



## بررسی نقش تکنولوژی سبز بر ضریب ظرفیت بار (LCF)

سیدمحمدقائم ذبیحی<sup>1\*</sup>، محمدحسین مهدوی عادل<sup>2</sup>، فاطمه اکبری<sup>3</sup>

1- دانشجوی دکتری علوم اقتصادی، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

2- استاد گروه اقتصاد، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

3- دانشجوی دکتری علوم اقتصادی، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

\* مشهد، [smq.zabihi@mail.um.ac.ir](mailto:smq.zabihi@mail.um.ac.ir)

### چکیده

امروزه اغلب کشورهای جهان در پی کاهش بار زیست‌محیطی هستند، زیرا تغییرات آب‌وهوایی به سطحی رسیده که تهدید جدی برای بشریت محسوب می‌شود. در این زمینه، ضریب ظرفیت بار (LCF) امکان ارزیابی جامع پایداری محیطی را با در نظر گرفتن ظرفیت زیستی و ردپای اکولوژیکی فراهم می‌کند؛ اما مطالعات کمی به نقش تکنولوژی‌های سبز بر (LCF) اشاره کرده‌اند. بدین ترتیب، پژوهش حاضر به دنبال بررسی اثر تکنولوژی‌های سبز بر ضریب ظرفیت بار در کشورهای گروه 7 (G7) در بازه زمانی سالانه 2000 الی 2020، با کمک رگرسیون پانل کوانتایل (QR) است. نتایج تجربی حاصله مؤید آن است که تکنولوژی سبز (LNGT) به جز دهک اول و پنجم، در بقیه دهک‌ها دارای اثری مثبت بر لگاریتم ضریب ظرفیت بار (LCF) است. تولید ناخالص داخلی (LNGDP) در همه دهک‌ها دارای اثری مثبت بر لگاریتم (LCF) است. همچنین، مصرف سرانه انرژی‌های تجدیدپذیر (LNREN) در همه دهک‌ها دارای اثری مثبت و معنادار بر لگاریتم (LCF) است. در انتها نیز، رانت منابع طبیعی (LNNRP) در همه دهک‌ها دارای اثری مثبت بر لگاریتم (LCF) است. همچنین، این پژوهش توصیه‌های سیاسی سودمندی را برای دستیابی به توسعه عادلانه و پایدار ارائه نموده که می‌تواند برای کشور ایران، راهبردهای مفیدی را ارائه نماید.

کلیدواژگان: تکنولوژی سبز، ضریب ظرفیت بار، رگرسیون پانل کوانتایل، کشورهای گروه 7.

## Investigating the role of green technology on load capacity factor (LCF)

Seyyed Mohammad Ghaem Zabihi<sup>1\*</sup>, Mohammad Hossein Mahdavi Adeli<sup>2</sup>, Fatemeh Akbari<sup>3</sup>

1- Ph.D. Candidate in Economics, Department of Economics, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

2- Professor, Department of Economics, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

3- Ph.D. Candidate in Economics, Department of Economics, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

\* P.O.B. 9177948974, Mashhad, Iran, [smq.zabihi@mail.um.ac.ir](mailto:smq.zabihi@mail.um.ac.ir).

Received: 16 June 2024 accepted: 10 May 2025

### Abstract

Today, most countries worldwide seek to reduce environmental burdens, as climate change has reached a level that poses a serious threat to humanity. In this context, the load capacity factor (LCF) serves as a comprehensive measure of environmental sustainability by considering both biological capacity and ecological footprint. However, limited studies have explored the role of green technologies in influencing LCF, leaving a gap in the literature on their potential impact. Accordingly, this study employs panel quantile regression to investigate the effect of green technologies (LNGT) on LCF in G7 countries from 2000 to 2020. The results indicate that LNGT positively impacts LCF across most quantiles, except in the first and fifth deciles. Additionally, gross domestic product (LNGDP) exerts a statistically significant positive effect on LCF from the first to the sixth decile. Likewise, per capita consumption of renewable energy (LNREN) and natural resource rent (LNNRP) positively contribute to LCF, highlighting their importance in enhancing environmental sustainability. Furthermore, the findings provide valuable policy recommendations for promoting equitable and sustainable development. These insights can help policymakers design effective strategies for improving environmental sustainability in both developed nations and resource-dependent economies such as Iran.

**Keywords:** Green Technology, Load Capacity Factor, Panel Quantile Regression, Group 7 Countries.

## 1- مقدمه

محیط‌زیست است [10]. در همین حال، شرایط اکولوژیکی یک کشور در صورتی پایدار در نظر گرفته می‌شود که ضریب ظرفیت بار آن حدود یک باشد، همچنین زمانی که کم‌تر از یک باشد، ناپایدار در نظر گرفته می‌شود [11].

در سویی دیگر؛ متأسفانه، گسترش اقتصادی اغلب اولویت بیش‌تری نسبت به تأثیرات زیست‌محیطی و پایداری دارد [12]، اگرچه توسعه اقتصادی ممکن است ظرفیت زیستی را در کوتاه‌مدت کاهش دهد، اما به پذیرش تکنولوژی‌های سازگار با محیط‌زیست در بلندمدت کمک می‌کند [13]. تکنولوژی‌های سازگار با محیط‌زیست پیامدهای اکولوژیکی نامطلوب کالاها یا خدمات جدید را کاهش می‌دهند [14]. پذیرش تکنولوژی‌های سازگار با محیط‌زیست، به‌ویژه در سال‌های اخیر، با حمایت گسترده مردمی افزایش یافته است [15]. این تکنولوژی‌ها عمدتاً در ساخت‌وساز و ساختمان توسعه یافته‌اند. تکنولوژی‌های زیست‌محیطی با جذب، ذخیره و دفع گازهای گلخانه‌ای<sup>11</sup>، تولید، انتقال و توزیع انرژی، نقش عمده‌ای در جلوگیری از آلودگی محیط‌زیست ایفا می‌کنند که این مهم ردپای اکولوژیکی را کاهش می‌دهد و ضریب ظرفیت بار (LCF) را افزایش می‌دهد. بدین ترتیب، تکنولوژی‌های سبز در تسهیل گذار به شیوه‌های سازگارتر با محیط‌زیست بسیار مهم هستند. در این راستا، برای ارزیابی تأثیر تکنولوژی‌های سبز بر محیط‌زیست، محققان پرونده‌های ثبت اختراع فناوری‌های سبز را بررسی کرده‌اند که این بررسی بینش‌های ارزشمندی را برای سیاست‌گذاری با هدف حفاظت از محیط‌زیست ارائه می‌دهد [16].

بدین ترتیب، هدف پژوهش حاضر ارائه یک ارزیابی دقیق از ارتباط بین ضریب ظرفیت بار، تکنولوژی‌های سبز<sup>12</sup>، رشد اقتصادی (تولید ناخالص داخلی)، مصرف سرانه انرژی‌های تجدیدپذیر<sup>13</sup> و رانت منابع طبیعی<sup>14</sup> در کشورهای گروه هفت<sup>15</sup> (G7) بوده و بر این منوال از بداعت بسیار بالایی برخوردار است. تکنولوژی‌های سبز در سال‌های اخیر به‌طور فزاینده‌ای به عنوان یکی از راهکارهای کلیدی برای کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی و افزایش بهره‌وری انرژی مطرح شده‌اند. با این حال، بیش‌تر مطالعات موجود بر تأثیرات کلی این تکنولوژی‌ها بر محیط‌زیست و انرژی متمرکز بوده‌اند و کم‌تر توجهی به اثرات مستقیم آن‌ها بر شاخص‌های فنی و عملکردی سیستم‌ها، به‌ویژه در زمینه ظرفیت بار، شده است. بدین ترتیب، در این پژوهش، به‌طور خاص اثر تکنولوژی‌های سبز بر ضریب ظرفیت بار در کشورهای گروه هفت بررسی می‌شود. این موضوع به‌دلیل پیچیدگی‌های موجود در تحلیل تعاملات میان فناوری‌های جدید و سیستم‌های انرژی، به‌ویژه در شرایط تغییرات اقلیمی و نیاز به بهینه‌سازی مصرف انرژی، از اهمیت بالایی برخوردار است. در این مطالعه با بهره‌گیری از مدل پیشرفته رگرسیون پانل کوانتایل، سعی می‌شود ارتباط میان استفاده از تکنولوژی‌های سبز و تغییرات در ضریب ظرفیت بار شبیه‌سازی و تحلیل شود.

این نوآوری در پژوهش حاضر نه‌تنها خلأ موجود در مطالعات قبلی را پر کرده، بلکه روش‌شناسی جدیدی برای ارزیابی اثرات تکنولوژی‌های سبز در سیستم‌های انرژی ارائه می‌دهد. علاوه بر این، نتایج حاصل از این پژوهش

از قرن هفدهم، طیفی از پیشرفت‌ها، از جمله گسترش صنعتی‌شدن و جهانی‌سازی که باعث تقویت ارتباط و پیشرفت‌های کشاورزی برای تضمین امنیت غذایی می‌شود، آشکار شده است [1]. با این حال، این دستاوردها بشیریت را از طبیعت دور کرده و منجر به یک بحران آب‌وهوایی قابل توجه شده است [2]. در این راستا، در پاسخ به تشدید نگرانی‌های زیست‌محیطی، اقتصادهای مختلف برای دستیابی به توسعه پایدار<sup>1</sup>، با تمرکز ویژه بر ضرورت جهانی دستیابی به بی‌طرفی کربن، تلاش می‌کنند. به‌طور قابل توجهی، مجمع عمومی سازمان ملل متحد<sup>2</sup> دستور کار با عنوان «اهداف توسعه پایدار» را ایجاد کرده که شامل تاب‌آوری زیست‌محیطی<sup>3</sup>، فقرزدایی، ارتقاء بهره‌وری انرژی و موارد مرتبط دیگر است [3]. هم مطالعات تجربی و هم تحلیل‌های نظری شواهد فراوانی را ارائه می‌دهند که بحران اخیر آب‌وهوا را به آلودگی صنعتی و وابستگی به منابع انرژی متعارف مرتبط می‌کند. با این حال، یک راه مهم برای دستیابی به هدف تضمین انرژی مقرون به صرفه و پایدار در گذار از سوخت فسیلی به منابع انرژی تجدیدپذیر نهفته است. این انتقال با ارتباط مستقیم بین اهداف توسعه پایدار که بر اقدامات آب‌وهوایی متمرکز است، تقویت می‌شود. علاوه بر این، ضرورت گذار کم‌کربن، دریچه جدیدی را به سوی سیاستمداران در اقتصادهای مختلف ایجاد کرده است. در قلمرو تولید انرژی، حذف تدریجی سوخت‌های فسیلی به عنوان یک استراتژی اصلی برای کاهش ردپای زیست‌محیطی ظاهر می‌شود. درحالی‌که مفهوم گذار انرژی<sup>4</sup> هنوز در حال آشکار شدن است، اما منابع انرژی تجدیدپذیر به‌طور قابل توجهی توانسته‌اند به کاهش 90 درصدی در تولید کربن دست یابند [4].

با این حال، پیگیری زیرساخت‌های پیشرفته، آب و انرژی، تنش‌هایی را بر ساختار اکولوژیکی وارد می‌سازد و منجر به کاهش چشمگیر منابع طبیعی می‌شود [5]. کاهش این منابع طبیعی<sup>5</sup> به دلیل پیامدهای اقتصادی گسترده آن توجه قابل توجهی را در ادبیات به خود جلب کرده است. در این زمینه، ضریب ظرفیت بار<sup>6</sup> به عنوان یک معیار بسیار قابل اعتماد برای اندازه‌گیری فشار محیطی مطرح شد، زیرا هم عرضه و هم تقاضای طبیعت را منعکس می‌کند. سیچو و همکاران<sup>7</sup> (2010) [6] به این نتیجه رسیدند که ضریب ظرفیت بار، ظرفیت یک کشور را برای حمایت از جمعیت خود در راستای سبک زندگی مدرن آن‌ها تعیین می‌کند که با تقسیم ظرفیت زیستی<sup>8</sup> (سمت عرضه) بر ردپای اکولوژیکی<sup>9</sup> (سمت تقاضا) محاسبه می‌شود [7-9]. از منظر تقاضا، ردپای اکولوژیکی دارای‌های اکولوژیکی موردنیاز یک محصول یا جمعیت برای تولید منابع زیست‌محیطی مصرفی و جذب ضایعات ناشی از آن، مانند انتشار دی‌اکسید کربن<sup>10</sup> را ارزیابی می‌کند، درحالی‌که دیدگاه عرضه، دارای‌های اکولوژیکی موجود را برای پاسخگویی به تقاضا در یک منطقه یا سیستم خاص نشان می‌دهد. بدین ترتیب، استخراج ظرفیت زیستی از ردپای اکولوژیکی منجر به ضریب ظرفیت بار می‌شود؛ بنابراین، ضریب ظرفیت بار منعکس‌کننده کیفیت

<sup>9</sup> Ecological footprint (EF)

<sup>10</sup> Emission of carbon dioxide

<sup>11</sup> Greenhouse Gases

<sup>12</sup> Green technologies

<sup>13</sup> Per capita consumption of renewable energy

<sup>14</sup> Rent of natural resources

<sup>15</sup> Group of seven countries

<sup>1</sup> Sustainable Development Goals (SDG)

<sup>2</sup> United Nations General Assembly

<sup>3</sup> Environmental resilience

<sup>4</sup> Energy Transition

<sup>5</sup> Natural resources (NR)

<sup>6</sup> Load capacity factor (LCF)

<sup>7</sup> Siche et al.

<sup>8</sup> Biological capacity

راه‌حل‌های فناوری اطلاق می‌شود که تأثیر مفیدی بر محیط‌زیست دارند، یا چالش‌های مرتبط با آلودگی را برطرف می‌کنند. مفهوم تکنولوژی سبز به عنوان پاسخی به نیاز فوری به کاهش مصرف انرژی، کاهش انتشار آلاینده‌ها، افزایش کیفیت زیست‌محیطی و تحریک توسعه یک اقتصاد سازگار با محیط‌زیست پدیدار شده است. تکنولوژی‌های سبز (تکنولوژی‌های زیست‌محیطی) همچنین شامل توسعه "محصولات سازگار با محیط‌زیست" یا کالاهایی است که از نظر زیست‌محیطی بی‌خطر و انرژی کارآمد هستند. از سوی دیگر، نوآوری تکنولوژی‌های سبز شامل تولید انرژی پاک، پذیرش سوخت‌های جایگزین و پیشرفت در فناوری‌هایی است که در مقایسه با سوخت‌های فسیلی سازگارتر با محیط‌زیست هستند [22]. بنابراین، سرمایه‌گذاری در چنین تکنولوژی‌های نوآورانه‌ای می‌تواند منجر به تولید پایدارتر و فعالیت‌های اقتصادی شود و مسیری مناسب برای دستیابی به پایداری زیست‌محیطی به‌ویژه در کشورهای نوظهور را فراهم کند. بنابراین، تأیید تکنولوژی‌های زیست‌محیطی و پایداری زیست‌محیطی در چنین کشورهایی به وضوح نیازمند اقدامات سیاستی قوی است.

اما همانطور که قبلاً بیان شد، مطالعات پیشین نتوانستند اثرات بالقوه تکنولوژی‌های سبز بر ضریب ظرفیت بار زیست‌محیطی برای کشورهای گروه هفت و سایر اقتصادها را - به‌ویژه در مطالعات داخلی - به درستی بررسی کنند. نکته قابل توجه این مطالعات این است که آن‌ها به طور مداوم سایر شاخص‌های کیفیت زیست‌محیطی مانند ردپای اکولوژیکی و انتشار کربن را در مطالعات خود اتخاذ کرده‌اند. به عنوان مثال زنگ و همکاران<sup>7</sup> (2022) [23] مطالعه‌ای را در چین برای بررسی تأثیر فناوری سبز بر کیفیت محیطی انجام دادند و دریافتند که فناوری سبز به کاهش شدت کربن کمک می‌کند. کریکالی و همکاران<sup>8</sup> (2023) [24] از اختراعات مربوط به فناوری‌های زیست‌محیطی<sup>9</sup> برای نشان دادن تأثیر آن‌ها بر ردپای اکولوژیکی در ایالات متحده استفاده کردند. در سوی دیگر، کریمی و همکاران (2023) [25] تأثیر نوآوری‌های تکنولوژیکی بر تخریب محیط‌زیست در کشورهای اتحادیه اروپا را بررسی کردند. بر اساس برآوردهای MMQR، این مطالعه اثرات بهبود محیط‌زیست را از طریق نوآوری‌های تکنولوژیکی بررسی می‌کند. در یک مطالعه مرتبط، اوچه و همکاران<sup>10</sup> (2023) [19] بررسی کردند که فناوری کنترل محیطی تنها اثرات کوتاه‌مدت بهبود کیفیت محیطی را در هند تضمین می‌کند. همچنین آووسی و همکاران<sup>11</sup> (2022) [26] استنباط کردند که پیشرفت‌های تکنولوژیکی کیفیت محیطی را در آفریقای جنوبی بهبود بخشیده است. با این حال، اوچه و همکاران (2023) [27] اظهار کردند که فناوری کنترل محیطی کیفیت محیطی را در کشورهای بریکس کاهش داده است.

همینطور، لیو و همکاران<sup>12</sup> (2022) [28] اشاره کردند که نوآوری‌های تکنولوژیکی ضریب ظرفیت بار زیست‌محیطی برزیل را افزایش داده است. دوگان و پاتا (2022) [20] نشان دادند که پیشرفت‌های تکنولوژیکی تعادل اکولوژیکی پایدار را در مورد کشورهای گروه هفت تضمین می‌کند. نی و

می‌تواند به‌طور مستقیم در طراحی و بهبود سیستم‌های انرژی پایدار و مؤثر در صنایع مختلف، به‌ویژه در زمینه‌های تولید و توزیع انرژی، مورد استفاده قرار گیرد. بدین ترتیب، با بررسی این عوامل، یک چالش ناشناخته کشف خواهد شد: تأثیر تکنولوژی‌های سبز بر ضریب ظرفیت بار. زیرا برخلاف مطالعات گذشته که اغلب این عناصر را به‌صورت مجزا مورد بررسی قرار داده‌اند، طراحی پژوهش حاضر به هم پیوستگی آن‌ها را تشخیص می‌دهد و تکنولوژی‌های سبز را به عنوان عاملی با پیامدهای غیرمنتظره برای ضریب ظرفیت بار شناسایی می‌کند. این بینش‌ها برای سیاست‌گذاران کشورهای گروه هفت - همچنین کشورهای در حال توسعه مانند کشور ایران - ارزش قابل توجهی دارد، زیرا مسیری را به سوی آینده‌ای با منابع انرژی پایدار و ایمن ترسیم می‌کند. همچنین این پژوهش با روش‌شناسی تحت عنوان رگرسیون پانل کوانتایل<sup>1</sup> به دنبال بررسی و تحلیل بهتر نتایج مربوطه خواهد بود. از این‌رو، پژوهش حاضر دارای نوآوری‌های محسوسی در زمینه موضوعی، روش‌شناسی و جامعه مورد مطالعه (به انضمام دوره زمانی) است. حال در ادامه و در بخش دوم ادبیات موضوع (مبانی نظری و پیشینه پژوهش)، در بخش سوم روش‌شناسی، در بخش چهارم تجزیه و تحلیل نتایج و در نهایت در بخش پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهادات مربوطه ارائه خواهند شد.

## 2- ادبیات موضوع

در این قسمت به بررسی مبانی نظری و نیز پیشینه پژوهش (به تفکیک مطالعات داخلی و خارجی) پرداخته خواهد شد.

### 2-1- مبانی نظری

مجموعه‌ای از مطالعات تجربی تلاش کرده‌اند تا رابطه بین پایداری محیطی<sup>2</sup> و پیش‌بینی‌کننده‌های مربوطه آن را بررسی کنند. به طور خاص، فرضیه منحنی کوزنتس محیطی<sup>3</sup> [17] مهم‌ترین پایه نظری برای پیش‌بینی یکپارچگی زیست‌محیطی است [18، 19]. در پرتو مطالعات موجود، ارتباط بین ضریب ظرفیت بار اکولوژیکی<sup>4</sup> و عوامل تعیین‌کننده آن از طریق فرضیه منحنی ظرفیت بار پیشنهادی منتسب به دوگان و پاتا<sup>5</sup> [20] ایجاد می‌شود. مانند نظریه منحنی کوزنتس محیطی، فرضیه منحنی ظرفیت بار یک رابطه U شکل بین توسعه اقتصادی و ضریب ظرفیت بار را پیشنهاد می‌کند. به طور قابل توجهی، فرضیه منحنی ظرفیت بار وضعیت پویایی را پیش‌بینی می‌کند که به موجب آن افزایش درآمد ظرفیت بار زیست‌محیطی را در بلندمدت بهبود می‌بخشد و در کوتاه‌مدت آن را بدتر می‌کند [21]. بدین ترتیب، این مطالعه اعتبار فرضیه منحنی ظرفیت بار را با تعیین تأثیر تکنولوژی‌های سبز، رشد اقتصادی، مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و رانت منابع طبیعی بر ضریب ظرفیت بار زیست‌محیطی در کشورهای گروه هفت بررسی می‌کند؛ بنابراین، در این بخش به بررسی و مرور ادبیات مربوطه در زمینه ارتباط بین متغیرهای اصلی پژوهش حاضر یعنی تکنولوژی سبز و ضریب ظرفیت بار پرداخته خواهد شد.

### 2-1-1- تکنولوژی‌های سبز و ضریب ظرفیت بار

برای دستیابی به پایداری زیست‌محیطی، پذیرش نوآوری‌های فناورانه<sup>6</sup> و تکنولوژی‌های سبز بسیار مهم است. تکنولوژی‌های سبز به آن دسته از

<sup>7</sup> Zeng et al.

<sup>8</sup> Kirikkaleli et al.

<sup>9</sup> Patents on environmental technologies (POETs)

<sup>10</sup> Uche et al.

<sup>11</sup> Awosusi et al.

<sup>12</sup> Liu et al.

<sup>1</sup> Panel Quantile regression

<sup>2</sup> Environmental sustainability

<sup>3</sup> Environmental Kuznets curve hypothesis

<sup>4</sup> Ecological load capacity factor

<sup>5</sup> Dogan and Pata

<sup>6</sup> Technological innovations

ضریب ظرفیت بار پرداخته‌اند. برای این منظور ده کشور (آلمان، اتریش، دانمارک، فنلاند، فرانسه، هلند، اسپانیا، ایتالیا، سوئد و سوئیس) در بازه سالیانه، 1990 تا 2019 انتخاب شدند. همچنین از برآوردگرهای CCEMG و DCCE برای تخمین ضرایب بلندمدت استفاده شد. نتایج این مهم را نشان می‌دهد که: (1) فناوری‌های زیست‌محیطی ضریب ظرفیت بار را برای اتریش افزایش می‌دهد و کیفیت محیطی را بهبود می‌بخشد. (2) جهانی شدن ضریب ظرفیت بار را برای اتریش کاهش می‌دهد و (3) متغیر کیفیت سازمانی باعث کاهش ضریب ظرفیت بار برای اتریش و افزایش ضریب ظرفیت بار برای آلمان و فرانسه می‌شود.

اوجه و نگاه (2024) [11] در مطالعه‌ای به بررسی ارتباط بین فناوری‌های سبز، انتقال انرژی، رانت منابع و ضریب ظرفیت بار در آفریقای جنوبی مبادرت ورزیده‌اند. برای این منظور، از مجموعه‌های داده‌های سالانه 1970 تا 2018 برای ارزیابی تجربی استفاده کردند. نتایج تخمین‌های تأخیر توزیعی خودرگرسیون<sup>۱۶</sup> و کوانتایل ARDL نشان داد که فناوری‌های سبز به طور قابل توجهی ضریب ظرفیت بار را تنها در چندک بالایی بهبود بخشید، اما پس از آن بی اثر ماند. همچنین، ضریب ظرفیت بار به طور قابل توجهی در برخی از چندک‌ها پس از گذار به انرژی پاک بهبود یافته است. همچنین رانت منابع ضریب ظرفیت بار را تا حدی در چندک‌های بالا و میانی ارتقاء داد اما نسبت به چندک پایین توزیع‌ها بی اثر بود.

فانگ و همکاران<sup>۱۷</sup> (2024) [38] در پژوهشی به بررسی نقش منابع طبیعی و ریسک سیاسی<sup>۱۸</sup> بر ضریب ظرفیت بار در چارچوب فرضیه LCC پرداخته‌اند. این مطالعه از برآوردگرهای ADRL برای تجزیه و تحلیل داده‌ها بین سال‌های 1984 تا 2018 استفاده کرد. نتیجه برآوردگر نشان می‌دهد که منابع طبیعی، ریسک سیاسی و شهرنشینی ضریب ظرفیت بار را کاهش می‌دهند.

محمد و همکاران<sup>۱۹</sup> (2023) [39] در مطالعه‌ای نقش نوآوری فناوری سبز را در پایداری زیست‌محیطی با استفاده از "ضریب ظرفیت بار" مورد بررسی قرار داده‌اند. این مطالعه از داده‌های سالانه 2000 تا 2018 برای اقتصادهای نوظهور: برزیل، چین، هند، اندونزی، ترکیه و مکزیک استفاده کرد. روش‌های تجزیه و تحلیل شامل مدل تأخیرهای توزیع شده خودرگرسیون تقویت شده مقطعی<sup>۲۰</sup>، همراه با اعتبارسنجی توسط گروه میانگین همبسته مشترک<sup>۲۱</sup> و گروه میانگین تقویت شده<sup>۲۲</sup> بود. نتایج این مهم را نشان می‌دهد که نوآوری‌های فناوری سبز تأثیر مثبتی بر پایداری محیط‌زیست دارند.

## 2-2-2 مطالعات داخلی

معین الدینی و همکاران (2024) [40] در مطالعه‌ای به بررسی تأثیر رانت منابع طبیعی بر کیفیت محیط‌زیست در منتخبی از کشورهای مناس<sup>۲۳</sup>، طی

همکاران<sup>۱</sup> (2022) [5] ادعاهای مشابهی را بیان کردند. بر این اساس، نشان دادند که نوآوری تکنولوژیکی، ضریب ظرفیت بار را در اقتصادهای مصرف‌کننده منابع افزایش می‌دهد. به همین ترتیب، کیهومبو و همکاران<sup>۲</sup> (2021) [29] و یانگ و همکاران<sup>۳</sup> (2021) [30] بر اثرات مثبت کیفیت زیست‌محیطی نوآوری‌های فناوری در غرب آفریقا و اقتصادهای بریکس<sup>۴</sup> تأکید کردند. با این حال، دستک و مانگا<sup>۵</sup> (2021) [31] استدلال کردند که انتشار فناوری باعث افزایش ردپای اکولوژیکی و کاهش انتشار کربن در بازارهای بزرگ در حال ظهور می‌شود.

پاتا و همکاران (2023) [9] مجدداً تأکید کردند که نوآوری‌های فناوری تنها در کاهش انتشار کربن مؤثر است، در حالی که ضریب ظرفیت بار را در آلمان به حداقل می‌رساند. اما مطالعات متضاد بیش‌تری در اکثر مطالعات قبلی مربوط به تأثیر نوآوری‌های تکنولوژیکی و تکنولوژی‌های سبز بر کیفیت محیطی مشهود است. به عنوان مثال، آدایو<sup>۶</sup> و کریکالی (2021) [32]، سو و همکاران<sup>۷</sup> (2021) [33]، عثمان و هامار<sup>۸</sup> (2021) [34] و روت و همکاران<sup>۹</sup> (2022) [35] مطرح کردند که نوآوری‌های فناوری نتوانستند ردپای زیست‌محیطی را در ژاپن، برزیل، کشورهای عضو همکاری اقتصادی آسیا و اقیانوسیه<sup>۱۰</sup> و کشورهای بریکس بهبود بخشند. به طور خلاصه، مطالعات گذشته نتوانستند یک زمینه مشترک در مورد نوآوری‌های تکنولوژیکی و تکنولوژی‌های سبز - پیوند کیفیت محیطی - ایجاد کنند. به همین ترتیب، تنها تعداد کمی از مطالعات گذشته ضریب ظرفیت بار را در نظر گرفتند. در انتها با توجه به بررسی مبانی نظری و ادبیات مربوطه، فرضیه پژوهش حاضر عبارت است از: «تکنولوژی‌های سبز بر ضریب ظرفیت بار اثر مثبت و معناداری دارد».

## 2-2-2 پیشینه پژوهش

در این قسمت به بررسی پیشینه مطالعات تجربی به تفکیک مطالعات خارجی و داخلی بر اساس به‌روزترین و منطبق‌ترین مطالعات مربوطه پرداخته خواهد شد.

## 2-2-1 مطالعات خارجی

وومیک و همکاران<sup>۱۱</sup> (2024) [36] در مطالعه‌ای به بررسی تعامل بین ریسک ژئوپلیتیکی<sup>۱۲</sup>، منابع طبیعی و عوامل ظرفیت بار در کشورهای بریکس با استفاده از روش اثرات ثابت<sup>۱۳</sup>، اثرات تصادفی<sup>۱۴</sup> و رگرسیون کوانتایل، بین بازه زمانی 1990 تا 2019 پرداخته‌اند. نتایج گویای آن است که به ازای هر 1٪ افزایش در پذیرش فناوری سبز، ضریب ظرفیت بار کاهش می‌یابد. همچنین ریسک ژئوپلیتیکی، رشد اقتصادی، انرژی‌های تجدیدپذیر و رانت منابع طبیعی نسبت ظرفیت زیستی به ردپای اکولوژیکی را افزایش می‌دهد.

آیدین و همکاران<sup>۱۵</sup> (2024) [37] در پژوهشی به بررسی تأثیر فناوری‌های زیست‌محیطی، کیفیت سازمانی، جهانی شدن و رشد اقتصادی بر

<sup>13</sup> Fixed effects

<sup>14</sup> Random effects

<sup>15</sup> Aydin et al.

<sup>16</sup> Autoregressive distributed lag estimates

<sup>17</sup> Fang et al.

<sup>18</sup> Political risk

<sup>19</sup> Muhammad et al.

<sup>20</sup> The cross-section augmented autoregressive distributed lags (CS-ARDL) model

<sup>21</sup> The common correlated mean group (CCEMG)

<sup>22</sup> Augmented mean group (AMG)

<sup>23</sup> Mena countries

<sup>1</sup> Ni et al.

<sup>2</sup> Kihombo et al.

<sup>3</sup> Yang et al.

<sup>4</sup> BRICS economies

<sup>5</sup> Destek and Manga

<sup>6</sup> Adebayo

<sup>7</sup> Su et al.

<sup>8</sup> Usman and Hammar

<sup>9</sup> Rout et al.

<sup>10</sup> Member countries of the Asia-Pacific Economic Cooperation

<sup>11</sup> Youmik et al.

<sup>12</sup> Geopolitical risk

نویسنده و سال	مدل مورد مطالعه	جامعه مورد مطالعه	سال مورد مطالعه
آیدین و همکاران (2024) [37]	از برآوردگرهای DCCE و CCEMG برای تخمین ضرایب بلندمدت استفاده شده است.	ده کشور (آلمان، اتریش، دانمارک، فنلاند، فرانسه، هلند، اسپانیا، ایتالیا، سوئد و سوئیس)	بازه سالیانه 1990 تا 2019
اوجه و نگیه (2024) [11]	تأخیر توزیعی خودرگرسیون و کوانتایل ARDL مدل تأخیرهای توزیع شده خودرگرسیون تقویت شده مقطعی، همراه با اعتبارسنجی توسط گروه میانگین همبسته مشترک و گروه میانگین تقویت شده بود.	آفریقای جنوبی	مجموعه‌های داده‌های سالانه 1970 تا 2018
محمد و همکاران (2023) [39]	اعتبارسنجی توسط گروه میانگین همبسته مشترک و گروه میانگین تقویت شده بود.	نوظهور: برزیل، چین، هند، اندونزی، ترکیه و مکزیک	داده‌های سالانه 2000 تا 2018
معین الدینی و همکاران (2024) [40]	رهیافت داده‌های پانلی	منتخبی از کشورهای منا	سال‌های 1994 تا 2018

### 3- روش‌شناسی پژوهش

رگرسیون پانل کوانتایل نوعی تحلیل رگرسیونی است که در اقتصادسنجی استفاده می‌شود. درحالی‌که روش حداقل مربعات معمولی<sup>5</sup> (OLS) میانگین شرطی متغیر پاسخ را در بین مقادیر متغیرهای پیش‌بینی کننده تخمین می‌زند، رگرسیون پانل کوانتایل متغیر پاسخ را تخمین می‌زند. همچنین گسترشی از رگرسیون خطی<sup>6</sup> است که در مواقعی که شرایط رگرسیون خطی برآورده نمی‌شود؛ استفاده می‌شود. این رگرسیون دارای دو مزیت است: (1) هیچ فرضی در مورد توزیع متغیر هدف ایجاد نمی‌کند، و (2) این روش حساسیت کم‌تر نسبت به داده‌های پرت و نرمال نبودن متغیرها دارد [43]. همچنین رگرسیون کوانتایل این امکان را می‌دهد که اثرات متغیرها را نه فقط در مرکز توزیع (میانگین) بلکه در نقاط مختلف توزیع، مانند کوانتایل‌های پایین (مانند ۱۰٪ پایین) یا بالا (مانند ۹۰٪ بالا) ارزیابی شوند. این روش به‌ویژه در برابر داده‌های پرت یا مقادیر غیرعادی<sup>7</sup> مقاوم است. به دلیل آن‌که به توزیع داده‌ها در کوانتایل‌های مختلف توجه می‌کند، این نوع داده‌ها تأثیر زیادی بر نتایج نخواهد داشت. رگرسیون کوانتایل می‌تواند توزیع‌های غیرنرمال و نامتقارن را بهتر مدل‌سازی کند، به‌ویژه وقتی که داده‌ها از یک توزیع همگن تبعیت نمی‌کنند. بدین ترتیب، این روش همچنین به ارائه اطلاعات دقیق‌تر در مورد روندهای مختلف توزیع داده‌ها کمک می‌کند. این ویژگی می‌تواند به شناسایی رفتارهای

سال‌های 1994 تا 2018 پرداخته‌اند. بدین منظور از رهیافت داده‌های پانلی<sup>1</sup> استفاده شده است. نتایج حاصله نشان داد که رانت منابع طبیعی، سرمایه انسانی<sup>2</sup>، مصرف انرژی، شاخص دموکراسی<sup>3</sup>، شهرنشینی و رشد اقتصادی تأثیر مثبت و نابرابری درآمد تأثیر منفی بر ردپای اکولوژیکی دارد.

عبدالهی و قادری (2023) [41] در پژوهشی به بررسی ارتباط بین رشد اقتصادی، سرمایه انسانی، منابع طبیعی و ردپای اکولوژیکی برای دوره 1988 تا 2021 در ایران با استفاده از روش ARDL پرداخته‌اند. نتیجه‌گیری‌ها نشان می‌دهد که سرمایه انسانی، رشد اقتصادی و منابع طبیعی دارای تأثیر مستقیم بر ردپای اکولوژیکی هستند.

پارساشریف و همکاران (2021) [42] در مطالعه‌ای به بررسی رابطه بین ردپای اکولوژیکی و متغیرهای تولید ناخالص داخلی، مصرف انرژی، بازبودن تجارت و توسعه مالی<sup>4</sup> به کمک روش پانل خودتوضیح برداری با وقفه‌های گسترده<sup>5</sup>، در بازه زمانی 1992 تا 2013، برای کشورهای منتخب عضو آسیا و اروپا پرداخته‌اند. نتایج حاصله این مهم را نشان می‌دهد که بین ردپای اکولوژیکی و متغیرهای مصرف انرژی، توسعه مالی و تولید ناخالص داخلی رابطه مثبت و بین ردپای اکولوژیکی و متغیرهای بازبودن تجارت و توان دوم تولید ناخالص داخلی رابطه منفی برقرار است.

بنابراین، با در نظر داشتن مطالعات تجربی و پیشینه پژوهش مذکور، می‌توان به این مهم دست‌یافت که اگرچه تحقیقات پراکنده‌ای در مورد ارتباط بین تکنولوژی‌های سبز و ضریب ظرفیت بار انجام شده است (مطابق جدول 1)، اما کم‌تر مطالعه‌ای به بررسی تأثیر تکنولوژی‌های سبز بر ضریب ظرفیت بار در کشورهای گروه هفت با مدل‌سازی اقتصادسنجی رگرسیون پانل کوانتایل پرداخته‌اند. شایان‌ذکر است که اگرچه مطالعه آیدین و همکاران (2024) و اوجه و نگیه (2024) به بررسی تأثیر فناوری‌های سبز (فناوری‌های زیست‌محیطی) بر ضریب ظرفیت بار پرداخته‌اند؛ اما این متغیرها را با مدل‌سازی اقتصادسنجی پانل کوانتایل و در گروه کشورهای گروه-7 و با دوره زمانی 2000 الی 2020 بررسی نکرده‌اند. بنابراین، پژوهش حاضر به دنبال پرکردن شکاف‌های تجربی مربوطه است. بدین ترتیب، پژوهش حاضر دارای نوآوری مختص به خود است. در بخش بعدی به تصریح مدل و متغیرهای مورد استفاده در پژوهش حاضر پرداخته شده است.

#### جدول 1 خلاصه‌ای از مطالعات مورد بررسی

نویسنده و سال	مدل مورد مطالعه	جامعه مورد مطالعه	سال مورد مطالعه
وومیک و همکاران (2024) [36]	روش اثرات ثابت، اثرات تصادفی و رگرسیون کوانتایل	کشورهای بریکس	بازه زمانی 1990 تا 2019

<sup>5</sup> A self-explanatory vector panel method with extended intervals

<sup>6</sup> Ordinary least squares method

<sup>7</sup> Linear regression

<sup>8</sup> Outliers

<sup>1</sup> Panel data approach

<sup>2</sup> Human Capital

<sup>3</sup> Democracy index

<sup>4</sup> Financial development

کنترلی (رانت منابع طبیعی) بوده و نیز  $U_{it}$  جزء خطا در مدل است. در جدول 2 به تعریف متغیرهای مورد استفاده و نیز منبع هر کدام پرداخته شده است.

جدول 2 متغیرهای مورد استفاده در مدل<sup>1</sup>

متغیر	نام اختصاری	توضیح	نوع	انتظار از رابطه	منبع
ضریب ظرفیت بار	LNCF	ضریب ظرفیت بار به عنوان نسبت ظرفیت زیستی به رد پای زیست محیطی که در هکتارهای جهانی بیان شده است، محاسبه می شود.	متغیر وابسته		شبکه جهانی رد پای <sup>2</sup> [45]
تکنولوژی های سبز	LNGT	تعداد اختراعات زیست محیطی، با ارزش کسری کشور	متغیر مستقل	+	سازمان همکاری اقتصادی و توسعه <sup>3</sup> [46]
تولید ناخالص داخلی	LNGDP	تولید ناخالص داخلی (دلار فعلی آمریکا)	متغیر کنترلی	+	بانک جهانی <sup>4</sup> [47]
مصرف سرانه انرژی های تجدیدپذیر	LNREN	بر حسب کیلووات ساعت انرژی اولیه برای هر نفر	متغیر کنترلی	+	پایگاه جهان ما در داده <sup>5</sup> [48]
رانت منابع طبیعی	LNNRP	کل اجاره منابع طبیعی (% تولید ناخالص داخلی)	متغیر کنترلی	+	بانک جهانی [49]

#### 4- تجزیه و تحلیل یافته ها

به منظور بررسی آثار تکنولوژی های سبز بر ضریب ظرفیت بار در کشورهای گروه 7 (G7) در بازه زمانی سالانه 2000 الی 2020، آزمون هایی به قرار شکل (1) انجام شده است. آمار توصیفی، آزمون لیمر (آزمون چاو)، آزمون هاسمن، در گام بعد آزمون نرمال بودن متغیر وابسته (اگرچه که مدل این پژوهش به نرمال نبودن داده ها مقاوم است)، آزمون وابستگی مقطعی، آزمون ریشه واحد نسل دوم (CIPS)، آزمون هم انباشتگی و سترلوند<sup>6</sup> و در گام انتهایی به تخمین مدل پانل کوانتایل پرداخته شده است که نتایج این آزمون ها در ادامه به صورت مبسوط تری ارائه و ارزیابی خواهد شد. شایان ذکر است که آزمون های ذکر شده در نرم افزار 12 eviews مورد بررسی قرار گرفته اند.

خاص در داده ها که در رگرسیون معمولی از دست می روند، کمک کند. اما رگرسیون کوانتایل به محاسبات بیش تری نسبت به رگرسیون معمولی نیاز دارد. این مهم به ویژه در مورد داده های بزرگ که نیاز به حل مسائل بهینه سازی پیچیده دارند، می تواند مشکل ساز باشد. انتخاب کوانتایل مناسب می تواند پیچیده باشد و اثرات مهمی بر نتایج مدل سازی خواهد داشت. این انتخاب بستگی به هدف خاص تحلیل دارد و ممکن است در برخی مواقع دقت مدل را کاهش دهد. همچنین برخی از کوانتایل ها ممکن است نتایج دشواری برای تفسیر داشته باشند، به ویژه در زمانی که داده ها به طور شدید نامتقارن هستند یا توزیع داده ها خیلی پیچیده است. با این حال، رگرسیون پانل کوانتایل زمانی سودمند است که توابع چندک شرطی مورد توجه باشند [44].

بدین ترتیب، رگرسیون پانل کوانتایل تصویر کامل تری از توزیع شرطی  $Y$  را با توجه به  $X=x$  زمانی که هم چندک های پایین و بالا یا همه چندک ها مورد توجه هستند، ارائه می دهد.

تعریف کامل از رگرسیون پانل کوانتایل به صورت معادله 1 تصریح می شود:

$$y_i = x_i \beta_\tau + u_{ti}, \quad 0 < \tau < 1 \quad (1)$$

همچنین معادله 2، تابع کوانتایل شرطی متغیر وابسته ( $y$ ) را به شرط متغیرهای توضیحی ( $x$ ) نشان می دهد.

$$Quant_\tau(y_i | x_i) = x_i \beta_\tau \quad (2)$$

مطابق با معادله 3، شرط زیر برای تابع کوانتایل شرطی ذکر شده برقرار است.

$$Quant_\tau(u_{ti} | x_i) = 0 \quad (3)$$

در رگرسیون پانل کوانتایل، اثرات متغیرهای قابل مشاهده بر روی توزیع شرطی (معادله 2)، از طریق فرایند حداقل کردن قدرمطلق خطاها ( $u$ ) تخمین زده می شود. بدین ترتیب، مطابق معادله 4، برای برآورد ضرایب مدل از حداقل سازی قدرمطلق خطاها با وزن دهی مناسب استفاده می شود.

$$Min \sum \tau [|y_i - x'_i \beta| + \sum (1 - \tau) |y_i - x'_i \beta|] \quad (4)$$

$$y_i > x'_i \beta \quad y_i < x'_i \beta$$

بدین ترتیب، معادله 4 پاسخ مدل را به وسیله تکنیک برنامه ریزی خطی ارائه می دهد. از این رو، با در نظر داشتن مبانی نظری و تجربی از جمله مطالعات (وومیک و همکاران، 2024؛ محمد و همکاران؛ 2023؛ فانگ و همکاران، 2024) و درک بهینه از روش اقتصادسنجی رگرسیون پانل کوانتایل، مدل تصریح شده در پژوهش حاضر به صورت معادله 5 است:

$$CF_{it} = f(GT_{it}, GDP_{it}, REN_{it}, NRR_{it}, U_{it}) \quad (5)$$

در معادله 5،  $CF_{it}$  بیانگر متغیر وابسته (ضریب ظرفیت بار)،  $GT_{it}$  متغیر مستقل (تکنولوژی های سبز)،  $GDP_{it}$  متغیر کنترلی (تولید ناخالص داخلی)،  $REN_{it}$  متغیر کنترلی (مصرف سرانه انرژی های تجدیدپذیر)،  $NRR_{it}$  متغیر

<sup>1</sup> شایان ذکر است که در جریان مطالعه حاضر از متغیرهای مورد بررسی لگاریتم گیری شده است؛ چراکه لگاریتم گیری موجب کاهش چولگی مثبت داده ها شده، از سویی دیگر، اثر داده های پرت را کم کرده و همچنین به برقراری فروض کلاسیک کمک می کند.

<sup>2</sup> Global Footprint Network

<sup>3</sup> Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)

<sup>4</sup> World bank

<sup>5</sup> Our world in data

<sup>6</sup> Westerlund cointegration test

مقدار آماره F	7947/684	*0/000
مقدار آماره خی دو	861/800	*0/000

(علامت ستاره نشان‌دهنده معناداری در سطح (0.05) است).

مطابق جدول 5، اگر نتایج آزمون F لیمر تأییدکننده مدل با روش پانل (روش داده‌های تابلویی) بود؛ سپس آزمون هاسمن برآورد می‌شود. آزمون هاسمن بررسی می‌کند که معادله می‌بایست با اثرات ثابت برآورد گردد یا اثرات تصادفی و نتایج این آزمون مؤید مدل با اثرات ثابت است؛ زیرا مقدار ارزش احتمال از مقدار بحرانی (0/05) کم‌تر است؛ بنابراین، فرضیه H0 (اثرات تصادفی) رد می‌شود.

آماره آزمون	ارزش احتمال
20/387	*0/000

(علامت ستاره نشان‌دهنده معناداری در سطح (0.05) است).

مطابق جدول 6، یکی از آزمون‌های تشخیصی؛ آزمون نرمال بودن متغیر وابسته است. رگرسیون پانل کوانتایل گسترشی از رگرسیون خطی است که در مواقعی که شرایط رگرسیون خطی برآورده نمی‌شود؛ استفاده می‌شود. یکی از مزیت‌های رگرسیون پانل کوانتایل این است که در برابر نقاط پرت و نرمال نبودن داده‌ها قوی‌تر هستند [44]. نتایج آزمون فوق هم تأییدکننده نرمال نبودن متغیر وابسته (ضریب ظرفیت بار) است؛ زیرا مقدار ارزش احتمال آن کم‌تر از مقدار بحرانی (0/05) است و در نتیجه فرضیه H0 (نرمال بودن) رد می‌شود. بدین ترتیب، به دلیل نرمال نبودن متغیر وابسته، از مدل کوانتایل استفاده می‌شود؛ زیرا نسبت به رگرسیون‌های مرسوم (مانند OLS) نتایج قابل‌اطمینان‌تری ارائه می‌دهد؛ چراکه فرض خطی کلاسیک‌ها (مثل آزمون نرمال بودن) تأیید نمی‌شود.

جدول 6 نتایج آزمون نرمال بودن متغیر وابسته (ضریب ظرفیت بار)

شرح	مقدار
ارزش احتمال	*0/000

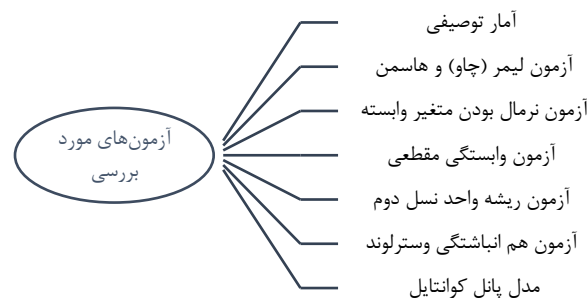
(علامت ستاره نشان‌دهنده معناداری در سطح (0.05) است).

مطابق جدول 7، برای بررسی وجود وابستگی مقطعی در این پژوهش از آزمون CD پسران (2004) استفاده شده است؛ زیرا این آزمون در نمونه‌های کوچک دارای نتایج مطلوب‌تری است. نتایج آزمون فوق نشان‌دهنده این وابستگی است؛ زیرا مقدار ارزش احتمال کوچک‌تر از مقدار بحرانی (0/05) بوده و در نتیجه فرضیه H0 که نشان‌دهنده عدم وابستگی است، رد می‌شود.

شرح	مقدار
آزمون پسران (CD)	15/716
مقدار سطح احتمال	*0/000

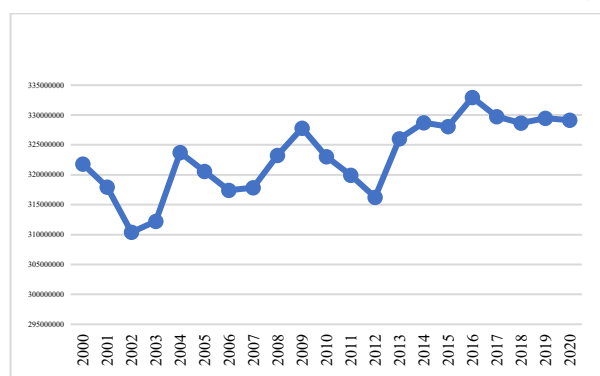
(علامت ستاره نشان‌دهنده معناداری در سطح (0.05) است).

بعد از تأیید وجود وابستگی مقطعی باید از آزمون ریشه واحد نسل دوم (CIPS) پسران (2007) برای بررسی وجود ریشه واحد در مدل استفاده کرد؛



شکل 1 مراحل انجام پژوهش حاضر

همچنین در شکل (2) میانگین متغیر وابسته در کشورهای مورد مطالعه نشان داده شده است. همانطور که نشان داده شده است در سال‌های اخیر این متغیر دارای روندی نسبتاً با ثبات بوده است که نشان می‌دهد دولت‌ها در کشورهای مورد مطالعه تلاش‌های مهمی را در راستای بهبود این متغیر انجام داده‌اند.



شکل 2 میانگین متغیر وابسته در کشورهای مورد مطالعه

#### 1-4- نتایج برآورد آمار توصیفی

بر اساس اطلاعات موجود در جدول 3، با در نظر گرفتن تعداد کشورهای مورد مطالعه و نیز تعداد سال‌های بررسی شده، تصمیم گرفته شده است که نمودارهای مربوط به هر یک از متغیرها در این گزارش قرار نگیرند و تنها به گزارش آمار توصیفی آن‌ها پرداخته شود.

جدول 3 نتایج آمار توصیفی

نام متغیرها	میانگین	بیش‌ترین	کم‌ترین	انحراف استاندارد
CF	3/23e+08	1/28e+09	55737549	3/93e+08
GT	17005/480	58950/700	1821/700	17500/310
GDP	4/59e+12	2/14e+13	7/39e+11	4/82e+12
REN	7901/066	35386/590	494/152	10205/590
NRP	0/662	5/564	0/012	1/076

#### 2-4- نتایج برآورد آزمون‌های استنباطی

مطابق جدول 4، نتایج آزمون F لیمر تأیید می‌کند که بین دو روش رگرسیون تلفیقی و پانل، باید از روش پانل (روش داده‌های تابلویی) استفاده کرد؛ زیرا مقدار ارزش احتمال از مقدار بحرانی (0/05) کوچک‌تر است و بنابراین فرضیه H0 (رگرسیون تلفیقی) رد می‌شود.

جدول 4 نتایج برآورد آزمون F لیمر

آماره آزمون	مقدار آماره آزمون	ارزش احتمال
-------------	-------------------	-------------

می‌دهد. بنابراین، تکنولوژی‌های سبز مزایای زیست‌محیطی را ارائه می‌کنند، این یافته‌ها بر نیاز به راه‌حل‌های نوآورانه، مانند بهبود سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی و بهبود مدیریت شبکه، برای بهبود اثرات مطلوب LCF تأکید می‌کنند (محمد و همکاران، 2023).

**تولید ناخالص داخلی (LNGDP)** در همه دهک‌ها دارای اثری مثبت بر لگاریتم ضریب ظرفیت بار است و از دهک اول تا ششم دارای معنی‌داری آماری است. بدین ترتیب، با فرض ثبات سایر عوامل؛ یک درصد افزایش در LNGDP، لگاریتم ضریب ظرفیت بار را بین 0/558 تا 1/169 درصد افزایش می‌دهد. بنابراین، افزایش تولید ناخالص داخلی به نفع محیط‌زیست است، زیرا افزایش منابع مالی برای سرمایه‌گذاری در سیستم‌های انتقال و توزیع انرژی با افزایش تولید ناخالص داخلی در دسترس قرار می‌گیرد و این افزایش ظرفیت را برای پاسخگویی به نیازهای انرژی که برای بهبود LCF ضروری است، افزایش می‌دهد. همچنین، تولید ناخالص داخلی بالاتر اغلب با پیشرفت‌های فناوری مطابقت دارد که ادغام فناوری‌های انرژی مدرن و راه‌حل‌های شبکه هوشمند را تسهیل می‌کند که LCF را بهینه می‌کند و استفاده کارآمد از انرژی را تضمین می‌کند. در نهایت، یک اقتصاد در حال رشد، نوآوری‌ها و ابتکارات سیاستی را تقویت می‌کند که انرژی پایدار را ترویج می‌کند، بنابراین، به طور هم‌افزایی به افزایش LCF کمک می‌کند (وومیک و همکاران، 2024).

**مصرف سرانه انرژی‌های تجدیدپذیر (LNREN)** در همه دهک‌ها دارای اثری مثبت و معنادار بر لگاریتم ضریب ظرفیت بار است. بدین ترتیب، با فرض ثبات سایر عوامل؛ یک درصد افزایش در LNREN، لگاریتم ضریب ظرفیت بار را بین 0/480 تا 0/651 درصد افزایش می‌دهد. بنابراین، تناوب ذاتی در منابع تجدیدپذیر، سرمایه‌گذاری در فناوری‌های پیشرفته ذخیره‌سازی انرژی را ایجاد می‌کند، همچنین تأمین انرژی قابل اعتمادتر و پایدارتر را تقویت می‌کند و با کاهش نوسانات عرضه، LCF را افزایش می‌دهد. از سوی دیگر؛ ادغام منابع تجدیدپذیر مانند انرژی بادی، خورشیدی و برق آبی، ترکیب انرژی را متنوع می‌کند. این انعطاف‌پذیری در دسترس بودن انرژی را تضمین می‌کند و LCF را بیش‌تر می‌کند. در نهایت، انرژی‌های تجدیدپذیر توسعه پایدار، سیاست‌ها و سرمایه‌گذاری‌ها را برای نوسازی زیرساخت‌های انرژی و در نهایت تقویت LCF ترویج می‌کند (گل اوغلو و همکاران<sup>۴</sup>، 2023، [8]؛ خو و همکاران<sup>۵</sup>، 2019، [53]؛ محمود و همکاران<sup>۶</sup>، 2023، [52]؛ یو و همکاران<sup>۵</sup>، 2019، [53]؛ آلولو و همکاران<sup>۶</sup>، 2019، [54]).

**رانت منابع طبیعی (LNNRP)** در همه دهک‌ها دارای اثری مثبت بر لگاریتم ضریب ظرفیت بار است و به جز دهک اول بقیه دهک‌ها دارای معنی‌داری آماری هستند. بدین ترتیب، با فرض ثبات سایر عوامل؛ یک درصد افزایش در LNNRP، لگاریتم ضریب ظرفیت بار را بین 0/144 تا 0/331 درصد افزایش می‌دهد. بنابراین، درآمد حاصل از رانت منابع طبیعی، بودجه اضافی را برای توسعه زیرساخت‌ها، تولید انرژی پاک‌تر و نوسازی سیستم‌های تولید و توزیع برق فراهم می‌کند. همچنین، منابع مالی ناشی از رانت منابع طبیعی می‌تواند به سمت فناوری‌های پیشرفته ذخیره‌سازی انرژی هدایت شود

بر اساس مطالعات پیشین همچون بالتاجی<sup>۱</sup> (2008) [50]، لازمه کارایی آزمون مانایی این است که تعداد مقاطع (N) نسبت به زمان (T) کم‌تر باشد و همچنین باید بین 25 - 250 مشاهده برای مقطع (بعد زمانی) وجود داشته باشد و چون در این پژوهش تعداد مقاطع نسبت به زمان کم‌تر است (7 مقطع و 21 سال زمان)؛ پس به برآورد آزمون ریشه واحد نسل دوم پرداخته می‌شود. نتایج این آزمون به‌قرار جدول 8 است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، فقط متغیر CF در سطح مانا است و بدین ترتیب، فرضیه H0 (مبنی بر وجود ریشه واحد) رد می‌شود؛ بدین ترتیب، باید از سایر متغیرها یک‌بار تفاضل‌گیری شود تا مانا شوند.

**جدول 8** آزمون ریشه واحد نسل دوم (CIPS)

متغیرها	آماره آزمون ریشه واحد (CIPS)	
	با عرض از مبدأ	با عرض از مبدأ و روند
CF	* - 3/597	* - 4/748
GT	1/386	- 3/754
GDP	1/204	- 3/241
REN	2/077	- 6/138
NRP	1/028	- 4/756

(علامت ستاره نشان‌دهنده معناداری در سطح (0.05) است؛ و علامت (\*\*\*) نشان‌دهنده مقدار آماره آزمون بعد از تفاضل‌گیری است).

همچنین از آنجایی که آزمون ریشه واحد نسل دوم در این پژوهش بررسی می‌شود؛ بدین ترتیب، باید آزمون هم‌انباشتگی وسترلوند مطابق جدول 9 انجام شود. نتایج این آزمون مؤید وجود هم‌انباشتگی (وجود رابطه بلندمدت بین متغیرهای موردبررسی) است؛ زیرا مقدار ارزش احتمال کوچک‌تر از مقدار بحرانی (0/05) بوده و در نتیجه فرضیه H0 (عدم ارتباط بلندمدت) رد می‌شود و بدین ترتیب، متغیرهای این پژوهش دارای رابطه بلندمدت هستند.

**جدول 9** نتایج آزمون هم‌انباشتگی وسترلوند

آماره آزمون	ارزش احتمال
2/891	*0/001

(علامت ستاره نشان‌دهنده معناداری در سطح (0.05) است).

بدین ترتیب، بعد از بررسی آزمون‌های پیش از تخمین مدل کوانتایل و بررسی آن‌ها، به تخمین مدل کوانتایل پرداخته شده و نتایج حاصله در جدول 10 (در قسمت پیوست) ارائه شده است. باتوجه به جدول 10 (پیوست) نتایج ذیل به دست آمده است:

**تکنولوژی‌های سبز (LNGT)** به جز دهک اول و پنجم، در بقیه دهک‌ها دارای اثری مثبت بر لگاریتم ضریب ظرفیت بار است و فقط دهک نهم دارای معنی‌داری آماری است. بدین ترتیب، با فرض ثبات سایر عوامل؛ یک درصد افزایش در LNGT، لگاریتم ضریب ظرفیت بار را 0/671 درصد افزایش

<sup>4</sup> Mehmood et al.

<sup>5</sup> Yao et al.

<sup>6</sup> Alola et al.

<sup>1</sup> Baltagi

<sup>2</sup> Guloglu et al.

<sup>3</sup> Xu et al.

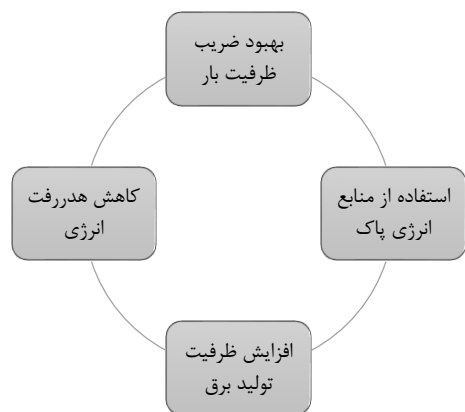
در مقیاس کوچک و مقیاس بزرگ، توانسته‌اند بار اضافی در شبکه‌های برق را مدیریت کرده و در ساعات اوج مصرف انرژی، این ظرفیت را تأمین کنند. همچنین، استفاده از سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی مانند باتری‌های پیشرفته و شبکه‌های هوشمند، امکان مدیریت بار و پاسخگویی سریع به تغییرات مصرف انرژی را فراهم کرده است.

ضریب ظرفیت بار به‌عنوان یک شاخص از کارایی سیستم‌های انرژی، نشان‌دهنده نسبت تولید انرژی واقعی به ظرفیت کل سیستم در یک بازه زمانی خاص است. با استفاده از تکنولوژی‌های سبز، این ضریب بهبود می‌یابد، زیرا انرژی تولید شده از منابع تجدیدپذیر به‌صورت مؤثری در زمان‌هایی که تقاضا بالا است، وارد شبکه می‌شود. همچنین، مدیریت دقیق‌تر تقاضا و عرضه انرژی از طریق سیستم‌های هوشمند و پیشرفته، می‌تواند مانع از ایجاد بار اضافی بر شبکه‌ها شده و کارایی سیستم را افزایش دهد.

در نتیجه، یکی از دستاوردهای مهم تکنولوژی سبز، بهبود مدیریت ظرفیت بار و کاهش هدررفت انرژی است. این تکنولوژی‌ها به‌ویژه در مواجهه با چالش‌هایی مانند تغییرات اقلیمی و نیاز به کاهش آلاینده‌ها، راهکارهایی مؤثر و پایدار برای بهینه‌سازی استفاده از منابع انرژی ارائه می‌دهند. در کنار آن، استفاده از منابع تجدیدپذیر باعث کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و افزایش امنیت انرژی می‌شود.

به‌طور کلی، استفاده از تکنولوژی‌های سبز نه تنها به بهبود ظرفیت بار شبکه‌های انرژی کمک می‌کند، بلکه تأثیرات مثبتی در زمینه‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی نیز به همراه دارد. به‌ویژه در شرایطی که بحران تغییرات اقلیمی و بحران انرژی در سطح جهانی مطرح است، بهره‌گیری از این تکنولوژی‌ها ضروری به نظر می‌رسد.

پشتیبانی از این فناوری‌ها و ارتقاء زیرساخت‌ها برای استفاده بهینه از انرژی‌های تجدیدپذیر، می‌تواند به‌عنوان راهکاری مؤثر در جهت بهبود ظرفیت بار و همچنین کاهش اثرات منفی تغییرات اقلیمی و کاهش هزینه‌های انرژی در سطح جهانی عمل کند.



شکل 3 اهمیت تکنولوژی‌های سبز

بنابراین، به‌طور کلی باتوجه به نتایج ذکر شده می‌توان اذعان داشت که تکنولوژی‌های سبز در کشورهای گروه 7 متغیر بسیار مهمی برای ضریب ظرفیت بار محسوب می‌شوند. بدین ترتیب، نتایج حاصل شده در این پژوهش لزوم توجه بیشتر به مباحث تکنولوژی‌های سبز و بهبود ضریب ظرفیت بار در امر سیاست‌گذاری اقتصادی را بیش‌ازپیش نمایان می‌کند. اما پژوهش حاضر

که ماهیت متناوب منابع انرژی خاص را کاهش داده و به LCF کمک می‌کند (گل اوغلو و همکاران، 2023؛ پاتا و همکاران، 2023).

باتوجه به نتایج ذکر شده می‌توان به این مهم دست‌یافت که دلایلی از جمله کمبود مشاهدات در دهک‌های مختلف، تأثیرگذاری ضعیف متغیرها در نقاط توزیع، تفاوت‌های طبیعی در توزیع متغیر وابسته و تعداد جامعه اندک در این پژوهش؛ باعث شده است که برخی از ضرایب به‌دست‌آمده اثر معناداری بر متغیر وابسته نداشته باشند. همچنین مطابق جدول 11، مشخص شده است که در تحلیل کوانتایل انجام شده، در هر کوانتایل کدام کشورها قرار گرفته‌اند.

جدول 11 توزیع کشورهای براساس کوانتایل‌های مختلف

کوانتایل‌ها	کشورها
پایین‌تر از 25 درصد	ایتالیا
کوانتایل 25 درصد	انگلیس
کوانتایل 50 درصد	ژاپن، آلمان
کوانتایل 75 درصد	فرانسه
بالتر از 75 درصد	کانادا، آمریکا

### 5- جمع‌بندی

هدف پژوهش حاضر بررسی اثر تکنولوژی‌های سبز بر ضریب ظرفیت بار در کشورهای گروه 7 (G7) در بازه زمانی سالانه 2000 الی 2020، با استفاده از روش رگرسیون پانل کوانتایل بوده است. از این رو، با برآورد رگرسیون پانل کوانتایل، تأثیر مستقیم متغیرهای اصلی و کنترلی بر ضریب ظرفیت بار موردبررسی قرار گرفته است. نتایج تجربی مؤید آن است که تکنولوژی‌های سبز (LNGT) به جز دهک‌های اول و پنجم، در بقیه دهک‌ها دارای اثری مثبت بر لگاریتم ضریب ظرفیت بار (LNCF) است و فقط دهک نهم دارای معنی‌داری آماری است. تولید ناخالص داخلی (LNGDP) در همه دهک‌ها دارای اثری مثبت بر لگاریتم ضریب ظرفیت بار (LNCF) است و از دهک اول تا ششم دارای معنی‌داری آماری است. مصرف سرانه انرژی‌های تجدیدپذیر (LNREN) در همه دهک‌ها دارای اثری مثبت و معنادار بر لگاریتم ضریب ظرفیت بار (LNCF) است. رانت منابع طبیعی (LNNRP) در همه دهک‌ها دارای اثری مثبت بر لگاریتم ضریب ظرفیت بار (LNCF) است و به جز دهک اول بقیه دهک‌ها دارای معنی‌داری آماری هستند. بدین ترتیب، فرضیه این پژوهش مبنی بر تأثیر مثبت و معنادار تکنولوژی‌های سبز بر ضریب ظرفیت بار (LCF) در کشورهای گروه 7 تأیید می‌شود.

باتوجه به پیشرفت‌های سریع در زمینه تکنولوژی‌های سبز و نوآوری‌های موجود در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر، نقش این تکنولوژی‌ها در بهبود ضریب ظرفیت بار شبکه‌های انرژی بیش از پیش اهمیت یافته است. در گذشته، شبکه‌های انرژی بیش‌تر وابسته به منابع فسیلی و انرژی‌های غیرقابل تجدید بودند، که این وابستگی به منابع انرژی سنتی، مشکلاتی از قبیل اتلاف انرژی، محدودیت در ظرفیت بار، و افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی را به همراه داشت. اما با ظهور فناوری‌های سبز و به‌خصوص استفاده از انرژی‌های خورشیدی، بادی، هیدروالکتریک و دیگر منابع تجدیدپذیر، این موانع به‌طور قابل توجهی کاهش یافته است.

تکنولوژی‌های سبز به‌طور خاص با استفاده از منابع انرژی پاک و تجدیدپذیر، موجب افزایش ظرفیت تولید برق در سطوح مختلف می‌شوند. به‌طور مثال، سیستم‌های انرژی خورشیدی و بادی به دلیل قابلیت تولید برق

- [4] S. Afshan, I. Ozturk, T. Yaqoob, 2022. Facilitating renewable energy transition, ecological innovations and stringent environmental policies to improve ecological sustainability: evidence from MM-QR method. *Renew. Energy* 196, 151–160. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.06.125>.
- [5] Z. Ni, J. Yang, A. Razaq, 2022. How do natural resources, digitalization, and institutional governance contribute to ecological sustainability through load capacity factors in highly resource-consuming economies? *Resour. Pol.* 79, 103068. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.103068>.
- [6] R. Siche, L. Pereira, F. Agostinho, E. Ortega, 2010. Convergence of ecological footprint and energy analysis as a sustainability indicator of countries: Peru as case study. *Commun. Nonlinear Sci. Numer. Simulat.* 15 (10), 3182–3192. <https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2009.10.027>.
- [7] T. S. Adebayo, and A. Samour. 2023. Renewable Energy, Fiscal Policy and Load Capacity Factor in BRICS Countries: Novel Findings from Panel Nonlinear ARDL Model. *Environment, Development and Sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02888-1>.
- [8] B. Guloglu, E.A. Caglar, and U.K. Pata. 2023. Analysing the Determinants of the Load Capacity Factor in OECD Countries: Evidence from Advanced Quantile Panel Data Methods. *Gondwana Research* 118: 92–104. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2023.02.013>.
- [9] U. K. Pata, M.T. Kartal, M.M. Dam, and F. Kaya. 2023. Navigating the Impact of Renewable Energy, Trade Openness, Income, and Globalization on Load Capacity Factor: The Case of Latin American and Caribbean (LAC) Countries. *International Journal of Energy Research* 2023: 1–14. <https://doi.org/10.1155/2023/6828781>.
- [10] A. Raihan, M. Rashid, L.C. Voumik, S. Akter, M.A. Esquivias, 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. <https://doi.org/10.3390/su151813462>.
- [11] E. Uche, & N. Ngepah, (2024). How green-technology, energy-transition and resource rents influence load capacity factor in South Africa. *International Journal of Sustainable Energy*, 43(1). <https://doi.org/10.1080/14786451.2023.2281038>.
- [12] A. Samour, T.S. Adebayo, E.B. Agyekum, B. Khan, S. Kamel, 2023. Insights from BRICS-T economies on the impact of human capital and renewable electricity consumption on environmental quality. *Sci. Rep.* 13 (1), 5245. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-32134-1>.
- [13] OECD (2023) *Patents on environment technologies*. <https://doi.org/10.1787/ffff120f8-en>. Accessed 20 Mar 2023.
- [14] RD. Klassen, DC. Whybark, (1999). Environmental management in operations: the selection of environmental technologies. *Decis Sci* 30(3):601–631.
- [15] UK. Pata, AE. Caglar, MT. Kartal, SK. Depren, (2023). Evaluation of the role of clean energy technologies, human capital, urbanization, and income on the environmental quality in the United States. *J Clean Prod* 402:136802.
- [16] C.-C. Chen, F.M. Sukarsono, K.-J. Wu, 2023. Evaluating a sustainable circular economy model for the Indonesian fashion industry under uncertainties: a hybrid decision-making approach. *Journal of Industrial and Production Engineering* 40 (3), 188–204. <https://doi.org/10.1080/21681015.2022.2162616>.
- [17] S. Kuznets. 2019. Economic Growth and Income Inequality. *In the gap Between Rich and Poor*, edited by M.A. Seligson, 25–37. Routledge: Abingdon-on-Thames.
- [18] A. A. Alola, O. Özkan, and O. Usman. 2023. Role of Non-Renewable Energy Efficiency and Renewable Energy in Driving Environmental Sustainability in India: Evidence from the Load Capacity Factor Hypothesis. *Energies* 16 (6): 2847. <https://doi.org/10.3390/en16062847>.
- [19] E. Uche, N. Das, and P. Bera.. 2023. Re-examining the Environmental Kuznets Curve (EKC) for India via the Multiple Threshold NARDL Procedure. *Environmental Science and Pollution Research* 30 (5): 11913–11925. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22912-1>.
- [20] A. Dogan, and U.K. Pata. 2022. The Role of ICT, R&D Spending and Renewable Energy Consumption on Environmental Quality:

دارای محدودیت‌هایی همچون پژوهش‌های پیشین می‌باشد، به‌عنوان مثال، داده‌های متغیر تکنولوژی سبز در زمان نگارش پژوهش حاضر تنها تا سال 2020 در دسترس بود، بنابراین ممکن است تغییرات جدیدتر در تکنولوژی‌های سبز یا روندهای اقتصادی و اجتماعی بعد از آن تاریخ که تأثیراتی بر ضریب ظرفیت بار دارند، مورد توجه قرار نگرفته باشند. همچنین مدل استفاده‌شده ممکن است نتواند به طور کامل تمامی تأثیرات متغیرهای خارجی را در نظر بگیرد که ممکن است اثرات آن‌ها بر ضریب ظرفیت بار را تحت تأثیر قرار دهد. بدین ترتیب، باتوجه‌به نقش مهم تکنولوژی‌های سبز در بهبود ضریب ظرفیت بار، دولت‌ها باید سیاست‌هایی را برای ترویج تکنولوژی‌های سبز در یک اقتصاد اتخاذ کنند. ازجمله پیشنهاداتی که می‌تواند به بهبود تکنولوژی‌های سبز در زمینه ضریب ظرفیت بار کمک کرده و به بهبود توسعه پایدار کمک کند می‌توان به این موارد اشاره نمود: (1) بهبود تولید ناخالص داخلی: زیرا امکان سرمایه‌گذاری قابل توجهی را در زیرساخت‌های انرژی، ازجمله ساخت نیروگاه‌ها، خطوط انتقال و نوسازی شبکه برق فراهم می‌کند. زیرساخت‌های بهبودیافته کارایی و قابلیت اطمینان تولید و توزیع انرژی‌های مختلف را افزایش داده و در نتیجه ضریب ظرفیت بار را افزایش می‌دهد. همچنین سطوح بالاتر تولید ناخالص داخلی، هزینه‌های تحقیق و توسعه (R&D) قابل توجهی را ممکن می‌سازد که منجر به پیشرفت‌های تولید و ذخیره‌سازی انرژی می‌شود. این نوآوری‌ها می‌تواند کارایی و قابلیت اطمینان منابع انرژی تجدیدپذیر را افزایش دهد که منجر به افزایش ضریب ظرفیت بار می‌شود، (2) دولت‌ها همچنین باید سرمایه‌گذاری در منابع انرژی تجدیدپذیر و پاک ازجمله انرژی بادی، خورشیدی و سایر منابع انرژی سبز را در اولویت قرار دهند. یارانه‌ها، مشوق‌های مالیاتی، پاداش‌ها و مشارکت‌های دولتی یا خصوصی می‌توانند به تشویق استقرار فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر کمک کنند و (3) باتوجه‌به ارتباط مثبت بین رانت منابع و ضریب ظرفیت بار، سیاست‌گذاران می‌توانند بودجه‌ای را برای توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر و نوآوری‌های تکنولوژیکی با استفاده از این منابع اختصاص دهند. این مهم برای کشوری نظیر ایران که پتانسیل‌های بالقوه زیادی در انرژی‌های تجدیدپذیر و به طور خاص‌تر انرژی بادی و خورشیدی دارد، اهمیت دوچندانی خواهد داشت. در نهایت، برنامه‌ریزان اجتماعی و سیاستمداران مربوطه می‌توانند با اعلام حمایت از بازار انرژی‌های تجدیدپذیر و ارائه مشوق‌های منصفانه و بهینه در راستای افزایش توجیه فنی - اقتصادی طرح‌های انرژی پاک، سبب حرکت هر چه بیشتر کشور به سمت توسعه صنعت انرژی‌های تجدیدپذیر شوند. چراکه سوخت‌های فسیلی علاوه بر چالش‌های زیست‌محیطی همیشه در دسترس بشر نخواهند بود و بایستی تولید صیانتی و اهداف عدالت بین نسلی را نیز مد نظر قرار داد.

## 6- مراجع

- [1] A. O. Acheampong, J. Dzator, M. Amponsah, 2022. Analyzing the role of economic globalization in achieving carbon neutrality in Australia. *Int. J. Sustain. Dev. World Ecol.* 0 (0), 1–20. <https://doi.org/10.1080/13504509.2022.2056771>.
- [2] F. Daley, 2021. The Fossil Fuelled 5: Comparing Rhetoric with Reality on Fossil Fuels and Climate Change (Canada, United States of America, Australia, Norway, United Kingdom) [Report]. *The Australia Institute*. <https://apo.org.au/node/315102>.
- [3] M. A. Destek, S.A. Sarkodie, E.F. Asamoah, 2021. Does biomass energy drive environmental sustainability? An SDG perspective for top five biomass consuming countries. *Biomass Bioenergy* 149, 106076. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2021.106076>.

- Environmental Science and Pollution Research* 28 (12): 15519–15536. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11640-z>.
- [35] S. K. Rout, M. Gupta, and M. Sahoo. 2022. The Role of Technological Innovation and Diffusion, Energy Consumption and Financial Development in Affecting Ecological Footprint in BRICS: An Empirical Analysis. *Environmental Science and Pollution Research* 29 (17): 25318–25335. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17734-6>.
- [36] L. C. Voumik, S. Ghosh, M. Rashid, M. K. Das, M. A. Esquivias, & O. Rojas, (2024). The effect of geopolitical risk and green technology on load capacity factors in BRICS. *Utilities Policy*, 88, 101757.
- [37] M. Aydin, Y. Sogut, & A. Erdem, (2024). The role of environmental technologies, institutional quality, and globalization on environmental sustainability in European Union countries: new evidence from advanced panel data estimations. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(7), 10460-10472.
- [38] Z. Fang, T. Wang, & C. Yang, (2024). Nexus among natural resources, environmental sustainability, and political risk: Testing the load capacity factor curve hypothesis. *Resources Policy*, 90, 104791. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2024.104791>.
- [39] M. Anas, W. Zhang, S. Bakhsh, L. Ali, C. Işık, J. Han, & M. Huang, (2023). Moving towards sustainable environment development in emerging economies: The role of green finance, green technology, natural resource depletion, and forested area in assessing the load capacity factor. *Sustainable Development*.
- [40] S. Moeinaddini, M. R. Zare Mehrjerdi, S. Amirtaimoori, & H. Mehrabi Boshbrabadi, (2024). The Effect of Natural Resource Rent on the Environmental Quality (Case Study: A Selection of MENA Countries). *Journal of Environmental Studies*, (), -. <https://doi.org/10.22059/jes.2024.359287.1008413>. (in persian)
- [41] F. Abdollahi, & S. Ghaderi, (2023). Investigating the Impact of Natural Resources and Human Capital on Iran's Ecological Footprint. *Governance and Development Journal*, 3(1), 99-120. <https://doi.org/10.22111/jipaa.2023.399117.1124>. (in persian)
- [42] H. parsasharif, H. AMIRNEJAD, & M. Taslimi, (2021). Investigating and Determining the Factors Affecting the Ecological Footprint of Selected Asian and European Countries. *Agricultural Economics Research*, 13(2), 155-172. (in persian)
- [43] B. Le Cook, & W. G. Manning. (2013). Thinking beyond the mean: a practical guide for using quantile regression methods for health services research. *Shanghai archives of psychiatry*, 25(1), 55. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-0829.2013.01.011>.
- [44] R. Koener. (2005). Quantile regression (Vol. 38). *Cambridge university press*.
- [45] <https://data-footprintnetwork.org>.
- [46] <https://www.oecd.org/en/data.html>.
- [47] <https://data.worldbank.org/>
- [48] <https://ourworldindata.org/>
- [49] <https://data.worldbank.org/>
- [50] B. H. Baltagi. (2008). Forecasting with panel data. *Journal of forecasting*, 27(2), 153-173.
- [51] D. Xu, S. Salem, A.A. Awosusi, G. Abdurakhmanova, M. Altuntas, D. Oluwajana, D. Kirikkaleli, O. Ojekemi, 2022. Load capacity factor and financial globalization in Brazil: the role of renewable energy and urbanization. *Front. Environ. Sci.* 9, 823185 <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.823185>.
- [52] U. Mehmood, S. Tariq, M.U. Aslam, E.B. Agyekum, S.E. Uzunamure, K. Shale, M. Kamal, M.F. Khan, 2023. Evaluating the impact of digitalization, renewable energy use, and technological innovation on load capacity factor in G8 nations. *Sci. Rep.* 13 (1), 9131. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-36373-0>.
- [53] S. Yao, S. Zhang, X. Zhang, 2019. Renewable energy, carbon emission and economic growth: a revised environmental Kuznets Curve perspective. *J. Clean. Prod.* 235, 1338–1352. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.07.069>.
- [54] A. A. Alola, F.V. Bekun, S.A. Sarkodie, 2019. Dynamic impact of trade policy, economic growth, fertility rate, renewable and non-renewable energy consumption on ecological footprint in Europe. *Sci. Total Environ.* 685, 702–709. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.139>.
- Testing the LCC Hypothesis for G7 Countries. *Journal of Cleaner Production* 380: 135038. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135038>.
- [21] U. K. Pata, and M.T. Kartal. 2023. Impact of Nuclear and Renewable Energy Sources on Environment Quality: Testing the EKC and LCC Hypotheses for South Korea. *Nuclear Engineering and Technology* 55 (2): 587–594. <https://doi.org/10.1016/j.net.2022.10.027>.
- [22] S. A. R. Khan, Z. Yu, A. Belhadi, & A. Mardani, (2020). Investigating the effects of renewable energy on international trade and environmental quality. *Journal of Environmental Management*, 272, 111089. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111089>.
- [23] S. Zeng, G. Li, S. Wu, Z. Dong, 2022. The impact of green technology innovation on carbon emissions in the context of carbon neutrality in China: evidence from spatial spillover and nonlinear effect analysis. *Int. J. Environ. Res. Publ. Health* 19 (2), 730. <https://doi.org/10.3390/ijerph19020730>.
- [24] D. Kirikkaleli, E. Sofuoğlu, O. Ojekemi, 2023. Does patents on environmental technologies matter for the ecological footprint in the USA? Evidence from the novel Fourier ARDL approach. *Geosci. Front.* 14 (4), 101564 <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2023.101564>.
- [25] N. Karimi Alavijeh, M.T. Ahmadi Shadmehri, N. Nazeer, S. Zangoei, and F. Dehdar. 2023. The Role of Renewable Energy Consumption on Environmental Degradation in EU Countries: Do Institutional Quality, Technological Innovation, and GDP Matter? *Environmental Science and Pollution Research*, 30: 44607–44624. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-25428-4>. (in persian)
- [26] A. A. Awosusi, K. Kutlay, M. Altuntas, B. Khodjiev, E.B. Agyekum, M. Shouran, M. Elgbaily, and S. Kamel. 2022. A Roadmap Toward Achieving Sustainable Environment: Evaluating the Impact of Technological Innovation and Globalization on Load Capacity Factor. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 19: 3288. <https://doi.org/10.3390/ijerph19063288>.
- [27] E. Uche, N. Das, P. Bera, and J. Cifuentes-Faura. 2023. Understanding the Imperativeness of Environmental-Related Technological Innovations in the FDI – Environmental Performance Nexus. *Renewable Energy* 206: 285–294. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.02.060>.
- [28] X. Liu, V.O. Olanrewaju, E.B. Agyekum, M.F. El-Naggat, M.M. Alrashed, and S. Kamel. 2022. Determinants of Load Capacity Factor in an Emerging Economy: The Role of Green Energy Consumption and Technological Innovation. *Frontiers in Environmental Science* 10. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.1028161>.
- [29] S. Kihombo, Z. Ahmed, S. Chen, T.S. Adebayo, and D. Kirikkaleli. 2021. Linking Financial Development, Economic Growth, and Ecological Footprint: What is the Role of Technological Innovation?. *Environmental Science and Pollution Research* 28: 61235–61245. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14993-1>.
- [30] B. Yang, A. Jahanger, and M. Ali. 2021. Remittance Inflows Affect the Ecological Footprint in BICS Countries: Do Technological Innovation and Financial Development Matter? *Environmental Science and Pollution Research* 28 (18): 23482–23500. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12400-3>.
- [31] M. A. Destek, and M. Manga. 2021. Technological Innovation, Financialisation, and Ecological Footprint: Evidence from BEM Economies. *Environmental Science and Pollution Research* 28 (17): 21991–22001. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11845-2>.
- [32] T. S. Adebayo, and D. Kirikkaleli. 2021. Impact of Renewable Energy Consumption, Globalisation, and Technological Innovation on Environmental Degradation in Japan: Application of Wavelet Tools. *Environment, Development and Sustainability* 23 (11): 16057–16082. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01322-2>.
- [33] Z. W. Su, M. Umar, D. Kirikkaleli, and T.S. Adebayo. 2021. Role of Political Risk to Achieve Carbon Neutrality: Evidence from Brazil. *Journal of Environmental Management* 298: 113463. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113463>.
- [34] M. Usman, and N. Hammar. 2021. Dynamic Relationship Between Technological Innovations, Financial Development, Renewable Energy, and Ecological Footprint: Fresh Insights Based on the STIRPAT Model for Asia Pacific Economic Cooperation Countries.

7- پیوست

جدول 10 تخمین مدل رگرسیون پانل کوانتایل

ارزش احتمال	آماره T	ضرایب	کوانتایل	نام متغیرهای توضیحی
0/741	- 0/331	- 0/072	10	LNGT
0/772	0/289	0/037	20	
0/696	0/391	0/056	30	
0/904	0/119	0/017	40	
0/595	- 0/532	- 0/084	50	
0/413	0/820	0/206	60	
0/090	1/702	0/462	70	
0/058	1/906	0/506	80	
0/007	2/710	0/671	90	
0/004	2/889	1/169	10	
0/000	4/718	0/896	20	
0/000	4/259	0/846	30	
0/000	4/528	0/870	40	
0/000	4/888	0/942	50	
0/046	2/008	0/558	60	
0/374	0/890	0/253	70	
0/403	0/838	0/231	80	
0/729	0/347	0/090	90	
0/047	2/001	0/626	10	LNREN
0/000	8/568	0/651	20	
0/000	8/226	0/607	30	
0/000	6/992	0/562	40	
0/000	7/536	0/510	50	
0/000	7/222	0/480	60	
0/000	8/305	0/547	70	
0/000	9/003	0/561	80	
0/000	11/841	0/592	90	
0/068	1/837	0/225	10	
0/000	5/294	0/292	20	
0/000	5/776	0/322	30	
0/000	6/141	0/331	40	
0/000	6/326	0/298	50	
0/000	6/608	0/309	60	
0/000	4/835	0/217	70	
0/000	4/638	0/184	80	
0/000	4/333	0/144	90	