مجله محیط زیست و توسعه فرابخشی
Journal homepage: https://www.envjournal.ir

بررسی رابطه بین مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و تخریب محیط زیست

مهسا شجاعی‌فر[۱]، سمیه امیرتیموری*[۱]، محمدرضا زارع مهرجردی[۱]

۱- گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران*

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخچه مقاله:
دریافت:
۱۴۰۳/۰۸/۰۷
پذیرش:
۱۴۰۴/۰۳/۰۱

کلمات کلیدی:
پانل دیتا، ردپای اکولوژیک، روش 3SLS، انرژی‌های تجدیدپذیر

چکیده

مقدمه: در دهه‌های اخیر، فعالیت‌های انسانی به‌طور قابل توجهی به محیط‌زیست آسیب وارد کرده است و در حال حاضر، انتشار گازهای گلخانه‌ای و گرم شدن کره‌ی زمین از مهم‌ترین مسائل زیست محیطی هستند. استفاده از انرژی‌های فسیلی سهم عمده‌ای در انتشار گازهای گلخانه‌ای و در نتیجه تخریب محیط زیست توسط بشر داشته است. با توجه به نقش انرژی‌های تجدیدپذیر در کاهش انتشار آلاینده‌ها و در نتیجه کاهش تخریب محیط‌زیست، استفاده بیشتر از این انرژی‌ها توجه کشورها را به خود جلب کرده است. لذا، در این مطالعه به بررسی رابطه بین مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و تخریب محیط زیست (شاخص ردپای اکولوژیک) در ۳۸ کشور با درآمد متوسط رو به پایین طی دوره زمانی ۱۹۹۷ تا ۲۰۲۰ پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها: بدین منظور از سیستم معادلات همزمان و روش حداقل مربعات سه مرحله‌ای (3SLS) استفاده شد. به‌منظور تخمین سیستم معادلات همزمان، اول مانایی متغیرها بررسی و برای پرهیز از رگرسیون ساختگی با استفاده از آزمون کائو، هم انباشتگی معادلات مورد بررسی قرار گرفت. سپس با استفاده از آزمون هاسمن، انتخاب از بین دو روش تخمین داده‌های ترکیبی صورت گرفت. پس از آن، آزمون اریب همزمانی به‌منظور بررسی وجود همزمانی بین متغیرهای درون‌زا انجام شد و در نهایت به‌منظور تجزیه و تحلیل اطلاعات، سیستم معادلات با استفاده از روش 3SLS برآورد گردید. آمار و اطلاعات لازم از سایت شبکه جهانی ردپا و پایگاه اطلاعات و آمار بانک جهانی برای دوره زمانی ۲۰۲۰-۱۹۹۷ جمع‌آوری شد.

نتایج: نتایج تجربی نشان داد که بین تخریب محیط زیست و مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر یک رابطه منفی وجود دارد و با افزایش یک واحدی مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر، ردپای اکولوژیک ۰/۰۰۷۱ کاهش می‌یابد. با افزایش یک واحدی متغیرهای سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی، شهرنشینی، نوآوری‌های تکنولوژیک و رشد اقتصادی، میزان مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر به‌ترتیب ۰/۷۸، ۰/۳۲، ۰/۰۶ و ۹/۳۳ واحد کاهش می‌یابد. میزان مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر با افزایش یک واحدی در متغیر رانت منابع طبیعی، ۰/۳۴ واحد افزایش می‌یابد. یک واحد افزایش در متغیرهای تولید محصولات زراعی، شاخص تولیدات دامی، شاخص توسعه مالی سبب افزایش ۰/۰۰۲۲، ۰/۰۰۴۲ و ۰/۰۱۰۷ واحدی ردپای اکولوژیک خواهد شد. با افزایش یک واحدی سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی، ردپای اکولوژیک ۰/۰۲۳ واحد کاهش می‌یابد.

بحث: نتایج نشان داد که با افزایش مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر می‌توان کیفیت محیط زیست را بهبود بخشید. بخش مالی، منابع را به بنگاه‌هایی تخصیص داده که منجر به افزایش پسماندهای صنعتی، انتشار آلودگی‌ها و در نتیجه تخریب محیط‌زیست شده است. بخش کشاورزی از طریق پرورش دام، آمونیاک موجود در کودها در مزارع کشاورزی، تالاب‌های فاضلاب‌های دامی، ذبح حیوانات گوشتی، تولید ذرت و پروتئین سویا، پالایش قند، فرآوری

* پست الکترونیکی نویسنده مسؤول: amirtaimoori@uk.ac.ir

پشم و موارد دیگر سبب ایجاد آلودگی و تخریب محیط زیست شده است. سرمایه‌های خارجی می‌تواند تخریب محیط زیست را با تسهیل توسعه فن‌آوری‌های مدرن دوستدار محیط زیست کاهش دهد. افزایش بازدهی منابع طبیعی به مردم انگیزه می‌دهد تا از آن‌ها به‌طور مؤثر و کارا استفاده کنند و مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر را افزایش می‌دهد. لذا هدایت سرمایه‌گذاری‌های مستقیم خارجی و نوآوری‌های تکنولوژیک به سمت استفاده بیشتر از انرژی‌های تجدیدپذیر، افزایش بازدهی منابع طبیعی، هدایت منابع ملی به سمت فعالیت‌ها و تکنولوژی‌های سازگار با محیط زیست، افزایش بهره‌وری تولید محصولات زراعی و دامی و استفاده از فن‌آوری‌های سازگار با محیط زیست در بخش کشاورزی می‌تواند به کاهش تخریب محیط زیست کمک نماید.

مقدمه

در دهه‌های اخیر تغییرات زیست محیطی نامطلوبی همانند گرم شدن کره زمین اتفاق افتاده است (Lotfalipor *et al*., 2012). یکی از جنبه‌های اساسی بحث گرمایش جهانی، افزایش انتشار کربن و ارتباط آن با مصرف انرژی است. تقاضای جهانی انرژی از سال ۱۹۷۱ تا ۲۰۱۴ به میزان ۴۴ درصد افزایش یافته است و منابع سوخت فسیلی (زغال سنگ، نفت و گاز) حدود ۸۰ درصد از سبد انرژی جهانی را تشکیل می‌دهند (Eren *et al*., 2019). از یک طرف، یکی از مهم‌ترین منابع برای توسعه و بهبود زندگی در یک کشور مصرف انرژی است (Skin & Salvarli, 2020)؛ از طرف دیگر، استفاده گسترده از انرژی به‌ویژه سوخت‌های فسیلی، نگرانی‌های زیست محیطی قابل توجهی را برانگیخته است، زیرا مقدار زیادی دی‌اکسیدکربن را در جو آزاد می‌کند و منجر به افزایش دما می‌شود. در یک قرن گذشته میانگین درجه حرارت لایه سطحی جو ۰/۸-۰/۴ درجه سانتیگراد افزایش یافته و انتشار CO_2، ۳۱ درصد در ۲۰۰ سال گذشته افزایش یافته است (Panwar *et al*., 2011).

همان‌طورکه قبلاً ذکر شد، انتشار کربن در نتیجه سوخت‌های فسیلی منبع اصلی گرمایش جهانی و تهدیدی قابل توجه برای زندگی انسان‌ها و بسیاری از گونه‌های دیگر روی کره زمین است. در این خصوص، منابع انرژی تجدیدپذیر (انرژی زیستی، انرژی آبی، انرژی زمین گرمایی، انرژی خورشیدی و انرژی باد) و فن‌آوری‌های شبکه هوشمند بهترین راه‌حل‌های پیشنهادی برای پرداختن به چالش‌های زیست محیطی برای حفظ رشد پایدار هستند (Kuriqi *et al*., 2020).

اگر چه در میان گازهای گلخانه‌ای، دی‌اکسیدکربن بیشترین سهم را دارد، ولی انتشار دی‌اکسیدکربن همیشه شاخص مناسبی برای تخریب محیط زیست نیست. برای بررسی تخریب محیط زیست در توسعه‌ی پایدار به شاخصی جامع نیاز است. در این زمینه، از ردپای اکولوژیک به‌طور گسترده برای اندازه‌گیری تخریب محیط زیست استفاده شده که نشان‌دهنده‌ی پایداری اکولوژیک است (Zafar *et al*., 2019). در واقع، ردپای اکولوژیک شاخصی است که نرخ مصرف منابع و تولید ضایعات توسط انسان را با نرخ بازتولید منابع و دفع ضایعات مقایسه می‌کند و نشان دهنده مقدار فضای بیولوژیک مورد نیاز برای تولید منابع و دفع ضایعات توسط زیست‌کره ایجادشده‌ی یک جمعیت، سازمان یا فعالیت با توجه به سیستم مدیریتی و تکنولوژی موجود می‌باشد (Monfreda *et al*., 2014). به بیان دیگر، این شاخص، ظرفیت بیولوژیک موردنیاز برای تولید کالاها و خدماتی که به وسیله افراد هر کشور مصرف می‌شود و نیز ظرفیت موردنیاز برای جذب آلودگی‌هایی که به وسیله آن‌ها ایجاد شده است را اندازه می‌گیرد. همچنین، ردپای اکولوژیک شاخصی از پایداری است (Monfreda *et al*., 2004) و به‌عنوان شاخصی از کارایی اکولوژیک نیز به‌شمار می‌رود (Wiedmann *et al*., 2006). افزایش ردپای اکولوژیک موجب خسارت جبران ناپذیری برای کره زمین است (Kitzes *et al*., 2007).

به دلیل اهمیت مسائل محیط‌زیستی تاکنون مطالعات متعددی به بررسی رابطه بین کیفیت محیط زیست و مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و همچنین بررسی عوامل تأثیرگذار بر کیفیت محیط زیست پرداخته‌اند. در قسمت ذیل به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود.

Omri و همکاران (۲۰۱۴) درمطالعه‌ای به بررسی رابطه علی بین رشد اقتصادی، تخریب محیط زیست و سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی برای یک نمونه از ۵۴

کشور حوزه اروپا و شمال آسیا، آمریکای لاتین و کارائیب، خاورمیانه و آفریقای شمالی و صحرای جنوبی طی بازه زمانی ۲۰۱۱-۱۹۹۰ پرداختند. نتایج این مطالعه، رابطه علی دو سویه بین رشد اقتصادی و سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی برای تمامی پانل‌ها، رابطه علی دو سویه بین سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی و انتشار دی‌اکسیدکربن برای تمامی پانل‌ها به استثنای اروپا و شمال آسیا و همچنین وجود یک رابطه علی تک سویه از تخریب محیط زیست به رشد اقتصادی در تمامی پانل‌ها به استثنای خاورمیانه، کشورهای جنوب آفریقا و آفریقای شمالی را نشان داد.

Sadeghi و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای به بررسی تأثیر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و تولید ناخالص داخلی بر انتشار گاز دی‌اکسیدکربن در ایران طی دوره زمانی ۲۰۱۲-۱۹۸۰ پرداختند. برای تحلیل داده‌ها از روش خود رگرسیون برداری ساختاری[1] (SVAR) استفاده کردند. نتایج نشان داد که افزایش مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر سبب افزایش رشد اقتصادی و انتشار CO_2 می‌شود.

Kargar Dehbidi و Esmaeili (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای تأثیر رشد اقتصادی، مصرف انرژی، آزادسازی تجاری و شهرنشینی را بر آلودگی محیط زیست در گروهی از کشورهای منتخب منا طی دوره زمانی ۲۰۱۲- ۱۹۹۵ بررسی کردند. آن‌ها با استفاده از تحلیل‌های هم‌جمعی نشان دادند که مصرف انرژی بیشترین اثرگذاری را بر آلودگی محیط زیست دارد.

Cetin (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای به بررسی فرضیه منحنی زیست محیطی کوزنتس[2] (EKC) و تأثیر منابع انرژی سبز برکاهش انتشار CO_2 در بازارهای در حال ظهور (نوظهور) و توسعه‌یافته طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۱ پرداختند. یافته‌های تجربی این مطالعه نشان داد که فرضیه EKC در بازارهای نوظهور تأیید نمی‌شود. همچنین یافته‌های این مطالعه نشان داد منابع انرژی تجدیدپذیر در بلند مدت نقش مهمی در کاهش انتشار CO_2 برای هر دو گروه پانل دارد.

Zafar و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهشی رابطه بین منابع طبیعی، سرمایه‌ی انسانی، سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی و ردپای اکولوژیک را در ایالت متحده‌ی آمریکا طی دوره ۲۰۱۵-۱۹۷۰ با استفاده از علیت گرنجری و روش خودتوضیح با وقفه‌های گسترده (ARDL) بررسی کردند. نتایج تأثیر مثبت رشد اقتصادی و مصرف انرژی بر ردپای اکولوژیک و تأثیر منفی منابع طبیعی، سرمایه‌ی‌انسانی و سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی بر ردپای اکولوژیک را نشان داد. نتایج آزمون علیت گرنجری نیز وجود رابطه علی دوطرفه‌ای را بین رشد اقتصادی و ردپای اکولوژیک و بین مصرف انرژی و ردپای اکولوژیک نشان داد. درحالی‌که رابطه علی یک‌طرفه‌ای بین منابع طبیعی و ردپای اکولوژیک و نیز بین سرمایه‌ی انسانی و منابع طبیعی وجود دارد.

Khanmohamadi و Mahravan (۲۰۱۹) با انجام مطالعه‌ای به بررسی اثر استفاده از منابع تجدیدپذیر انرژی بر شاخص ردپای اکولوژیک در روستای نجوبران استان کرمانشاه پرداختند. این مطالعه از نوع تحلیلی- توصیفی بوده است. نتایج نشان داد که در صورت استفاده از یک نیروگاه خورشیدی و ۲ توربین آبی کوچک در کنار یکدیگر، نه تنها ردپای اکولوژیک مصرف برق روستای نجوبران به صفر می‌رسد، بلکه با تزریق برق مازاد بر نیاز به شبکه سراسری، می‌توان ۱۰/۳۶۴ هکتار جهانی به ظرفیت زیستی منابع طبیعی و ملی اضافه کرد که توانایی پشتیبانی از سایر فعالیت‌ها را دارا می‌باشد.

Baz و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای به بررسی ارتباط بین کیفیت محیط زیست، مصرف انرژی و رشد اقتصادی در پاکستان طی دوره زمانی ۲۰۱۴ – ۱۹۷۱ با استفاده از روش خودتوضیح با وقفه‌های گسترده[3] (ARDL) پرداختند. نتایج نشان داد که افزایش مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر نقشی حیاتی در بهبود کیفیت زیست محیطی دارد.

Kang و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه خود رابطه بین جمعیت شهری، دی‌اکسیدکربن، باز بودن تجارت، تولید ناخالص داخلی، سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی و انرژی‌های تجدیدپذیر را در کشورهای منتخب آسیای جنوبی طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۹ بررسی کردند. بدین منظور از مدل‌های حداقل مربعات معمولی کاملاً اصلاح شده[4] (FMOLS) و حداقل مربع معمولی پویا[5] (DOLS)

[1] structural vector autoregressive
[2] Environmental Kuznets Curve
[3] Autoregressive Distributed Lag
[4] Fully Modified Ordinary Least Square
[5] Dynamic Ordinary Least Square

استفاده شده است. نتایج نشان داد که یک رابطه منفی و معناداری بین سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی و انرژی‌های تجدیدپذیر در کشورهای جنوب آسیا وجود دارد. یافته‌های این مطالعه رابطه مثبت و مطلوبی را بین تولید ناخالص داخلی و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر نشان می‌دهد.

Ehtemami و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهشی به بررسی تأثیر سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی و مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر برکاهش تخریب محیط زیست در کشورهای منتخب درحال توسعه پرداخت. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از روش خودتوضیح با وقفه‌های گسترده در داده‌های پانل[6] بوده است. نتایج مطالعه بیانگر تأثیر مثبت و معنی‌دار رشد اقتصادی و مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر بر انتشار گاز دی‌اکسیدکربن و تأثیر منفی و معنی‌دار سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی و مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر بر انتشار گاز دی‌اکسیدکربن بوده است.

Chen و همکاران (۲۰۲۲) در مطالعه‌ای به بررسی تأثیر منابع طبیعی، یکپارچگی مالی، نوآوری زیست محیطی و انرژی پاک بر ردپای اکولوژیک پرداختند. در این مطالعه از روش[7] D-ARDL و داده‌های دوره زمانی ۲۰۲۰-۱۹۸۰ استفاده شده است. نتایج نشان داد که منابع طبیعی در کوتاه مدت و بلند مدت باعث کاهش ردپای اکولوژیک می‌شوند. یکپارچگی مالی، کیفیت زیست محیطی را کاهش می‌دهد؛ درحالی‌که مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و نوآوری زیست محیطی، عملکرد زیست محیطی را افزایش می‌دهند.

Amer و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهشی تأثیر رانت منابع طبیعی (NRR)، مصرف انرژی (EC)، سرمایه انسانی (HC)، شهرنشینی و تولید ناخالص داخلی بر ردپای اکولوژیک (EF) را در کشورهای شورای همکاری خلیج فارس (GCC) طی سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۷ بررسی کردند. در این تحقیق از مدل حداقل مربعات تعمیم یافته امکان‌پذیر برای بررسی هم انباشتگی و همبستگی استفاده شده است. نتایج مطالعه ارتباط منفی و معنادار بین NRR و EF را تأیید می‌کند. همچنین نتایج نشان داد که تولید ناخالص داخلی با EF یک رابطه مثبت و معنادار و EC ارتباط مثبت و معناداری با EF دارد.

Li و همکاران (۲۰۲۳) در مطالعه خود به بررسی نقش منابع طبیعی در بهبود کیفیت زیست محیطی در جنوب آسیا با استفاده از روش تخمین داده‌های پانل پیشرفته برای دوره ۲۰۱۸-۱۹۹۰ پرداختند. یافته‌ها تأثیر منفی فراوانی منابع طبیعی را بر کیفیت محیط زیست نشان داد. علاوه بر این نتایج نشان داد که استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر بر ردپای اکولوژیک تأثیر منفی و معناداری دارد.

Zabihi و همکاران (۲۰۲۳) در مطالعه‌ای به بررسی تأثیر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر (بادی و خورشیدی) بر کاهش انتشار کربن (CO_2) در کشورهای گروه ۷ پرداختند. بدین منظور از مدل‌سازی رگرسیون کوانتایل بر کوانتایل استفاده کردند. نتایج نشان داد که مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر (انرژی‌های بادی و خورشیدی) می‌تواند سبب کاهش قابل توجهی در انتشار کربن شود.

Ardali (۲۰۲۴) با انجام مطالعه‌ای به مقایسه مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر بر شاخص رد پای اکولوژیک در ایران طی دوره زمانی ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۸ پرداخت. نتایج نشان داد که در بلندمدت، متغیرهای اندازه دولت، تراکم جمعیت و مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر سبب افزایش شاخص ردپای اکولوژیک و متغیرهای تولید ناخالص داخلی، انرژی‌های تجدیدپذیر و شاخص پیچیدگی اقتصادی باعث کاهش ردپای اکولوژیک خواهند شد.

به‌طور کلی، امروزه گرم شدن کره‌ی زمین در نتیجه انتشار کربن یکی از مشکلات عمده زیست محیطی در سطح جهانی است و مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر از مهم‌ترین راهکارها در این زمینه است. لذا در مطالعه حاضر به بررسی رابطه بین مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و تخریب محیط زیست (ردپای اکولوژیک) در منتخبی از کشورهای با درآمد متوسط رو به پایین از جمله ایران پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق به بررسی رابطه بین مصرف انرژی‌های تجدید پذیر و ردپای اکولوژیک درکشورهای با درآمد متوسط رو به پایین با رهیافت پانل دیتا و با استفاده از

[6] Panel ARDL
[7] Dynamic Autoregressive Distributed Lag

سیستم معادلات همزمان و روش تخمین حداقل مربعات سه مرحله‌ای[8] (3SLS) پرداخته شده است.

با استفاده از مدل تأثیرات تصادفی با رگرسیون بر جمعیت، ثروت و فناوری[9] (STIRPAT) که توسط Dietz و Rosa (۱۹۹۴و ۱۹۹۷) پیشنهاد شده، مدل تجربی تحقیق توسعه داده شده است. معادله STIRPAT به‌صورت رابطه زیر است:

$$I_i = \varphi_i P_i^{\alpha} \times A_i^{\beta} \times T_i^{\gamma} \times \mu_{it} \quad (۱)$$

که در آن، تغییرات زیست محیطی (I) تحت تأثیر سه عامل جمعیت (P)، ثروت یا غنای یک کشور (منابع طبیعی) (A) و فناوری (T) است. α، β و γ کشش‌های اثرات زیست محیطی هستند. φ عرض از مبدا و μ عبارت خطا است. در این مطالعه، بر اساس مدل STIRPAT و مطالعه Yasmeen و همکاران (۲۰۲۲) مدل تجربی زیر در نظر گرفته شده است.

$$RE = F (ECOP, FDI, INOV, URB, NR, GDP) \quad (۲)$$

$$ECOP = F (RE, FDI, FD, LP, CP) \quad (۳)$$

که در آن:

RE: مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر (درصدی از کل انرژی مصرفی)، ECOP: سرانه ردپای اکولوژیک (هکتار)، FDI: سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی (درصدی از GDP)، INOV: نوآوری تکنولوژیک (درخواست‌های ثبت اختراع توسط ساکنان)، NR: رانت منابع طبیعی (درصدی از GDP)، URB: جمعیت شهری (درصدی از کل جمعیت)، FD: توسعه مالی (درصدی از GDP)، LP: تولیدات دامی، CP: تولید محصولات زراعی و GDP: سرانه تولید ناخالص داخلی (به قیمت ثابت سال ۲۰۱۵ بر حسب دلار آمریکا) می‌باشد.

به‌منظور تخمین سیستم معادلات همزمان مورد نظر، اول مانایی متغیرها با استفاده از آزمون ایم، پسران و شین (IPS) بررسی شد. به دلیل این‌که برخی از متغیرها در سطح مانا نبودند، برای پرهیز از رگرسیون ساختگی یا کاذب، با استفاده از آزمون کائو، هم انباشتگی معادلات نیز مورد بررسی قرار گرفت. در مرحله بعد با کمک آزمون هاسمن از بین دو روش تخمین داده‌های ترکیبی (اثرات ثابت و اثرات تصادفی) انتخاب صورت گرفت. در گام بعد آزمون اریب همزمانی برای بررسی وجود همزمانی بین متغیرهای درون‌زا در معادلات انجام شد و در نهایت به‌منظور تجزیه و تحلیل اطلاعات، سیستم معادلات با استفاده از روش 3SLS برآورد گردید.

اصلی‌ترین علت استفاده از روش 3SLS بهبود کارایی مجانبی از راه به‌کارگیری اطلاعات مربوط به همبستگی جملات خطا در معادلات ساختاری می‌باشد. با به‌کارگیری داده‌های ترکیبی، محاسبه معادلات همزمان بر پایه‌ی ترکیب مقاطع و زمان است که به اسم "معادلات همزمان با اجزای خطا" بیان می‌گردد. در روش حداقل مربعات سه مرحله‌ای جزء خطا اطلاعات افزون‌تری را نسبت به روش‌های دیگر، نشان می‌دهد و ضرایب از دقت بیشتری برخوردارند (Tohidi *et al*., 2015).

در این مطالعه منتخبی از کشورهای با درآمد متوسط رو به پایین شامل آنگولا، بنگلادش، هند، ایران، اندونزی، مصر، هائیتی، نیجریه، پاکستان، نپال، لائوس، بوتان، بنین، کیپ ورد، کامبوج، کامرون، کومور (مجمع‌الجزایر قمر)، کنگو، جمهوری ساحل آج، جیبوتی، کنیا، اسواتینی، لسوتو، موریتانی، جمهوری غنا، هندوراس، میانمار، نیکاراگوئه، پالائو، فیلیپین، ساموآ، ایالت سائوپائولو، سنگال، جزایرسلیمان، سری‌لانکا، تانزانیا، تونس و تاجیکستان در نظر گرفته شده و آمار و اطلاعات لازم برای دوره زمانی ۲۰۲۰-۱۹۹۷ از سایت شبکه جهانی ردپا[10] و بانک جهانی جمع‌آوری شده است. آمار سرانه ردپای اکولوژیک از سایت شبکه جهانی ردپا استخراج شده است. آمار و اطلاعات مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر، سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی، نوآوری تکنولوژیک، رانت منابع طبیعی، جمعیت شهری، توسعه مالی، تولید ناخالص داخلی، تولید محصولات زراعی و تولیدات دامی از پایگاه اطلاعات و آمار بانک جهانی (WDF) جمع‌آوری شده است.

نتایج

در ابتدا، از آزمون ایم، پسران و شین به‌منظور بررسی مانایی متغیرها استفاده شد که نتایج حاصل از این آزمون در جدول ۱ آورده شده است.

[8] Three-Stage Least Square Method (3SLS)

[9] The Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence and Technology

[10] http://www.footprintnetwork.org/our-work/ecological-footprint/

جدول ۱- نتایج حاصل از آزمون مانایی ایم پسران و شین (IPS)

متغیر	آزمون IPS		
	احتمال پذیرش صفر(Prob)	مقدار آماره	درجه انباشتگی
RE	۰/۰۰۰۰	-۱۲/۲۰۹۳	I (1)
FDI	۰/۰۰۰۰	-۴/۷۷۰۶	I (0)
INOV	۰/۰۰۰۰	-۵/۰۷۱۴	I (0)
NR	۰/۰۰۰۰	-۴/۶۲۵۰	I (0)
URB	۰/۰۰۰۰	-۱۲/۷۱۱۶	I (1)
ECOP	۰/۰۰۰۰	-۱۴/۱۵۹۷	I (1)
LP	۰/۰۰۰۰	-۱۰/۱۸۸۰	I (0)
CP	۰/۰۰۰۰	-۹/۴۰۴۵	I (1)
FD	۰/۰۰۰۰	-۷/۶۷۹۳	I (1)
GDP	۰/۰۰۰۰	-۹/۵۱۹۹	I (0)

با توجه به نتایج به‌دست آمده از آزمون IPS، تعدادی از متغیرها مانا و انباشته از درجه‌ی صفر هستند و بقیه‌ی متغیرهای به‌کار رفته در مدل با یک‌بار تفاضیل‌گیری مانا می‌باشند. بنابراین برای جلوگیری از رگرسیون ساختگی، آزمون هم انباشتگی کائو انجام شد (جدول ۲). بر اساس نتایج به‌دست آمده وجود هم‌جمعی در مدل‌ها پذیرفته می‌شود. بنابراین بین متغیرهای وابسته و متغیرهای توضیحی یک رابطه بلندمدت برقرار است و بحث رگرسیون ساختگی یا کاذب در مورد این مدل‌ها منتفی است.

جدول ۲- نتایج حاصل از آزمون هم انباشتگی Kao

مدل	مقدار آماره آزمون	احتمال
معادله RE	-۱/۷۵۳۶	۰/۰۳۹۸
معادله ECOP	-۳/۷۴۰۴	۰/۰۰۰۰

قبل از انجام تخمین داده‌های تابلویی به روش اثرات ثابت و تصادفی لازم است حضور اثرات مجزای کشورها با آزمون F لیمر مورد بررسی قرار گیرد. در این آزمون، فرض صفر مدل تجمیعی و فرض مقابل داده‌های ترکیبی می‌باشد. چنان‌چه فرض صفر رد شود، مدل از نوع داده‌های تابلویی می‌باشد و بایستی در مرحله بعد آزمون اثرات ثابت و تصادفی انجام شود. اگر فرض صفر تأیید شود بایستی از مدل تجمیعی استفاده شود. براساس نتایج آزمون F لیمر (جدول ۳) بایستی از روش داده‌های ترکیبی استفاده شود.

جدول ۳- نتایج حاصل از آزمون F لیمر

مدل	احتمال	نتیجه
معادله RE	۰/۰۰۰۰	رد مدل Pool در مقابل مدل Panel
معادله ECOP	۰/۰۰۰۰	رد مدل Pool در مقابل مدل Panel

سپس برای انتخاب روش برآورد اثرات ثابت و یا اثرات تصادفی از آزمون هاسمن استفاده شد. نتایج نشان دهنده‌ی انتخاب روش اثرات ثابت برای معادله اول و انتخاب روش اثرات تصادفی برای معادله دوم می‌باشد (جدول ۴).

جدول ۴- نتایج حاصل از آزمون هاسمن

مدل	مقدار آماره آزمون	احتمال	نتیجه
معادله RE	۱۱۴/۷۰	۰/۰۰۰۰	اثرات ثابت
معادله ECOP	۵/۵۰	۰/۳۵۸۰	اثرات تصادفی

بر اساس مسأله تشخیص، روش تخمین سیستم معادلات همزمان مشخص می‌گردد. شرط درجه‌ای برای سیستمی با M= ۲ متغیر درون‌زا و K= ۸ متغیر برون‌زا بررسی شد. نتایج آن در جدول ۵ آورده شده است. نتیجه به‌دست آمده نشان می‌دهدکه هر دو معادله بر اساس شرط درجه‌ای بیش از حد مشخص می‌باشند. برای تخمین معادلات بیش از حد مشخص، روش‌های برآورد سیستم معادلات همزمان پیشنهاد می‌شود.

جدول ۵- نتایج حاصل از آزمون تشخیص

مدل	m -1	K-k	نتیجه
معادله RE	۱	۳	بیش از حد مشخص
معادله ECOP	۱	۴	بیش از حد مشخص

از آن‌جا که برخی از متغیرها درون‌زا هستند و احتمال وجود همبستگی با جمله پسماند وجود دارد، آزمون همزمانی برای بررسی همبستگی متغیرهای درون‌زا و جمله‌های پسماند ضروری است. بدین منظور آزمون تعدیل شده هاسمن انجام شد که نتایج آن در جدول ۶ ارائه شده است. ارزیابی شروط آزمون تشخیص هر یک از معادلات نشان می‌دهد که معادلات بیش از حد مشخص می‌باشند؛ لذا برای تخمین معادلات از روش حداقل مربعات سه مرحله‌ای (3SLS) استفاده شد.

جدول ۶- نتایج حاصل از آزمون تعدیل شده هاسمن

متغیر	آماره آزمون	احتمال
متغیر RE	۱۵۹/۱۳	۰/۰۰۰۰۱
متغیر ECOP	۱۷۰۳/۸۸	۰/۰۰۰۰۱

نتایج برآورد معادلات به روش پانل 3SLS در جدول ۷ آورده شده است. در معادله اول، مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر متغیر وابسته می‌باشد. نتایج به‌دست آمده حاکی از تأثیر منفی و معنی‌دار ردپای اکولوژیک بر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر است. با افزایش یک واحد ردپای اکولوژیک، میزان مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر ۱۷/۳۵ واحدکاهش می‌یابد. سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی نیز تأثیر منفی و معنی‌داری بر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر دارد و با افزایش یک واحد سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی، مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر ۰/۷۸ واحدکاهش می‌یابد که نشان می‌دهد سرمایه‌گذاری‌های مستقیم خارجی به سمت استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر هدایت نمی‌شود. متغیر شهرنشینی هم تأثیر منفی و معنی‌داری بر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر دارد. با افزایش یک واحدی متغیر شهرنشینی میزان مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر ۰/۳۲ واحد کاهش می‌یابد. گسترش شهرنشینی در اکثر کشورهای درحال‌توسعه و کشورهای با درآمد متوسط رو به پایین منجر به افزایش استفاده از سوخت‌های فسیلی می‌شود، زیرا استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در مناطق شهری نیازمند سرمایه‌گذاری اولیه و داشتن فضا برای نصب آن می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد نوآوری تکنولوژیک تأثیر منفی و معنی‌داری بر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر دارد. با افزایش یک واحدی نوآوری تکنولوژیک میزان مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر ۰/۰۶ واحد کاهش می‌یابد. رابطه رانت منابع طبیعی با مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر مثبت و معنی‌دار است و با یک واحد افزایش

در متغیر رانت منابع طبیعی، مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر ۰/۳۴ واحد افزایش می‌یابد. متغیر رشد اقتصادی بر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر اثر منفی و معنی‌داری داری دارد و با افزایش یک واحدی تولید ناخالص داخلی میزان مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر ۹/۳۳ واحدکاهش می‌یابد. در اکثر کشورهای در حال توسعه هدف اولیه رشد اقتصادی است. از آن‌جایی که انرژی‌های تجدیدناپذیر و مبتنی بر سوخت‌های فسیلی ارزان‌تر می‌باشند، مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر همراه با رشد اقتصادی افزایش خواهد یافت.

نتایج حاصل از برآورد معادله دوم که در آن ردپای اکولوژیک متغیر وابسته می‌باشد، نشان می‌دهد که ضریب برآورد شده برای مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر برابر با ۰/۰۰۷- است. یعنی با افزایش یک واحدی مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر، ردپای اکولوژیک ۰/۰۰۷ کاهش می‌یابد که نشان می‌دهد استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر سبب بهبود کیفیت محیط زیست می‌شود. با توجه به مسائل و مشکلات زیست محیطی به‌وجود آمده، نیاز مبرمی برای جایگزینی انرژی‌های تجدیدپذیر به جای انرژی‌های تجدید ناپذیر وجود دارد. نتایج نشان می‌دهد که متغیر سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی اثر منفی و معنی‌داری بر متغیر ردپای اکولوژیک دارد و با افزایش یک واحدی سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی، ردپای اکولوژیک ۰/۰۲۳ واحد کاهش می‌یابد. نتایج گویای آن است که هر دو متغیر تولید محصولات زراعی و تولیدات دامی تأثیر مثبت و معناداری بر ردپای اکولوژیک دارند. به‌طوری‌که با یک واحد افزایش در میزان تولید محصولات زراعی و تولیدات دامی، ردپای اکولوژیک به‌ترتیب ۰/۰۰۲۲ و ۰/۰۰۴۲ واحد افزایش می‌یابد. فعالیت‌های کشاورزی یکی از عوامل ایجاد کننده آلودگی‌های محیط زیستی بوده و به‌طور معنی‌داری بر ردپای اکولوژیک در کشورهای مورد بررسی شده مؤثر هستند. شاخص توسعه مالی اثر مثبت و معناداری بر متغیر ردپای اکولوژیک دارد و با افزایش یک واحدی شاخص توسعه مالی متغیر ردپای اکولوژیک ۰/۰۱۰۷ واحد افزایش می‌یابد.

جدول ۷- نتایج حاصل از برآورد معادلات به روش پانل 3SLS

معادله RE				
نام متغیر	**ضریب برآورد**	**انحراف معیار**	**آماره t**	**P-value**
ردپای‌اکولوژیک (ECOP)	-۱۷/۳۴۵۹	۴/۰۰۷۰	-۴/۳۳	***۰/۰۰۰۱
سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی (FDI)	-۰/۷۷۶۶	۰/۲۳۱۶	-۳/۳۵	***۰/۰۰۱
نوآوری تکنولوژیک (INOV)	-۰/۰۵۹۴	۰/۰۱۲۸	-۴/۶۲	***۰/۰۰۰۱
رانت منابع طبیعی (NR)	۰/۳۳۵۷	۰/۰۹۷۱	۳/۴۶	***۰/۰۰۱
جمعیت شهری (URB)	-۰/۳۲۰۲	۰/۰۴۶۲	-۶/۹۲	***۰/۰۰۰۱
رشد اقتصادی (GDP)	-۹/۳۲۸۰	۱/۲۸۰۹	-۷/۲۸	***۰/۰۰۰
معادله ECOP				
نام متغیر	**ضریب برآورد**	**انحراف معیار**	**آماره t**	**P-value**
مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر (RE)	-۰/۰۰۷۱	۰/۰۰۲۴	-۲/۹۱	***۰/۰۰۴
سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی (FDI)	-۰/۰۲۳۹	۰/۰۰۸۴	-۲/۸۳	***۰/۰۰۵
توسعه مالی (FD)	۰/۰۱۰۷	۰/۰۰۱۹	۵/۵۰	***۰/۰۰۰
تولیدات دامی (LP)	۰/۰۰۴۲	۰/۰۰۱۵	۲/۷۷	***۰/۰۰۶
تولید محصولات زراعی (CP)	۰/۰۰۲۲	۰/۰۰۱۳	۱/۷۳	*۰/۰۸۴

*** و * به‌ترتیب معنی‌داری در سطح ۱٪ و ۱۰٪

بحث

امروزه تخریب محیط زیست بزرگ‌ترین چالش توسعه‌ی پایدار است که پیامد افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای در نتیجه مصرف انرژی‌های فسیلی می‌باشد. یکی از مهم‌ترین منابع برای توسعه و بهبود زندگی در یک کشور مصرف انرژی است (Skin Salvarli & Salvarli, 2020) و استفاده از انرژی‌های تجدیدناپذیر و کاهش منابع طبیعی، آگاهی مردم را نسبت به گرمایش جهانی افزایش داده و تمرکز بسیاری از کشورها را به سمت انرژی‌های تجدیدپذیر سوق داده است (Zappa *et al*., 2019). لذا در این مطالعه رابطه بین مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و کیفیت محیط زیست در منتخبی از کشورهای با درآمد متوسط رو به پایین از جمله ایران مورد بررسی قرار گرفته است.

نتایج نشان داد که اثر ردپای‌اکولوژیک بر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر منفی است؛ یعنی تخریب محیط زیست کشورهای منتخب را به سمت استفاده از انرژی‌های دوستدار محیط زیست سوق نداده است. این نتیجه با مطالعه Khan و همکاران (۲۰۲۱) و Mukhtarov و همکاران (۲۰۲۰) مطابقت دارد.

همچنین نتایج نشان داد که افزایش سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر را کاهش می‌دهد. از آن‌جایی که سرمایه‌گذاری‌های مستقیم خارجی سبب استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر نمی‌شود، تأثیر مخربی بر محیط زیست دارد. هدایت سرمایه‌گذاری‌های مستقیم خارجی از مصرف بیشتر انرژی‌های تجدیدناپذیر به انرژی‌های تجدیدپذیر نیازمند سیاست‌های تشویقی مؤثر برای جذب سرمایه‌گذاری‌های مستقیم خارجی پاک در این کشورها است. نتایج به‌دست آمده با نتایج Kilicarslan (۲۰۱۹) و Khan و همکاران (۲۰۲۱) مطابقت دارد.

بر اساس نتایج به‌دست آمده نوآوری تکنولوژیک تأثیر منفی بر استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر دارد. تأثیر منفی نوآوری‌های تکنولوژیک بر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر به این دلیل است که نوآوری‌ها به سمت منابع انرژی تجدیدپذیر هدایت نشده است. این نتیجه با مطالعات Alam و Murad (۲۰۲۰) و Khan و همکاران (۲۰۲۱) همخوانی دارد.

یکی دیگر از متغیرهای مدل شهرنشینی است. ضریب شهرنشینی نشان‌دهنده تأثیر منفی شهرنشینی بر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر است. افزایش شهرنشینی و صنعتی شدن منجر به افزایش حجم وسایل نقلیه موتوری مبتنی بر سوخت، استفاده از وسایل برقی و توسعه فرآیند مکانیزاسیون مبتنی بر انرژی می‌شود (Liu, 2022). علاوه بر این، شهرنشینی به افزایش صنعتی شدن کمک می‌کند که نیاز به استفاده بیشتر از انرژی‌های تجدیدناپذیر است. استفاده بیشتر از انرژی‌های تجدیدناپذیر باعث افزایش انتشار آلاینده‌ها می‌شود که بر محیط‌زیست تأثیر منفی می‌گذارد (Tang *et al*., 2017). علت مصرف سوخت‌های فسیلی در جوامع در حال رشد، وابسته بودن بیشتر سیستم‌های گرمایشی و ناوگان حمل و نقل عمومی و خصوصی این جوامع به سوخت‌های فسیلی می‌باشد که این رویه باید به مرور اصلاح شود. پایین بودن آگاهی و دانش جمعیت در مورد الگوهای مصرفی و همچنین پایین بودن سطح تکنولوژی در این دسته از کشورها سبب استفاده از سوخت‌های فسیلی شده است (Naghdi *et al*., 2022). این نتیجه با مطالعات Liddle (۲۰۰۴)؛ Salim و Rafiq (۲۰۱۲)؛ Isalam و همکاران (۲۰۲۲) و Huang و همکاران (۲۰۲۲) مطابقت دارد.

رشد اقتصادی یا افزایش تولید ناخالص داخلی سرانه بر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر تأثیر منفی داشته که مطابق با مطالعات Akar (۲۰۱۶)؛ Bhattacharya و همکاران (۲۰۱۶) و Ergun و همکاران (۲۰۱۹) است. استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر نیاز به فن‌آوری‌های هزینه‌بر دارد و هزینه‌های اولیه سرمایه‌گذاری برای استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر بسیار بالا است. این مورد باعث تداوم مصرف انرژی سنتی می‌شود. نتایج نشان می‌دهد رشد اقتصادی در کشورهای با درآمد متوسط رو به پایین برای تأمین مالی به‌منظور استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر کافی نبوده است. درحالی‌که مطالعات Muhammad و همکاران (۲۰۲۱)؛ Hye و Riaz (۲۰۰۸)؛ Atif و Siddiqi (۲۰۱۰)؛ Liu و همکاران (۲۰۲۰)؛ Eren و همکاران (۲۰۱۹)؛ Chang و همکاران (۲۰۱۵)؛ Kahia و همکاران (۲۰۱۷)؛ Rafindadi و Ozturk (۲۰۱۷) و Matei (۲۰۱۷) به این نتیجه دست یافتند که در کشورهای توسعه‌یافته و با درآمد بالا، رشد اقتصادی اثر مثبتی بر مصرف انرژی‌های

تجدیدپذیر دارد. در واقع با افزایش سطح درآمد (رشد تولید ناخالص داخلی) می‌توان افزایش استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر را انتظار داشت.

اثر مثبت منابع طبیعی بر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر نشان می‌دهد که بازدهی منابع طبیعی به مردم انگیزه می‌دهد تا از آن‌ها به طور مؤثر و کارا استفاده کنند و مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر را افزایش می‌دهد. نتیجه به دست آمده با مطالعه Yasmeen و همکاران (۲۰۲۲) مطابقت دارد.

استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر تأثیر منفی و معنی‌داری بر ردپای اکولوژیک دارد. در اکثر مطالعات انجام شده مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر سبب کاهش ردپای اکولوژیک در کشورهای مورد بررسی شده است. نتایج با مطالعات Usman و Hammar (۲۰۲۱)؛ Muhammad و همکاران (۲۰۲۱)؛ Sharma و همکاران (۲۰۲۱)؛ Abdo و همکاران (۲۰۲۲)؛ Ullah و همکاران (۲۰۲۱)؛ Pata (۲۰۲۱)؛ Ansari و همکاران (۲۰۲۱)؛ Nathaniel و Khan (۲۰۲۰)؛ Adekoya و همکاران (۲۰۲۲)؛ Destek و Aslan (۲۰۱۷)؛ Sharif و همکاران (۲۰۲۰) و Usman و همکاران (۲۰۲۰) مطابقت دارد.

تأثیر منفی سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی (FDI) بر ردپای اکولوژیک نشان می‌دهد که ورود FDI می‌تواند تخریب محیط زیست را با تسهیل توسعه فن‌آوری‌های مدرن دوستدار محیط زیست کاهش دهد. فعالیت شرکت‌های خارجی می‌تواند تأثیر مثبتی بر محیط زیست کشور میزبان داشته باشد. این فرضیه هاله آلودگی نامیده می‌شود. مطابق با مطالعه Zafar و همکاران (۲۰۱۹) شرکت‌های خارجی دوستدار محیط زیست، فن‌آوری‌های پیشرفته، کارآمد و پاک‌تر از نظر محیط‌زیستی را با سیستم‌های مدیریت محیط‌زیستی قوی به کشورهای میزبان می‌آورند.

تأثیر مثبت و معنی‌دار توسعه مالی بر ردپای اکولوژیک را می‌توان به این نسبت داد که توسعه مالی تقاضاهای انسانی را تحریک می‌کند و بخش مالی منابع را به شرکت‌ها تخصیص می‌دهد که به نوبه خود فعالیت‌های تولیدی را افزایش می‌دهد که منجر به افزایش پسماندهای صنعتی و تخریب محیط‌زیست می‌شود. علاوه بر این، توسعه مالی با ارائه وام‌های توسعه‌ای میان‌مدت و بلند مدت، پروژه‌های زیربنایی را ارتقا می‌دهد. این پروژه‌های زیربنایی شامل ساخت جاده‌ها، خطوط راه‌آهن و بنادر دریایی است و به منابع عظیم زمینی، آبی و هوایی نیاز دارد که باعث افزایش ردپای اکولوژیک می‌شود. در این راستا، بخش مالی می‌تواند دسترسی بنگاه‌هایی را که دوستدار محیط زیست نیستند را به وام سخت‌تر نماید (Nasreen *et al*., 2017). دلیل احتمالی دیگر می‌تواند این باشد که توسعه مالی قدرت خرید را افزایش می‌دهد. این امر مردم را قادر می‌سازد تا کالاهای لوکس مانند خانه، خودرو را خریداری کنند که به نوبه خود فشار زیادی بر محیط زیست وارد می‌کند. بنابراین گروه کشورهای درآمد متوسط رو به پایین باید به تأثیرات زیست محیطی ناشی از توسعه مالی توجه جدی داشته باشند. یافته ها با مطالعات Charfeddine و Mrabet (۲۰۱۷)؛ Mrabet و Alsamara (۲۰۱۷) و Baloch و همکاران (۲۰۱۹) مطابقت دارد.

طبق نتایج به‌دست آمده، تولیدات کشاورزی تأثیر مثبت و معنی‌داری بر ردپای اکولوژیک دارند. این نتایج با یافته‌های Sarkodie و Owusu (۲۰۱۷)؛ Tarazkar و همکاران (۲۰۱۸) و Rehman و همکاران (۲۰۲۱) مطابقت دارد. کشاورزی می‌تواند به‌طور مستقیم از طریق شخم زدن زمین و پرورش دام و همچنین به‌طور غیر مستقیم از طریق آمونیاک موجود در کودها در مزارع کشاورزی، تالاب‌های فاضلاب‌های دامی، ذبح حیوانات گوشتی، تولید ذرت و پروتئین سویا، پالایش قند، فرآوری پشم و موارد دیگر، آلودگی ایجاد نماید. می‌توان گفت دامداری‌های صنعتی یکی از دلایل اصلی نابودی کره زمین است. گاز متانی که از مزارع پرورش دام تولید می‌شود، ضرر بیشتری نسبت به دی‌اکسید کربن دارد و یکی از عوامل تأثیرگذار در تغییرات اقلیمی به‌شمار می‌رود. استفاده از زمین‌های کشاورزی در دنیا نگران‌کننده است. یک‌سوم زمین‌های زراعی برای پرورش دام و کشت خوراک دام استفاده می‌شوند. بنابراین باید به‌منظور تأمین نیازهای تغذیه‌ای اقشار جامعه، فعالیت‌های کشاورزی را با تمهیدات خاصی برای کاهش ردپای اکولوژیک گسترش داد.

به‌طور کلی نتایج نشان داد که بین تخریب محیط زیست و مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر یک رابطه منفی وجود دارد یعنی مصرف انرژی‌های تجدید پذیر، کیفیت محیط زیست را بهبود می‌بخشد. سرمایه‌گذاری‌های مستقیم

خارجی و نوآوری‌های تکنولوژیک به سمت استفاده بیشتر از انرژی‌های تجدیدپذیر هدایت نشده‌اند. همچنین جمعیت شهری و رشد اقتصادی اثر منفی و معنی‌داری بر مصرف انرژی‌های تجدید پذیر دارند. رانت منابع طبیعی اثر مثبت و معنی‌داری بر مصرف انرژی‌های تجدید پذیر دارد. تولیدات کشاورزی و توسعه مالی تأثیر مثبت و معنی‌دار و سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی و مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر تأثیر منفی و معنی‌دار بر تخریب محیط زیست دارند. لذا توسعه و به‌کارگیری فن‌آوری‌های دوستدار محیط زیست در بخش کشاورزی، هدایت نوآوری‌های تکنولوژیک و سرمایه‌گذاری‌های مستقیم خارجی به سمت استفاده بیشتر از انرژی‌های تجدیدپذیر و فعالیت‌های سازگار با محیط زیست، حمایت از فعالیت‌ها و تکنولوژی‌های سازگار با محیط زیست می‌تواند به کاهش تخریب محیط زیست و رسیدن به توسعه پایدار کمک نماید.

منابع

1. **Abdo, A.B., Bin, L., Zhang, X., Saeed, M., Qahtan, A.S.A. and Ghallab, H.M.H., 2022.** Spatial analysis of financial development's effect on the ecological footprint of belt and road initiative countries: Mitigation options through renewable energy consumption and institutional quality. Journal of Cleaner Production. 366, 132696.
2. **Adekoya, O.B., Oliyide, J.A. and Fasanya, I.O., 2022.** Renewable and non-renewable energy consumption–Ecological footprint nexus in net-oil exporting and net-oil importing countries: Policy implications for a sustainable environment. Renewable Energy. 189, 524-534.
3. **Akar, B.G., 2016.** The determinants of renewable energy consumption: An empirical analysis for the Balkans. European Scientific Journal. 12(11), 594.
4. **Alam, M.M. and Murad, M.W., 2020.** The impacts of economic growth, trade openness and technological progress on renewable energy use in organization for economic co-operation and development countries. Renewable Energy. 145, 382-390.
5. **Amer, E.A.A.A., Meyad, E.M.A., Gao, Y., Niu, X., Chen, N., Xu, H. and Zhang, D., 2022.** Exploring the link between natural resources, urbanization, human capital, and ecological footprint: A case of GCC countries. Ecological Indicators. 144, 109556.
6. **Ansari, M.A., Haider, S. and Masood, T., 2021.** Do renewable energy and globalization enhance ecological footprint: an analysis of top renewable energy countries? Environmental Science and Pollution Research. 28(6), 6719-6732.
7. **Ardali, F., 2014.** Comparison of renewable and non-renewable energy consumption on the ecological footprint index in Iran, The first international conference on international business, economic studies and humanities, Shiraz, Iran. (In Persian)
8. **Atif, S.M. and Siddiqi, M.W., 2010.** The electricity consumption and economic growth nexus in Pakistan: A new evidence. Available at SSRN 1569580.
9. **Baloch, M.A., Zhang, J., Iqbal, K. and Iqbal, Z., 2019.** The effect of financial development on ecological footprint in BRI countries: evidence from panel data estimation. Environmental Science and Pollution Research. 26(6), 6199-6208.
10. **Baz, K., Xu, D., Ali, H., Ali, I., Khan, I., Khan, M.M. and Cheng, J., 2020.** Asymmetric impact of energy consumption and economic growth on ecological footprint: using asymmetric and nonlinear approach. Science of the Total Environment. 718, 137364.
11. **Bhattacharya, M., Paramati, S.R., Ozturk, I. and Bhattacharya, S., 2016.** The effect of renewable energy consumption on economic growth: Evidence from top 38 countries. Applied energy. 162, 733-741.
12. **Cetin, M.A., 2018.** Investigating the environmental Kuznets curve and the role of green energy: emerging and developed markets. International Journal of Green Energy. 15(1), 37-44.
13. **Chang, T., Gupta, R., Inglesi-Lotz, R., Simo-Kengne, B., Smithers, D. and Trembling, A., 2015.** Renewable energy and growth: Evidence from heterogeneous panel of G7 countries using Granger causality. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 52, 1405-1412.
14. **Charfeddine, L. and Mrabet, Z., 2017.** The impact of economic development and social-political factors on ecological footprint: A panel data analysis for 15 MENA countries. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 76, 138-154.
15. **Chen, H., Rehman, M.A., Luo, J. and Ali, M., 2022.** Dynamic influence of

natural resources, financial integration and eco-innovation on ecological sustainability in EKC framework: Fresh insights from China. Resources Policy. 79, 103043.
16. **Destek, M.A. and Aslan, A., 2017.** Renewable and non-renewable energy consumption and economic growth in emerging economies: Evidence from bootstrap panel causality. Renewable Energy. 111, 757-763.
17. **Dietz, T. and Rosa, E.A., 1994.** Rethinking the environmental impacts of population, affluence 597 and technology. Human Ecology Review. 1(2), 277-300.
18. **Dietz, T. and Rosa, E.A., 1997.** Environmental impacts of population and consumption. Environmentally significant consumption: Research directions, 92-99.
19. **Ehtemami, N., 2021.** The effect of foreign direct investment and consumption of renewable energy on reducing environmental degradation in selected developing countries. 1st International Conference on Industrial Engineering, Management, Economy and Accounting, Brussels, Belgium. (In Persian)
20. **Eren, B.M., Taspinar, N. and Gokmenoglu, K.K., 2019.** The impact of financial development and economic growth on renewable energy consumption: Empirical analysis of India. Science of the Total Environment. 663, 189-197.
21. **Ergun, S.J., Owusu, P.A. and Rivas, M.F., 2019.** Determinants of renewable energy consumption in Africa. Environmental Science and Pollution Research. 26(15), 15390-15405.
22. **Huang, Y., Ahmad, M. and Ali, S., 2022.** The impact of trade, environmental degradation and governance on renewable energy consumption: Evidence from selected ASEAN countries. Renewable Energy. 197, 1144-1150.
23. **Hye, Q.M.A. and Riaz, S., 2008.** Causality between energy consumption and economic growth: the case of Pakistan. The Lahore Journal of Economics. 13(2), 45-58.
24. **Islam, M.M., Irfan, M., Shahbaz, M. and Vo, X.V., 2022.** Renewable and non-renewable energy consumption in Bangladesh: The relative influencing profiles of economic factors, urbanization, physical infrastructure and institutional quality. Renewable Energy. 184, 1130-1149.
25. **Kahia, M., Aïssa, M.S.B. and Lanouar, C., 2017.** Renewable and non-renewable energy use-economic growth nexus: The case of MENA Net Oil Importing Countries. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 71, 127-140.
26. **Kang, X., Khan, F.U., Ullah, R., Arif, M., Rehman, S.U. and Ullah, F., 2021.** Does foreign direct investment influence renewable energy consumption? empirical evidence from south Asian countries. Energies. 14(12), 3470.
27. **Kargar Dehbidi, N. and Esmaeili, A., 2018.** Assessing the Effects of Economic Factors on Environmental Pollution in Iran. Journal of Agricultural Economics Researches. 9(4), 85-108. (In Persian)
28. **Khan, A., Chenggang, Y., Hussain, J. and Kui, Z., 2021.** Impact of technological innovation, financial development and foreign direct investment on renewable energy, non-renewable energy and the environment in belt & Road Initiative countries. Renewable Energy. 171, 479-491.
29. **Khanmohamadi, E. and Mahravan, A., 2019.** Assessing the Mitigation of Environmental Impacts of Using Renewable Resources in Rural Areas (Case Study: Nejobaran Village-Kermanshah-Iran). Housing and Rural Environment. 38(165), 97-112.
30. **Kilicarslan, Z., 2019.** The relationship between foreign direct investment and renewable energy production: Evidence from Brazil, Russia, India, China, South Africa and Turkey. International Journal of Energy Economics and Policy. 9(4), 291-297.
31. **Kitzes, J., Peller, A., Goldfinger, S. and Wackernagel, M., 2007.** Current methods for calculating national ecological footprint accounts. Science for Environment & Sustainable society. 4, 1-9.
32. **Kuriqi, A., Pinheiro, A.N., Sordo-Ward, A. and Garrote, L., 2020.** Water-energy-ecosystem nexus: Balancing competing interests at a run-of-river hydropower plant coupling a hydrologic–ecohydraulic approach. Energy Conversion and Management. 223, 113267.
33. **Li, Z., Leong, L.W., Aldoseri, M.M.N., Muda, I., Abu-Rumman, A. and Al Shraah, A., 2023.** Examining the role of sustainability and natural resources management in improving environmental quality: Evidence from Asian countries. Resources Policy. 80, 103136.
34. **Liddle, B., 2004.** Demographic dynamics and per capita environmental impact: Using panel regressions and household decompositions to examine population and

transport. Population and Environment. 26(1), 23-39.
35. **Liu, J., Murshed, M., Chen, F., Shahbaz, M., Kirikkaleli, D. and Khan, Z., 2021.** An empirical analysis of the household consumption-induced carbon emissions in China. Sustainable Production and Consumption. 26, 943-957.
36. **Liu, X., 2022.** Impact of urbanization on energy consumption and haze in China-A review. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects. 44(1), 1959-1976.
37. **Lotfalipor, M.R., Falahi, M.A. and Bastam, M., 2012.** The Environmental Issues and Forecasting of Carbon Dioxide Emissions in Iran Economy. Journal of Applied Economics Studies in Iran. 1(3), 81-109. (In Persian)
38. **Matei, I., 2017.** Is there a Link between renewable energy consumption and economic growth? a dynamic panel investigation for the OECD Countries. Revue d'economie politique. 127(6), 985-1012.
39. **Monfreda, C., Wackernagel, M. and Deumling, D., 2004.** Establishing National Natural Capital Accounts Based on Detailed Ecological Footprint and Biological Capacity Assessments. Land Use Policy. 21, 231-246.
40. **Mrabet, Z. and Alsamara, M., 2017.** Testing the Kuznets Curve hypothesis for Qatar: A comparison between carbon dioxide and ecological footprint. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 70, 1366-1375.
41. **Muhammad, B., Khan, M.K., Khan, M.I. and Khan, S., 2021.** Impact of foreign direct investment, natural resources, renewable energy consumption, and economic growth on environmental degradation: evidence from BRICS, developing, developed and global countries. Environmental Science and Pollution Research, 28(17), 21789-21798.
42. **Mukhtarov, S., Mikayilov, J.I., Humbatova, S. and Muradov, V., 2020.** Do high oil prices obstruct the transition to renewable energy consumption? Sustainability. 12(11), 4689.
43. **Naghdi, Y., Kaghazian, S. and Lashkarizadeh, M., 2022.** The Impact of Urbanization on the consumption renewable and non-renewable energies in selected Developing countries, Journal of Environmental Sciences and Technology. 23(11), 25-36. (In Persian)
44. **Nasreen, S., Anwar, S. and Ozturk, I., 2017.** Financial stability, energy consumption and environmental quality: Evidence from South Asian economies. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 67, 1105-1122.
45. **Nathaniel, S. and Khan, S.A.R., 2020.** The nexus between urbanization, renewable energy, trade, and ecological footprint in ASEAN countries. Journal of Cleaner Production. 272, 122709.
46. **Nijkamp, P., Rossi, E. and Vindigni, G., 2004.** Ecological footprints in plural: a metaanalytic comparison of empirical results. Regional Studies. 38(7), 747-765.
47. **Omri, A., Nguyen, D.K. and Rault, C., 2014.** Causal interactions between CO_2 emissions, FDI, and economic growth: Evidence from dynamic simultaneous-equation models. Economic Modelling. 42, 382-389.
48. **Panwar, N.L., Kaushik, S.C. and Kothari, S., 2011.** Role of renewable energy sources in environmental protection: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 15(3), 1513-1524.
49. **Pata, U.K., 2021.** Renewable and non-renewable energy consumption, economic complexity, CO_2 emissions, and ecological footprint in the USA: testing the EKC hypothesis with a structural break. Environmental Science and Pollution Research. 28(1), 846-861.
50. **Rafindadi, A.A. and Ozturk, I., 2017.** Impacts of renewable energy consumption on the German economic growth: Evidence from combined cointegration test. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 75, 1130-1141.
51. **Rehman, A., Ma, H., Ahmad, M., Irfan, M., Traore, O. and Chandio, A.A., 2021.** Towards environmental Sustainability: Devolving the influence of carbon dioxide emission to population growth, climate change, Forestry, livestock and crops production in Pakistan. Ecological Indicators. 125, 107460.
52. **Sadeghi, K., Sajoudi, S. and Ahmadzadeh, F., 2017.** Renewable Energy, Economic Growth and Quality of the Environment in Iran. Quarterly Journal of Energy Policy and Planning Research. 3(1), 171-202. (In Persian)
53. **Salim, R.A. and Rafiq, S., 2012.** Why do some emerging economies proactively accelerate the adoption of renewable energy? Energy economics. 34(4), 1051-1057.

Data. Quarterly Journal of Quantitative Economics. 11(4), 1-19. (In Persian)

61. **Ullah, A., Ahmed, M., Raza, S.A. and Ali, S., 2021.** A threshold approach to sustainable development: Nonlinear relationship between renewable energy consumption, natural resource rent, and ecological footprint. Journal of Environmental Management. 295, 113073.
62. **Usman, O., Akadiri, S.S. and Adeshola, I., 2020.** Role of renewable energy and globalization on ecological footprint in the USA: implications for environmental sustainability. Environmental Science and Pollution Research. 27(24), 30681-30693.
63. **Wiedmann, T., Minx, J., Barrett, J. and Wackernagel, M., 2006.** Allocating ecological footprints to final consumption categories with input–output analysis. Ecological Economics. 56(1), 28-48.
64. **Yasmeen, R., Zhaohui, C., Shah, W.U.H., Kamal, M.A. and Khan, A., 2022.** Exploring the role of biomass energy consumption, ecological footprint through FDI and technological innovation in B&R economies: A simultaneous equation approach. Energy. 244, 122703.
65. **Zabihi, S.M.G., Akbari, F. and Salehnia, N., 2023.** The Effect of Renewable Energy Consumption on Reducing Carbon Emissions (With Emphasis on Wind and Solar Energy). Journal of Energy Economics Modeling. 1(1), 1-28. (In Persian)
66. **Zafar, M.W., Zaidi, S.A.H., Khan, N.R., Mirza, F.M., Hou, F. and Kirmani, S.A.A., 2019.** The impact of natural resources, human capital, and foreign direct investment on the ecological footprint: the case of the United States. Resources Policy. 63, 101428.
67. **Zappa, W., Junginger, M. and Van Den Broek, M., 2019.** Is a 100% renewable European power system feasible by 2050. Applied Energy. 233, 1027-1050.
54. **Sarkodie, S. and Owusu, P., 2017.** The relationship between carbon dioxide, crop and food production index in Ghana: By estimating the long-run elasticities and variance decomposition. Environmental Engineering Research. 22(2), 193-202.
55. **Sharif, A., Baris-Tuzemen, O., Uzuner, G., Ozturk, I. and Sinha, A., 2020.** Revisiting the role of renewable and non-renewable energy consumption on Turkey's ecological footprint: Evidence from Quantile ARDL approach. Sustainable Cities and Society. 57, 102138.
56. **Sharma, R., Sinha, A. and Kautish, P., 2021.** Does renewable energy consumption reduce ecological footprint? Evidence from eight developing countries of Asia. Journal of Cleaner Production. 285, 124867.
57. **Skin Salvarli, M. and Salvarli, H., 2020.** For sustainable development: future trends in renewable energy and enabling technologies. In Renewable Energy-Resources, Challenges and Applications. IntechOpen.
58. **Tang, D.L., Li, L. and Hong, X.F., 2017.** The spatial spillover effect of energy consumption on haze pollution in China-An empirical research based on the static and dynamic spatial panel data model. Systems Engineering-Theory & Practice. 37(7), 1697-1708.
59. **Tarazkar, M.H., Kargar Dehbidi, N. and Shokoohi, Z., 2018.** Estimating the ecological footprint of agricultural production in D-8 Islamic countries. Environmental Sciences. 16(4), 17-32. (In Persian)
60. **Tohidi, A., Shahnoushi Foroushani, N., Mohammadi, H. and Alizadeh, P., 2015.** An Empirical Evaluation of the Effects of Trade and Financial-Openness on Government Size: An Application of Simultaneous Equation System in Panel

2025, The Author(s). Research Center for Environment and Sustainable Development (RCESD). This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

Environment & Interdisciplinary Development
Journal homepage: https://www.envjournal.ir

Investigating the Relationship between Renewable Energy Consumption and Environmental Degradation

Mahsa Shojaeifar[1], Somayeh Amirtaimoori[1*], Mohammad Reza Zare Mehrjerdi[1]

1*- Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

Original Article

Received:
2024.10.28

Accepted:
2025.05.22

Keywords:
Panel Data,
Ecological Footprint,
3SLS Method,
Renewable Energy

Abstract

Introduction: In recent decades, human activities have significantly damaged the environment, and currently, the emission of greenhouse gases and global warming are among the most important environmental issues. The use of fossil energy has made a major contribution to the emission of greenhouse gases and as a result the destruction of the environment by humans. Due to the role of renewable energies in reducing the emission of pollutants and as a result reducing the destruction of the environment, more use of these energies has attracted the attention of countries. Therefore, in this study, the relationship between renewable energy consumption and environmental degradation (ecological footprint index) in 38 countries with lower average income during the period of 1997 to 2020 has been investigated.

Materials and Methods: For this purpose, the system of simultaneous equations and the three-stage least squares method (3SLS) were used. In order to estimate the system of simultaneous equations, first, the stationary of the variables was checked, and to avoid spurious regression, the co-integration of the equations was checked using the Kao test. Then, using the Hausman test, a choice was made between the two methods of estimating the panel data. After that, the simultaneity bias test was performed to check the existence of simultaneity between the endogenous variables and finally, in order to analyze the data, the system of equations was estimated using the 3SLS method. The necessary statistics and information were collected from the Global Footprint Network website and the World Bank database for the period of 1997-2020.

Results: The empirical results showed that there is a negative relationship between environmental degradation and renewable energy consumption, and with a one-unit increase in renewable energy consumption, the ecological footprint decreases by 0.0071. With a one-unit increase in the variables of foreign direct investment, urbanization, technological innovation, and economic growth, the amount of renewable energy consumption decreases by 0.78, 0.32, 0.06, and 33.9 units, respectively. The amount of renewable energy consumption increases by 0.34 units with a one-unit increase in the variable of natural resource rent. A one-unit increase in the variables of crop production, livestock production index, and financial development index will increase the ecological footprint by 0.0022, 0.0042, and 0.0107 units. With a one-unit increase in foreign direct investment, the ecological footprint decreases by 0.023 units.

Discussion: The results showed that increasing the use of renewable energy can improve the quality of the environment. The financial sector has allocated resources to enterprises that have led to an increase in industrial waste, pollution emissions, and consequently environmental degradation. The agricultural sector has caused

* Corresponding Author's email: amirtaimoori@uk.ac.ir

pollution and environmental degradation through livestock farming, ammonia in fertilizers on agricultural fields, livestock wastewater wetlands, slaughtering meat animals, corn and soy protein production, sugar refining, wool processing, and other things. Foreign capital can reduce environmental degradation by facilitating the development of modern environmentally friendly technologies. Increasing the efficiency of natural resources motivates people to use them effectively and efficiently and increases the consumption of renewable energies. Therefore, directing foreign direct investments and technological innovations towards greater use of renewable energies, increasing the natural resource rent, directing national resources towards environmentally friendly activities and technologies, increasing the productivity of crop and livestock production, and using environmentally friendly technologies in the agricultural sector can help reduce environmental degradation.