ایجاد رد پای اکولوژیکی شده است. علاوه بر این، مصرف انرژی به رد پای اکولوژیکی می‌افزاید، در حالی که رابطه بین رشد اقتصادی و رد پای اکولوژیکی از یک الگوی U شکل معکوس پیروی می‌کند.

بانو و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۸) به بررسی اثرات کوتاه‌مدت و بلندمدت سرمایه انسانی بر انتشار کربن با استفاده از روش علیت گرنجر و تکنیک ARDL طی دوره زمانی ۱۹۷۱-۲۰۱۴ پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که رابطه بلندمدت معنی‌داری بین سرمایه انسانی و انتشار کربن وجود دارد. بهبود سرمایه انسانی باعث کاهش انتشار کربن بدون کاهش رشد اقتصادی می‌شود. نتایج نشان‌دهنده علیت دوسویه بین سرمایه انسانی و انتشار کربن در بلندمدت است.

### ۳-۳- نوآوری و وجه تمایز پژوهش

تاکنون در پژوهش‌های انجام شده در اقتصاد ایران از شاخص‌هایی همچون انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلودگی آب و شاخص رد پای بوم‌شناختی به عنوان پراکسی برای ارزیابی پایداری محیط‌زیست استفاده کرده‌اند اما بر پایه بررسی‌های انجام شده؛ این شاخص‌ها نمی‌توانند پراکسی جامعی از تخریب محیط‌زیست باشند. شاخص ظرفیت بار می‌تواند پراکسی جامع‌تر برای آثار فعالیت‌های انسانی بر محیط‌زیست باشد. از طرف دیگر تاکنون در ایران به صورت سری زمانی اثر سرمایه انسانی و انرژی سبز بر شاخص ظرفیت بار مورد بررسی قرار نگرفته است. بنابراین مقاله حاضر دارای حداقل دو نوآوری علمی مشخص است؛ ۱- بررسی اثر همزمان سرمایه انسانی و مصرف انرژی سبز بر ظرفیت بار در اقتصاد ایران ۲- استفاده از روش GMM.

## ۴- روش‌شناسی

در این پژوهش با استفاده از روش گشتاورهای تعمیم‌یافته به بررسی تأثیر مصرف انرژی‌های سبز و سرمایه انسانی بر ظرفیت بار در کشور ایران طی دوره زمانی ۱۳۶۹-۱۴۰۰ پرداخته شده است. الگوی اقتصادسنجی پژوهش برگرفته از مطالعه دای و همکاران (۲۰۲۳) و تعدیل آن مطابق با شرایط اقتصاد ایران است. مدل در نظر گرفته شده به شکل رابطه (۱) است:

(۱)

$$LCF_t = \beta_0 + \beta_1 \ln CF_{t-1} + \beta_2 \ln Trade_t + \beta_3 \ln GDP_t + \beta_4 \ln HC_t + \beta_5 \ln RE_t + \varepsilon_t$$

در رابطه (۱)، Ln ابتدای متغیرها، نشان‌دهنده تبدیل لگاریتمی بوده و اندیس t زمان را نشان می‌دهد. شرح تفصیلی متغیرها در جدول (۱) آمده است.

جدول ۱. شرح متغیرها، نحوه محاسبه و منبع جمع‌آوری داده‌ها

نماد	متغیر	نحوه محاسبه	مرجع جمع‌آوری داده
CF	ظرفیت بار	نسبت ظرفیت زیستی بر ردپای بوم‌شناختی	شبکه جهانی ردپای بوم‌شناختی
HC	سرمایه انسانی	شاخص ارائه شده در مطالعه مظفری و جواهری (۱۴۰۰)	بر اساس داده‌های محاسبه شده در مقاله مظفری و جواهری (۱۴۰۰) و به‌روز رسانی آن‌ها
GDP	تولید ناخالص داخلی سرانه	تولید ناخالص داخلی سرانه بر حسب قیمت ثابت ۲۰۱۵	بانک جهانی
Trade	درجه آزادی تجاری	مجموع صادرات و واردات تقسیم‌بر تولید ناخالص داخلی	بانک جهانی
RE	مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر	برحسب درصدی از کل مصرف نهایی انرژی	بانک جهانی
$\varepsilon_{it}$	جزء اختلال	-	-

سرمایه انسانی متغیری پنهان در اقتصاد است. بانک جهانی از سال ۲۰۱۸ بر اساس مولفه‌های سلامت و آموزش، شاخص کلی را برای سرمایه انسانی کشورها برآورد کرده و منتشر می‌کند، اما برای سال‌های قبل از سال ۲۰۱۸ شاخص جامع و کاملی به صورت سری زمانی در دسترس نیست. با توجه به اینکه سرمایه انسانی یک مفهوم کیفی است برای اینکه به یک مفهوم کمی تبدیل شود، می‌توان با استفاده از منطق فازی یک شاخص برای سرمایه انسانی ساخت که تحت تأثیر متغیرهای مؤثر بر آن باشد. استنباط می‌شود که متغیرهای آموزش، سلامت و مهارت از جمله مهم‌ترین



پراکسی‌های همراه‌کننده سرمایه انسانی هستند<sup>۱</sup> (مظفری و جواهری، ۱۴۰۰).

#### ۴- نتایج برآورد مدل

قبل از برآورد مدل، ابتدا آمار توصیفی متغیرها مورد بررسی قرار گرفته است. در این بخش شاخص‌های مرکزی و شاخص‌های پراکندگی برای هر یک از متغیرها ارائه می‌شود. میانگین اصلی‌ترین شاخص مرکزی است و متوسط داده‌ها را نشان می‌دهد، به طوری که اگر داده‌ها بر روی یک محور به صورت منظم ردیف شوند، میانگین دقیقاً نقطه‌ی تعادل یا در مرکز ثقل داده‌ها قرار می‌گیرد و شاخص‌های پراکندگی مانند انحراف معیار، معیاری برای تعیین میزان پراکندگی متغیرها از یکدیگر و یا از میانگین است و هرچه قدر عدد آن کمتر باشد به معنای پراکندگی کمتر داده‌ها از میانگین است.

جدول ۲. آمار توصیفی متغیرها

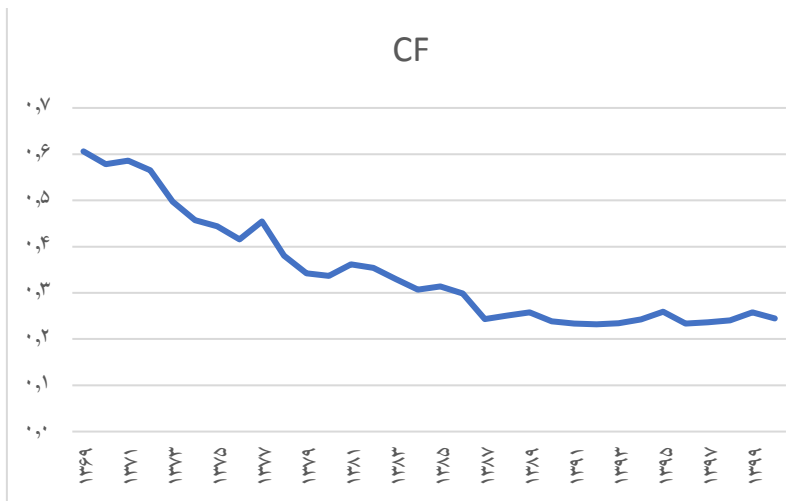
نام متغیر	GDP	CF	HC	Trade	RE
میانگین	۴۵۲۴/۸	۰/۳۵۶	۰/۴۴۷	۴۳/۷۸	۱/۰۰۴
میانه	۴۷۴۸/۰۳	۰/۳۲۰	۰/۴۵۶	۴۳/۹۴	۰/۹۸
کمینه	۳۳۶۳/۵	۰/۲۳۱	۰/۲۶۱	۲۹/۲۲	۰/۴۴
بیشینه	۵۴۵۰/۹	۰/۶۰۶	۰/۶۰۲	۵۸/۳۸	۰/۱۹
چولگی	-۰/۲	۰/۷۱۵	-۰/۱۸	-۰/۰۳	۰/۷۱
انحراف معیار	۷۲۳/۹	۰/۱۱۹	۰/۱۰۹	۶/۵۷	۰/۳۱
کشییدگی	۱/۳۷	۲/۲۵	۱/۷۲	۲/۷۸	۳/۷۱

منبع: یافته‌های پژوهش

چولگی هم میزان عدم تقارن منحنی فراوانی را نشان می‌دهد. اگر صفر باشد، جامعه کاملاً متقارن، و اگر مثبت باشد چولگی به راست و اگر منفی باشد چولگی به چپ را نشان می‌دهد و کشییدگی منحنی فراوانی نسبت به منحنی نرمال استاندارد را برجستگی یا کشییدگی می‌نامند، و اگر

<sup>۱</sup> با استفاده از بررسی مطالعات پیشین و مبانی نظری موضوع، ۳ متغیر آموزش، مهارت و بهداشت به عنوان مهم‌ترین متغیرهای موثر بر شکل‌گیری سرمایه انسانی شناسایی شدند. سپس با استفاده از روش منطق فازی و استنتاج ممدانی، سری زمانی شاخص سرمایه انسانی در ایران برآورد شد. برای مطالعه بیشتر در مورد نحوه و چگونگی برآورد شاخص سرمایه انسانی به مطالعه مظفری و جواهری (۱۴۰۰) مراجعه شود.

صفر باشد؛ یعنی منحنی فراوانی از نظر کشیدگی نرمال و اگر مثبت باشد منحنی برآمده و اگر منفی باشد منحنی پهن است. آمار توصیفی متغیرهای پژوهش در جدول شماره (۲) نشان داده شده است. برای بررسی بیشتر روند متغیر وابسته در نمودار (۱) روند متغیر ظرفیت بار محیط‌زیست ایران نشان داده شده است:



نمودار ۱. روند ضریب ظرفیت بار محیط‌زیست ایران

منبع: یافته‌های پژوهش

نمودار (۱) روند متغیر وابسته (ضریب ظرفیت بار) را نشان می‌دهد. که سیر نزولی را نشان می‌دهد. در مورد ایران، ضریب ظرفیت بار محیط‌زیست به دلیل تنوع زیستگاه‌ها، منابع طبیعی و اقلیم‌های مختلف، می‌تواند متفاوت باشد اما به‌طور کلی، با توجه به روند کاهشی جنگل‌ها، آب و هوای آلوده و تخریب خاک، ظرفیت بار محیط‌زیست ایران در معرض خطر قرار گرفته است و نیاز به اقدامات جدی برای حفظ و بهبود آن وجود دارد. در ادامه، مراحل برآورد الگو تشریح می‌شود. آزمون پایایی متغیرهای مدل به وسیله آزمون‌های متداول دیکی- فولر تعمیم یافته و فلیپس- پرون انجام می‌شود. نتایج آزمون ایستایی متغیرها، در جدول (۳) در پیوست مقاله ارائه شده است. بررسی ایستایی متغیرهای الگو بر اساس آزمون‌های دیکی فولر تعمیم یافته و فلیپس- پرون نشان می‌دهد که به غیر از متغیر سرمایه انسانی بقیه متغیرها با یکبار تفاضل گیری پایا شدند. پس از بررسی ایستایی متغیرها و اطمینان از این مورد، مدل پژوهش برآورد می‌شود.

جدول ۳. آزمون پایایی

متغیرها	نتایج	دیکي فولر		فیلیپس پرون		نتایج	یک بار تفاضل گیری	
		اماره آزمون	احتمال	اماره	احتمال			
LCF	ناپایا	-۱/۱۹	۰/۳۳۶	-۲/۰۲۷	۰/۲۷۴	ناپایا	-۶/۴۶	۰/۰۰۰
LRE	ناپایا	-۲/۲۹	۰/۱۸۰۲	-۲/۳۵	۰/۱۶۲	ناپایا	-۵/۴۶	۰/۰۰۰۱
LHC	پایا	-۳/۹۳	۰/۰۰۵۰	-۴/۶۹	۰/۰۰۷	پایا	-	-
LGDP	ناپایا	-۱/۷۵	۰/۳۹۵۰	-۱/۹۲	۰/۳۱۹	ناپایا	-۵/۳۳	۰/۰۰۰۱۳
LTrade	ناپایا	۰/۰۶۳	۰/۲۵۹۹	-۲/۲۳	۰/۲۰۰۲	ناپایا	-۶/۱۷	۰/۰۲۶

منبع: یافته‌های پژوهش

در جدول (۴) نتایج حاصل از برآورد مدل پژوهش به روش GMM نشان داده شده است. نتایج جدول (۴) نشان می‌دهد که مدل برآوردی از نظر شاخص‌های آماری در وضعیت مناسبی قرار دارد. فرضیه صفر آزمون سارگان را نمی‌توان رد کرد و از این رو می‌توان گفت که متغیرهای ابزاری استفاده شده در مدل برآوردی معتبر هستند زیرا فرض صفر آزمون سارگان بر معتبر بودن ابزارها دلالت دارد. با توجه به لگاریتمی بودن مدل، تمامی ضرایب برآوردی نشان‌دهنده کشش هستند. ضریب ظرفیت بار دوره قبل تأثیر مثبت و معنی‌دار بر ضریب ظرفیت بار دوره حاضر دارد به طوری که با افزایش یک درصدی ظرفیت بار دوره  $t-1$ ، میزان ظرفیت بار در  $t$  به اندازه  $۰/۶۴$  درصد افزایش می‌یابد. این نتیجه مطابق با مبانی نظری سازگار با نتایج پژوهش‌های پیشین است.

جدول ۴. نتایج برآورد مدل پژوهش

متغیر توضیحی	ضریب	انحراف معیار	آماره T	ارزش احتمال
LCF(-1)	۰/۶۶۷	۰/۰۳۷	۱۸/۰۲	۰/۰۰۰۰
LHC	۰/۲۸	۰/۰۴۳	۶/۵۱	۰/۰۰۰۰
LRE	۰/۱۳۱	۰/۰۰۹	۱۴/۵۵	۰/۰۰۰۰
LGDP	-۰/۷۲۱	۰/۰۷۶	-۹/۴۸	۰/۰۰۰۰
LTRade	-۰/۲۴۹	۰/۰۲۸	-۸/۸۹	۰/۰۰۰۰
C	۶/۸۲	۰/۱۸۵	۳۶/۸۲	۰/۰۰۰۰
آزمون سارگان		آماره J-statistic: ۱۳/۸۱		۰/۶۲۴۵

منبع: یافته‌های پژوهش

نتایج جدول (۴) نشان می‌دهد که با افزایش یک درصد سرمایه انسانی، ظرفیت بار  $۰/۲۸$  درصد افزایش می‌یابد. با توجه به ارزش احتمال متناظر با آماره  $t$  ضریب سرمایه انسانی می‌توان اظهار داشت که سرمایه انسانی تأثیر مثبت و معنی‌دار بر ظرفیت بار محیط‌زیستی در ایران دارد.

مبارزه با چالش‌های تغییر اقلیم و توسعه ناپایدار بدون تمرکز بر افزایش سطح آموزش و آگاهی محیط‌زیستی دشوار است. آموزش و آموزش‌های کاربردی در کنار نیروی کار متخصص در موقعیت‌های شغلی مرتبط سبب ارتقاء کیفیت سرمایه انسانی و پایداری محیط‌زیست می‌شود. از طرف دیگر به کارگیری سرمایه انسانی و آموزش کاربردی آنها در جهت توسعه تکنولوژی کارآمد و کاهش مصرف انرژی فسیلی و گسترش انرژی‌های پاک سبب کاهش اثرات مخرب محیط‌زیستی شده و پایداری محیط‌زیست را تأمین کرده و در نهایت ضریب ظرفیت بار افزایش خواهد یافت.

مصرف انرژی‌های سبز تأثیر مثبت و معنی‌دار بر ظرفیت بار دارد. به گونه‌ای که افزایش یک درصدی مصرف انرژی‌های سبز ظرفیت بار را ۰/۱۳٪ افزایش می‌دهد. انرژی‌های تجدیدپذیر کمترین آسیب را بر محیط‌زیست و اکوسیستم وارد می‌کنند؛ بنابراین به کارگیری این انرژی‌ها باعث کاهش ردپای بوم‌شناختی می‌شود. انرژی‌های تجدیدپذیر باعث انتشار گازهای گلخانه‌ای نمی‌شوند، و استفاده از آنها انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش می‌دهد. علاوه بر این استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر مانند باد، آب و خورشید، نیاز به استخراج منابع طبیعی ندارد. همچنین استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر مانند خورشید، باد، آب و زمین گرمایی کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی مانند نفت، گاز و زغال سنگ را به همراه دارد.

متغیر تولید ناخالص داخلی سرانه تأثیر منفی و معنی‌دار بر ظرفیت بار دارد. به گونه‌ای که با افزایش یک درصد تولید سرانه، ظرفیت بار ۰/۷۲٪ کاهش می‌یابد. با افزایش تولید ناخالص داخلی، فشار بر محیط‌زیست افزایش یافته و سبب کاهش پایداری اکولوژیکی می‌شود. این نتیجه نشان می‌دهد که هر واحد افزایش تولید ناخالص داخلی سرانه (GDP) باعث کاهش ظرفیت بار می‌شود. به عبارت دیگر، این متغیر نشان‌دهنده کارایی اقتصادی کشور است و نشان می‌دهد که افزایش تولید ناخالص داخلی سرانه، منجر به کاهش توان تحمل محیط‌زیست می‌شود. افزایش تولید ناخالص داخلی سرانه ممکن است به افزایش آلودگی هوا، آب و خاک منجر شود که این موارد نیز می‌تواند ظرفیت بار محیط‌زیست را کاهش دهد. این شرایط در اصطلاح به این معنی است که زمانی که GDP سرانه یک کشور افزایش می‌یابد، مردم بیشتری توانایی خرید و استفاده از کالاها و خدمات را دارند، که این امر می‌تواند به بیشتر شدن مصرف منابع و افزایش تولید

پسماند منجر شود. همچنین، فعالیت‌های صنعتی افزایش می‌یابد که ممکن است باعث تولید آلاینده‌های بیشتر و اختلال در اکوسیستم‌ها شود. به عبارت دیگر، افزایش GDP سرانه می‌تواند نشان‌دهنده بزرگ‌تر شدن رد پای اکولوژیک یک جامعه باشد که منابع بیشتری را استفاده و آلاینده‌های بیشتری تولید می‌کند.

متغیر درجه باز بودن تجاری تأثیر منفی بر ظرفیت بار دارد به گونه‌ای که با افزایش یک درصد تجارت، ظرفیت بار ۰/۲۴ کاهش پیدا می‌کند. بر اساس مبانی نظری اثر باز بودن تجاری بر محیط‌زیست می‌تواند مثبت یا منفی باشد. اثر آزادسازی تجاری بر محیط‌زیست از دو کانال اثر می‌یابد: اثر ترکیبی است؛ اثر مقیاس و اثر ترکیبی تجارت منجر به افزایش فعالیت‌های اقتصادی می‌شود و تولید و مصرف کالاها و خدمات را افزایش می‌دهد. این فعالیت‌ها هزینه‌های محیط‌زیست را به‌طور آشکار افزایش می‌دهد و این نتیجه حاصل می‌شود که افزایش فعالیت‌های اقتصادی ناشی از تجارت، می‌تواند باعث تخریب محیط‌زیست شود. همچنین، اثر ترکیبی اشاره به اثر تجارت بر ترکیب تولید در میان کشورها دارد. بر این اساس کشورهایی که قوانین محیط‌زیستی قوی دارند می‌توانند تولید کالاهایی را بیشترین آلودگی را دارند به کشورهایی که قوانین محیط‌زیستی ضعیف دارند انتقال دهند. اثر ترکیبی فرضیه پناهگاه آلوده را تایید می‌کند. بنابراین از طریق دو کانال مذکور تجارت باعث تخریب محیط‌زیست و کاهش ضریب ظرفیت بار می‌شود.

در اقتصاد سنجی، بررسی مقاومت بودن یک مدل برآورد شده اهمیت زیادی دارد تا اطمینان حاصل شود که نتایج تحلیل به‌واسطه وضعیت خاص داده‌ها یا روش‌های برآورد انتخابی بیش از حد حساس نیستند. یک مدل ممکن است در شرایط خاص داده‌ای یا روش برآوردی نتایج خوبی ارائه دهد، اما در شرایط دیگر کارایی نداشته باشد. برآورد با روش‌های مختلف می‌تواند به تشخیص این موارد کمک کند. برای بررسی استحکام نتایج برآوردی؛ مدل پژوهش با استفاده از روش اقتصاد سنجی دیگر برآورد زده شده است. با توجه به نتایج آزمون پایایی متغیرهای پژوهش که نشان داد درجه انباشتگی متغیرها صفر و یک هستند پس جهت تست مقاومت از روش خود توضیح با وقفه‌های گسترده (ARDL) استفاده شد. در این روش پس از تصریح الگو باید تعداد وقفه‌های بهینه متغیرهای پژوهش را تعیین کرد. با استفاده از نرم‌افزار ایویوز و با استفاده از یکی از چهار روش آکاییک (AIC) شوارتز - بنزین (SBC) و حنان کویین (HAC) می‌توان تعداد

وقفه‌های را تعیین کرد. پس از تصریح الگوی مورد استفاده در این پژوهش، برآوردی از ضرایب متغیرهای الگو حاصل شد. این ضرایب نشان‌دهنده پویایی‌های مدل در کوتاه‌مدت هستند. سپس وجود رابطه بلندمدت بررسی می‌شود. در این مطالعه از آزمون هم‌انباشتگی باند وجود رابطه بلندمدت بین متغیرها استفاده شده است.<sup>۱</sup>

جدول ۵. آزمون هم‌انباشتگی با وجود رابطه بلند مدت

مقدار آماره	سطح معنی‌داری	I1 Bound	I0 Bound
۴/۹۸	٪۱	۳/۰۹	۲/۲
	٪۵	۲/۵۶	۳/۴۹
	۲/۵	۲/۸۸	۳/۸۷
	٪۱۰	۳/۲۹	۴/۳۷

منبع: یافته‌های پژوهش

با توجه به نتایج آزمون هم‌انباشتگی ارائه شده در جدول (۵) فرضیه صفر که عدم رابطه بلندمدت را نشان می‌دهد، رد شده و در نتیجه بین متغیرها رابطه هم‌انباشتگی وجود دارد. بنابراین برآورد رابطه بلندمدت انجام شده و در جدول (۶) نتایج برآورد بلندمدت مدل پژوهش آورده شده است.

نتایج جدول (۶) نشان می‌دهد که تمامی متغیرها به جز متغیر تولید ناخالص داخلی سرانه در فاصله اطمینان ۹۵ درصد تأثیر معنی‌داری بر متغیر وابسته دارند. متغیر تولید ناخالص داخلی سرانه در فاصله اطمینان ۹۰ درصد تأثیر منفی و معنی‌داری بر متغیر وابسته دارد. بنابراین می‌توان استدلال کرد که متغیرهای پژوهش از لحاظ آماری تأثیر معنی‌داری بر متغیر وابسته دارند. نتایج نشان می‌دهد که علامت ضرایب برآوردی در روش ARDL با علامت ضرایب برآوردی در روش GMM مشابه هستند. بنابراین می‌توان استدلال کرد که نتایج برآوردی در روش GMM از استحکام مناسبی برخوردار هستند. بالا بودن انحراف معیار در مدل ARDL نسبت به GMM نشان می‌دهد که در این روش، برآوردها با

<sup>۱</sup> به دلیل طولانی شدن بحث و جلوگیری از ارائه مطالب اضافی؛ تنها نتایج آزمون هم‌انباشتگی و رابطه بلندمدت تخمین ارائه شده است.

عدم قطعیت بیشتری همراه هستند.

جدول ۶. برآورد نتایج بلندمدت با روش ARDL

متغیر توضیحی	ضریب	انحراف معیار	آماره T	ارزش احتمال
LHC	۰/۱۵	۰/۰۴۹	-۳/۰۶	۰/۰۰۸۷
LRE	۰/۳۰۱	۰/۰۶۶	۴/۵۶	۰/۰۰۲۶
LGDP	-۰/۶۳	۰/۳۲۳	-۱/۹۵	۰/۰۹۰۰
LTrade	-۰/۳۴	۰/۰۵۲	-۶/۵۴	۰/۰۰۰۴
C	۱۱/۹۸	۲/۵۹۷	۴/۶۱	۰/۰۰۰۶

منبع: یافته‌های پژوهش

### ۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

کنترل تغییرات اقلیمی یکی از اهداف مهم توسعه پایدار بوده که همراه با سایر اهداف توسعه پایدار نقش مهمی در ثبات و پایداری محیط‌زیست ایفا می‌کند. پژوهش‌های انجام‌شده تاکنون از شاخص‌های انتشار کربن دی‌اکسید و ردپای بوم‌شناختی جهت ارزیابی پایداری محیط‌زیست استفاده شده بود ولی با توجه به کاستی‌های این دو شاخص و این‌که تنها بر مصرف و تقاضای منابع تأکید دارند و از طرف عرضه منابع غافل می‌مانند؛ در پژوهش‌های اخیر از شاخص جدیدی به نام ضریب ظرفیت بار برای ارزیابی پایداری محیط‌زیست استفاده شده‌است. شاخص ضریب ظرفیت بار از تقسیم ظرفیت زیستی بردپای اکولوژیکی به دست آمده و علاوه بر طرف تقاضا، طرف عرضه منابع را نشان می‌دهد و از آن جایی که این شاخص طرف عرضه را نشان می‌دهد بنابراین می‌تواند میزان پایداری محیط‌زیست و منابع عرضه شده و ظرفیت زیستی را ارزیابی کند.

در این پژوهش برای بررسی تأثیر انرژی‌های سبز و سرمایه انسانی بر ظرفیت بار در کشور ایران طی دوره زمانی ۱۳۶۹-۱۴۰۰ از روش گشتاورهای تعمیم‌یافته استفاده شد. نتایج و پیشنهادات پژوهش به صورت کلی به شرح زیر است:

نتایج پژوهش نشان داد که اثر انرژی‌های سبز بر ضریب ظرفیت بار مثبت است. به‌طور کلی تغییرات محیط‌زیست و کاهش پایداری آن ناشی از افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای یکی از عوامل مهم در میزان وقوع تغییرات و رخدادهای اقلیمی، مخاطرات محیط‌زیستی، بلایای طبیعی

و آسیب‌های جدی به محیط‌زیست است که گسترش استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به‌عنوان یک منبع انرژی پاک می‌تواند نقش مهمی در کاهش آلودگی‌های محیط‌زیستی و نیز کاهش انتشار گازهای آلاینده داشته باشد. استفاده از انرژی‌های سبز و جایگزین کردن آن می‌تواند سبب کاهش وابستگی به منابع فسیلی، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای شود. نتایج این پژوهش با پژوهش‌ها داخلی اصفهانی و همکاران (۱۴۰۲) و پژوهش‌ها خارجی دای و همکاران (۲۰۲۳) و پاتا و همکاران (۲۰۲۳) هم‌راستا است.

براساس نتایج سرمایه انسانی تاثیر مثبت و معنی‌دار بر ضریب ظرفیت بار دارد. تحصیل و آموزش سرمایه انسانی یکی از راه‌های رسیدن به توسعه پایدار و بهبود محیط‌زیست است و از طرف دیگر به کارگیری سرمایه انسانی باعث افزایش آگاهی، توسعه فناوری‌های سبز می‌شود و با ایجاد انگیزه در مردم و بازار و بنگاه‌ها برای حفظ محیط‌زیست طبیعی و ترویج مصرف و تولید سبز، کیفیت محیطی را تحت تأثیر قرار دهد و به یک محیط‌زیست پایدار منجر شود. بنابراین با ارتقای سرمایه انسانی از طریق سه مولفه بهداشت، مهارت و آموزش می‌توان به بهبود و پایداری محیط‌زیست کمک کرد نتایج این پژوهش با پژوهش‌ها داخلی سلاطین و همکاران (۱۳۹۸) و پژوهش‌ها خارجی دای و همکاران (۲۰۲۳) و پاتا و همکاران (۲۰۲۳) هم‌راستا است.

بر اساس نتایج پژوهش تولید ناخالص داخلی سرانه تأثیر منفی بر ظرفیت بار دارد و هم‌راستا با پژوهش‌های پیشین است. افزایش تولید ناخالص داخلی سرانه ممکن است باعث افزایش فعالیت‌های اقتصادی و مصرف منابع شود که این موارد می‌توانند به تخریب محیط‌زیست منجر شوند. به‌دلیل استفاده بیشتر از منابع طبیعی، تولید آلاینده‌ها، تغییر کاربری اراضی و افزایش تولید زباله، ظرفیت بار محیط‌زیست کاهش می‌یابد که به‌معنی کاهش توانایی محیط‌زیست برای پشتیبانی از فعالیت‌های انسانی و حفظ پایداری محیط‌زیست است. به‌عنوان مثال، افزایش تولید ناخالص داخلی سرانه ممکن است به افزایش استفاده از سوخت‌های فسیلی و افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای منجر شود که این موارد می‌تواند منجر به تخریب محیط‌زیست شود. همچنین، افزایش تولید ناخالص داخلی سرانه ممکن است به مصرف بیشتر آب و منابع طبیعی دیگر منجر شود که این موارد نیز می‌تواند ظرفیت بار محیط‌زیست را کاهش دهد. بنابراین، این نتیجه نشان می‌دهد که تولید بدون توجه به محیط‌زیست و مصرف پایدار منابع، می‌تواند به کاهش ظرفیت بار و تخریب



محیط‌زیست منجر شود. نتایج پژوهش این بخش با نتایج پژوهش‌های طراز کار و همکاران (۱۳۹۹) و اصفهانی و همکاران (۱۴۰۲) و پژوهش‌های خارجی پاتا و همکاران (۲۰۲۳) سازگار است. براساس نتایج درجه آزادی تجاری تأثیر منفی بر ظرفیت بار دارد. بر اساس مبانی نظری و فرضیه پناهگاه آلودگی این گونه می‌توان استدلال کرد: در اثر آزادسازی تجارت، حجم فعالیت‌های اقتصادی (از جمله فعالیت‌های آلاینده) گسترش یافته و استفاده از منابع انرژی به شکل نامناسبی افزایش پیدا می‌کند. همچنین گسترش تجارت آزاد و افزایش رقابت بین بنگاه‌های داخلی و خارجی، به ملایم‌تر شدن سیاست‌های محیط‌زیستی منتهی می‌شود و حتی تصویب اجرای قوانین محیط‌زیستی را در مواجهه با فرایند آزادسازی تجارت با تأخیر مواجه می‌کند. بنابراین با افزایش تعرفه بر واردات کالاهایی که بیشترین اثر را بر تخریب و پایداری محیط‌زیست دارند و تقویت و بهبود فناوری و اعمال قوانین محیط‌زیستی می‌توان باعث افزایش پایداری محیط‌زیست و ضریب ظرفیت بار شد. نتایج این بخش با نتایج پژوهش‌های داخلی مروت و همکاران (۱۳۹۵)، نیکخواه سرنقی (۱۴۰۱) سازگار و با پژوهش‌ها خارجی پاتا و همکاران (۲۰۲۳) ناسازگار است. همچنین برای بررسی استحکام نتایج برآورد، مدل پژوهش با استفاده از روش ARDL نیز برآورد شد که نتایج نشان داد که نتایج برآوردی در روش گشتاورهای تعمیم‌یافته مقاوم است.

## References

- Ahmed, Z., Asghar, M. M., Malik, M. N., & Nawaz, K. (2020). Moving towards a sustainable environment: the dynamic linkage between natural resources, human capital, urbanization, economic growth, and ecological footprint in China. *Resources Policy*, *67*, 101677. <https://doi.org/10.22111/jipaa.2023.399117.1124>
- Ahmed, Z., Wang, Z., Mahmood, F., Hafeez, M., & Ali, N. (2019). Does globalization increase the ecological footprint? Empirical evidence from Malaysia. *Environmental Science and Pollution Research*, *26*, 18565-18582. [doi: 10.1007/s11356-019-05224-9](https://doi.org/10.1007/s11356-019-05224-9).
- Al-Mulali, U., Weng-Wai, C., Sheau-Ting, L., & Mohammed, A. H. (2015). Investigating the environmental Kuznets curve (EKC) hypothesis by utilizing the ecological footprint as an indicator of environmental degradation. *Ecological indicators*, *48*, 315-323. <http://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.11.019>
- Abdollahi, F., & Ghaderi, S. (2023). Investigating the Impact of Natural Resources and Human Capital on Iran's Ecological Footprint. *Governance and*

- Development Journal*, **3**(1): 99-120. [In Persian].  
<https://doi.org/10.22111/jipaa.2023.399117.112>
- Bano, S., Zhao, Y., Ahmad, A., Wang, S., & Liu, Y. (2018). Identifying the impacts of human capital on carbon emissions in Pakistan. *Journal of Cleaner Production*, **183**, 1082-1092.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.008>
- Chankrajang, T., & Muttarak, R. (2017). Green returns to education: Does schooling contribute to pro-environmental behaviours? Evidence from Thailand. *Ecological Economics*, **131**: 434-448.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.09.015>
- Comsan, M. N. H. (2008). Wind energy for sustainable development. Proceedings of the 3rd Environmental Physics Conference. Aswan. Egypt.
- Chen, Y., Lee, C. C., & Chen, M. (2022). Ecological footprint, human capital, and urbanization. *Energy & Environment*, **33**(3): 487-510. DOI: [10.1177/0958305X211008610](https://doi.org/10.1177/0958305X211008610)
- Dai, J., Ahmed, Z., Alvarado, R., & Ahmad, M. (2023). Assessing the nexus between human capital, green energy, and load capacity factor: policymaking for achieving sustainable development goals. *Gondwana Research*, **129**, 464-452, 2024, may. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gr.2023.04.009>
- Dogan, A., & Pata, U. K. (2022). The role of ICT, R&D spending and renewable energy consumption on environmental quality: Testing the LCC hypothesis for G7 countries. *Journal of Cleaner Production*, **380**(1), 135038. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135038>
- Ezzati, M. & Mozaffari, Z. (2022). The impact of human capital on air pollution in Iran: GMM and Fuzzy Logic Approach. *The Economic Research*, **22**(1): 115-146. [In Persian].
- Fu, J., Zang, C., & Zhang, J. (2020). Economic and resource and environmental carrying capacity trade-off analysis in the Haihe River basin in China. *Journal of Cleaner Production*, **270**, 122271. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108034>
- Ghafari Soumae, N., & Slatin, P. (2015). The impact of human capital on the quality of the environment. *Human and environment*, **2** (4): 12-1. [In Persian].
- Guloglu, B., Caglar, A. E., & Pata, U. K. (2023). Analyzing the determinants of the load capacity factor in OECD countries: evidence from advanced quantile panel data methods. *Gondwana Research*, **118**, 92-104. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gr.2023.02.013>
- Hajiaghajani, A., HOJABR, K. K., EMAMI, M. A., & PEYKARJOU, K. (2020). Investigating the Impact of Human Capital on the Relationship between Environmental Pollution and Economic Growth in MENA Countries. [In Persian].
- Kamali Dehkordi P., Ghoobishavi A., & Abdolhi, F. (2023). The effect of green growth on environmental pollution in Iran with emphasis on nuclear energy in Iran (2000-2020). *Energy Economics Studies*, **19** (76): 223-254. <http://iiesj.ir/article-1-1535-fa.html>

- 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 by using load capacity factor. *Journal of Cleaner Production*, **416**, 137972. <https://doi.org/1016/j.clepro.2023.137972>
- Lin, B., Omoju, O. E., Nwakeze, N. M., Okonkwo, J. U., & Megbowon, E. T. (2016). Is the environmental Kuznets curve hypothesis a sound basis for environmental policy in Africa?. *Journal of Cleaner Production*, **133**, 712-724. <https://doi.org/1016/j.clepro.2016.05.173>.
- Liu, M., Chen, Z., Sowah Jr, J. K., Ahmed, Z., & Kirikkaleli, D. (2023). The dynamic impact of energy productivity and economic growth on environmental sustainability in South European countries. *Gondwana Research*, **115**, 116-127. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2022.11.012>
- Lin, D., Hanscom, L., Murthy, A., Galli, A., Evans, M., Neill, E.,... & Wackernagel, M. (2018). Ecological footprint accounting for countries: updates and results of the National Footprint Accounts, 2012–2018. *Resources*, **7**(3): 58-75. <http://dx.doi.org/10.3390/resources7030058>
- Mehmood, U., Tariq, S., Aslam, M. U., Agyekum, E. B., Uhunamure, S. E., Shale, K.,... & Khan, M. F. (2023). Evaluating the impact of digitalization, renewable energy use, and technological innovation on load capacity factor in G8 nations. *Scientific Reports*, **13**(1), 9131. [doi: 10.1038/s41598-023-36373-0](https://doi.org/10.1038/s41598-023-36373-0).
- Mohammadi, H., & Sakhi, F. (2012). The impact of trade, foreign investment and human development on Environmental performance index. *Strategic and Macro Policy*, **1**(3), 55-75. [In Persian].
- Mozaffari, Z., & Javaheri, B. (2021). Estimating human capital in Iran using fuzzy logic. *Economic Research of Iran*, **26**(89), 63-93. [in Persian]. <https://doi.org/10.22054/ijer.2021.60280.964>
- Mozaffari, Z., & Motafker Azad, M. A. (2018). The effect of social capital and human capital on air pollution in theory. *Applied Economics*, **6**(1):128-97. [In Persian]. <https://sid.ir/paper/408703/fa>
- Nikkhah Saranghi, A., Azarbaijani, K., & Dai Karimzadeh, S. (2021). The dynamic effect of renewable and non-renewable energy consumption on the ecological footprint in selected developing countries (GMM generalized moments approach). *Program research and development*, **3**(1) Pages 93-119. <https://doi.org/10.22034/pbr.2022.327509.1199>
- Pata, U. K., Caglar, A. E., Kartal, M. T., & Depren, S. K. (2023). Evaluation of the role of clean energy technologies, human capital, urbanization, and income on the environmental quality in the United States. *Journal of Cleaner Production*, **402**, 136802. <https://doi.org/1016/j.clepro.2023.136802>
- 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. [DOI: 10.1016/j.resourpol.2021.102313](https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102313)
- Ponce, P., Álvarez-García, J., Medina, J., & del Río-Rama, M. D. L. C. (2021). Financial development, clean energy, and human capital: roadmap towards

- sustainable growth in América Latina. *Energies*, **14**(13), 3763. <https://doi.org/10.3390/en14133763>
- Shah Hosseini, S., Faridzad, A., & Marwat, H. (2016). Investigating the combined scale and technical effects of the international trade pattern on carbon emissions: A case study of selected oil exporting developing countries. *Economic Research Quarterly*, **17**(65), 143-176. [In Persian].
- Shang, Y., Razaq, 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 new paradigm using advance panel models. *Renewable Energy*, **191**, 715-722. DOI: [10.1016/j.renene.2022.04.013](https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.04.013)
- Sinha, A., Sengupta, T., & Alvarado, R. (2020). Interplay between technological innovation and environmental quality: formulating the SDG policies for next 11 economies. *Journal of Cleaner Production*, **242**, 118549. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118549>
- Tenderness, N., & Hassan, T. (2019). Determinants of the ecological footprint in MENA: application of the analysis method of unlimited borders. *Environmental Sciences Quarterly*, **19**(3), 177-192. <https://doi.org/10.52547/envs.30265>
- Wang, Z., Chandavuth, Y., Zhang, B., Ahmed, Z., & Ahmad, M. (2023). Environmental degradation, renewable energy, and economic growth nexus: assessing the role of financial and political risks? *Journal of Environmental Management*, **325**, 116678. doi: [10.1016/j.jenvman.2022.116678](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116678).
- Xu, L., Wang, C., Ba, N., & Hao, Y. (2023). On the urban resource and environment carrying capacity in China: A sustainable development paradigm. *Journal of Environmental Management*, **342**, 118212. doi: [10.1016/j.jenvman.2023.118212](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118212). Epub 2023 Jun 7.
- Yao, Y., Ivanovski, K., Inekwe, J., & Smyth, R. (2020). Human capital and CO2 emissions in the long run. *Energy economics*, **91**, 104907. DOI: [10.1016/j.eneco.2020.104907](https://doi.org/10.1016/j.eneco.2020.104907)
- Zarghami, B., & Vakili, P. (2017). Using clean energy to reduce greenhouse effects from fossil fuels. Regional conference of new technologies in mechanical and electronic installation systems in buildings, Saqqez, Iran. [In Persian]. <https://civilica.com/doc/842136>
- Zhang, L., Godil, D. I., Bibi, M., Khan, M. K., Sarwat, S., & Anser, M. K. (2021). Caring for the environment: How human capital, natural resources, and economic growth interact with environmental degradation in Pakistan? A dynamic ARDL approach. *Science of the Total Environment*, **774**, 145553. doi: [10.1016/j.scitotenv.2021.145553](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145553). Epub 2021 Feb 2
- Zhou, R., Abbasi, K. R., Salem, S., Almulhim, A. I., & Alvarado, R. (2022). Do natural resources, economic growth, human capital, and urbanization affect the ecological footprint? A modified dynamic ARDL and KRLS approach. *Resources Policy*, **78**, 102782. DOI: [10.1016/j.resourpol.2022.102782](https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.102782).