



نقش رانت نفت در زمینه اثرگذاری سیاست‌های سبز بر سلامت محیط‌زیست در ایران

ابوالقاسم گل‌خندان^۱، علی رستمی^۲، کوثر علی‌بیگی‌بنی^۳

۱- دانش‌آموخته دکتری اقتصاد بخش عمومی دانشگاه لرستان

۲- دانشجوی کارشناسی‌ارشد علوم و مهندسی محیط‌زیست دانشگاه تهران

۳- دانشجوی کارشناسی‌ارشد علوم و مهندسی محیط‌زیست دانشگاه تهران

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: پژوهشی	رانت نفت می‌تواند از طریق سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز و انرژی پاک به افزایش کیفیت و پایداری محیط‌زیست کمک کند. در مقابل، ممکن است که وابستگی به منابع نفتی با تضعیف کیفیت نهادی و حکمرانی خوب، اثر مطلوب فناوری‌های سبز و انرژی پاک را بر کیفیت محیط‌زیست کاهش دهد. بر این اساس در پژوهش حاضر به بررسی اثر اقدامات و سیاست‌های مدیریت سبز (شامل فناوری‌های سبز و انرژی پاک)، رانت نفت و اثر تعاملی این دو متغیر بر ضریب ظرفیت بار محیط‌زیست در ایران که با تقسیم ظرفیت زیستی اکوسیستم (سمت عرضه) بر ردپای بوم‌شناختی (سمت تقاضا) محاسبه می‌شود، طی سال‌های ۲۰۲۲-۱۹۹۰ پرداخته شده است. به این منظور از رویکرد نوین خود رگرسیون با وقفه‌های توزیعی فوریه (F-ARDL) مبتنی بر بازنمونه‌گیری استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که تأثیر بلندمدت اقدامات و سیاست‌های مدیریت سبز و رانت نفت بر ضریب ظرفیت بار، مطابق انتظار به‌ترتیب مثبت و منفی است. اثر تعاملی اقدامات و سیاست‌های مدیریت سبز و رانت نفت بر ضریب ظرفیت بار، منفی است که نشان می‌دهد رانت نفت منجر به تضعیف اثر مطلوب فناوری‌های سبز و انرژی پاک بر کیفیت محیط‌زیست می‌شود و فرضیه نفرین منابع طی دوره مورد بررسی را تأیید می‌کند. بر اساس سایر نتایج، رشد اقتصادی و شهرنشینی، اثر منفی و معنی‌دار بر ضریب ظرفیت بار داشته‌اند و فرضیه هاله آلودگی نیز تأیید می‌شود. بر این اساس تدوین و اعمال سیاست‌های لازم به‌منظور کاهش وابستگی به درآمدهای نفتی و اختصاص بخشی از درآمدهای حاصل از فروش نفت به سرمایه‌گذاری در تکنولوژی‌های مناسب و سازگار با محیط‌زیست از طریق ایجاد صندوق‌های سبز، پیشنهاد می‌شود.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۱۹	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۲۴	
دسترسی آنلاین: ۱۴۰۴/۱۲/۲۶	
کلید واژه‌ها: رانت نفت، فناوری‌های سبز، انرژی پاک، ضریب ظرفیت بار، اثر تعاملی، ARDL فوریه، ایران	



The Role of Oil Rent in the Impact of Green Policies on Environmental Health in Iran

Abolghasem Golkhandan^{1✉}, Ali Rostami², Kosar Alibeigibani³

1- PhD in Public Sector Economics, Department of Economics, Faculty of Economic and Administrative Sciences, Lorestan University, Khoram Abad, Iran

2- M.Sc. Student in Environmental Science and Engineering, Department of Natural Environment, Faculty of Natural Resources, Tehran University, Karaj, Iran

3- M.Sc. Student in Environmental Science and Engineering, Department of Natural Environment, Faculty of Natural Resources, Tehran University, Karaj, Iran

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received:
2025/07/10

Accepted:
2026/03/15

Available online:
2026/03/17

Keywords:

Oil Rent,
Green
Technologies,
Clean Energy,
Load Capacity
Factor,
Interaction Effect,
Fourier ARDL,
Iran

Abstract

Oil rents can contribute to improving environmental quality and sustainability through investment in green technologies and clean energy. Conversely, dependence on oil resources may weaken the positive impact of green technologies and clean energy on environmental quality by undermining institutional quality and good governance. Accordingly, this study investigates the effects of green management measures and policies (including green technologies and clean energy), oil rent, and their interaction on the Environmental Load Capacity Factor (LCF) in Iran, calculated as the ratio of ecosystem biocapacity (supply side) to ecological footprint (demand side), over the period 1990–2022. To this end, a novel Fourier bootstrap ARDL (F-ARDL) approach is employed. The results indicate that the long-run effects of green management measures and policies and oil rent on LCF are positive and negative, respectively, as expected. The interaction effect between green management measures and policies and oil rent on LCF is negative, suggesting that oil rent weakens the beneficial impact of green technologies and clean energy on environmental quality and thereby supports the resource curse hypothesis over the study period. Furthermore, economic growth and urbanization exert a negative and statistically significant effect on LCF, confirming the pollution halo hypothesis. Accordingly, it is recommended that appropriate policies be formulated and implemented to reduce dependence on oil revenues and allocate a portion of oil revenues to investment in suitable and environmentally friendly technologies through the establishment of green funds.

✉ Corresponding author E-mail address: golkhandana@gmail.com

مقدمه

رانت نفت که به تفاضل ارزش تولید نفت به قیمت‌های جهانی از کل هزینه‌های تولید آن اشاره دارد (گل خندان، ۱۴۰۳ الف)، می‌تواند بر توسعه اقتصادی و محیط‌زیست یک کشور تأثیر بگذارد (لقمان^۱، ۲۰۲۴). این رانت سهم مهمی از درآمد و ثروت را در کشورهای صادرکننده نفت تشکیل می‌دهد و از نظر تاریخی باعث رشد و توسعه اقتصادی این کشورها شده؛ اما به‌طور قابل توجهی در تخریب محیط‌زیست نیز نقش داشته است (کاهیا و عمری^۲، ۲۰۲۴). اگرچه اتکا به رانت‌های نفتی از نظر تاریخی به تخریب محیط‌زیست کمک کرده است، اما این رانت‌های نفتی می‌توانند به‌صورت استراتژیک برای ایجاد «اثر تکنیک»^۳ مورد استفاده قرار گیرند که در آن درآمدها به‌سمت سرمایه‌گذاری در توسعه و تولید فناوری‌های کارآمد از نظر انرژی و پایدار از نظر محیط‌زیستی هدایت می‌شوند (محمود و ثاقب^۴، ۲۰۲۲).

پژوهش‌های تجربی به‌طور گسترده‌ای رابطه بین رانت‌های نفتی (منابع طبیعی) و کیفیت محیط‌زیست را بررسی و یک رابطه پیچیده و چندوجهی را آشکار کرده‌اند (مانند: بیلگلی و همکاران^۵، ۲۰۲۳؛ زامبرانو-مونسرته و اورمنو-کاندلاریو^۶، ۲۰۲۳؛ اردوغان^۷، ۲۰۲۴؛ یا و همکاران^۸، ۲۰۲۴؛ دو و همکاران^۹، ۲۰۲۴؛ شی^{۱۰} و همکاران^{۱۰}، ۲۰۲۴؛ گل خندان و جهانگیری^{۱۰}، ۱۴۰۴ و گل خندان، ۱۴۰۴ الف). گروهی از این پژوهش‌ها نشان داده‌اند که رانت‌های نفتی تأثیر مخرب عمده‌ای بر کیفیت محیط‌زیست دارند و کشورهای با رانت‌های نفتی بالا، تمایل به افزایش انتشار CO₂ دارند که این امر، ارتباط بین ثروت نفتی و سطح آلودگی بالاتر را برجسته می‌کند. این همبستگی اغلب با نظارت و قوانین محیط‌زیستی ضعیف‌تر در اقتصادهای وابسته به نفت، تشدید می‌شود و منجر به انتشار گازهای صنعتی کنترل‌نشده و تخریب زیستگاه‌ها می‌شود. با این حال، برخی از مطالعات فوق، نتایج مثبت بالقوه‌ای را از تأثیر رانت نفت بر کیفیت محیط‌زیست نشان می‌دهند. مدیریت مؤثر و سرمایه‌گذاری استراتژیک رانت‌های نفتی می‌تواند اثرات منفی محیط‌زیستی را کاهش دهد. این مطالعات تأکید می‌کنند که وقتی درآمدهای نفتی به‌سمت توسعه فناوری‌های کارآمد از نظر انرژی و زیرساخت‌های انرژی تجدیدپذیر هدایت می‌شوند، می‌توانند انتشار گازهای گلخانه‌ای را به میزان قابل توجهی کاهش دهند. این اثر تکنیکی که در آن از رانت‌های نفتی برای تأمین مالی فناوری‌های پاک‌تر استفاده می‌شود، به‌ویژه در کشورهایی با حاکمیت قوی و سیاست‌های محیط‌زیستی روشن، مشهود است.

هدف اصلی این پژوهش بررسی اثر اقدامات و سیاست‌های مدیریت سبز (شامل فناوری‌های سبز و انرژی پاک)، رانت نفت و اثر تعاملی این دو متغیر بر ضریب ظرفیت بار^{۱۱} (LCF) محیط‌زیستی در ایران طی سال‌های ۲۰۲۲-۱۹۹۰ است. LCF با تقسیم ظرفیت زیستی اکوسیستم (BIO) در سمت عرضه طبیعت بر ردپای بوم‌شناختی (EF) در سمت تقاضا برای دارایی‌های بوم‌شناختی محاسبه می‌شود (گل خندان، ۱۴۰۳ ب و ج). وابستگی اقتصاد ایران به رانت منابع نفتی و توجه به این نکته که وضعیت کیفیت محیط‌زیست در ایران به سطوح ناپایداری رسیده است، بررسی تأثیر رانت منابع نفتی را بر کیفیت محیط‌زیست در ایران از کانال‌های مختلف مهم جلوه می‌دهد. اگرچه ارتباط بین رانت (قیمت) نفت (منابع طبیعی) و کیفیت محیط‌زیست در ایران در چندین مطالعه تجربی شده‌است (محتشمی و همکاران، ۱۳۹۴؛ گل خندان، ۱۴۰۴ الف و ب)، اما این مطالعات عمدتاً بر تأثیر مستقیم محیط‌زیستی رانت‌های نفتی متمرکز بوده‌اند. با این حال، تأثیر غیرمستقیم محیط‌زیستی رانت‌های نفتی، مانند نوآوری‌های تکنولوژیکی، نوآوری‌های محیط‌زیستی و انرژی سبز در مورد ایران، مورد مطالعه تجربی قرار نگرفته‌است. این

¹Luqman²Kahia & Omri³Technique Effect⁴Mahmood & Saqib⁵Bilgili⁶Zambrano-Monserrate & Ormeño-Candelario⁷Erdoghan⁸Ya⁹Du¹⁰Shi¹¹Load Capacity Factor (LCF)

درحالیست که ارزیابی تأثیرات تعدیل‌کننده رانت‌های نفتی بر پایداری محیط‌زیست از طریق این عوامل واسطه از اهمیت بالایی برخوردار است. بر این اساس، مطالعه حاضر حداقل از حیث دو جنبه مهم با مطالعات گذشته متفاوت است. نخست، این پژوهش برای نخستین بار به بررسی تأثیرات تعدیل‌کننده رانت نفت بر پایداری محیط‌زیست در ایران از طریق مسیرهای فناوری‌های سبز و انرژی پاک می‌پردازد. دوم، در این مطالعه برای غلبه بر محدودیت‌های برآوردگرهای پیشین از رویکرد نوین خود رگرسیون با وقفه‌های توزیعی فوریه^۱ (F-ARDL) استفاده است. با استفاده از توابع فوریه در روش ARDL، می‌توان بسیاری از شکست‌های ساختاری هموار را با شکل، زمان و تعداد مجهول در نظر گرفت. استفاده از این رویکرد جدید در زمینه موضوع پژوهش، منحصر به فرد است و از این بعد در قیاس با مطالعات خارجی انجام‌شده مانند کاهیا و عمری (۲۰۲۴) دارای نوآوری است.

مواد و روش‌ها

مدل پژوهش

مدل این پژوهش در چارچوب مدل «تأثیر تصادفی رگرسیون بر جمعیت، ثروت و فناوری»^۲ (STIRPAT) طراحی شده و برگرفته از مطالعه تجربی کاهیا و عمری (۲۰۲۴) با ارائه یک سری تعدیلات جزئی است. فرم رگرسیون خطی-لگاریتمی این مدل به شکل رابطه زیر است:

$$\ln LCF_t = \Phi_0 + \Phi_1 \ln GT_t + \Phi_2 \ln OR_t + \Phi_3 (\ln GT_t \times \ln OR_t) + \Phi_4 \ln GDP_{pc,t} + \Phi_5 \ln TR_t + \Phi_6 \ln UR_t + \xi_t \quad (1)$$

در رابطه فوق:

ln: لگاریتم طبیعی؛

LCF: ضریب ظرفیت بار (شاخص اندازه‌گیری پایداری محیط‌زیست)؛ که به صورت نسبت ظرفیت زیستی (بر حسب سرانه هکتار جهانی) به ردپای بوم‌شناختی (حسب سرانه هکتار جهانی) محاسبه می‌شود:

$$LCF = \frac{\text{BIO (سرانه) ظرفیت بیولوژیکی}}{\text{EF (سرانه) ردپای شناختی بوم}}$$

اگر LCF بزرگ‌تر از عدد ۱ باشد ($BIO > EF$)، مازاد بوم‌شناختی وجود دارد و شرایط محیطی و منابع طبیعی موجود برای رفع نیازهای انسان کافی است؛ اما اگر LCF کوچک‌تر از عدد ۱ باشد ($BIO < EF$)، نشان‌گر کسری بوم‌شناختی است و عادات مصرفی جامعه به محیط‌زیست آسیب می‌رساند. بدیهی است که اگر ظرفیت زیست‌محیطی با ردپای بوم‌شناختی برابر باشد ($BIO = EF$)، عرضه و تقاضای اکوسیستم، مساوی و تعادل بوم‌شناختی وجود دارد. این حالت نشان‌دهنده حد پایداری است و در آن مقدار LCF مساوی عدد ۱ است (پاتا^۳، ۲۰۲۱). LCF به‌عنوان شاخص جدیدی برای پایداری محیط‌زیست توسط محققانی به نام‌های سیچه و همکاران^۴ (۲۰۱۰) توسعه داده شده است و به دلیل مدل‌سازی هم‌زمان ابعاد تقاضا و عرضه محیط، شاخص برتر عملکرد محیط‌زیستی است (گل‌خندان، ۱۴۰۳ ج).

GT: اقدامات و سیاست‌های مدیریت سبز؛ داده‌های ثبت اختراع یک شاخص شناخته‌شده و رایج برای اندازه‌گیری متغیر نوآوری محیط‌زیستی و فناوری‌های سبز است. بر این اساس و با توجه به مطالعات تجربی انجام‌شده در این زمینه نظیر: کیریکالی و همکاران^۵ (۲۰۲۳)، ثاقب و دینکا^۶ (۲۰۲۳)، این و همکاران^۷ (۲۰۲۴) و برگوگی^۸ (۲۰۲۴) از تعداد اختراعات مرتبط با

^۱Fourier Bootstrap ARDL (F-ARDL)

^۲Stochastic Impact of Regression on Population, Affluence, and Technology (STIRPAT)

^۳Pata

^۴Siche

^۵Kirikaleli

^۶Saqib & Dinca

^۷Lin

^۸Bergougui

محیط‌زیست (GT₁) به‌عنوان شاخص فناوری‌های سبز استفاده شده است. اختراعات فناوری‌های سبز شامل اختراعاتی هستند که از نوآوری‌هایی حمایت می‌کنند و پایداری محیطی، بهره‌وری انرژی و راه‌حل‌های سازگار با محیط‌زیست را ارتقا می‌دهند (برگوگی و الدوسری^۱، ۲۰۲۴). همچنین، به‌منظور بررسی استحکام نتایج به پیروی از مطالعات تجربی ماجکودونمی و همکاران^۲ (۲۰۲۳) و کاهیا و عمری (۲۰۲۴) از سهم انرژی پاک (GT₂) که به‌صورت درصد سهم مصرف انرژی تجدیدپذیر از کل مصرف انرژی نهایی محاسبه می‌شود، به‌عنوان شاخص دیگری از فناوری‌های سبز استفاده شده است.

اثر تعاملی (ضربدری) شاخص‌های اقدامات سبز و رانت نفت؛ این متغیر با توجه به نقش تعدیل‌کننده GT در رابطه بین OR و LCF وارد مدل شده است. در این حالت اثر نهایی OR بر LCF به‌صورت رابطه زیر و به سطح GT وابسته و غیرخطی است:

$$\frac{\partial \ln LCF_t}{\partial \ln OR_t} = \Phi_2 + \Phi_3 \ln GT_t \quad (2)$$

با توجه به رابطه (۲)، اثرات نهایی ماکزیمم، متوسط و مینیمم رانت نفت بر ضریب ظرفیت بار به‌ترتیب از طریق روابط زیر محاسبه می‌گردند (محمدیان منصور و گل خندان، ۱۴۰۲):

$$(3) ME^{\max} = \Phi_2 + \Phi_3 \ln GT_t^{\max}$$

$$(4) ME^{\text{ave}} = \Phi_2 + \Phi_3 \ln GT_t^{\text{ave}}$$

$$(5) ME^{\min} = \Phi_2 + \Phi_3 \ln GT_t^{\min}$$

با فرض اثرگذاری منفی و معنادار OR بر LCF ($\Phi_2 < 0$) بر اساس مبانی نظری و مطالعات تجربی، دو حالت کلی زیر قابل تصور است:

(۱) اگر ضریب برآوردی اثر تعاملی (ضربدری) فناوری‌های سبز و رانت نفت مثبت و معنادار باشد ($\Phi_3 > 0$)، این موضوع بیان‌گر آن است که سطوح بالاتر GT، تأثیر منفی OR بر LCF را کاهش می‌دهد. به‌عبارت دیگر، پیشرفت‌های فناوری سبز و افزایش سهم انرژی پاک در خدمت تضعیف اثر نامطلوب رانت نفت بر کیفیت محیط‌زیستی است. بر این اساس، نقطه بازگشت یا حد آستانه GT را که در آن تأثیر OR بر LCF، صفر و پس از آن مثبت می‌شود، می‌توان به‌صورت رابطه زیر محاسبه کرد:

$$\frac{\partial \ln LCF_t}{\partial OR_t} = 0 \Leftrightarrow \ln GT_t = -\frac{\Phi_2}{\Phi_3} \Leftrightarrow GT^* = \exp\left[-\frac{\Phi_2}{\Phi_3}\right] \quad (6)$$

(۲) اگر ضریب برآوردی اثر تعاملی (ضربدری) فناوری‌های سبز و رانت نفت منفی و معنادار باشد ($\Phi_3 < 0$)، این موضوع بیان‌گر آن است که سطوح بالاتر GT، تأثیر منفی OR بر LCF را تقویت می‌کند. به‌عبارت دیگر، رانت نفت به تضعیف شاخص‌های فناوری‌های سبز و انرژی پاک می‌انجامد و در این حالت اثر نامطلوب رانت نفت بر کیفیت محیط‌زیستی تشدید می‌شود (موسی و همکاران، ۲۰۲۴).

GDP: تولید ناخالص داخلی (درآمد) سرانه به‌عنوان شاخص رشد اقتصادی (بر حسب دلار و به قیمت‌های ثابت سال ۲۰۱۵)؛ TR: تجارت؛ که به‌صورت سهم مجموع صادرات و واردات از GDP (بر حسب درصد) تعریف می‌شود. UR: درجه شهرنشینی؛ که به‌صورت سهم جمعیت شهری از کل جمعیت (بر حسب درصد) تعریف می‌شود. ξ : جزء اخلاص (خطا) مدل و t: دوره‌ی زمانی پژوهش شامل سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۲ (۳۳ سال) است. در جدول (۱) تعریف دقیق متغیرها به‌همراه منبع جمع‌آوری داده‌های آماری آن‌ها گزارش شده است.

¹ Bergougui & Aldawsari

² Temitayo & Majekodunmi

جدول (۱) متغیرها و منابع داده‌ها

متغیر	نماد	شاخص و نحوه اندازه‌گیری	منبع	علامت انتظاری
متغیر وابسته				
ظرفیت زیستی	BIO	منطقه تولیدی که می‌تواند آنچه مردم از طبیعت می‌خواهند را بازسازی کند (سرانه هکتار جهانی)	شبکه ردپای جهانی (GFN) (۲۰۲۴)	/
ردپای بوم‌شناختی	EF	منطقه تولید زیست‌شناختی را که مردم برای مصرف خود استفاده می‌کنند (سرانه هکتار جهانی)	GFN (۲۰۲۴)	/
ضریب ظرفیت بار	LCF	BIO/EF	محاسبات نویسنده	/
متغیرهای مستقل				
اقدامات سبز	GT ₁	فناوری سبز (تعداد اختراعات مرتبط با محیط‌زیست)	سازمان توسعه و همکاری اقتصادی ^۱ (OECD) (۲۰۲۴)	+
	GT ₂	انرژی پاک (درصد سهم مصرف انرژی تجدیدپذیر از کل مصرف انرژی نهایی بر حسب درصد)	شاخص‌های توسعه جهانی ^۲ (WDI) متعلق به بانک جهانی (۲۰۲۴)	+
رانت نفت	OR	سهم رانت منابع طبیعی از GDP (بر حسب درصد)	WDI (۲۰۲۴)	-
متغیرهای کنترل				
رشد اقتصادی	GDPpc	تولید ناخالص داخلی حقیقی سرانه (بر حسب دلار و به قیمت‌های ثابت سال ۲۰۱۵)	WDI (۲۰۲۴)	-
تجارت	TR	سهم مجموع صادرات و واردات از GDP (بر حسب درصد)	WDI (۲۰۲۴)	+/-
درجه شهرنشینی	UR	سهم جمعیت شهری از کل جمعیت (بر حسب درصد)	WDI (۲۰۲۴)	-

نشانی وبسایت GFN: <https://www.footprintnetwork.org>

نشانی وبسایت OECD: <https://stats.oecd.org>

نشانی وبسایت WDI: <https://data.worldbank.org>

روش پژوهش

در این پژوهش از رویکرد «ARDL فوریه مبتنی بر بوت‌استرپ» استفاده شده است. تحلیل فوریه هم برای نقاط شکست «ناگهانی و سریع (تیز)» و هم برای «جابه‌جایی‌های هموار» مناسب است (سولارین، ۲۰۱۹). در واقع با استفاده از توابع فوریه، می‌توان بسیاری از جابه‌جایی‌های ساختاری هموار را با شکل، زمان و تعداد مجهول در نظر گرفت (پاتا و همکاران، ۲۰۲۳). سولارین (۲۰۱۹) و پاتا و آیدین (۲۰۲۰) روش ARDL فوریه را با افزودن اصطلاحات مثلثاتی به روش ARDL بوت‌استرپ پیشنهادی مکنان و همکاران (۲۰۱۸) توسعه داده‌اند که آن را می‌توان در معادله زیر بیان کرد:

$$\begin{aligned}
 \Delta \ln LCF_t = & \psi_0 + \psi_1 \ln LCF_{t-1} + \psi_2 \ln GT_{t-1} + \psi_3 \ln OR_{t-1} + \psi_4 (\ln GT \times \ln OR)_{t-1} \\
 & + \psi_5 \ln GDP_{t-1} + \psi_6 \ln TR_{t-1} + \psi_7 \ln UR_{t-1} + \psi_8 \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \psi_9 \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) \\
 & + \sum_{i=1}^p \eta_1 \Delta \ln LCF_{t-i} + \sum_{i=0}^q \eta_2 \Delta \ln GT_{t-i} + \sum_{i=0}^r \eta_3 \Delta \ln OR_{t-i} \\
 & + \sum_{i=0}^s \eta_4 (\ln GT \times \ln OR)_{t-i} + \sum_{i=0}^t \eta_5 \Delta \ln GDP_{t-i} + \sum_{i=0}^u \eta_6 \Delta \ln TR_{t-i} \\
 & + \sum_{i=0}^v \eta_7 \Delta \ln UR_{t-i} + \epsilon_t
 \end{aligned} \tag{7}$$

¹ Organization for Economic Co-operation and Development (OECD)

² World Development Indicators (WDI)

در معادله (۷)، $\alpha(t) = \varphi_0 + \varphi_1 \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \varphi_2 \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right)$ جزء فوریه با فرض وجود فرکانس واحد است. که توسط گالانت^۱ (۱۹۸۱) ارائه شده است. شکل کلی عبارت فوریه به صورت رابطه (۸) است. در این معادله، n تعداد فرکانس‌ها، k تعداد فرکانس‌های خاص انتخاب شده، t روند زمانی، T تعداد مشاهدات، φ_{1k} و φ_{2k} به ترتیب ارتفاع موج فرکانس (دامنه) و سرعت فرآیند ناپدید شدن موج (جابه‌جایی) فرکانس را محاسبه می‌کنند و π تقریباً برابر با عدد ۳/۱۴۵ است. k فرکانس کسری پیشنهاد شده توسط کریستوپولوس و لئون لدسما^۲ (۲۰۱۱) را نشان می‌دهد که می‌تواند یک مقدار کسری $[\dots, 1/5, 1, 1/5, \dots]$ بگیرد. فرکانس‌های اعداد صحیح مانند ۱، ۳، ۵ و نشان‌دهنده شکست‌های موقت و فرکانس‌های کسری، مانند ۰/۱، ۰/۱، و ۳/۱ نشان‌دهنده شکست‌های دائمی می‌باشند.

$$\varphi(t) \cong \varphi_0 + \sum_{k=1}^n \varphi_{1k} \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \sum_{k=1}^n \varphi_{2k} \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) \quad (۸)$$

یافته‌های پژوهش

آزمون ریشه واحد

تجزیه و تحلیل ویژگی‌های تصادفی سری‌ها یک ضرورت برای تحلیل هم‌انباشتگی است. به این منظور، مطالعه حاضر در چارچوب رویکرد دو مرحله‌ای پیشنهاد شده اندرز و لی^۳ (۲۰۱۲) و اومای^۴ (۲۰۱۵)، از آزمون سنتی دیکی-فولر^۵ (ADF) و شکل توسعه‌یافته آن یعنی آزمون ریشه واحد ADF فوریه (F-ADF) با «فرکانس کسری»^۶ استفاده می‌کند که به شرح زیر است. مرحله اول: برآورد معادله (۹) در محدوده $0.1 \leq k \leq 5$ و انتخاب مدل با کوچک‌ترین مجموع مربعات باقیمانده^۷ (SSR) به‌عنوان فرم مناسب و سپس تعیین طول وقفه بهینه (p). مرحله دوم: ارزیابی اهمیت عبارات فوریه با استفاده از آزمون F بکر و همکاران^۸ (۲۰۰۶). در صورتی که عبارات فوریه (اصطلاحات مثلثاتی \sin و \cos) معنی‌دار باشند، از آزمون F-ADF برای آزمایش فرضیه صفر ریشه واحد به صورت $v = 0$ استفاده می‌شود. اگر عبارات فوریه بی‌معنا باشند و فرضیه صفر $H_0: \phi_1 = \phi_2 = 0$ را نتوان رد کرد، آزمون ADF سنتی باید به‌عنوان گزینه‌ای جای‌گزین برای آزمون F-ADF استفاده شود (آیدین و همکاران^۹، ۲۰۲۴؛ پاتا و همکاران، ۲۰۲۴؛ گل خندان، ۱۴۰۳ ب).

$$\Delta Y_t = \phi_0 + \phi_1 \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \phi_2 \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + vY_{t-1} + \sum_{j=1}^p a_j \Delta Y_{t-j} + \epsilon_t \quad (۹)$$

جدول (۲) نتایج آزمون ریشه واحد را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که در سطح اطمینان ۹۵ درصد، بر اساس آزمون F-ADF، متغیرهای $\ln TR$ و $\ln GT_1$ در سطح، نامانا هستند؛ اما با یک‌بار تفاضل‌گیری به صورت مانا درآمده‌اند و از درجه مانایی $I(1)$ برخوردارند. در مقابل، متغیر $\ln GT_2$ در سطح، مانا است و دارای درجه مانایی $I(0)$ است. بر اساس آزمون ADF نیز، متغیر $\ln GDP_{pc}$ دارای درجه مانایی $I(0)$ و متغیرهای $\ln LCF$ ، $\ln OR$ و $\ln UR$ دارای درجه مانایی $I(1)$ می‌باشند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده مبنی بر مختلف بودن درجه مانایی متغیرهای مدل و توجه به این موضوع که هیچ‌یک از متغیرها از درجه مانایی $I(2)$ برخوردار نیستند، می‌توان از آزمون هم‌انباشتگی کرانه‌های F-ARDL استفاده کرد.

¹ Gallant

² Christopoulos & Leon-Ledesma

³ Enders & Lee

⁴ Omay

⁵ Augmented Dickey-Fuller (ADF)

⁶ Fractional Frequency

⁷ Sum of Squares Regression (SSR)

⁸ Becker

⁹ Aydin

جدول (۲) نتایج آزمون‌های ریشه واحد F-ADF و ADF

ADF		F-ADF			متغیر	
prob.	آماره t	حدافل SSR	(p) وقفه (k) فرکانس	آماره آزمون F-ADF		آماره F
۰/۶۱۸	-۱/۹۳۶	۰/۰۳۵	۱/۱ ۵	-	۵/۵۲۵	lnLCF
۰/۰۰۰	-۵/۷۸۹***	-	-	-	-	Δ lnLCF
-	-	۰/۰۴۵	۲/۹ ۲	-۳/۶۵۲	۱۴/۲۸۸***	lnGT ₁
-	-	۰/۰۵۶	۲/۸ ۱	-۶/۸۹۵***	۱۵/۵۶۵***	Δ lnGT ₁
-	-	۰/۰۳۸	۲/۵ ۱	-۴/۱۸۵**	۱۶/۴۴۹***	lnGT ₂
-	-	-	-	-	-	Δ lnGT ₂
۰/۰۷۸	-۳/۳۳۹*	۰/۱۶۱	۱/۶ ۲	-	۶/۰۷۷	lnOR
۰/۰۰۰	-۶/۱۶۶***	-	-	-	-	Δ lnOR
۰/۰۱۵	-۴/۰۳۲**	۰/۱۰۵	۰/۳ ۳	-	۴/۹۱۲	LnGDPpc
-	-	-	-	-	-	Δ lnGDPpc
-	-	۰/۰۴۷	۲/۸ ۲	-۳/۴۸۳	۸/۴۱۴**	lnTR
-	-	۰/۰۵۴	۲/۶ ۱	-۶/۶۸۵***	۸/۲۱۲**	Δ lnTR
۰/۲۴۲	-۲/۷۳۰	۰/۰۴۴	۴/۳ ۵	-	۳/۴۸۱	lnUR
۰/۰۰۰	-۸/۵۹۱***	-	-	-	-	Δ lnUR

علائم **، ***، و * نیز به ترتیب به معنای در سطوح ۱، ۵ و ۱۰ درصد اشاره دارد.

مأخذ: یافته‌های پژوهش

آزمون هم‌انباشتگی

گام بعدی انجام آزمون هم‌انباشتگی F-ARDL مبتنی بر بوت‌استرپ است. نتایج این آزمون در جداول (۳) و (۴) ارائه شده است. براساس نتایج این جدول، مقدار فرکانس بهینه در دو مدل به ترتیب ۱/۸ و ۱/۶ است که نشان‌دهنده شکست دائمی در رابطه هم‌انباشتگی است. همچنین، براساس پیشنهاد لوتکپول^۱ (۲۰۰۶)، معیار اطلاعات آکائیک^۲ (AIC) برای انتخاب طول وقفه بهینه استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که مقدار هر سه آماره $F_{overall}$ ، t_{dep} و F_{indep} در هر دو مدل، بزرگ‌تر از مقادیر بحرانی بوت‌استرپ در هر سه سطح ۱۰، ۵ و ۱ درصد است. بنابراین، نتیجه گرفته می‌شود که یک رابطه بلندمدت قوی بین متغیرهای هر دو مدل پژوهش وجود دارد. بر اساس آزمون‌های تشخیصی در قسمت پایین جداول (۳) و (۴)، هر دو مدل از لحاظ فروض کلاسیک با مشکلی روبرو نیستند و فرضیه‌های صفر مبنی بر واریانس هم‌سانی (آزمون آرچ)، عدم وجود خودهمبستگی سریالی (آزمون LM به روش گادفری)، توزیع نرمال (آماره جارک-برا) و وجود فرم تبعی مناسب (آزمون رمزی) رد نمی‌شود و بر این اساس، اعتبار نتایج به دست آمده تأیید می‌شود. به منظور بررسی ثبات ساختاری مدل نیز از آماره‌های پسماندهای تجمعی^۳ (CUSUM) و مجذور پسماندهای تجمعی^۴ (CUSUMQ) استفاده شده است. بر این اساس، نمودارهای پسماند تجمعی و مجذور آن بین دو خط بحرانی در سطح ۵ درصد قرار گرفته است که این موضوع نشان‌دهنده پایداری مدل در بلندمدت است (البته برای صرفه‌جویی این نمودارها ارائه نشده است).

^۱ Lutkepohl

^۲ Akaike Information Criterion (AIC)

^۳ Cumulative Sum (CUSUM)

^۴ Cumulative Sum of Squares (CUSUMQ)

جدول (۳) نتایج آزمون هم‌انباشتگی F-ARDL مبتنی بر بوت‌استرپ (مدل اول)

AIC حداقل	فرکانس (k)	مقادیر بحرانی بوت‌استرپ			مقدار	آماره	شاخص GT مدل
		۱٪	۵٪	۱۰٪			
-۳/۶۶۵	۱/۸	۶/۲۱۸	۴/۴۱۵	۳/۵۵۲	۷/۸۸۱***	F _{Overall}	معیار زیستی انرژی (GT _۱)
		-۴/۴۴۵	-۴/۰۸۸	-۳/۶۸۹	-۵/۱۱۸***	t _{dep}	
		۶/۶۴۱	۴/۸۶۵	۳/۷۰۹	۸/۵۹۵***	F _{Indep}	
آزمون‌های آسیب‌شناسی مدل							
prob.	آماره آزمون	نوع آزمون		آزمون			
۰/۷۴۹	۰/۱۰۴	ARCH		واریانس هم‌سانی			
۰/۸۸۴	۰/۱۲۱	Breusch-Godfrey LM		عدم وجود خودهمبستگی سریالی			
۰/۱۵۸	۲/۱۵۱	Ramsey RESET		وجود فرم تبعی مناسب			
۰/۵۷۶	۱/۱۰۳	Jarque-Bera		توزیع نرمال			
-	S	CUSUM		ثبات ساختاری مدل			
-	S	CUSUMQ		ثبات ساختاری مدل			

علامت *** به معنی داری در سطح ۱ اشاره دارد و تعداد تکرارهای بوت‌استرپ ۱۰۰۰ است.
مأخذ: یافته‌های پژوهش

جدول (۴) نتایج آزمون هم‌انباشتگی F-ARDL مبتنی بر بوت‌استرپ (مدل دوم)

AIC حداقل	فرکانس (k)	مقادیر بحرانی بوت‌استرپ			مقدار	آماره	شاخص GT مدل
		۱٪	۵٪	۱۰٪			
-۳/۷۱۸	۱/۶	۶/۸۵۶	۴/۶۹۸	۳/۶۱۲	۸/۰۲۲***	F _{Overall}	انرژی تیز (GT _۲)
		-۴/۷۶۱	-۴/۲۶۴	-۳/۸۰۸	-۵/۵۶۲***	t _{dep}	
		۷/۰۱۸	۵/۱۲۸	۳/۸۸۵	۸/۹۰۸***	F _{Indep}	
آزمون‌های آسیب‌شناسی مدل							
prob.	آماره آزمون	نوع آزمون		آزمون			
۰/۶۵۸	۰/۱۹۵	ARCH		واریانس هم‌سانی			
۰/۸۳۹	۰/۱۷۷	Breusch-Godfrey LM		عدم وجود خودهمبستگی سریالی			
۰/۳۰۱	۱/۱۱۲	Ramsey RESET		وجود فرم تبعی مناسب			
۰/۳۷۳	۱/۹۷۴	Jarque-Bera		توزیع نرمال			
-	S	CUSUM		ثبات ساختاری مدل			
-	S	CUSUMQ		ثبات ساختاری مدل			

علامت *** به معنی داری در سطح ۱ اشاره دارد و تعداد تکرارهای بوت‌استرپ ۱۰۰۰ است.
مأخذ: یافته‌های پژوهش

برآورد مدل به روش F-ARDL بوت‌استرپ

پس از تأیید وجود رابطه بلندمدت بین متغیرهای مدل، نوبت به برآورد این رابطه می‌رسد. در جدول (۵) نتایج برآورد رابطه بلندمدت در هر دو مدل به کمک روش F-ARDL ارائه شده است. بر اساس نتایج این جدول، ضرایب برآوردی کلیه متغیرهای مدل از معناداری آماری لازم برخوردارند و مطابق انتظارات. همچنین، ضرایب برآوردی اصطلاحات مثلثاتی SIN و COS نیز در هر دو مدل، معنادار است و نشان می‌دهد که شکست‌های ساختاری تیز و هموار می‌تواند بر LCF تأثیر بگذارد. با توجه به مقدار

ضریب جزء تصحیح خطای مدل^۱ (ECM)، این ضریب در هر دو مدل از معناداری لازم و علامت مورد انتظار منفی برخوردار است. مقادیر عددی ECM در مدل اول حدود ۰/۵۹- و در مدل دوم حدود ۰/۵۴- برآورد شده است که گویای این موضوع است که در هر دوره (سال)، ۰/۵۹ درصد در مدل اول و ۰/۵۴ درصد در مدل دوم از عدم تعادل یک‌دوره (یک‌سال) در پایداری محیط‌زیستی در دوره بعد تعدیل می‌شود. بر این اساس تعدیل به سمت تعادل بلندمدت در هر دو مدل با سرعت بالنسبه بالایی و در کمتر از دو دوره (سال) صورت می‌گیرد و کامل می‌شود.

جدول (۵) نتایج برآورد رابطه تعادلی بلندمدت بین متغیرهای مدل به‌روش F-ARDL

مدل ۲: شاخص GT مدل: انرژی پاک			مدل ۱: شاخص GT مدل: اختراعات محیط‌زیستی		
p-value	ضریب	متغیر	p-value	ضریب	متغیر
۰/۰۰۲	۰/۱۸۹***	LnGT ₂	۰/۰۰۰	۰/۱۲۹***	lnGT ₁
۰/۰۳۶	-۰/۱۵۹**	lnNRR	۰/۰۲۳	-۰/۱۰۹**	lnNRR
۰/۰۲۲	-۰/۰۴۴**	LnGT ₂ *lnNRR	۰/۰۱۵	-۰/۰۲۹**	lnGT ₁ *lnNRR
۰/۰۹۸	-۰/۳۰۱*	LnGDPpc	۰/۰۳۹	-۰/۳۲۹**	LnGDPpc
۰/۰۴۸	۰/۲۶۱**	LnTR	۰/۰۴۴	۰/۲۲۱**	LnTR
۰/۰۰۰	-۱/۴۰۸***	LnUR	۰/۰۰۰	-۱/۲۶۲***	LnUR
۰/۰۰۰	۱۳/۳۷۳***	C (عرض از مبدأ)	۰/۰۰۰	۱۲/۶۸۹***	C (عرض از مبدأ)
۰/۰۱۵	۰/۰۲۲**	SIN	۰/۰۶۶	۰/۰۰۸*	SIN
۰/۰۰۰	۰/۰۵۵***	COS	۰/۰۰۱	۰/۰۲۹***	COS
۰/۰۰۰	-۰/۵۴۴***	ECT	۰/۰۰۰	-۰/۵۹۱***	ECT
۰/۸۱۹		Adjusted R ²	۰/۸۲۲		Adjusted R ²
اثر نهایی رانت نفت					
-۰/۲۱۴		ME ^{max}	-۰/۲۳۴		ME ^{max}
-۰/۱۸۲		ME ^{ave}	-۰/۱۹۳		ME ^{ave}
-۰/۱۴۵		ME ^{min}	-۰/۱۰۹		ME ^{min}

علائم **،***،* و نیز به ترتیب به معناداری در سطوح ۰.۱ و ۰.۵ و ۱۰ درصد اشاره دارد.

مأخذ: یافته‌های پژوهش

تأثیرگذاری بلندمدت هر دو شاخص اقدامات و سیاست‌های مدیریت سبز، مثبت و در سطح اطمینان بالایی معنی‌دار است؛ به‌گونه‌ای که با افزایش یک‌درصدی در تعداد اختراعات مربوط به محیط‌زیست (lnGT₁) و سهم انرژی پاک (lnGT₂) در بلندمدت، ضریب ظرفیت بار محیط‌زیستی در کشور، به ترتیب حدود ۰/۱۳ و ۰/۱۹ درصد افزایش می‌یابد. این نتیجه نشان می‌دهد که انرژی پاک و توسعه فناوری‌های سبز می‌تواند از کانال‌های متعددی نظیر بهبود در سطح بهره‌وری انرژی، تغییر ساختار مصرف انرژی و افزایش نسبت انرژی پاک در ساختار کلی مصرف انرژی و ترویج و توسعه صنایع کم‌آلاینده و سازگارتر با محیط‌زیست به افزایش پایداری محیط‌زیست کمک کند و هم‌سو با نتایج مطالعات گسترده‌ای نظیر ثاقب و دینکا^۲ (۲۰۲۳)، کینگ و همکاران^۳ (۲۰۲۴)، برگوگی و لادوسری (۲۰۲۴)، فنگ و همکاران^۴ (۲۰۲۴) و جواهری و عزیز (۱۴۰۳) و مغایر با نتایج مطالعات محدودی نظیر وومیک و همکاران^۵ (۲۰۲۴) و آیتون و همکاران^۶ (۲۰۲۴) است. در مقابل اثر بلندمدت و مستقیم رانت نفت (OR)، مطابق انتظار تئوریک و تجربی در هر دو مدل، منفی و در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار است؛

¹ Error Correction Term (ECT)

² Saqib & Dinca

³ Qing

⁴ Feng

⁵ Voumik

⁶ Aytun

به‌گونه‌ای که با افزایش یک‌درصدی در سهم کل رانت منابع طبیعی از GDP در بلندمدت، ضریب ظرفیت بار در کشور در مدل (۱) و مدل (۲)، به‌ترتیب حدود ۰/۱۱ و ۰/۱۶ درصد کاهش می‌یابد. این نتیجه نشان می‌دهد که رانت نفت به کاهش پایداری محیط‌زیست در کشور منجر شده‌است. تلاش برای رشد اقتصادی بالاتر در اقتصادهای نفتی، مصرف سوخت‌های فسیلی غیر دوست‌دار محیط‌زیست از جمله نفت را به‌عنوان منبع اصلی انرژی، تشدید می‌کند. این نتیجه هم‌سو با نتایج مطالعات گسترده‌ای نظیر کاهیا و عمری (۲۰۲۴)، اردوغان (۲۰۲۴)، حسین و همکاران^۱ (۲۰۲۴)، موسی و همکاران (۲۰۲۴)، گل خندان و جهانگیری (۱۴۰۴) و گل خندان (۱۴۰۴ الف) است.

نکته قابل توجه آن‌که ضریب برآوردی اثر تعاملی شاخص‌های اقدامات و سیاست‌های مدیریت سبزی و رانت نفت (lnFD*lnGT) در هر دو مدل، منفی و معنی‌دار است (به‌ترتیب حدود ۰/۰۳- و ۰/۰۴-) که نشان می‌دهد رانت نفت در کشور، پایداری محیط‌زیستی را به‌طور غیرمستقیم و از کانال فناوری‌های سبزی و انرژی پاک نیز کاهش می‌دهد. به‌عبارت دیگر، رانت نفت منجر به تضعیف اثر مطلوب فناوری‌های سبزی و انرژی پاک بر کیفیت محیط‌زیستی می‌شود. در این زمینه، نتایج مطالعه آقای (۱۴۰۳) نشان می‌دهد منابع طبیعی تأثیر منفی بر سرمایه‌گذاری سبزی در ایران داشته‌است. در واقع، سوءمدیریت ناشی از سیاست‌های نامناسب و نهادهای ضعیف برای مدیریت منابع و وابستگی به درآمدهای حاصل از این منابع، تلاش‌های دولت برای اصلاحات ساختاری و تنوع‌بخشی به اقتصاد و توسعه بخش‌های غیروابسته به منابع طبیعی را کاهش می‌دهد. همه این موارد می‌توانند تأثیر منفی بر تکنولوژی‌های سبزی و انرژی پاک داشته‌باشند. این نتیجه مغایر با نتایج مطالعات تجربی کاهیا و عمری (۲۰۲۴) برای عربستان و موسی و همکاران (۲۰۲۴) برای کشورهای G10 است که در مطالعات خود نشان داده‌اند اثر تعاملی شاخص‌های فناوری سبزی و رانت نفت بر کیفیت محیط‌زیست، مثبت و این فناوری‌ها نقش مهمی در کاهش اثرات منفی رانت‌های نفتی بر پایداری محیط‌زیستی داشته‌اند. بر این اساس، اثر نهایی (مستقیم و غیرمستقیم) ماکزیمم، متوسط و نهایی رانت نفت با توجه به روابط (۳-۵)، در مدل اول به‌ترتیب ۰/۲۳۴-، ۰/۱۹۳- و ۰/۱۰۹- و در مدل دوم به‌ترتیب ۰/۲۱۴-، ۰/۱۸۲- و ۰/۱۴۵- محاسبه شده‌است که نشان می‌دهد اثر نامطلوب رانت نفت بر کیفیت محیط‌زیستی با تضعیف اثر مطلوب فناوری‌های سبزی و انرژی پاک، تشدید می‌شود.

ضریب لگاریتم تولید ناخالص داخلی سرانه (lnGDP) در مدل اول و دوم، منفی و به‌ترتیب در سطوح ۵ و ۱۰ درصد معنی‌دار است. بر این اساس، کاهش بلندمدت ضریب ظرفیت بار نسبت به رشد اقتصادی در مدل اول حدود ۰/۳۳- و در مدل دوم حدود ۰/۳۰- برآورد شده‌است. در واقع، با افزایش یک‌درصدی در درآمد سرانه، در مدل اول و دوم، شاخص ضریب ظرفیت بار در کشور، به‌ترتیب حدود ۰/۳۳ و ۰/۳۰ درصد کاهش می‌یابد. ادبیات نظری پیرامون رابطه رشد اقتصادی و تخریب محیط‌زیست بر فرضیه «منحنی محیط‌زیستی کوزنتس»^۲ (EKC) متمرکز است. فرضیه EKC بیان می‌کند که با افزایش درآمد سرانه، درجه تخریب محیط‌زیست در مرحله اولیه توسعه اقتصادی افزایش می‌یابد؛ اما تخریب محیط‌زیست پس از یک نقطه آستانه (ماکزیمم) شروع به کاهش می‌کند. دوغان و پاتا^۳ (۲۰۲۲) با الهام از فرضیه EKC، یک رابطه U شکل بین درآمد سرانه و ضریب ظرفیت بار را گزارش کردند و این رابطه را به‌عنوان فرضیه «منحنی ظرفیت بار»^۴ (LCC) توضیح دادند. بر این اساس، تولید و رشد اقتصادی جوامعی که در مراحل نخست هیچ توجهی به کیفیت محیط‌زیست ندارند می‌تواند منجر به کاهش کیفیت بوم‌شناختی و در نتیجه کاهش LCF شود. اما وقتی کشورها از سطح درآمد معینی فراتر می‌روند، رشد اقتصادی می‌تواند کیفیت محیط‌زیستی و LCF را به لطف سرمایه‌گذاری در فناوری‌های تولید پاک‌تر و سبزی، استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر و محصولات دوست‌دار محیط‌زیست و آگاهی بیشتر از محیط‌زیست افزایش دهد (پاتا و ارطغرل^۵، ۲۰۲۳؛ گل خندان، ۱۴۰۳ ب). از آنجا که کشور ایران جزء کشورهای درحال توسعه است؛ انتظار بر آنست که در قسمت نزولی منحنی LCC قرار داشته و طی دوره مورد بررسی با افزایش رشد اقتصادی، کیفیت محیط‌زیست کاهش یافته باشد.

^۱ Hossain

^۲ Environmental Kuznets Curve (EKC)

^۳ Dogan & Pata

^۴ Load Capacity Curve (LCC)

^۵ Pata & Ertugrul

ضریب بلندمدت تجارت (InTR)، در هر دو مدل، مثبت و در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار است. بر این اساس و در بلندمدت، با افزایش یک درصدی در تجارت، ضریب ظرفیت بار در مدل اول حدود ۰/۲۲ درصد و در مدل دوم حدود ۰/۲۶ درصد افزایش می‌یابد. از بعد نظری و تجربی دو دیدگاه متفاوت در زمینه تأثیر بازبودن اقتصاد بر کیفیت محیط‌زیست وجود دارد. دیدگاه مخالف در این زمینه اغلب بر «فرضیه پناه‌گاه (لنگرگاه) آلودگی»^۱ تکیه دارد و معتقد است که تجارت، بسترهایی را برای انتقال صنایع آلوده‌کننده به مناطقی که قوانین محیط‌زیستی ساده‌تری دارند، فراهم می‌کند و در عمل، این مناطق به پناه‌گاه‌هایی برای آلودگی تبدیل می‌شوند (آلادجاره^۲، ۲۰۲۲). در مقابل این فرضیه، «فرضیه هاله آلودگی»^۳ قرار دارد که توسط بیردسال و ویلر^۴ (۱۹۹۳) ارائه شده و معتقد است که جهانی‌شدن راهی برای انتقال فناوری بین کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه فراهم و دسترسی کشورهای در حال توسعه را به تکنولوژی کارا و سازگار با محیط‌زیست ممکن می‌کند که این عمل به بهبود کیفیت محیط‌زیست در این کشورها کمک می‌کند (احمد و همکاران، ۲۰۲۱). نتیجه به‌دست‌آمده در این پژوهش از فرضیه دوم حمایت می‌کند.

نتایج حاصل از برآورد دو مدل نشان می‌دهد که متغیر درجه شهرنشینی (InUR) با ضریب قابل توجه و در سطح معنی‌داری بالایی به کاهش سطح LCF می‌انجامد. به‌گونه‌ای که با افزایش یک درصدی در شهرنشینی در بلندمدت، ضریب ظرفیت بار محیط‌زیستی کشور، به ترتیب حدود ۱/۲۶ و ۱/۴۱ درصد کاهش می‌یابد. بر این اساس می‌توان گفت که شهرنشینی از مهم‌ترین عللی است که وخامت بوم‌شناختی را در ایران تشدید می‌کند؛ چراکه ساختار زندگی شهرنشینی نیازمند استفاده بیشتر از منابع انرژی و سوخت، بالاخص در زمینه حمل‌ونقل و جابه‌جایی است. نتیجه به‌دست‌آمده هم‌سو با نتایج مطالعات تجربی گل‌خندان (۱۴۰۳ ج) و کاهیا و عمری (۲۰۲۴) است.

بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه نقش رانت نفت در زمینه اثرگذاری اقدامات و سیاست‌های مدیریت سبز بر سلامت محیط‌زیست در ایران طی سال‌های ۲۰۲۲-۱۹۹۰ بررسی شده است. به این منظور از شاخص جامع پایداری محیط‌زیست به نام ضریب ظرفیت بار (LCF) که به‌طور هم‌زمان عرضه و تقاضای طبیعت را در نظر می‌گیرد و به‌صورت نسبت ظرفیت زیستی به ردپای بوم‌شناختی تعریف می‌شود، به‌عنوان متغیر وابسته، از اقدامات و سیاست‌های مدیریت سبز (شامل فناوری‌های سبز و انرژی پاک)، رانت نفت و اثر تعاملی این دو متغیر به‌عنوان متغیرهای مستقل و از متغیرهای رشد اقتصادی، تجارت و شهرنشینی به‌عنوان متغیرهای کنترل استفاده شده است. در نهایت با بهره‌گیری از رویکرد نوین خود رگرسیون با وقفه‌های توزیعی فوریه (F-ARDL) مبتنی بر بوت‌استرپ به برآورد ضرایب بلندمدت متغیرها پرداخته شده است.

نتایج حاکی از تأثیر مثبت و معنی‌دار هر دو شاخص فناوری‌های سبز و انرژی پاک، تأثیر منفی و معنی‌دار رانت نفت بر LCF در بلندمدت است. اثر تعاملی فناوری‌های سبز و انرژی پاک با رانت نفت بر LCF، منفی و معنی‌دار و گویای این موضوع است که رانت نفت، پایداری محیط‌زیستی را از طریق تضعیف فناوری‌های سبز و انرژی پاک کاهش می‌دهد. این نتیجه می‌تواند شاهدهی دیگر از وجود نفرین منابع طی دوره مورد بررسی در ایران باشد. بر اساس سایر نتایج، رشد اقتصادی و شهرنشینی، اثر منفی و معنی‌دار و تجارت اثر مثبت و معنی‌دار بر LCF داشته است. استحکام نتایج تجربی به‌دست‌آمده با تغییر در شاخص اقدامات سبز نیز تأیید شده است. بر این اساس، توصیه‌ها و پیشنهادات سیاستی زیر مطرح می‌شود:

الف) تدوین و اعمال سیاست‌های لازم به‌منظور کاهش وابستگی به درآمدهای نفتی و تقویت بخش‌های دیگر (تنوع‌بخشی اقتصاد). همچنین، باید بخشی از درآمدهای حاصل از فروش منابع نفتی را با ایجاد صندوق‌های سبز به سرمایه‌گذاری در

¹ Pollution Haven Hypothesis

² Aladejare

³ Pollution Halo Hypothesis

⁴ Birdsall & Wheeler

تکنولوژی‌های مناسب (دوست‌دار) و سازگار با محیط‌زیست اختصاص داد تا اکتشاف، استخراج و مصرف نفت به ناپایداری و تخریب محیط‌زیست منجر نشود.

(ب) از آن‌جا که دستیابی به رشد اقتصادی، از اهداف اصلی کشورها بالاخص کشورهای در حال توسعه مانند ایران است، باید تلاش شود تا رشد اقتصادی بالاتر که مستلزم استفاده از انرژی بیشتر به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل تولید است، با به‌کارگیری فناوری‌های سبز و تقویت انرژی‌های پاک صورت بگیرد.

(ج) با توجه به تأثیر مثبت تجارت بر پایداری محیط‌زیست، حرکت به سمت یک اقتصاد باز و وارد کردن فناوری‌های پیشرفته کارا و سازگار با محیط‌زیست و همچنین وارد کردن کالاهایی که در فرآیند تولید مقادیر زیادی از آلاینده‌ها را تولید می‌کنند می‌تواند به بهبود کیفیت محیط‌زیست در ایران کمک کند.

(د) با توجه به تأثیر مثبت درجه شهرنشینی بر پایداری محیط‌زیست، سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان شهری در فرایند گسترش شهرنشینی لازم است جلوگیری از تخریب محیط‌زیست را مورد توجه جدی قرار داده و مصرف صحیح انرژی را در اولویت قرار دهند. همچنین می‌توانند با فراهم کردن بسترهای مناسب و توسعه روستاها ضمن برقراری یک توازن جمعیتی مناسب، از تخریب محیط‌زیست نیز بکاهند.

(و) انتخاب شاخص‌ها و مدل‌سازی‌های مختلف ممکن است جنبه‌های دیگری نیز در زمینه موضوع پژوهش پوشش دهد که در مطالعه حاضر بررسی نشده است و می‌تواند موضوعاتی برای پژوهش‌های آتی باشد. همچنین، استفاده از روش‌های جایگزین مانند رویکردهای نامتقارن غیرخطی، مدل‌های تغییر رژیم و یا تحلیل‌های هم‌انباشتگی آستانه در پژوهشات تجربی آتی برای بررسی اعتبار یافته‌های تجربی این مقاله، توصیه می‌شود.

منابع

- گل خندان، ابوالقاسم (۱۴۰۳ الف). تأثیر آستانه‌ای پیچیدگی اقتصادی بر وابستگی به منابع طبیعی در کشورهای منطقه MENA. *سیاست‌ها و تحقیقات اقتصادی*، ۳(۱): ۱۳۸-۱۷۴. [doi: 10.22034/jep.2024.141515.1130](https://doi.org/10.22034/jep.2024.141515.1130)
- گل خندان، ابوالقاسم (۱۴۰۳ ب). تأثیر نامتقارن بیکاری بر ضریب ظرفیت بار (LCF) در کشورهای منتخب منطقه MENA: آزمون فرضیه منحنی زیست‌محیطی فیلیپس (EPC). *اقتصاد و تجارت نوین*، ۱۹(۶۴): ۱۳۳-۱۷۳. [doi: 10.30465/jnet.2025.49103.2145](https://doi.org/10.30465/jnet.2025.49103.2145)
- گل خندان، ابوالقاسم (۱۴۰۳ ج). جهانی‌شدن مالی و پایداری زیست‌محیطی در ایران: رویکرد BFGC-Q. *مجلس و اقتصاد*، ۲: ۶۵۷-۶۹۱. [doi: 10.22034/mec.2025.17742.1102](https://doi.org/10.22034/mec.2025.17742.1102)
- گل خندان، ابوالقاسم (۱۴۰۴). تأثیر وابستگی به منابع طبیعی و جهانی‌شدن اقتصادی بر پایداری محیط‌زیستی در ایران در چارچوب منحنی محیط‌زیستی کوزنتس N-شکل. *محیط‌زیست و توسعه فرابخشی*، ۱۰(۸۷): ۶۰-۷۷. [doi: 10.22034/envj.2025.444793.1346](https://doi.org/10.22034/envj.2025.444793.1346)
- گل خندان، ابوالقاسم؛ جهانگیری، لیلیا (۱۴۰۴). اثر تعاملی ریسک ژئوپلیتیک و رانت نفت بر انتشار کربن در کشورهای صادرکننده نفت. *مطالعات اقتصاد بخش عمومی*، ۴(۱): ۵۹-۹۰. [doi: 10.22126/pse.2024.10509.1118](https://doi.org/10.22126/pse.2024.10509.1118)
- محتشمی، نازیلا؛ صالح، ایرج؛ رفیعی، حامد (۱۳۹۴). تأثیر رشد صادرات نفت بر کیفیت محیط‌زیست در کشور ایران. *اقتصاد کشاورزی*، ۹(۲): ۱۴۲-۱۲۱.
- محمدیان‌منصور، صاحبه؛ گل خندان، ابوالقاسم (۱۴۰۲). اثر تعاملی حکمرانی خوب و رانت نفت بر امید به زندگی در ایران. *راهبردهای مدیریت در نظام سلامت*، ۸(۲): ۱۶۰-۱۴۴.
- Aytun, C., Erdogan, S., Pata, U. K. & Cengiz, O. (2024). Associating environmental quality, human capital, financial development, and technological innovation in 19 middle-income countries: A disaggregated ecological footprint approach. *Technology in Society*, 76(4), 102445. doi.org/10.1016/j.techsoc.2023.102445

- Becker, R., Enders, W. & Lee, J. (2006). A Stationarity test in the presence of an unknown number of smooth breaks. *Journal of Time Series Analysis*, 27(3), 381-409. [doi:10.1111/j.1467-9892.2006.00478.x](https://doi.org/10.1111/j.1467-9892.2006.00478.x)
- Bergougui, B. (2024). Investigating the relationships among green technologies, financial development, and ecological footprint levels in Algeria: Evidence from a novel Fourier ARDL approach. *Sustainable Cities and Society*, 112(1), 105621. doi.org/10.1016/j.scs.2024.105621
- Bergougui, B., Aldawsari, M.I. (2024). Asymmetric impact of patents on green technologies on Algeria's Ecological Future. *Journal of Environmental Management*, 355(28), 120426. doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120426
- Bilgili, F., Soykan, E., Dumrul, C., Awan, A., Onderol, S. & Khan, K. (2023). Disaggregating the impact of natural resource rents on environmental sustainability in the MENA region: A quantile regression. *Resources Policy*, 85.
- Birdsall, N. & Wheeler, D. (1993). Trade policy and industrial pollution in Latin America: where are the pollution havens? *The Journal of Environment and Development*, 2(1), 137-149. doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103825
- Christopoulos, D.K. & Leon-Ledesma, M.A. (2011). International output convergence, breaks, and asymmetric adjustment. *Studies in Nonlinear Dynamics and Econometrics*, 15(3), 67-97. doi.org/10.2202/1558-3708.1823
- Dogan, A., Pata, U. K. (2022). The role of ICT, R&D spending, and renewable energy consumption on environmental quality: testing the LCC hypothesis for G7 countries. *Journal of Cleaner Production*, 380(1), 135038. doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135038
- Du, J., Yang, X., Long, D. & Xin, Y. (2024). Modeling the influence of natural resources and social globalization on load capacity factor: New insights from the ASEAN countries, *Resources Policy*, 91(3), 104816. doi.org/10.1016/j.resourpol.2024.104816
- Enders, W. & Lee, J. (2012). The flexible Fourier form and Dickey-Fuller type unit root tests. *Economics Letters*, 117(1), 196-199. doi.org/10.1016/j.econlet.2012.04.081
- Erdogan, S. (2024). On the impact of natural resources on environmental sustainability in African countries: A comparative approach based on the EKC and LCC hypotheses. *Resources Policy*, 88(3), 104492. doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.104492
- Feng, Q., Usman, M., Saqib, N. & Mental, U. (2024). Modeling the contribution of green technologies, renewable energy, economic complexity, and human capital in environmental sustainability: Evidence from BRICS countries. *Gondwana Research*, 132(6), 168-181. doi.org/10.1016/j.gr.2024.04.010
- Gallant, AR. (1981). On the bias in flexible functional forms and an essentially unbiased form: the Fourier flexible form. *Journal of Econometrics*, 15(2), 211-245. [doi.org/10.1016/0304-4076\(81\)90115-9](https://doi.org/10.1016/0304-4076(81)90115-9)
- Hossain, E., Ullah, E., Rehman, M. Z., Haseeb, M. & Esquivias, M.A. (2024). Going Sustainable or Going Extinct: The Consequences of Clean Technologies, Green Finance, and Natural Resources on the Environment. *Sustainability*, 16(14). doi.org/10.3390/su16145836
- Javaheri, B. & Azizi, V. (2024). The Role of environmental innovation and economic complexity in reducing environmental degradation of Iran. *Parliament and Economy*, 1, 73-101.
- Kahia, M. & Omri, A. (2024). Oil rents and environmental sustainability: Do green technologies and environmental technological innovation matter? *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 10(3). doi.org/10.1016/j.joitmc.2024.100366
- Kathuria, K. & Kumar, N. (2022). Are exports and imports of India's trading partners co-integrated? Evidence from Fourier bootstrap ARDL procedure. *Empirical Economics*, 62(3), 1177-1191. doi.org/10.1007/s00181-021-02061-z
- Kirikaleli, D., Sofuoglu, E. & Ojekemi, O. (2023). Do patents on environmental technologies matter for the ecological footprint in the USA? Evidence from the novel Fourier ARDL approach. *Geoscience Frontiers*, 14(4), 101564. doi.org/10.1016/j.gsf.2023.101564

- Lin, H.H., Hsu, C.C., Wu, P.H., Shen, C.C & Chen, G.H. (2024). Demystifying the interconnections among natural resources, fintech, green technologies, and sustainable environment in E-7 nations. *Resources Policy*, 90(3), 104698. doi.org/10.1016/j.resourpol.2024.104698
- Luqman, M. (2024). Transition towards natural resource rents and green technology to achieve China's COP26 success: A novel insights in the case of trade openness and environmental pollution. *Resources Policy*, 92. doi.org/10.1016/j.resourpol.2024.105021
- Lütkepohl, H. (2006). Structural vector autoregressive analysis for co-integrated variables. *Allgemeines Statistisches Archiv*, 90, 75-88.
- Mahmood, H. & Saqib, N. (2022). Oil rents, economic growth, and CO₂ emissions in 13 OPEC member economies: Asymmetry analyses. *Front. Environ. Sci*, 10, 1025756. doi.org/10.3389/FENVS.2022.1025756/BIBTEX
- Majekodunmi, T.B., Shaari, M.S., Abidin, N.Z. & Ridzuan, A.R. (2023). Green technology, exports, and CO₂ emissions in Malaysia. *Heliyon*, 9(8), 18625. [doi:10.1016/j.heliyon.2023.e18625](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18625)
- McNown, R., Sam, C.Y., Goh, S.K. (2018). Bootstrapping the autoregressive distributed lag test for co-integration. *Appl. Econ.* 50(13), 1509-1521. doi.org/10.1080/00036846.2017.1366643
- Omay, T. (2015). Fractional frequency flexible Fourier form to approximate smooth breaks in unit root testing. *Economics Letters*. 134(3), 123-126. doi.org/10.1016/j.econlet.2015.07.010
- Pata, U. K. (2021). Do renewable energy and health expenditures improve load capacity factor in the USA and Japan? A new approach to environmental issues. *The European Journal of Health Economics*, 22(9), 1427-1439. doi.org/10.1007/s10198-021-01321-0
- Pata, U.K. & Aydın, M. (2020). Testing the EKC hypothesis for the top six-hydropower energy-consuming countries: Evidence from Fourier bootstrap ARDL procedure. *Journal of Cleaner Production*. 264(3), 121699. doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121699
- Pata, U.K. & Ertugrul, H.M. (2023). Do the Kyoto Protocol, geopolitical risks, human capital, and natural resources affect the sustainability limit? A new environmental approach based on the LCC hypothesis. *Resources Policy*, 81(26), 103352. doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103352
- Pata, U.K., Kartal, M.T., Adebayo, T.S. & Ullah, S. (2024). Enhancing environmental quality in the United States by linking biomass energy consumption and load capacity factor. *Geoscience Frontiers*, 14(3), 101531. doi.org/10.1016/j.gsf.2022.101531
- Qing, L., Usman, M., Radulescu, M., & Haseeb, M. (2024). Towards the vision of going green in South Asian region: The role of technological innovations, renewable energy and natural resources in ecological footprint during globalization mode. *Resources Policy*, 88, 104506. doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.104506
- Saqib, N. & Dinca, G. (2023). Exploring the asymmetric impact of economic complexity, FDI, and green technology on carbon emissions: Policy stringency for clean-energy investing countries. *Geoscience Frontiers*, 15(4), 101671. doi.org/10.1016/j.gsf.2023.101671
- Shi, Y., Li, J., Fang, Z., Li, Y., Hu, H., Nie, W. & Meng, F. (2024). Probing the role of natural resources and urbanization towards ecological sustainability in BRICST economies. *Resources Policy*, 91. doi.org/10.1016/j.resourpol.2024.104739
- Siche, R., Pereira, L., Agostinho, F., & Ortega, E. (2010). Convergence of ecological footprint and energy analysis as a sustainability indicator of countries: Peru as a case study. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 15(10), 3182-3192. doi.org/10.1016/j.cnsns.2009.10.027
- Solarin, S.A. (2019). Modeling the relationship between financing by the Islamic banking system and environmental quality: Evidence from bootstrap autoregressive distributive lag with Fourier terms. *Quality & Quantity*, 53(6), 2867-2884. doi.org/10.1007/s11135-019-00904-7
- Voumik, L.C., Ghosh, S., Rashid, M., Das, M.K., Esquivias, M.A. & Rojas, O (2024). The effect of geopolitical risk and green technology on load capacity factors in BRICS. *Utilities Policy*, 88, 101757. doi.org/10.1016/j.jup.2024.101757
- Ya, D., Quddos, A., Feng, M., Ullah, A. & Ameer, W. (2024). Assessing the impact of fiscal policy and natural resources on environmental degradation in BRICS countries: A resource management perspective. *Resources Policy*, 90. doi.org/10.1016/j.resourpol.2024.104792

Zambrano-Monserrate, M.A. & Ormeño-Candelario, V. (2023). Disaggregated impact of natural resources rents on the ecological footprint: new evidence from more polluting countries. *Mineral Economics*, [doi: 10.1007/s13563-023-00407-w](https://doi.org/10.1007/s13563-023-00407-w)